



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

STUDIUM MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ ODOLNOSTI PRŮMYSLOVÝCH PODLAH S VYUŽITÍM DRUHOTNÝCH SUROVIN

STUDY OF INFLUENCE OF SECONDARY RAW MATERIALS ON MECHANICAL RESISTENCE OF THE
INDUSTRIAL FLOORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR FIGALA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc., MBA

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Petr Figala
Název	Studium možnosti zvýšení odolnosti průmyslových podlah s využitím druhotných surovin
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2015
Datum odevzdání bakalářské práce	27. 5. 2016
V Brně dne 30. 11. 2015	

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry - Potěrové materiály - Vlastnosti a požadavky
- ČSN EN 13892-2 Metody zkoušení potěrových materiálů - Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku
- Naik and B.W. Ramme, "High Strength Concrete Containing Large Quantities of Fly Ash", ACI Materials Journal, 86 (2), 111-117 (1984)
- Výzkumné zprávy a protokoly ústavu THD, příspěvky ze sborníků konferencí, odborné články, časopisy, normy.

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je vývoj vysokopevnostního potěru na cementové bázi pro těžké průmyslové podlahové systémy včetně studia vlivu druhotných surovin na fyzikálně mechanické vlastnosti. Důraz je kladen na posouzení vlivu chemického složení, granulometrie a dávky druhotných surovin na výsledné vlastnosti potěru.

1. Teoretická část bude věnována současnému stavu problematiky průmyslových podlah v ČR i ve světě a to především z hlediska požadavků na mechanickou a chemickou odolnost podlahových potěrů.
2. Teoretická část práce je zaměřena na možnosti substituce cementu popílkem (druh a míra substituce cementu popílkem).
3. Na základě dostupné odborné literatury budou ověřeny možnosti povrchové úpravy finální podlahy s cílem zvýšení odolnosti vůči mechanickému namáhání (vsypy).
4. Současně budou ověřeny možnosti povrchové úpravy finální podlahy s cílem zvýšení odolnosti vůči chemickému namáhání (hydrofobizace, krystalizační přísady).
5. Praktická část bude zaměřena na stanovení optimální dávky druhotné suroviny s cílem zvýšit fyzikálně mechanické vlastnosti.
6. Budou ověřeny fyzikálně-mechanické vlastnosti vyvíjeného podlahového potěru v souladu s normou ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry - Potěrové materiály - Vlastnosti a požadavky.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).
- 3.

.....

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Druhotné suroviny jsou v dnešní době stále častěji využívaným materiálem v mnoha odvětvích stavebního průmyslu. Tato práce se zabývá zhodnocením současného stavu v oblasti průmyslových podlahových systémů a jejich finálních úprav pro zvýšení mechanické i chemické odolnosti. Zároveň se tato práce zaměřuje na možnosti využití druhotných surovin při vývoji nových průmyslových podlah. Cílem práce je částečně nahradit silikátové pojivo v surovinové skladbě cementového potěru druhotnou surovinou za dosažení jeho stejných či lepších fyzikálně mechanických vlastností. Tato část je také ověřena experimentálně a jejím závěrem je návrh optimální receptury podlahového potěru s využitím druhotné suroviny.

Klíčová slova

průmyslová podlaha, potěr, druhotná surovina, popílek, vsyp, hydrofobizace, odolnost

Abstract

Secondary raw materials are nowadays increasingly used as materials in many sectors of the construction industry. This thesis evaluates current state of industrial floor systems and their final adjustments to increase its mechanical and chemical resistance. At the same time this thesis focuses on the possibilities of using secondary raw materials in the development of new industrial floors. The goal is to partly replace the silicate binder in the raw material mix of cement screed with a secondary raw material to achieve the same or better physical and mechanical characteristics. This part is also verified experimentally, and its conclusion is to design an optimal recipe of screed by using secondary raw materials.

Keywords

industrial floor, floor screed, waste materials, fly ash, filling, hydrophobic impregnation, resistance

Bibliografická citace VŠKP

Petr Figala *Studium možnosti zvýšení odolnosti průmyslových podlah s využitím druhotných surovin*. Brno, 2016. 85 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2016

.....
podpis autora
Petr Figala

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval prof. Ing. Rostislavu Drochytкови, CSc., MBA, jako vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho odborné vedení a zároveň Ing. Michaela Fiedlerové a Ing. Vítu Černému, Ph.D. za jejich cenné připomínky, rady a strávený čas při vypracování této práce.

Bakalářská práce byla vytvořena s využitím infrastruktury Centra AdMaS při řešení projektu TA04010143 „Výzkum a vývoj nového systému podlah na silikátové bázi pro extrémní mechanické a chemické zatížení“ podporovaného Technologickou agenturou České republiky.

Obsah

Úvod	9
1 TEORETICKÁ ČÁST	10
1.1 Úvod do problematiky podlah	10
1.1.1 Základní funkce a požadavky.....	10
1.1.2 Dělení podlahových konstrukcí	11
1.2 Průmyslové podlahy	12
1.2.1 Skladba průmyslových podlah.....	13
1.2.2 Betonové průmyslové podlahy dle konstrukce nosné vrstvy	14
1.2.3 Typy povrchů průmyslových podlah	16
1.2.4 Spáry.....	16
1.3 Potěry	17
1.3.1 Potěry – dle způsobu zpracování	17
1.3.2 Potěry – dle pojiva.....	18
1.4 Suroviny pro výrobu cementového potěru.....	21
1.4.1 Cement	21
1.4.2 Kamenivo.....	23
1.4.3 Voda	23
1.4.4 Přísady	24
1.4.5 Příměsi.....	26
1.4.6 Výztuže	38
1.5 Finální úpravy povrchů průmyslových podlah	42
1.5.1 Systém „mokrý do mokrého“	42
1.5.2 Systém „mokrý do suchého“	43
1.5.3 Systém „suchý do mokrého“ – Minerální vsypy	43
1.5.4 Impregnace povrchu	48
1.6 Zkoušky cementových potěrů	51
1.6.1 Ověření reologických vlastností	51
1.6.2 Zkoušení na čerstvých hmotách	52
1.6.3 Zkoušení ztvrdlého povrchu	53
1.6.4 Zkoušení podkladního tělesa.....	54
2 CÍL PRÁCE	56
3 METODIKA PRÁCE.....	57
3.1 ETAPA I. – Volba vhodných vstupních surovin a tvorba receptur	57
3.2 ETAPA II. – Volba optimálního způsobu výroby, ošetřování a uskladňování vzorků ..	58

3.3	ETAPA III. – Výroba zkušebních těles, zkoušení a vyhodnocení	59
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	60
4.1	ETAPA I. – Volba vstupních surovin a tvorba receptur	60
4.1.1	Použité materiály	60
4.1.2	Příprava receptur	62
4.2	Etapa II. – Optimální způsob ošetřování zk. těles	63
4.2.1	Shrnutí	64
4.3	Etapa III. – Výroba zk. těles, zkoušení a vyhodnocení	65
4.3.1	Ověření vodního součinitele	65
4.3.2	Volba vodního součinitele	66
4.3.3	Zkušební vzorky	68
4.3.4	Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku	69
4.3.5	Odolnost proti obruš metodou Böhme	72
4.3.6	Nasákavost	73
4.3.7	Objemová hmotnost	74
4.3.8	Shrnutí	76
5	ZÁVĚR	78
6	SEZNAMY	79
6.1	Seznam použité literatury	79
6.2	Seznam obrázků	84
6.3	Seznam tabulek	85

Úvod

V současnosti se stále častěji využívají recyklované materiály či odpady z různých odvětví průmyslové výroby. Ve stavebnictví tomu není jinak. Odpady ze stavebnictví nebo z jiných průmyslů mohou být dále využity jako sekundární surovina. K důvodům využití těchto materiálů se řadí ekologické a samozřejmě ekonomické hledisko. Zpracování odpadů jako druhotné suroviny snižuje množství skládek a tím odlehčuje životnímu prostředí. Cenově jsou takové suroviny dostupnější. Pro spotřebitele by mělo využití druhotných surovin znamenat nižší pořizovací cenu ve srovnání se surovinami primárními (přírodními) a pro producenta odpadů zároveň nižší náklady na likvidaci či uskladňování těchto surovin. Dalším důvodem k volbě druhotných surovin ve stavebnictví je neobnovitelnost zdrojů nerostů. [1]

Nevýhodou druhotných surovin je nižší kvalita a nekonzistentní vlastnosti ve srovnání s primárními surovinami. Před využitím odpadních surovin je třeba správně zvolit jejich druh, zdroj a ověřit jejich vlastnosti laboratorně. Avšak s využitím vhodných druhotných surovin, potřebných přísad, příměsí a správných výrobních postupů je možné docílit stejných nebo i lepších vlastností finálního produktu. [2]

V dnešní době je neutuchajícím trendem výstavba velkých logistických centech, obchodních center, takzvaných „open space“ kanceláří, patrových garáží a dalších otevřených ploch. S tímto trendem roste poptávka po kvalitnější a levnějších řešeních podlahových systémů pro tyto provozy. Nové technologie a materiály využívající druhotné suroviny jsou při správném návrhu a provedení ideálním řešením i pro tento druh stavebních konstrukcí.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Úvod do problematiky podlah

Legislativní problematikou podlah v České republice se zabývá norma ČSN 74 4505 Podlahy: Společná ustanovení. [3]

Podlahy definujeme jako jednovrstvé či vícevrstvé konstrukce, které tvoří vrchní části vodorovných a šikmých konstrukcí a společně se zabudovanými podlahovými prvky, dilatačními a pracovními spárami zajišťují požadované funkční vlastnosti podlahy. Do podlah se zahrnují také úpravy styků a přechodů na stěny i proniků ostatních konstrukcí podlahou. Podlaha vždy bezprostředně leží a navazuje na nosný podkladový materiál, kterým může být v nejnižším patře podkladní betonová vrstva a ve vyšších patrech se jedná o stropní konstrukce. Na konstrukce podlah jsou kladeny podmínky z hlediska jejich využití, typu a umístění. [4]

1.1.1 Základní funkce a požadavky

Funkcí podlah je zkvalitnění povrchu podkladů tak, aby byl umožněn v daných podmínkách bezproblémový provoz. Druhá a nezanedbatelná je estetická funkce podlah s ohledem na místo použití.

U podlah na stropních konstrukcích se posuzuje vzduchová a kročejová neprůzvučnost. U podlah, bez ohledu na jakém podkladu spočívají, se dále posuzují tepelně technické vlastnosti, hydroizolační vlastnosti, průhyb, odolnost proti nárazu, odolnost proti soustředěnému zatížení, odolnost proti vodě a vlhkosti, součinitel odrazu světla, čistitelnost, obrusnost, nasákavost, mrazuvzdornost, odolnost proti ohni, odolnost proti chemickým vlivům, pružnost aj. [5]

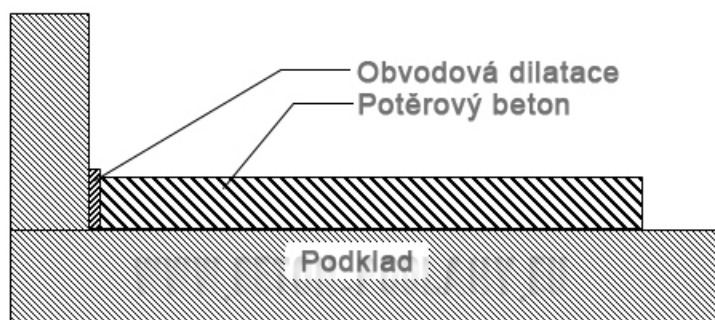
Podlahy se mohou dělit podle mnoha kritérií, zde uvádím některá z nich:

- Dle zatížení – Podlahy (zatížení $\leq 5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$) a Průmyslové podlahy (zatížení $> 5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$).
- Dle funkce podlahy – Estetická (upravuje vzhled místnosti), Provozní (statické parametry, hledisko životnosti a údržby), Akustická (zabezpečuje kročejovou neprůzvučnost), Tepelně nebo hydro-izolační.
- Dle druhu materiálu použitého na nášlapné vrstvy – Dřevěné (palubky, vlysy, parkety), Dlažba (keramické kamenné, betonové), Mazaniny a potěry (beton, cementové nebo anhydritové potěry), Podlahové povlaky (linolea, PVC, stěrky), Zvláštní podlahy (dutinové kce., roštové kce., visové kce.).

1.1.2 Dělení podlahových konstrukcí

1.1.2.1 Podlaha spojená s podkladem (spřažená)

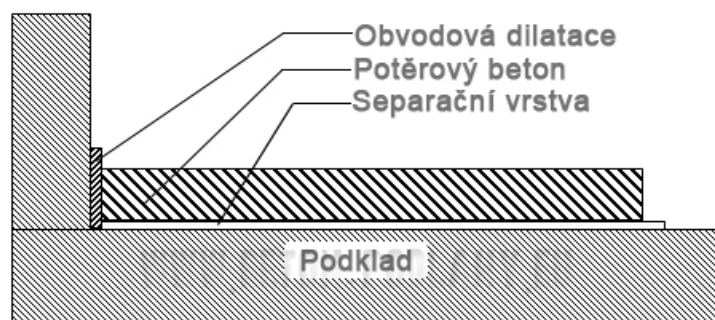
Je to podlaha, která leží přímo na podkladu, např. na stropní nebo základové desce. Podlaha spojená s podkladem zpravidla nevykazuje stlačitelnost a tak je možné používat potěrové betony menších pevností než u plovoucích podlah. Podklad musí být zbaven uvolněných částí c, mastnot a jiných nečistot. U savých podkladů musí být použita tzv. penetrace, aby nedošlo k předčasnému úbytku vody z potěru.



Obr. 1 Řez podlahovou konstrukcí - podlaha spřažená s podkladem

1.1.2.2 Podlaha na separační vrstvě

Minimální tloušťka potěru je od 30 mm. Separální vrstva je tvořena nejčastěji PE folií, dříve se také používal voskovaný papír, přičemž jednotlivé pásy separační vrstvy musí být vodotěsně spojeny. Slouží k oddělení potěrové vrstvy od podkladu. To je například vhodné, pokud aplikujeme lité potěr jako vyrovnávací vrstvu na savý a pórovitý povrch. Separální vrstva také může oddělovat různé typy materiálů. Působení sil je u toho typu konstrukce rovnoměrně rozloženo a působí i na podklad.



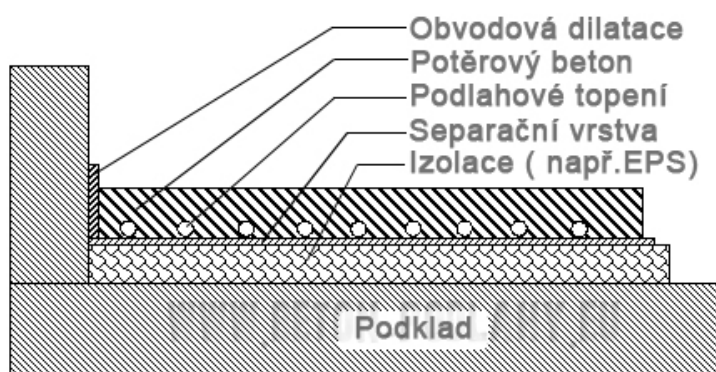
Obr. 2 Řez podlahovou konstrukcí – podlaha na separační vrstvě

1.1.2.3 Podlaha na izolační vrstvě

Minimální tloušťka potěru je od 35 mm. Podlahy, které se hojně vyskytovaly s příchodem polystyrenové tepelné izolace - protože se jedná o stlačitelný podklad, je nutné používat pro podlahy materiál nejen s výbornou pevností v tlaku, ale i za ohybu, což odpovídá litým podlahovým potěrům. Veškeré síly, které působí na betonovou podlahu uloženou na izolační vrstvě, musí absorbovat právě jen samotná betonová podlaha. Jako izolační vrstva se nejčastěji používá polystyren (EPS), ale jsou i jiné druhy izolace, např. XPS, PUR, PIR a další. Izolační vrstva nejčastěji slouží jako zvuková nebo tepelná izolace. Izolační vrstvu musí vždy od betonové podlahy dělit separační vrstva a podkladní těleso musí být čisté a zbavené všech nerovností, tak aby na ni izolační vrstva dolehla po celé ploše. Výška betonové podlahy je závislá na vlastnostech potěru a na stlačitelnosti izolační vrstvy.

1.1.2.4 Podlaha s podlahovým topením

Minimální tloušťka potěru je od 45 mm, přičemž je závislá na poloze topení v potěru. Jedná se o přímo vytápěný potěr, obvykle položený jako plovoucí potěr. Návrh a realizace topného potěru probíhá dle stejných pravidel jako u potěru na izolační vrstvě. [6] [7]



Obr. 3 Řez podlahovou konstrukcí – podlaha s izolační vrstvou a podlahovým topením

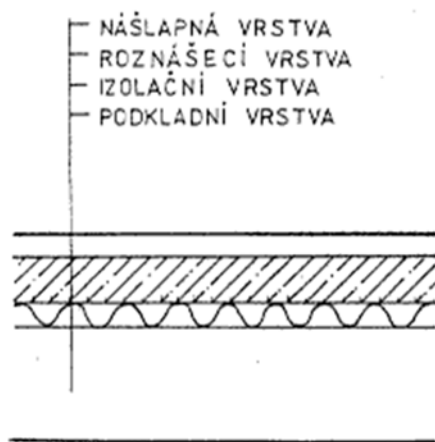
1.2 Průmyslové podlahy

Dle názvosloví ČSN 74 4505 průmyslovými podlahami rozumíme podlahovou konstrukci, která je zatížena rovnoměrným zatížením větším než $5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$, nebo pohyblivým zatížením manipulačními prostředky, jejichž celková hmotnost je větší než 2000 kg. Průmyslovou podlahou je i konstrukce se zvláštními požadavky na odolnost proti obrušení, kontaktnímu namáhání, chemickému působení, a to i v případě, že zatížení je menší než předepisují výše uvedené hodnoty. [3]

Průmyslové podlahy mohou působit jako poměrně jednoduchá betonová konstrukce, ale i ony mají své problémy a záludnosti. O jejich důležitosti v moderním stavebnictví svědčí velké množství typů a technických řešení betonových podlah. Díky tomu vzniklo u nás i ve světě velké množství specializovaných firem, velice často s vlastními sofistikovanými technologiemi. [8]

Povrch průmyslových podlah musí být rovný, spáry stejnoměrně široké, rovné a nepropadlé, prvky podlah jednotné a styk se stěnami plynulý. Výše uvedená norma také stanovuje nároky na rovinatost podlahy, související mezní odchylky pro podlahy a to v závislosti na způsobu využívání konkrétních místností. [9]

1.2.1 Skladba průmyslových podlah



Obr. 4 Základní schéma skladby průmyslové podlahy

1.2.1.1 Podkladní vrstva

Podkladní vrstvu tvoří stropní konstrukce nebo upravený terén. Tato vrstva ovlivňuje svými vlastnostmi správnou funkci celé podlahové konstrukce. Podkladní vrstvě na terénu je možné zlepšit vlastnosti například přidáním svislých nosných prvků. Mezi ně se počítají polity z prostého betonu, šterkopískové pilíře Franki nebo Keller nebo pilíře zhotovené stabilizací zeminy vápnem. V některých případech je možné část podloží vyměnit, tak aby byla zajištěna dostatečná tuhost podsypu pod podlahou a zároveň odpovídaly hodnoty zkosení skutečnému zatížení podlahy. [10]

1.2.1.2 Izolační vrstva

Tato vrstva se do podlahové skladby navrhuje z důvodu zajištění tepelné a zvukové izolace a zároveň může plnit izolační funkci proti působení vlhkosti či chemickým vlivům.

1.2.1.3 Roznášecí (nosná) vrstva

Jedná se o velice důležitou vrstvu, jelikož kvalita jejího provedení přímo ovlivňuje funkčnost nášlapné vrstvy a tím z velké míry životnost celé podlahy. Nosné vrstvy jsou nejčastěji realizovány z betonové mazaniny. V takovém případě se liší svou konstrukcí. Využívané jsou prosté betonové desky, ale také mohou být vyztuženy ocelovou sítí, drátky nebo vlákny a provádí se i předepnuté betonové podlahy. Dalšími možnostmi provedení roznášecí vrstvy jsou mazaniny z lehkého betonu nebo na bázi anhydritu a xylolitu. U posledních dvou jmenovaných musí být zabráněno přístupu vlhkosti.

1.2.1.4 Nášlapná vrstva

Existuje několik typů podlahovin, z kterých může být nášlapná vrstva zhotovena, ale výběr té správné by měl být závislý na požadovaných vlastnostech finální podlahy. Zvolený materiál i technologie nášlapné vrstvy by měly v daných podmínkách vykazovat dobrou trvanlivost, nenáročnou výrobu a montáž a nízké nároky na údržbu.

1.2.2 Betonové průmyslové podlahy dle konstrukce nosné vrstvy

Nejčastějším typem podlahových konstrukcí v středně těžkém a těžkém průmyslovém provozu jsou podlahy na separační vrstvě, tzv. plovoucí podlahy. Tento typ podlah dále můžeme dělit: [8]

1.2.2.1 Prosté betonové podlahy

Jedná se o velice často využívaný typ betonových podlah. V dnešní době se již nedoporučuje tyto podlahy využívat při předpokládaném vyšším zatížení, jelikož prostý beton špatně snáší tahová napětí vznikající od dlouhodobých i krátkodobých namáhání podlah.

Technologické požadavky na prosté betonové podlahy jsou: minimální tloušťka betonu 150 mm a minimální pevnostní třída betonu C 12/15. Betony o vyšší pevnosti mají sklony k výraznějšímu smršťování, a proto nejsou vhodným řešením pro prosté betonové podlahy. Samotné smršťování je u betonových podlah nutné řešit spárami, ať už dilatačními nebo smršťovacími.

Nevýhodou prostého betonu u průmyslových podlah je především nekontrolovatelné a náhodné praskání a nutnosti udržování většího množství dilatačních spár než u vyztužených betonových desek. Případně opravy prasklin zvyšují dodatečně výslednou cenu této betonové podlahy. [8]

Výhodou však je u prostých betonových podlah jejich samotná pořizovací cena.

1.2.2.2 Slabě vyztužené betonové podlahy

Jedná se o betonové podlahy vyztužené nejčastěji pomocí svařovaných ocelových sítí, tzv. kari sítí. Výztuže se obvykle umísťují do spodní části betonové desky. Technologické požadavky na tento typ podlahových desek jsou obdobné jako u prostých betonových desek. Využívají se hlavně u větších ploch (2000–7500 m²).

Vyztužení pomocí ocelových sítí umožňuje do určité míry zvětšit vzdálenost dilatačních spár, avšak nezabraňuje vzniku smršťovacích spár při zrání betonu. [8]

1.2.2.3 Železobetonové podlahy

Při navrhování železobetonových podlah se záměrně počítá se vznikem trhlin. Výztuže jsou uloženy v jedné či dvou vrstvách, znovu nejčastěji ve formě svařovaných kari sítí, případně vázaných ocelových sítí. Pro zabránění kontrakce a následných smršťovacích trhlin se umísťuje výztužná vrstva přibližně do poloviny výšky desky, případně až 50 mm pod povrch betonové desky. Tato výztuž dokáže zároveň přenášet i takové napětí vznikající interakcí mezi betonovou deskou a podloží. V případě extrémně namáhaných podlah se umísťují výztuže pod horní i spodní povrch betonové desky.

Výhodou železobetonových desek je jejich vysoká únosnost, nižší počet spár a předpokládají se nižší náklady na údržbu i provoz. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena a větší náročnost na výrobu. [8]

1.2.2.4 Vláknobetonové podlahy

Pro zlepšení vlastností prostého betonu se u betonových podlah velice často využívají různé typy vláken. Nejpoužívanější jsou ocelová vlákna, ale existuje celá řada druhů a typů vláken. Liší se pořizovací cenou, způsobem zpracování s čerstvým betonem, velikostí, dávkováním, fyzikálně chemickými vlastnostmi aj.

V ideálním případě jsou vlákna rovnoměrně rozprostřena v celém objemu betonové desky a tak maximálně snižují negativní projevy zrání betonu anebo zvyšují jeho výsledné pevnosti. [10]

1.2.2.5 Předpjaté betonové podlahy

Předpínání betonových podlah není v české republice příliš rozšířenou technologií. Do betonové desky se zavádí vnější tlakové zatížení, a proto tahová napětí vznikající působením zatížení nepřesahují únosnost betonu v tahu. Díky tomu mohou vznikat podstatně větší plochy bez dilatačních spár, které jsou slabých místem betonových průmyslových podlah. [8]

1.2.3 Typy povrchů průmyslových podlah

Základní rozdělení povrchových úprav betonových desek dle jejich skladby:

1.2.3.1 Jednovrstvé povrchové úpravy

Úprava povrchu probíhá současně s betonáží nosné desky. Mezi tyto povrchové úpravy se počítají potěry a vsypy.

1.2.3.2 Vícevrstvé povrchy

Po betonáži nosné desky je před provedením finální úpravy povrchu nutná technologická přestávka. Mezi tyto typy povrchových úprav patří hlazené a samonivelační stěrky, dlažby a nátěry.

1.2.4 Spáry

U podlah rozlišujeme tři základní typy spár podle jejich technologických a statických funkcí na dilatační, kontrakční a pracovní spáry.

1.2.4.1 Dilatační spáry

Dilatační spáry umožňují vzájemný pohyb jednotlivých konstrukčních celků po celou dobu životnosti stavby. Při tvorbě dilatačních spár je třeba respektovat dilatační spáry v nosné konstrukci a podkladní vrstvě. Dilatační spáry je také třeba vytvořit mezi různými topnými okruhy. Nutné je dilatovat vždy jednotlivé místnosti s dodržáním dilatačních celků nejčastěji v rozmezí 40 až 60 m², přičemž tato hodnota musí být uvedeny ve stavebním projektu. V případě, že poměr stran místnosti větší jak 1 : 3, musí být místnost rozdělena tak, aby dilatační celky nepřevýšily tento poměr. [11]

Dilatační spáry jsou zhotovovány buď přímo vymezení vložkou, nebo vyřezáním dvojřezem diamantovou pilou. Dilatační vložky urychlují výstavbu a usnadňují ošetřování spár, ale jsou dražší a v mnoha případech se jejich použití nijak neprojeví na prodloužení životnosti podlahy. Často vadou u spár jsou odštípané hrany, ale u dilatačních vložek se tyto praskliny přesunují vedle dilatačního materiálu, tudíž problém neřeší a naopak komplikují jeho opravu. Řezané dilatační spáry se plní odolným tmelem a to z důvodu zabránění štípání hran a zanášení spár nečistotami. Po vyřezání se dilatační spáry zaplňují provizorně různými typy šňůr nebo provizorními tmely. Po dotvarování podlahy se dilatační řezy vyčistí a zaplní definitivním vysoce houževnatým tmelem, který zabraňuje poškození hran podlahových desek. [12]

1.2.4.2 Kontrakční spáry

Kontrakční neboli smršťovací spáry vymezují velikost popí umožňující zejména hydratační smrštění betonové vrstvy. Při správném rozdělení ploch smršťovacími spárami nedojde k tvorbě divokých neřízených trhlin v betonové vrstvě. Velikost polí je v přímé vazbě na tloušťku vrstvy a způsob výztuže betonu.

