



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# STUDIUM PRŮBĚHU ZRÁNÍ A VYSYCHÁNÍ OBJEMOVĚ KOMPENZOVANÝCH POTĚROVÝCH HMOT

STUDY OF MATURING PROCESS OF VOLUME STABILISED FLOOR FLOW SCREEDS

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav Konvičný

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. STANISLAV ŠŤASTNÍK, CSc., Ph.D.

BRNO 2020



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Václav Konvičný
Název	Studium průběhu zrání a vysychání objemově kompenzovaných potěrových hmot
Vedoucí práce	prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA,  
dr.h.c.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

COLLEPARDI, M. Moderní beton. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009, 342 s. ISBN 978-80-87093-75-7.

ČERNÝ, R., ROVNANÍKOVÁ, P. Transport Processes in Concrete. 1st ed. London: Spon Press, 2002. 537 pages. ISBN 0-415-24264-94

LEA, F.,M. Lea's Chemistry of Cement and Concrete, 4th Edition, edited by Peter C. Hewlett, Arnold, Great Britain, 1998, 1053 pp. , ISBN 0-340-56589-6

UNO, P.,J. Plastic Shrinkage Cracking and Evaporation Formulas, ACI Materials Journal, V. 95, No. 4, July-Aug. 1998, pp. 365-375.

ČSN EN 13813 (722481) Potěrové materiály a podlahové potěry - Potěrové materiály - Vlastnosti a požadavky, UNMZ Praha 2003

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Plovoucími a sdruženými potěry v interiérech budov se vytváří podklad pro podlahové krytiny. Ty musí také umožnit konstrukci podlahy s podlahovým topením bez dodatečného vyztužování. Častým problémem řešeným ve stavební praxi je rychlost vysychání potěrů v různých klimatických podmínkách ve vztahu k nezbytné době, kdy je možná bezpečná aplikace podlahových krytů.

V této souvislosti proveďte:

1) Stanovte průběhy vysychání potěrových hmot s využitím vhodných metod sledování. Při experimentování porovnejte cementový potěr (s objemovou kompenzací), podlahovou hmotu na bázi kalcium-sulfátového pojiva a potěr na bázi pojiv produkujících ettringit jako svůj primární hydratační produkt.

2) Ověřte pevnostní nárůsty a konečné pevnosti zkoušených materiálů a sledujte vývoj pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu v dobách 1, 7 a 28 dní od výroby vzorků.

3) Průběhy vysychání i vývoje mechanické pevnosti by měly být stanoveny za podmínek blízkých stavební praxi, neboť vzorky mohou odpařovat vnitřní vlhkost pouze horním povrchem. Při stanovení průběhů vysychání zohledněte typickou aplikační tloušťku potěrů.

4) Okrajové podmínky při vyzrávání podlahových hmot volte následujícím způsobem: A) teplota +5 °C a  $RH = 70-90\%$  za bezvětrí, B) teplota +20°C a  $RH = 40-60\%$  za bezvětrí, a také C) teplota +35°C a  $RH = 20-30\%$  za bezvětrí.

5) Shrňte pozorované změny v průbězích vysychání a vývoje zpevňování u jednotlivých podlahových hmot. Předpokládaný rozsah práce 60-80 stran.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

prof. RNDr. Ing. Stanislav Štastník, CSc., Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je věnována problematice porovnávání průběhů vysychání různých druhů litých podlahových samonivelačních potěrů za podmínek blízkých stavební praxi, zejména při zrání za různých klimatických podmínek. Tyto vlastnosti byly pozorovány několika metodami. Také byly zjištěny a porovnávány průběhy pevnostních nárůstů i konečné pevnosti zkoušených materiálů za různých klimatických podmínek. V závěru práce jsou shrnuty poznatky o průběhu vysychání a průběhy vývoje zpevňování u jednotlivých podlahových hmot.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Samonivelační potěr, průběhy vysychání, pevnostní nárůst, cementový potěr, sádrový potěr, potěr na bázi pojiv produkujících ettringit jako primární hydratační produkt

## **ABSTRACT**

The diploma thesis is devoted to the comparison of drying processes of various types of poured floor self-levelling screeds under conditions close to construction practice, especially during maturation under different climatic conditions. These properties were observed by several methods. The course of strength increases and final strength of tested materials under different climatic conditions were also found and compared. The conclusion summarizes the knowledge about the course of drying and the course of development of strengthening of individual floor materials.

## **KEYWORDS**

Self-levelling screed, drying course, strength increase, cement screed, gypsum screed, ettringite-producing screed as primary hydration product

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Václav Konvičný *Studium průběhu zrání a vysychání objemově kompenzovaných potěrových hmot*. Brno, 2020. 92 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Studium průběhu zrání a vysychání objemově kompenzovaných potěrových hmot* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2020

---

Bc. Václav Konvičný  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Studium průběhu zrání a vysychání objemově kompenzovaných potěrových hmot* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2020

---

Bc. Václav Konvičný  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu při celé době studia. Dále děkuji panu prof. RNDr. Ing. Stanislavu Šťastníkovi, CSc., Ph.D. za odborné vedení, užitečné rady, ochotu a čas strávený při konzultacích. Děkuji také výzkumnému centru PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o. za poskytnutí technické a materiálové pomoci. Dále bych chtěl poděkovat svému příteli Vítovi Mikešovi za psychickou podporu po celou dobu studia.

# Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíle práce.....	12
3	Samonivelační podlahové stěrky a potěry.....	13
3.1	Obecně o samonivelačních stěrkách a potěrech.....	13
3.2	Použití potěrů v praxi.....	13
3.3	Technologie aplikace.....	15
3.3.1	Ruční mísení a lití pytlovaného materiálu.....	16
3.3.2	Strojní mísení a lití pytlovaného materiálu .....	17
3.3.3	Strojní mísení a lití volně loženého potěru ze sila .....	17
3.3.4	Dovoz a ukládání hotového potěru z betonáren .....	18
3.4	Konstrukční typy samonivelačních potěrů .....	19
3.4.1	Sdružené samonivelační potěry .....	19
3.4.2	Oddělené samonivelační potěry.....	20
3.4.3	Plovoucí samonivelační potěry .....	21
3.4.4	Plovoucí samonivelační potěry s podlahovým vytápěním .....	22
3.5	Vlastnosti litých potěrů z pohledu realizátora a následných stavebních řemesel 22	
3.5.1	Doba pro dosažení pochůznosti potěru .....	24
3.5.2	Doba plné zatížitelnosti .....	24
3.5.3	Nutnost či nenutnost broušení šlemu .....	25
3.5.4	Doba dosažení požadované zbytkové vlhkosti.....	25
4	Složení potěrů.....	26
4.1	Etringitové koncepce samonivelačních potěrů a stěrek .....	26
4.1.1	Ettringitová pojivová koncepce na bázi hlinitanového a portlandského cementu a sádry .....	26



4.2	Koncepce sádrová na bázi alfa-hemihydrátu nebo anhydritu, případně jejich směsí	29
4.3	Cementová pojiva na bázi portlandského slínku.....	30
4.4	Přehled dalších složek a jejich funkce .....	31
4.4.1	Kamenivo .....	31
4.4.2	Plniva.....	32
4.4.3	Příspěvky do samonivelačních potěrů .....	32
5	Technické normy vztahující se k samonivelačním potěrům .....	34
5.1	Klasifikační a požadavková norma.....	34
5.2	Požadavková norma na zbytkovou vlhkost.....	35
6	Voda v mikrostruktuře potěrů a způsoby jejího transportu .....	36
6.1	Voda v betonu .....	36
6.2	Klasifikace pórů .....	37
6.3	Transportní mechanismy v pórovém systému .....	38
6.3.1	Transport vodní páry .....	39
6.3.2	Transport vody v kapalném stavu .....	40
6.4	Intenzita výparu vody z potěru .....	41
7	Experimentální část.....	42
8	Rozvržení a metodika diplomové práce .....	42
9	Pojivové koncepce a receptury zkoušených potěrů .....	43
9.1.1	Cementový potěr samonivelační – ZFE .....	44
9.1.2	Rychlý cementový potěr samonivelační – SZFE .....	45
9.1.3	Sádrový potěr samonivelační AFE .....	46
10	Zkušební metody prováděné na samonivelačních potěrech .....	47
10.1	Příprava zkušebních vzorků .....	47
10.2	Zkouška rozlivu dle ČSN EN 12706 .....	48

10.3	Zkouška otevřeného času (doby zpracovatelnosti).....	48
10.4	Stanovení pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu.....	49
10.4.1	Postup provádění zkoušky .....	49
10.5	Stanovení zbytkové vlhkosti .....	50
10.5.1	Karbidová metoda .....	50
10.5.2	Gravimetrická metoda.....	51
10.5.3	Postupné a kontinuální vážení pro zjištění intenzity výparu.....	52
11	Výsledky a vyhodnocení pevnostních zkoušek.....	53
11.1.1	Vzorek SZFE při uložení v různých klimatických podmínkách.....	53
11.1.2	Vzorek ZFE při uložení v různých klimatických podmínkách.....	59
11.1.3	Vzorek AFE při uložení v různých klimatických podmínkách.....	65
11.1.4	Shrnutí a dílčí závěry.....	71
12	Intenzita výparu z potěru .....	78
12.1.1	Zjištěné intenzity výparu .....	78
12.1.2	Shrnutí a dílčí závěry.....	79
13	Stanovení zbytkové vlhkosti.....	80
13.1.1	Výsledky a vyhodnocení zbytkových vlhkostí pomocí gravimetrické metody 80	
13.1.2	Výsledky a vyhodnocení zbytkových vlhkostí pomocí karbidové metody....	82
13.1.3	Shrnutí a dílčí závěry.....	83
14	Závěr .....	86
15	Seznam použitých zdrojů .....	87
16	Přehled použitých zkratk a symbolů .....	89

# 1 Úvod

Samonivelační podlahové hmoty se používají k provádění vyrovnávacích i podkladních potěrů v interiéru budov. Vytváření plovoucích a sdružených potěrů určených k položení podlahové krytiny, také musí umožnit konstrukci podlahy s podlahovým topením bez dodatečného vyztužování. Při zabudování do stavby musí tyto potěry odolávat různorodým klimatickým podmínkám. Častým problémem řešeným ve stavební praxi je poté rychlost vysychání potěrů v různých klimatických podmínkách ve vztahu k době, kdy je možná bezpečná aplikace následných podlahových krytů.

V teoretické části této diplomové práce je zpracována rešerše, kde obecně popisují podlahové stěrky a potěry. Seznámíme se zde s technologiemi aplikace, konstrukčními typy a složením potěrů. Dále jsou zde popsány normy klasifikační, požadavkové a v neposlední řadě je zde popsán výskyt vody v mikrostruktuře potěrů plus transportní mechanismy vody v pórovém systému.

Součástí práce je experimentální část, která má za úkol objasnit pevnostní nárůsty a konečné pevnosti tří podlahových potěrů. Jedná se o potěr cementový (s objemovou kompenzací), podlahovou hmotu na bázi kalcium-sulfátového pojiva a potěr na bázi pojiv produkujících ettringit jako svůj primární hydratační produkt. Potěry jsou při zrání vystaveny různým klimatickým podmínkám. Tyto klimatické podmínky mají za účel simulovat stavební praxi a byly zvoleny následujícím způsobem: a) teplota +35 °C a  $RH = 20\%$  za bezvětří, b) teplota +22 °C a  $RH = 55\%$  za bezvětří, a také c) teplota +10 °C a  $RH = 80\%$ . Za těchto okrajových podmínek byly stanoveny průběhy vysychání. Ty stejně jako pevnosti byly stanoveny za podmínek blízkých stavební praxi, což znamená, že vzorky mohly odpařovat vnitřní vlhkost pouze horním povrchem. Na závěr byly shrnuty a popsány změny v průbězích vysychání a vývoje zpevňování u jednotlivých podlahových hmot, při uložení v různých klimatických podmínkách.

## 2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce bylo stanovit průběhy zpevňování a vysychání potěrových hmot s použitím vhodných metod sledování. Častým problémem řešeným ve stavební praxi je rychlost vysychání potěrů za různých klimatických podmínek. Je nutné znát nezbytnou dobu, po jejímž uplynutí je bezpečná aplikace podlahových krytů. Tyto plovoucí a sdružené potěry v interiérech budov totiž vytváří podklad pro podlahové krytiny. Při experimentování byly porovnávány cementové potěry (s objemovou kompenzací), podlahové hmoty na bázi kalcium-sulfátového pojiva a potěr na bázi pojiv produkujících ettringit jako svůj hlavní hydratační produkt. Dalším cílem bylo ověřit nárůsty a konečné pevnosti zkoušených materiálů a sledovat vývoj pevností v tlaku a tahu za ohybu v dobách 1, 7 a 28 dní od výroby vzorků. Průběhy vysychání i vývoje mechanické pevnosti se stanovovaly za podmínek blízkých stavební praxi, neboť u těchto podlah se může vlhkost odpařovat pouze horním povrchem. Při stanovování průběhů vysychání byla zohledněna typická aplikační tloušťka potěrů. Cílem práce bylo zjistit, v jakém časovém intervalu potěry dosáhnou minimální požadované pevnosti pro dosažení pochůznosti a určení doby, kdy je možné na potěr klást další vrstvu podlahy z pohledu zbytkové vlhkosti v potěru.

### 3 Samonivelační podlahové stěrky a potěry

#### 3.1 Obecně o samonivelačních stěrkách a potěrech

Potěry jsou obecně klasifikovány dle ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry – Vlastnosti a požadavky [1]. Tato norma ovšem zahrnuje širší skupinu materiálů. Tyto materiály se liší svou obvyklou aplikační tloušťkou vrstvy, tzn. velikostí maximálního zrna, ve stavební praxi označovány od nejmenšího k nejhrubšímu jako stěrka nebo potěr. Názvosloví, které se používá, díky výše zmíněným parametrům, se uvádí v tabulce 1.

Tab. 1: Obvyklé názvosloví a členění podlahových hmot [2]

Výrobek	Slovní označení zrnitosti	Maximální zrno	Obvyklá aplikační tloušťka vrstvy	Obvyklá aplikační konzistence
stěrky	jemné	0,2-0,3 mm	2-10 mm	plastická, samonivelační
	střední	0,4-0,6 mm	3-15 mm	
	hrubé	0,7-1,2 mm	4-30 mm	
potěry	jemné	1,2-1,6 mm	5-35 mm	plastická, drolenková, samonivelační
	střední	2,0-4,0 mm	15-80 mm	
	hrubé	6,0-8,0 mm	20-100 mm	

Z tohoto přehledu uvedeného v tabulce 1 je patrné, že mezi typy podlahových výrobků, vznikají z hlediska užívaného názvosloví jisté překryvy. Například výrobek s maximálním zrnem 1,2 mm může být jedním výrobcem nazýván jako „hrubá stěrka“ a jiným výrobcem jako „jemný potěr“.

Pro názornost jsou potěry a jejich zrnitosti a aplikační parametry, které jsou předmětem této práce označeny v tabulce 1 podtržením a jinou barvou. Jedná se o samonivelační potěry se střední zrnitostí s maximálním zrnem do 4 mm, aplikované v tloušťce 15 – 80 mm.

#### 3.2 Použití potěrů v praxi

Díky samonivelačním podlahovým potěrům můžeme v praxi dosáhnout perfektně rovných podlahových ploch. Tyto materiály mají schopnost samonivelace, tzn. vytvoří

v čerstvém stavu horizontálně vyrovnaný povrch. Tato schopnost se ovšem v praxi může stát pouze po splnění hlavního kritéria a tím je vylití potěru nad hranici jeho rozlivné tloušťky. Tento parametr má zásadní význam hlavně u stěrek, které se aplikují v minimální tloušťce nad hranicí rozlivné tloušťky. Rozlivná tloušťka je definována povrchovým napětím materiálu, které závisí na konzistenci materiálu, množství a druhu pojiva, použitých přísad a maximálního zrna použitého kameniva. Rozlivové vlastnosti nezávisí ale pouze na vlastnostech daného materiálu, ale odvíjejí se také od vlastností podkladu. Pokud by byl podklad například hladký a nenasákavý, docílili bychom lepších rozlivných vlastností při snížení rozlivných tloušťek, než u podkladu, který je nasákavý a hrubý. Rozlivové tloušťky uvádí tabulka 1. Tyto rozlivové tloušťky se v praxi kontrolují díky nivelačním značkám viz obrázek 1 nebo pomocí rotačního laserového přístroje viz obrázek 2.



**Obr.1:** Zobrazení nivelační značky – foto autor



**Obr 2:** Fotografie laserového rotačního přístroje - foto autor

Se samonivelačními podlahovými potěry a stěrkami se můžeme v praxi setkat především v obytných budovách, administrativních a obchodních centrech, budovách škol či nemocnic. Lité potěry oproti klasickému postupu výroby podlah mají hned několik výhod, mezi něž patří například:

- rychlost pokládky,
- rovnoměrná kvalita v celé ploše,
- úspora nákladů (tenčí vrstva), není potřeba výztuž,
- lepší povrch a rovinnost konstrukce,
- zlepšení pracovních podmínek,
- vysoká a rovnoměrná pevnost,
- vysoká hutnost,
- dokonalé zalití podlahového vytápění,
- nemusí se aplikovat na příliš rovné povrchy (např. zvlněné základy), ale i tak mohou vytvořit dokonale vyrovnaný povrch,
- minimalizují možnost poškození podkladní kročejové nebo tepelné izolace. [3]

Podlahové směsi na bázi síranu vápenatého nejsou příliš vhodné do trvale mokrých prostor jako jsou WC, koupelny, prádelny, kuchyně atd. Pokud je tento potěr v takových místech použit, musí projektant navrhnout příslušnou úpravu. Díky své tekutosti jsou všechny lité potěry vhodné i pro podlahové vytápění, protože dokáží dokonale zalít trubky podlahového vytápění a tím snižují odpor při prostupu tepla a snižují dobu potřebnou k prohřátí daného prostoru, čímž snižují náklady na vytápění objektu [2].

### 3.3 Technologie aplikace

V dnešní době se samonivelační potěry dodávají na stavby převážně hotové z betonárek v mixech. Dále se dodávají na stavby jako „suché premixy“, které se v naprosté většině případů připravují dvoustupňovými kontinuálními mísidly, zavěšenými pod síly se suchým potěrem. Ovšem správná volba aplikačního postupu závisí na velikosti pracovní plochy, výkonu aplikační technologie a na tloušťce aplikovaného potěru. Velikost pracovní plochy u samonivelačních potěrů je omezena na přípustnou dobu zpracovatelnosti, která se měří od začátku lití k počátku tuhnutí bez ztráty nivelace. Tato hodnota je obvykle maximálně 60 minut u sádrových potěrů. Pokud se jedná o rychlé cementové potěry, může být doba zpracovatelnosti kratší, avšak minimálně 30 minut. Jelikož se závěrečná nivelizace provádí na celé ploše je u samonivelačních potěrů dána velikost pracovní plochy výkonem lití za maximální dobu zpracovatelnosti.

**Tab. 2:** Přehled výkonových parametrů aplikačních zařízení pro samonivelační podlahové hmoty [2]

Metody mísení, parametry čerpání	výkon lití	vhodnost pro plochy
Ruční: - vrtulové mísidlo na pytlovaný materiál - lití z mísící nádoby	max. 7 l / min	stěrky – do 50 m <sup>2</sup> potěry – do 10 m <sup>2</sup>
Strojní : - 2 stupňové kontinuální mísidlo na pytlovaný materiál - dopravní vzdálenost 60 m - výtlačná výška 30 m	30 – 50 l / min	stěrky – nad 50 m <sup>2</sup> potěry – do 50 m <sup>2</sup>
Strojní : - 2 stupňové kontinuální mísidlo zavěšené pod silem se suchým materiálem - dopravní vzdálenost do 120 m - výtlačná výška 30 m	max. 100 l/min	potěry – do 150 m <sup>2</sup>
Strojní : - mísení na betonárně, dovoz automixem - šnekové čerpadlo - dopravní vzdálenost do 120 m - výtlačná výška 30 m	max. 250 l/min	potěry – do 375 m <sup>2</sup>

### 3.3.1 Ruční mísení a lití pytlovaného materiálu

Tato technologie se využívá naprosto ojediněle a nejvíce se uplatňuje pro aplikace samonivelačních stěrky do plošné výměry 50 m<sup>2</sup>. Jelikož je plošná výměra pouze 50 m<sup>2</sup>, tak se s touto technologií setkáváme pouze v bytové výstavbě. Při ručním mísení se používá pytlovaný materiál (většinou pytle 25 kg), který se smísí se záměsovou vodou (předepsána výrobcem, zpravidla v úzkém rozmezí, např. 22-24%, tzn. 5,5–6,0 l/25 kg). K mísení se používá vrtulové mísidlo s regulovatelnou frekvencí 400-600 ot/min po dobu 1-2 minut, dokud nedojde ke vzniku tekuté homogenní směsi. Takto připravená směs se nechá 0,5 minuty odstát a popřípadě se při malých otáčkách domísí. Na podkladní plochu se směs vylévá kolmo ke směru postupu, v rovnoběžných pruzích, aby se nalité pruhy mohly stéct do sebe. Pro lepší homogenitu vylitého materiálu se používají zubová hladítka a ježkové válečky [2].



### 3.3.2 Strojní mísení a lití pytlovaného materiálu

S touto technologií se setkáváme tam, kde souvislá plošná výměra překročila 50 m<sup>2</sup>. Může se jednat o školy, nemocnice, skladovací objekty, výrobní prostory atd. Pytlovaný materiál se umístí do kontinuální míchačky a tato směs se mísí s regulovatelným množstvím vody. Takto připravená směs se leje pomocí hadice kolmo na směr postupu, opět v rovnoběžných, navzájem se stékajících pruzích. Povrch lze vyrovnat zubovou stěrkou s násadou a odvzdušnění a dorovnání se provádí ježkovým válečkem.

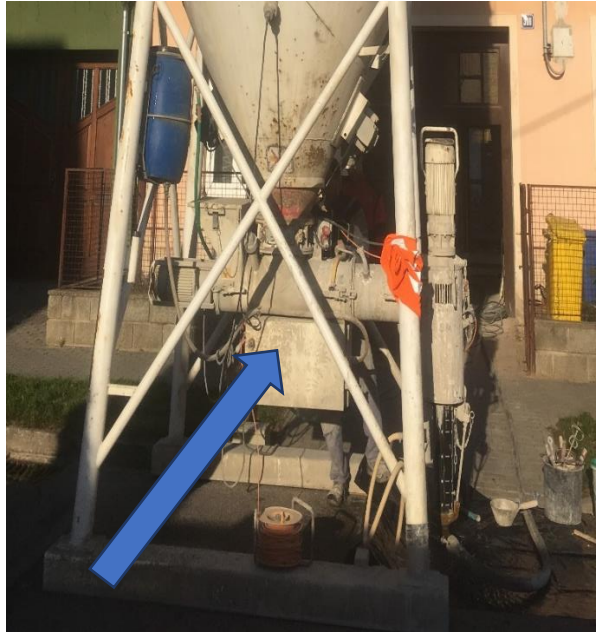
Pro kontrolu konzistence se provádí zkouška rozlivu podle ČSN EN 12706: rozlivný válec o vnitřním průměru 30 mm a výšce 50 mm. Tato zkouška se provádí před litím, ale dle potřeby se může dále provádět i v průběhu aplikace. Například je zkoušku nutno provést po zakolísání tlaku vody ve vodovodním řádu. Ten může způsobit automatické vypnutí stroje a změnu konzistence materiálu. Zmíněnému problému se dá předejít, pokud bude použita samostatná nádoba na záměsovou vodu (sud min. 100 l), ze které je voda čerpána pomocí sacího čerpadla [2].

### 3.3.3 Strojní mísení a lití volně loženého potěru ze sila

V tuzemsku se technologie začala vyskytovat v polovině 90. let 20. stol. Je určena pro objekty kde plošná výměra překročí 50 m<sup>2</sup>, nebo spotřeba potěru je větší než 3 tuny suché směsi. Suchý potěr je uschováván v silu (viz obr. 3) na jehož konci je připojeno 2stupňové kontinuální mísidlo (viz obr. Y). Suchý potěr v silu je dodáván z výroben suchých stavebních směsí. Výhodou takto dodávaných směsí je možnost optimalizace zrnitostní skladby kameniva (většinou 4 až 6 frakcí sušeného kameniva). Objem sila se pohybuje od 5 – 22,5 m<sup>2</sup>, s tím že lze silo dle potřeby doplňovat, nebo se může aplikace přerušit a nepoužitý materiál není znehodnocen [2].



**Obr 3:** Umístění sila se suchým potěrem na stavbě – foto autor



**Obr 4:** Vyobrazení 2-stupňového kontinuálního mísidla – foto autor

Kontrola konzistence samonivelačního potěru se provádí zkouškou rozlivu in situ. Je nezbytné ji provést před aplikací potěru, ale může se dále provádět i v průběhu aplikace. Pro tuto zkoušku se používá rozlivný kužel (známý jako Hagermannův trychtýř) o výšce 60 mm, horním vnitřním průměru 70 mm a spodním vnitřním průměru 100 mm popsaném v ČSN EN 1015-3. Průběh kontroly konzistence zachycují obrázky 5 a 6.



**Obr. 5:** Zvednutí rozlivného kužele – foto autor



**Obr. 6** Měření velikosti rozlivného „koláče“ – foto autor

### 3.3.4 Dovoz a ukládání hotového potěru z betonáren

Na stavbu se dováží již hotový potěr tekuté konzistence v automixech, ze kterých se dále čerpá na dané místo pomocí šnekových nebo pístových čerpadel. Výhodou této

technologie je nižší cena materiálu, protože kamenivo tvoří většinou pouze 2 frakce, vytříděné již v těžebně a bez nároku na sušení. S tímto faktem ovšem souvisí nevýhoda možných proměnlivých vlastností kameniva. Dalším problémem této technologie je dopravní vzdálenost od výroby potěru k místu uložení, neboť nároky na zpracovatelnost zůstávají stejné.



Obr. 7: Fotografie automixu na stavbě – foto autor



Obr. 8: Zobrazení šnekového čerpadla na stavbě – foto autor

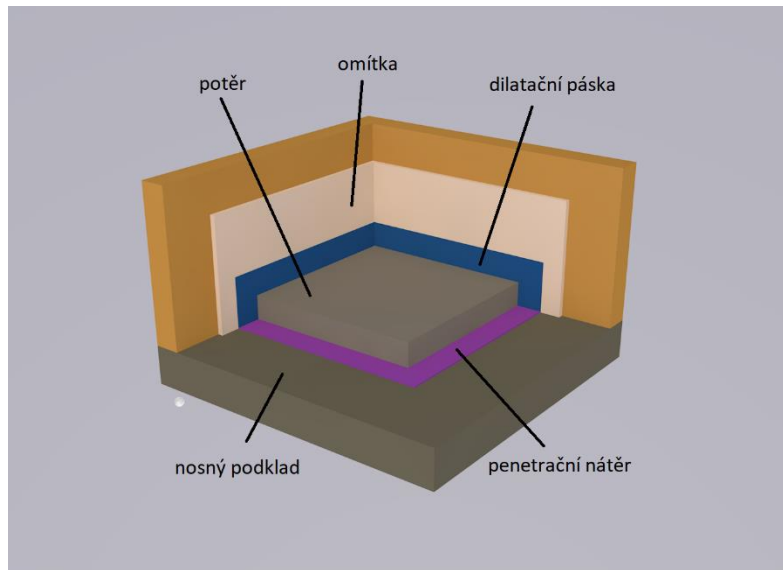
### 3.4 Konstrukční typy samonivelačních potěrů

Samonivelační potěry zaujímají v podlahových skladbách místo vyrovnávací a roznášecí vrstvy. Je možné na ně použít všechny podlahové kryty jako například koberce, PVC, plovoucí podlahy, linolea, kamenné nebo keramické dlažby, syntetické lité podlahoviny, dřevěné podlahy atd. Konstrukční systémy se rozdělují podle provedení samonivelačního potěru na sdružené, oddělené a plovoucí potěry.

