

STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA STAVEBNÍ JOSEFA GOČÁRA

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Stavebnictví, architektura a design interiérů

Praha 2019

Kateřina Dvořáková

**Střední průmyslová škola stavební Josefa Gočára
Družstevní ohoz 3, Praha 4**

Hydrofilní kompozity a architektura

Středoškolská odborná činnost

Konzultant: Ing. Jindřich Vorel, Ph.D. Autor: Kateřina Dvořáková

Anotace

Tato práce středoškolské odborné činnosti se zabývá výzkumem nových materiálů na bázi betonu se zvýšenou schopností adsorpce vody do své struktury s možností jejího uvolnění za zvýšených teplot v letním období. Využití navrhovaných směsí se uplatní zejména při zhotovení výrobků a architektonických doplňků použitých na nádvořích, terasách, zahrádkách a dalších místech, kde chceme zlepšit environmentální podmínky. Dosažené sorpce vzorků budou korelovány se standardními materiály v návaznosti na použití vhodných plniv a pojiv eventuálně s možností vzniku nových struktur v období tuhnutí a tvrdnutí pojivových systémů. Zjištěné poznatky umožní navrhnout technologie přípravy směsí dostatečných mechanických pevností zejména v tlaku a s vyšší odolností proti působení atmosférických podmínek v našich zeměpisných polohách při nezanedbatelném obsahu pórů ve struktuře navrženého kompozitu.

Annotation

This essay of Student's Professional Activities deals with the usage of new materials on the base of concrete with improved adsorption of water in its own structure and ability to release it in higher summer temperature. Usage to the proposed mixtures will be mainly used for items and architectonic accessories used on squares, balconies, gardens and other places where we would like to improve environmental conditions. Reached sorption of the samples will be correlated with standard materials in order to use correct filling and connecting materials with the ability of to eventually create new structures while in the process of solidification and hardening of connective systems. Found information will help in development of technologies for the preparation of mixtures with sufficient mechanical strength and especially in presume with higher resistance against atmospheric conditions in our geographic location at not negligible amounts of pores in the structures of proposal composite.

Klíčová slova

Beton, adsorpce, environmentální podmínky, pojivové systémy, kompozit

Keywords

Concrete, adsorption, environmental conditions, connective systems, composite

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci do středoškolské odborné činnosti vypracovala samostatně a všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Práce „Hydrofilní kompozity a architektura“ je z hlediska obsahu majetkem SPŠ stavební Josefa Gočára v Praze a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem ředitele SPŠ stavební Josefa Gočára se sídlem v Praze 4, Družstevní ohoz 3.

V Praze dne 10. března 2019

Kateřina Dvořáková

Poděkování

Jsem velmi ráda, že mohu touto cestou poděkovat řediteli SPŠ stavební J. G. Ing. Bc. Tomáši Langerovi za možnost provádět tuto práci v laboratořích školy, konzultantovi Ing. Jindřichu Vorlovi, Ph.D. za pomoc a užitečné rady a Ing. Davidu Kolouškovi, CSc. za technickou podporu při zjišťování mikrostrukturálního složení navrhovaných kompozitů.

Obsah

Úvod	8
1 Cíl práce	9
2 Teoretická část	10
2.1 Adsorpční tepla	10
2.2 Směs jílových minerálů	11
2.3 Rosa	11
2.4 Beton	11
2.5 Geopolymerní cementy	12
2.6 Zeolity	13
2.7 Vodní sklo	13
2.8 Portlandský cement	14
2.9 Hořčnatá maltovina	15
2.10 Kamenivo pro lehké betony	15
3 Experimentální část	17
3.1 Suroviny pro zkoušky	17
3.1.1 Kamenivo pro zkoušky	17
3.1.1.1 Písek z laboratoře	17
3.1.1.2 Zeolit	19
3.1.1.3 Silikagel	21
3.1.1.4 Jíl	22
3.1.1.5 Cihelná drť	24
3.1.2 Cement	26
3.1.3 Aktivační přísady	26
3.1.3.1 Hydroxid sodný	26
3.1.3.2 Vodní sklo	27
3.1.4 Metakaolin	27
3.1.5 Voda	27
3.2 Stanovení adsorpčního tepla systémů kamenivo a voda	28
3.2.1 Stanovení adsorpčního tepla systému písek frakce 0–1 mm a voda	28
3.2.2 Stanovení adsorpčního tepla systému zeolit a voda	29
3.2.3 Stanovení adsorpčního tepla systému silikagel frakce 0–1 mm a voda	32
3.2.4 Stanovení adsorpčního tepla systému jíl a voda	33
3.2.5 Stanovení adsorpčního tepla systému cihelná drť a voda	34
3.2.6 Srovnání dosažených adsorpčních tepel zkoumaných systémů	36
3.3 Výroba zkušebních tělísek a stanovení adsorpčního tepla	37