Všechny betonáže lze uskutečňovat v páslech nebo plochách jakéhokoliv rozměru s tím, že proříznutí spár, dělicích zabetonovanou plochu na odpovídající části musí být provedeno nejdéle do 20 hodin po zhotovení. [4]

1.2.4.3 Pracovní spáry

Vzdálenost pracovních spár odpovídá zvolené šířce betonového pásu a měla by být násobkem budoucí velikosti pole. Například v případě dvojnásobku musí být ve velmi krátké době proveden řez mezi oběma bočnicemi, aby nedošlo k tvorbě neřízených trhlin. Ve stejném čase by měly být vyřezány kontrakční spáry, kolmé na podélné pracovní.

Pracovní spáry tvoří systém odpovídající největšímu možnému nebo danému šířkovému rozměru pracovního nástroje, kterým je vibrační lať, nebo kapacitě výroby a dodávky betonu. Vymezit je lze pomocí odnímatelných ocelových bočnic, úhelníků, dřevěných latí, hranolů nebo zabudovanými dělicími lištami, které tvoří ztracené bednění. Pracovní spáry je nutné prořezat pouze na povrchu do hloubky, která je nezbytná pro jejich utěsnění, nejvíce do hloubky 15 mm. [4]

1.3 Potěry

1.3.1 Potěry – dle způsobu zpracování

Podlahové potěry jsou nedílnou součástí většiny podlahových skladeb, v nichž tvoří nosnou plochu pod finální nášlapnou vrstvou. Jsou na ně kladeny poměrně náročné požadavky, jako je tvarová stabilita, pevnost, odolnost vůči klimatickým, mechanickým i chemickým vlivům. V neposlední řadě také na časové požadavky dané stavby. V každém případě je to dosažení maximální spolehlivosti a minimalizace vzniku poruch. Výběr vhodného materiálu není jen záležitostí pevnostních charakteristik, ale také dalších ovlivňujících faktorů. [13]

1.3.1.1 Suchý potěr

V minulosti se na trhu vyskytovaly převážně tzv. suché, či polosuché potěry. Nejde pouze o potěry na bázi cementového pojiva, ale tento způsob zpracování se týká i anhydritových potěrů. Výrobci u takových podlah negarantují výslednou pevnost, ale pouze poměr cementu a písku. Výsledná pevnost je závislá na kvalitě zpracování, ale obecně platí, že výsledná pevnost suchého podlahového potěru je horší než u samonivelačního potěru.

Suché potěry jsou vhodné pro vyrovnání stávajících betonových podkladů, výtluků nebo jako krycí vrstvy např. jako ochranná vrstva hydroizolace základové desky apod. Výhodou tohoto typu potěru je, že téměř vylučuje mokré stavební procesy, má nižší hmotnost a tím méně zatěžuje nosné i nenosné konstrukce budovy, což zejména v rekonstruovaných budovách eliminuje problémy se statikou. Další výhodou je, že suchý potěr je pochůzí mnohem dříve po položení, čímž se zkracuje doba stavebních prací. [6]

1.3.1.2 Samonivelační (lité) potěr

Tento typ potěru se vyznačuje snadnou aplikací, samonivelací povrchu, garantovanou pevností a lepší tepelnou vodivostí. Litá směs je lehce čerpatelná, je možné ji čerpat do výšky až 100 m a do dálky až 200 m. Lité potěry se vyrábějí v betonárnách a na stavbu se dopravují v čerstvém stavu autodomíchávači. Vysokou tekutostí je zajištěna 100% hutnost a ideální rovina. Výrobci zpravidla garantují u samonivelační betonové podlahy konečnou pevnost, která není ovlivněna způsobem zpracování jako u běžného potěru, je ale nutné nepřesáhnout dobu zpracovatelnosti. [6]

Lité betonové podlahy byly v minulosti doménou převážně anhydritových potěrů. Až s příchodem nových technologií a přísad je možné v takovéto formě používat i cementové potěry. Obvyčejný cementový potěr postrádá samonivelační schopnosti.

1.3.2 Potěry – dle pojiva

1.3.2.1 Cementový potěr

Jde o nejstarší a jeden z nejpoužívanějších typů podlahových potěrů. V posledních letech se začal na trhu rozšiřovat lité cementové podlahy, čímž začaly konkurovat anhydritovým. Cementové podlahy dobře zvládají vlhkost, naopak probíhání u nich objemové změny a jsou náchylné na tvarové deformace, ovlivňované mnoha faktory, jako tloušťka vrstvy, rychlost vysušování, teplota na stavbě, nárazové změny teploty apod. Z toho vyplývá nutnost provádět u cementových potěrů tzv. smršťovací spáry. Obvyklá objemová hmotnost zatvrdlého cementového litého potěru se pohybuje kolem $2\,200\text{ kg/m}^3$, u cementového potěru je objemová hmotnost přímo ovlivněna způsobem zpracování a nejčastěji se pohybuje v rozmezí $1\,200\text{--}1\,800\text{ kg/m}^3$.

Suchý cementový potěr je směs kameniva ($D_{\max} = 4\text{ mm}$, cementu, příměsí a přísad. Jediná voda, kterou obsahuje, je zbytková vlhkost použitého kameniva. Nejčastěji se využívá jako podkladní, nebo zasykový potěr (např. pod zámkovou dlažbu, při zasypávání výkopů, při zpevňování podkladu, atd.) Je možné jej také využít na stavbě, jako základní surovinu pro výrobu betonu a domíchat jej podle potřeby. Na stavbu se dopravuje sklápěcími vozidly, nebo kontejnery.

Zavlhhlý cementový potěr je vhodný jako podklad pro všechny typy podlahových krytin i v místech s trvalou vlhkostí. Jako jediný potěrový materiál lze aplikovat ve spádech. Nevyžaduje výztuž, ale je vhodná pro zvýšení pevnosti v tahu za ohybu, tzn. v případech kdy je použit na izolační vrstvu. Na stavbu se dopravuje pomocí sklápěcích vozů nebo kontejnerů.

Litý cementový potěr nachází uplatnění hlavně v místech, kde není možné použít anhydritové potěry z důvodu trvale vlhkého prostředí. Oproti zavlhhlým cementovým potěrům jsou samonivelační dražší, ale provedení samotné práce vychází obecně levněji díky menší pracnosti. Odpadá nutnost hutnění a doba zpracovatelnosti je delší, zejména v letních měsících. Mají také lepší fyzikálně mechanické vlastnosti, hlavně pevnost v tahu za ohybu. Na stavbu se dopravují autodomíchávači a dále se čerpají šnekovými, případně stacionárními pístovými čerpadly.

1.3.2.2 Anhydritový potěr

V současné době nejspíše nejpoužívanější typ betonových podlah, známý také jako síranovápenatý potěr. Anhydritové podlahy mají vysokou tepelnou vodivost, jsou tedy vhodné v kombinaci s podlahovým vytápěním. Nevýhodou je nemožnost použití v exteriéru a v prostorách se zvýšenou vlhkostí, jelikož anhydritové podlahy jsou na ni citlivé. Při namočení anhydritu dochází ke snížení pevnosti, v extrémních případech může jít až o 90% snížení. Po následném vysušení se anhydritu vrací původní parametry, pokud však nebyl poškozen ve stavu snížené pevnosti.

Na druhou stranu je možné anhydritový potěr pokládat ve velkých plochách bez dilatace, potěr je také tvarově stálý a po reakci pojiva už nejsou možné žádné tvarové deformace. Při zrání anhydritového potěru vzniká hustá struktura krystalů, které se prováží a vytvoří velmi pevný celek. Objemová hmotnost u zatvrdlého anhydritového potěru se pohybuje kolem 2 200 kg/m³. Doprava na stavbu je obdobná jako u cementových litých potěrů.

1.3.2.3 Magnezitový potěr

Magnezitový potěr se vyrábí z kaustického magnezitu, přísad (křemenná, dřevěná nebo korková moučka) a vodného roztoku soli, obvykle chloridu hořečnatého. Kaustický magnezit, jemně mletá kamenná moučka, která se vypaluje z přírodního magnezitu. Magnezitový potěr o hustotě suroviny do 1600 kg/m³ se označuje jako xylolitový potěr. Jako přísada příp. plnivo se používá mj. dřevěná nebo korková moučka, odtud označení xylolitový potěr. Jednovrstvé xylolitové potěry často slouží jako podklad pro podlahové krytiny, které lze pokládat po cca třech týdnech, pokud je obsah vlhkosti nižší než požadovaná normová hodnota. Stanovení vyzrálosti magnezitového potěru pro kladení podlahových krytin předpokládá velkou zkušenost. Často je pod poměrně tvrdou povrchovou vrstvou měkký podklad. Ještě problematičtější je situace u starých dvouvrstevných xylolitových potěrů, u nichž jsou povrchové vrstvy zpravidla impregnovány voskem nebo podobným prostředkem.

Magnezitová průmyslová podlaha je po zhotovení po třech dnech pochůzí a pojízdná pro lehkou mechanizaci a po týdnu zatížitelná, přičemž plné mechanické odolnosti je dosaženo po cca 28 dnech, to vše při teplotě cca 20°C a tl. 15-20 mm. Magnezitové potěry dosahují poměrně vysokých pevností, až 80 MPa.

Vysychání magnezitové podlahy nesmí být bráněno zakrytím nebo nedostatečným větráním.

Při rozestavování strojů, zařízení a skladového vybavení z oceli, hliníku a litiny je nutno mít na zřeteli nutnost chránit plochy, které přicházejí do přímého kontaktu s průmyslovou magnezitovou podlahou pomocí antikorozní ochrany odolné proti magnesiumchloridu, a to nátěrem těchto ploch nebo vhodnou podložkou, například žárově pozinkovanou nebo umělohmotnou.

Magnezitové podlahy jsou elektricky vodivé, proto jsou vhodné pro antistatické podlahy. Další výhoda je v tom, že jsou odolné proti olejům, pohonným hmotám, rozpouštědlům apod.

1.3.2.4 Asfaltový potěr

Asfaltový lité potěr má řadu předností, aplikace se může provádět za jakéhokoliv počasí, asfaltová podlaha je po vychladnutí (pokládá se při teplotě nad 200°C) pochůzí a může se na ní aplikovat finální krytina. Asfaltová podlaha je také vodotěsná, některé zdroje uvádějí parotěsnost. V asfaltovém potěrovém betonu není žádný dehet, podlaha je bez zápachu a tak je možné je používat i v interiéru budov. Pro svoji odolnost proti vlhku jsou ideální pro použití ve sklepech, garážích, dílnách apod. Asfaltová podlaha má také dobré tepelně izolační a zvukově izolační vlastnosti. Nevýhoda asfaltové betonové podlahy je v pořizovací ceně, která je 2-3x vyšší než u podlahy anhydritové a cementové.

1.3.2.5 Betonové podlahy

Vyrábějí se z lehce zpracovatelného až samozhutnitelného betonu s rozptýlenou výztuží. Betonové podlahy jsou vhodné na veškeré nosné konstrukce staveb z betonu namáhané jak vnitřními silami, tak zvýšeným vnějším namáháním. Také jsou vhodné například pro redukci klasické výztuže v konstrukcích s vysokým stupněm vyztužení nebo s komplikovaným tvarem. Oproti cementovým potěrům obsahuje kamenivo o velikosti zrna až $D_{\max} = 16$ mm. Lehce zpracovatelný až samozhutnitelný beton je vyráběn a dodáván v souladu s normou ČSN EN 206-1.

1.3.2.6 Lehčené cementové směsi

Litá vyrovnávací a izolační směs na bázi pěnobetonu, případně s doplněním polystyrénu umožňuje snadné a rychlé provedení tepelné izolace a vyrovnání jakéhokoliv podkladu bez ohledu na velikosti a rozsahu nerovností nebo výskytu instalačních rozvodů. Jde o ideální podklad litéch samonivelačních směsí. Jsou dodávány v objemových hmotnostech 300–1600 kg/m³.

1.4 Suroviny pro výrobu cementového potěru

V této kapitole budou popsány nejčastěji využívané suroviny pro výrobu cementového potěru. Vypsány jsou primární i druhotné suroviny a v poslední části také výztuže, které se používají buď přímo do cementového potěru, nebo při betonáži zbytku podlahové konstrukce.

1.4.1 Cement

Cement je polydisperzní partikulární anorganická látka s hydraulickými vlastnostmi. To znamená, že po smíchání s vodou postupně tuhne a tvrdne. Po zatvrdnutí na vzduchu i ve vodě zachovává svoji pevnost a stálost ve vodě. Hydraulické tuhnutí je důsledkem hydratace vápenatých silikátů a aluminátů.

Cementy jsou definovány normou ČSN EN 197-1 ED. 2 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. Dle této normy se dělí:

Tabulka 1 Druhy cementů dle normy ČSN EN 197-1 ED. 2

Druhy cementů podle směsnosti					
Druhy cementu	Název cementu	Označení	Obsah složek v % hmotnosti		
			Slínek	Složka	Plnivo
I.	Portlandský	I	95 - 100	-	0 - 5
II.	Portlandský směsný	II/A - X	80 - 94	6 - 20	0 - 5
		II/B - X	65 - 79	21 - 35	0 - 5
III.	Vysokopecní	III/A	33 - 64	36 - 65	0 - 5
		III/B	20 - 34	66 - 80	0 - 5
		III/C	5 - 195	81 - 95	0 - 5
IV.	Pucolánový	IV/A	65 - 89	11 - 35	0 - 5
		IV/B	45 - 64	36 - 55	0 - 5
V.	Směsný	V/A	40 - 64	18 - 30	0 - 5
		V/B	20 - 39	30 - 50	0 - 5

1.4.1.1 Fyzikální vlastnosti cementů

Norma ČSN EN 197-1 ED. 2 udává požadavky normalizovanou 28 denní a počáteční 2 a 7 - denní pevnost v tlaku, počátek tuhnutí a objemovou stálost.

Počátek tuhnutí je minimálně 45 až 60 minut, obvykle v rozmezí 3 až 5 hodin a maximální doba tuhnutí je 12 hodin. Dobu tuhnutí ovlivňuje vodní součinitel nebo různé vnější vlivy jako je teplota. Tuhnutí je fyzikální jev, vyplývající z růstu krystalů hydratujícího cementu a z kapilárního působení vody. Oba účinky jsou důsledky chemických změn. Smrštění cementového kamene za 28 dní je 0,5 až 0,8 mm·m⁻¹, což z velké míry ovlivňuje výsledné smrštění betonu.

Objemová hmotnost cementu je $3100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Měrný povrch ovlivňuje rychlost hydratace a smršťování. Je závislý na velikosti zrn cementu (obvykle 1 až $250 \mu\text{m}$). S vyšším měrným povrchem (obvykle 320 až $440 \text{ m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$) roste rychlost hydratace cementu, zároveň však roste výsledné smrštění cementového kamene. Zároveň rostou nároky na množství záměsové vody, jelikož na smáčení zrn je jí třeba větší množství.

Hydratační teplo je tepelným projevem hydratace cementu, závisí na obsahu jednotlivých slinkových minerálů. V průběhu hydratace se vyvíjí teplo rozdílnou intenzitou, portlandské cementy uvolní hydratační teplo takto: za 8 hodin 35 – $100 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, za 24 hodin 130 – $280 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ a za 28 dní 330 – $550 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. [10]

1.4.1.2 Objemové změny

Pokud změníme vlhkost při tvrdnutí betonu, ovlivní to i změnu objemu. Při střídavém uložení ve vlhku a suchu nastává střídavé bobtnání a sesychání, tzv. dilatace. Tento jev se projevuje i po ukončení tvrdnutí.

Hydratační dilatace je spontánní, je zdrojem nežádoucích přetvoření a napětí a je třeba se jim preventivně vyhýbat správnou konstrukcí podlahy. Hydratační dilatace je zapříčiněna z velké míry vysycháním, doprovázeno zmenšováním hmotnosti díky ztrátě vypařené vody. Rychlost tohoto procesu ovlivňuje vlhkost prostředí, ale nejrychlejší bývá smršťování v prvních třech dnech a obvykle za 1 rok je smršťování prakticky ukončeno.

Pohydratační smršťování je takové, které je zapříčiněno zvětšením vlhkosti – bobtnáním a následným vysycháním – smršťování. Jedná se o změny vratné a cementový tmel tuto vlastnost neztrácí ani se svým věkem. [10]

1.4.1.3 Portlandský cement

Vstupními surovinami pro výrobu portlandského cementu jsou vápence, jíly, hlíny a další horniny sedimentačního původu. Dále se přidávají tzv. korekční suroviny. Jde například o popílek, strusku, křemičitý písek nebo železitou korekci. Tyto suroviny jsou jemně namlety, homogenizovány a vypáleny teplotou cca $1450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ v rotační peci. Výpalem vznikají nové fáze trikalciumpilíkátu, dikalciumsilíkátu, trikalciumpilínátu a brownmilleritu. Prudkým ochlazením vznikají minerály alit (C_3S), belit (C_2S a celit ($\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF}$), tvořící portlandský slínek. Tento produkt se následně ještě mele se sádrovcem (funguje jako regulátor tuhnutí) na velmi jemný prášek – portlandský cement. Ideální je, když při výpalu zreaguje všechen CaO . Kvalitu cementu vyjadřují různé moduly, jako například hydraulický modul, silikátový modul či hlinitanový modul. [14]

Hlavní složkou portlandského cementu je alit. Jeho hydratací vzniká krystalický portlandit a amorfní C-S-H gel. Většina alitu zhydratuje během 28 dní, na rozdíl od belitu, který hydratuje pomaleji a podílí se na pevnosti až po 30 dnech. Reakcí belitu vznikají shodné fáze jako u alitu.

1.4.1.4 Hlinitanový cement

Jde o jemně mletý, bílý nebo žlutohnědý prášek. Vyrábí se nejčastěji tavením bauxitu a vápence v rotační peci při teplotě cca 1600 °C. Základní složkou mineralogického složení je kalciumaluminát. Jedná se i o základní složku hydratace hlinitanového cementu. Hydratace hlinitanového cementu je ve srovnání s portlandským velice rychlá. Po 24 hodinách dosahuje beton 90 % své konečné pevnosti a uvolní se asi 80 % hydratačního tepla.

Na počátku hydratace vzniká při nižších teplotách jako hlavní produkt CAH_{10} , jenž je nositelem vysokých počátečních pevností. Tato reakce a ostatní souběžné probíhají nejlépe při 20 až 30 °C. Při vyšších teplotách vzniká sloučenina C_3AH_6 , ta však nemá žádoucí vlastnosti z hlediska tuhnutí. Vznik této sloučeniny je buzen i příměsí portlandského cementu nebo vápna, to zapříčiňuje zkrácení doby tuhnutí. V průběhu času probíhají v krystalických formách další přeměny, stávají se stabilními. [15]

1.4.2 Kamenivo

Kamenivo musí splňovat požadavky dle ČSN EN 12620 Kamenivo pro malty.

Kamenivo je plnivo a tvoří 60-75 % směsi. Užívá se kamenivo frakce 0-8, respektive 0-4 mm. Vhodnější je kamenivo těžené než drcené. Úplně nejvhodnějším řešením je těžené prané kamenivo, protože jsou odplaveny jílové a i případné organické nečistoty, které by mohly způsobit snížení kvality potěru. Nasákavost těženého kameniva se běžně pohybuje v řádu desetin procent. Před použitím kameniva musí být proveden síťový rozbor pro ověření optimální křivky zrnitosti použitého kameniva. Dále je nutno určit obsah alkálií. Pokud by byl zjištěn vyšší obsah alkálií, kamenivo nesmí být použito, jelikož by mohlo dojít k rozpadu kameniva a celkové degradaci potěru vlivem alkalicko-křemičité reakce. [16]

1.4.3 Voda

Voda určená pro výrobu litých cementových potěrů musí splňovat normu ČSN EN 1008 - Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu.

Nejvhodnější je voda z vodovodního řádu, která neobsahuje pevné částice a jiné znečišťující látky. Obsah chemikálií ve vodě nesmí přesáhnout hodnoty stanovené normou. Voda se dává hmotnostně a její množství je vypočteno pomocí vodního součinitele. [17]

Voda v betonu plní dvě základní funkce. Zaprvé se jedná o hydratační funkce. Voda podmiňuje hydrataci cementu a tak spolu s cementem vytváří v čerstvém stavu tzv. cementový tmel a v zatvrdlém stavu tuhou strukturu cementového kamene. Druhou ze zmiňovaných funkcí je funkce reologická. Voda umožňuje vytvoření tvárného čerstvého betonu ve spojení s jeho složkami – kapilárními silami jako je zajišťování koheze a viskozitou plastičnost čerstvého betonu. V ideálním stavu, kdy se už tato voda nezapojuje do hydratace betonu, slouží pouze k dosažení vhodné zpracovatelnosti betonu. [10]

1.4.4 Přísady

Přísady jsou nejčastěji kapalné chemické látky, které se přidávají během mísení směsi za účelem zlepšení reologických vlastností jak čerstvého tak zatvrdlého potěru. Přidávají se v množství 0,2 – 5 % z hmotnosti cementu.

Přísady musí splňovat požadavky dle ČSN EN 934-2+A1 - Přísady do betonu, malty a injektážní malty. [18]

Přísad je možné dělit dle vlastností, které charakterizují jejich hlavní funkci. Podle fyzikálně chemického působení na částice cementu lze přísady dělit do dvou skupin. První jsou látky ovlivňující kinetiku hydratace cementu cestou změny rozpouštění slínkových minerálů, s kterými nevstupují do chemické reakce, nebo cestou reakce se slínkovými minerály a vytváření málo disociovaných sloučenin. Druhou skupinou jsou povrchově aktivní látky, které se absorbují na povrchu zrn cementu nebo tvořících se novotvarů a jsou buď hydrofilní nebo hydrofobní. [10]

1.4.4.1 Plastifikátory, superplastifikátory

Obecně se jedná o stejně působící látky, pouze se z důvodu vyšší účinnosti některých přísad začalo užívat výrazu „superplastifikační“. Základní vlastností plastifikačních přísad je zlepšení zpracovatelnosti čerstvého betonu a tím omezení použití intenzivní vibrace při zhutňování betonu. Plastifikační přísady působí pozitivně při aplikování potěru a zvyšují tekutost a prostupnost směsi úzkými místy, například mezi trubkami podlahového topení. Přídavkem plastifikačních přísad se sníží množství vody a tím je zachována vhodná konzistence směsi, která nese segreguje a je odolná proti blokaci. Snížením vodního součinitele se zvyšuje pevnost, trvanlivost a omezují se objemové změny při zrání.

Samozhutnitelné betony se bez plastifikačních přísad víceméně neobejdou. U podlahových potěrů s finální úpravou vsypy je třeba dobře volit druh plastifikační přísady a technologii provádění. Například lignosulfonany a polykarboxyláty mohou způsobovat napěňování betonu v případě nadměrně dlouhého míchání, dlouhého transportu v autodomíchávači či přehutnění čerstvého betonu. V těchto případech mohou na povrchu upravovaného betonu vzniknout vady jako odlupování vsypů či vznik malých vypouklých kráterů. Avšak těmto vlivům se dá vyvarovat při dodržení správných technologických postupů a proto není oprávněná obava z nekompatibility cementových vsypů a plastifikačních přísad. [10]

1.4.4.2 Zpomalovače tuhnutí, tvrdnutí

Zpomalovače tuhnutí se využívají v případech, kdy je třeba, aby se zachovala delší zpracovatelnost čerstvého betonu, respektive aby se prodloužila doba přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do stavu tuhé látky. Počátek tuhnutí by měly ve srovnání s referenční hmotou oddálit o minimálně 90 minut a konec tuhnutí o minimálně 360 minut. Působení přísad může trvat od několika hodin do několika dnů. Tyto přísady se používají k prodloužení doby dopravy a manipulace s čerstvým betonem a při betonování velkých bloků, při betonáži velkých ploch a obecně při betonáži za vysokých teplot. Pomalé tuhnutí cementového tmele omezuje vznik trhlinek a obvykle je 28 denní pevnost betonu v tlaku vyšší, než betonu bez přísad. Chemicky se jedná o fosforečnany, oxikyseliny, sulfonové sloučeniny, sacharidy a další látky. [10]

1.4.4.3 Urychlovače tuhnutí, tvrdnutí

Používají se tam, kde je třeba dosáhnout zvýšení krátkodobých pevností zejména u stříkaného betonu a při betonování za nízkých teplot. Vhodné je kombinovat tyto přísady s plastifikačními přísadami. Chemicky se jedná o alkalicky reagující anorganické soli, např. uhličitan sodný a draselný, hlinitaný a křemičitany. Chloridy podporují korozi výztuže, a proto lze doporučit jejich použití pouze u prostého betonu.

Urychlovače tuhnutí zkracují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického do tuhému stavu. Nesmí zároveň způsobit pokles 28 denních pevností v tlaku pod 80 % pevnosti referenčního betonu a za 90 dní musí být pevnost v tlaku nejméně stejná, jako 28 denní pevnost referenčního betonu. Urychlovače tvrdnutí urychlují vývoj počátečních pevností betonu, aniž by se musela zkracovat doba tuhnutí. Minimální požadavek na urychlovače tvrdnutí je 120 % pevnost v tlaku po 24 hodinách ve srovnání s referenčním betonem a zároveň alespoň 90 % pevnosti v tlaku po 28 dnech z pevnosti referenčního betonu.

1.4.4.4 Provzdušňující přísady

Používají se u betonů vystavených účinkům mrazu a CHRL (chemické rozmrazovací látky) zejména ve vodním, silničním a mostním stavitelství. Zároveň zlepšují chování betonu proti růstu krystalů chemických solí. Jsou to látky, které vytvářejí v čerstvém betoně velké množství uzavřených vzduchových pórů. Provzdušněním vytvořené vzduchové póry jsou expanzním prostorem pro zvětšující se objem krystalů ledu a solí. Póry snižují hydrostatický tlak v pórovité struktuře. Velikost pórů se pohybuje od 0,025 do 0,3 mm. Větší póry nebo kapiláry již snižují trvanlivost betonu. Sledovaným faktorem je i vzdálenost pórů mezi sebou navzájem. Provzdušňovací přísady mají plastifikační účinky. Jako provzdušňovací přísady se používají mýdla přirozených pryskyřic, syntetické neionogenní a anionogenní tenzidy a další.

Provzdušněné betonu dosahují nižších pevností než srovnatelné betony neprovzdušněné. To ovlivňuje negativně cenu betonu a zároveň to má vliv na hodnoty smršťování, respektive velikost dilatačních celků. Druhým negativem provzdušněných betonů je při používání v letních měsících. Může docházet k napětí se vznikem větších pórů, než je přínosné. Tyto póry mohou být vibrací vytlačeny k povrchu, vzniká napětí vrstva cementového tmele, která při aplikaci vsypu nezaručuje jeho dobrou přidrženost s podkladem. [10]

1.4.4.5 Zpěňující přísady

Využívají se pro výrobu velmi lehkých malt a betonů z normálního a lehkého kameniva. Použití takových betonů je například jako: tepelná izolace, vyrovnávací a izolační vrstva v pozemním a inženýrském stavitelství, výplňový beton do ztraceného bednění, tekutá výplň stavebních jam, starých kanálů, tunelů, sklepů, apod.