#### 3.4.1 Sdružené samonivelační potěry

Sdružené samonivelační potěry jsou celoplošně spojeny s nosným podkladem, díky čemuž je zabráněno posunu mezi podkladem a potěrem a také je zajištěno spolupůsobení obou vrstev. Potěr přenáší všechny síly, co na něj působí, rovnoměrně do podkladní vrstvy, která musí být před aplikací sdruženého potěru náležitě připravena. Podkladní vrstva musí být čistá a zbavené všech uvolněných částic. Od obvodových zdí je potěr oddělen dilatačními páskami a podklad je opatřen penetračním nátěrem. Tento

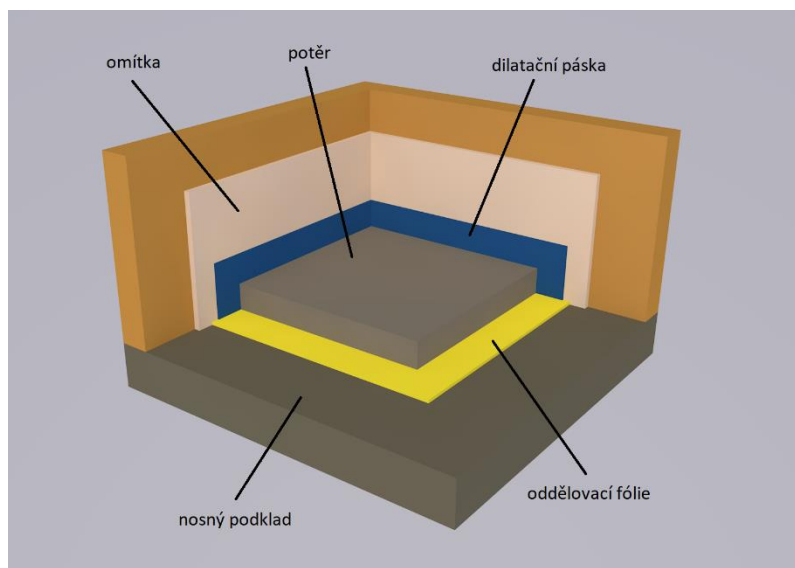
konstrukční typ potěru není vhodný pro podlahy, kde jsou kladeny zvýšené nároky na tepelné ztráty a kročejovou neprůzvučnost. Schéma potěru viz obr. 9.



**Obr. 9:** Schéma sdrúženého samonivelačního potěru – zdroj autor

### 3.4.2 Oddělené samonivelační potěry

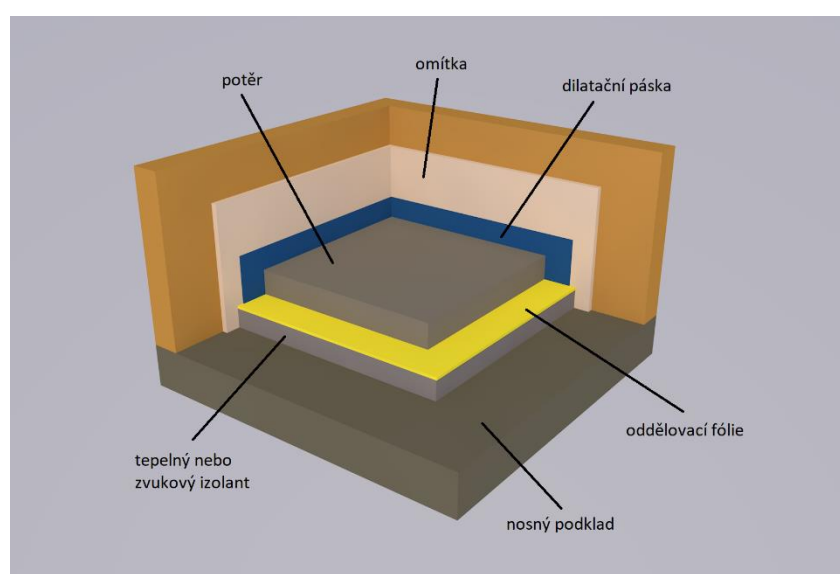
Na rozdíl od sdrúžených potěrů jsou oddělené samonivelační potěry odděleny v celé ploše od podkladu separační vrstvou (fólií). Díky této separační vrstvě je u tohoto systému možný vodorovný pohyb mezi vrstvami. Systém je vhodný u podlah, u kterých nejsou nároky na zvýšení tepelné izolace a kročejové neprůzvučnosti podlahové konstrukce. Nejčastěji se s tímto systémem setkáváme tam, kde nelze zajistit dostatečnou přídržnost potěru s podkladní vrstvou z důvodu nedostatečné soudržnosti povrchu, materiálové nesourodosti nebo na znečištěné případně vlhké podklady.



**Obr. 10:** Schéma samonivelačního potěru uloženého na oddělovací vrstvě

### 3.4.3 Plovoucí samonivelační potěry

Tento samonivelační potěr leží v celé své ploše na zvukovém, nebo tepelně izolačním materiálu. Mezi potěr a izolaci je vložena separační fólie, zabraňující přetékání potěru mezi izolant. Aby nedocházelo ke vzniku tepelných mostů nesmí potěr v žádném místě dosedat na nosný podklad a obvodové a prostupující konstrukce musí být opatřeny dilatačními páskami. Tloušťka potěru se odvíjí od tloušťky a stlačitelnosti podkladní izolační vrstvy, avšak minimální tloušťka je 35 mm [2].

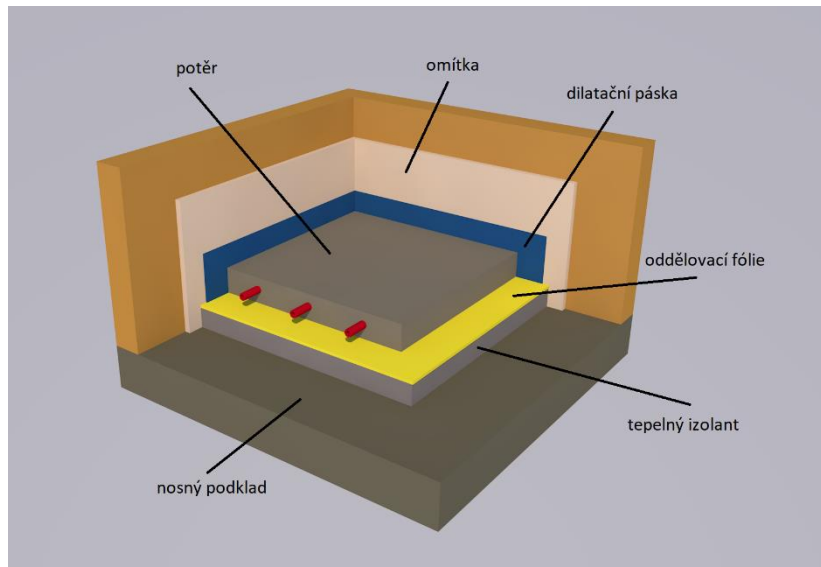


**Obr. 11 :** Schéma plovoucího samonivelačního potěru



### 3.4.4 Plovoucí samonivelační potěry s podlahovým vytápěním

Skladba tohoto potěru je totožná s klasickým plovoucím potěrem. Potrubí podlahového vytápění může být uloženo buď v potěrové desce (mokré pokládání) nebo pod potěrovou desku a oddělovací vrstvu v izolantu (suché pokládání) [8].



Obr. 12: Schéma plovoucího samonivelačního potěru s podlahovým vytápěním

### 3.5 Vlastnosti litých potěrů z pohledu realizátora a následných stavebních řemesel

Vylití podlahového potěru je ve většině případů pouze jedním z mnoha kroků při realizaci podlahových skladeb a dokončování obytných či užitných místností. Po novém nosném povrchu podlahy je tedy nutné začít co nejdříve chodit, přenášet břemena či je převážet na ručních vozících, případně na potěru stavět žebříky či různé typy lešení při provádění elektrikářských, instalatérských či omítkářských prací.

Ve velké části případů povrch potěru netvoří finální nášlapnou vrstvu, ale jsou prováděny finalizace povrchu pokládkou dalších lepených vrstev. S těmito pokládkami souvisí nutnost odbroušení šlemu, pokud na daném potěru vzniká a také případné zajištění vysoké rovinnosti povrchu potěru přelitím tenkovrstvou samonivelační stěrkou, pokud daný potěr sám o sobě dostatečnou rovinnost nezajišťuje. Vysoká rovinnost podkladu je nezbytná například při pokládce velkoformátových keramických dlažeb či lepeného linolea. *(Poznámka: šlemem je v podlahářské terminologii myšlena jemnozrnná nesoudržná*

*sprašující vrstvička na povrchu potěru, která většinou v tloušťce jednotek milimetrů vzniká vlivem částečné segregace potěru a také rychlejším schnutím hmoty u povrchu).*

Aplikace potěrů jsou v praxi na stavbách realizovány za různých klimatických podmínek, a to od optimálních (laboratorních) až po extrémní podmínky, ve kterých není možné potěry aplikovat bez značného rizika vzniku poruchy. Mezi tyto klimatické extrémy patří například nízká teplota na hranici +5°C, vysoká teplota vzduchu přesahující značně +30°C, vysoká rychlost proudění vzduchu, přímý celoplošný či lokální osvit sluncem.

Všechny parametry potěrů, podle kterých je prováděno jejich deklarování a zařídování dle ČSN EN 13813, jsou stanovovány ve vyvráleném stavu ve stáří 28 dní při kondicionování v laboratorních podmínkách. Z normových zkoušek s předepsanými podmínkami zrání nelze usuzovat o chování potěru v době mezi jeho vylitím a plným vyvrálením, a také tyto zkoušky nepodávají žádnou informaci o rychlosti vyvrálení a vysychání potěrů za klimatických podmínek odlišných od standardizovaných podmínek laboratorních. Informace o průběhu zrání uvádějí někteří výrobci a dodavatelé potěrů v technických listech produktů. Ovšem i zde jsou informace velmi strohé a v případě rychlosti vysychání se sdělení výrobců často omezuje na různě formulovanou frázi, že „nižší teplota a vyšší vlhkost vzduchu může vysychání potěru prodloužit“.

Odlišný přístup ke třídění a deklarování potěrů než evropská ČSN EN 13813 má rakouská národní norma ÖN B 3732:2016, která definuje takzvané *ndenní Schnellestrich* (rychle vyvrálené potěry), které v deklarování *ntý* den dosahují zbytkové vlhkosti menší či rovné maximální požadované zbytkové vlhkosti. Norma nařizuje i klimatické podmínky, při kterých má ověření parametrů probíhat: teplota vzduchu 20°C a relativní vlhkost vzduchu 65%. Součástí požadavků této rakouské normy na *Schnellestrich* je i nabytí 50% deklarované výsledné tlakové pevnosti po 2 dnech zrání a 70% deklarované výsledné tlakové pevnosti po 3 dnech zrání.

Na základě výše uvedeného můžeme za vlastnosti litých potěrů z pohledu realizátora a navazujících stavebních řemesel považovat:

- dobu dosažení pochůznosti,
- dobu plné zatížitelnosti,
- nutnost či nenutnost broušení šlemu,
- dobu dosažení požadované zbytkové vlhkosti.

### 3.5.1 Doba pro dosažení pochůznosti potěru

Každý zodpovědný výrobce uvádí v technickém listu potěru „dobu pro dosažení pochůznosti“ nebo „pochůznost“. Tento parametr a jeho stanovení není žádnou normou, ani veřejně dostupným předpisem definován a není stanoven závazný postup stanovení této doby. Obecně je „pochůzností“ myšlena doba od vylití potěru, po které je možné bezpečné pěší pocházení po nově vzniklém povrchu potěru bez jeho poškození proslápnutím či mechanickým odřením. Tato doba je důležitá z hlediska návaznosti dalších stavebních prací, které jsou na stavbách prováděny, následujících po lití podlahových potěrů. Specifickým případem jsou například opravy v objektech s nepřetržitými provozem, ve kterých je investory požadována zcela minimální doba blokování podlahové plochy místností zrajícím potěrem. V některých těchto případech je vyžadováno dosažení pochůznosti potěru po pouhých několika hodinách.

Extrémem zatížení při „pocházení“ čerstvých potěrů může být například pracovník na žebříku, který je postaven v rohu místnosti. Pokud je potěr plovoucí tzn. vylit na izolantu, hrozí prasknutí a odlomení rohu potěru tímto bodovým zatížením. Je nutné rozlišovat dobu pochůznosti pro potěry na pevném podkladu, při které je rozhodující aktuální tlaková pevnost a odolnost proti mechanickému odření povrchu. V případě potěrů plovoucích aplikovaných na pružný podklad je pro stanovení doby pochůznosti rozhodující aktuální pevnost v tahu za ohybu a také odolnost proti mechanickému odření. Jak již bylo zmíněno, pro stanovení doby pochůznosti není definován žádný závazný postup. Stanovení však lze provést například následující praktickou zkouškou, při které se vytvoří dostatečně velká zkušební plocha, na které je zkoušený potěr vylit na izolant. V časových odstupech od vylití je plocha zatěžována simulovaným pohybem osob nesoucích břemena v pracovních obuvi. Paralelně s tím jsou ve stejných časových odstupech měřeny aktuální pevnosti charakteristiky potěru (tedy pevnost v tlaku a v tahu za ohybu) na tělesech vytvořených ve stejný čas a ze stejného materiálu jako byla vytvořena zkušební potěrová plocha. Následně je provedena korelace mezi aktuálními mechanickými pevnostmi a stupněm poškození potěru simulovaným pěším zatížením.

### 3.5.2 Doba plné zatížitelnosti

Doba plné zatížitelnosti se vztahuje k projektem stanovenému provoznímu zatížení vypočítanému dle ČSN 74 4505. Doba plné zatížitelnosti u normálně tuhoucích potěrů



na bázi portlandského cementu či anhydritu zpravidla koresponduje s dobou dosažení plné 28 denní pevnosti. V případě rychle tuhoucích potěrů (*ndenní Schnellestrich*) na bázi ettringitu či alfa-sádry se doba plné zatížitelnosti blíží *ntému* dni, ve kterém výrobce potěru deklaruje dosažení konečných pevností.

V technických listech některých potěrů lze nalézt i tzv. „dobu částečné zatížitelnosti“. Tento údaj je však zcela zmatečný a netechnický, protože není nikde vysvětleno, jak a za jakých podmínek byla tato vlastnost stanovena. A také není exaktně specifikováno, jak velké části zatížení je možné v danou dobu potěr vystavit.

### **3.5.3 Nutnost či nenutnost broušení šlemu**

Většina samonivelačních potěrů vykazuje určitou míru segregace po vylití, tato segregace má za následek vznik šlemu, který je nutno před lepením následných vrstev odbrousit, neboť by tvořil separační vrstvu. Broušení šlemu je drahá, pracná a velmi prašná činnost, která je, dle domluvy, zajišťována buď realizátorem potěru, obkladačskou firmou nebo externími pracovníky. Pokud není nutné potěr brousit, jedná se významný bonus pro urychlení prací a snížení prašnosti a pracnosti při realizaci podlahové skladby. Této vlastnosti dosahují některé rychle tuhnoucí potěry.

### **3.5.4 Doba dosažení požadované zbytkové vlhkosti**

Pokud se, v rámci navazujících stavebních prací, počítá i s aplikací následných povrchových krytů na potěr, nabývá vysoké důležitosti i doba dosažení požadované zbytkové vlhkosti. Nadměrná zbytková vlhkost přítomná v potěru může mít za následek plesnivění, vydouvání, delaminaci či jiný typ poškození nášlapných vrstev tvořící nadloží potěru. Proto je důležité klást nebo lepit tyto vrstvy až po vyschnutí potěru na bezpečnou úroveň. Vodítko pro určení požadovaných maximálních obsahů vlhkosti v potěrech před aplikací různých typů nášlapných vrstev udává ČSN 74 4505.

Technické listy potěrů často udávají exaktní časový údaj, kdy je možné provádět např. pokládku dlažeb, ovšem exaktně stanovená doba v technickém listu může být v přímém rozporu se zbytkovou vlhkostí potěru reálně stanovenou na stavbách. Tato doba je totiž významně závislá na tloušťce potěru, reálně použité dávce záměsové vody, teplotě vzduchu a potěru, vlhkosti vzduchu, rychlosti proudění vzduchu a dalších faktorech.

Ve stavební praxi nese často odpovědnost za převzetí podkladu, tedy i stanovení jeho aktuální zbytkové vlhkosti, realizátor následných lepených vrstev, například obkladač

či pokladač parket. Za tímto účelem je často využívána karbidová metoda, které je rychlá, avšak destruktivní, neboť vyžaduje úlomek měřeného potěru. Při menší až orientační přesnosti měření lze pro stanovení zbytkové vlhkosti využít nedestruktivních odporových či kapacitních příložných vlhkoměrů. Často se však stav dostatečné vyschlosti potěru empiricky odhaduje na základě tloušťky potěru a ročního období, ve kterém byl vylitý.

## 4 Složení potěrů

### 4.1 Etringitové koncepce samonivelačních potěrů a stěrek

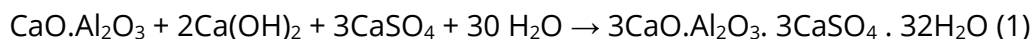
Tab. 3: Přehled pojivových koncepcí cementových samonivelačních podlahových materiálů [2]

Symbolické značení pojivového systému	Skladba pojivového systému	Obvyklé nebo doručované poměry mísení	Hlavní zdroj $Al^{3+}$ pro vznik ettringitu
CAC-OPC-C $\$H_x$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hlinitanový cement CAC</li> <li>- portlandský cement OPC</li> <li>- sádra, anhydrit C<math>\\$H_x</math></li> </ul>	s majoritou OPC: OPC/CAC/C $\$H_x$ 55/25/20	CA z CAC C $_3$ A z OPC
		s majoritou CAC: CAC/OPC/C $\$H_x$ 60/10/30	
C $\$A$ -OPC-C $\$H_x$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kalcium-sulfoaluminátový slínek C<math>\\$A</math></li> <li>- portlandský cement PC</li> <li>- sádra, anhydrit C<math>\\$H_x</math></li> </ul>	ternární: OPC/C $\$A$ / C $\$H_x$ 86/7/7/	C $_4$ A $_3$ $\$$ kleinit z C $\$A$ slínku
		pseudobinární: OPC/(C $\$A$ : C $\$H_x$ =3:1) 2/1	

#### 4.1.1 Etringitová pojivová koncepce na bázi hlinitanového a portlandského cementu a sádry

Tato ternární koncepce je založena na směsi portlandského cementu, hlinitanového cementu a zdrojem síranu vápenatého (vhodným typem sádry nebo anhydritu). Tato koncepce se ve stavebnictví vyskytuje nejdéle, a proto ji můžeme označit za klasickou. Již v období 60. let 20. století byl vyvinut „M cement“, přičemž největší přínos na této zkušenosti měli Michajlov (1960, SSSR) a následně Budnikov a Kravček [4.5]. Koncepce „M' cementů“ společně s „K cementy“ a „S cementy“ spadají do trojice expanzních cementů s účelovou tvorbou ettringitu, které jsou definovány národní normou

ASTM C 845. Přičemž „M cement“, nesoucí jméno po Michajlovi, sestává z kombinace portlandského cementu, hlinitanového cementu a sádry nebo hemihydrátu v daném poměru 66:20:14. Za prioritní reakci tvorby ettringitu z hlediska dominantního zdroje  $Al^{3+}$  složky v “M cementech” je považována reakce calcium aluminátu (CA), přítomného v hlinitanovém cementu:



Pokud se jedná o minoritní tvorbu ettringitu zdroj  $Al^{3+}$  je ve formě trikalcium aluminátu z portlandského cementu a rovnice se zapíše:



**Tab. 4:** Ettringitová pojivová koncepce na bázi hlinitanového a portlandského cementu a sádry (s úpravou dle M. Štenko [2]).

Symbolické značení pojivového systému	Skladba pojivového systému	Obvyklé doručované poměry mísení	Hlavní zdroj $Al^{3+}$ pro vznik ettringitu
CAC-OPC-C\$H <sub>x</sub>	Klasická ternární směs: - hlinitanový cement CAC - portlandský cement OPC - sádra C\$H <sub>x</sub>	s majoritou OPC: OPC/CAC/C\$H <sub>x</sub> 55/25/20	<b>CA</b> z CAC <b>C<sub>3</sub>A</b> z OPC
		s majoritou CAC: CAC/OPC/C\$H <sub>x</sub> 60/10/30	

Vysvětlivky:

OPC – portlandský cement z anglického Ordinary Portland Cement

CA – kalcium alminát

CAC – hlinitanový cement z anglického Calcium Aluminate Cement

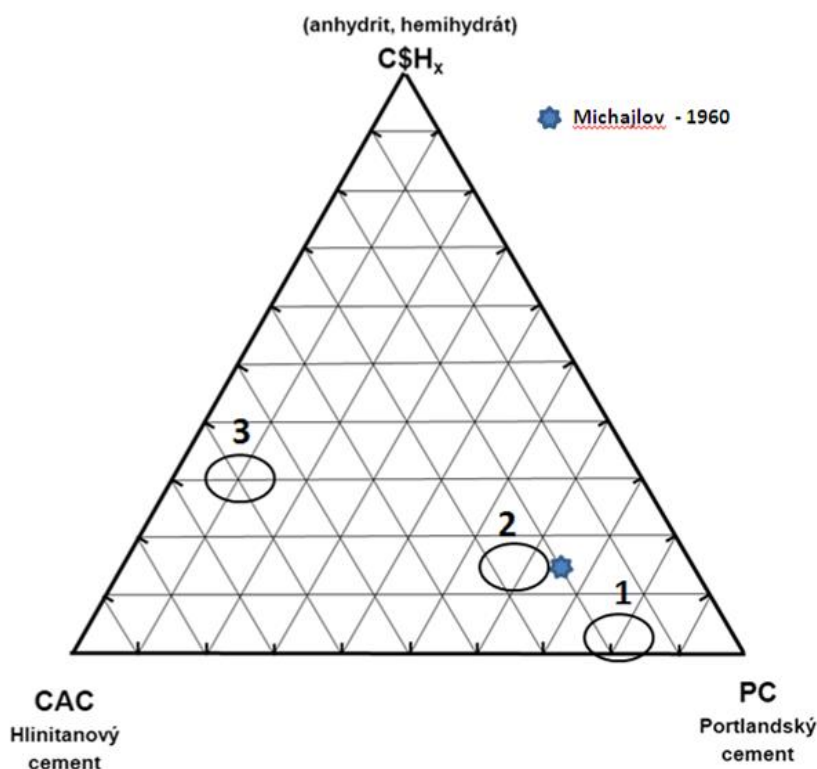
C<sub>3</sub>A – trikalcium aluminát

C\$H<sub>x</sub> - některá z forem sádry

Štenko [2] nejčastěji doporučuje 2 poměry mísení, které z hlediska zastoupení složek v materiálu jsou:

- Majorita portlandského cementu – OPC/CAC/C\$H<sub>x</sub> 55/25/20,
- Majorita hlinitanového cementu – CAC/OPC/C\$H<sub>x</sub> 60/10/30.

Podle Amatheia a kol. [6] lze vyčíst 3 možné zóny mísení ternární směsi z portlandského cementu (OPC), hlinitanového cementu (CAC) a sádry z grafu č. 1. K těmto zónám je nutné zmínit, že vlastní příprava konkrétního pojivového systému je vždy otázkou synergie použitých výchozích surovin. Řada směrných receptur z daných zón vybočuje, a proto nemůžeme brát tyto zóny jako jednoznačně určující a směrodatné. U konkrétních směsí hraje vždy významnou roli charakter použitých cementů (chemické a mineralogické složení, jemnost mletí atd.), druh použité síranové složky, celkový podíl pojivových složek a účinky dalších aditiv přidaných do směsi (plastifikátory, antisegregátory, odpěňovače, retardéry tuhnutí, akcelerátory tuhnutí atd.).



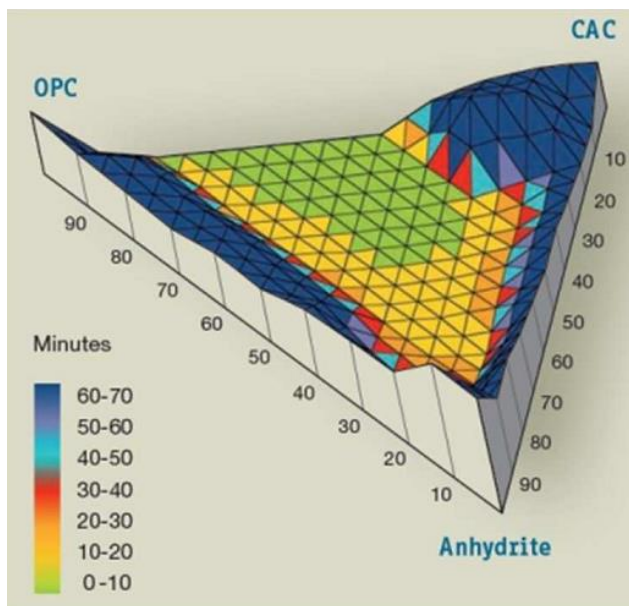
**Graf 1:** Doporučené ternární a binární pojivové koncepce dle L. Amathieu a kol. [6] s doplněním M. Štenko [2]

Zóny z grafu č. 1 lze popsat následovně:

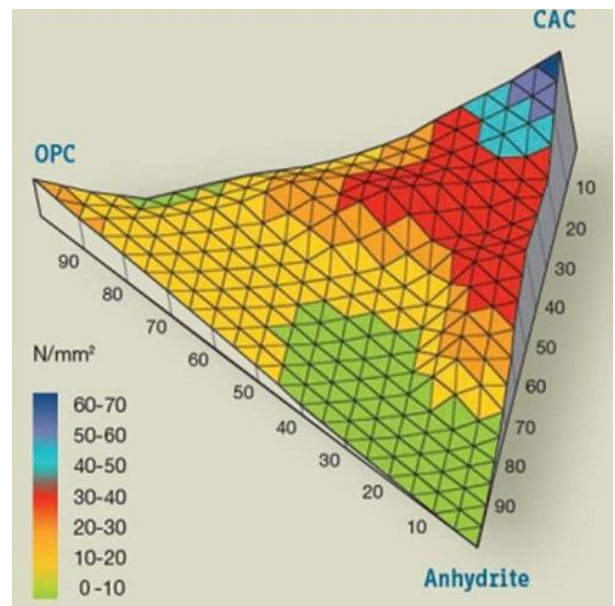
- Zóna 1: vymezuje binární složení portlandského cementu a hlinitanového cementu. Díky tomuto systému lze vyrobit pojivovou směs s urychleným tvrdnutím s minimální expanzí. Používá se zejména pro rychle tvrdnoucí malty nebo tmely.
- Zóna 2: odpovídá oblasti ternárního systému s majoritou portlandského cementu, hlinitanového cementu a vhodné formy sádry s klasickým souborem modifikátorů. Tento systém používají někteří výrobci samonivelačních podlahových hmot, hlavně

z důvodu menší pořizovací ceny surovin. Poměr obsažených složek se nejvíce podobá původní Michajlově koncepci.

- c) Zóna 3: představuje oblast ternárního systému s majoritou hlinitanového cementu, portlandského cementu a síranu vápenatého. Takto vytvořený model pojivové skladby samonivelačních podlahových potěrů na bázi účelové tvorby ettringitu je hojně používán, protože dosahuje dobré zpracovatelnosti, rychlého vytvrzení a vykazuje i dobré mechanické vlastnosti.