3.3.1	Systémy s cementem.....	37
3.3.1.1	Cement, kamenivo z laboratoře písek frakce 0–1 mm a voda.....	37
3.3.1.2	Cement, kamenivo-zeolit frakce 0–1 mm a voda.....	42
3.3.1.3	Cement, kamenivo-zeolit frakce 0–20 µm a voda.....	44
3.3.1.4	Cement, kamenivo-silikagel frakce 0–1 mm a voda.....	46
3.3.1.5	Cement, kamenivo-bentonitový jíl a voda.....	47
3.3.1.6	Cement, kamenivo-cihelná drť frakce 0–1 mm a voda.....	50
3.3.1.7	Vyhodnocení zkoumaných vzorků systémů s cementovým pojivem.....	52
3.3.2	Systémy s geopolymérem.....	53
3.3.2.1	Geopolymerní pojivo, kamenivo z laboratoře písek frakce 0–1 mm.....	53
3.3.2.2	Geopolymerní pojivo, zeolit frakce 0–1 mm.....	56
3.3.2.3	Geopolymerní pojivo, zeolit frakce 0–20 µm.....	58
3.3.2.4	Geopolymerní pojivo, cihelná drť frakce 0–1 mm.....	60
3.3.2.5	Vyhodnocení zkoumaných vzorků systémů s geopolymerním pojivem.....	63
3.3.3	Systémy s hořčnatým pojivem.....	64
3.3.3.1	Hořčnaté pojivo, kamenivo z laboratoře písek frakce 0–1 mm.....	64
3.3.3.2	Hořčnaté pojivo, kamenivo z laboratoře silikagel frakce 0–1 mm.....	67
3.3.3.3	Porovnání výše adsorpčního tepla systémů s hořčnatým pojivem.....	69
4	Vyhodnocení a návrhy využití hydrofilních kompozitů.....	70
4.1	Kamenivo pro zkoušky.....	70
4.1.1	Granulometrie kameniva.....	70
4.1.2	Stanovení adsorpčního tepla kameniva.....	70
4.2	Vyhodnocení vzorků kompozitů.....	71
4.2.1	Posouzení tlakových pevností kompozitů.....	71
4.2.2	Vyhodnocení adsorpčního tepla kompozitů.....	71
4.2.3	Celkový přehled a výpočty výsledků.....	72
4.2.4	Úprava navržených výrobků vegetací.....	74
4.3	Návrhy a možnosti využití kompozitů v architektuře.....	75
4.4	Ekonomické vyhodnocení.....	76
	Závěr.....	77
	Seznam literatury.....	79
	Seznam tabulek.....	80
	Seznam grafů.....	80
	Seznam obrázků.....	81

Úvod

Klasické cementové betony i betony necementového charakteru a architektura patří v poslední době k velmi častým projevům našich i zahraničních architektů. Využití těchto kombinací vidíme na celé řadě moderních budov i různých staveb, kde se využívá nejen vysoké pevnosti betonu v tlaku, ale i možnosti tvarování v čerstvém stavu, nebo je zde i nespočetně možností jeho úprav, či opracování ve stavu zatvrdlém. Využití je možné i za stávajících povětrnostních podmínek, kde jeho složení a výroba může zaručit dlouhodobou stálost výrobků z něj vyrobených. Dalším aspektem by měla být jeho možnost absorbovat vlhkost s následnou možností jejího vylučování a tím upravovat vlhkostní podmínky prostoru, kde bude exploatován.