1.4.5 Příměsi

Jde obvykle o práškové jemně mleté látky přidávané do čerstvého cementového kompozitu za účelem snížení ceny výsledného materiálu či výrobku. Druhým a neméně důležitým důvodem přidávání příměsí do čerstvého betonu je zlepšení vlastností betonu v čerstvém a zatvrdlém stavu. Mohou sloužit jako částečná náhrada pojivové složky – cementu nebo jako doplnění jemných podílů směsi plniva, jelikož u těchto látek velikost částic nepřesahuje 0,125 mm a mají velký měrný povrch. Velký vliv na vlastnosti příměsí má jejich chemické složení. To je však hlavně u průmyslových odpadních látek závislé na mnoha faktorech a je třeba dbát na jejich správný výběr.

Velice důležitou roli hrají minerální příměsi např. při výrobě SCC. Mezi jejich hlavní pozitiva v čerstvém SCC patří zvyšování odolnosti proti segregaci, zvyšování pohyblivosti a homogenity. S rostoucím množstvím jemných příměsí v betonu také roste potřebné množství záměsové vody, a tudíž i množství cementového tmele, který je zvláště důležitý pro obalení všech zrn kameniva a zajištění správných vlastností čerstvého SCC. Díky tomuto faktu jemné příměsi započítáváme do obsahu jemných podílů v cementové pastě a bereme je v úvahu při výpočtu vodního součinitele jako poměru mezi záměsovou vodou a součtem všech jemných příměsí v betonu. [19]

Podle ČSN EN 206-1 (Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda) se dělí na dva typy: Inertní příměsi – typ I a Pucolány nebo latentně hydraulické látky – typ II. Má-li se vzít v úvahu vliv množství příměsí a jejich vliv na cementový kompozit, musí se prokázat jejich vhodnost.

Typ I. – Inertní příměsi

Tento typ příměsí přidáváme většinou pro dosažení hutnější struktury betonu nebo pro zlepšení reologických vlastností čerstvého betonu. Tyto příměsi svým chemickým a mineralogickým složením netuhnou či netvrdnou ani za přídavku budičů. Jejich úkolem je zvýšit hutnost struktury směsi a zvýšit množství jemné cementové malty, a tím přispět k lepší zpracovatelnosti betonu, případně změnit barvu betonu. Nejčastěji se jedná o kamennou moučku nebo o barevné pigmenty. Je však nutné si uvědomovat zvýšenou potřebu záměsové vody potřebné ke smočení povrchu příměsí. [19]

Do inertních příměsí se částečně řadí i mikromletý vápenec. Ovšem podle posledních studií se v této příměsí dá pozorovat určitá reaktivnost, zvláště s rostoucí jemností mletí. [19]

Typ II. – Aktivní příměsi

Jedná se o látky, které vykazují pucolánové nebo latentně hydraulické vlastnosti. Do této skupiny patří popílek, struska, mikrosilika a jiné.

Hydraulická aktivita (hydraulicita) je schopnost látky tuhnout, tvrdnout a zpevňovat se jak na vzduchu, tak i pod vodní hladinou a to za normální teploty. Pro tuto vlastnost je důležitý obsah oxidů CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 .

Latentně hydraulické látky jsou takové látky, které samovolně netuhnou, netvrdnou a nezpevňují se, ale stačí jejich aktivace přísadou tzv. budiče a těchto vlastností nabydou. Mezi tyto látky patří například vysokopecní jemně mletá struska. Budiče dělíme na síranové (anhydrity) nebo také alkalické (NaOH , KOH , K_2CO_3 , Na_2CO_3) kdy je $\text{pH} > 7$. [19]

Pucolánové látky jsou anorganické látky, které samy o sobě ani vlivem budiče netuhnou, netvrdnou a nezpevňují se, ale v důsledku svého vysokého obsahu amorfního SiO_2 je schopna reakce s vápennými ionty za vzniku C-S-H gelu. V přírodě vyskytující se pucolány jsou například tufy, trasy, tufity nebo křemelina. Dále existují i uměle vyráběné: např. cihelný a skelný prach, metakaolin (mefisto), či druhotné suroviny energetických provozů ve formě popílků a Si-úletů. [19]

Ve svých technologických důsledcích je pucolanita i latentní hydraulicita totožná, rozdíly jsou pouze v obsahu daných minerálů.

1.4.5.1 Popílek

Problémy s likvidací ohromného množství velmi jemných popílků je otázkou moderní doby, kdy je uhlí spalováno v mletém stavu za účelem zvýšení účinnosti spalování. Dříve byla produktem spalování kusového uhlí škvára.

Elektrárenský popílek vzniká při spalování uhlí v tepelných elektrárnách. Jedná se o nespalitelné anorganické příměsi, které byly buďto součástí rostlin, nebo byly do uhlí splaveny podzemní vodou. Obecně platí, že čím méně kvalitní uhlí je, tím více těchto nespalitelných příměsí obsahuje. Naše hnědé uhlí, které se v tepelných elektrárnách používá nejvíce má obsah popelovin 20-25 %. [2]

Popílek dle normy ČSN EN 206-1 pro betonové výrobky je produkt spalování práškového antracitu, černého či hnědého uhlí a je zachycován v elektrostatických nebo mechanických odlučovačích z plynů topenišť jako velmi jemný zrnitý prášek. Popílek z moderních elektráren se již nedá považovat za odpadní látku, ale jedná se vedlejší produkt výroby elektrické energie. Přesto je třeba počítat s tím, že může vykazovat proměnlivé chemické, mineralogické i granulometrické složení podle druhu spalování uhlí, lokality (typ kotlů a technické řešení spalování) a způsobu odlučování. Popílek z černého uhlí (Dětmarovice) má obvykle menší variabilitu vlastností a je tedy kvalitativně vhodnější příměsí do betonu než popílek z hnědého uhlí (v ČR asi 80 % popílků). [20]

Klasifikace popílků

Rozdíly ve složení popílků mohou být základem jejich klasifikace: Podle ČSN EN 197 – 1 se popílek rozděluje na křemičitý (V) a vápenatý (W).

Křemičitý popílek (V) je jemný prášek převážně složen z kulových částic s pucolánovými vlastnostmi. Obsahuje zejména aktivní SiO_2 a Al_2O_3 . Ve zbytku je pak obsažen oxid železitý, a jiné sloučeniny. Obsah aktivního oxidu vápenatého musí být nižší než 10 % hmotnosti, přičemž obsah volného oxidu vápenatého nesmí být vyšší než 1 % hmotnosti. Obsah aktivního oxidu křemičitého musí být vyšší než 25 % hmotnosti.

Vápenatý popílek (W) je jemný prášek, který má hydraulické anebo pucolánové vlastnosti. Obsahuje především aktivní oxid vápenatý, aktivní oxid křemičitý a oxid hlinitý. Ve zbytku je pak opět obsažen oxid železitý a jiné sloučeniny. Obsah aktivního oxidu vápenatého nesmí být menší než 10 % hmotnosti. Vápenatý popílek obsahující aktivní oxid vápenatý mezi 10 % a 15 % hmotnosti musí obsahovat zároveň nejméně 25 % hmotnosti aktivního oxidu křemičitého. [21]

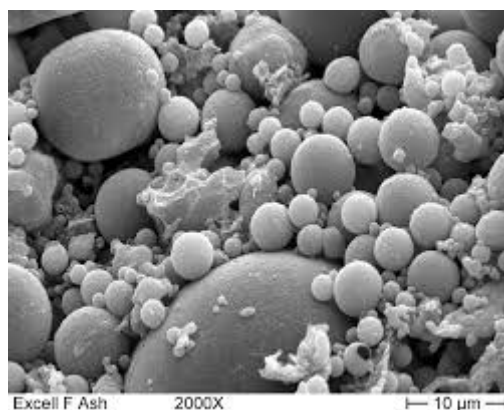
Podobně je roztržien popílek i podle americké technické normy ASTM C618 – „Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete“. Kde je popílek dělen totožně na křemičitý (typ F) a vápenatý (typ C) a od evropské normy se v tomto příliš neliší. [19]

Další používané dělení popílků je podle procesu spalování. Existují dva základní způsoby spalování, vysokoteplotní a fluidní spalování.

Vysokoteplotní popílek

Vysokoteplotní popílky vznikají spalováním jemně mletého uhlí při teplotách mezi 1400 a 1600 °C. Zbytky po tomto typu spalování jsou struska, která zůstává na dně kotle a popílek, který je unášen společně se spaliny a od nich následně separován v odlučovačích. Toto spalování vyžaduje následné odsiřování spalin, které se provádí vápnem nebo vápencem a produktem je nejčastěji dihydrát síranu vápenatého (sádrovec). [22]

Elektrostatické odlučovače využívají elektrostatických sil vznikajících při vysokém napětí a dosahují odlučivosti až 99 %. Druhým typem používaných odlučovačů jsou mechanické odlučovače. Ty obsahují filtry z ohnivzdorných tkanin. [23]



Obr. 5 Typická zrna vysokoteplotního popílku zobrazená pomocná elektronového mikroskopu [24]

Norma ČSN EN 450–1 Popílek do betonu charakterizuje popílek jako jemný prášek, který je tvořen z malých sklovitých kulových částic vznikajících při spalování práškového uhlí. Tento vzniklý prášek má pucolánové vlastnosti a je tvořen převážně z SiO_2 a Al_2O_3 . Jedná se o částice kulovitěho skelného charakteru o průměru 1 až 150 μm se specifickým povrchem 200 až 600 m^2/kg . Obsah SiO_2 se pohybuje okolo 45 %, Al_2O_3 + Fe_2O_3 okolo 35 % a CaO 2 až 20 %. Z mineralogického hlediska se jedná hlavně o amorfní SiO_2 a mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$). [19]

Kromě amorfního SiO_2 a krystalické fáze (převážně mullit, křemen a minerály železa) obsahuje popílek také zbytky nespáleného uhlí. Černouhelný popílek většinou obsahuje skelné kuličky relativně stejného tvaru a velikosti podobné zrnům cementu. U hnědouhelných popílků je tvar nepravidelný. Kulovitá zrna v závislosti na teplotním režimu spalování mohou být dutá tzv. cenosféry nebo mohou být vyplněné cenosférami menších rozměrů tzv. plerosféry, popřípadě to mohou být plné sférické částice. Plné sférické částice obsahují většinou prvky Fe nebo Si, jejichž výskyt je spíše ojedinělý. Barva popílků je šedá až po černou podle toho, je-li v uhlí obsažena břidlice (světlá) nebo pyrit (tmavá). Výsledné objemové hmotnosti vlastního zrna jsou kolem 2 300 kg/m^3 . Sypné hmotnosti jsou mezi 800 kg/m^3 a 1 100 kg/m^3 .

Obsahuje-li uhlí karbonáty, pak se při klasickém spalování vytváří oxid vápenatý a jeho reakcí s oxidem siřičitým vzniká síran vápenatý, který se při teplotách nad 1100 °C rozkládá na oxid vápenatý, oxid siřičitý a kyslík. Vzhledem k vysoké teplotě spalování je zde oxid vápenatý málo reaktivní. Jedná se o tzv. mrtvě pálené vápno, jehož obsah v klasických popílcích není žádoucí pro aplikace ve stavebnictví, protože dochází ke zpožděné hydrataci, která může být důvodem objemové nestability kompozitů vyrobených z těchto popílků. [21]

Fluidní popílek

Fluidní spalování je technologie, jejímž principem je spalování paliva spolu se sorbentem, který se přidává do spalovacího prostoru podle obsahu síry v uhlí. K tomuto účelu se používá např. mletý vápenec, který je důvodem vyššího obsahu CaO v tomto popílků. Spalování probíhá při teplotě 700-900 °C.

Fluidní spalování může být modifikováno do několika systémů: AFBC – fluidní spalování při atmosférickém tlaku, PFBC – fluidní spalování při zvýšeném tlaku a CFBC – cirkulační fluidní spalování. [25]

Popílků z fluidního spalování lze ještě dělit na ložový a filtrový (úletový). Hrubý ložový popel, je podíl popelu, který při spalování propadá roštem pod fluidním prstencem. Částice mají vyšší hmotnost a jsou větší. Chemické i fázové složení ložového popelu je přímým nositelem neobyčejně dobrých hydraulických vlastností tohoto materiálu, a to zejména díky vysokému obsahu měkce páleného vápna a anhydritu. Díky těmto, ale i ostatním složkám ložového popelu, tento materiál tuhne a tvrdne již při smíchání se samotnou vodou. Filtrový popílek je tvořen malými lehkými částicemi, které jsou při procesu spalování unášeny se spalinami do komínové části, kde jsou elektrostatickými odlučovači, tkaninovými filtry nebo cyklónovými odlučovači oddělovány od plynných spalin.

Fluidní popílků se vyznačují vyšším obsah Ca díky vápenci, který je přidáván do spalovacího procesu kvůli odsíření. Krystalickou fází tvoří následující mineralogické novotvary: anhydrit CaSO_4 , portlandit Ca(OH)_2 , sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, kalcit CaCO_3 , křemen SiO_2 a další. [21]

Tyto popílků ve většině případů nesplňují požadavky ČSN EN 450-1 díky vyššímu obsahu volného CaO a SO_3 , což může vést k tvorbě ettringitu. U fluidních popílků se výrazněji projevuje kolísání vlastností, zejména chemického složení, měrné hmotnosti a ostatních parametrů, způsobené nestabilitou spalovacího procesu a variabilitou vlastností vstupních komponentů (uhlí, odsířovací činidla).

Fluidní popílků se začínají používat jako jedna z přísad do cementu a uvažuje se o jejich využití do betonu jako částečné náhrady klasického popílků. [19]

Využití popílků ve stavebnictví

Mimo využití popílku v normálních betonech například pro snížení mezerovitosti, zlepšení zpracovatelnosti a také pro zlepšení finanční stránky stavby se popílek v rámci stavebních činností využívá poměrně různorodě. Některými dalšími příklady využití jsou:

- Až 80 % se využívá pro rekultivaci důlních děl a průmyslových oblastí.
- Výroba lehkých hutných betonů s pórovitým hrubozrnným kamenivem.
- Výroba autoklávovaných i neautoklávovaných makropórových i mikropórových betonů.
- Výroba různých speciálních stavebních látek například pro hrubou keramiku.
- Výroba aglomerovaného pórovitého kameniva, sbalkovaného a zpevňovaného za studena.
- Výroba popílkových umělých hydraulických vápen a jiných směsných maltovin.
- Vytváření násypů v silničním stavitelství. [26] [27]

Největší využití popílku z českých elektráren je při výrobě tzv. stabilizátorů a aglomerátů. Stabilizátory jsou směsí zbytků ze spalování uhlí v elektrárnách, následného procesu odsířování a z vody, přičemž poměry jednotlivých složek mohou být různé. Využívá se k sanacím důlních výsypků a k revitalizaci krajiny. Aglomeráty se využívají jako podkladový materiál pro stavbu silnic. [28]

Požadavky na popílky dle ČSN EN 450-1

- Ztráta žíháním < 7,0 % hm. Kategorie A
< 9,0 % hm. Kategorie B
< 11,0 % hm. Kategorie C
- Obsah chloridů < 0,10 %
- Oxid sírový < 3,5 %
- Obsah alkálií < 5,5 %
- Limity měrné aktivity < 150 Bq.kg⁻¹
- Oxid hořečnatý < 4,0 %, pokud je popílek získán spalováním pouze práškového uhlí, je tato podmínka považována za splněnou.
- Volný CaO < 2,6 %, jestliže je obsah volného CaO větší jak 1 %, musí být provedena zkouška na objemovou stálost.
- Aktivní CaO < 10,0 %
- Aktivní SiO₂ > 25 %, pokud je popílek získán spalováním pouze práškového uhlí, je tato podmínka považována za splněnou.

- $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 65 \%$, pokud je popílek získán spalováním pouze práškového uhlí, je tato podmínka považována za splněnou.
- Rozpustné fosforečnany $< 110 \text{ mg/kg}$, pokud je popílek získán spalováním pouze práškového uhlí, je tato podmínka považována za splněnou.
- Objemová stálost $< 10,0 \text{ mm}$. [29]

Jemnost popílku [%] - vyjadřuje hmotnostní zůstatek popílku při prosívání za mokra na síť 0,04 mm a stanovuje se podle ČSN EN 451-2. Dělíme ji do dvou kategorií N a S. Do kategorie N řadíme popílky, pokud je hmotnostní zůstatek $40 \% \pm 10 \%$. Kategorie S pak $12 \% \pm 10 \%$. [30]

Index účinnosti [%] - jde o poměr v tlaku normalizovaných trámečků podle EN 196-1 z malty s 75 % referenčního cementu a 25 % hmotnosti popílku k pevnosti v tlaku trámečku připraveného ze 100 % referenčního cementu ve stejném stáří. Index účinnosti musí být nejméně 75 % po 28 dnech a 85 % po 90 dnech. [31]

Počátek tuhnutí – stanoví se na cementové kaši zhotovené z 25 % popílku a 75 % zkušební cementu a nesmí být dvakrát delší v porovnání se začátkem tuhnutí kaše zhotovené ze 100 % cementu. Pokud je popílek získán spalováním pouze práškového uhlí, je tato podmínka považována za splněnou. [32]

Pozitivní a negativní zkušenosti s použitím popílků do betonu

V první řadě je dobré připomenout ekologický přínos využívání popílků jako stavebního materiálu. V naší republice je každoročně vyprodukováno nezanedbatelné množství popílků s vlastnostmi přijatelnými pro stavební účely. Tyto popílky v minulosti končily nevyužité na skládkách a zatěžovaly zbytečně přírodní prostředí. Zároveň platí, že přírodní primární suroviny jsou z neobnovitelných zdrojů a jejich těžba a případné zpracovávání také zatěžuje životní prostředí.

Druhým přínosem popílků je ekonomický faktor. Pro producenta odpadají starosti se zbavováním se tohoto odpadního materiálu. Odběratel naopak může výrazně ušetřit použitím druhotné suroviny ve srovnání s primárními surovinami.

Pokud posuzujeme popílky jako plnivo, tak je vhodný pro optimalizaci křivky zrnitosti kameniva. Vyšší obsah jemných částic v čerstvém betonu přispívá k lepší zpracovatelnosti a čerpateľnosti čerstvého betonu. Při betonáži masivních betonových konstrukcí příznivě ovlivňuje proces tuhnutí a tvrdnutí včetně vývoje hydratačního tepla. [33]

U ztvrdlého betonu příznivě ovlivňuje hutnost cementového tmelu a těsnost povrchových vrstev proti působení tlakové vody. Popílek nezhoršuje mrazuvzdornost ztvrdlého betonu a omezuje proces reversibilního smršťování betonu nebo zpomaluje proces karbonatice povrchu ztvrdlého betonu. Zvyšuje odolnost betonu v chemicky agresivním prostředí. [20]

Základním nedostatkem u popílků je jejich nestálá granulometrie, chemická a mineralogická proměnlivost a s tím související řada problémů. Je velice důležité dbát na správný výběr popílků pro danou recepturu betonu a následně vhodnost jeho použití ověřovat experimentálně.

Vysoký obsah spalitelných látek v popílku negativně ovlivňuje obsah vzduchu v čerstvém betonu a tím mění průběh tuhnutí a tvrdnutí a také snižuje trvanlivost ztvrdlého betonu. Při vysokém obsahu CaO může docházet k objemovým změnám čerstvého a tuhnoucího betonu. U ztvrdlého betonu poté může vznikat vnitřní napětí, tvoří se trhliny v cementovém tmelu a díky nim může být snížena zejména pevnost v tahu za ohybu.

Negativní vliv má i vysoký obsah SO_3 , jelikož způsobuje korozi ztvrdlého betonu a jeho objemové změny. Při použití ocelové výztuže negativně působí zvýšený obsah chloridů, které zapříčiňují korozi výztuže.

Důležité je i dávkování popílku. Jeho nadměrně vysoká dávka ovlivňuje obsah potřebné záměsové vody. Nepřiměřené množství popílku totiž může způsobit odlučování vody na povrchu uloženého betonu (tzv. bleeding), což vede ke snížení kvality a trvanlivosti povrchu. Vyšší obsah popílku může také negativně ovlivnit betonáž za nižších teplot, což zapříčiňuje nedostatek hydratačního tepla z cementu. [20]

Obecně je možné konstatovat, že použití popílků v betonu může přinést mnoho pozitivních faktorů, ale je třeba vědět, kam bude výsledný kompozit určen a podle toho vybírat správný popílek a jeho dávku. [34]

1.4.5.2 Struska

Strusky jsou pevné nekovové doprovodní výrobky hutní výroby, které vznikly roztavením hlušiny rudy, přísadků struskotvorných látek a minerálních podílů z pevných paliv. V širším smyslu jsou potom strusky všechny přetavené, zpravidla silikátové odpady, vznikající v průmyslových pecích, respektive v topeništích. [26]

Roztavená struska ($\text{OH} = 2\,800\text{ kg/m}^3$) je lehčí než roztavené železo ($\text{OH} = 7\,000\text{ kg/m}^3$) a tudíž se hromadí na povrchu železné taveniny. Struska izoluje surové železo od kyslíku, a tím zabraňuje jeho zpětné oxidaci a dále ho zbavuje nežádoucích příměsí, kterými jsou síra, fosfor, křemík a další. Podle složení rudy, druhu vyráběného železa, popela koksu a druhu struskotvorné přísady má vysokopecní struska různé chemické složení a tím i vlastnosti.

Tabulka 2 Chemické složení běžných vysokopecních strusek

Složení oxidů	Obsah [%]	Ø Obsah [%]
SiO ₂	21 - 40	38
Al ₂ O ₃	5 - 14,5	10
FeO	0,2 - 2,8	1
MnO	0,2 - 10,5	2
CaO	29 - 48	42
MgO	1 - 15	6
F ₂ O ₅	0 - 1	stopy
S ²⁻	0,5 - 3,8	1

Z chemického hlediska je pro vysokopecní strusky důležitý poměr zásaditých a kyselých oxidů. Tento poměr vyjadřuje modul bazicity (modul zásaditosti): $P2 = (CaO + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3)$. Strusky vhodné k tzv. zpěňování mají tento modul < 1, naopak u zásaditých strusek vhodných pro granulování je modul > 1.

Zpěnění vysokopecní struska

Nejčastějšími způsoby výroby zpěněné strusky jsou:

- Jámový a jeho modifikace, např. na pískových polích nebo hydromonitorový,
- Na zpěňovacích žlabech, v ČR typ VÚSH,
- Na ocelových překlopných pánvích,
- Na odstředivých strojích.

Zpěněná struska se využívá jako kamenivo pro obyčejný beton, jako pórovité kamenivo pro lehký beton, jako tepelné izolační zásypy, jako kamenivo pro betonové, šterkové a živičné vozovky a pro šterkové kolejové lože, pro výrobu struskových dlažebních kamenů, aj.

U krystalických strusek může někdy probíhat samovolný rozpad, způsobující objemovou nestálost až i úplný rozpad výrobků z těchto strusek. Nejčastějším a zároveň nejnebezpečnějším je tzv. silikátový rozpad. Je zapříčiněn mineralogickými změnami strusky a vyznačuje se vzrůstem objemu až o 10 %. Další rozpady a různé druhy objemových nestálostí jsou poměrně vzácné, jedním takovým je rozpad železnomanganatý u strusek obsahujících FeS + MnS. [26]

Granulovaná vysokopecní struska

Jedná se o strusku chlazenou prudce, vodou. Díky tomu nez tuhne ve formě krystalů, ale skelném stavu a získá latentně hydraulické vlastnosti. Existují dva způsoby jak strusku chladit tímto způsobem:

- Vypouštěním do vodní nádrže,
- Hašení pomocí tekoucí vody.

Rychlým zchlazením zásadité strusky dosáhneme tzv. granulace. Následně se tato struska mele tak, aby byl její výsledný měrný povrch v rozmezí 300 až 450 m²/kg. Takto upravená vysokopecní struska se využívá buď do směsných cementů anebo jako samostatná příměs do betonů. Hlavními faktory ovlivňujícími její aktivitu je zmiňovaná jemnost mletí, dále chemické složení a množství skelné fáze (vypovídá, jak úspěšně se povedlo strusku ochladit a zabránit vzniku krystalické fáze).

Při použití strusky či struskových cementů dochází k zlepšení zpracovatelnosti čerstvých betonů. Díky této vlastnosti se využívají jako příměs u samozhutnitelných betonů. U čerstvých betonů struska zpomaluje tuhnutí, což při nadměrné dávce může vést až k rozměšování vody. Přidáváním strusky se zvyšuje podíl jemných částic v cementovém tmelu, čímž se snižuje velikost pórů, zvyšuje se soudržnost tmelu s plnivem, vzrůstá konečná pevnost betonu a také se snižuje propustnost zralého betonu. [35]

Aktivace granulované vysokopecní strusky

Mletím strusky na nižší velikost jednotlivých zrn se zvyšují její vazné vlastnosti a jedná se o tzv. mechanickou aktivaci. Druhou možností aktivace je chemická aktivace, tzv. alkalická.

Pro dosažení vyšších počátečních pevností, při použití strusky jako příměsi nebo strusko portlandského cementu, je třeba použít vysoce alkalické roztoky. Během hydratace struskového zrna dochází zpočátku k rozpuštění skelné fáze a následně k tvorbě tenké vrstvy hydratovaných křemičitanů vápenatých, tzv. C-S-H gelu. Tato vrstva je nerozpustná pro vodu a zabraňuje tak další hydrolýze. Pomocí přítomnosti alkalických iontů dochází ke zvýšení difuze vody a zrychlení hydratace. V přítomnosti alkálií vznikají ve vodě alkalické křemičitany, které umožňují další rozpouštění skelné fáze. Alkalické ionty působí zpočátku jako katalyzátor reakce a po průběhu krystalizačních a kondenzačních procesů se podílí na vzniku C-S-H gelu. [36]

Mezi typické alkalické aktivátory se řadí uhličitan sodný (NaCO₃), vodní sklo nebo hydroxid sodný (Na(OH)₂). Jednotlivé aktivátory mají rozdílné vlastnosti a vliv na výsledný produkt. Důležité je i množství použitého aktivátoru. Jejich vysoká dávka může způsobovat například příliš vysoké hydratační teplo. To může vést k deformacím a snížení pevnosti zralého betonu.

Výhodou takto vzniklých materiálů je jejich vysoká pevnost a vysoká odolnost vůči agresivnímu prostředí související s velice hutnou strukturou. Nevýhodou je obtížné vyvážení všech vstupních faktorů. Mezi ně patří volba vhodného aktivátoru k dané strusce, jeho množství a koncentrace.