**Graf 2:** Ternární diagram počátku tuhnutí [min] pro směsi pojiv CAC-OPC-C $\$$ H $_x$ , Calucem [7]



**Graf 3:** Ternární diagram tlakových pevností po 24 hodinách [MPa] pro směsi pojiv CAC-OPC-C $\$$ H $_x$ , Calucem [7]

Grafy č. 2 a 3 zachycují počátek doby tuhnutí a tlakové pevnosti po 24 hodinách u uvedeného ternárního pojivového systému, z nichž je patrné, že poměr mísení složek u této koncepce je velice komplikovaný problém. Stačí jakákoliv změna vzájemných poměrů a dochází ke změně pevností a výsledných tlakových pevností daného materiálu.

## 4.2 Koncepce sádrová na bázi alfa-hemihydrátu nebo anhydritu, případně jejich směsí

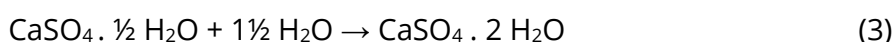
Jedná se o pojiva na bázi síranu vápenatého, který může mít podobu alfa-hemihydrátu nebo anhydritu, popřípadě může jít o jejich směs. Tento druh potěru bývá označován jako „sádrový“ nebo „anhydritový“. Výrobci se snaží vyhnout slovu „sádra“, protože u laické veřejnosti stále přetrvávají předsudky, kvůli některým funkčním vlastnostem a trvanlivosti

tohoto materiálu. Tato pojivová koncepce se používá v tuzemsku už více jak 20 let. V druhé polovině 90. let dvacátého století byly tyto samonivelační potěry dodávány jako hotové „suché“ volně ložené materiály, a to hlavně z Německa. Poté se začalo dovážet pouze vlastní pojivo, někdy označované jako „compound“. Tyto „compoundy“ obsahují všechny nezbytné přísady (antisegregátory, plastifikátory, odpěňovače, retardéry, akcelerátory, popřípadě i podíl plniva, které stačí smísit s kamenivem předepsaného složení). Tato praxe s využitím „compoundů“ jako hotových pojivových směsí stále v ČR převažuje. Jednou z výjimek je spol. Profibaustoffe CZ s.r.o., vyrábějící sádrový samonivelační potěr na bázi alfa-hemihydrátu jehož vzorek je jedním z potěrů, které jsou předmětem této práce a jehož rámcovou recepturu spol. Profibaustoffe CZ s.r.o. řešiteli poskytla. [8]

Pro sádrové samonivelační potěry jsou z hlediska výchozích surovin nejužívanější:

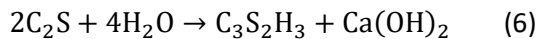
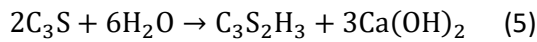
- alfa-hemihydrát, vyráběný tepelným zpracováním (tlakovou kalcinací) energosádrovců, vznikajících při odsíření topenišť na fosilní paliva (teplárny, elektrárny),
- termický anhydrit (typ A II E) -  $\text{CaSO}_4$  vyráběný vysokoteplotní kalcinací (nad 600 °C) taktéž z energosádrovců
- syntetický anhydrit -  $\text{CaSO}_4$  vyráběný přečistěním a kalcinací z odpadního dihydrátu, který vzniká při výrobě kyseliny fosforečné.

Kompenzované smrštění u sádrových samonivelačních potěrů vychází ze známého jevu, objemového nárůstu, doprovázející hydrataci síranu vápenatého -  $\alpha$  hemihydrátu  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$  viz rovnice (3) resp. anhydritu  $\text{CaSO}_4$  viz rovnice (4):

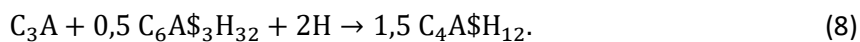
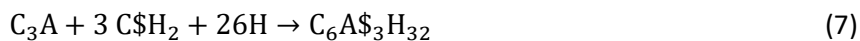


### 4.3 Cementová pojiva na bázi portlandského slínku

Portlandský cement po smísení s vodou tuhne a tvrdne za vzniku cementového kamene. Jedná se o exotermickou reakci, při které vznikají jemné krystaly a pevné vazby. Při vzniku cementového kamene jsou hlavními nositeli pevnosti minerály alit a belit, které při vzniku s vodou hydratují za vzniku afwillitu a portlanditu. Tento proces můžeme popsat následujícími rovnicemi dle Šaumana:



Při hydrataci křemičitanových slínkových minerálů dochází k odlučování hydroxidu vápenatého a vznikají CSH gely. Alit je zde díky největšímu objemovému zastoupení zodpovědný za finální pevnosti cementového kamene. Trikalciumaluminát nejdříve reaguje se sádrovcem obsaženým v portlandském cementu při vzniku ettringitu. Jakmile je všechen sádrovec spotřebován, reaguje s již vytvořeným ettringitem za vzniku monosulfátu:



Sádrovec ve slínku brání okamžité reakci  $C_3A$  na  $C_4AH_{13}$ , která by znemožnila zpracování betonu. Sádrovec donutí  $C_3A$  reagovat s vodou za vzniku ettringitu. Snižuje tvorbu hydratačního tepla a zmenšuje objemové změny během tuhnutí betonu.

Jako expanzní přísada se do cementu přidává CaO. Je možné použít MgO ale spíše se využívá CaO, a to hlavně z důvodu ceny a dostupnosti. M. Collepardi uvádí, zlepšení účinku vápenatého rozpínání můžeme dosáhnout použitím expanzní přísady na bázi CaO a protismršťující přísady SRA (Shrinkage Reduction Addmixture). Pokud je množství přidaného SRA v rozmezí 1-2 % na hmotnost cementu, redukuje smrštění vysycháním asi o 50 %.

## 4.4 Přehled dalších složek a jejich funkce

### 4.4.1 Kamenivo

Kamenivo slouží jako plnivo a tvoří pevnou matici potěru. Při použití více frakcí kameniva v potěru, docílíme hutnější skladby. V případě, že je samonivelační podlahový potěr vyráběn ve výrobně „suchých“ stavebních materiálů je kamenivo voleno podle logistických podmínek, nebo má výrobní vlastní zdroj. Jedná se ovšem vždy o prané a tříděné křemičité písky nebo vápencové drtě, předem vytríděné na frakce např. 0,0-0,3 mm,

0,3-0,6 mm, 0,6-1,2mm, 1,2-2,0mm, 2,0-4,0 mm. Pokud je potěr vyráběn v betonárně a dopravován na stavbu, jsou používány běžné betonářské písky v zrnitosti 0,0-4,0 mm.

#### **4.4.2 Plniva**

Spadají sem nejmenší frakce kameniva, běžně označované jako „fillery“. Ve většině závodů se jedná o mleté vápence tzv. vápencové moučky (zrno 40 – 60  $\mu\text{m}$ ). Dále mohou být doplněny odprašky z drtíren štěrků nebo drtíren lomového kamene tzv. křemenné odprašky a kamenné moučky.

#### **4.4.3 Přísady do samonivelačních potěrů**

Do samonivelačních potěrů se přidává velké množství aditiv, mezi které patří:

##### **Plastifikátory**

Pro výrobu samonivelačních potěrů a stěrek jsou plastifikátory jednou z nejdůležitějších přísad. Jedná se o látku, díky které se dosahuje požadovaných rozlivových vlastností, při zmenšení dávky záměšové vody. Tyto látky v posledních desetiletích prodělaly značný posun od kaseinu a lignosulfonanů, přes melaminy až k superplastifikačním látkám na bázi polycarboxyletherů (PCE). Při použití do potěrů se volí dávkování superplastifikátorů v rozmezí 0,05 - 0,1 %, (vztaženo na celkovou hmotnost suchého výrobku) [8].

##### **Záhustky**

Přísady modifikující homogenitu tekuté, čerstvě aplikované směsi jsou nezbytné pro výrobu potěrů, protože omezují segregaci a tím spojené sednutí kameniva a bleeding. Záhustky musí co nejméně ovlivňovat rozlivové vlastnosti. Používají se nízkoviskozní ethery celulózy, anionické polysacharidy, organopolymery, vhodné typy škrobů.

##### **Odpěňovače**

Eliminují vysoký stupeň zavzdušnění v potěru vznikající při mísení potěru s vodou. Díky tomu je větší hutnost materiálu a zvyšují jeho pevnostní parametry. Dávkování u samonivelačních potěrů pohybuje v rozmezí 0,05 – 0,15 % (vztaženo na celkovou hmotnost suchého výrobku).

##### **Akcelerátory tuhnutí**

Používají se z důvodu zvýšení počátečních pevností potěru pro dosažení rychlé, alespoň částečné zatížitelnosti. U směsných cementových pojiv s účelovou tvorbou ettringitu a sádrových pojiv na bázi  $\alpha$ -hemihydrátu, se jako retardéry nejčastěji používají ovocné



kyseliny (vinná, citronová) případně jejich soli (3 Na-citrát), soli cukerných kyselin (glukonát sodný) a to často ve vzájemné kombinaci. Současně existuje nabídka komerčních retardérů s chráněným složením pro různé typy pojiv [8].

### **Retardéry tuhnutí**

Oddalují reakce vedoucí k tuhnutí, aby byla dodržena požadovaná doba zpracovatelnosti čerstvě aplikovaného potěru minimálně 30 minut. Ve zpomalovacích přísadách se obecně vyskytují látky organické jako glukonát, karboxylové kyseliny, glukóza, lignosulfát apod., nebo anorganické látky na bázi solí mědi a zinku.

### **Vláknitá výztuž**

Určená pro potěry na pružné a přetvářené podklady. Zlepšuje u výrobku pevnost v tahu a pevnost v tahu za ohybu. Používají se skleněná a PE vlákna, která dokáží eliminovat vznik povrchových trhlin, nebo celulosová vlákna zajišťující zrovnoměrnění distribuce vlhkosti a urychlení vysychání.

### **Protismrštivé a rozpínavé přísady**

Protismrštivé i rozpínavé přísady se používají pouze u „čistě cementových“ potěrů a to z důvodu, že tyto samonivelační potěry se během zrání nadměrně smršťují. Protismrštivé přísady jsou látky na bázi neopentylglykolu nebo propylen-glykoly. Expanzní přísady jsou materiály typu tvrdě pálené CaO a MgO [2].

### **Latentně-hydraulické přísady**

Zařizují granulometrickou skladbu potěru a mohou zlepšovat pevnostní parametry a trvanlivost u ověřených koncepcí. Latentně-hydraulické přísady jsou mikrosilika, ffluidní popílký, mletá granulovaná vysokopeční struska.

### **Modifikace redispergovatelnými polymerními prášky (RPP)**

Jedná se o výrazně zušlechtnuté materiály, které se do samonivelačních potěrů dávají velice výjimečně. I když tyto materiály dokáží u čerstvých potěrů zlepšit reologické vlastnosti, pevnostní parametry, přídržnost k podkladu a otěruvzdornost, setkáváme se s nimi velice zřídka hlavně díky vysoké pořizovací ceně. Nejčastěji se vyskytují u průmyslových finálních stěrek, kde zajišťují přídržnost k podkladu. Polymerní prášky se přidávají do potěru přidávané nejčastěji v objemu 1 – 5% (vztaženo na suchou směs).

## 5 Technické normy vztahující se k samonivelačním potěrům

### 5.1 Klasifikační a požadavková norma

Samonivelační potěry se specifikují podle normy ČSN EN 13813 - Potěrové materiály a podlahové potěry [1]. Tato norma nerozlišuje rozdíl mezi pojmy stěrka nebo potěr. Také opomíjí existenci samonivelačních potěrů směsných pojivových koncepcí. Podle typu pojiva rozlišuje pouze potěrové materiály cementové a ze síranu vápenatého. Norma předepisuje uvádět charakter pojiva tzn. cementové (symbolicky CT) a ze síranu vápenatého (symbolicky CA). Pokud je potěr modifikován polymerem, vyžaduje norma pouze slovní charakteristiku např. „Cementový potěrový materiál modifikovaný polymerem...“, Norma uvádí, které zkoušky mají být na potěrech prováděny viz obr. 13 Rozděluje je na:

- normativní,
- volitelné, přichází-li to v úvahu,
- netýká se.

Potěrové materiály	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu	Odolnost proti ohrusu „Böhme“	Odolnost proti ohrusu „BCA“	Odolnost proti opotřebení valivým zatížením	Tvrdoost povrchu	Tvrdoost proti vtlačení	Odolnost proti opotřebení valivým zatížením potěru s podlahovou krytinou	Doba zpracovatelnosti	Smrštění a rozpinání	Konzistence	Hodnota pH	Modul pružnosti v tahu za ohybu	Odolnost v rázu	Přidrženost
cementové	N	N	N <sup>a</sup> (jedna ze tří)	O	O	-	O	O	O	O	O	O	O	O <sup>a</sup>	O
ze síranu vápenatého	N	N	O	O	O	-	O	O	O	O	O	N	O	-	O
z hořečnaté maltoviny	N	N	O	O	O	N <sup>a</sup>	-	O	-	O	O	O	O	-	O
asfaltové	-	-	O	O	O	-	N	O	-	-	-	-	-	-	-
pryskyřičné	O	O	-	N <sup>a</sup> (jedna ze dvou)	O	-	O	-	O	O	O	-	O	N <sup>a</sup>	N

Legenda  
 N Normativní  
 O Volitelné, přichází-li to v úvahu.  
 - netýká se  
<sup>a</sup> Jen pro potěrový materiál určený pro povrch odolný otěru.

Obr. 13: Normativní a volitelné zkoušky, pro jednotlivé druhy potěrů dle ČSN EN 13813 [1]

Z normativních technických parametrů norma požaduje uvedení pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu. Pevnost v tlaku se klasifikuje C5 až C80 viz. tab. 5. Pevnost v tahu za ohybu se klasifikuje F1 až F50 viz Tab. 6.

**Tab. 5:** Třídy potěrového materiálu podle pevnosti v tlaku

Třída	C5	C7	C12	C16	C20	C25	C30	C35	C40	C50	C60	C70	C80
Pevnost v tlaku [N/mm <sup>2</sup> ]	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80

**Tab. 6:** Třídy potěrového materiálu podle pevnosti v tahu za ohybu

Třída	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Pevnost v tahu za ohybu [N/mm <sup>2</sup> ]	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50

Z uvedeného vyplývá, že základní požadovaná minimální deklarace např. potěru s cementovým pojivem s pevností v tlaku min. 25 N/mm<sup>2</sup> a pevností v tahu za ohybu min. 5 N/mm<sup>2</sup> může být: CT-C25-F5.

K povinným (normativním) parametrům u potěrů na bázi síranu vápenatého patří navíc oproti cementovým potěrům hodnota pH, která se však neuvádí ve zkrácené deklaraci (viz. výše), ale měla by být uvedena v technické dokumentaci výrobku. Jelikož samonivelační potěry mají v podlahových skladbách především vyrovnávací a roznášecí funkci a tvoří v naprosté většině případů podklad pro finální podlahové kryty, není nutné u nich deklarovat odolnost proti obrusu a tvrdost povrchu.

## 5.2 Požadavková norma na zbytkovou vlhkost

Nejvyšší dovolená vlhkost cementového potěru nebo potěru na bázi síranu vápenatého v hmotnostních % v době pokládky nášlapné vrstvy podlahy udává norma ČSN EN 74 4505 – Podlahy, společná ustanovení [11]. Častým problémem ve stavební praxi je rychlost vysychání potěrů v různých klimatických podmínkách ve vztahu k nezbytné době, kdy je možná aplikace podlahových krytů. Realizátor nášlapné vrstvy je

zodpovědný za dodržení požadovaných normových hodnot zbytkové vlhkosti. Tato norma opět bere v potaz pouze existenci potěrů cementových a na bázi síranu vápenatého.

**Tab. 7:** Nejvyšší povolená vlhkost cementového potěru nebo potěru na bázi síranu vápenatého v hmotnostních % v době pokládky nášlapné vrstvy [11].

Nášlapná vrstva	Cementový potěr, beton	Potěr na bázi síranu vápenatého
Kamenná nebo keramická dlažba	5,0 %	0,5 %
Lité podlahy na bázi cementu	5,0 %	Nelze provádět
Syntetické lité podlahoviny	4,0 %	0,5 %
Paropropustná textilie	5,0 %	1,0 %
PVC, linoleum, guma, korek	3,5 %	0,5 %
Dřevěné podlahy, parkety, laminátové podlahoviny	2,5 %	0,5 %

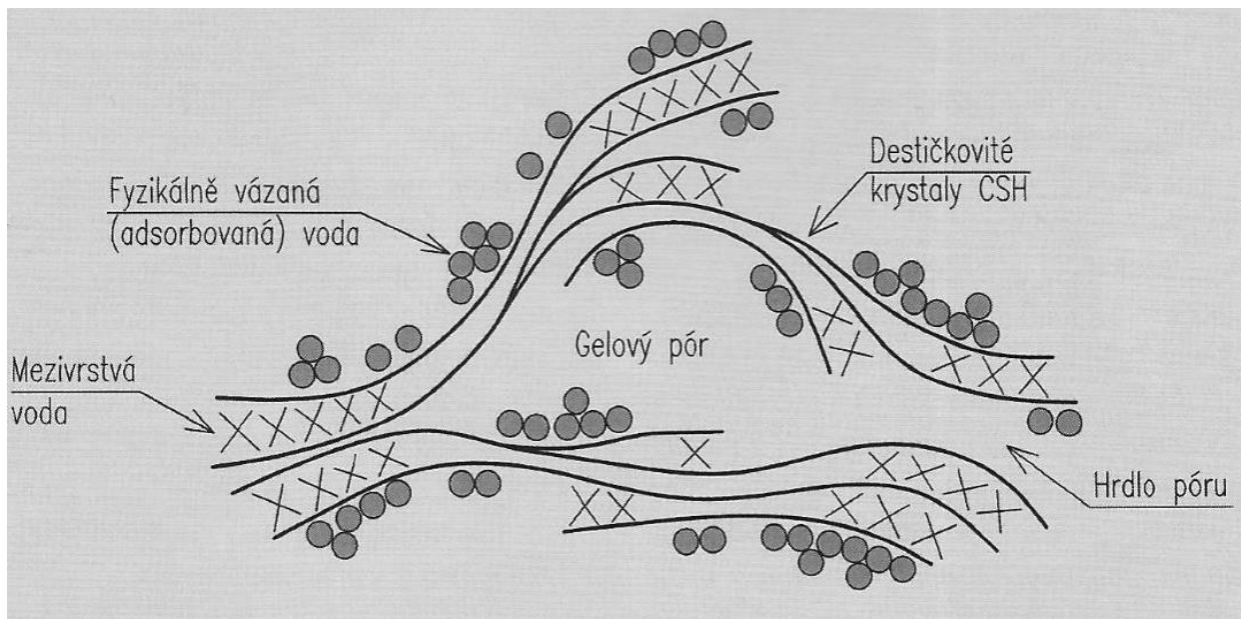
Pokud je v systému zabudované podlahové vytápění, tak norma udává, že musí být požadavek na nejvyšší povolenou vlhkost u cementového potěru snížen o 0,5 % a u potěru na bázi síranu vápenatého o 0,2 %.

## 6 Voda v mikrostruktuře potěrů a způsoby jejího transportu

### 6.1 Voda v betonu

Voda se vyskytuje v cementovém kameni po hydrataci v několika podobách. Nejsnáze odpařitelná je voda tzv. voda volná, která se vyskytuje v makropórech. Další druh vody, kterou je možné nalézt v cementovém kameni po hydrataci je voda fyzikálně vázaná. Fyzikálně vázanou vodu lze rozdělit na gelovou a kapilární, podle velikosti pórů na jejichž stěnách se voda vyskytuje. U pórů platí, čím větší je pór, tím líp se z něho odpařuje voda. Pro vysušení kapilární vody z betonu potřebujeme teplotu minimálně 105 °C. V této diplomové práci byly použity ale i potěry sádrové a potěry na bázi pojiv produkujících ettringit jako svůj primární hydratační produkt u kterých byla volena teplota 50 °C, aby

nedošlo k rozkladu produktů hydratace. Dalším druhem vody je voda mezivrstvá. Ta se vyskytuje u CSH gelů a pro její odpaření je potřeba intenzivního vysušování. Poslední druh vody vyskytující se v cementovém kameni je voda chemicky vázaná, někdy nazývaná hydratovaná. Hydratovaná voda se podílí na pevné struktuře cementového kamene. Abychom dokázali vysušit chemicky vázanou vodu je u betonu potřeba teploty vyšší jak 800 °C [12], [20].



Obr. 14: Schématické znázornění vody vyskytující se v pórové struktuře [20]

## 6.2 Klasifikace pórů

Vznik pórovité struktury cementového kamene je zapříčiněn změnou suspenze na tuhé skupenství. Velikost a množství pórů v betonu výrazně ovlivňuje pevnost, smrštění, trvanlivost, voděodolnost, dotvarování a odolnost konstrukce proti mrazu.

Obecně platí, čím je větší vodní součinitel, tím obsahuje vzorek více pórů, což v důsledku znamená menší pevnost. Čím je vyšší jemnost mletí cementu nebo příměsí betonu, tím roste stupeň hydratace a zároveň klesá celková pórovitost, což naopak znamená větší pevnost cementového kamene a nižší propustnost pro nežádoucí látky do vnitřní struktury betonu. Ošetřováním betonu lze ovlivnit tvorbu pórů.

Gelové póry vznikají mezi produkty CSH gelu. Velikost gelových pórů činí velikost 0,5 – 2,5 nm. Voda obsažená v těchto pórech má vliv na smršťování a dotvarování betonu. Vznik kapilárních pórů je zapříčiněn zmenšením objemu finálního produktu oproti

původnímu objemu vody a cementu. Velikost kapilárních pórů se odvíjí od velikosti vodního součinitele a jak dobře je finální produkt zhydratován. Menší kapilární póry mají vliv na dotvarování a smršťování, zatímco větší kapilární póry mají prokazatelný vliv pouze na pevnost a propustnost. Posledním druhem pórů jsou póry vzdušné. Ty mají vliv na pevnost a hustotu materiálu. Vyznačují se velkou velikostí a jejich tvar je převážně kulovitého charakteru [12]. V tab. 8 nalezneme přehledně shrnutý druh pórů, jejich velikost a vlastnosti které ovlivňují.

**Tab. 8:** Přehled klasifikace pórů [13]

Klasifikace pórů			
póry	průměr	popis	ovlivněné vlastnosti
gelové póry	0,5 nm 0,5-2,5 nm	mikropóry „mezivrstvy“ mikropóry	smršťování a dotvarování
gelové póry a kapilární póry	2,5-10 nm	malé kapiláry	smršťování mezi 50% a 80% vlhkosti
kapilární póry	10-50 nm	střední kapiláry	pevnost, propustnost, smršťování nad 80% vlhkosti
	0,05-10 μm	velké kapiláry	pevnost a propustnost
vzdušné póry	0,005-1,0 mm	vnesené vzduchové póry	pevnost
	0,01 mm	zachycené vzduchové póry	pevnost
	0,25 - 2mm	napěněné struktury	pevnost a hustota

### 6.3 Transportní mechanismy v pórovém systému

Šíření vlhkosti v pórovém systému se obecně dělí na šíření kapalně a plynné fáze. U velmi malých pórů se velice špatně rozlišuje, o kterou fázi se jedná. Hlavním důvodem transportu vody v pórovém systému se uvažuje gradient tlaků vody a vodní páry, respektive gradient koncentrací mezi místem  $a$  a  $b$ , což lze přeneseně vyjádřit jako rozdíl koncentrací mezi dvěma body transportu. Šťastník uvádí rozdělení z hlediska převažujícího transportu vlhkosti, kde v makropórech převažuje volné proudění a působení gravitace. V kapilárních pórech nastává šíření vlhkosti pomocí proudění a kapilárních sil, přičemž kapilární síly mohou působit pohyb vody i proti gravitaci.

V mikropórech probíhá šíření vlhkosti pomocí difuze a efuze. Nasycení vlhkostí těchto pórů řídí adsorpční procesy [9].

### 6.3.1 Transport vodní páry

Vodní pára se v pórovém systému transportuje pomocí několika typů difuze. Typy difuzí jsou následující:

- Stefanova difuze,
- Fickova difuze,
- rozpouštěcí difuze,
- povrchová difuze v multimolekulárních vrstvách,
- termodifuze,
- efuze.

Při praktických výpočtech jsou pro transport vodní páry nejčastěji používané Fickovy zákony difuze vodní páry. První Fickův zákon vytváří vzájemný vztah mezi difuzním tokem a koncentrací. Zde je tok uskutečněn z míst s vyšší koncentrací do místa s nižší koncentrací [9].

$$J = -D \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

Kde:  $J$  difuzní tok [ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$D$  difuzivita materiálu [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$\phi$  koncentrace vztažená na objem [ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ],

$x$  pozice [m].

Druhý Fickův zákon charakterizuje, jak probíhá změna koncentrace v čase:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$$

kde:  $\phi$  koncentrace vztažená na objem [ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ],

$x$  pozice [m].

$D$  difuzivita materiálu [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$t$  čas [s].

Fickův zákon lze také vyjádřit pomocí rozdílů parciálních tlaků vodní páry. Za stacionárního stavu můžeme šíření vodní páry difuzí pórovitým systémem popsat tímto vztahem:

$$q_d = -\delta \text{ grad } p^{g^w}$$

kde:  $q_d$  hustota difuzního toku [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  
 $\text{grad } p^{g^w}$  gradient parciálních tlaků vodní páry [Pa],  
 $\delta$  materiálová charakteristika nazývaná součinitel difuzní vodivosti pro vodní páru [s].

### 6.3.2 Transport vody v kapalném stavu

Nejčastěji používaný nástroj k popisu šíření kapalně složky v pórovém systému je Darcyho zákon. Ten udává proporční vztah mezi hodnotou okamžitého průtoku pórovým médiem, viskozitou kapaliny, tlakovým poklesem a danou transportní vzdáleností:

$$Q = \frac{-kS}{\mu} \frac{(p_b - p_a)}{L}$$

kde:  $Q$  celkový průtok [ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ],  
 $k$  vnitřní permeabilita pórového média [ $\text{m}^2$ ],  
 $S$  průtočná plocha [ $\text{m}^2$ ],  
 $(p_b - p_a)$  poklesu tlaku mezi místem „a“ a místem „b“ [Pa],  
 $\mu$  dynamická viskozita kapaliny [Pa.s],  
 $L$  délka přes kterou průtok probíhá [m].



## 6.4 Intenzita výparu vody z potěru

V případě betonů je za limitní hodnotu intenzity odparu z povrchu považována hodnota vyšší než  $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1}$  [14]. Po překročení tohoto limitu je beton akutně ohrožen vznikem mikrotrhlin. Nicméně, již překročení hodnoty  $0,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1}$  si vyžaduje pozornost a změnu podmínek ošetřování. U malt dochází k výraznému plastickému smrštění již při daleko nižších intenzitách vzhledem ke sníženému poměru  $a/c$  [9].