Aktuálním trendem je vytvoření kompozitu s minimálními energetickými nároky při uplatnění jako určitý výrobek s architektonickými prvky. Současně od tohoto kompozitu požadujeme přidané environmentální vlastnosti a zároveň dosažení dobrých mechanických vlastností. Jak vyplývá z použité literatury, nebyla zatím tato problematika řešena. Očekávám, že má aplikace přinese pozitivní přínos a nové trendy pro přípravu kompozitů s dobrou stabilitou za různých klimatických podmínek v našem klimatickém pásu. Obě protichůdné vlastnosti, velký povrch výrobku a jeho mechanická odolnost, jsou kritickým parametrem pro užití navrhovaných směsí. Předpokládám, že prohloubení citovaných charakteristik objasní veškeré vazby a chemismus navrhovaných směsí s maximálním uplatněním na navrhovaných výrobcích. Tato práce je soustředěna zejména na výzkum sorpce vody do již zatvrdlých kompozitů, eventuálně hydrotermálně připravených z různých pojiv.

V tomto příspěvku je též prezentována řada předběžných výsledků, které jsou součástí mého projektu na zjištění určitých mnou navržených a připravených nových směsí kompozitních materiálů na různých pojivových bázích (cement, geopolymery a podobně). Postupy přípravy a formování směsí jsou popsány v této práci se snahou o docílení maximálního využití navrhovaných směsí za dosažení jejich dobrých mechanických a sorpčních vlastností. Získané zkušenosti se mohou stát podnětem pro další rozvoj aplikací podobných typů.[1]

1 Cíl práce

Cílem mé práce je charakterizovat složení a vlastnosti kompozitů vyráběných z plniva s maximální vlhkostí, nasákavostí a jejím uvolňování v kombinaci s různými pojivy na bázi cementu nebo geopolymérů s případnou tepelnou úpravou použitou ke zpevnění vyrobených vzorků a použití hydrotermálních podmínek, které mají zajistit dosažení vyšších konečných tlakových pevností a vyšší odolnost kompozitů proti atmosférickým podmínkám, kterým budou výrobky vystaveny během své životnosti. Smyslem této práce je zdůraznit výhody a nevýhody použití popisovaných základních složek kompozitů v různých kombinacích s ohledem na požadované fyzikálně mechanické vlastnosti.

Kromě pevnostních charakteristik je cílem této práce studovat pomocí moderní instrumentální techniky chemické a fázové složení těchto kompozitů jak ve formě amorfní, tak i krystalické. Tento výzkum dává možnost soustředit se na výběr takových materiálů a technologií, kdy výsledkem syntézy bude kompozit o mikro (nano) struktuře a vlastnostech splňujících požadavky architekta, stability a environmentálního využití na vybraných místech města či budovy.

Při přípravě vzorků se jedná zejména o zaměření na složení a přípravu základních směsí, dále o vliv nezvýšené teploty hydrotermálního zpracování na fázové složení a na strukturu zatvrdlých materiálů. Ze zjištěných poznatků, jak navrhnout přípravu směsí, je důležité určit zpracování takových surovin, aby cíleným zaměřením bylo dosaženo požadovaného efektu s využitím vhodných surovin a byly získány vlastnosti dle praktických potřeb uživatele.

2 Teoretická část

Na architektonických výrobcích je vyzdvihován zejména žánr uměleckého charakteru, jeho soustřednost s okolím a podobně. Výrobky jsou zejména charakterizovány tvary, barvou event. pevností, případně odolností proti povětrnostním vlivům při exteriérovém použití. Touto prací se snažím řešit nejenom výše uvedené aspekty, ale zejména přínos po stránce environmentální, a to zajištění vhodného klimatu po co nejdelší denní dobu v letních parných měsících.

2.1 Adsorpční tepla

U použitého kameniva a vyrobených vzorků bylo měřeno adsorpční teplo. Z důvodu předpokládané pórovité struktury v těchto systémech by tato vlastnost měla zajistit dostatečné zvýšení množství uvolněného adsorpčního tepla při adsorpci vody. Po přípravě vzorků a zjištění jejich pevností byly tyto kompozity vysušeny při teplotách 50, 100, 150 a 300 °C. Sušení probíhalo v kalcinační peci, kde došlo k jejich dehydrataci.

Nejdříve se provedla dehydratace referenčního vzorku písku a dále všech dalších připravených druhů kameniv a vyrobených vzorků z připravených směsí. Na základě kontrolované hmotnosti vzorků provedené v našich podmínkách bylo u použitých materiálů vidět, že proběhla maximální dehydratace. Dále byly vzorky umístěny do vodního prostředí a byla zjišťována teplota při adsorpci vody, která nám recipročně ukázala, jaké teplo jsou námi připravené vzorky schopny pojmout při následné dehydrataci.