1.4.5.3 Jemně mletý vápenec

Vápenec je hornina typu chemického sedimentu, stejně jako rohovec a dolomit. Tyto sedimenty se ukládají vysrážením ze slaných roztoků v mořích nebo na pevnině ve slaných jezerech v oblasti s aridním klimatem. Z hlediska skladby, s ohledem na největší zastoupení, se jedná o uhličitán vápenatý - CaCO_3 .

Vápenec má objemovou hmotnost přibližně 2680 kg/m^3 a pevnost v tlaku 121 až 153 N/mm^2 . Hornina se využívá pro výrobu vápna, které po vypálení vápence obsahuje více jak 85 % $\text{CaO} + \text{MgO}$. Mletím základní horniny se získá vápencová moučka tvořící stabilizační pojivo do asfaltů a příměs s plastifikačními účinky do cementových kompozitů. Samotný jemně mletý vápenec vzniká jako druhotný produkt při mletí vápence. V současnosti je poptávka po tomto sekundárním produktu zpracování vápence natolik vysoká, že dochází k jeho záměrné produkci. [37]

Jemně mletý (používá se i „mikromletý“) vápenec se získává mletím drceného vápence. Musí obsahovat více jak 75 % CaCO_3 a obsah jílových podílů nesmí překročit 1,2 g/100 g. Jako hlavní požadavek na granulometrii musí splňovat minimální propad 70 % sítem 0,063 mm.

Využití jemně mletého vápence je velice široké. V závislosti na jemnosti mletí a kvalitě vápence se používá například na odsiřování kouřových plynů tepelných elektráren, jako filer do plastů, hnojivo pro úpravu pH půdy a v neposlední řadě jako příměs do betonů a potěrů.

Dle normy ČSN EN 206-1 je mikromletý vápenec zařazen mezi inertní příměsi, tudíž se nepodílí na hydrataci cementu. Ještě před nástupem superplastifikátorů byl jemně mletý vápenec používán za účelem plastifikace a utěsnění čerstvé betonové směsi. V současnosti se užívá pro zvýšení obsahu jemných částic ve směsi, čímž se zvýší plasticita, hutnost, vodotěsnost a povrchová kvalita betonů a cementových potěrů. Jemná zrna vápence však působí v betonu jako nukleační centra pro krystaly portlanditu a urychlují hydrataci silikátových aluminátových fází. Díky tomu mohou ovlivnit počáteční nárůst pevností v betonu a celkový stupeň hydratace. [10]

1.4.5.4 Mletý křemen

Jde o velice jemně mletý křemičitý písek s vysokým obsahem SiO_2 . Jsou vyráběny z těžných křemičitých písků. Hlavní využití jemně mletého křemene je sklářském průmyslu anebo například v keramických glazurách. Ve stavebnictví jde o významnou příměs do betonů i cementových potěrů.

Vysoký obsah SiO_2 a mletí otevřené neokysličené struktury povrchu jednotlivých zrn napomáhají reakci s cementovými složkami, a tím zvyšují výsledné pevnosti betonu. Vhodným dávkováním lze zvýšit výslednou pevnost betonu o 10 až 20 %. Podobně jako všechny jemné příměsi s převládající částí zrn pod hodnotu 0,09 mm tvoří doplňkovou složku samozhutnitelných betonů a cementových potěrů.

1.4.5.5 Filery

Jedná se o odprašky při těžbě drceného kameniva. Za filery se považuje takové kamenivo, jehož alespoň 70 % zrn propadne sítím 0,063 mm. Průměr jednotlivých zrn kamenných odprašků se pohybuje v rozmezí 0,01 – 0,125 mm. Jedná se o drcené kamenivo, tudíž mají ostrohranná zrna a velký měrný povrch. Používají se především pro zlepšení křivky zrnitosti kamenné kostry betonu, a tím i pro zlepšení reologických vlastností čerstvého betonu (např. čerpatelnosti) a pro jeho lepší zhutnění. Větší hutností ztvrdlého betonu lze docílit vyšší odolnosti betonu vůči vlivům prostředí (např. vodotěsnost). [10]

Jemné podíly kameniva zvyšují přídržnost betonu k podkladu, zlepšují soudržnost čerstvého betonu a používají se při výrobě samozhutnitelných betonů a cementových potěrů. Bez použití plastifikačních přísad ale vyžadují zvýšené množství vody, což částečně snižuje pevnosti betonu a zvyšuje jeho náchylnost k většímu smrštění. Při volbě množství fileru v betonu se doporučuje zohlednit maximální použité zrno kameniva.

1.4.5.6 Mikrosilika

Křemičitý úlet neboli mikrosilika vzniká jako odpad při výrobě prvkového křemíku, nebo jako druhotná surovina výroby slitin s obsahem křemíku (Ferosilicium) v obloukových pecích. Křemík se ve vysokých teplotách výpalu začne vypařovat a kondenzuje ve formě kulových zrn o průměru 0,1 až 0,2 μm . Mikrosilika mají světle až tmavě šedou barvu, obsahují amorfní SiO_2 z 90 až 98 %, měrný povrch se pohybuje v rozmezí 15 000 až 25 000 mm^2/kg a jeho objemová hmotnost v sytkém stavu je 130 až 430 kg/m^3 . Mikrosilika se dodávají také jako suspenze ($\text{OH} = 1300$ až 1 400 kg/m^3) nebo jako granulát s vodou a cementem ($\text{OH} = 400$ až 700 kg/m^3). [19]

Podobně jako popílek mají mikrosilika pucolánové vlastnosti, ale jsou mnohem více reaktivní. V hydratujícím cementu reagují s hydroxidem vápenatým za vzniku C-S-H gelu, přičemž rychlost této reakce je závislá na teplotě a na dávce křemičitých úletů. Díky tomu se snižuje obsah pórů, zvyšuje se hutnost cementového tmele, zlepšuje se jeho adheze vůči plnivu a výztuži.

Díky lepší hutnosti cementového tmele je výsledný cementový kompozit odolnější vůči vlivům chemicky agresivního prostředí, hůře propouští vodu a tím pádem má vyšší trvanlivost. Větší soudržnost cementového tmele s kamenivem zapříčiňuje zvýšení pevnosti betonu. Mikrosilika také urychlují samotnou hydrataci cementu během její první fáze. Vytváří krystalizační zárodky, díky nimž se mohou hydratační produkty z roztoků rychleji vysrážet.

Použití mikrosilika má i svá negativa. Prvním je poměrně vysoká cena. Při příliš vysoké dávce nahrazující cement je pro ně v cementovém tmelu nedostatek hydroxidu vápenatého a díky tomu se nevyužije jejich reaktivních vlastností. Vzhledem k vysokému měrnému povrchu mikrosilika stoupne spotřeba záměsové vody, což je třeba regulovat použitím větší dávky superplastifikátorů. Pucolánovou reakcí dochází i k snižování pH, což může ohrozit pasivaci ocelové výztuže. Z toho všeho vyplývá, že maximální optimální dávka mikrosilik vůči hmotnosti cementu se udává $\leq 0,11$. [19]

1.4.5.7 Nanosilika

Jedná se syntetickou kyselinu křemičitou s podílem amorfního SiO_2 v čistotě více než 99 %. Velikost pevných částic se pohybuje v desítkách nanometrů. Nanosilika se dodávají ve dvou variantách s rozdílnými vlastnostmi. Zaprvé může být ve formě koloidní suspenze. Vyznačuje se podstatně lepší zpracovatelností a měrným povrchem kolem 80 000 m^2/kg . Zadruhé se nanosilika dodávají jako sbalky v suché formě s měrným povrchem 40 000 m^2/kg a v této formě se hůře homogenizují se směsí.

Nanosilika mají podobné vlastnosti jako mikrosilika. Mají velice silné pucolánové vlastnosti, značně urychlují hydrataci cementu, jelikož se chovají jako krystalizační centra cementových hydrátů. Zejména zvyšují rychlost hydratace Alitu (trikalciumsilikát, C_3S). Nanosilika urychlují počátek tvorby C-S-H gelu, ale na jeho konečné množství nemá velký vliv.

Při srovnání mikrosilik a nanosilik dosahovala cementová pasta s nano- SiO_2 lepších výsledků (použitá dávka byla 5 % z hmotnosti cementu). V čerstvém stavu měla vyšší viskozitu a kratší dobu tuhnutí, z čehož vyplývala vyšší počáteční pevnost. U třídní pevnosti v tlaku byl zaznamenán nárůst o 41 % oproti referenčnímu vzorku. U 28 denní pevnosti v tlaku byl tento nárůst 25 %. [19]

1.4.6 Výztuže

Vzhledem k malé pevnosti betonu v tahu se dnešní průmyslové podlahy vyztužují. Nejčastěji používaným způsobem vyztužení betonových podlah je pomocí ocelových prutů svazovaných nebo svařovaných do sítí, tzv. kari sítě. Velký vliv na vhodné vyztužení má množství a umístění výztuže.

U slabě vyztužených betonových desek se výztuž umísťuje obvykle cca 50 mm nad spodní hranu desky, případně do její spodní poloviny. Takto vyztužené desky se využívají u větších podlahových ploch, ale při navrhování se posuzují jako desky z prostého betonu. To stejné platí i při rozvrhování dilatačních spár. Malé množství výztuže u spodní hrany nezabraňuje ani vzniku smršťovacích trhlin. Pro tento efekt se přidává výztuž cca 50 mm pod horní hranu desky, případně do její horní poloviny. Sítě z betonářské oceli jsou zde určeny ke snížení kontrakce betonu, ale naopak nemají vliv na odolnost vůči svislému zatížení podlahové desky.

Dalším rozšířeným způsobem vyztužení betonových podlahových desek jsou vlákna. Ty se dělí podle velikosti a použití na mikrovlákná a makrovlákná.

Mikrovlákna zabraňují nebo omezují tvorbu trhlin během zrání betonu a jde nejčastěji o skleněná nebo polypropylenová vlákna. Tato vlákna je neslouží jako náhrada ocelové výztužné sítě. K tomu právě slouží makrovlákna, například polymerová, skleněná a rozšířenější ocelové drátky.

Poslední, v české republice ještě ne příliš využívaný způsob vyztužení průmyslových podlah je její předpínání.

1.4.6.1 Předpjatá výztuž

Díky této technologii je možné konstruovat desky o velké ploše bez dilatačních spár. V současné době jsou realizovány podlahy bez dilatačních spár až o ploše kolem 30 000 m². Předpínání je účinné proti projevům užitného zatížení, vlivům smršťování a interakce s podloží. Principem je zavedení vnějšího tlakového zatížení do betonové desky, a proto tahová napětí způsobená užitným zatížením nepřesahuje tahovou únosnost desky. Předpínání zajišťují v obou směrech centrálně působící kabely. [8]

Nevýhodou tohoto systému je pracnější provádění i vyšší výrobní cena takovéto podlahy. Výhodou je absence dilatačních spár a s tím související nižší náklady na údržbu. Další náklady se snižují už při výrobě, jelikož dochází k úspoře materiálů. Předpínací technologie umožní navrhnout předpjaté podlahy s tloušťkou až o 30 % menší než u běžně používaných řešení. Oproti železobetonové podlaze se využije i menší množství výztuží. I při velkém přetížení podlahy se nemění obslužnost, protože se dočasné trhliny opět zavřou po odtížení. S tím souvisí trvalá ochrana oceli před korozí. V neposlední řadě jde o vysokou únavovou pevnost, protože amplitudy napěťových změn v předpínací výztuži pod střídavých zatížením jsou poměrně malé.

Předpjaté betonové průmyslové podlahy jsou ideální do středně náročných a náročných provozních podmínek. Počáteční pořizovací náklady jsou vyšší, ale ve výsledku převyšují běžně používané konstrukční řešení vysokou kvalitou, delší životností anebo snížením nákladů na údržbu během užívání. Tento typ podlahových konstrukcí je nejvhodnější pro velké a silně zatěžované konstrukce. V české republice byla realizovaná předpjatá betonová podlaha například v roce 2008. Šlo o halu určenou k opravě velkých dopravních letadel v areálu letiště Leoše Janáčka v Mošnově. [8]

1.4.6.2 Ocelové drátky

Ocelová vlákna jsou vhodná do betonových podlah, ale také do prefabrikátů nebo stříkaných betonů. Charakteristiku jednotlivých druhů drátků dává k dispozici jejich výrobce. V zásadě se drátky liší použitým typem oceli, povrchovou úpravou, jejich tvarem a délkou, průměrem drátu a samotnou pevností materiálu.

Betonům vyztuženým těmito drátky se obecně říká drátkobeton. Použití ocelových drátků u betonových podlah podstatně zvyšuje výslednou únosnost podlahy, její odolnost proti nárazu, opotřebení a snížená hrozba vyštípování betonu, jelikož na rozdíl od klasicky vyztuženého betonu jsou vlákna rovnoměrně rozmístěná v celém objemu podlahy.

Výhodou při využití ocelových drátků je snížení času provádění o čas věnovaný k armování klasické výztuže. Ocelové drátky také zamezují tvorbě smršťovacích trhlin. Na rozdíl od prosté betonové podlahy dokáže podlaha z drátkobetonu odolávat vyššímu tahovému namáhání a drátkobeton neztrácí tuto schopnost ani po vzniku prvních mikrotrhlin. Samotná únosnost drátkobetonu v tahu je závislá na typu drátků a jejich dávkování. Ocelové drátky v dostatečném množství náhodně rozptýlené ve struktuře betonu mění křehký beton na houževnatý drátkobeton s kvaziplastickými charakteristikami chování po vzniku trhlin.

Stanovení typu, jakosti a parametru drátků vč. jejich hmotnostní koncentrace v kg/m^3 se provádí na základě výsledků průkazních zkoušek navrhované třídy drátkobetonu. Je nutné přihlídnout k podmínkám při výrobě směsi, dopravě a zpracování drátkobetonu. Pro průmyslové podlahy se dávkuje nejčastěji v rozmezí 35-60 kg/m^3 dle typu drátků. Velikost drátku je nutno volit s ohledem na maximální velikost zrna kameniva a množství hrubé frakce kameniva, přičemž délka drátku musí přesáhnout alespoň osovou vzdálenost dvou sousedních zrn hrubé frakce kameniva a je rovna cca 3 až 4 násobku maximální velikosti užitého zrna. [38]

Dávkování drátků do betonu probíhá dvěma způsoby. Při výrobě betonu na betonárně se využívá automatické dávkovací zařízení. V tom případě se obvykle využívají sítové nebo vzduchové rozvlákňovače. Druhou možností je dávkovat drátky přímo do autodomíchávačů pomocí pásových dopravníků nebo fukarů. To může probíhat rovnou v betonárně nebo i na stavbě. Drátky bývají dodávány buď samostatně, nebo spojené pomocí vodou rozpustných lepidel. Při návrhu betonové směsi je třemi s drátky počítat a uzpůsobit jim vodní součinitel, podíl drobného kameniva i dobu zpracovávání čerstvého betonu.

1.4.6.3 Polymerní vlákna

Polymerní vlákna představují celou skupinu makro a mikrovláken vyráběných ze směsi polypropylenu nebo polyetylenu.

Polymerní makroválka jsou dle normy ČSN EN 14889-2 klasifikována do třídy II jako makroválka se statickým účinkem v betonu. Je možné se setkat i s názvem polymerní ocel, jelikož beton s těmito vlákny je posuzován na rozdíl od prostého betonu jako konstrukční. Při správném výběru a dávkování vláken mohou sloužit jako částečná, popř. úplná náhrada za klasickou výztuž. [39]

Dávkování je závislé na typu daných vláken a na požadovaných vlastnostech výsledné podlahy. Každý výrobce doporučené dávkování uvádí u svých výrobků, ale obecně se dá říct, že se dávkování obvykle pohybuje v rozmezí 2 kg až 4 kg/m^3 . Vlákna se vsypávají do míchačky současně s kamenivem, přičemž v takovém případě nebývá nutné upravovat dobu homogenizace čerstvého betonu. Polymerní vlákna je možné dávkovat přímo do autodomíchávače, v takové případě je nutné prodloužit dobu míchání o několik minut. [40]

Jednou z výhod polymerních vláken je, že nekorodují, tudíž nevyžadují krycí vrstvy a pomou být rovnoměrně rozprostřená v celém objemu betonu. Dále tato vlákna zvyšují požární odolnost, jelikož za zvýšených teplot sublimují, vytváří velké množství dutinek, čímž umožní rozpínání vodních par přítomných v betonu. Tato vlastnost platí hlavně u mikrovláken.

Polypropylenová mikrovlákna jsou velice jemná vlákna, přičemž v jednom kilogramu jich může být i několik stovek milionů. U čerstvého betonu zabraňují vzniku smršťovacích trhlin. Jsou účinná po celou dobu tuhnutí betonu a i na počátku tvrdnutí. U ztvrdlého betonu už nemají prakticky žádný vliv na únosnosti. Důvodem je jejich nižší modul pružnosti ve srovnání s cementovým tmelem.

Nejčastěji se používají u jemnozrnných potěrů a vodotěsných betonů. Obvyklé dávkování do betonu 0,6 až 0,9 kg/m³. Mikrovlákna jsou dodávána v rozpustných sáčcích a dávkuje buď při výrobě betonu v betonárce nebo během dopravy přímo do autodomíchače. Obvykle nevyžadují zvýšení množství záměsové vody ani jiné změny v návrhu receptury betonové směsi. [40]

1.4.6.4 Skleněná vlákna

Jedná se o velice účinnou výztuž do betonových podlahových potěrů, konstrukčních betonů, ale například i betonových prefabrikátů či jádrových omítek. Technologie výroby vláken musí zajistit zdravotní bezpečnost výrobku. Kritérium karcinogenity pro vlákna stanovuje jako kritický průměr vláken do 3 μm. Průměry skleněných vláken se pohybují kolem 14 μm, což je vysoko nad požadovanou hranicí. Silně alkalické prostředí v betonu je pro obyčejná skleněná vlákna příliš agresivním prostředím a tak rychle ztrácejí svou pevnost v tahu. Byla proto vyvinuta speciální vlákna odolávající i v prostředí s pH > 12. Zásadní vliv na alkalivzdornost skleněných vláken má i jejich lubrikace. Moderní typy lubrikací už samotnou alkalivzdornost víceméně vyřešily. [41]

Pomocí těchto lubrikací se taky ovlivňují vlastnosti vláken a jejich možnosti využití. Skleněná vlákna mohou fungovat jako monovlákna a pozitivně ovlivňovat hlavně smršťování čerstvého cementového kompozitu nebo ve formě pramenů působit jako skleněná rozptýlená výztuž.

V případě monovláken je důležité jejich koncentrace. Jedná se o velice jemná vlákna, v jednom kilogramu jich je obsažených několik set milionů. Platí pro ně podobně jako u polypropylenových vláken nutnost rovnoměrného rozmísení v objemu betonu. Lubrikace u monovláken zajišťuje tzv. cementonosnost – schopnost smáčení v cementové pastě a pozitivně ovlivňovat reologii směsi. [41]

U skleněných pramenů do betonů mimořádně stoupá význam lubrikace pramene. Jelikož se prameny dávkuje do kameniva, případně jsou součástí suchých směsí, lubrikace musí zabránit jejich rozbití a rozvláknění během míchání a zároveň musí být dostatečně ohebná, aby se prameny při míchání nelámaly. Deformovaný pramen totiž ztrácí své výztužné schopnosti.

Víceméně novinku na trhu představují sítě, orientované prameny a rohože ze skleněných vláken. Jejich aplikace v potěru zamezuje tvorbě prasklin během jeho vysychání, čímž zvyšuje jeho životnost. Oproti tradičním výztužným stavebním prvkům, jako třeba kari síti, je mříž lehká, snadno se s ní manipuluje a má lepší výsledky. Výrobky obstály i v nezávislých zahraničních testech CSTB. [42]

Výhodou skleněných mikrovláken oproti polypropylenovým je jejich 10 x vyšší modul pružnosti (72 GPa) a až 100 x vyšší pevnost v tahu (3500 MPa). Z toho důvodu pomáhají polypropylenová vlákna u tuhnutí betonu, kde zamezují projevům smršťování, ale zrající beton poměrně brzy dosáhne vyššího modulu pružnosti a výztuž ztrácí svou funkci. Naopak skleněná mikrovlákna mají vyšší modul pružnosti než zralý beton a proto pozitivně ovlivňují jeho pevnost v tahu i houževnatost. [43]

Díky otěruvzdorné integrální lubrikaci pramenů se mnohem méně snižuje zpracovatelnost čerstvého betonu ve srovnání s obdobnou dávkou polypropylenových vláken. Ve srovnání s obdobnou dávkou ocelových drátků má beton s těmito prameny vyšší houževnatost. [41]

1.5 Finální úpravy povrchů průmyslových podlah

Finální úpravy povrchů průmyslových podlah se provádějí ze snahy o zlepšení vlastností celé podlahové konstrukce. Záměrem je vytvořit povrch odolný vůči mechanickým, chemickým i povětrnostním vlivům, čímž má dojít k prodloužení životnosti podlahy jako celku. Technologie finálních úprav jsou obecně dražší a náročnější než zbytek podlahového systému a proto představují jen tenkou ochrannou vrstvu a dosahují tloušťky pouze několika milimetrů.

1.5.1 Systém „mokrý do mokrého“

Jedná se o způsob aplikace, kdy je na čerstvě zavadlý povrch betonu nanese potěrový materiál v tenké vrstvě (obvykle v rozmezí 4-10 mm). Následně se nechá potěr zavadnout a hladí se pomocí rotačních hladíček do požadované kvality.

Potěry tohoto typu se dodávají v suchém stavu, připravené na promíchání s vodou a aplikaci. Směsi jsou na bázi cementu, plniva a speciálních přísad. Jednotlivé směsi se liší převážně použitým typem obrusu odolného kameniva (křemík, korund, korund/karbid, karbid). [44]

Výsledkem je monolitická podlahová konstrukce, která má nadstandardní odolnost proti obrusu, výbornou odolnost proti rázům, vysokou pevnost v tlaku, stejnobarevnost a bezprašný povrch. Využití je obvykle ve výrobních a skladovacích prostorech, dílnách, velkoobchodech, parkovacích plochách, logistických a obchodních centrech. Obecně je tato metoda používána tam, kde se požaduje přirozená nekluznost, hladký, trvanlivý a houževnatý povrch a zvýšená odolnost proti vsakování olejů a tuků. Tento typ finálních úprav podlahové konstrukce splňuje také vyšší estetické nároky. [7]

1.5.1.1 Technologie výroby

Po dosažení požadované pevnosti betonové podlahy se z povrchu odstraní přebytečná voda a následně se tzv. oživí povrch plochy roztočením rotační hladíčkou. Zároveň se suchá směs rozmíchá s předepsaným množstvím vody. Tekutá potěrová směs se rovnoměrně nanese na oživený povrch v množství cca 10 – 20 kg/m². Takto připravený povrch se zarovná do požadované rovinnosti pomocí stahovacích latí. Zavadnutý povrch potěru se srovná pomocí rotačních hladíček až do požadovaného stupně konečné úpravy povrchu. Ihned po dokončení úpravy povrchu hladíčkou se na povrch aplikuje ochranný prostředek, který zamezí rychlému odpařování vody, případně se povrch zakryje geotextilií a je pravidelně ošetřován kropením vodou. Na takto připravené podlaže jsou vhodným způsobem provedeny dilatační řezy. [44]

1.5.2 Systém „mokrý do suchého“

Tento způsob finální úpravy podlahové konstrukce se využívá jak u novostaveb, tak při rekonstrukcích povrchů betonových podlah. Typickými příklady využití jsou například parkovací plochy, velkosklady nebo skladovací a výrobní prostory. Podobně jako u předešlého řešení se i v tomto případě pro realizaci používá syntetická suchá směs, která se před aplikováním smísí s definovaným množstvím vody. Tato směs obsahuje tříděná plniva, speciální cementy a chemické přísady. Přísady slouží k upravení fyzikálních vlastností směsi po vytvrdnutí a zpracovatelnost směsi při ukládání.

1.5.2.1 Technologie výroby

Připravený povrch se obvykle ošetřuje penetračním nátěrem. Jde o koncentrovaný, vodou ředitelný roztok na bázi akrylátové disperze. Principem tohoto ošetření je uzavření a zpevnění podkladu. Penetrační nátěr zabráňuje úniku vody z nanášeného materiálu do podkladu a může sloužit i jako spojovací můstek mezi podkladem a nově nanášenou vrstvou podlahového systému. Zbytek aplikace potěru a jeho ošetřování je obdobný jako u předešlého systému. Tloušťka vrstvy je volitelná. Pohybuje se dle předpokládaného druhu zatížení v rozmezí cca 5 – 15 mm. [7]; [45]; [46]

1.5.3 Systém „suchý do mokrého“ – Minerální vsypy

V současné době se jedná o nejpoužívanější způsob finální úpravy povrchu průmyslových podlah. Tento typ podlah je často označován jak tzv. pancéřové nebo vsypové podlahy. Tento systém je základní metodou pro zlepšení povrchu průmyslových betonových podlah, který spočívá v nanesení vsypového materiálu na povrch zavadlé, předem srovnané a zhuťné betonové desky. Tato sypká směs se pomocí rotačních hladíček zapracovává a vytváří tenkou vrstvu s výrazně pozitivním vlivem na vlastnosti a životnost podlahové konstrukce. Dle normy ČSN EN 744505 je minimální tloušťka vsypu 1,5 mm a jejich přirozenou vlastností je částečná barevná nevyrovnanost a pouze omezená čistitelnost. Přirozenou vlastností minerálních vsypů jsou také vlasové smršťovací trhliny s šířkou do 0,1 mm a nejsou funkční ani estetickou vadou. [9] [47]



Obr. 6 Řez podlahovou konstrukcí opatřenou vsypem – vsypová vrstva se barevně liší od nosné desky [7]

1.5.3.1 Druhy vsypů

Vsypy jsou dodávány obvykle jako již hotové suché směsi. Obvykle obsahují speciálně tříděná plniva, vysokopevnostní cementy a aditiva. Plnivy bývají nejčastěji přírodní křemen (pevnost 7 dle Mohsovy stupnice), čediče, přírodní a syntetický korund, jejichž pevnost 9 se blíží pevnosti diamantu a v neposlední řadě se používají karbidy, syntetické diamanty. Nejčastěji používaným jsou korundové vsypy a to díky dostatečné odolnosti a přijatelné ceně. [48] [49]

Minerální vsypy s křemičitým plnivem

Jsou určeny pro střední provozní zátěž, odolnost proti obrusu dle Böhma je menší než $5 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^3$. Obsahují tříděná tvrdá nekovová abrazi vzdorná plniva s přesně stanovenou granulometrie na bázi oxidů a karbidů křemíku a hliníku, jemně mleté portlandské cementy a vhodné chemické přísady.

Vsypy se syntetickým plnivem

Jsou určeny pro vysokou provozní zátěž. Obsahují tříděná tvrdá plniva s přesně stanovenou granulometrie na bázi slinutých oxidů, speciální cementy a vhodné chemické přísady.