Intenzitu vypařování z odmísené vody z povrchu betonu popisuje následující rovnice [14]:

$$I_E = 5([\theta_c + 18]^{2,5} - RH[\theta_a + 18]^{2,5})(r_v + 4) \cdot 10^{-6}$$

kde:  $I_E$  intenzita vypařování [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1}$ ],

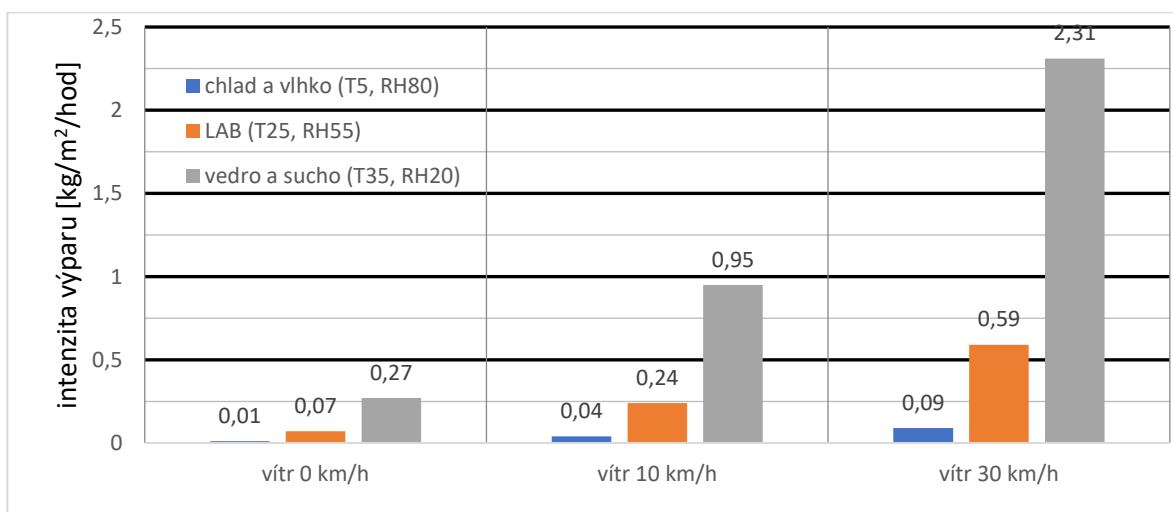
$\theta_c$  teplota směsi ve  $^{\circ}\text{C}$ ,

$\theta_a$  teplota vzduchu ve  $^{\circ}\text{C}$ ,

$RH$  relativní vlhkost vzduchu,

$\varphi_a$  v procentech/100,

$r_v$  rychlost proudění vzduchu v  $\text{km}\cdot\text{hod}^{-1}$ .



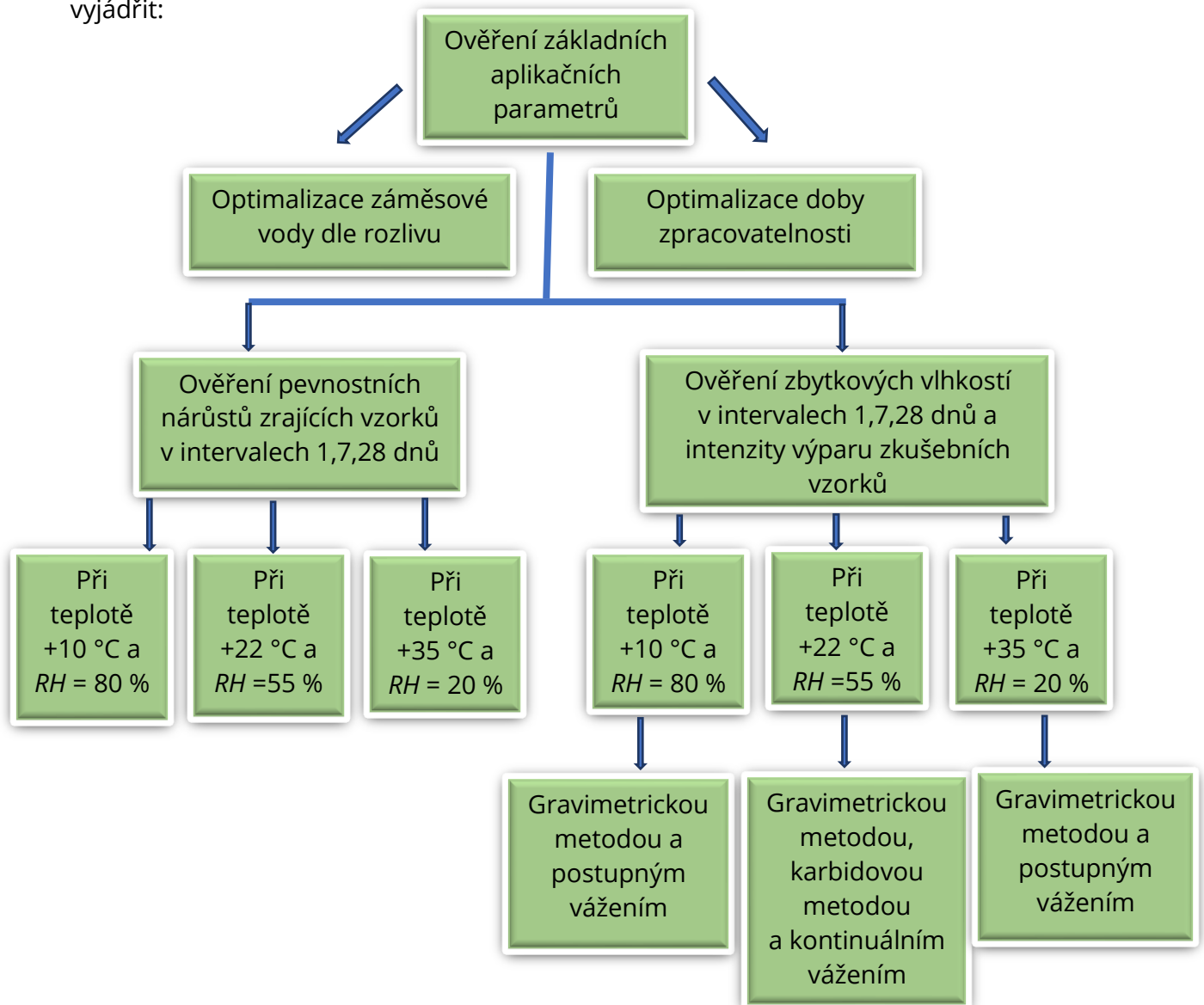
**Graf 3:** Vyobrazení teoretické intenzity výparu při působení větru

Z grafu číslo 3 je patrné, že působení větru má na intenzitu výparu velký vliv. Při zvýšení proudění vzduchu nad potěrem o 10 km/h se dostáváme na dvojnásobné až trojnásobné hodnoty intenzity výparu proti prostředí bez větru.

## 7 Experimentální část

### 8 Rozvržení a metodika diplomové práce

Postup prací prováděných v rámci diplomové práce na vzorcích zkoušených hmot lze vyjádřit:



## 9 Pojivové koncepce a receptury zkoušených potěrů

V experimentální části této práce byly použity tři pojivově odlišné koncepce samonivelačních potěrů. Složení všech použitých vzorků v této práci bylo připraveno ve spolupráci s výrobním a vývojovým útvarem spol. PROFIBAUSTOFFE CZ s.r.o. Přehled označení a použité pojivové koncepce zkoušených potěrů je uveden v následující tabulce.

**Tab. 9:** Přehled názvů, značení a popisu pojivových koncepcí zkoušených potěrů

Název potěru	Značka vzorku	Pojivový systém
Cementový potěr samonivelační	ZFE	Portlandský cement + expanzní přísada + protismršťující přísada (SRA)
Rychlý cementový potěr samonivelační	SZFE	Ternární systém : Portlandský cement + CSA slínek + sádra
Sádrový potěr samonivelační	AFE	Alfa hemihydrát + minorita Portlandského cementu

Základní požadované, společné aplikační a funkční vlastnosti zkoušených potěrů podává níže tabulka 10.

**Tab. 10:** Vymezení základních parametrů zkoušených samonivelačních potěrů

parametr	zadaná hodnota
záměsová voda [%]	10 - 12
konzistence (rozliv) z Hagerrmannova trychtýře [mm]	230 - 260
otevřený čas [min.]	≥ 60
$R_c$ - pevnost v tlaku [MPa]	min. 20
$R_f$ - pevnost v tahu za ohybu [MPa]	min. 4

### 9.1.1 Cementový potěr samonivelační – ZFE

Vývojový vzorek cementového samonivelačního potěru s kompenzovaným smrštěním, byl upraven pro ekonomickou situaci tuzemského trhu. Směs samonivelačního potěru se skládá z portlandského cementu s přidavkem portlanditové expanzní složky a protismršťující přísady (SRA – neopentyl glykol). Složení vychází z experimentů publikovaných COLEPARDIM [10] a z poznatků získaných ve vývojovém středisku Porfibaustoffe CZ. Receptura daného potěru ZFE je uvedena v následující tabulce.

**Tab. 11:** Receptura potěru ZFE

Složka	Podíl složky (%)
Portlandský cement CEM I 42,5 R	13,500
Expanzní portlanditová přísada	1,350
SRA – neopentyl glykol	0,125
Superplastifikátor typu PCE	0,100
Antisegregační zahušťka – diutanová guma	0,005
Odpěňovač (polyglykol)	0,070
Celulosové vlákno přírodní	0,125
Vápenec drcený fr. 0,09 – 4,0 mm	72,760
Vápenec mletý fr. 0,0 – 0,09 mm	12,000

### 9.1.2 Rychlý cementový potěr samonivelační – SZFE

Ternární systém použitého vzorku z portlandského cementu, kalcium-sulfoaluminátového slínku (C\$A) a sádry, byl vytvořen ze startovací receptury výrobce C\$A slínku spol. Heidelberger Cement AG. Optimalizace tohoto složení byla dále provedena z vývojových prací spol. Profibaustoffe CZ s ohledem na požadované aplikační vlastnosti a pevnosti dle zadání. Tento vzorek vyhovuje rakouské normě ÖNORM B 3732-2016-12-15 na tzv. 7denní potěr tř. SE7, jelikož se jedná o potěr s urychleným tuhnutím, tvrdnutím a poklesem vlhkosti. Receptura potěru SZFE je uvedena v následující tabulce 12.

**Tab.12:** Receptura potěru SZFE

Složka	Podíl složky (%)
Portlandský cement CEM I 52,5 R	5,500
C\$A slínek ALIPRE	4,220
Sádra Alfa-hemihydrát	1,940
Vápenný hydrát	0,550
Akcelerátor – (lithná sůl)	0,035
Retardéry – (směs ovocných kyselin a jejich solí)	0,110
SRA – neopentyl glykol	0,200
Superplastifikátor typu PCE	0,060
Antisegregační zahušťka – diutanová guma	0,005
Odpěňovač - polyglykol	0,050
Celulosové vlákno přírodní	0,125
Vápenec drcený fr. 0,09 – 4,0 mm	71,200
Vápenec mletý fr. 0,0 – 0,09 mm	16,000

### 9.1.3 Sádrový potěr samonivelační AFE

Vývojový vzorek samonivelačního sádrového potěru s majoritní pojivovou složkou na bázi alfa hemihydrátu a s minoritním podílem portlandského cementu. Materiálové složení této směsi vychází z receptury výrobce alfa-hemihydrátu spol. BAUMIT [15].

Finální složení (množství pojiv, kameniva a přísad) bylo provedeno spol. Profilbaustoffe CZ s ohledem na požadované aplikační vlastnosti a pevnosti dle zadání. (viz. tabulka ). Receptura potěru AFE je uvedena v následující tabulce 13.

**Tab. 13:** Receptura potěru AFE

Složka	Podíl složky (%)
Alfa hemihydrát	22,000
Portlandský cement CEM I 52,5 N	1,200
Retardéry – (směs ovocných kyselin a jejich solí)	0,155
Superplastifikátor typu PCE	0,055
Antisegregační zahušťka – diutanová guma	0,004
Odpěňovač (polyglykol)	0,050
Celulosové vlákno přírodní	0,125
Vápenec drcený fr. 0,09 – 4,0 mm	67,260
Vápenec mletý fr. 0,0 – 0,09 mm	9,500

## 10 Zkušební metody prováděné na samonivelačních potěrech

### 10.1 Příprava zkušebních vzorků

Směs pro přípravu zkušebních vzorků byla připravena v míchačce s nuceným oběhem podle ČSN EN 13892-1: Zkušební metody potěrových materiálů viz. obr. 15. Postup přípravy byl zvolen dle výrobce směsi:

- dávkování požadovaného množství záměsové vody do míchací nádoby,
- program V1 – vzorek sypán do nádoby za nízkých otáček,
- míchání po 15 vteřinách vypneme a vzorek se seškrábne ze stěn nádoby,
- program V1 – míchání 60 vteřin.

Na připravené směsi byla provedena zkouška otevřeného času a zkouška rozlivu. Z připravené směsi byly poté vytvořeny zkušební trámečky o rozměrech 40x40x160 mm, na kterých bylo provedeno ověření nárůstu pevnosti.



**Obr. 15:** Fotografie míchacího zařízení

## 10.2 Zkouška rozlivu dle ČSN EN 12706

Pro ověření konzistence čerstvé směsi samonivelačních potěrů byla provedena zkouška rozlivu dle ČSN EN 12706 [16]. Zkouška rozlivu čerstvé směsi byla provedena pomocí rozlivového kužele (Hagermannův trychtýře) o výšce 60 mm, horním vnitřním průměrem 70 mm a spodním vnitřním průměrem 100 mm. Kužel je umístěn do středu vodorovné skleněné desky a naplněn čerstvou směsí. Poté se kužel zvedne kolmo vzhůru a směs se nechá vytéct. Průměr vzniklého koláče se měří po 4 minutách pomocí pravítka, ve dvou na sebe kolmých směrech. Z naměřených hodnot se poté vypočítá aritmetický průměr rozlivu.



**Obr. 16:** Fotografie použitého Hagermannova trychtýře

## 10.3 Zkouška otevřeného času (doby zpracovatelnosti)

Tato zkouška slouží k zjištění doby zpracovatelnosti čerstvé směsi, kdy je v ideálním tekutém stavu pro manipulaci na stavbě. V době času zpracovatelnosti musí být provedeno vylití, napojení a odvzdušnění směsi. Po tomto časovém úseku již není možné s vylitou směsí pracovat.

V experimentální části této práce byla zkouška prováděna ve 4 intervalech po 15 minutách na vzorcích o tloušťce 40 mm. Samonivelační schopnost a zpracovatelnost jednotlivých směsí byla sledována vždy v jiné části vzorku.



## 10.4 Stanovení pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu

### 10.4.1 Postup provádění zkoušky

Pevnostní zkoušky byly provedeny na zkušebních trámečcích dle normy ČSN EN 13813 [1] a průběh těchto zkoušek je specifikován v normě ČSN EN 13892-2 [17]. Pevnostní zkoušky byly na rozdíl od normy prováděny 1., 7. a 28. den. Pro tyto zkoušky byly použity trámečky o rozměrech 40 x 40 x 160 mm, které byly odformovány po 24 hodinách po aplikaci do forem, a dále byly obaleny do fólie aby byl možný únik vlhkosti pouze z horní strany trámečku, jako se to děje ve stavební praxi, kdy se z potěru odpařuje vlhkost také pouze z horní strany. Poté byly vzorky opět umístěny do klimatické komory, kde proběhlo zrání za běžných laboratorních podmínek, při teplotě  $22 \pm 2$  °C a relativní vlhkosti vzduchu  $50 \pm 5$  %, teplotě 10 °C a relativní vlhkosti vzduchu 80 % a teplotě 35 °C a relativní vlhkosti vzduchu 20 %.



Obr. 17 : Fotografie použitého zkušebního lisu



Obr. 18: Vzhled klimatické komory WEISS

Pevnosti v tahu za ohybu ( $R_f$ ) přepočítávají dle následujícího vztahu:

$$R_f = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

kde:  $R_f$  pevnost v tahu za ohybu [MPa],  
 $F$  maximální zatížení lisu potřebné ke zlomení zkušebního trámečku [N],  
 $l$  vzdálenost mezi podpěrami [mm], obvykle 100 mm,  
 $b$  šířka průřezu zkušebního trámečku [mm],  
 $h$  výška průřezu zkušebního trámečku [mm].

## 10.5 Stanovení zbytkové vlhkosti

### 10.5.1 Karbidová metoda

Ke stanovení vlhkosti karbidovou metodou se používá CM přístroj. Metoda je založená na chemické reakci, která probíhá ve speciální uzavřené tlakové nádobě. Odebrané vzorky se rozdrtí, zváží, vloží do tlakové nádoby, kam se současně vloží ampulky s karbidem vápenatým a ocelové kuličky, které ampulky rozdrtí. Nádobou je nutno třepat po dobu několika minut, aby došlo k rozbití ampulek karbidu vápenatého a promíchání se vzorkem. Chemickou reakcí, ke které dojde smícháním vody s karbidem vápenatým vzniká acetylen, který je ukazatelem množství vlhkosti ve vzorku.



Množství vzniklého acetylenu se měří tlakoměrem, který je součástí zkušební nádoby. Chemickou reakcí vzniká hořlavý plyn. Při otevírání nádoby je proto třeba postupovat pomalu, aby se acetylen vypouštěl postupně po malých dávkách.

Stanovená vlhkost se udává v tzv. procentech CM, která se liší od procent hmotnostní vlhkosti zjištěných gravimetrickou metodou. Je to dáno tím, že přístroj není kalibrován přímo na beton, ale na volnou vodu v běžném písku, proto je nutná korekce naměřených hodnot, aby bylo možné porovnání s gravimetrickou metodou. Obvykle se udává, že hodnota zjištěná karbidovou metodou je cca o 1,8 nižší. (hodnota kolísá v závislosti na naměřené hodnotě mezi 1,1–1,9)[19]. Pro tuto diplomovou práci byla zkouška provedena pouze za laboratorních podmínek a v době 7 a 28 dnů, jelikož tento přístroj nebyl jinak dostupný.



**Obr. 19:** Fotografie součástí CM přístroje  
– foto autor

### 10.5.2 Gravimetrická metoda

Měření vlhkosti touto metodou se provádí v laboratoři, vzorek je tedy potřeba co nejdříve po odběru přemístit, aby bylo zajištěno co nejpřesnější měření. Během přesunu musí být vzorek zajištěn tak, aby byla zachována jeho vlhkost, jakou měl v době odběru. Proto je vzorek umístěn v parotěsné kovové nádobě nebo v parotěsné fólii.

Vysoušení probíhá ve větrané troubě s definovanou teplotou a relativní vlhkostí menší než 10 %. Dle ČSN EN ISO 12570 [18] je „konstantní hmotnosti dosaženo, pokud změna hmotnosti mezi třemi následujícími váženými provedenými nejméně po 24 h je menší než 0,1 % celkové hmotnosti.“ Předpokládaná přesnost měření činí 3 %.

Vlhkost zjištěná gravimetrickou metodou se udává nejčastěji jako hmotnostní vlhkost:

$$u = (m - m_o) / m_o \quad [\%],$$

kde:

$m$  hmotnost zkušební vzorku před vysušením,

$m_o$  hmotnost zkušební vzorku po vysušení.

Naměřené hodnoty mohou být ovlivněny např. sušením při velmi vysoké teplotě, kdy může dojít k uvolnění chemicky vázané vody, proto byly zvoleny vysoušecí teploty 50 °C pro sádrový potěr a pro rychlý cementový potěr a pro klasický cementový potěr byla teplota 100 °C.

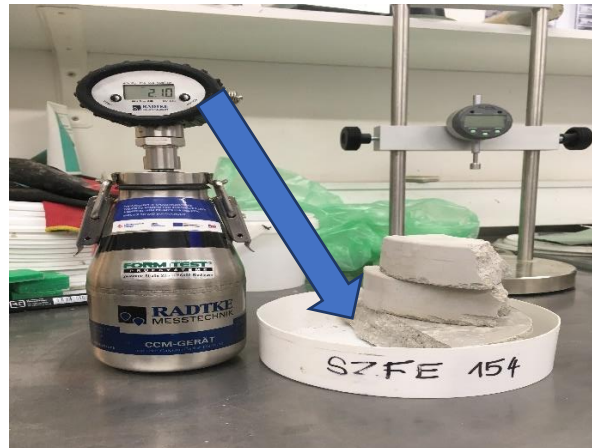
Výhodou této metody je její přesnost. Nevýhodou je však to, že je zdlouhavá a není ji možné provést v in-situ, proto podlaháři častěji využívají metodou karbidovou [19].

Zbytková vlhkost se vždy stanovovala na vzorcích, kde byl umožněn výpar vlhkosti pouze z horní strany potěru. K tomu byly připraveny válce o tloušťce 4 cm a průměru 20 cm

viz obrázek 20. Pro zkoušku vlhkosti bylo potřeba odebrat pouze několik gramů vzorku, které se odebíraly ze spodní části válce viz obr. 21.



**Obr 20.:** Fotografie válce pro stanovení zbytkové vlhkosti a intenzity výparu



**Obr. 21:** Znázornění místa odběru vzorku pro stanovení zbytkové vlhkosti

### 10.5.3 Postupné a kontinuální vážení pro zjištění intenzity výparu

Kontinuální vážení probíhalo pouze za klimatických podmínek laboratoře za okrajových podmínek teplota  $+22\text{ °C}$  a  $RH = 55\%$ , za bezvětří. Vzorek byl umístěn na váhu, která zaznamenávala úbytek hmotnosti vzorků po dobu 28 dní. Kontinuální vážení nebylo použito za jiných klimatických podmínek, protože nebylo možné umístit tuto váhu do klimatické komory. Pro stanovení postupných úbytků hmotnosti při uložení v klimatické komoře bylo nutné vzorek vážit v co nejkratších intervalech, kdy nastávala největší intenzita výparu.

# 11 Výsledky a vyhodnocení pevnostních zkoušek

## 11.1.1 Vzorek SZFE při uložení v různých klimatických podmínkách

Výsledky měření pevnosti v tlaku zkoušených vzorků jsou shrnuty do následujících tabulek.

**Tab. 14:** Vzorek SZFE – 1denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 20 %

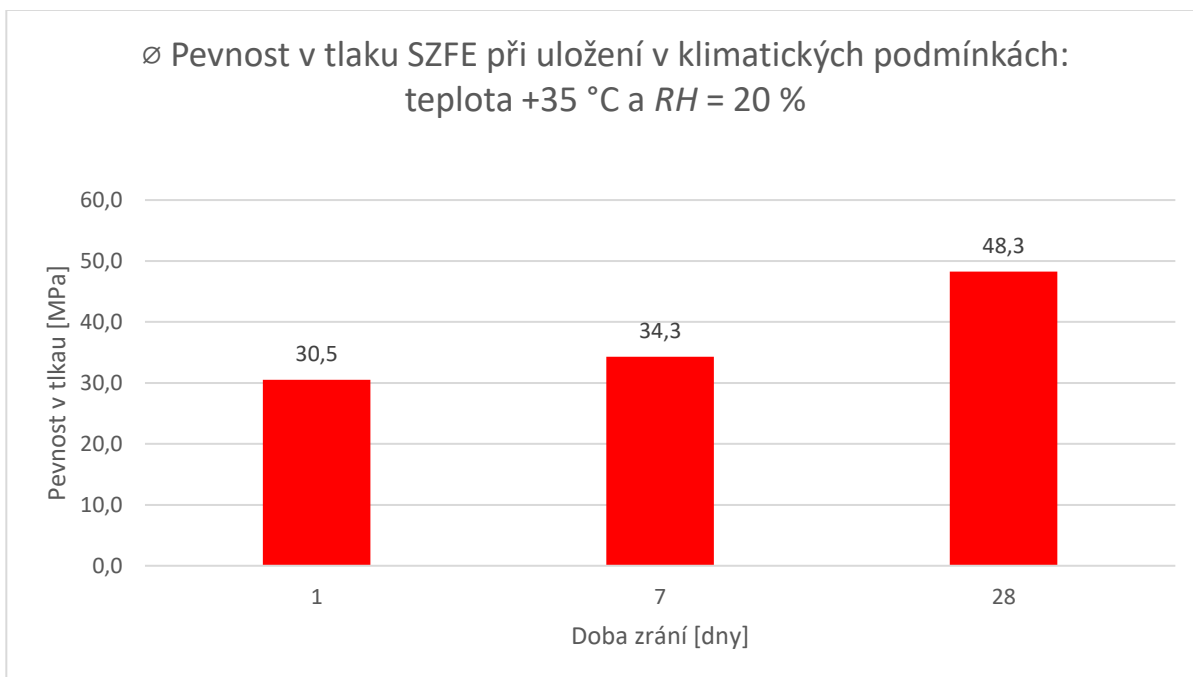
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	566	2211	2,9	6,7	6,5	29,6	30,5
						31,8	
II	562	2195	2,7	6,3		30,6	
						30,0	
III	558	2180	2,8	6,5		31,0	
						30,2	

**Tab. 15:** Vzorek SZFE – 7denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 20 %

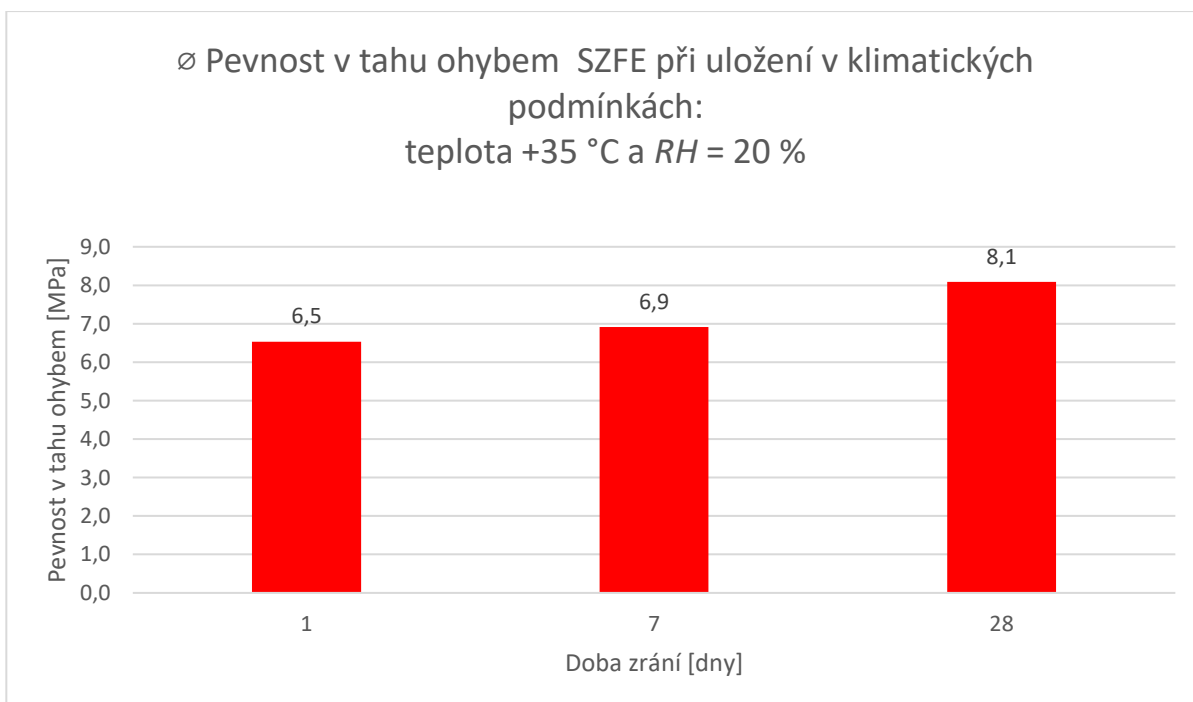
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	572	2234	3,1	7,1	6,9	35,0	34,3
						33,1	
II	566	2211	2,9	6,7		34,4	
						34,7	
III	570	2227	3,0	7,0		35,2	
						33,6	

**Tab. 16:** Vzorek SZFE – 28denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 20 %

č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	558	2180	3,5	8,1	8,1	47,5	48,3
						47,2	
II	554	2164	3,5	8,1		48,9	
						49,7	
III	558	2180	3,4	8,0		47,8	
						48,6	