Měření adsorpčních tepel

Měření probíhalo dle metody, která je založena na adsorpci vody dehydratovaným vzorkem, kdy se uvolní adsorpční teplo.

Dehydratovaný vzorek o hmotnosti 60 g se temperoval na teplotu laboratoře (asi 25 °C). Hmotnost vzorku jsme naměřili na analytických vahách a také jsme změřili teplotu vody o hmotnosti 200 g. Poté se do vody přidal vzorek a měřil se vzrůst teploty na teploměru. Po dosažení nejvyšší možné teploty se přidal stejný objem vody, tedy 200 ml, a měřil se pokles teploty. Velikost adsorpčního tepla se vypočítá pomocí vzorce:

$$Q_r = \frac{\left(4,1868 \cdot m_v \cdot (T_1 - T_v) + \left(\frac{(T_1 - T_2) \cdot (2T_2 - T_1 - T_v)}{T_1 - T_2}\right)\right)}{m_z}$$

kde Q_r je adsorpční teplo [kJ], m_v je hmotnost vody [g], m_z je hmotnost dehydratovaného vzorku při určité teplotě [g], T_v je teplota vody [°C], T_z je teplota vzorku [°C], T_1 je první teplotní změna (vzrůst teploty) [°C] a T_2 je druhá teplotní změna (pokles teploty) [°C].

Měření teploty probíhalo s kontaktním teploměrem a za pomoci magnetického míchadla.[2]

2.2 Směs jílových minerálů

Používaná směs jílových minerálů je vyrobena z přírodního bentonitu, který má absorpční schopnosti. Při nasáknutí vody pohlcuje vlhkost a adsorpcí zvyšuje teplotu systému. Tento jíl je ekologicky nezávadný, také není odpadním produktem z výroby jiné suroviny, z tohoto důvodu je ryzím přírodním produktem.[11]

2.3 Rosa

Rosa je jednou z forem vodních srážek. Jsou to malé vodní kapky, které se objevují na povrchu předmětu ráno nebo večer.

Rosa vzniká tehdy, pokud je teplota povrchu nějakého předmětu nižší, než je rosný bod okolního vzduchu. Vodní pára se tak začne srážet v podobě kapek vody na povrchu chladného předmětu. K tomuto jevu často dochází při radiačním ochlazování zemského povrchu za jasných, bezvětřných nocí. Velmi intenzivně se radiačně ochlazují především kovy, listy rostlin nebo sklo, naopak pomalu ochlazující jsou např. suchá tráva a dřevo.

Největší množství rosy se tvoří ve vlhkém vzduchu při vysoké teplotě rosného bodu. V Česku ale ani v takovém případě nepřekročí úhrnné množství srážek přibližně 0,5 mm až 2 mm srážek což, je 2 litry vody/m².

V zimě, při teplotách pod bodem mrazu, vzniká při ochlazení zemského povrchu jinovatka. [3]

2.4 Beton

Beton je kompozitní látka, která vzniká ztvrdnutím směsi jeho základních složek, a to cementu jako nejčastěji používaného pojiva, kameniva (písku, šterku, drtě) jako plniva a vody. Je to druh staviva, které lze definovat jako umělý kámen vzhledově podobný přírodnímu slepenci. Příkladem jiných typů pojiv je např. geopolymerní pojivo (geopolymerní betony) hořečnatá maltovina (Sorelův cement), asfalt (asfaltobetony), polymery (polymerbetony) nebo síra (sírobotony).

Vlastnosti betonu jsou především ovlivňovány skladbou a poměrem mísení jeho základních složek. Zvláštních vlastností betonu lze dosáhnout přidáním vhodných přísad a příměsí za

účelem pozitivního ovlivnění jeho počátečních vlastností (zpracovatelnosti a času tuhnutí) a také konečných vlastností (pevnost, modul pružnosti, odolnost a trvanlivost).

Sekundárně ovlivňují vlastnosti betonu účinky okolního prostředí (např. vlhkost, teplota, agresivní činitelé). Proto jsou některé vlastnosti ztvrdlého betonu v průběhu času částečně proměnné.