Metalické vsypy s kovovým plnivem

Jsou určeny pro mimořádně vysokou provozní zátěž. Obsahují abrazi odolné plniva na bázi neoxidujících kovových slitin, vysoce jakostní jemně mleté portlandské cementy a vhodné chemické přísady.

Vsypy se syntetickým a kovovým plnivem

Jsou určeny pro vysokou provozní zátěž. Obsahují tříděná tvrdá plniva s vyšším obsahem zrn vysokého lesku, jemně mleté portlandské cementy a vhodné chemické přísady. [9]

1.5.3.2 Technologie provádění

Vsypy se aplikují po dosažení pochůzí pevnosti nosné betonové desky. Tato doba se liší s vlastnostmi použitého betonu a s rozdílnými vnějšími vlivy. Obvykle se tato doba pohybuje v rozmezí 3-8 hodin. Před začátkem samotné aplikace vsypů je třeba odstranit z povrchu betonové desky všechnu přebytečnou vodu. V další fázi je vhodné provést oživení povrchu roztočením rotační hladičkou. Díky tomu se na povrchu vytvoří tenká vrstva cementové malty. Bezprostředně po této úpravě se aplikuje předem definované množství vsypové směsi.

Vsypy se aplikují v jedné či dvou fázích. Při dvoufázové aplikaci se v první fázi aplikuje 1/3 až 2/3 celkového množství vsypu. Aplikace musí být rovnoměrná, čehož se dosahuje pomocí posypových vozíků. Vsyp se nechá přibližně 10-20 minut v klidu, tak aby nasál dostatek vlhkosti v povrchu betonové desky. Po rovnoměrném provlhnutí vsypu, je možné provést samotné hlazení. Po dokončení prvního hlazení se aplikuje zbytek vsypové směsi a důkladně se zapracuje, na což se používají v obou fázích rotační hladičky. Plocha podlahy se tímto způsobem dorovnává a leští a hlavně dochází k přímému propojení nášlapné vrstvy tvořené vsypem, s vytlačenou vrstvou cementové malty z nosné desky. Jednofázová aplikace se využívá při použití strojního vybavení pro aplikaci vsypů. Celé množství vsypu se aplikuje najednou, bezprostředně po ztuhnutí a srovnání povrchu nosné desky. Výhodou této metody je rovnoměrnější distribuce vsypu na povrchu podlahy ve srovnání s manuálním způsobem. [9]

Hlazení vsypů probíhá v několika předepsaných cyklech, s ohledem na typu podkladního betonu, druhu vsypu i vnějších vlivech jako je teplota. Na hlazení se používá celá řada disků, širokých a úzkých lopatek. Kraje ploch, kde hladička nemůže vsypy zpracovat, je třeba ošetřit ručně pomocí ocelových hladítek. Celková doba zpracovávání vsypů se pohybuje mezi cca 5 – 20 hodinami. Na 1 m² připadne cca 3 – 6 kg suché směsi a vzniklá vysoce odolná nášlapná vrstva má tloušťku mezi 4 – 10 mm. Ani u vsypů není možné opomenout ošetřování. Bezprostředně po dohlazení podlahy musí být její povrch zajištěn proti příliš rychlému odpařování vody. Základními možnostmi ošetřování jsou: mlžení povrchu vodou nebo zakrytí povrchu podlahy vlhkou geotextilií či folií. Velice používané jsou postřiky nebo nátěry penetračními prostředky, které zabrání odpařování vody z povrchu betonu po dobu dostačující k správnému vyzrání betonu. Dokončenou podlahu je také třeba opatřit dilatačními řezy.

1.5.3.3 Charakteristika vsypových podlah

Poruchy vsypových podlah

Pro správné fungování vsypu s podkladním betonem je třeba zvolit kompatibilní druhy. V opačném případě je pravděpodobné, že dojde k poruchám. Příliš rychle tuhnoucí beton neumožní aplikaci dostatečné vrstvy vsypu, což může vést k snížení životnosti povrchové vrstvy. Příliš pomalu tuhnoucí beton má pozvolnější průběh tuhnutí a smršťování než vsyp a může zapříčinit nižší přídržnost nášlapné vrstvy k podkladu.

Při brzké aplikaci vsypu na povrch nosné desky a s ní související nízké pevnosti betonu, může dojít během hlazení k porušení rovinnosti podlahy a k zhoršení otěruvzdorných vlastností podlahy. Tato porucha je zapříčiněna přílišným promícháním vsypu s povrchovou vrstvou betonové desky.

Při pozdním začátku aplikace a hlazení vsypu nedojde k potřebnému ukotvení vrstvy vsypu k povrchu nosné desky. Tuto situaci mohou vyvolat i nepříznivé klimatické podmínky, jako vysoká teplota a nízká relativní vlhkost. V takovém případě se zkrátí čas na hlazení, není možné použít správné množství vsypu a je velice reálná hrozba tzv. delaminace vsypové vrstvy od nosné desky. Díky tomu vsypová vrstva nedostane potřebnou dávku vody, nedosáhne správných vlastností v čerstvém stavu a nerovnoměrný proces tuhnutí a tvrdnutí obou vrstev vede k jejich nesoudržnosti.

Delaminaci je možné definovat jako plošné oddělení povrchové nášlapné vrstvy od podkladního betonu. Delaminovaná plocha může mít velmi rozdílnou velikost, od drobných puchýřků velikosti mince až po velké plochy v rozsahu několika metrů čtverečních. Kromě pozdního nanášení vsypu, mohou k delaminaci vést i další příčiny. Brzké nanášení vsypu zapříčiní předčasné uzavření povrchu betonu a zabrání kapilárnímu vystupování vody a vzduchu na povrch betonové desky. Tlak vody či vzduchu v kapilárách vyvolá oddělení čerstvé vsypové vrstvy. Vznik této poruchy podporuje vlhčení betonové desky před aplikací vsypu. Obdobné nebezpečí hrozí i v případě aplikace vsypu do neodstraněné výpotkové vody. Další příčinou delaminací je nedostatečné ošetřování povrchu podlahy po skončení betonáže. Rychlé vysychání povrchu má vliv na nadměrné smrštění vsypové vrstvy, vznik trhlin a související delaminaci. [50]

Vsypové podlahy jsou velice odolné proti mechanickému poškození. V případě že dojde k lokálnímu poškození podlahy, je oprava poměrně náročná. To platí i při delaminaci. Poškozené místo je třeba vyříznout a aplikovat opravnou hmotu. V případě, že poškození místo je méně zatěžováno, je možné použít jako opravnou hmotu například vsyp, který se rozmíchá s disperzní penetrací a vodou. V místě většího zatížení je vhodné použít jako opravnou hmotu například polymercementovou průmyslovou stěrku nebo syntetickou maltu na bázi pryskyřic a abrazi odolných plniv. [7]

Výhody vsypových podlah

Při dodržení pracovních postupů a volbě vhodných surovin vznikne monoliticky spojené souvrství bez nutnosti použití spojovacích můstků a penetrací. Smršťování betonů a vsypu je na stejné úrovni, čímž je dosaženo vyšší spolehlivosti realizovaných podlah. V takovém případě je omezen vznik mikrotrhlin, nevzniká nebezpečí delaminace obou vrstev důsledkem rozdílného vývoje pevností a prodlužuje se životnost celé podlahové konstrukce. [49]

Při správném provedení vsypů je náběh pevností rovnoměrný a výsledné pevnosti v tlaku ($> 70 \text{ Mpa}$) zaručují možnost vysokého provozního zatížení. Při vhodném návrhu zbytku podlahové konstrukce s vysokou odolností proti ohybu jsou vsypové podlahy ideální volbou do středně a vysoce zatěžovaných provozů. [49]

Při realizaci nové podlahy se vsypy vyznačují rychlým provedením finální vrstvy, jelikož se aplikují bezprostředně po zavadnutí nosné desky a nevznikají žádné prostoje z důvodu technologických přestávek. [9]

Vsypové podlahy jsou bezprašné a vyznačují se vysokou odolností vůči obrusu podlahy provozem. Garantovaná odolnost proti obrusu metodou Böhme je u vsypů $5 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^3$. Vsypy zároveň zvyšují nekluznost povrchu podlahy a odolnost proti rázům.

Nevýhody vsypových podlah

Tzv. vlasečnicový efekt je přirozenou vlastností vsypových podlah, ale na druhou stranu je možné tento jev považovat za slabinu této technologie. Pro zachování maximální životnosti a minimálních nároků na údržbu podlahy je žádané minimum vad a nedokonalostí na povrchu finální vrstvy podlahy. [44]

Technologie aplikace vsypů vyžaduje zkušenou, technicky dobře vybavenou četu cca 10 – 15 pracovníků. Samotná realizace často přesáhne 24 hodin. Při aplikaci vsypů je vzhledem k vysokému počtu pracovníků, mechanizace, využívání betonárky, čerpadel a ostatních řemesel nutné dosáhnout vysokých koordinačních schopností.

Kvalita povrchů je závislá na velkém množství přímých a nepřímých faktorů. Například kvalita betonové směsi, správné načasování aplikace vsypu, klimatické podmínky, zručnost pracovníků, způsob a délka ošetřování atd. Vsypové podlahy nejsou absolutně nenasákavé a je vhodné je ošetřit fobizačními nátěry pro zlepšení těchto vlastností. [45]

Díky složení a způsobu aplikace vsypové povrchy dosahují vysokých pevností, ale zároveň nízkých pružností a jsou poměrně křehké. S tím souvisí nižší odolnost proti vyštipování povrchu při pádu těžkých břemen, případně při pojezdu mechanizace s kovovými kolečky. Oprava vzniklých škod je poměrně obtížná. [9]

Vsypové podlahy dosahují svých pevností postupně a konečných pevností dosáhnou až po 28 dnech. Velice často bývají podlahové konstrukce realizovány na počátku samotné stavby a při projektování stavby je třeba počítat s tím, že prvních cca 10 dní je povrch náchylný na mechanické poškození.

Vsypové podlahy není možné využít ve všech případech. Tato technologie je proveditelná jen u nových podlah a při opravě či sanaci starých podlahových těles je nutné zvolit jinou metodu pro finální úpravu podlahové konstrukce.

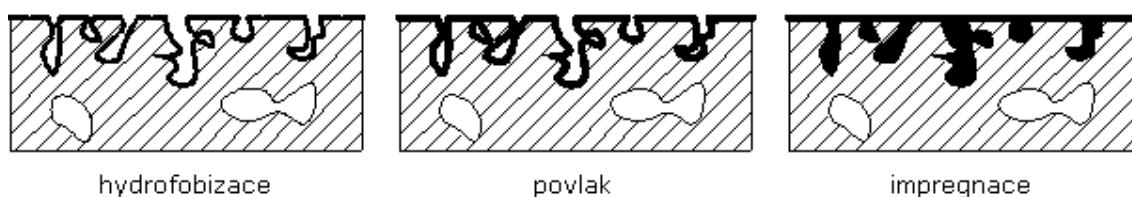
Při strojním hlazení hrozí nebezpečí lokálního přehlazení povrchu, které představuje estetickou závadu. Obecně platí, že výsledný povrch vsypové podlahy nelze barevně sjednotit povrchovým nátěrem. Při aplikaci vsypu ve 2 vrstvách je výsledný povrch obvykle barevně jednotný. Rozdíly barevnosti v ploše jsou často zapříčiněny nerovnoměrným zráním nosné desky, kdy může lokálně větší koncentrace cementové malty zapříčinit barevné rozdíly. Řešením je volba vhodné betonové směsi pro nosnou desku. Důležitá je i kvalitní pokládka nosné desky, především dodržení její rovinnosti a zároveň je třeba dodržet všechny technologické postupy při aplikaci vsypů. [45] [44]

Pomocí vsypů není možné na rozdíl od potěrů aplikovaných mokřím způsobem ovlivnit rovinnost podlahy. Proto jsou při aplikaci vsypů zvýšené nároky na kvalitu provedení roznášecí vrstvy a chyby v jejím provedení budou přeneseny do nášlapné vrstvy.

Životnost vsypových podlah je značně odlišná v závislosti na kvalitě provedení, druhu namáhání a v neposlední řadě také na způsobu ošetřování. [45]

1.5.4 Impregnace povrchu

Betonové povrchy lze ošetřit buď hydrofobní impregnací, povlakem nebo impregnací.



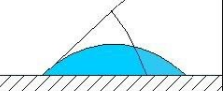
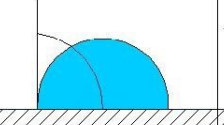
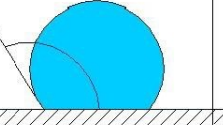
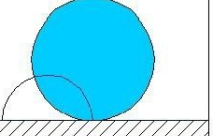
Obr. 7 Rozdíl jednotlivých uprav betonových povrchů [51]

Při impregnaci povrchu betonu jsou póry a kapiláry v povrchové vrstvě vyplněny impregnační látkou a povrch je uzavřen. Povlakem je označován takový stav, kdy jsou kapiláry v povrchové vrstvě zúženy a nebo dojde k vytvoření tenké vrstvy na povrchu betonu. Při hydrofobizaci betonu se vytvoří v povrchové vrstvě na povrchu kapilár a pórů tenký film, který odpuzuje kapaliny, ale zároveň je propustný pro vodní plyny a páru.

1.5.4.1 Hydrofobizace povrchu betonu

Podstata hydrofobizace

Vodoodpudivost povrchu betonu díky hydrofobizaci je zapříčiněna zvýšením tzv. smáčecího úhlu pro vodu. Ten charakterizuje, na jakou plochu se rozlije kapka vody. U silikátových materiálů s nízkým smáčecím úhlem se kapka vody rozleje na velkou plochu a touto plochou může kapalinu také vsakovat. Tyto materiály jsou označovány jako hydrofilní. Materiály s vyšším smáčecím úhlem jsou špatně smáčeny, jelikož kapka vody se rozleje na malé ploše, takové materiály se označují jako hydrofobní. [51]

smáčecí úhel $\Theta \approx 0^\circ$	smáčecí úhel $\Theta < 90^\circ$	smáčecí úhel $\Theta = 90^\circ$	smáčecí úhel $\Theta > 90^\circ$	smáčecí úhel $\Theta \approx 180^\circ$
				
velmi dobře smáčivý (rozliti)	dobře smáčivý	mírně (středně) smáčivý	špatně smáčivý	nesmáčivý

Obr. 8 Schéma popisující rozdílné smáčecí úhly povrchů a vliv na rozliti kapky vody [51]

Hydrofobizace betonu spočívá ve vytvoření tenkého filmu hydrofobizující látky na vnitřním povrchu pórů a kapilár, přičemž takto tenký film nezmenší jejich průměr. Díky tomu se sníží nasákavost podlahy, ale zároveň není zabráněno průchodu plynů včetně vodní páry.

Přípravky pro hydrofobizační impregnaci

Velká většina hydrofobizačních impregnací je vyrobena ze směsi hydrofobizujících látek a pomocných materiálů. Jedná se o nepolární sloučeniny obsahující uhlíkaté řetězce.

Alkoxy siloxany (zkráceně „siloxany“) jsou nejčastěji používanými hydrofobními přípravky. Představují ji siloxanové pryskyřice v koncentraci 3 – 8 % a jako rozpouštědlo se používá lakový benzín. Díky použitému rozpouštědlu nelze tento druh impregnací použít na vlhké nebo mokré povrchy. Siloxanové impregnace jsou rozpustné, takže není problém je příslušným nátěrem odstranit, zároveň jsou obnovitelné novým nátěrem siloxanové impregnace. Lakový benzín je nešetrný k životnímu prostředí a je hořlavý. [51]

Silany, neboli alkoxy silany jsou estery kyseliny křemičité. Rozpouštědlem silamů jsou bezvodé alkoholy (izopropylalkohol) a alifatická rozpouštědla. Silany reagují se vzdušnou vlhkostí za vzniku gel kyseliny křemičité, která má kromě hydrofobizačního efektu také zpevňující působení. Silany vytvářejí chemickou vazbu na povrchu křemičitých zrn, takže jsou v podstatě z povrchu neodstranitelné. Zároveň se silany vyznačují dobrou penetrační schopností.

Silikonové mikroemulze jsou nízkomolekulární silikonové sloučeniny, vytvářející po smíchání s vodou vodní emulzi. Výhodou těchto impregnací je jejich mísitelnost s vodou, takže představují alternativu za impregnace s organickými rozpouštědly.

Další hydrofobizační přípravky mohou být založeny na bázi: alkoxy polysiloxanů ředitelných vodou, nízkomolekulárních oligomerních alkylalkoxysiloxanů nebo například silikonátů.

Z hlediska provedení se obvykle liší hydrofobizační přípravky vlivem látky použité jako rozpouštědlo. V praxi se používají hydrofobizace jako: vodní emulze, mikroemulze, roztoky v organickém rozpouštědle a pasta nebo krém.

Technologie provádění hydrofobizačních impregnací

Hydrofobní přípravky se aplikují pomocí nátěrů, nástřiků, polévání nebo v případě malých předmětů i ponorem. Pro účinnost je zásadní míra nasycení ošetřovaného povrchu. Správně provedená impregnace by měla proniknout do hloubky 2 – 4 mm, v případě že jsou betonové výrobky vystaveny působení solí, měla by hloubka penetrace dosahovat 6 – 8 mm. [51]

Existuje několik obecných zásad platných pro aplikaci hydrofobizačních přípravků. Povrch musí být zbaven nečistot. Provádění se doporučuje při teplotě v rozmezí 10 – 25 °C. Při nízkých teplotách se zpomalí rychlost odparu rozpouštědla a s tím souvisí zpomalení vytvrzování silikonové pryskyřice. Naopak při vyšších teplotách nestihne přípravek vsáknout dostatečně hluboko do materiálu, čímž se sníží účinnost impregnace. Čerstvě ošetřený povrch je třeba po dobu předepsanou výrobcem impregnace chránit před deštěm, silným větrem a přílišným mechanickým namáháním.

Závady hydrofobních impregnací

Nejčastějším problémem u impregnovaných povrchů je při nanesení příliš silné vrstvy přípravku. Silné vrstvy hydrofobizačního přípravku vytváří lesklé plochy a také mohou vzniknout nažloutlé skvrny. Této závadě je nutné se vyhnout už při aplikaci přípravku setřením jeho přebytku z povrchu podlahy. V případě zatvrdnutí hydrofobizačního přípravku je obvyklé možné se těchto vrstev zbavit pouze mechanicky, například obroušením nebo otryskáním. [51]

Je třeba dobře zvolit správný hydrofobizační přípravek pro danou situaci a povrch. Různé impregnace se mohou projevovat různými vlastnostmi a ani paropropustnost není u všech druhů hydrofobizací garantovaná. Například methylsilikonáty zapříčiňují zúžení kapilár a může dojít k nepropustnosti povrchové úpravy. Proto je dobré znát, jak hydrofobizace ovlivňuje difúzní odpor povrchové úpravy.

Při použití hydrofobizace na materiál obsahující vodorozpustné soli může docházet v tzv. vnitřní korozi. Vnitřní koroze vzniká odpařováním volné vody z betonu povrchem, čímž se vyplavuje sůl a ta se hromadí pod hydrofobizační vrstvou. Při vysoké koncentraci solí v této vrstvě může dojít ke tvorbě krystalů a v nejhorším případě tak může dojít k odtrhnutí celé vodoodpudivé vrstvy. Vnitřní koroze se na povrchu podlahy neprojevuje, až do okamžiku kdy se začne odlupovat povrchová vrstva. [52]

1.6 Zkoušky cementových potěrů

1.6.1 Ověření reologických vlastností

1.6.1.1 Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti cementu – ČSN EN 196-3+A1

Cementová kaše normální konzistence projevuje určitý odpor proti vnikání normalizovaného penetračního válečku. Množství vody, potřebné pro normální konzistenci cementové kaše, se stanovuje pokusným vnikáním penetračního válečku do kaši s různým obsahem vody. Normální konzistence cementové je potřebná pro zkoušky stanovení počátku a konce doby tuhnutí a pro zkoušku objemové stálosti.

Tuhnutí se sleduje vnikáním jehly do cementové kaše normální konzistence, až je dosaženo určité předepsané hodnoty.

Objemová stálost se stanoví podle změny objemu cementové kaše normální konzistence. Je dána relativní změnou vzdálenosti mezi hroty dvou tyčinek na Le Charelierově objímce. [53]

1.6.1.2 Stanovení pevnosti cementu – ČSN EN 196-1

Pevnost je nejdůležitější vlastností. Zjišťuje se pevnost v tahu za ohybu na trámečcích 40 x 40 x 160 mm a pevnost v tlaku na jejich zlomcích. Tato zkušební tělesa se zhotovují ze záměsi plastické malty obsahující: jeden hmotnostní díl cementu (450 g $\pm$ 2 g), tři hmotnostní díly normalizovaného písku, půl dílu vody. [31]

1.6.1.3 Měření velikosti částic laserovou difrakcí – ISO 13320

Při této zkoušce jsou částice prozařovány laserovým paprskem, který se v kyvetě se vzorkem rozptyluje. Díky částicím vzorku dochází k ohybu (difrakci) laserového paprsku. Úhel ohybu světla je nepřímo úměrný velikosti částice. [54]

1.6.1.4 Stanovení zrnitosti kameniva – ČSN EN 933-1

Kamenivo se roztřídí a oddělí pomocí sady sít do několika zrnitostních podílů s klesající velikostí částic. Velikost otvorů sít a počet sít jsou voleny podle druhu vzorku a požadované přesnosti. Hmotnost částic zachycených na sítích se uvádí v procentech k počáteční hmotnosti vzorku. [55]

1.6.1.5 Stanovení tvaru zrn kameniva (tvarový index) – ČSN EN 933-4

Jednotlivá zrna jsou roztržena na základě jejich poměru délky L k tloušťce E pomocí dvoučelistového posuvného měřítka. Tvarový index se vypočítá jako hmotnostní podíl zrn, jejich poměr rozměrů L/E je větší než 3 a vyjadřuje se jako procento k celkové hmotnosti zkoušených zrn. [56]

1.6.1.6 Zkouška konzistence čerstvé malty s použitím strásacího stolku – ČSN EN 1015-3

Podstatou zkoušky je hodnota rozlití malty, která se získá změřením průměru rozlitého vzorku čerstvé malty. Zkouška se provádí na dvou zkušebních vzorcích. Liší-li se jednotlivé hodnoty rozlití od jejich průměrné hodnoty o více než 10 %, zkouška se opakuje. Výsledkem je průměrná hodnota rozlití v mm, zaokrouhlená na 5 mm. [57]

1.6.2 Zkoušení na čerstvých hmotách

1.6.2.1 Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě – ČSN EN 1015-7

Princip zkoušky je stejný se stanovením obsahu vzduchu v čerstvých betonech. Malta se umístí do předepsané měřicí nádoby na vzorek. Nad povrch malty se přivede voda a tlakovým vzduchem nebo pomocí směsi alkoholu a vody se působí na vzduch rozptýlený v pórech malty. Hladina vody poklesne a charakterizuje objem vzduchu, vytlačený z malty. [58]

1.6.2.2 Stanovení doby zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty – ČSN EN 1015-9

Doba zpracovatelnosti čerstvé malty, upravené na předepsanou hodnotu konzistence, se stanoví dobou v minutách, za kterou je dosaženo stanovené meze odporu vůči penetraci normalizovaného válečku do malty. Měří se čas v minutách, od smíchání suchých složek s vodou po dosažení odporu vůči penetraci – $0,5 \text{ N/mm}^2$. [59]

1.6.2.3 Odběr vzorků, zhotovení vzorků a ošetření zkušebních těles – ČSN EN 13892-1

Míchání musí být provedeno přesně podle doporučení výrobce s použitím vody nebo určené kapaliny. Je-li pro množství vody nebo kapaliny stanoven určitý rozsah, musí být použito průměrné množství. Deklaruje-li výrobce konsistenci namíchaného potěrového materiálu, pak musí být tato hodnota dodržena. Teplota ve zkušební místnosti, teplota zařízení a materiálu (suchý materiál, voda) musí být $(20 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C})$. [60]

1.6.3 Zkoušení ztvrdlého povrchu

1.6.3.1 Pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku – ČSN EN 13892-2

Zkouška se provádí na zkušebních trámčích o rozměrech $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}$. Nejprve se stanoví pevnost v tahu za ohybu ze zatížení, které vede k porušení zkušebního tělesa při zatížení, vyvozeném v jeho středu.

Dvě poloviny zlomeného zkušebního tělesa se potom použijí pro stanovení pevnosti v tlaku. Každá polovina se zkouší při zatížení tlakem, rovnoměrně rozloženém po části zlomeného tělesa. Pevnost v tlaku se vypočítá ze zatížení, které vede k porušení tělesa. [61]

1.6.3.2 Objemová hmotnost – ČSN EN 206

Podle objemové hmotnosti ve vysušeném stavu je beton definován jako obyčejný, lehký a těžký. Objemovou hmotnost lze stanovit pro 3 stavy: V normálních laboratorních podmínkách, nasycený vodou, vysušený v sušárně. [62]

1.6.3.3 Nasákavost – ČSN EN 1097-6

Zkouška se provádí na zkušebních trámčích o rozměrech $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}$ a stárí alespoň 28 dní. Zaznamenává se hmotnost tělesa v normálních laboratorních podmínkách, následně se ponoří do vody a po ustálení hmotnost se zaznamená hodnota plně nasáklého tělesa. Dále se umístí vzorky do sušárny s teplotou $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$, kde se ponechají znovu do ustálení hmotnosti. Tato hmotnost odpovídá plně vysušenému vzorku. [63]

1.6.3.4 Tvrdost povrchu – ČSN EN 13892-6

Tvrdost povrchu se stanoví jako přetrvávající hloubka vtlačení ocelové kuličky, umístěné na povrchu zkušebního tělesa, pod normalizovaným tlakem. Tvrdost povrchu se vypočítá jako podíl zatížení, vyvozeného na ocelovou kuličku a plochy vtlačení vypočtené z hloubky vtlačení. [64]

1.6.3.5 Přídržnost – ČSN EN 13892-8

Pevnost v tahu povrchových vrstev se zkouší a vyhodnocuje postupem „B“ podle normy ČSN EN 73 6242, příloha B. Zkušební zařízení jsou zkušební terče o průměru 50 mm, opatřena závitem ve svém těžišti umožňujícím spojení s trhacím přístrojem. Jako trhací přístroj se používá Dyna. [65]

1.6.3.6 Odolnost proti ohrusu metodou Böhme – ČSN EN 13892-3

Odolnost proti ohrusu Böhme se stanovuje jako zmenšení objemu vypočteného z úbytku hmotnosti. V případě zkušebního tělesa s více vrstvami se odolnost proti ohrusu stanoví z úbytku tloušťky. [66]

1.6.3.7 Odolnost proti ohrusu metodou BCA – ČSN EN 13892-4

Odolnost povrchu potěrových materiálů proti ohrusu metodou BCA se posuzuje měřením průměrné hloubky brusu, způsobeného zkušebním přístrojem s třemi tvrzenými ocelovými kolečky s normalizovanou zátěží, pohybujícími se po kruhové dráze stanoveným počtem otáček. Průměrná hloubka ubrusu na kruhové dráze se použije k určení odolnosti povrchu potěru proti ohrusu v daných zkušebních podmínkách. [67]

1.6.4 Zkoušení podkladního tělesa

1.6.4.1 Zkoušení tvrdosti

Tvrdoměrné metody zkoušení betonu – ČSN 73 1373

Metoda Schmidtových tvrdoměrů - Schmidtovy tvrdoměry se dělí podle vyvozené energie: typ N, typ L, typ M. Jsou to pružinové tvrdoměry skládající se z razníku, beranu, pružin a ukazatele se stupnicí. Při zatlačení razníku a uvolnění závěsu, beran dopadne na razník, odrazí se a posune ukazatel na měřítku do místa, které je hodnotou velikosti odrazu. Velikost odrazu je závislá na poloze tvrdoměru. Základní poloha tvrdoměru je vodorovná.