**Graf 3:** Vyobrazení pevnosti v tlaku vzorku SZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 20 %



**Graf 4:** Vyobrazení pevnosti v tahu za ohybu vzorku SZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 20 %

**Tab. 17:** Vzorek SZFE – 1denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

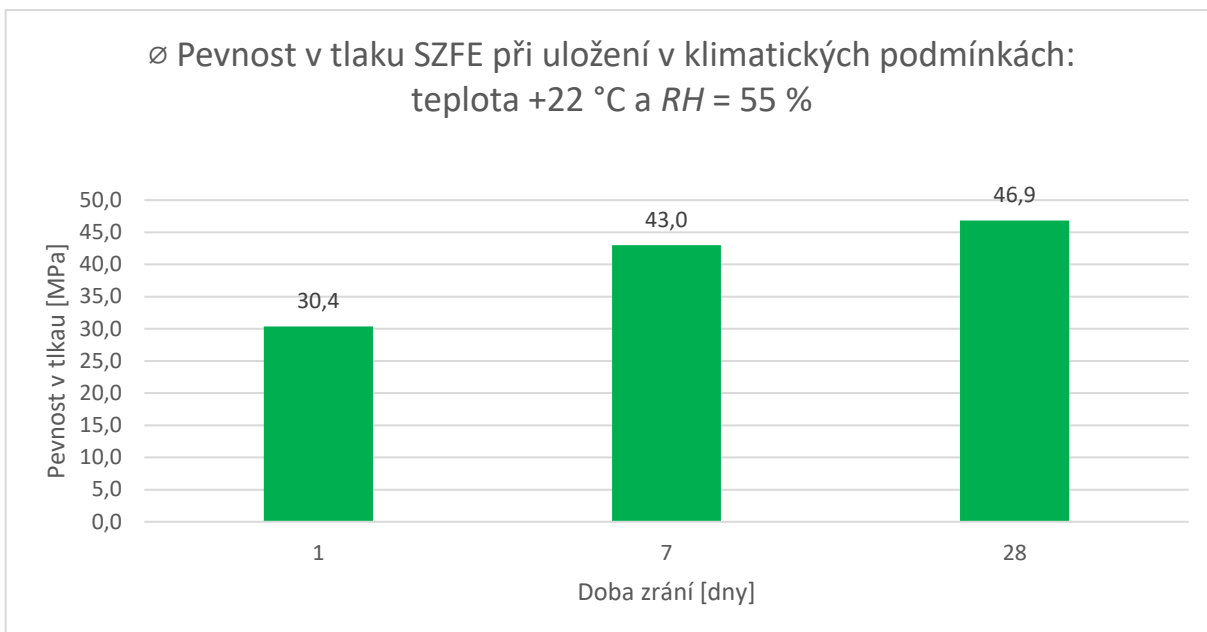
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	576	2250	3,0	6,9	7,3	30,3	30,4
						29,7	
II	578	2258	3,2	7,6		30,9	
						30,5	
III	566	2211	2,9	7,2		29,8	
						31,0	

**Tab. 18:** Vzorek SZFE – 7denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

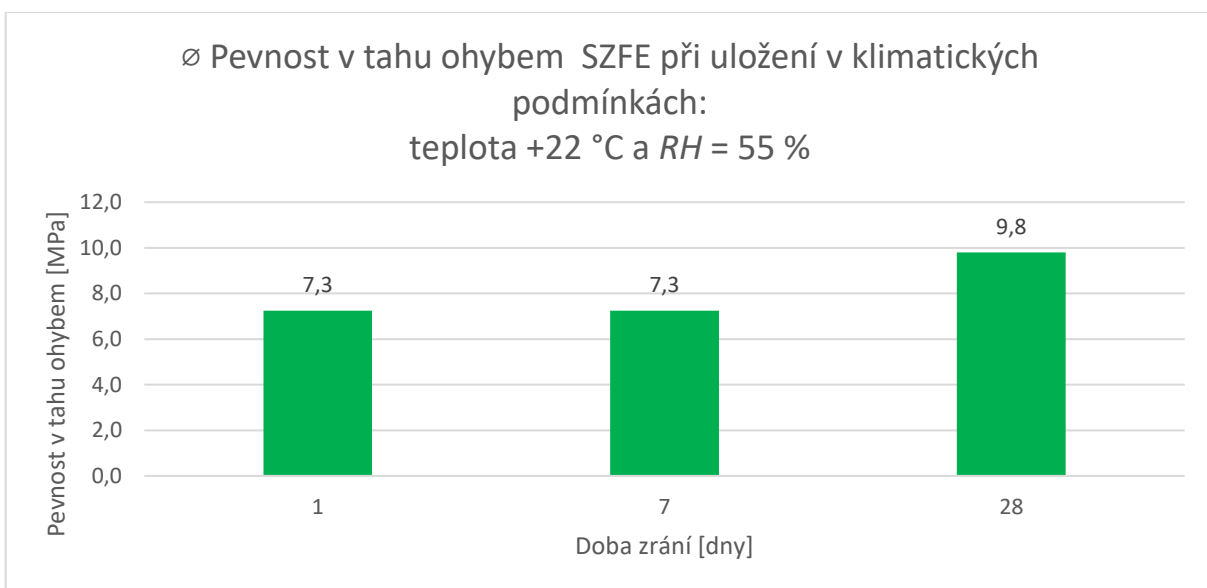
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	566	2211	3,4	7,7	7,3	43,4	43,0
						42,3	
II	570	2227	2,8	6,8		43,4	
						43,0	
III	574	2242	2,9	7,2		43,5	
						42,6	

**Tab. 19:** Vzorek SZFE – 28denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	574	2242	4,2	9,6	9,8	47,7	46,9
						47,1	
II	582	2273	4,4	10,0		46,1	
						46,5	
III	578	2258	4,2	9,7		47,3	
						46,4	



**Graf 5:** Vyobrazení pevnosti v tlaku vzorku SZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %



**Graf 6:** Vyobrazení pevnosti v tahu za ohybu vzorku SZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %



**Tab. 20:** Vzorek SZFE – 1denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %

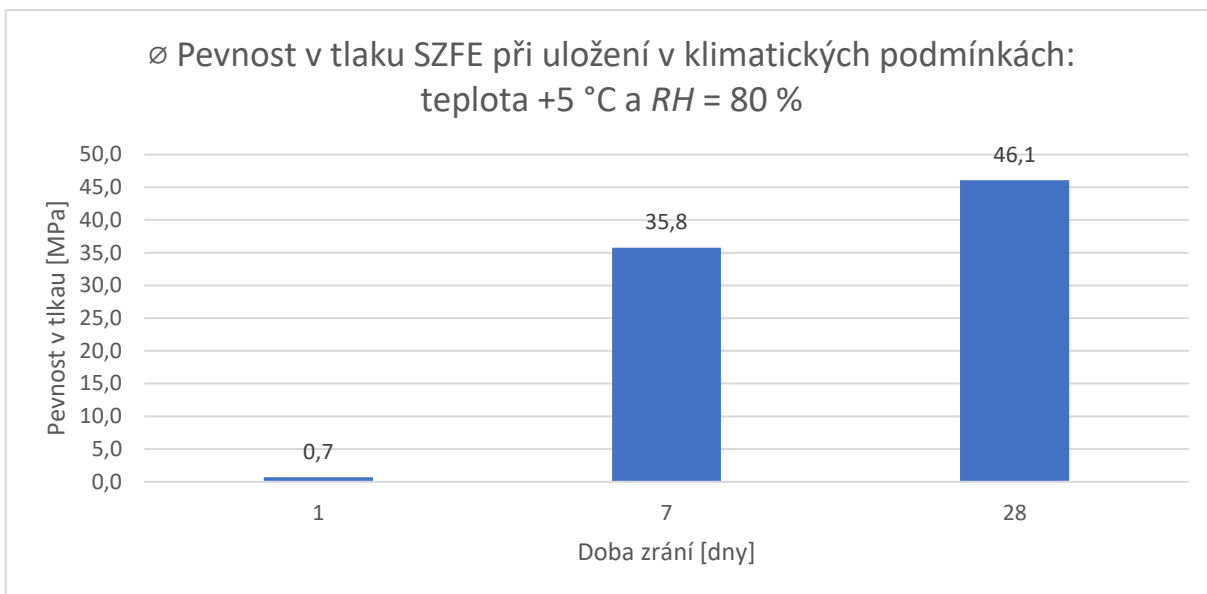
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	Ø R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	Ø R <sub>c</sub> [MPa]
I	586	2289	0,2	0,4	0,4	0,7	0,7
						0,6	
II	580	2266	0,2	0,4		0,7	
						0,7	
III	576	2250	0,2	0,4		0,6	
						0,7	

**Tab. 21:** Vzorek SZFE – 7denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %

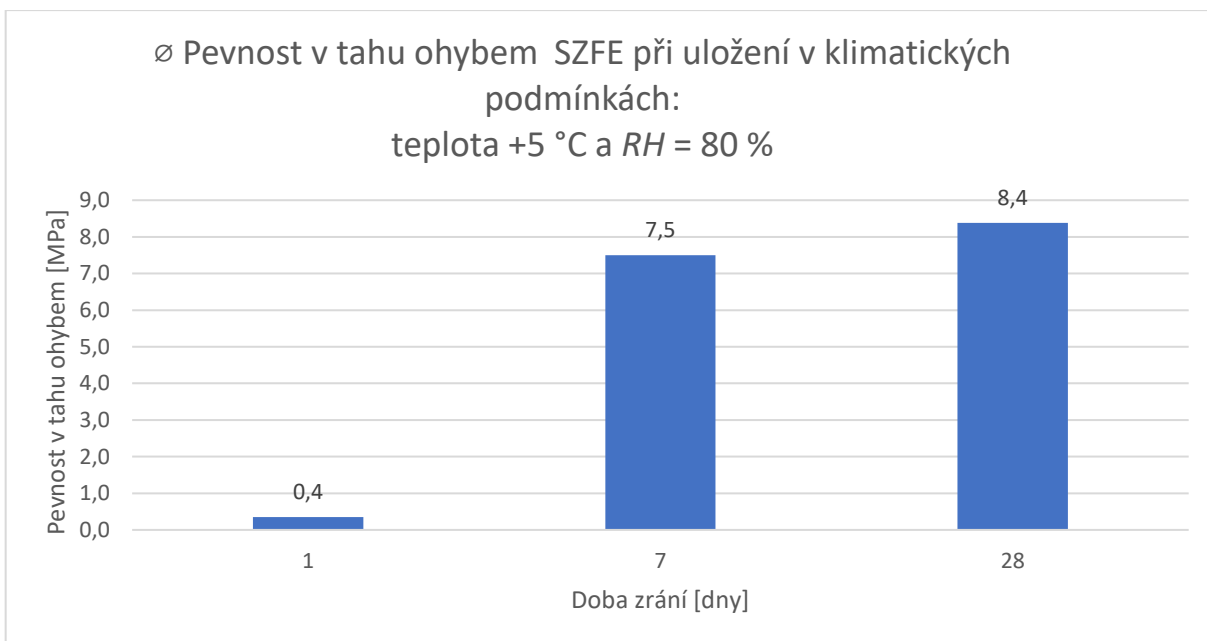
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	Ø R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	Ø R <sub>c</sub> [MPa]
I	574	2242	3,4	8,0	7,5	35,8	35,8
						36,3	
II	580	2266	3,0	7,1		36,3	
						34,7	
III	578	2211	3,3	7,6		36,0	
						35,8	

**Tab. 22:** Vzorek SZFE – 28denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %

č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	Ø R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	Ø R <sub>c</sub> [MPa]
I	562	2195	3,5	8,2	8,4	47,2	46,1
						46,3	
II	566	2211	3,7	8,6		44,4	
						46,6	
III	562	2195	3,7	8,5		45,9	
						46,2	



**Graf 7:** Vyobrazení pevnosti v tlaku vzorku SZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +5 °C a RH = 80 %



**Graf 8:** Vyobrazení pevnosti v tahu za ohybu vzorku SZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +5 °C a RH = 80 %

### 11.1.2 Vzorek ZFE při uložení v různých klimatických podmínkách

**Tab. 23:** Vzorek ZFE – 1denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 80 %

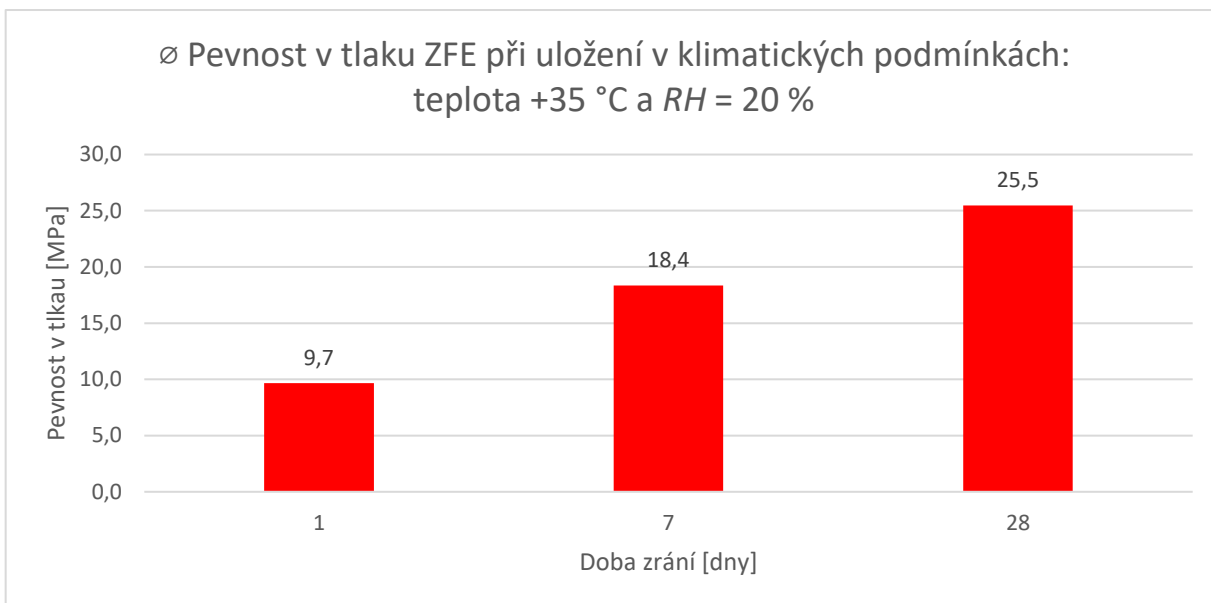
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	562	2195	1,3	3,0	2,9	9,4	9,7
						9,4	
II	564	2203	1,2	2,7		9,6	
						10,2	
III	570	2227	1,4	3,1		10,1	
						9,8	

**Tab. 24:** Vzorek ZFE – 7denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 80 %

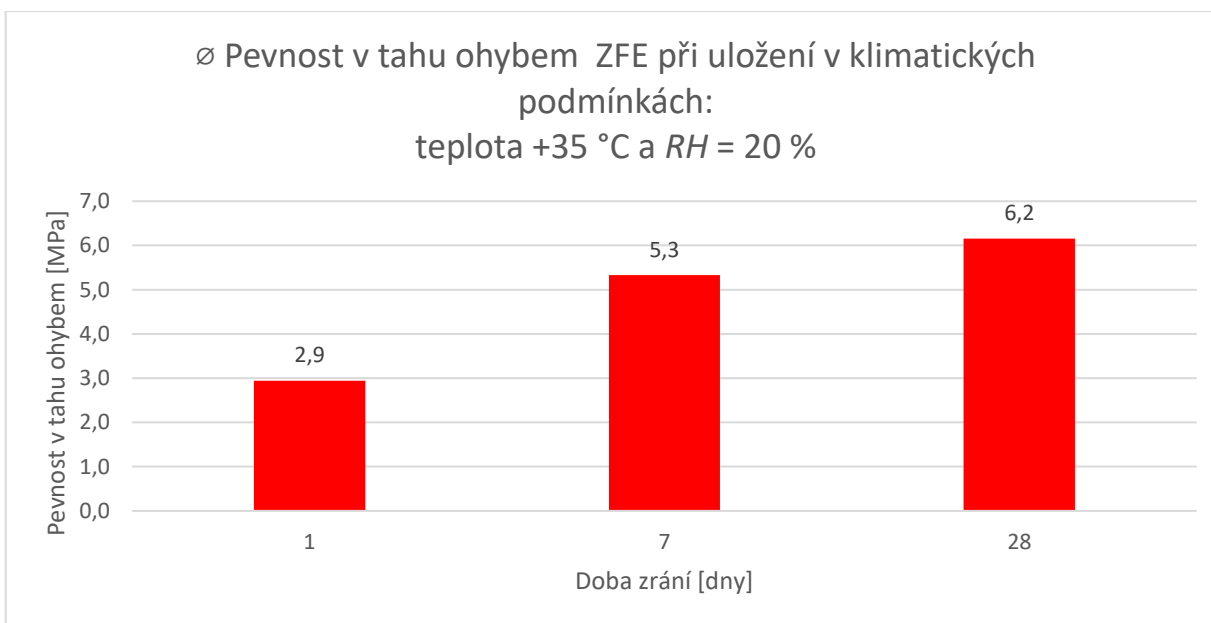
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	556	2172	2,2	5,0	5,3	18,1	18,3
						19,7	
II	562	2195	2,4	5,5		16,6	
						19,0	
III	564	2203	2,4	5,6		18,1	
						18,3	

**Tab. 25:** Vzorek ZFE – 28denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 80 %

č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	544	2125	2,6	6,1	6,2	25,6	25,5
						25,6	
II	546	2133	2,6	6,2		26,0	
						24,7	
III	544	2125	2,6	6,1		25,8	
						25,5	



**Graf 9:** Vyobrazení pevnosti v tlaku vzorku ZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 20 %



**Graf 10:** Vyobrazení pevnosti v tahu za ohybu vzorku ZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 20 %

**Tab. 26:** Vzorek ZFE - 1denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

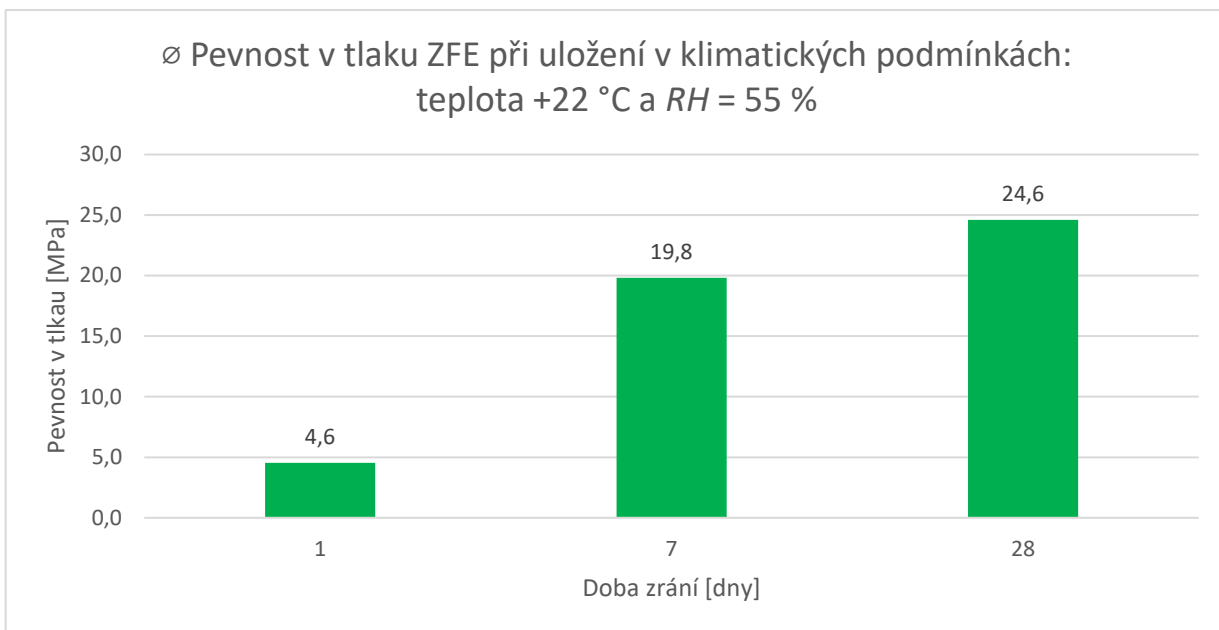
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	580	2266	0,5	1,1	1,4	4,5	4,6
						4,8	
II	590	2305	0,6	1,4		4,5	
						4,4	
III	586	2289	0,7	1,6		4,7	
						4,3	

**Tab. 27:** Vzorek ZFE - 7denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

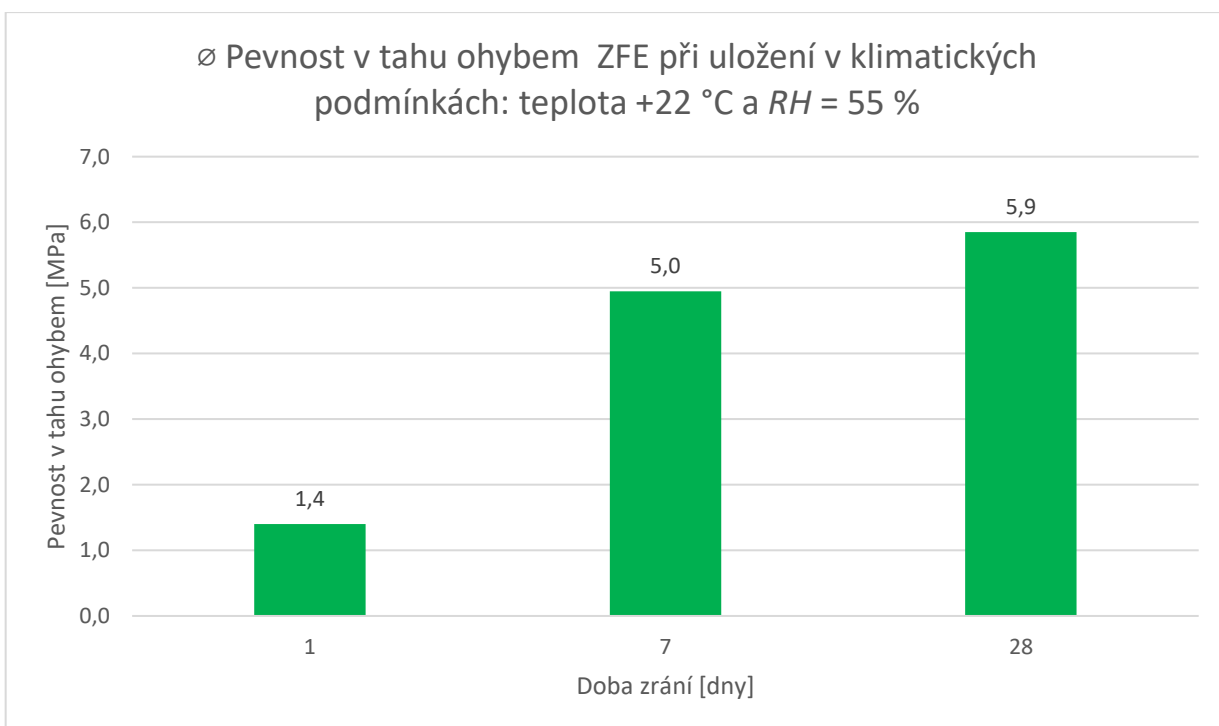
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	582	2273	2,3	5,2	5,0	19,5	19,8
						20,4	
II	574	2242	2,0	4,7		19,9	
						19,5	
III	580	2266	2,1	4,9		20,1	
						19,6	

**Tab. 28:** Vzorek ZFE - 28denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	564	2203	2,6	5,9	5,9	24,9	24,6
						24,1	
II	572	2234	2,4	5,6		24,3	
						25,1	
III	564	2203	2,6	6,0		24,9	
						24,5	



**Graf 11:** Vyobrazení pevnosti v tlaku vzorku ZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %



**Graf 12:** Vyobrazení pevnosti v tahu za ohybu vzorku ZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

**Tab. 29:** Vzorek ZFE - 1denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %

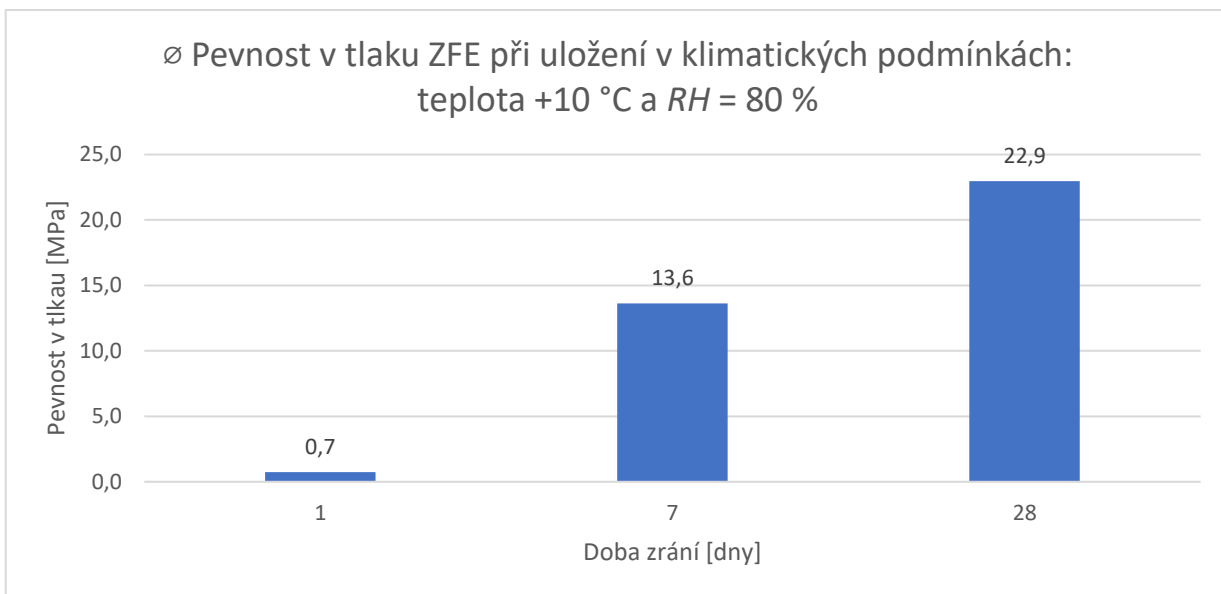
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	586	2289	0,2	0,4	0,4	0,7	0,7
						0,7	
II	584	2281	0,2	0,4		0,7	
						0,8	
III	590	2305	0,2	0,4		0,6	
						0,6	

**Tab. 30:** Vzorek ZFE - 7denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %

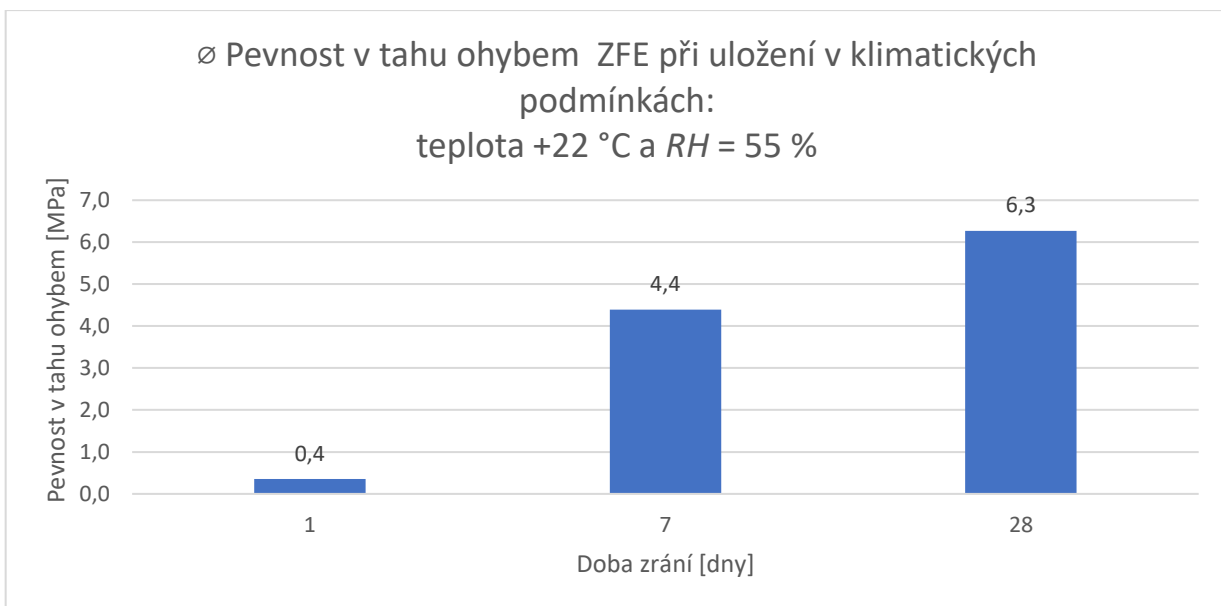
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	578	2258	1,9	4,4	4,4	12,4	13,6
						14,4	
II	578	2258	1,9	4,4		13,7	
						14,1	
III	574	2242	2	4,6		14,0	
						13,4	

**Tab. 31:** Vzorek ZFE - 28denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %

č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	562	2195	2,8	6,5	6,3	23,5	22,9
						22,0	
II	570	2227	2,6	6,0		23,3	
						23,1	
III	564	2203	2,8	6,4		22,6	
						22,9	



**Graf 13:** Vyobrazení pevnosti v tlaku vzorku ZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %



**Graf 14:** Vyobrazení pevnosti v tahu za ohybu vzorku ZFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %



### 11.1.3 Vzorek AFE při uložení v různých klimatických podmínkách

**Tab. 32:** Vzorek AFE – 1denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 80 %

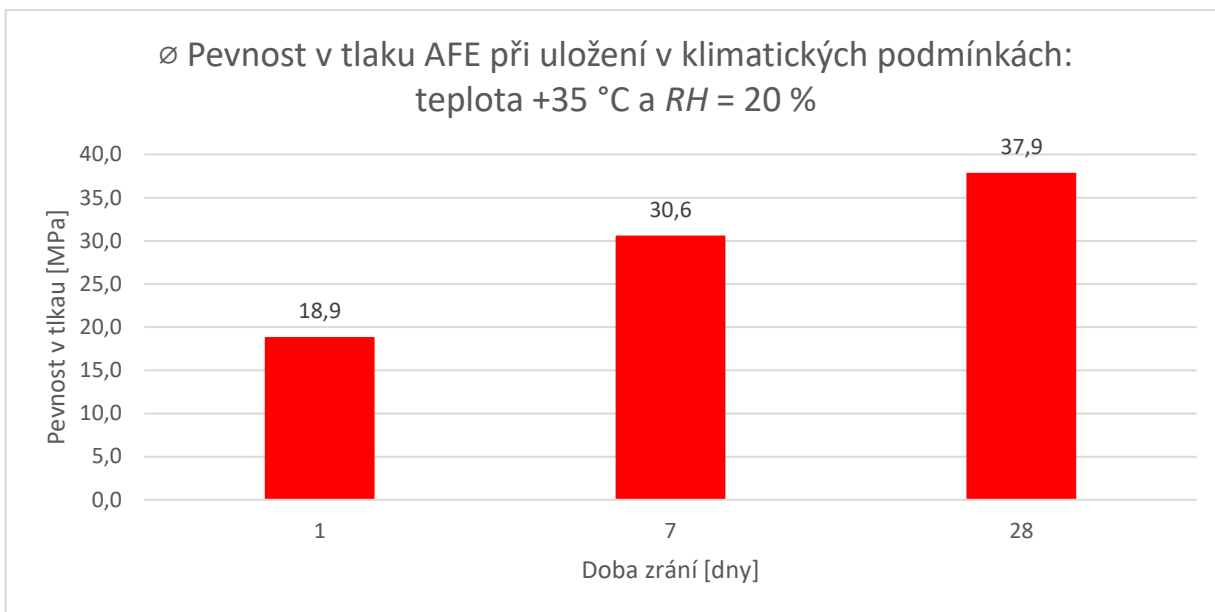
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	552	2156	1,9	4,4	4,2	20,1	18,9
						18,8	
II	544	2125	1,7	4,0		17,6	
						19,0	
III	548	2141	1,7	4,1		18,4	
						19,2	

**Tab. 33:** Vzorek AFE – 7denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 80 %

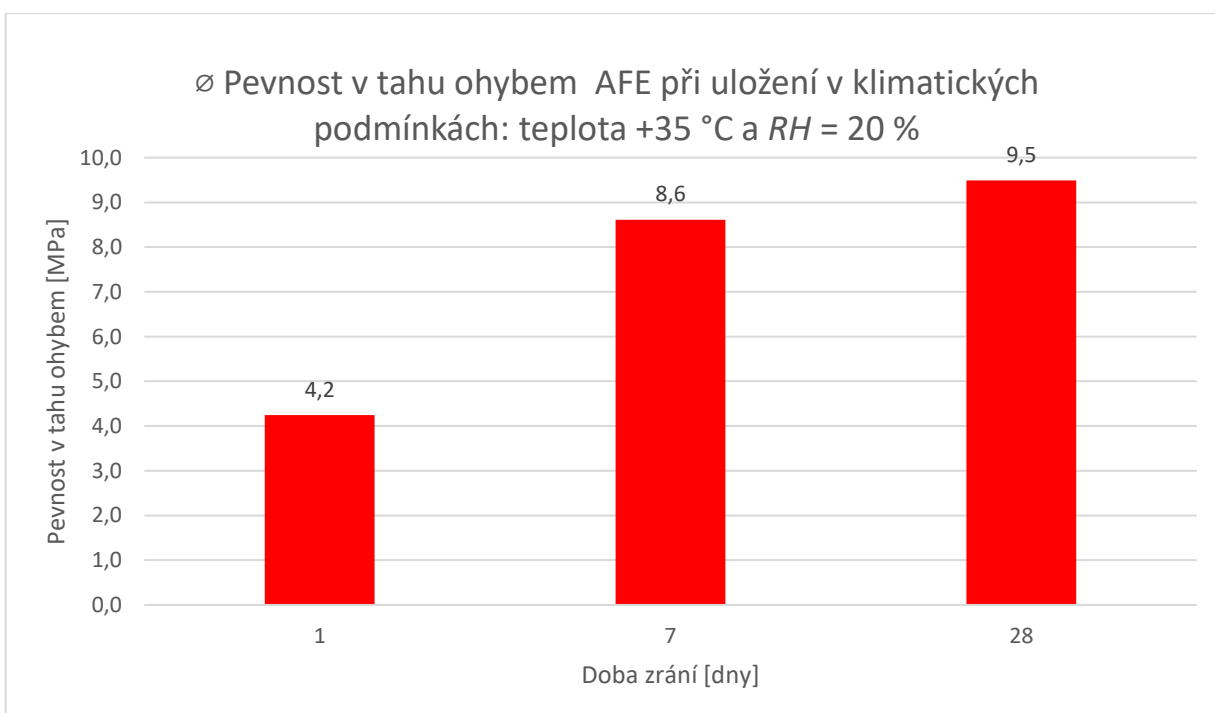
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	548	2141	3,4	7,8	8,6	31,6	30,6
						26,9	
II	564	2203	4,0	9,4		31,9	
						32,2	
III	552	2156	3,7	8,5		30,7	
						30,2	

**Tab. 34:** Vzorek AFE – 28denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 80 %

č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	554	2164	4,0	9,5	9,5	38,4	37,9
						38,4	
II	544	2125	4,0	9,5		37,2	
						37,5	
III	546	2133	4,0	9,5		38,1	
						37,6	



**Graf 15:** Vyobrazení pevnosti v tlaku vzorku AFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 20 %



**Graf 16:** Vyobrazení pevnosti v tahu za ohybu vzorku AFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +35 °C a RH = 20 %

**Tab. 35:** Vzorek AFE – 1denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	582	2273	1,7	3,9	3,9	17,3	17,7
						17,6	
II	584	2281	1,7	3,9		17,7	
						18	
III	576	2250	1,5	3,6		17,4	
						17,9	

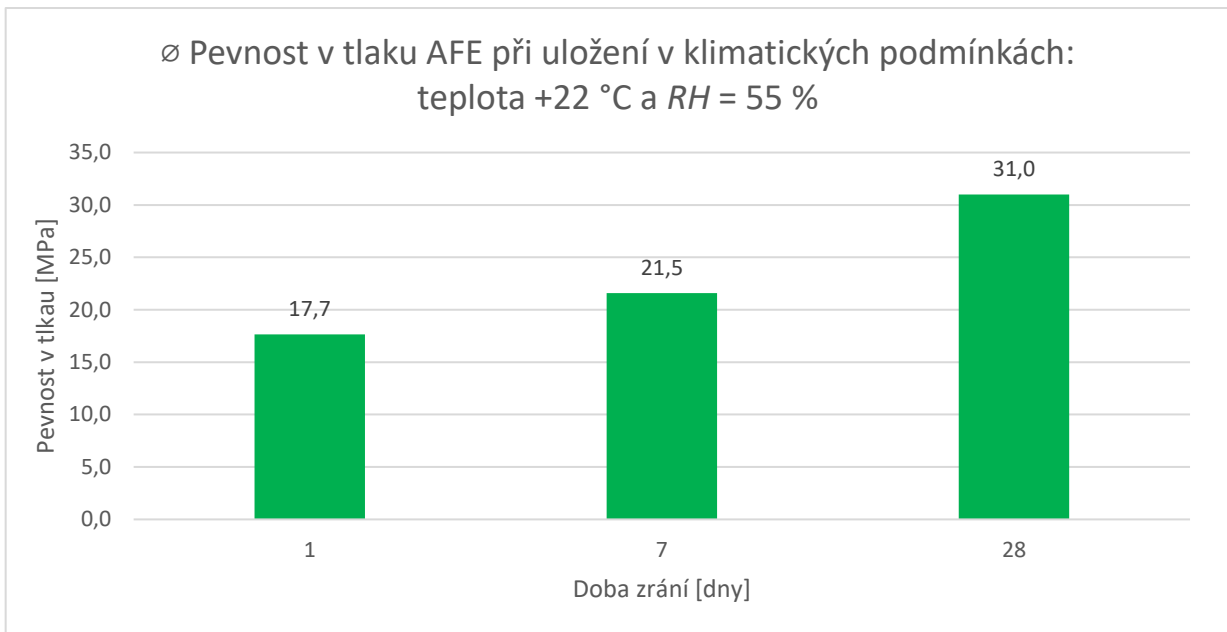
;

**Tab. 36:** Vzorek AFE – 7denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

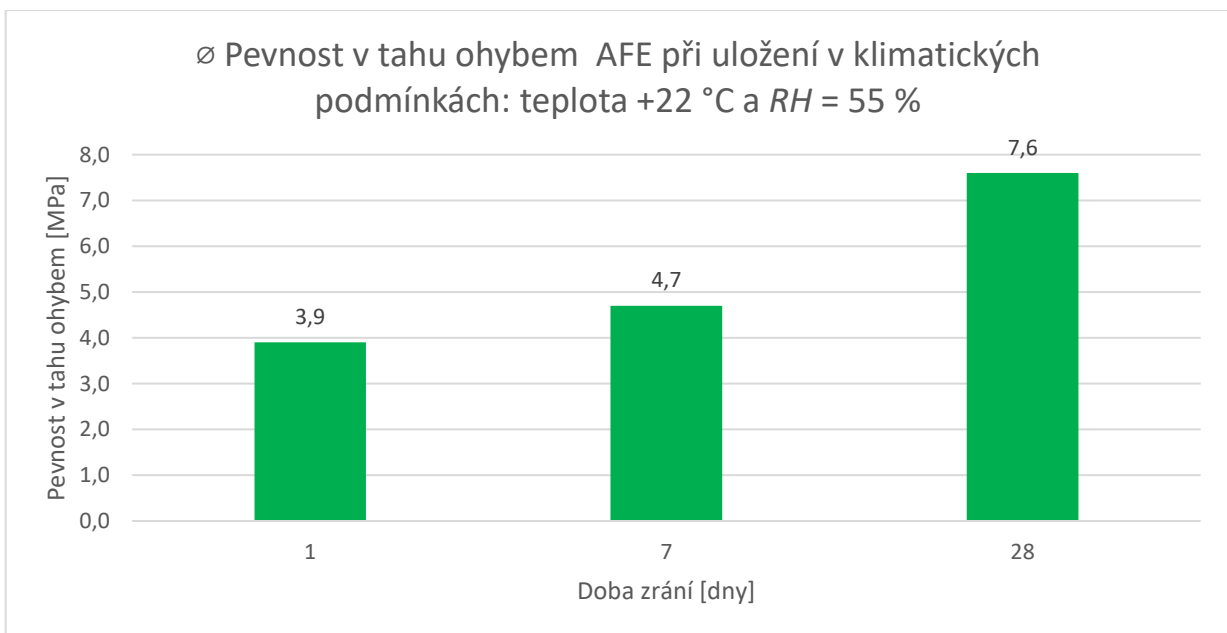
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	560	2188	2,0	4,7	4,7	21,4	21,5
						21,1	
II	546	2133	2,0	4,7		21,9	
						21,8	
III	564	2203	2,0	4,7		21,3	
						21,6	

**Tab. 37:** Vzorek AFE – 28denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	568	2219	3,3	7,6	7,6	30,8	31,0
						31,2	
II	560	2188	3,3	7,6		30,8	
						31,2	
III	552	2156	3,3	7,6		31,1	
						31,1	



**Graf 17:** Vyobrazení pevnosti v tlaku vzorku AFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %



**Graf 18:** Vyobrazení pevnosti v tahu za ohybu vzorku AFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +22 °C a RH = 55 %

**Tab. 38:** Vzorek AFE – 1denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %

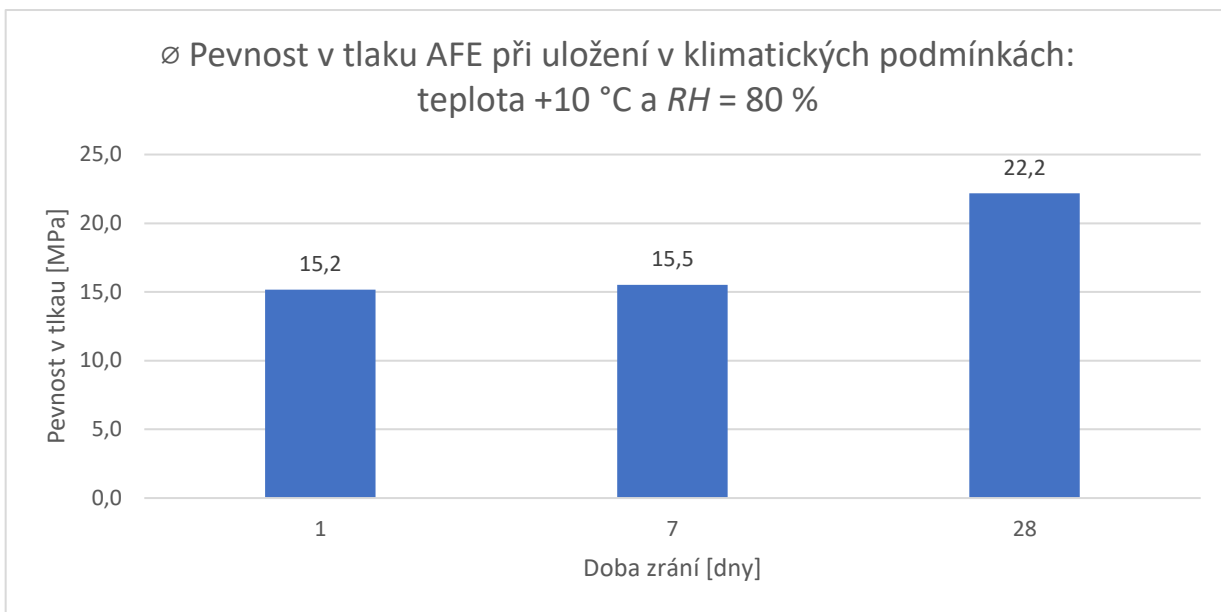
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	576	2250	1,7	3,9	3,9	15,4	15,2
						15,3	
II	570	2227	1,7	3,9		15,5	
						15,7	
III	570	2227	1,7	3,9		14,6	
						14,4	

**Tab. 39:** Vzorek AFE – 7denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %

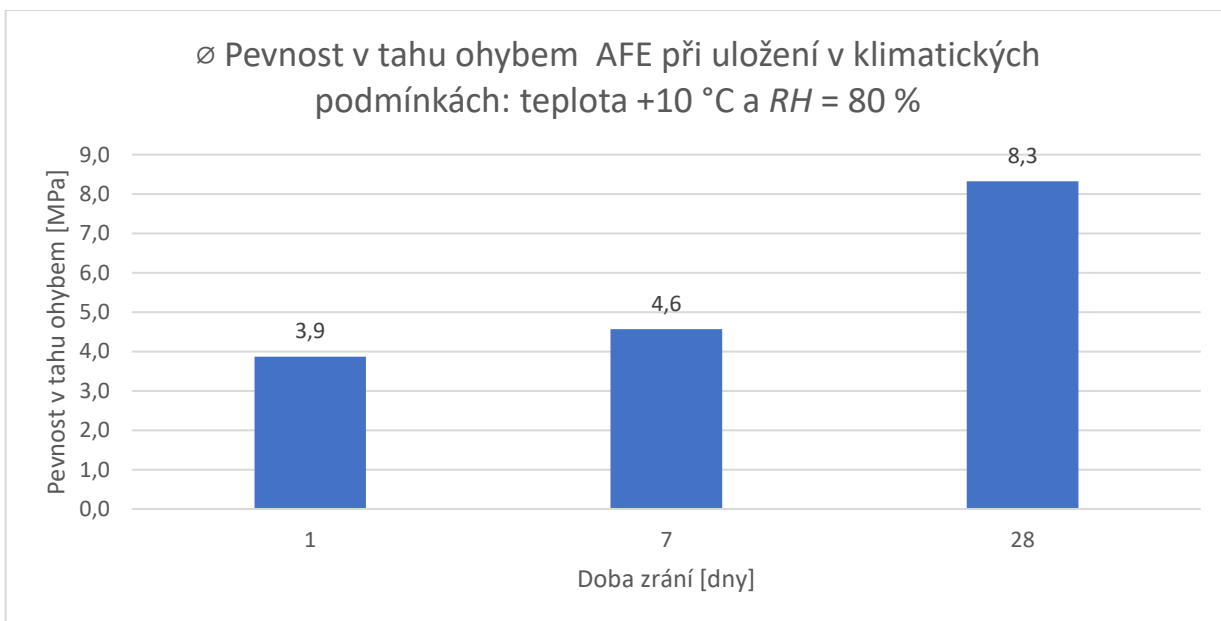
č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	568	2219	2	4,6	4,6	15,6	15,5
						15,6	
II	564	2203	2	4,6		15,8	
						15,7	
III	568	2219	2	4,6		15,3	
						15,1	

**Tab. 40:** Vzorek AFE – 28denní pevnosti při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %

č. tr.	Hmotnost [g]	OH [kg/m <sup>3</sup> ]	F [kN]	R <sub>f</sub> [MPa]	∅ R <sub>f</sub> [MPa]	R <sub>c</sub> [MPa]	∅ R <sub>c</sub> [MPa]
I	548	2141	3,5	8,3	8,3	22,1	22,2
						21,9	
II	556	2172	3,5	8,3		22,1	
						21,7	
III	560	2188	3,5	8,3		22,8	
						22,6	



**Graf 19:** Vyobrazení pevnosti v tlaku vzorku AFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %



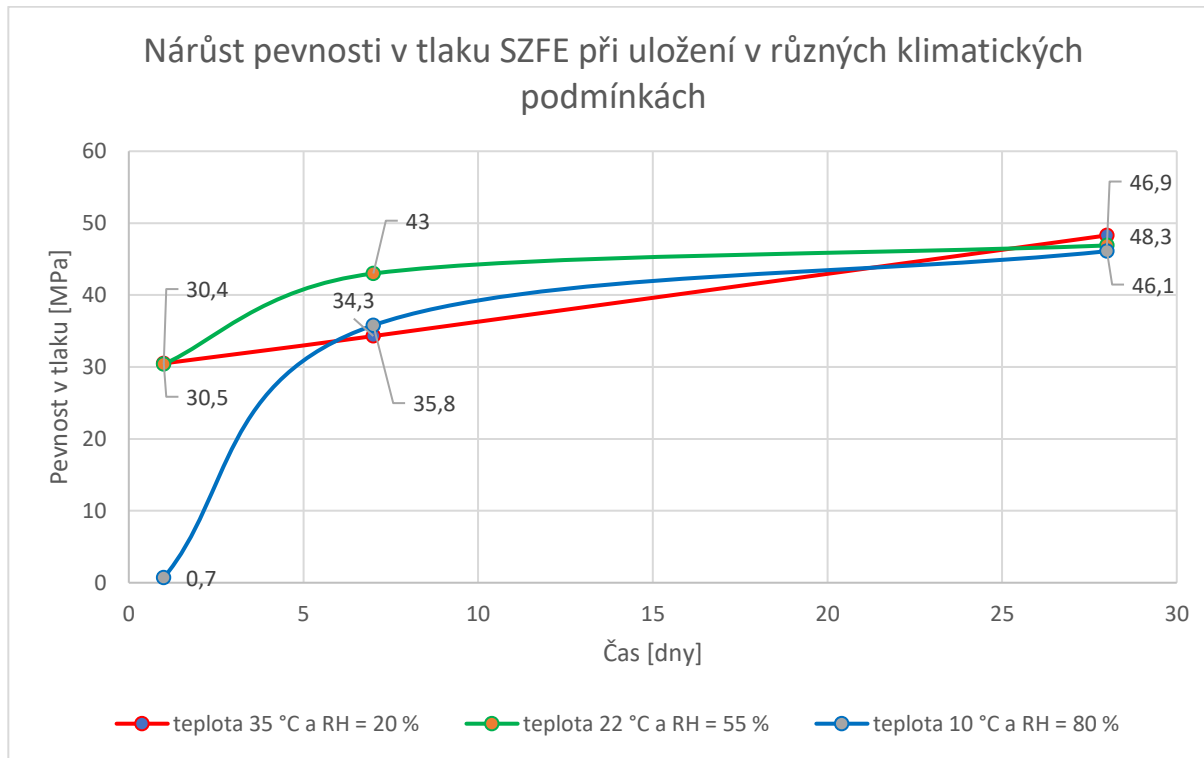
**Graf 20:** Vyobrazení pevnosti v tahu za ohybu vzorku AFE při uložení v klimatických podmínkách teplota +10 °C a RH = 80 %

#### 11.1.4 Shrnutí a dílčí závěry

##### Vzorek SZFE uložený v různých klimatických podmínkách

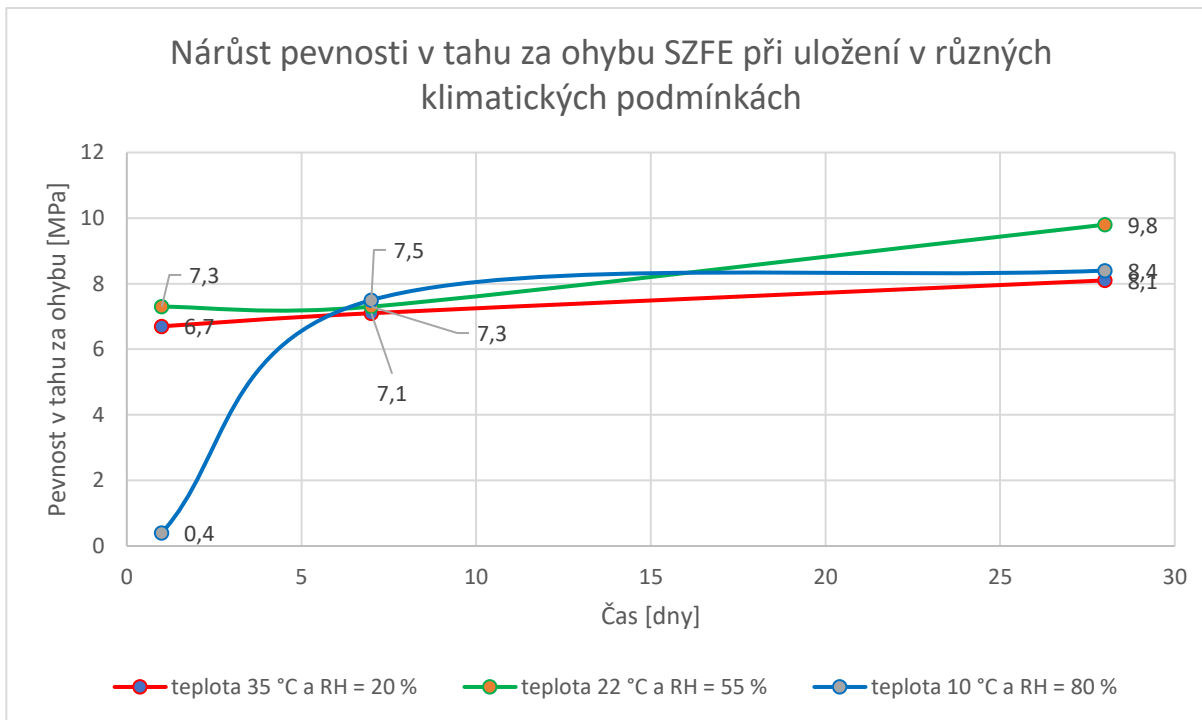
Vzorek SZFE dosáhl po 28 dnech zrání největších pevností ze všech tří zkoušených vzorků. Rychlý samonivelační potěr dosáhl v laboratorních klimatických podmínkách pevností odpovídajícím pevnostním třídám CT-C40-F7 dle normy ČSN EN 13813. Tímto splnil minimální požadavek na pevnost v tlaku 20 MPa a pevnost v tahu za ohybu 4 MPa při laboratorních klimatických podmínkách, které bereme jako referenční. Po konzultaci s odborníky ze spol. Profibaustoffe CZ byla stanovena minimální pevnost v tlaku pro pochůznost 9 MPa, pokud se jedná o plovoucí potěr, u kterého je požadavek na minimální pevnost větší než u potěru zpřaženého. Minimální pevnost v tahu za ohybu pro pochůznost uvažujeme 3 MPa. Zkušební vzorek SZFE uložený v klimatických podmínkách odpovídajícím chladnému prostředí se zvolenými okrajovými podmínkami teplota +10 °C a RH = 80 %, nedosáhl minimálních požadovaných pevností pro pochůznost v době do 1 dne. Doby pochůznosti u SZFE při chladných klimatických podmínkách bylo dosaženo někdy mezi 1 a 7 dny. Na rychlý cementový potěr měly chladné klimatické podmínky negativní dopad a došlo u něho k propadu pevností jak v tlaku, tak v tahu za ohybu. Oproti referenčním laboratorním podmínkám, kde potěr dosáhl pevnosti v tlaku po 1 dni 30,5 MPa, bylo dosaženo pevnosti v tlaku v chladném prostředí pouze 0,7 MPa, což je propad oproti laboratorním podmínkám o 97 %. Pokles byl zaznamenán i u pevnosti v tahu ohybem. Zde byla naměřená pevnost v tahu za ohybu po 1 dni 0,4 MPa pro chladné prostředí a 7,3 MPa pro laboratorní podmínky, zde byl propad 95 %. Po sedmi dnech uložení vzorku v chladných klimatických podmínkách vyšla pevnost v tlaku 35,8 MPa a pevnost v tahu za ohybu 7,5 MPa. Zde již není patrný tak velký rozdíl oproti laboratorním podmínkám, kde byla pevnost v tlaku 43 MPa a pevnost v tahu za ohybu 7,3 MPa. Pevnost v tlaku SZFE po 28 dnech byla 46,1 MPa pro chladné prostředí a 46,9 pro laboratorní podmínky. Pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech byla 8,4 MPa pro chladné prostředí a 9,8 MPa pro laboratorní podmínky. Pokud byl tento potěr uložen v chladných podmínkách, došlo u něho k velkým ztrátám pevností hlavně v prvních dnech. Pevnosti po 28 dnech již byly skoro srovnatelné. Na stavbě je tedy nutné brát tuhle skutečnost v úvahu.