Špičáková metoda - ČSN - vlhkost betonu při zkoušce - beton přirozeně vlhký, vlhký nasycený vodou, výjimečně i suchý; krychelná pevnost betonu musí být v rozmezí 3 až 30, a minimální tloušťka zkoušené vrstvy betonu 100 mm. [68]

1.6.4.2 Měření vlhkosti – Destruktivní metody

Gravimetrická metoda – ČSN EN 74 4505

Gravimetrickou metodu lze označit za nejznámější, zdaleka to není metoda nejrozšířenější. V souladu s normou ji lze nahradit jinou metodou, musí však být prokázáno, že vede ke stejným výsledkům. Vlhkost materiálů (obsah volné vody) se stanovuje vysušením odebraného vzorku z konstrukce do ustálené hmotnosti.

Odběr vzorku se provádí ručním vysekáváním. Použití příklepové vrtačky lze sice připustit, ale nedoporučuje se. Při jejím použití dochází k ohřevu a tím pádem vysušování materiálů, čímž může dojít ke zkreslení výsledků. Beton a cement se suší při teplotě 105 ± 2 °C. U materiálů, kde by vysušení při této teplotě došlo ke ztrátě chemicky vázané vody, se užívá teploty nižší nebo vysušení v suchém prostředí. Anhydrit lze sušit pouze při teplotě 40 ± 2 °C. [3]

Karbidová metoda – ČSN EN 74 4505

Vzorky se odebírají v celé tloušťce podlahy a je nutné je vysekát ručně, případně lze použít pneumatické kladivo.

Ke stanovení vlhkosti se používá CM přístroj. Metoda je založena na chemické reakci, která probíhá ve speciální uzavřené nádobě.

Stanovená vlhkost se udává v tzv. procentech CM, která se liší od procent hmotnostní vlhkosti zjištěných gravimetrickou metodou. [3]

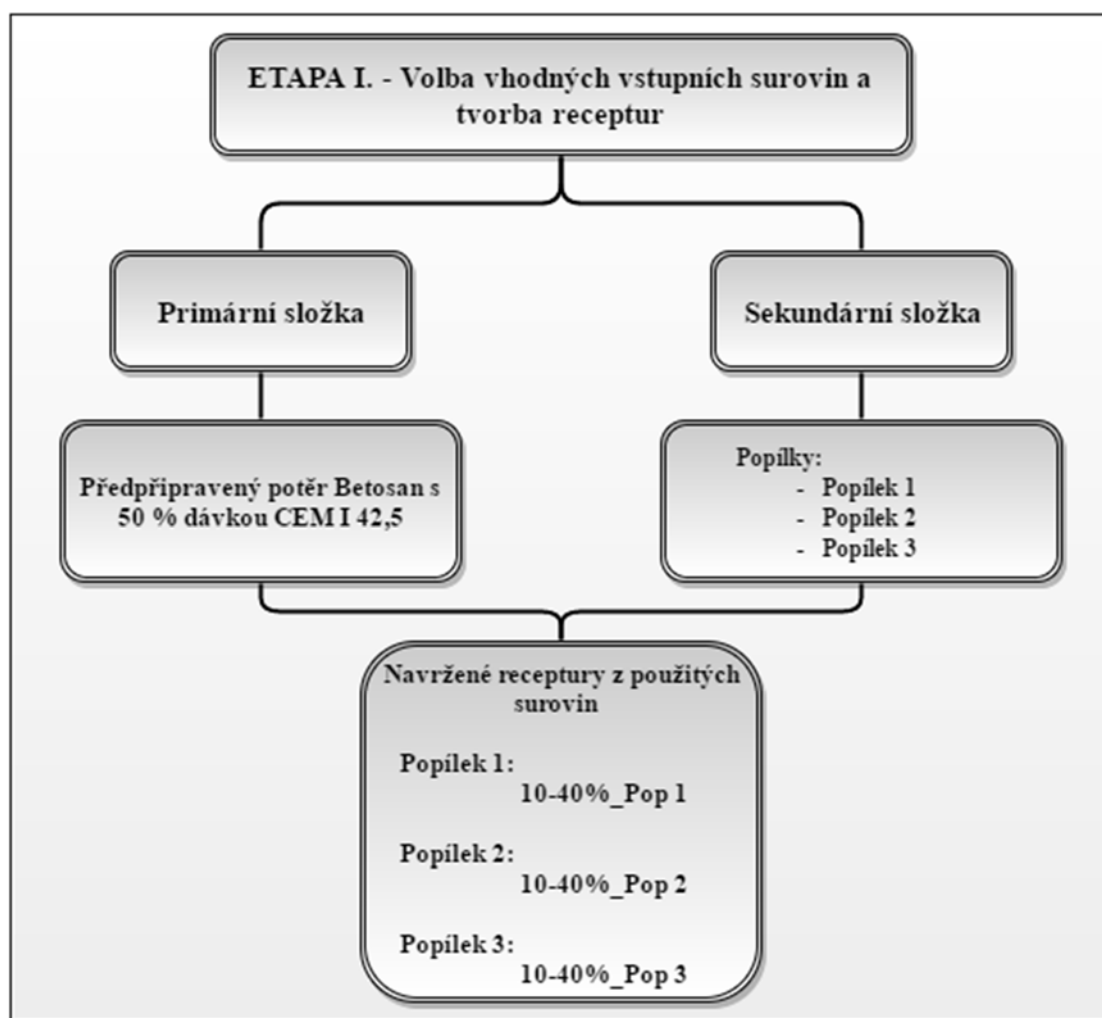
2 CÍL PRÁCE

Cíle teoretické části práce je studium odborné literatury z místních i zahraničních zdrojů týkajících se podlahových konstrukcí, průmyslových podlah a možnosti finálních úprav jejich povrchů. V rámci teoretické části budou zpracovány témata týkající se těchto problematik a budou zhodnoceny pozitiva i rizika stěžejních témat.

Cílem této práce je navržení vhodné receptury pro podlahový potěr s využitím druhotné suroviny jako náhrady primárního pojiva. Tato receptura by měla dosahovat stejný nebo lepších fyzikálně mechanických vlastností jako původní receptura bez druhotné suroviny.

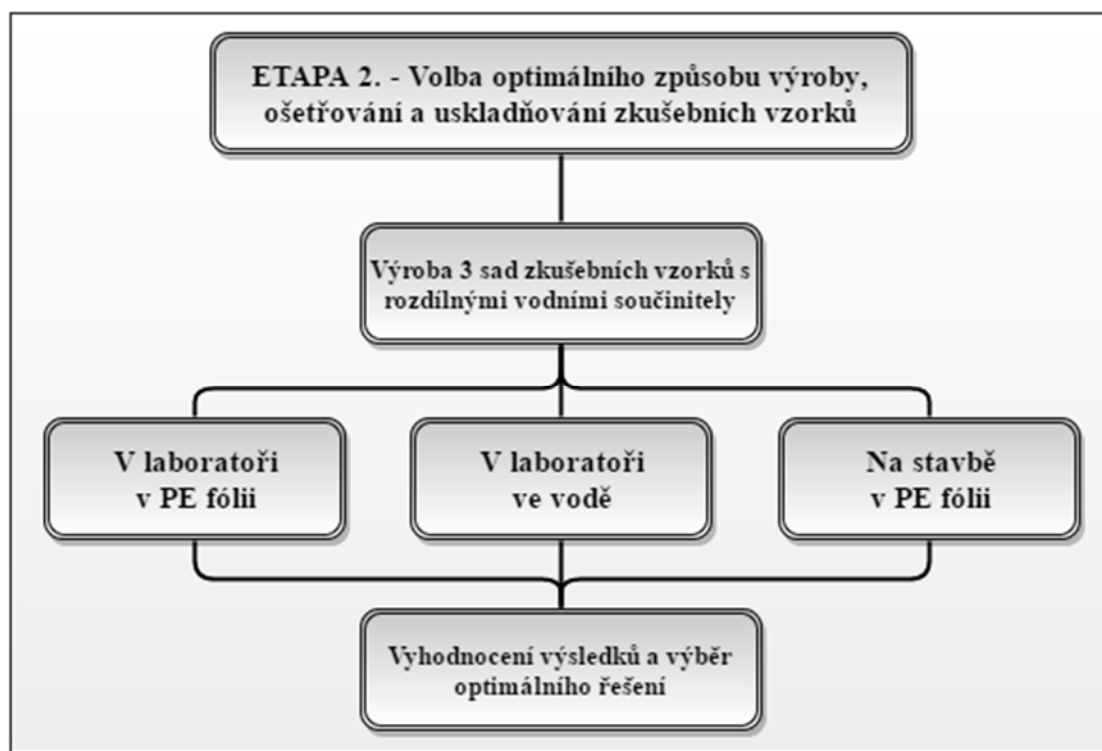
3 METODIKA PRÁCE

3.1 ETAPA I. – Volba vhodných vstupních surovin a tvorba receptur



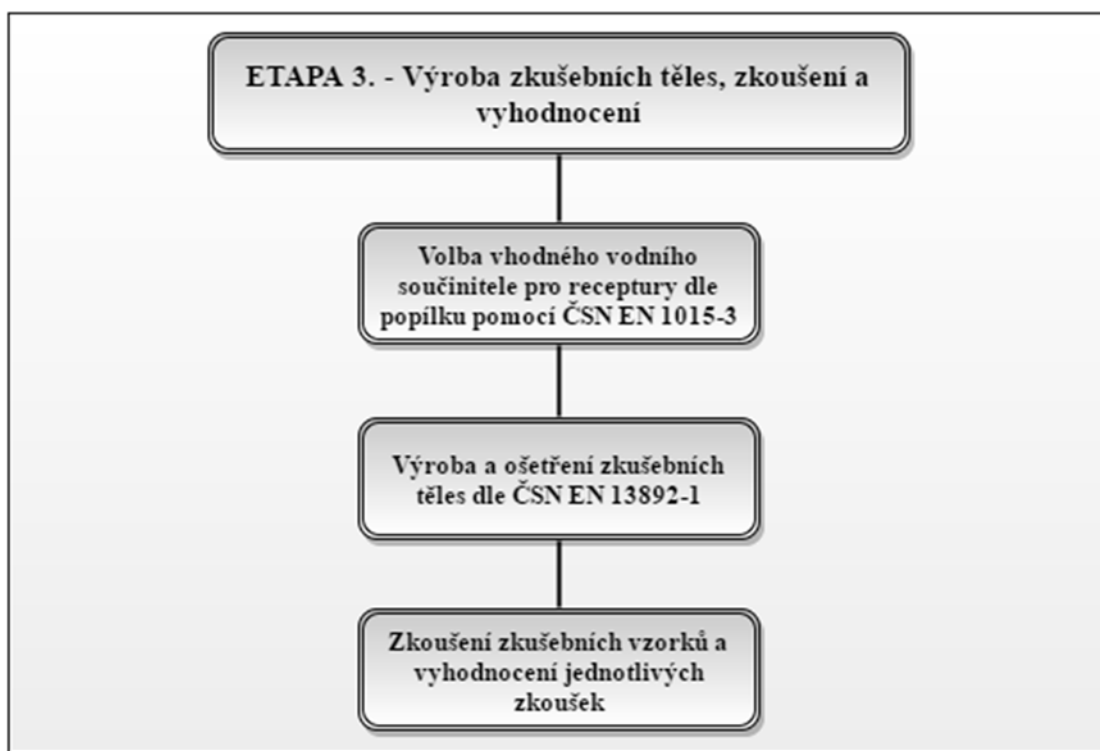
ETAPA I. – V této části budou popsány použité vstupní suroviny pro výrobu podlahového potěru na bázi cementového pojiva a zároveň zde bude rozebrán postup návrhu a výroby všech receptur použitých v experimentální části této práce.

3.2 ETAPA II. – Volba optimálního způsobu výroby, ošetřování a uskladňování vzorků



V této části bude popsán postup výroby a zkoušení těles z referenční hmoty, které byly odlišně ošetřovány a uloženy v rozdílných prostředích. Z výsledků zkoušek byl zvolen optimální způsob ošetřování a uložení vzorků pro následující etapu.

3.3 ETAPA III. – Výroba zkušebních těles, zkoušení a vyhodnocení



V této části bude popsán postup při volbě vhodného vodního součinitele pro jednotlivé receptury. Dále se tato etapa bude zabývat výrobou samotných zkušebních těles, jejich ošetřováním, uložením, zkoušením a vyhodnocením výsledků těchto zkoušek.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část této práce byla prováděna v laboratořích výzkumného centra AdMaS v rámci projektu TAČR. Na projektu spolupracují společnosti Betosan s r.o., Komfort, a.s. a Fakulta stavební, Vysokého učení technického v Brně. Tento projekt je zaměřen na výzkum a vývoj nového systému podlah na silikátové bázi pro extrémní mechanické a chemické zatížení.

Pro zkoušení byla použita referenční směs podlahového potěru na bázi cementového pojiva od firmy Betosan. Zkoušky byly prováděny pomocí směsi na podlahový potěr označované dále jako “základní směs“. Tato směs byla pro zkoušení ideální, jelikož obsahuje pouze 50 % dávku cementu. To znamená, že cement mohl být nahrazován druhotnými surovinami.

4.1 ETAPA I. – Volba vstupních surovin a tvorba receptur

K primární surovinové skladbě dodávané výrobcem byla přidána jako náhrada cementového pojiva druhotná surovina. Množství nahrazeného cementu se pohybovalo v rozmezí 10 – 40 % z m.c. Druhotnou surovinu představovaly v této práci tři druhy vysokoteplotních popílků – dále jsou označovány jako Popílek 1, Popílek 2 a Popílek 3.

4.1.1 Použité materiály

Pro výzkum byla použita základní směs pro podlahový potěr. Její složení je známé, ale pouze v přibližných hodnotách.

Tabulka 3 Složení suché potěrové směsi dodané výrobcem

Receptura silikátového potěru		
Surovina	Dávka - rozmezí [%]	
Portlandský cement CEM I	28	32
Elektrárenský popílek Počeradý	7	8
Štěrkodrt' 4/8 mm	12	16
Křemenný písek 0,1 - 0,6 mm	6	10
Křemenný písek 0,6 - 1,0 mm	6	10
Křemenný písek 1,0 - 4,0 mm	10	15
Jemně mletý vápenec	3	5
Polypropylenová vlákna	0,04	0,06
Křemičité úlety	1,5	1,8
Hlinitanový cement	9	14
Přířada pucolánového typu	1,5	2
Odpěňující přířada	0,2	0,3
Superplastifikátor	0,5	0,8
Zpomalující přířada	0,4	0,7

Dále se pro homogenizaci používal cement CEM I 42,5 R.

Druhotné suroviny pro výzkum byly tři a ve všech případech šlo o popílky z vysokoteplotního spalování hnědouhelného prachu v tepelných elektrárnách na území České republiky. Všechny popílky byly vybrány tak, aby pocházely z perspektivních zdrojů, z provozů po obnově se stabilní produkcí a kvalitou.

Tabulka 4 Základní vlastnosti vysokoteplotních popílků použitých v experimentální části

Popílky - vlastnosti				
Popílky	ZŽ	Sypná hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]		Měrný povrch [$\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$]
		volně sypaná	setřesená	
Popílek 1	2,01	850	940	312
Popílek 2	1,97	730	940	262
Popílek 3	1,07	910	1110	299

Z tabulky 4 vyplývá, že se použité popílky liší již ve fyzikálních vlastnostech. Rozdílné vlastnosti se projeví při zkoušení těles s těmito popílky.

Tabulka 5 Chemické složení vysokoteplotních popílků použitých v experimentální části

Popílky - chemické složení									
Popílky	Chemické složení [%]								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
Popílek 1	52,5	26,5	6,05	0,05	1,38	0,944	1,69	0,318	0,117
Popílek 2	48,3	22,8	16,6	0,5	3,7	1,73	1,163	0,447	0,177
Popílek 3	54,6	29,5	5,46	0,08	1,81	0,96	1,34	0,245	0,109

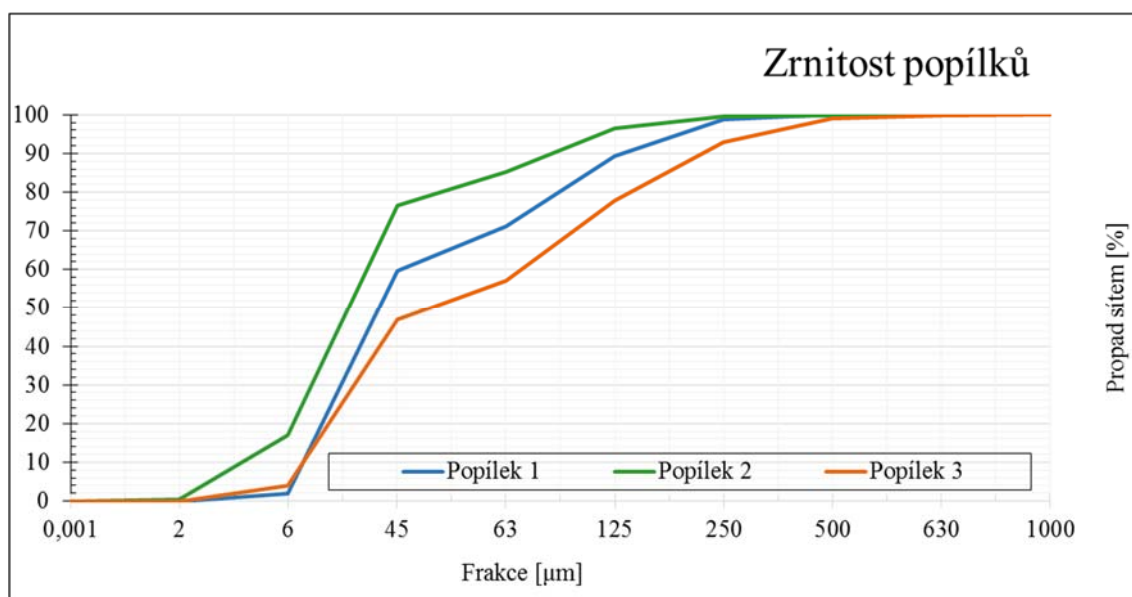
Tabulka 6 Mineralogické složení vysokoteplotních popílků použitých v experimentální části

Popílky - mineralogické složení						
Popílky	křemen	mullit	hematit	maghemit	magnetit	amorfní fáze
	SiO ₂	Al ₆ Si ₂ O ₁₃	Fe ₂ O ₃	γ -Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	-
Popílek 1	6,1	22,3		2	0,1	69,5
Popílek 2	7,1	18,2	2,3	2,3	3,1	56,1
Popílek 3	7,8	32,3		1,6	0,2	58,1

Z tabulky 5 a 6 lze vyčíst rozdíly v chemickém a mineralogickém složení jednotlivých popílků. SiO₂ má vliv na pucolanitu. Jeho nejvyšší obsah je u Popílku 3, tudíž se dá předpokládat dosažení vyšších pevností právě s tímto popínkem.

Tabulka 7 Zrnitost vysokoteplotních popílků použitých v experimentální části zjištěná pomocí laserové difrakce

Popílky - zrnitost										
Popílky	Zbytky na síť [μm]									
	0.001	2	6	45	63	125	250	500	630	1000
Popílek 1	100,00	100,00	98,08	40,35	28,73	10,57	1,28	0,00	0,00	0,00
Popílek 2	100,00	99,65	83,12	23,43	14,83	3,59	0,42	0,08	0,03	0,00
Popílek 3	100,00	100,00	96,11	53,12	42,95	22,29	7,09	0,89	0,03	0,00



Graf 1 Graf vyjadřuje rozdílnou zrnitost zkoušených popílků

Z tabulky 7 a přiloženého grafu 1 lze vyčíst zrnitost jednotlivých popílků. Nejjemnější popílek je dle těchto výsledků Popílek 2. Popílek 3 má největší množství větších zrn, ale všechny tři popílků obsahují i poměrně velké množství jemné frakce.

4.1.2 Příprava receptur

Základní receptura pro podlahový potěr, se kterou se dále pracovalo, není sama o sobě hotová, obsahuje jen 50 % cementu z finální směsi. Zbývající dávka cementu se doplňuje ručně. Pro zjednodušení se referenční receptura míchala tím způsobem, že se k 1 kg směsi základní směsi přimíchalo 0,2 kg dodaného cementu CEM I 42,5 R. Z toho důvodu bylo třeba i referenční směs důkladně homogenizovat tak, aby před dalšími zkouškami nevykazovala nerovnoměrné výsledky. Homogenizace suchých směsí probíhala u všech receptur po dobu 40 minut v uzavřené míchačce. Takto připravené směsi byly uloženy do označených pytlů a používány k dalších zkouškám.

Při návrhu receptur se počítalo s tím, že dávka 0,2 kg cementu je 50 % z celkového množství cementu, potřebného k správnému fungování výsledného potěru. To znamená, že u receptury s 10 % náhradou cementu popílkem bylo přidáno 0,08 kg popílku a 0,12 kg cementu. Analogicky se postupovalo i u ostatních receptur. Takto navážené směsi byly homogenizovány stejným způsobem jako referenční směs, tedy po dobu 40 minut v uzavřené míchačce.

S každou druhotnou surovinou byly vytvořeny čtyři receptury, odlišující se jinou náhradou cementu druhotnou surovinou, viz tabulka 8.

Tabulka 8 Použité druhotné suroviny, jejich dávkování a značení vzorků podle receptury

Použité druhotné suroviny			
Druhotné suroviny	Označení	Dávkování [%] z m _c	Značení vzorků
Popílek 1	Pop1	10	10%_Pop1
		20	20%_Pop1
		30	30%_Pop1
		40	40%_Pop1
Popílek 2	Pop2	10	10%_Pop2
		20	20%_Pop2
		30	30%_Pop2
		40	40%_Pop2
Popílek 3	Pop3	10	10%_Pop3
		20	20%_Pop3
		30	30%_Pop3
		40	40%_Pop3

4.2 Etapa II. – Optimální způsob ošetřování zk. těles

V této fázi bylo třeba stanovit nejvhodnější způsob ošetřování a uložení zkušebních těles. Pro tento účel byly vyrobeny 3 sady zkušebních těles, každá sada o 9 zkušebních tělesech 40×40×160 mm. Jednotlivé sady se lišily rozdílnými vodními součiniteli. Pro výrobu byl použit referenční potěr REF, bez náhrady cementu příměsí.

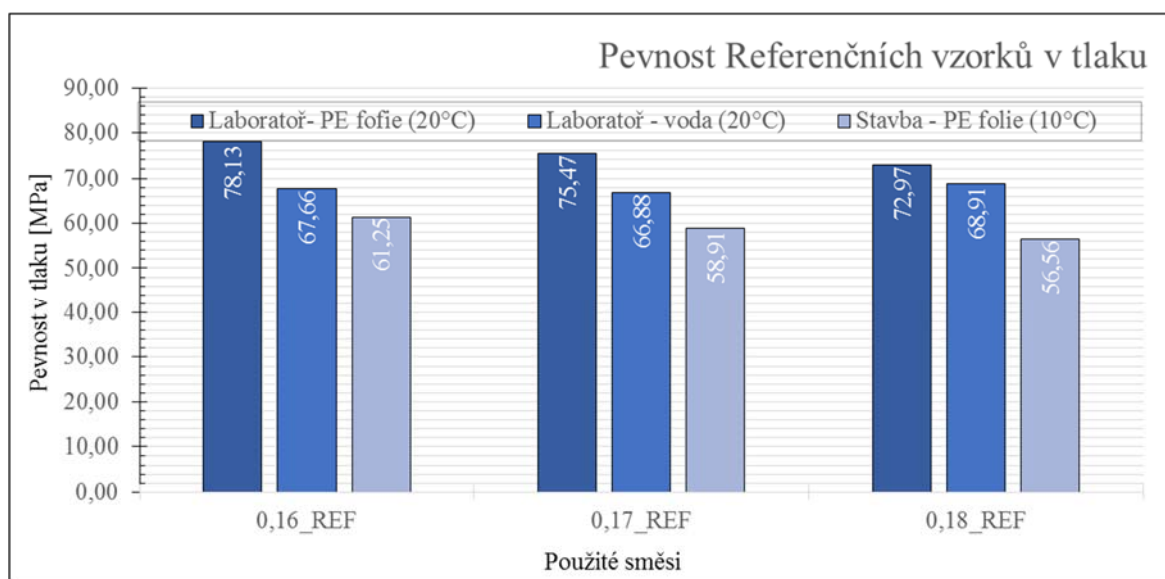
Tabulka 9 Značení vzorků pro etapu II. v závislosti za vodním součiniteli

Značení použitých receptur	
Značení vzorků	w [l·kg ⁻¹]
0,16_REF	0,16
0,17_REF	0,17
0,18_REF	0,18

Vždy tři zkušební tělesa 40×40×160 mm z každé sady byly uloženy v rozdílném prostředí. Dvě sady byly v laboratorních podmínkách, lišily se způsobem uložení vzorků. V jednom případě šlo o uložení pod PE folii, v druhém uložení přímo do vody. Třetí sada vzorků byla ponechána pod PE folií, ale v teplotě cca 10 °C. Takto připravené vzorky byly po 28 dnech zkoušeny na pevnost v tlaku.

Tabulka 10 28 denní pevnosti v tlaku zkušebních vzorků v rozdílných prostředích

Pevnost vzorků v tlaku [MPa]			
Značení vzorků	V laboratoři (20°C)		Na stavbě (10°C)
	V PE folii	Ve vodě	V PE folii
0,16_REF	78,13	67,66	61,25
0,17_REF	75,47	66,88	58,91
0,18_REF	72,97	68,91	56,56



Graf 2 Grafické vyjádření 28 denních pevností v tlaku zkušebních vzorků v etapě II.

4.2.1 Shrnutí

Pro referenční recepturu byly zvoleny vodní součinitele 0,16-0,18 l/kg. Tyto vodní součinitele byly vybrány z důvodu lepší zpracovatelnosti směsi, ale v následující etapě se již postupovalo s vodním součinitelem 0,14 l/kg který udává výrobce.