Pokud byl rychlý cementový potěr vystaven teplým klimatickým podmínkám s malou relativní vlhkostí vzduchu, splnil požadavky na dobu pochůznosti již do 24 hodin. Pevnost v tlaku po 1 dni byla 30,5 MPa a pevnost v tahu za ohybu 6,5 MPa. Nárůst pevností v tlaku a v tahu za ohybu byl u rychlého cementového potěru uloženého v teplých klimatických podmínkách podobný jako při uložení v laboratorních podmínkách.



**Graf 21:** Vyobrazení nárůstu pevnosti v tlaku SZFE při různých uloženích





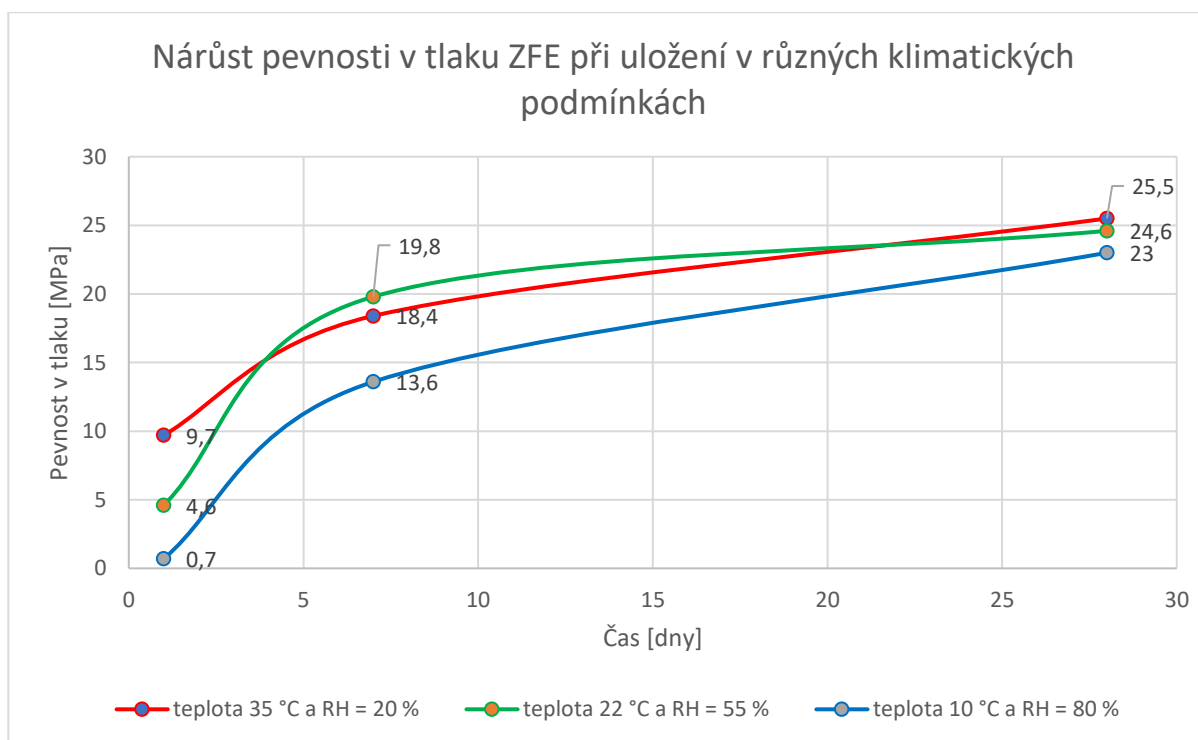
**Graf 22:** Vyobrazení nárůstu pevnosti v tahu za ohybu SZFE při různých uloženích

### Vzorek ZFE uložený v různých klimatických podmínkách

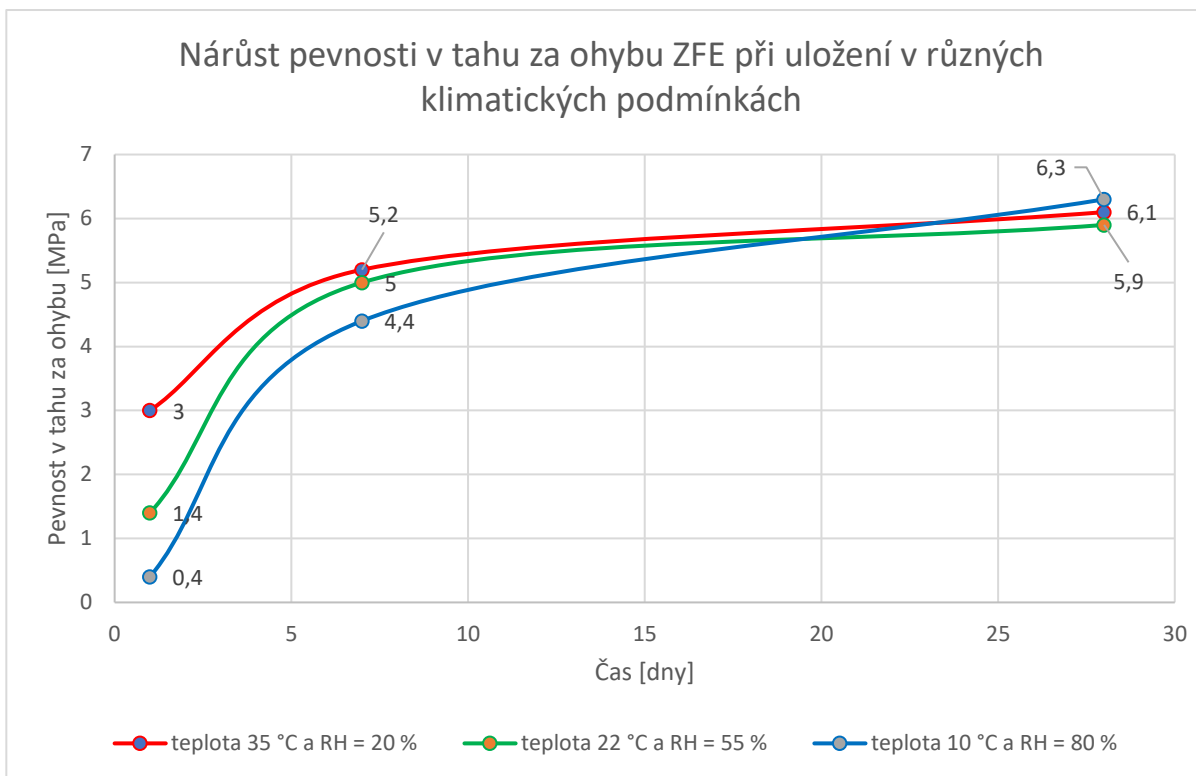
Cementový potěr ZFE po 28 dnech zrání dosáhl v laboratorních klimatických podmínkách pevnosti v tlaku 24,6 MPa a pevnosti v tahu ohybem 6,2 MPa. Dle normy ČSN EN 13813 ho tedy můžeme zařadit do pevnostních tříd CT-C20-F6. Při uložení zkušebních vzorků ZFE do chladných podmínek při teplotě +10 °C a RH = 80 % došlo oproti laboratorním podmínkám k velkým úbytkům jednodenních pevností jak v tlaku, tak v tahu za ohybu. Pevnost v tlaku pro chladné uložení byla po jednom dnu 0,7 MPa a pevnost v tahu ohybem 0,4 MPa. ZFE při uložení v chladných podmínkách dosáhlo doby pochůznosti někdy mezi 1. a 7. dnem od vytvoření směsi, stejně tomu bylo u tohoto vzorku i při laboratorních a teplých podmínkách. U zkušebního vzorku ZFE můžeme sledovat stejný trend jako u rychlého cementového potěru. Pokud byla naměřena po 1 dni malá pevnost v tlaku, byla naměřena i malá pevnost v tahu za ohybu. V laboratorních podmínkách dosáhl tento vzorek po 1 dni pevnosti v tlaku 4,6 MPa a pevnosti v tahu za ohybu 1,4 MPa. U tohoto vzorku byl propad pevnosti v tlaku u chladného prostředí oproti laboratorním podmínkám o 85 % a u pevnosti v tahu byl propad o 86 %. Po sedmi dnech lze stále pozorovat menší pevnosti jak v tlaku, tak v tahu za ohybu u zkušebních vzorků uložených v chladném prostředí oproti zkušebním vzorkům uloženým v laboratorních podmínkách,

ale tento rozdíl už není tak velký jako u jednodenních pevností. Pevnost v tlaku po 7 dnech při chladném uložení byla 19,8 MPa a pevnost v tahu ohybem 5,0 MPa. Pro laboratorní podmínky byly pevnosti po 7 dnech 13,6 MPa pevnost v tlaku a 4,4 MPa pevnost v tahu za ohybu. Pevnost v tlaku i v tahu za ohybu po 28 dnech již byly pro chladné a laboratorní prostředí srovnatelné. Změna teploty a relativní vlhkosti vzduchu měly dopad pouze na počáteční pevnosti, kde byla zbržděna hydratace cementu.

Pokud byl vzorek ZFE uložen do teplých klimatických podmínek o teplotě +35 °C a relativní vlhkosti 20 %. Byla jeho pevnost v tlaku po 1 dni 9,7 MPa a pevnost v tahu za ohybu 2,9 MPa. Zde byl nárůst pevnosti v tlaku oproti laboratorním podmínkám o 110 % a pevnost v tahu za ohybu byla větší o 107 %. Pevnosti naměřené po 7 dnech od vytvoření směsi byly téměř shodné jak pro laboratorní, tak pro teplé prostředí. Pevnost v tlaku po 7 dnech při teplém uložení byla 18,4 MPa a pevnost v tahu ohybem 5,3 MPa. Stejně jako u SZFE se pevnosti po 28 dnech vyrovnaly a potěr ZFE dosáhl při teplém uložení pevnosti v tlaku 25,5 MPa a pevnosti v tahu za ohybu 6,2 MPa.



**Graf 23:** Vyobrazení nárůstu pevnosti v tlaku ZFE při různých uloženích



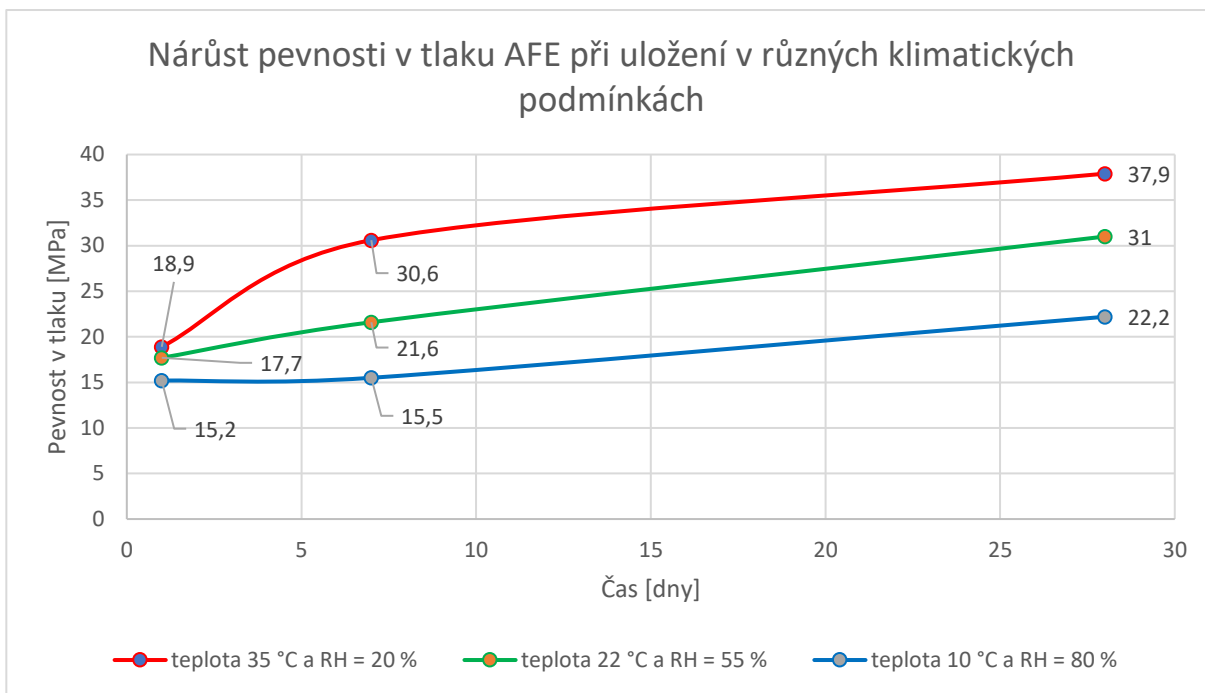
**Graf 24:** Vyobrazení nárůstu pevnosti v tahu za ohybu ZFE při různých uloženích

### Vzorek AFE uložený v různých klimatických podmínkách

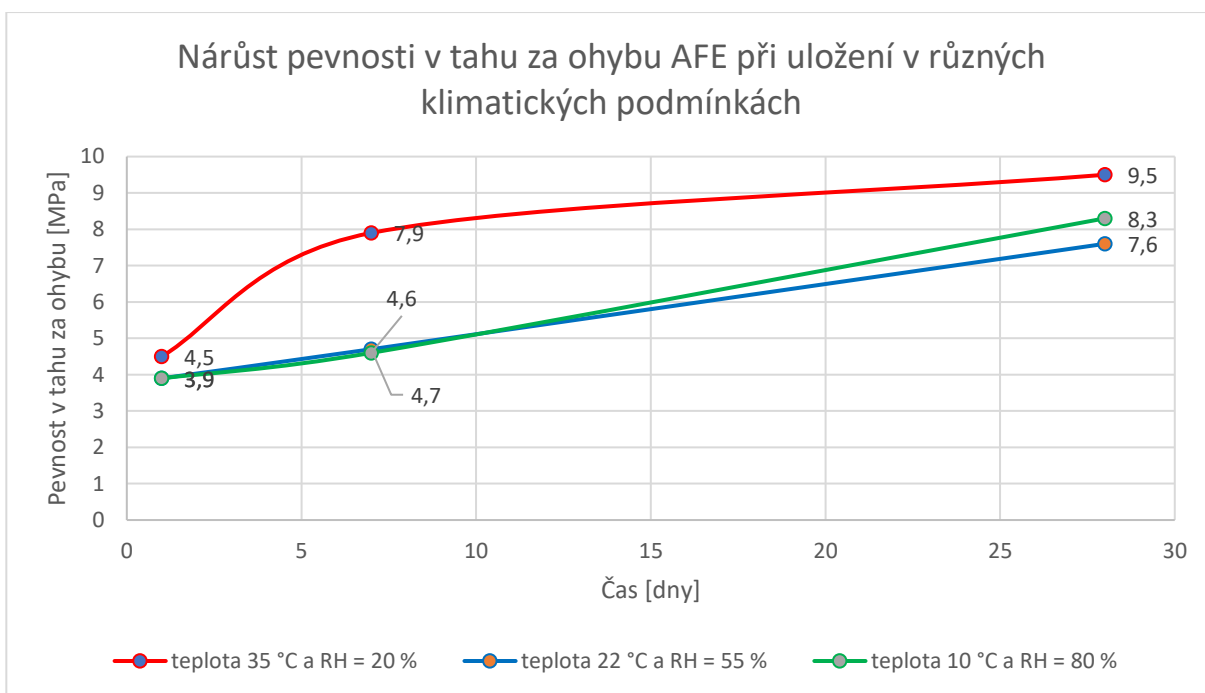
Sádrový potěr AFE po 28 dnech zrání dosáhl v laboratorních klimatických podmínkách pevnosti v tlaku 31 MPa a pevnosti v tahu ohybem 7,6 MPa. Dle normy ČSN EN 13813 ho tedy můžeme zařadit do pevnostních tříd CA-C30-F7. Sádrový potěr oproti cementovému a rychlému cementovému potěru neměl problém s nárůstem pevností v chladném prostředí po 1 dni. Sádrový potěr má totiž velký vývin hydratačního tepla při zrání. Díky tomu dokáže sám sebe ohřát a zpevní se i za chladných podmínek. U sádrového potěru bylo dosaženo doby pochůznosti do 24 hodin ve všech klimatických podmínkách. Pevnost v tlaku po jednom dni, při uložení v chladných klimatických podmínkách s velkou relativní vlhkostí vzduchu, byla 15,2 MPa a pevnost v tahu za ohybu dosáhla hodnoty 3,9 MPa. Tyto hodnoty jsou skoro stejné u uložení v laboratorních podmínkách, kde AFE dosáhlo pevnosti v tlaku po 1 dni 17,7 MPa a pevnosti v tahu za ohybu 3,9 MPa. Po sedmi dnech můžeme pozorovat u potěru uloženého v chladném prostředí pozastavení nárůstu pevnosti v tlaku. Pevnost v tlaku po 7 dnech od vytvoření směsi byla u uložení v chladných podmínkách 15,5 MPa a pevnost v tahu ohybem dosáhla hodnoty 4,6 MPa. Pro teplé prostředí byly hodnoty po sedmi dnech srovnatelné a pevnost

v tlaku byla 21,6 MPa a pevnost v tahu ohybem 4,7 MPa. Sádrový potěr při chladném uložení sice splnil dobu pochůznosti do 24 hodin, ale jeho pevnost v tlaku nebyla po 28 dnech dostačující, aby se mohl zařadit do pevnostní třídy sádrového potěru CA-C30-F7. Chladné prostředí tedy nemá na sádrový potěr vliv v prvních dnech zrání, ale zmenšuje jeho pevnosti po 28 dnech. Pevnost v tlaku po 28 dnech při chladném uložení byla zjištěna 22,2 MPa a pevnost v tahu za ohybu 8,3 MPa. Tyto hodnoty jsou však dostačující pro požadovanou minimální pevnost samonivelačního potěru danou tab. 10. Při uložení vzorků v laboratorních podmínkách byla naměřena pevnost v tlaku 31,0 MPa a pevnost v tahu ohybem 7,6 MPa. Pevnost v tlaku u vzorků uložených v chladném prostředí po 28 dnech tedy byla o 28 % menší než u vzorků uložených v laboratorním prostředí.

Jestliže byl sádrový potěr uložený v teplých podmínkách, byla jeho pevnost v tlaku po 1 dni od zamíchání směsi 18,9 MPa a pevnost v tahu za ohybu byla 4,2 MPa. Zde je viditelný malý nárůst oproti referenčním laboratorním podmínkám. Zjištěná pevnost v tlaku sádrového potěru po 7 dnech při teplém uložení činila 30,6 MPa a pevnost v tahu za ohybu dosáhla hodnoty 8,6 MPa. Zde byl nárůst oproti laboratorním podmínkám již větší a pro pevnost v tlaku činil nárůst o 42 % a pevnost v tahu za ohybu byla větší o 82 %. Pevnost v tlaku po 28 dnech od vytvoření směsi při teplém uložení se vyšplhala na hodnotu 37,9 MPa a pevnost v tahu za ohybu byla 9,5 MPa. Nárůst oproti laboratorním podmínkám zde byl pro pevnost v tlaku o 22 % a pro pevnost v tahu za ohybu o 26 %.



**Graf 25:** Vyobrazení nárůstu pevnosti v tlaku AFE při různých uloženích



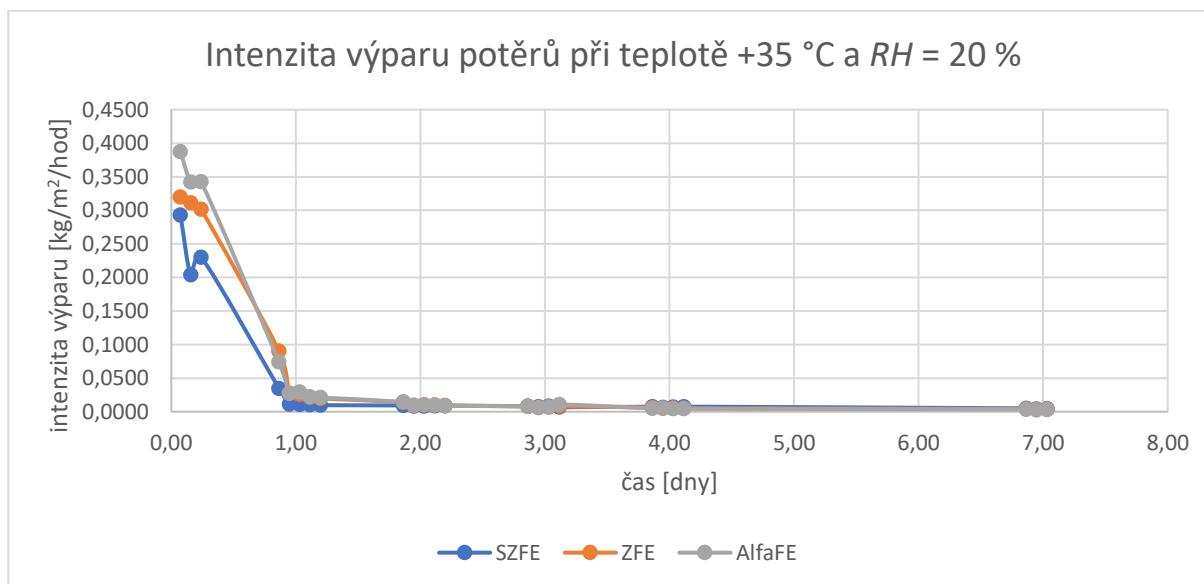
**Graf 26:** Vyobrazení nárůstu pevnosti v tahu za ohybu AFE při různých uloženích

Tab. 41:: Dosažení doby pochůznosti pro všechny typy potěrů v různých klimatických podmínkách

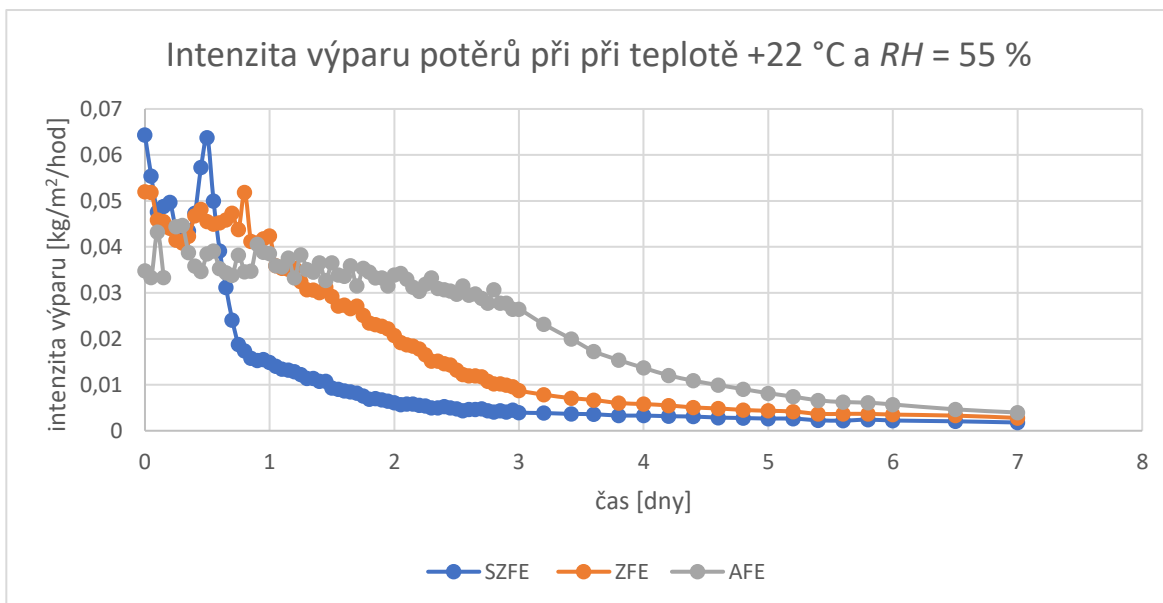
Vzorek	Požadavek	Doba pochůznosti		
		Doba dosažení v teple	Doba dosažení v LAB	Doba dosažení v chladu
SZFE	min. pevnost v tlaku 9 MPa a minimální pevnost v tahu za ohybu 3 MPa	do 24hod	do 24hod	mezi 1 a 7 dny
ZFE		mezi 1 a 7 dny	mezi 1 a 7 dny	mezi 1 a 7 dny
AFe		do 24hod	do 24hod	do 24hod

## 12 Intenzita výparu z potěru

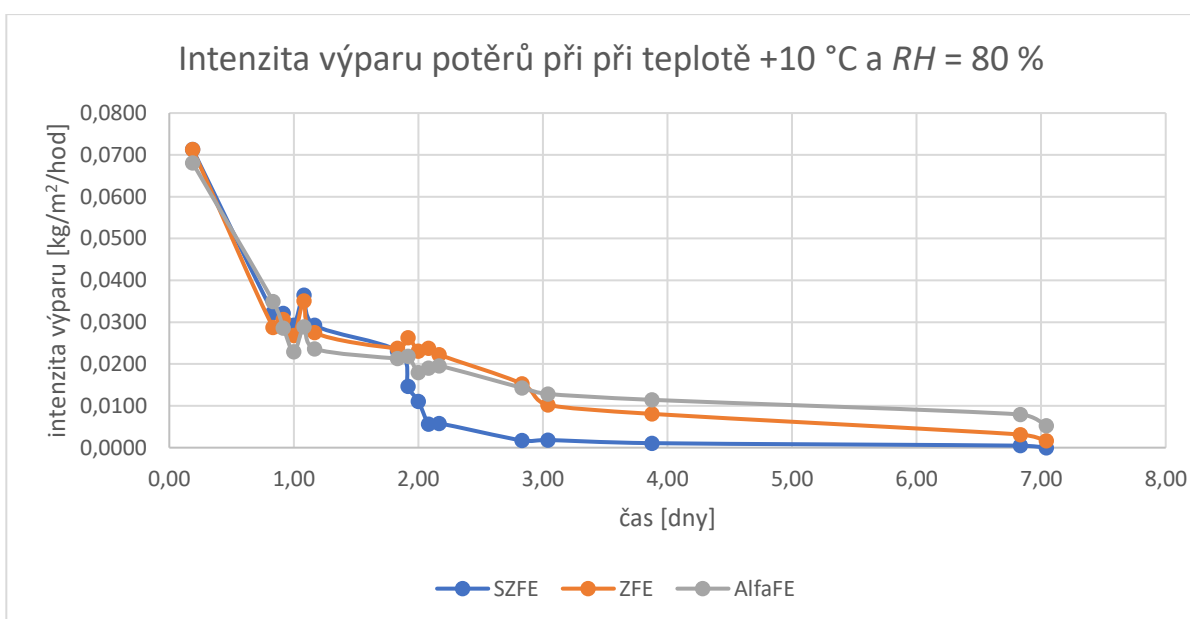
### 12.1.1 Zjištěné intenzity výparu



Graf 27: Vyobrazení intenzity výparu při teplotě +35 °C a RH = 20 %



Graf 28: Vyobrazení intenzity výparu při teplotě +22 °C a RH = 55 %



Graf 29: Vyobrazení intenzity výparu při teplotě +10 °C a RH = 80 %

### 12.1.2 Shrnutí a dílčí závěry

Pro stanovení intenzity výparu byly použity stejné válce jako pro zjištění zbytkových vlhkostí viz obr. 20. Tyto válce se v klimatických podmínkách tepla a chladu musely vážit ručně, protože nebylo možné umístit kontinuální váhy do klimatické komory. Vzorky zrající při laboratorních podmínkách byly umístěny na kontinuální váhy. U potěrů uložených v klimatických podmínkách při teplotě +35 °C a RH = 20 % byla zaznamenána největší

intenzita výparu u potěru SZFE a naopak nejnižší intenzita výparu byla u vzorku AFE. Oproti ostatním klimatickým podmínkám probíhal výpar z potěrů nejvíce v průběhu prvních 24 hodin, kdy bylo možné kapilární vedení. Poté se potěry dostaly na nízkou dlouhodobou úroveň vysychání řízené difuzí. Pokud byly potěry uloženy v laboratorních podmínkách o teplotě +22 °C a relativní vlhkosti vzduchu 55 %, bylo možné pozorovat, že u vzorku SZFE došlo ke snížení intenzity výparu v průběhu 1 dne, kdy se z potěru přestala vypařovat vlhkost pomocí kapilárního vedení ale začlo vypařování řízené difuzí. U cementového potěru ZFE tento jev nastal mezi 1 a 2 dnem. Intenzita výparu u sádrového potěru začala klesat třetí den od vytvoření směsi. Pokud byly potěry vystaveny chladnému klimatu s velkou relativní vlhkostí vzduchu, ustalo kapilární vedení u všech vzorků někdy na hranici 48 hodin. Je patrné že vliv prostředí má na intenzitu výparu velký vliv.

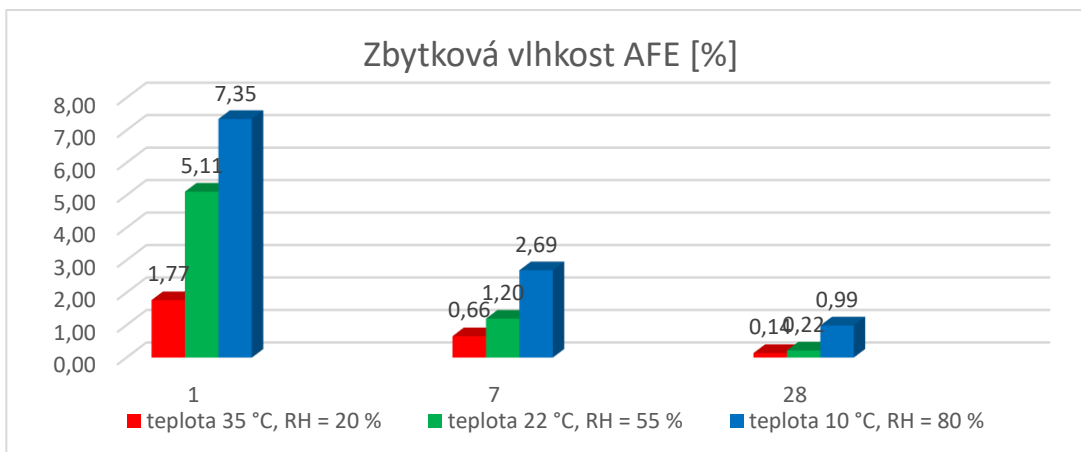
## 13 Stanovení zbytkové vlhkosti

### 13.1.1 Výsledky a vyhodnocení zbytkových vlhkostí pomocí gravimetrické metody

**Tab. 42:** Naměřené zbytkové vlhkosti AFE při uložení v různých klimatických podmínkách

	Zbytková vlhkost AFE při sušení na 50 °C [%]		
	teplota 10 °C, RH = 80 %	teplota 22 °C, RH = 55 %	teplota 35 °C, RH = 20 %
<b>1 den</b>	7,35	5,11	1,77
<b>7 den</b>	2,69	1,20	0,66
<b>28 den</b>	0,99	0,22	0,14

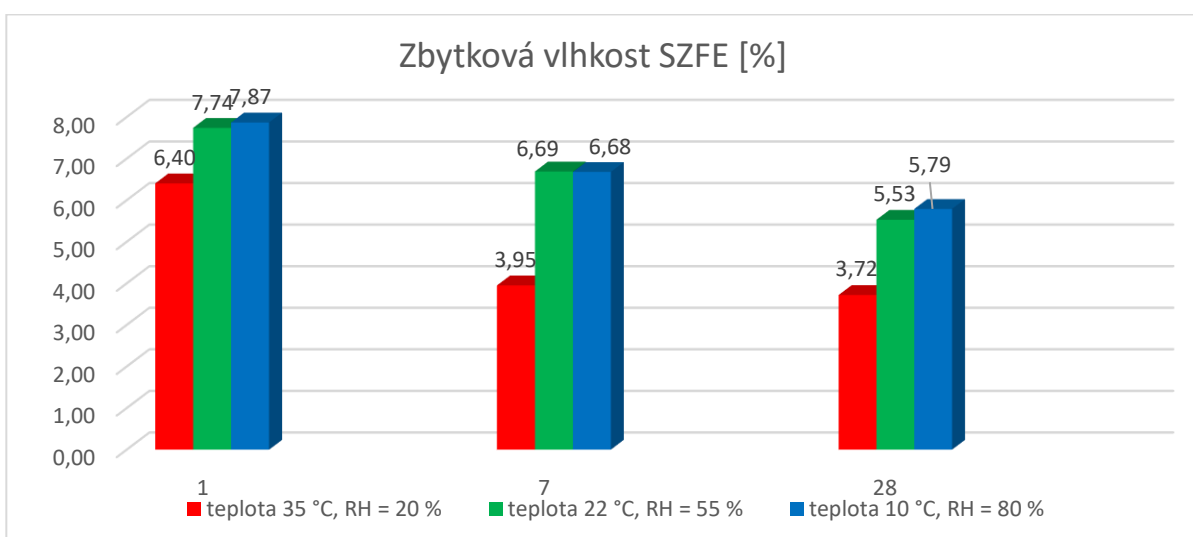




**Graf 30:** Naměřené zbytkové vlhkosti AFE při uložení v různých klimatických podmínkách

**Tab. 43:** Naměřené zbytkové vlhkosti SZFE při uložení v různých klimatických podmínkách

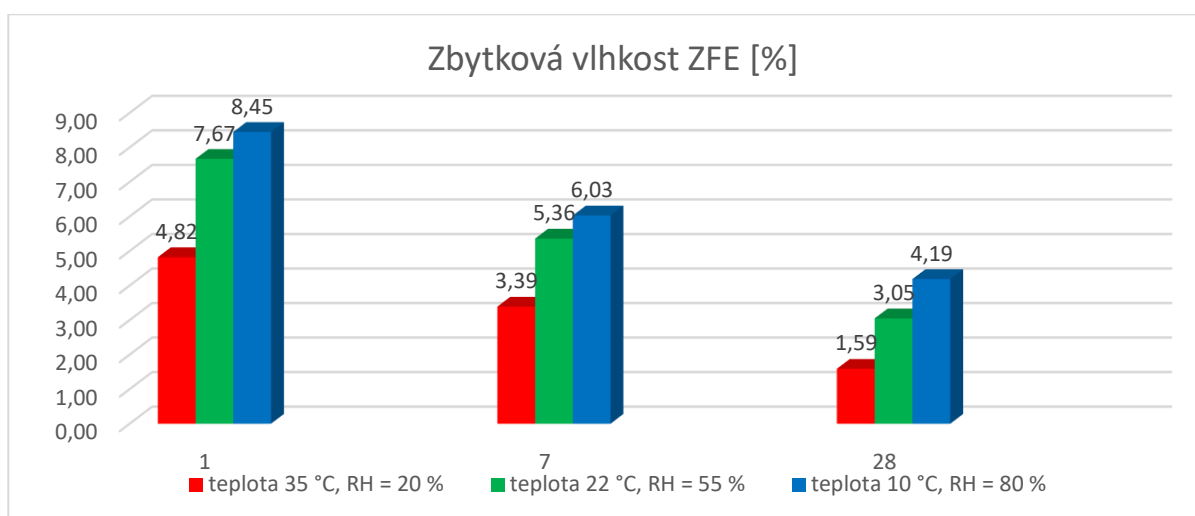
	<b>Zbytková vlhkost SZFE při sušení na 50 °C [%]</b>		
	<b>Teplota 10 °C, RH = 80 %</b>	<b>Teplota 22 °C, RH = 55 %</b>	<b>Teplota 35 °C, RH = 20 %</b>
<b>1 den</b>	7,87	7,74	6,40
<b>7 den</b>	6,68	6,69	3,95
<b>28 den</b>	5,79	5,53	3,72



**Graf 30:** Naměřené zbytkové vlhkosti SZFE při uložení v různých klimatických podmínkách

**Tab. 44:** Naměřené zbytkové vlhkosti ZFE při uložení v různých klimatických podmínkách

	Zbytková vlhkost ZFE při sušení na 50 °C [%]		
	Teplota 10 °C, RH = 80 %	Teplota 22 °C, RH = 55 %	Teplota 35 °C, RH = 20 %
<b>1 den</b>	8,45	7,67	4,82
<b>7 den</b>	6,03	5,36	3,39
<b>28 den</b>	4,19	3,05	1,59

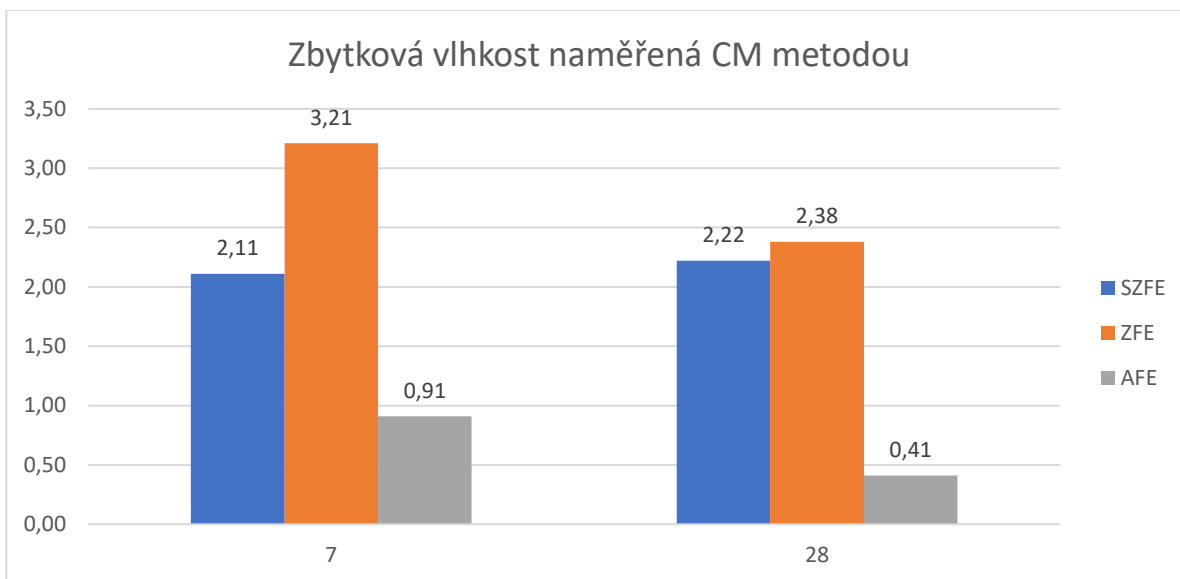


**Graf 31:** Naměřené zbytkové vlhkosti ZFE při uložení v různých klimatických podmínkách

### 13.1.2 Výsledky a vyhodnocení zbytkových vlhkostí pomocí karbidové metody

**Tab. 45:** Naměřené zbytkové vlhkosti CM metodou

Vzorek	Den měření	Zbytkové vlhkosti naměřené CM metodou [%]
SZFE	7	2,11
	28	2,22
ZFE	7	3,21
	28	2,38
AFE	7	0,91
	28	0,41



**Graf 32:** Vyobrazení naměřených zbytkových vlhkostí CM metodou

CM přístroj byl použit pouze pro stanovení zbytkových vlhkostí u vzorků uložených v laboratorních podmínkách a to v 7 a 28 dnu od vytvoření směsi. Tento přístroj totiž nebyl v jiných termínech dostupný.

### 13.1.3 Shrnutí a dílčí závěry

Nejvyšší dovolené vlhkosti potěrů v době pokládky nášlapné vrstvy jsou obsaženy v normě ČSN EN 74 4505 – Podlahy, společná ustanovení [11] viz. tab. 7. Tato norma ovšem nebere v potaz existenci potěrů směsných pojivových koncepcí, ale rozlišuje pouze cementové potěry a potěry na bázi síranu vápenatého. Pro vzorek SZFE tedy byly zvoleny minimální požadované vlhkosti jako pro klasický cementový potěr.

Dobu splnění minimálních požadovaných vlhkostí v době pokládky nášlapné vrstvy znázorňují tab. 45. Tabulka 46 znázorňuje požadavky a dobu jejich splnění při tloušťce potěru 40 mm a součástí skladby není podlahové vytápění. Rychlý cementový potěr, který byl uložený v teplém prostředí, splňuje požadavky na minimální zbytkovou vlhkost již do 24 hodin. Při uložení tohoto potěru v laboratorních podmínkách splňuje požadavky do 24 hodin pouze pro dlažbu. Pro dřevěné podlahy dosáhne těchto kritérií mezi 7 a 28 dny. V této diplomové práci nemůžu upřesnit který den přesně dojde ke splnění požadovaných vlastností od zamíchání směsi, protože zbytková vlhkost se měřila pouze v 1., 7., a 28. den

od zamíchání směsi. Při uložení v chladu tento potěr splnil požadavky pro dlažbu mezi 1 a 7 dnem a pro dřevěnou podlahu mezi 7 a 28 dnem. Cementový potěr ZFE splnil kritéria do 24 hodin pouze v případě uložení v teple a pouze pro dlažbu, pro dřevěné podlahy splnil požadavek v teple mezi 7 a 28 dnem. Při uložení v laboratorních podmínkách dosáhl tento vzorek požadavků pro dlažbu mezi 7 a 28 dny. Pro dřevěné podlahy není možno určit kdy přesně bylo požadavku dosaženo, protože ještě po 28 dnech nebyla vlhkost dostatečně nízká. Potěr na bázi síranu vápenatého AFE má stejné požadavky jak pro dlažbu, tak pro dřevěné podlahy a při uložení vzorku v teple a v laboratorních podmínkách splňoval kritéria mezi 7 a 28 dny, ale při uložení v chladném prostředí dosáhl požadavků až někdy po 28 dnu. Na tento potěr jsou kladeny mnohem přísnější požadavky než na cementový potěr.

**Tab. 46:** Požadavky na minimální povolenou vlhkost potěru v době pokládky a doba splnění při tloušťce potěru 40 mm

	ČSN 74 4505		Vrstva potěru je 40mm		
	nášlapná vrstva	Požadavek [%]	doba dosažení v teple	doba dosažení v LAB	doba dosažení v chladu
SZFE	dlažba	5	do 24hod	do 24hod	mezi 1 a 7 dny
SZFE	dřevěné podlahy	2,5	do 24hod	mezi 7 a 28dny	mezi 7 a 28dny
ZFE	dlažba	5	do 24hod	mezi 7 a 28dny	mezi 7 a 28dny
AFE	dlažba, dřevěné podlahy	0,5	mezi 7 a 28dny	mezi 7 a 28dny	nad 28dní
ZFE	dřevěné podlahy	2,5	mezi 7 a 28dny	nad 28dní	nad 28dní

Tabulka č. 47 znázorňuje požadavky a dobu jejich splnění při tloušťce potěru 40 mm a součástí skladby je podlahové vytápění. Ovšem je-li v systému zabudované podlahové vytápění, musí být požadavek na nejvyšší povolenou vlhkost snížen u cementového potěru o 0,5 % a u potěru na bázi síranu vápenatého o 0,2 %. Rychlý cementový potěr SZFE opět splňuje v teplých podmínkách požadavky na minimální vlhkost potěru do 24 hodin jak pro dlažbu, tak pro dřevěné podlahy. V laboratorním prostředí dosáhl SZFE požadavku do 24 hodin pouze pro dlažbu. Pro dřevěné podlahy splnil požadavek

mezi 7 a 28 dnem. V chladném prostředí splnil požadavky pro dlažbu mezi 1 a 7 dny a pro dřevěné podlahy mezi 7 a 28 dny. Tento potěr je tedy vhodný pro spotřebitele, který požaduje rychlé pokrytí bez čekání. U cementového potěru ZFE byl dosažen požadavek mezi 1 a 7 dny pouze v teplém prostředí, a to pouze pro dlažbu. Mezi 7 a 28 dny je možné pokládat nášlapnou vrstvu na potěr v teple pro dřevěnou podlahu, v laboratorních podmínkách pro dlažbu, nebo chladném prostředí pro dlažbu. U sádrového potěru AFE jsou požadavky opět stejné, jak pro dlažbu, tak pro dřevěné podlahy. Nášlapná vrstva se smí na potěr pokládat mezi 7 a 28 dny pouze při teplých podmínkách. Pokud je tento potěr umístěn v laboratorních podmínkách nebo v chladu, je nutné pokládat nášlapnou vrstvu až po 28 dnech.

**Tab. 47:** Požadavky na minimální povolenou vlhkost potěru v době pokládky a doba splnění při tloušťce potěru 40 mm a součástí skladby je podlahové vytápění

	ČSN 74 4505		Vrstva potěru je 40mm, součástí skladby je podlahové vytápění		
	nášlapná vrstva	Požadavek [%]	doba dosažení v teple	doba dosažení v LAB	doba dosažení v chladu
SZFE	dlažba	4,5	do 24hod	do 24hod	mezi 1 a 7 dny
SZFE	dřevěné podlahy	2	do 24hod	mezi 7 a 28dny	nad 28dní
ZFE	dlažba	4,5	mezi 1 a 7 dny	mezi 7 a 28dny	mezi 7 a 28dny
AFE	dlažba, dřevěné podlahy	0,3	mezi 7 a 28dny	mezi 7 a 28dny	nad 28dní
ZFE	dřevěné podlahy	2	mezi 7 a 28dny	nad 28dní	nad 28dní

Nejvhodnější potěr pro nejrychlejší aplikaci podlahových krytů je rychlý cementový potěr SZFE. Pokud jsou klimatické podmínky příznivé a je zvolen dobrý druh podlahové krytiny, je možné na tento potěr pokládat další vrstvu podlahy již po 24 hodinách od vylití podlahy. Je nutné dodat, že velký vliv na tyto zbytkové vlhkosti má intenzita výparu, která záleží také na proudění okolního vzduchu. A dále je důležitá tloušťka potěru. V této diplomové práci byla zvolena tloušťka 4 cm. Pokud by byla tloušťka větší, bylo by dosaženo těchto požadavků později.

## 14 Závěr

V rámci této diplomové práce byl sledován vliv klimatického prostředí na průběh zpevňování samonivelačních podlahových potěrů za podmínek blízkých stavební praxi. Byly pozorovány změny pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu v dobách 1, 7 a 28 dní od výroby vzorků. Vývoj mechanických pevností při uložení potěrů v klimatickém prostředí, simulující letní podmínky, nebo laboratorní prostředí, byl pro dané hmoty příznivý. Zvýšily se jak počáteční, tak koncové pevnosti. Klimatické prostředí, simulující aplikaci potěrů při nízkých teplotách, mělo za následek značný úbytek jednodenních pevností u cementového potěru a rychlého cementového potěru. Doba pochůznosti rychlého cementového potěru na bázi ettringitu se přesunula z intervalu do 24 hodin do intervalu mezi 1 a 7 dny. Cementový potěr měl dobu pochůznosti vždy v intervalu mezi 1 a 7 dny. Tyto chladné podmínky neměly vliv na vývoj počátečních pevností u sádrového potěru, ale projevíly se až u koncových pevností, kdy došlo ke ztrátě pevností oproti ostatním klimatickým prostředím. Doba pochůznosti sádrového potěru byla pro všechny klimatické podmínky do 24 hodin.

Průběhy vysychání byly stanoveny třemi různými metodami a to: gravimetrickou metodou, kontinuálním vážením a vázkovou metodou. Nejvhodnější potěr pro nejrychlejší aplikaci podlahových krytů je rychlý cementový potěr. Pokud jsou klimatické podmínky příznivé a je zvolen nejméně náchylný druh krytiny, což jsou dlažby, je možné na tento potěr pokládat další vrstvu podlahy již po 24 hodinách od aplikace potěru. Nejméně vhodný je potěr sádrový, u kterého nemůžeme pokládat další vrstvu dříve než v intervalu mezi 7 a 28 dny od aplikace. Se změnou klimatických podmínek se měnily intenzity výparu vody z potěru. Zatímco při teplejších okrajových podmínkách se ustálila intenzita výparu u všech potěrů v rámci 24 hodin, při laboratorních podmínkách došla k ustálené hodnotě v rámci 24 až 48 hodin a při chladných podmínkách stále klesala v rámci dnů.

V dalším výzkumu se doporučuji zaměřit na vliv tloušťky potěru s ohledem na průběhy vysychání. V této práci se uvažuje typická tloušťka potěru 40 mm. Dalším důležitým vlivem při vyztavování podlahových hmot je proudění vzduchu nad povrchem potěru. Při dalších měřeních je nutné zahustit měření v prvních dnech (hlavně v případě nízkých teplot, kdy je hydratace silně brzděna.

## 15 Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry – Vlastnosti a požadavky - 2003
- [2] Štenko, M., Studium objemových změn samonivelačních podlahových hmot z hlediska jejich konečné objemové stability ve vazbě na jejich materiálové složení a volbu vhodných měřících metod, Disertační práce. Brno, 2012. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců
- [3] PRODUKTOVÝ KATALOG ANHYMENT CEMFLOW PORIMENT, [cit. září 2019] dostupné na <http://www.betonuniversity.cz/stahnout-soubor?id=2273>
- [4] Šauman, Z., Maltoviny I, Vysoké učení technické v Brně, 1993, ISBN 80-214-0509-0.
- [5] Taylor, H. F. W, Cement Chemistry, Thomas Telford Publishing, London 1997, ISBN 0 7277 2592 0.
- [6] Amathieu, L., Bier, T. A., Scrivener, K. L., Mechanism of Set Acceleration of Portland Cement Through CAC Addition, příspěvek z konference Calcium Aluminate Cements, Edinburg 7/2001.
- [7] Calucem. 2010. CAC for Building Chemistry [online]. [cit. listopad 2019] Technické prospekty společnosti Calucem Dostupné z: [www.hca.com/uploads/media/BuildingChemistry\\_09\\_2010.pdf](http://www.hca.com/uploads/media/BuildingChemistry_09_2010.pdf)
- [8] Mikeš, V. Studium vzájemné závislosti objemových změn a napjatosti litých podlahových materiálů. Brno, 2019. 136 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., Ph.D.
- [9] Nováček, J., Studium objemových změn pojivových silikátových směsí, Disertační práce. Brno, 2013. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav technologie stavebních hmot a dílců
- [10] COLLEPARDI, M. Moderní beton. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009, 342 s. ISBN 978-80-87093-75-7
- [11] ČSN 744505, Podlahy – Společná ustanovení, ČNI 7.2008

- [12] VÍCH, M. Vliv příměsí betonu na smršťování cementové matrice. Praha 2019. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební. Katedra betonových a zděných konstrukcí.
- [13] SCHUTTER De Geert, BARTOS J.M. Peter, DOMONE Peter, GIBBS John a HELA Rudolf. Samozhutnitelný beton. V Praze: Česká betonářská společnost ČSSI, 2008. ISBN 978-80-87158-12-8.
- [14] UNO, P.J. Plastic Shrinkage Cracking and Evaporation Formulas, ACI Materials Journal, V. 95, No. 4, July-Aug. 1998, pp. 365-375.
- [15] Podlahové potěry – příručka pro správný výběr a provádění, BAUMIT 2005, Archiv technické dokumentace spol. Profibaustoffe CZ s.r.o.
- [16] ČSN EN 12 706, Lepidla - Zkušební metody pro hydraulicky tuhnoucí podlahové stěrkové hmoty - Stanovení charakteristik rozlití, ČNI 10.2000
- [17] ČSN EN 13892-2 Zkušební metody potěrových materiálů – Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku ČNI 11.2003
- [18] ČSN EN ISO 12570 – Tepelně vlhkostní chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení vlhkosti sušením při zvýšené teplotě, 9.2001
- [19] Kontrolní metody pro stanovení vlhkosti podkladních vrstev podlah. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2019-11-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/podlahy/8050-kontrolni-metody-pro-stanoveni-vlhkosti-podkladnich-vrstev-podlah>
- [20] VINKLER Marek, Voda v betonu, BETON TKS s.r.o., Praha, 2018, vydání 2/18.



## 16 Přehled použitých zkratek a symbolů

Symbolika chemických a mineralogických složek cementů a putzolánů:

C	CaO – oxid vápenatý
A	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – oxid hlinitý
S	SiO <sub>2</sub> – oxid křemičitý
F	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – oxid železitý
M	MgO – oxid hořečnatý
K	K <sub>2</sub> O – oxid draselný
N	Na <sub>2</sub> O – oxid sodný
T	TiO <sub>2</sub> – oxid titaničitý
\$	SO <sub>3</sub> - oxid sírový
H	H <sub>2</sub> O - voda
	CO <sub>2</sub> - oxid uhličitý
C <sub>3</sub> S	3CaO.SiO <sub>2</sub> trikalcium-silikát / alit
C <sub>2</sub> S	2CaO.SiO <sub>2</sub> dikalcium-silikát / belit
C <sub>3</sub> A	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> trikalcium-aluminát
CA	CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kalcium-aluminát
C <sub>2</sub> (AF)	2CaO.(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) kalciumaluminát-ferit
C <sub>4</sub> AF	4CaO.(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) tetrakalciumaluminát-ferit / brownmillerit
C <sub>4</sub> A <sub>3</sub> \$	3CaO.3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .CaSO <sub>4</sub> kalcium sulfoaluminát / Kleinit, Ye´elimit
C <sub>5</sub> S <sub>2</sub> \$	5CaO.2SiO <sub>2</sub> .SO <sub>3</sub> kalcium sulfosilikát / sulfospurrit
C <sub>12</sub> A <sub>7</sub>	12CaO.7Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / mayenit
C <sub>2</sub> AS	Ca <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> SiO <sub>7</sub> / gehlenit
C\$H <sub>x</sub>	CaSO <sub>4</sub> – síran vápenatý / x=0 anhydrit, x=1/2 hemihydrát, x=2 sádrovec

Symbolika hydratačních produktů a fází hydratace cementů:

C <sub>6</sub> A <sub>3</sub> \$H <sub>32</sub>	3CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 3CaSO <sub>4</sub> . 32 H <sub>2</sub> O / ettringit (zkráceně též C <sub>3</sub> A.3C\$.H <sub>32</sub> )
C <sub>4</sub> A\$H <sub>12</sub>	3CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . CaSO <sub>4</sub> . 12 H <sub>2</sub> O / monosulfát (zkráceně též C <sub>3</sub> A.C\$.H <sub>12</sub> )
CH	Ca(OH) <sub>2</sub> / portlandit
CSH	vápenaté hydrosilikáty
AH <sub>3</sub>	gAl(OH) <sub>3</sub> / gibbsit

$C_2ASH_8$        $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 8H_2O$  / strätlingit = gehlenit hydrát

Zkratky fyzikálních a chemických veličin:

$R_c$       pevnost v tlaku       $[N/mm^2]$

$R_f$       pevnost v tahu za ohybu       $[N/mm^2]$

$RH$       relativní vlhkost vzduchu [%]

Další použité zkratky:

ZFE      cementový potěr samonivelační

SZFE      rychlý cementový potěr samonivelační

AFE      sádrový potěr samonivelační