Z naměřených hodnot je patrné, že způsob uložení a ošetřování má velký vliv na výsledné pevnosti podlahového potěru. Je pochopitelné, že nižší teplota při zrání má negativní vliv na výsledné pevnosti. S tímto faktem je třeba počítat při aplikaci potěru v praxi.

Z těchto získaných dat bylo vyhodnoceno, že bez ohledu na použitý vodní součinitel je ideální způsob uložení vzorků v laboratorních podmínkách pod PE fólii. Proto byl tento způsob uložení vybrán pro výrobu dalších zkušebních těles.

Uložení pod PE fólii není reálně proveditelné řešení v praxi na velkých plochách, ale v rámci laboratorních zkoušek se pro použitý potěr projevilo jako ideální řešení. V praxi je třeba počítat s tím, že s jiným způsobem ošetřování může tento potěr dosáhnout odlišných pevností než v laboratorních podmínkách.

4.3 Etapa III. – Výroba zk. těles, zkoušení a vyhodnocení

4.3.1 Ověření vodního součinitele

Pro Referenční recepturu byl výrobcem uveden doporučený vodní součinitel 0,14 l/kg suché směsi. Tuto hodnotu jsem ověřil experimentálně pomocí Zkoušky konzistence čerstvé malty s použitím strásacího stolku dle normy ČSN EN 1015-3. Podstatou této zkoušky je zjištění hodnoty rozlití malty, která se získá změřením průměru rozlitého vzorku čerstvé malty. V tabulce 11 jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty při této zkoušce.

Tabulka 11 Všechny naměřené hodnoty při zjišťování optimálního vodního součinitele

Zkouška konzistence čerstvé malty dle ČSN EN 1015-3									
Označení vzorků	Druhotná surovina	Dávka popílku [%] z m _c	Rozliv [mm] v závislosti na množství vody v kilogramu směsi [$\times \text{kg}^{-1}$]						
			0,14	0,145	0,15	0,155	0,16	0,165	0,17
REF	-	0	177,5	187,5	195	205	227,5	-	-
10% Pop1	Popílek 1	10	180	200	205	217,5	222,5	-	-
20% Pop1		20	187,5	200	210	222,5	-	-	-
30% Pop1		30	192,5	202,5	210	220	232,5	-	-
40% Pop1		40	187,5	207,5	212,5	222,5	-	-	-
10% Pop2	Popílek 2	10	192,5	200	205	210	217,5	222,5	-
20% Pop2		20	187,5	192,5	197,5	212,5	217,5	222,5	-
30% Pop2		30	182,5	187,5	190,2	192,5	197,5	205	212,5
40% Pop2		40	170	175	182,5	192,5	202,5	205	210
10% Pop3	Popílek 3	10	188,5	195,5	201,6	206,7	212,5	-	-
20% Pop3		20	187,4	189	189,5	206,5	210,8	-	-
30% Pop3		30	190,5	188,5	190,2	204,2	209,9	-	-
40% Pop3		40	188,7	187,1	188,5	201,9	207,5	-	-

U každé receptury byl počáteční vodní součinitel totožný (0,14 l/kg suché směsi), přičemž se dávka vody pro jednotlivé záměsi postupně navyšovala, vždy o 0,05 l/kg suché směsi. Takto se u každé receptury postupovalo až do dosažení určité hodnoty rozlití. Zároveň se pozorovalo chování čerstvé malty, zda se se rozlévá rovnoměrně nebo jestli se neprojevují některé negativní vlastnosti spojené s vysokým obsahem vody, jako například tzv. bleeding. Každý vzorek od všech směsí byl dokumentován, tak aby mohl být zpětně zvolen vhodný vodní součinitel pro dané receptury.

4.3.2 Volba vodního součinitele

Vodní součinitel byl zvolen stejný pro všechny receptury s daným popínkem. V jiném případě by byly další výsledky zkresleny. Zároveň se jednotlivé popínky s vodou chovaly odlišně a záměsí s totožnou náhradou cementu popínkem měly v některých případech výrazně odlišné rozlití při srovnání popínků mezi sebou.

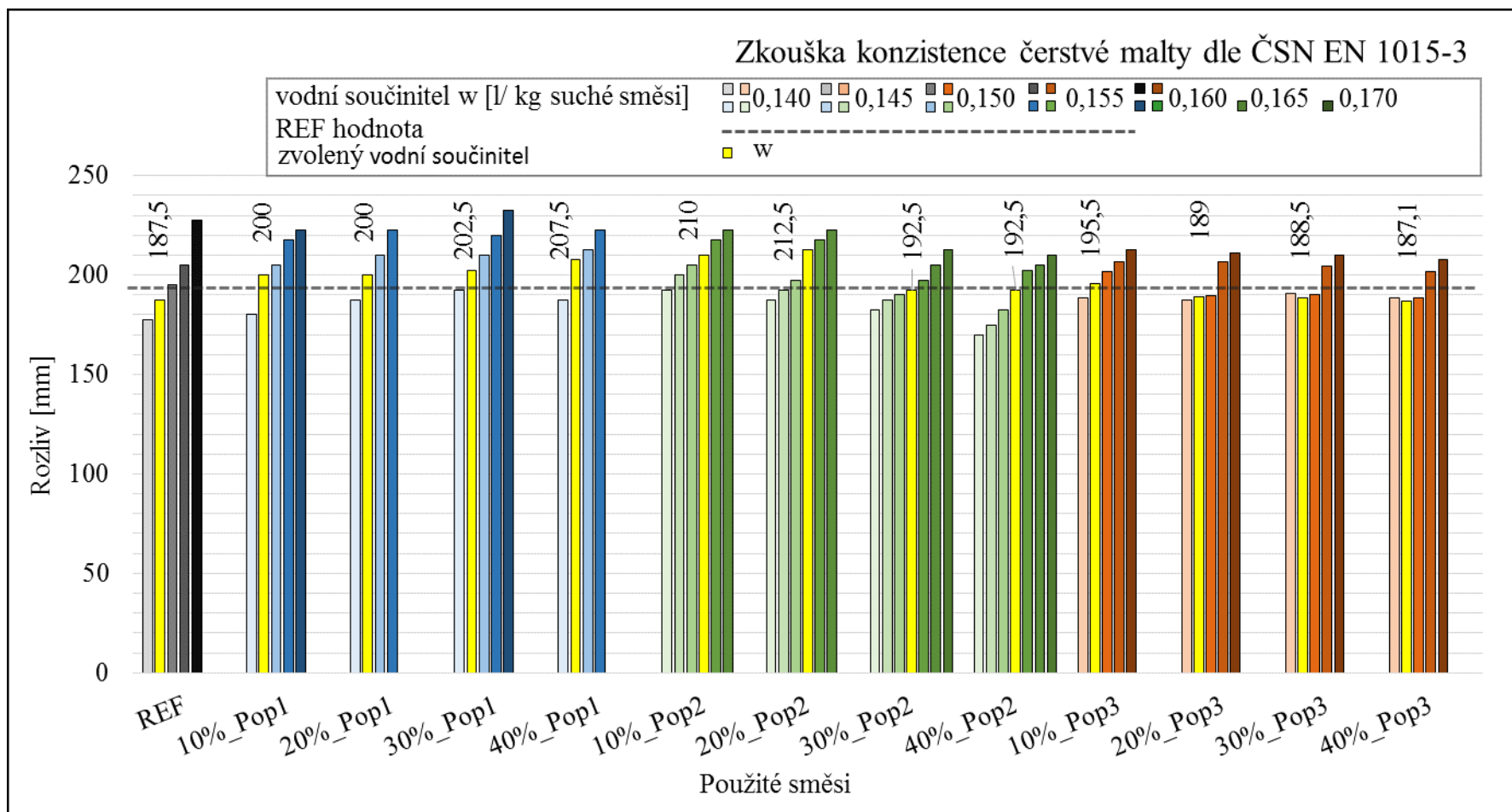
Na následující straně je přiložen graf 3. Z něj vyplývá, že popínky nijak razantně neovlivnily vodní součinitel vyvíjené směsi. Ve většině případů byl nárůst rozlití rovnoměrný a i chování čerstvých směsí bylo u referenční záměsí podobné jako u jednotlivých záměsí s popínky.

Doporučený vodní součinitel pro referenční recepturu byl poměrně nízký. Konzistence hmoty byla hutná, nerozlévala se dostatečně a tak byl zvolen vyšší vodní součinitel $w = 0,145$ l/kg suché směsi.

Další zvolené vodní součinitele jsou uvedeny v tabulce 12. Při jejich volbě se vybírala průměrná hodnota rozlití u jednotlivých záměsí s rozdílnou dávkou popínku. Do určité míry se pokaždé hodnota rozlití pohybuje kolem 200 mm, ale při volbě vhodných vodních součinitelů se také přihlíželo k chování jednotlivých čerstvých směsí na střešacím stolku.

Tabulka 12 Přehled zvolených vodních součinitelů pro jednotlivé receptury

Výsledný vodní součinitel	
Značení vzorků	w [l/kg suché směsi]
REF	0,145
10-40%_Pop1	0,145
10-40%_Pop2	0,155
10-40%_Pop3	0,145



Graf 3 Grafické vyjádření zkoušky konzistence čerstvé malty dle ČSN EN 1015-3.

Pozn.: Výsledky zkoušky rozlití na střešacím stolku jsou barevně odlišeny. Žlutě jsou zvýrazněny rozlití s vodními součiniteli, které byly zvoleny jako optimální pro dané receptury. Pro přehlednost jsou u nich uvedeny i hodnoty rozlití.

4.3.3 Zkušební vzorky

Metodika přípravy zkušebních těles

Zkušební tělesa byla zhotovena dle normy ČSN EN 13892-1 Metody zkoušení potěrových materiálů - Část 1: Odběr, úprava a ošetřování vzorků.

Suché směsi byly předem dle svých specifikací homogenizovány. Díky tomu byla tvorba zkušebních těles urychlená, jelikož stačilo navážit již hotové suché směsi a dle zvolených vodních součinitelů adekvátní množství vody. Pro míchání receptur byl stanoven jednotný postup míchání, aby vlastnosti receptur nebyly ovlivněny nerovnoměrným promísením suché směsi se záměsovou vodou, viz tabulka 13.

Tabulka 13 Metodika mísení čerstvých potěrů

Postup mísení	
délka práce	pracovní činnosti
0,5 minuty	mísení suché směsi
0,5 minuty	přidávání vody
2,5 minuty	mísení při nízké rychlosti
1 minuta	zastavení mísení, čištění stěn nádoby
1 minuta	mísení při vyšší rychlosti
1 minuta	zastavení mísení, čištění stěn nádoby
1 minuta	mísení při vyšší rychlosti

Pro experimentální část bylo vytvořeno 21 zkušebních těles (40×40×160 mm) a jedna kostka (150×150×150 mm) z každé receptury. Všechna zkušební tělesa byla hutněna do forem za pomoci vibračního stolu ve dvou vrstvách, přičemž první vrstva byla vibrována po dobu 10 sekund a druhá vrstva po dobu 5 sekund. Všechny formy byly uloženy v laboratorních podmínkách a byly zakryty PE folií. Vzorky byly následně po 24 ± 2 hodinách odformovány, popsány a znovu v laboratorních podmínkách uloženy pod PE folii na další dva dny. Po třech dnech od výroby zkušebních těles byly první vzorky použity na další zkoušky.



Obr. 9 Ilustrativní fotka zkušebních těles připravených na další zkoušky

Metodika zkoušení zkušebních těles

Tabulka 15 uvádí všechny zkoušky, které byly na zkušebních tělesech prováděny, příslušné normy a upřesňuje, která zkušební tělesa byla pro dané zkoušky použita.

Tabulka 14 Zkoušky prováděné na zkušebních tělesech v rámci experimentální části

Provedené zkoušky a a příslušné normativní předpisy		
Pevnost v tahu za ohybu	ČSN EN 13892-2 Zkušební metody potěrových materiálů - Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a tlaku	Zkušební tělesa 40 × 40 × 160
Pevnost v tlaku	ČSN EN 13892-2 Zkušební metody potěrových materiálů - Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a tlaku	Zlomky zk. těles 40 × 40 × 160
Odolnost proti obrusu metodou Böhme	ČSN EN 13892-3 Zkušební metody potěrových materiálů - Část 3: Stanovení odolnosti proti obrusu metodou Böhme	71 × 71 × h
Objemová hmotnost	ČSN EN 206 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda	Zkušební tělesa 40 × 40 × 160
Nasákavost	ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti a nasákavosti	Zkušební tělesa 40 × 40 × 160

4.3.4 Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku

Nejprve se provádí zkouška v tlaku za ohybu na každém zkušebním tělese 40×40×160 zvlášť. Tato tělesa jsou namáhána tříbodovým ohybem, síla musí být vyvozována rovnoměrně bez rázu, rovnoměrnou rychlostí (50 ± 10 N/s) do porušení. Podélná osa zkušebního tělesa musí být kolmá na směr hutnění čerstvé směsi. Pevnost v tahu za ohybu při tříbodovém ohybu se vypočítá podle vztahu:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (1)$$

Kde R_f je pevnost v tahu za ohybu v $[\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$, F je maximální zatížení v $[\text{N}]$, l je vzdálenost podpor v $[\text{mm}]$, b a d jsou průřezové charakteristiky zkušebního tělesa v místě lomu v $[\text{mm}]$.

Tabulka 16 uvádí rozdělení potěrových materiálů dle krychelné pevnosti v tahu za ohybu.

Tabulka 15 Třídy pevností v tahu za ohybu

Třída	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
$R_f [\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50

Zlomky vzniklé z této zkoušky se následně zkoušejí na pevnost v tlaku. Namáhaná plocha má rozměry 40×40 mm. Zatížení musí být vyvozováno rovnoměrně bez rázů rovnoměrnou rychlostí (2400 ± 200 N/s) do porušení. Tlaková síla je vyvozována kolmo na směr hutnění čerstvé směsi. Pevnost v tlaku se vypočítá podle vztahu:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (2)$$

Kde R_c je pevnost v tlaku v $[N \cdot mm^{-2}]$, F_c je maximální zatížení v $[N]$, A je příčná průřezová plocha vůči působícímu zatížení v $[mm^2]$.

Tabulka 17 uvádí rozdělení potěrových materiálů dle krychelné pevnosti v tlaku.

Tabulka 16 Třídy pevností v tlaku

Třída	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C50	C60	C70	C80
$R_c [N \cdot mm^{-2}]$	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80

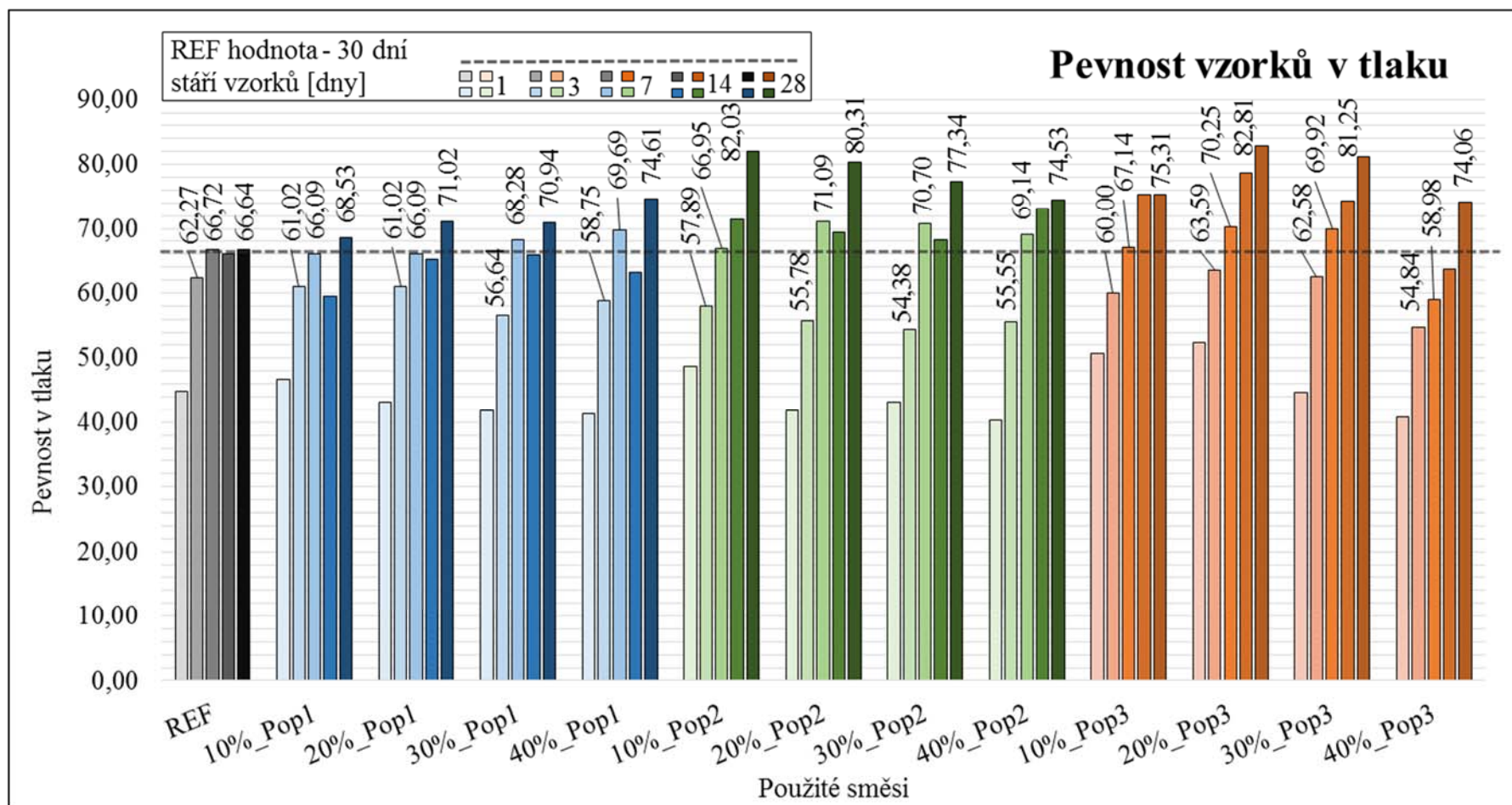
Na pevnost v tlaku a tahu za ohybu byly zkoušeny zkušební vzorky všech receptur. Zkoušení se provádělo na zkušebních tělesech 40×40×160 o stáří 1,3,7,14 a 28 dní. U podlahových potěrů jsou rané pevnosti zásadní, jelikož se počítá s brzkým zatěžováním podlahového systému.

V tabulce 18 jsou uvedeny naměřené pevnosti jednotlivých zkušebních těles v tlaku.

Tabulka 17 Naměření hodnoty pevností v tlaku zkoušených vzorků

Pevnost vzorků v tlaku [Mpa]					
Označení vzorků	Stáří vzorků [dny]				
	1	3	7	14	28
REF	44,79	62,27	66,72	66,02	66,64
10%_Pop1	46,77	61,02	66,09	59,53	68,53
20%_Pop1	43,13	61,02	66,09	65,16	71,02
30%_Pop1	41,77	56,64	68,28	65,86	70,94
40%_Pop1	41,25	58,75	69,69	63,13	74,61
10%_Pop2	48,65	57,89	66,95	71,41	82,03
20%_Pop2	41,77	55,78	71,09	69,38	80,31
30%_Pop2	43,13	54,38	70,70	68,28	77,34
40%_Pop2	40,31	55,55	69,14	73,13	74,53
10%_Pop3	50,78	60,00	67,14	75,31	75,31
20%_Pop3	52,50	63,59	70,25	78,75	82,81
30%_Pop3	44,69	62,58	69,92	74,38	81,25
40%_Pop3	40,83	54,84	58,98	63,75	74,06

Graf 4 nám říká, že vzorky Popílku 1_10 až 30 % a Popílku 2_10 až 30 % dosahovaly nejlepších pevností. U těchto receptur byla po 28 dnech zrání překročena hodnota 80 MPa v tlaku. Takových výsledků nedosahovala ani referenční receptura.



Graf 4 Grafické vyjádření závislosti pevnosti v tlaku na čase, druhu a dávce příměsi.

Pozn.: Hodnoty pevností v grafu jsou uváděny u vzorků 3, 7 a 28 dní starých.

4.3.5 Odolnost proti obrušování metodou Böhme

Odolnost proti obrušování metodou Böhme se zkouší na horních plochách tří zkušebních těles zhotovených podle ČSN EN 13892-1 nebo vyřezaných z podlahového potěru. V našem případě byly vyrobeny kostky, ty byly po 28 dnech zrání upraveny na požadované rozměry. Zkušební těleso pro tuto zkoušku musí být krychle o délce hrany $(71 \pm 1,5)$ mm a s nejmenší tloušťkou 30 mm. Zkušební těleso musí být vysušeno při teplotě (110 ± 5) °C do ustálení hmotnosti. Styčná plocha, která má být zkoušena, a protilehlá plocha zkušebního tělesa musí být rovnoběžné a rovné.

Zhotovená zkušební tělesa se upnou do zkušebního stroje pro měření obrušování metodou Böhme na brusnou dráhu, na niž se vysype brusivo. Brusný kotouč se otáčí a zkušební těleso je při zatížení silou 294 N broušeno v daném počtu cyklů.

Cyklů je celkem 16, po každém cyklu se těleso a brusný kotouč učistí, na kotouč se nasype 20 g nového korundového písku a zkušební těleso se pootočí o 90°C. Po každém čtvrtém cyklu se těleso zváží.

Odolnost proti obrušování metodou Böhme po 16 cyklech se vyjadřuje jako zmenšení objemu zkušebního tělesa ΔV , podle vztahu:

$$A = \Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} = \Delta l \cdot 5 \quad (3)$$

Kde Δm je úbytek hmotnosti obrusem, Δl je úbytek tloušťky vzorku, ΔV je úbytek na objemu vzorku vlivem obrušování v $[\text{cm}^3/50\text{cm}^3]$.

Tabulka 18 uvádí dělení podlahových potěrů dle odolnosti proti obrušování metodou Böhme.

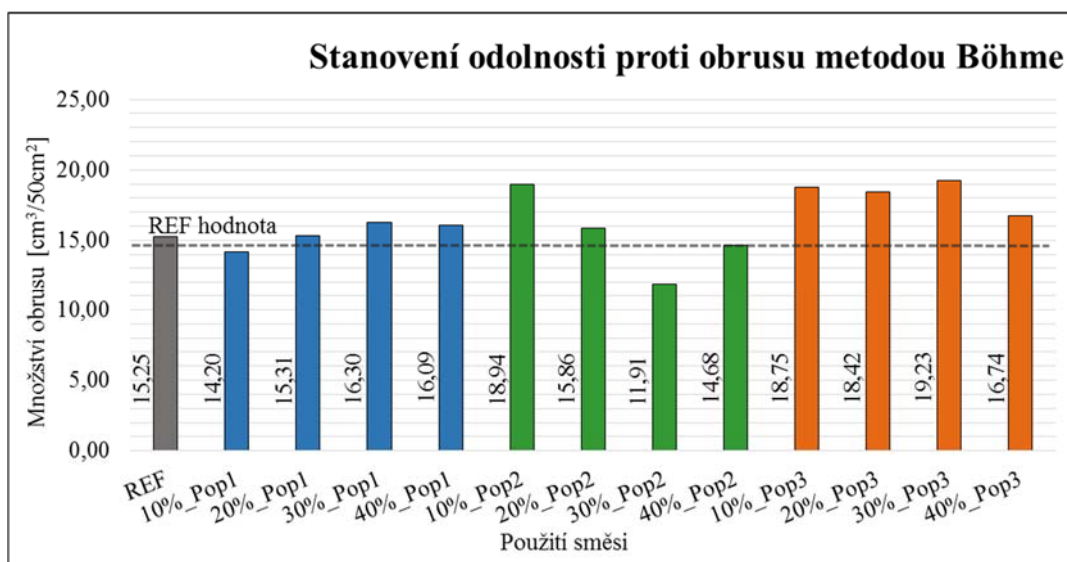
Tabulka 18 Normové třídy určující odolnost vůči obrušování metodou Böhme

Třída	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Množství obrušování v $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$	22	15	12	9	6	3	1,5

V tabulce 19 jsou uvedeny množství odbroušeného materiálu u jednotlivých vzorků a graf 5 je grafickým vyjádřením těchto výsledků. Vyplývá z něj, že srovnatelných hodnot v odolnosti proti obrušování s referenční hmotou dosahovaly vzorky s Popílkem 1. Vyšších hodnot odbroušeného materiálu dosahovaly všechny vzorky s Popílkem 3. Většina vzorků, včetně referenčního se umístila v třídě A22. Všechny vzorky zkouškou prošly.

Tabulka 19 Obroušené množství materiálu z jednotlivých vzorků

Stanovení odolnosti proti obruš metodou Böhme	
Označení vzorků	Množství obruš [cm ³ /50cm ²]
REF	15,25
10%_Pop1	14,20
20%_Pop1	15,31
30%_Pop1	16,30
40%_Pop1	16,09
10%_Pop2	18,94
20%_Pop2	15,86
30%_Pop2	11,91
40%_Pop2	14,68
10%_Pop3	18,75
20%_Pop3	18,42
30%_Pop3	19,23
40%_Pop3	16,74



Graf 5 Grafické vyjádření výsledků odolnosti proti obruš metodou Böhme

4.3.6 Nasákavost

Stanovení objemové hmotnosti se provedlo na zkušebních tělesech o rozměrech 40 × 40 × 160 mm, ve stáří 28 dní dle normy ČSN EN 1097-6. Ty byly nejprve uloženy do vodního prostředí po dobu 72 hodin, následně vlhkou utěrkou osušeny a zváženy. Poté byly tělesa uloženy do sušárny (s teplotou 110 ± 5 °C) do ustálení hmotnosti. Nasákavost se vyjadřuje vztahem:

$$NV = \frac{(m_n - m_s)}{m_s} \cdot 100 \quad (4)$$

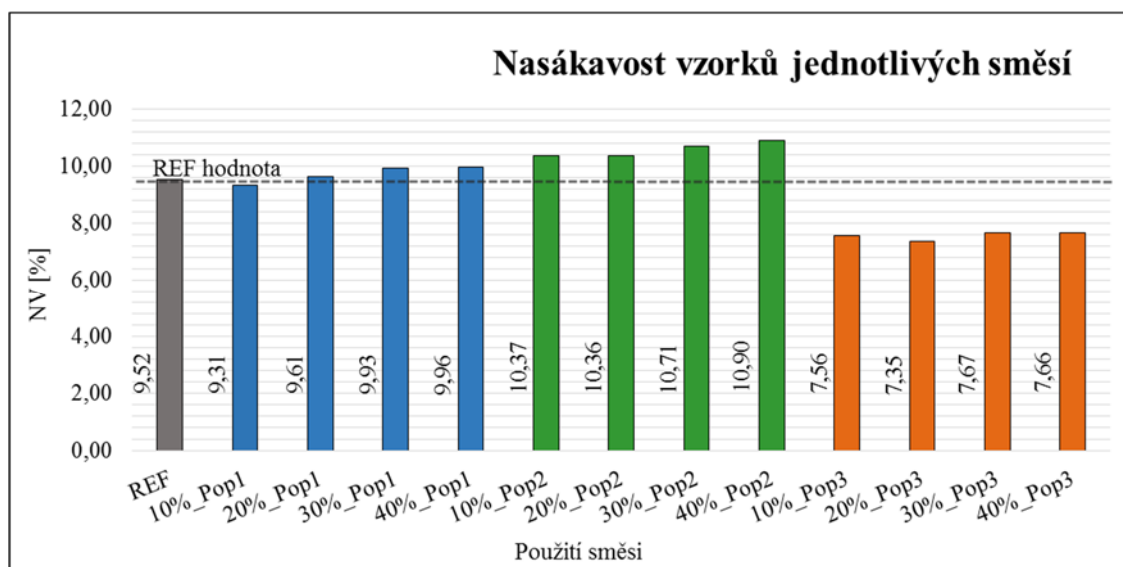
Kde NV je nasákavost v [%], m_n je hmotnost vzorku po zkoušce nasákavosti v [g], m_s je hmotnost vysušeného vzorku v [g].

V tabulce 20 jsou uvedeny všechny hodnoty potřebné pro vyjádření nasákavosti.

Tabulka 20 Všechny naměřené hodnoty potřebné pro vyjádření nasákavosti NV

Nasákavost vzorků v závislosti na druhotné surovině			
Označení vzorků	M _n [kg]	M _s [kg]	NV [%]
REF	0,5787	0,5284	9,52
10%_Pop1	0,5717	0,5230	9,31
20%_Pop1	0,5690	0,5191	9,61
30%_Pop1	0,5579	0,5075	9,93
40%_Pop1	0,5542	0,5040	9,96
10%_Pop2	0,5746	0,5206	10,37
20%_Pop2	0,5668	0,5136	10,36
30%_Pop2	0,5553	0,5016	10,71
40%_Pop2	0,5584	0,5035	10,90
10%_Pop3	0,5729	0,5326	7,56
20%_Pop3	0,5618	0,5233	7,35
30%_Pop3	0,5590	0,5192	7,67
40%_Pop3	0,5502	0,5110	7,66

Z grafu 6 vyplývá, že nejvyšších hodnot nasákavosti dosahovaly vzorky s Popílkem 2. Výrazně nejnižší nasákavost měly vzorky s Popílkem 3.



Graf 6 Grafické vyjádření vlivu druhu a dávky druhotné suroviny na nasákavost

4.3.7 Objemová hmotnost

Stanovení objemové hmotnosti se provedlo na zkušebních tělesech 40×40×160 mm, ve stáří 28 dní dle normy ČSN EN 206. Vysušené vzorky ze zkoušky nasákavosti byly zváženy a změřeny dvakrát v každém směru.

Objemová hmotnost se vyjadřuje vztahem:

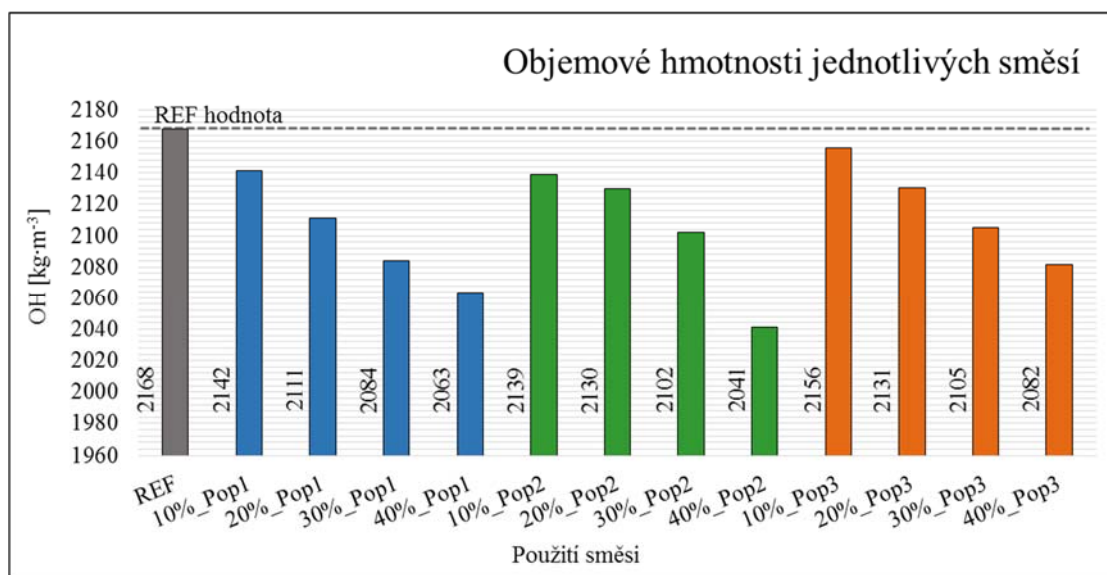
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Kde ρ je objemová hmotnost v $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$, m je hmotnost vzorku v $[\text{kg}]$, V je objem vzorku v $[\text{m}^3]$.

Z grafu 7 lze vyčíst, že popílky ovlivňují objemovou hmotnost a to poměrně rovnoměrně. Nejvíce snižují objemovou hmotnost popílky Tušimice, nejméně popílky Počerady. Může za to nižší objemová hmotnost popílků ve srovnání s cementem.

Tabulka 21 Všechny naměřené hodnoty potřebné pro vyjádření objemové hmotnosti OH

Objemové hmotnosti jednotlivých směsí - OH $[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$							
Označení vzorků	$V_1 [\text{dm}^3]$	$V_2 [\text{dm}^3]$	$m_1 [\text{g}]$	$m_2 [\text{g}]$	OH ₁	OH ₂	OH Ø
REF	0,2651	0,2671	576,80	577,20	2176	2161	2168
10%_Pop1	0,2623	0,2654	562,20	568,00	2143	2140	2142
20%_Pop1	0,2666	0,2702	559,60	574,00	2099	2124	2111
30%_Pop1	0,2598	0,2624	538,90	549,50	2075	2094	2084
40%_Pop1	0,2680	0,2679	553,20	552,60	2064	2063	2063
10%_Pop2	0,2653	0,2625	565,70	563,50	2132	2146	2139
20%_Pop2	0,2631	0,2619	558,30	560,20	2122	2139	2130
30%_Pop2	0,2625	0,2675	553,00	561,20	2107	2098	2102
40%_Pop2	0,2695	0,2709	557,90	545,30	2070	2013	2041
10%_Pop3	0,2647	0,2608	571,30	561,70	2158	2153	2156
20%_Pop3	0,2591	0,2624	552,10	559,20	2130	2131	2131
30%_Pop3	0,2614	0,2631	549,80	554,20	2103	2107	2105
40%_Pop3	0,2594	0,2605	540,80	541,30	2085	2078	2082



Graf 7 Grafické vyjádření objemových hmotností závislých na dávce druhotné suroviny

4.3.8 Shrnutí

Pevnost v tlaku po jednom dni byla nejvyšší u receptur s Popílkem 3. Konkrétně receptura s 20 % náhradou cementu Popílkem 3 dosáhla pevnosti v tlaku po 24 hodinách o více než 15 % vyšší, než jakou vykazovala referenční směs. Avšak směs s 40% Popílkem 3 již dosáhla nižších hodnot. Nejmenší změny v pevnost v tlaku (porovnání s referenční směsí) po 24 hodinách se projeví u receptur s Popílkem 1. U 28 dní starých vzorků se trend opakoval. Receptury s Popílkem 1 nedosahovaly nijak výrazné změny pevnosti v tlaku. Nejvyšší pevnosti v tlaku se projeví u 10 až 30 % Popílkem 2 a 10 až 30% Popílkem 3. Té nejvyšší hodnoty (82,8 MPa) dosáhla receptura 20%_Pop3. Jednalo se o více než 24 % nárůst pevnosti ve srovnání s referenční směsí. Obecně lze říct, že popílky pozitivně ovlivnily pevnost v tlaku v pozdějších dnech zrání. Všechny receptury bez ohledu na použitým popílkem dosahovaly nejpozději po 28 dnech vyšších pevností v tlaku než referenční receptura.

Při zkoušce odolnosti proti obruš metodou Böhme všechny receptury vyhověly maximálnímu povolené hodnotě obruš. Většina vzorků včetně referenčního by spadala do kategorie A22. U referenčního vzorku jde však o hraniční hodnotu s kategorií A15. Absolutně nejnižší hodnoty dosáhl vzorek 30%_Pop2 ($11,91 \text{ cm}^3/50\text{cm}^2$), ale výrazně se vymyká ostatním vzorkům s Popílkem 2, takže pro přesnější výsledek by bylo vhodné zkoušku zopakovat. Obecně nejvyšších hodnot obroušeného materiálu dosahovaly vzorky s Popílkem 3. Pokud nebudeme počítat zmiňovaný vzorek 30%_Pop2, tak průměrně nejnižších hodnot obruš dosahovaly vzorky s Popílkem 1.

Z výsledků vyplývá, že výrazně nejnižších hodnot nasákavosti dosahují všechny receptury s Popílkem 3. Vzorky s Popílkem 1 se příliš nelišily od referenčního vzorku. Vzorky s Popílkem 2 dosahovaly horších čísel, ale nevýrazně. Na rozdíl od ostatních směsí se u receptur s Popílkem 3 nijak výrazně neprojevovala větší dávka popílkem zvýšenou nasákavostí.

Objemové hmotnosti byly nejvyšší u vzorků s referenční směsí. Při porovnání totožných dávek různých popílků z výsledků vyplývá, že nejvyšší objemovou hmotností mají vzorky s Popílkem 3. Pokles objemových hmotností je u všech směsí víceméně lineární s rostoucí dávkou popílkem. S přihlédnutím k výsledkům nasákavosti lze říct, že potěr s Popílkem 3 má nejhutnější strukturu, což může mít vliv i na chemickou odolnost podlahového potěru.

Po vyhodnocení všech výše uvedených dat byla vybrána jedna nejlepší receptura, se kterou se dále bude pracovat. Tato receptura se projevila jako nejvhodnější při substituci základní potěrové směsi s druhotnou surovinou.

Jako nejvhodnější popílek byl zvolen Popílek 3, konkrétně v dávce 20 % z hmotnosti cementu (receptura 20%_Pop3). U této receptury byly shledány nejvhodnější vlastnosti pro další využití. Největší slabinou této receptury byla pevnost v tahu za ohybu po delší době zrání. Avšak při dobré skladbě podkladní vrstvy není potěr v provozu tímto způsobem zásadně namáhán. Velice dobře se naopak tato receptura projevila při pevnosti v tlaku. Jak u raných pevností po 24 hodinách, tak i u pevností po 28 dnech dosahovala nejvyšších hodnot a to i ve srovnání s referenční směsí.

Horší výsledky při obrušnosti nemusejí být zásadní, jelikož v extrémně mechanicky a chemicky namáhaných provozech je vhodné potěrovou vrstvu chránit finálními úpravami jako jsou například vsypy. V takovém případě vyšší hodnota obrusu nehraje velkou roli.

Receptury s Popílkem 3 dosahovaly výrazně nejlepších hodnot v nasákavosti. To může svědčit o dobré hutnosti a s tím související odolnosti vůči chemickému zatížení.

Obecně lze říci, že při volbě vhodného popílku a jeho dávky lze dosáhnout obdobných a i lepších výsledků v porovnání s referenční směsí. Při přihlédnutí k faktu, že popílek je podstatně levnější než nahrazovaný cement, jde současně o finanční úsporu.

5 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce byl zhodnocen současný stav problematiky podlah obec a průmyslových podlah v ČR i ve světě a to jak z materiálového hlediska, tak z hlediska požadavků na mechanickou a chemickou odolnost podlahových potěrů.

Zároveň byly probrány používané primární i druhotné suroviny pro výrobu cementových podlahových potěrů. U druhotných surovin byla práce zaměřená hlavně na elektrárenské vysokoteplotní popílký. U nich byly vyhodnoceny všechny pozitiva i rizika při použití v cementových kompozitech.

Dále se práce věnovala ověření možností finálních úprav podlahových konstrukcí s cílem zvýšení odolnosti vůči mechanickému i chemickému namáhání. Bylo zjištěno, že finální úpravy ve formě vsypů mohou velice pozitivně ovlivnit životnost průmyslových podlah. Také bylo zjištěno, že pomocí fobizačních impregnací je možné zvýšit odolnost podlahové konstrukce vůči chemickým vlivům.

V experimentální část bylo prokázáno, že vysokoteplotní popílký jsou použitelné jako alternativní surovina pro realizaci průmyslových podlah. Použité popílký jako částečná náhrada cementového pojiva prokazatelně dosahovaly při určitých dávkách přinejmenším stejných vlastností jako cementový potěr bez jejich přídavku, v některých případech dokonce vykazovaly podstatně lepší hodnoty. Z toho lze vyvodit, že jejich použití v tomto odvětví má smysl a je vhodné se této tématice dále věnovat.

Se získanými daty je v plánu dále pracovat. Vyvinutá receptura pro cementový potěr a další teoretické informace zpracované v rámci této bakalářské práce by měly být použity pro vývoj celého kompletního podlahového systému v rámci diplomové práce. V současné době je u vyvinuté receptury experimentálně ověřována její soudržnost s podkladním tělesem v různých podmínkách a kompatibilita s několika druhy cementových a epoxidových můstků. Pro porovnání výsledků je stejným podmínkám a zkouškách vystaven i původní referenční potěr. Do budoucna se nabízí experimentálně ověřit chemickou odolnost vyvinuté potěrové směsi a zároveň výběr optimálního řešení pro finální úpravu.

6 SEZNAMY

6.1 Seznam použité literatury

1. Doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc. Možnosti a perspektivy recyklace stavebních. RECYCLING 2011 . [Online] 17. 03 2011. http://www.arism.cz/dok/Sbornik_RECYCLING_2011.pdf.
2. Severa, Tomáš a Frána, Jiří. Rekultivace a využití elektrárenských popílků. České Budějovice : autor neznámý, 2005.
3. ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 74 4505 Podlahy - společná ustanovení. místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 89997.
4. J., Svoboda P.. a Doležal. Průmyslové podlahy a podlahy v objektech pozemních staveb. Bratislava : Jaga, 2007. ISBN 978-80-8076-054-0.
5. Ing. Filip Čmiel, Ing. Zdeněk Peřina. FAST VSB. [Online] <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps2/podlahy.html>.
6. Betonové podlahy. [Online] 02. 02 2014. <http://beton-podlahy.eu/betonove-podlahy/druhy>.
7. a.s., BV Group floor steel. BV Group. [Online] <http://www.bvgroup.cz/bytove-podlahy-anhydrit.php>.
8. Mynářčík, Petr. Technology and trends of Concrete industrial floors. Ostrava : Science Direct, 2013.
9. Ing. Lucie Radějová, Ph.D. Vývoj nových průmyslových podlah s využitím druhotných surovin. Brno : VUT FAST Brno, 2013.
10. R. Hela, P. Klablena, J. Krátký, J. Procházka, P. Štěpánek, J. Vácha. Betonové průmyslové podlahy. Praha : Edice Betonové stavebnictví, 2006. 80-86769-73-9.
11. a.s., Českomoravský beton. transportbeton. Cemflow_Litý cementový potěr. [Online] 2011. <http://www.transportbeton.cz/stahnout-soubor?id=1609>.
12. s r.o., Profimat Profimat. Betonové podlahy. [Online] 2014. <http://www.profimat.cz/index.php/podlahy/prumyslove/betonove>.
13. České stavby. <http://www.ceskestavby.cz/>. [Online] 14. 09 2015. <http://www.ceskestavby.cz/clanky/jak-vybrat-spravny-lity-poter-pro-novou-podlahu-24088.html>.
14. HEIDELBERGCEMENT-GROUP. HeidelbergCement v České republice. Jak se vyrábí cement? [Online] 2012. http://www.heidelbergcement.com/cz/cs/country/produkty/cement/vyroba_cementu.html.

15. Gregorová, Miroslava. Hlinitakový cement. ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD. [Online] Přírodovědecká fakulta MU v Brně, 2005. http://petrol.sci.muni.cz/Technolitologie/skripta/cesky/Technolitologie-skripta.htm#_Toc93479483.
16. ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 13139 (721503) Kamenivo pro malty. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004. 8590963675251.
17. institut, Český normalizační. ČSN EN 1008 - Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu. Praha : Český normalizační institut, 2003. ICS 91.100.30.
18. ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 934-2+A1 - Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Část 2: Přísady do betonu - Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. ICS 01.040.91.
19. CSc., Prof. Ing. Rudolf Hela. Příměsi do betonu. Brno : Fakulta stavební VUT, 2/2015.
20. Praha, Výzkumný ústav maltovin. Popílek a jeho použití do betonu. Praha : Svaz výrobců cementu ČR; Výzkumný ústav maltovin Praha, spol. s r.o.
21. Bayer, Petr. Vliv popílku na vlastnosti cementových malt, Bakalářská Práce. Brno : VUT - Fakulta chemická, 2012.
22. GALVÁNKOVÁ, Bc. LUCIE. Možnosti využití vedlejších energetických produktů jako surovin pro hydrotermální reakce. Brno : VUT Fakulta chemická, Ústav chemie materiálů, 2015. FCH-DIP0866/2014 .
23. Oharek, Ing. Jan Miroslav. Odlučovače popílku. Mělník : Integrovaná střední škola technická Mělník, 2012.
24. Nji, Lauw Tjun. Fly Ash : Overview. Lauw Tjun Nji. [Online] <http://lauwtjunnji.weebly.com/fly-ash--overview.html>.
25. Roubíček, Václav a Buchtele, Jaroslav. Uhlí: zdroje, procesy, užití. Ostrava : MONTANEX, 2002. ISBN: 80-7225-063-9.
26. Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc, MBA a Matulová, Ing. Pavla. Lehké stavební látky. Brno : autor neznámý, 2006.
27. Ing. Vít Černý, Ph.D. technologie VÝROBY UMĚLÉHO POPÍLKOVÉHO kameniva. Ústav technologie a hmot a dílců - Fakulta stavební - VUT. [Online] <http://thd.fce.vutbr.cz/stahni.php?soubor=359-lsl-popilkove-kamenivo-ppt>.
28. ČEZ. Využití vedlejších produktů. Skupina ČEZ . [Online] <http://www.cez.cz/cs/odpovedna-firma/zivotni-prostredi/programy-snizovani-zateze-zp/vyuziti-vedlejsich-produktu-uhelných-elektren.html>.

29. ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 450-1+A1 - Popílek do betonu - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody. Praha : autor neznámý, 2013. 81117.
30. ČSN EN 451-2 - Metoda zkoušení popílku. Část 2: Stanovení jemnosti proséváním za mokra. Praha : autor neznámý, 1996. 19207.
31. ČSN EN 196-1 - Stanovení pevnosti cementu. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. 19907.
32. Popílek do betonu - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
33. PROKOPEC, Bc. ZDENĚK. MECHANICKÉ AKTIVACE PŘÍMĚSÍ DO BETONŮ. Brno : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2012.
34. R., Adlová. Umíme využívat popílky ve stavební výrobě? Praha : Ústav stavebních informací, 1986.
35. CSc., Prof. Ing. Rudolf Hela. Technologie betonu II. Brno : autor neznámý, 2007.
36. Eger, Lukáš. Aktivace příměsí do betonu, Bakalářská práce. Brno : autor neznámý, 2012.
37. PhD., Doc. Ing. Tomáš Vymazal. Stavební kámen, kamenivo a výrobky z kamene. <http://www.szk.fce.vutbr.cz>. [Online] 05 2016. <http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI01/4%20Kamenivo%20a%20stavebn%C3%AD%20k%C3%A1men.pdf>.
38. Ing. Miroslava Popenková, CSc. Podlahy. Katedra technologie staveb. [Online] technologie.fsv.cvut.cz/download.php?id=6433.
39. Sklocement Beneš. [Online] <http://www.sklocement.cz/BeneSteel.pdf>.
40. Benofin. Benofin - autodoprava, odpady, demolice, stavební chemie. [Online] 2011. <http://www.benofin.cz/polypropylenova-vlakna-polypropylenova-vlakna/>.
41. Ing. Teodor Beneš, CSc. Mikrovýztuž ze skleněných vláken. Sklocement. [Online] <http://www.sklocement.cz/mikrovyz.htm>.
42. ADFORS, Saint-Global. Stavební server. Stavební zpravodajství. [Online] 27. 6 2014. http://stavebniserver.com/clanky/detail/unikatni_mrizeni_ze_sklenenych_vlaken_od_saint_gobain_adfors_zvysi_zivotnost_materialu_podlah-1024441125/.
43. Sklocement. Trhliny v raném věku betonu a jejich vliv na pevnost. [Online] <http://www.sklocement.cz/trhliny.htm>.
44. s r.o., Morfico Aplikační manuál - MFC Cobet 100. <http://www.morfico.cz/>. [Online] 08 2009. http://www.morfico.cz/cs/f/morfico_cs/p/Such%C3%A9%20cementov%C3%A9%20sm%C4%Bsi/CS/Aplika%C4%8Dn%C3%AD%20manu%C3%A1ly/AM_MFC_Cobet_07_cz.pdf.

45. MFC. Morfico - tvůrce stavebních materiálů. [Online]
<http://www.morfico.cz/cs/c/systemy-synteticke-podlahy/mfc-system-suchy-do-mokreho.htm>.
46. Fortemix. Frotedur Wet. www.fortemix.cz. [Online]
<http://www.fortemix.cz/hlazene-opravne-potery/>.
47. Alvaro Garcí'a, Daniel Castro Fresno, Juan Antonio Polanco. Effect of dry-shaking treatment on concrete pavement properties. místo neznámé : ScienceDirect, 06. 03 2007.
48. s r.o., Noren Betonové podlahy. <http://www.noren.cz>. [Online]
http://www.noren.cz/betonove_podlahy.html.
49. s r.o., Cemex Podlahové vsypy pro průmyslové podlahy. www.cemex.cz. [Online]
<http://www.cemex.cz/prumyslove-podlahy.aspx>.
50. Novotná, Jarmila. Vady a poruchy betonových podlah. Beton.tks. [Online] 03 2012. <http://www.beton.tks.cz/sites/default/files/2012-3-77.pdf>.
51. Vetchý, Ing. Jan. Hydrofobní impregnace betonu. www.mct.cz. [Online] 2015.
<http://www.mct.cz/soubor/hydrofobni-impregnace/>.
52. Sika. Ošetření betonů, podlah a vsypů. Sika - Produkty a řešení. [Online] Sika .
http://cze.sika.com/cs/produkty_a_reseni/stavebnictvi/02a004/02a004sa99/02a004sa99100/02a004sa99115.html.
53. ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 196-3+A1 - Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti cementu. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 83578.
54. ISO 13320 - Měření velikosti částic laserovou difrakcí. 2009. 19.120.
55. ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 933-1 - Stanovení zrnitosti kameniva. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 90622.
56. ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA . ČSN EN 933-4 - Stanovení tvaru zrn kameniva (tvarový index). Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008. 81956.
57. ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN EN 1015-3 - Zkouška konzistence čerstvé malty s použitím střešacího stolku. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000. 58363.
58. ČSN EN 1015-7 - Stanovení obsahu vzduchu v čerstvé maltě. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999. 57105.
59. ČSN EN 1015-9 - Stanovení doby zpracovatelnosti a času pro úpravu čerstvé malty. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000. 58948.

60. ČSN EN 13892-1 - Odběr vzorků, zhotovení vzorků a ošetření zkušebních těles. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 67598.
61. ČSN EN 13892-2 - Pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 67599.
62. ČSN EN 206 - Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 95623.
63. ČSN EN 1097-6 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti a nasákavosti. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 62701.
64. ČSN EN 13892-6 - Metody zkoušení potěrových materiálů - Část 4: Stanovení tvrdosti povrchu. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 67608.
65. ČSN EN 13892-8 - Zkušební metody potěrových materiálů - Část 8: Stanovení přídržnosti. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 67609.
66. ČSN EN 13892-3 - Zkušební metody potěrových materiálů - Část 3: Stanovení odolnosti proti ohrusu metodou Böhme. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015. 97280.
67. ČSN EN 13892-4 - Zkušební metody potěrových materiálů - Část 4: Stanovení odolnosti proti ohrusu metodou BCA. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 67607.
68. ČSN 73 1373 - Nedestruktivní zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 88877.

6.2 Seznam obrázků

Obr. 1	Řez podlahovou konstrukcí - podlaha spřažená s podkladem	11
Obr. 2	Řez podlahovou konstrukcí – podlaha na separační vrstvě	11
Obr. 3	Řez podlahovou konstrukcí – podlaha s izolační vrstvou a podlah. topením ..	12
Obr. 4	Základní schéma skladby průmyslové podlahy	13
Obr. 5	Typická zrna vysokoteplotního popílku zobrazená el. mikroskopem [24]	29
Obr. 6	Řez podlahovou konstrukcí opatřenou vsypem	44
Obr. 7	Rozdíl jednotlivých uprav betonových povrchů	48
Obr. 8	Schéma popisující rozdílné smáčecí úhly povrchů a vliv na rozlití vody	49
Obr. 9	Ilustrativní fotka zkušebních těles připravených na další zkoušky	68

6.3 Seznam tabulek

Tabulka 1	Druhy cementů dle normy ČSN EN 197-1 ED. 2	21
Tabulka 2	Chemické složení běžných vysokopecních strusek.....	34
Tabulka 3	Složení suché potěrové směsi dodané výrobcem	60
Tabulka 4	Základní vlastnosti vysokoteplotních popílků použitých v exp. části.....	61
Tabulka 5	Chemické složení vysokoteplotních popílků použitých v exp. části.....	61
Tabulka 6	Mineralogické složení vysokoteplotních popílků použitých v exp. části.....	61
Tabulka 7	Zrnitost vysokoteplotních popílků zjištěná pomocí laserové difrakce	61
Tabulka 8	Použité druhotné suroviny, jejich dávkování a značení vzorků	63
Tabulka 9	Značení vzorků pro etapu II. v závislosti za vodním součiniteli.....	63
Tabulka 10	28 denní pevnosti v tlaku zkušebních vzorků v rozdílných prostředích...	63
Tabulka 11	Všechny naměřené hodnoty při zjišťování optimálního "w"	65
Tabulka 12	Přehled zvolených vodních součinitelů pro jednotlivé receptury	66
Tabulka 13	Metodika mísení čerstvých potěrů.....	68
Tabulka 14	Zkoušky prováděné na zkušebních tělesech v rámci exp. části.....	69
Tabulka 15	Třídy pevností v tahu za ohybu.....	69
Tabulka 16	Třídy pevností v tlaku	70
Tabulka 17	Naměření hodnoty pevností v tlaku zkoušených vzorků	70
Tabulka 18	Normové třídy určující odolnost vůči obruš metodou Böhme	72
Tabulka 19	Obroušené množství materiálu z jednotlivých vzorků.....	73
Tabulka 20	Všechny naměřené hodnoty potřebné pro vyjádření nasákavosti NV	74
Tabulka 21	Všechny naměřené hodnoty potřebné pro vyjádření OH.....	75