Pro beton je charakteristická velmi dobrá pevnost v tlaku, ale současně i lomová křehkost. Jeho pevnost v tahu je minimální oproti jeho pevnosti v tlaku. Proto se beton vyztužuje např. ocelovými pruty, nebo rozptýlenými vlákny.

Aby beton skutečně splňoval požadavky na něj kladené, musí být vyráběn v dobré a stále stejné jakosti. Toto je primárně zabezpečeno řadou normativních a doporučujících požadavků na výrobu a kontrolu betonu. [4;10]

2.5 Geopolymerní cementy

Geopolymery se připravují chemickou reakcí hlinitokřemičitých oxidů s alkalickými polysilikáty. Výsledkem jsou polymerní sloučeniny obsahující Si-O-Al vazby. Sloučeniny tohoto typu se obecně označují jako polysialáty.

Mezi polysialáty počítáme, kromě látek obsahující sekvenci -Si-O-Al-O-, také látky s řetězci tvořenými -Si-O-Al-Si-O- (polysialátsiloxany) a látky s řetězci typu -Si-O-Al-Si-O (polysialátdisiloxany).

Svojí strukturou mohou být geopolymery amorfni až trojrozměrně semikrystalické a vykazují proto pestrou škálu vlastností.

Některé geopolymery se mohou chovat podobně jako organické termoplasty a lze je zpracovávat a tvarovat při relativně nízkých teplotách pohybujících se v desítkách stupňů.

Jsou však i geopolymery mající vlastnosti minerálů. Jsou tvrdé, odolné a snášejí vysoké teploty. Určitá podobnost s termoplasty je zachována, ale tvarovací teploty jsou daleko vyšší (1000–1200 °C). Do určité míry mají takovéto geopolymerní materiály zároveň keramický charakter.

K přípravě geopolymerních zpravidla není zapotřebí nijak vysokých teplot, příslušná polykondenzace (provádění tzv. sol-gel technologií) probíhá již při teplotách 100 °C).

Geopolymery zatím našly použití především jako náhrada běžně známých zeolitů, a to hlavně k adsorpci toxických chemických odpadů, a jako geopolymerní pojiva používaná

k výrobě nástrojů a forem v plastikářském průmyslu a metalurgii, zvláště u speciálních malosériových výrobků.

V souvislosti s rozsáhlejším využitím geopolymérů ve stavebnictví se objevují studie věnované možnosti výroby metakaolinu z kaolinu a lupku, či z jiných méně kvalitních keramických surovin. Metakaolin vzniká jako amorfni produkt při ohřevu kaolinu na teplotu 650–800 °C. Pucolánová aktivita metakaolinu je mimořádně vysoká, a proto se pro přípravu geopolymérů jeví jako mimořádně vhodný.[1;4]

2.6 Zeolity

Zeolity patří do velmi pestré skupiny minerálů s velkým množstvím krystalových tvarů a různých barev u jednoho minerálního složení. Díky této rozmanitosti a proměnlivosti jednoho každého druhu jsou však zeolity skupinou nesmírně náročnou na studium. Zeolity patřící do skupiny tektosilikátů, což jsou hydratované aluminosilikáty s prostorovým rozmístěním základních tetraedrů SiO_4^{4-} a AlO_4^{5-} , vzájemně propojené vrcholovými ionty kyslíku, tvoří vzájemně propojené kanály a dutiny, které obsahují slabě vázané, tedy v podstatě pohyblivé molekuly vody a kationy alkalických kovů (Na^+ , K^+ , Li^+ , Cs^+) a alkalických zemin (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+}), které vyrovnávají nenasycenou negativní valenci AlO_4^{5-} .

Do skupiny přírodních zeolitů se zařazují minerály, které vznikají v magmatickém, metamorfním i sedimentárním prostředí. Některé z nich, jako například analcim, mohou vykristalovat přímo z magmatu. V přírodě se zeolity vyskytují například v dutinách vulkanických hornin zejména bazického složení, kde vznikají rozkladem již vykristalovaných minerálů, zejména živců, za přítomnosti plyných nebo kapalných látek uvolňujících se z magmatu. Dále mohou vznikat i v metamorfovaných horninách při hydrotermálním působení solných či alkalických roztoků na pyroklastický materiál (sopečná skla, tufy, tufity a pemzy). Rozhodujícími činiteli pro vznik jednotlivých druhů zeolitů jsou teplota, tlak, reakční doba a poměr aktivit Si/Al, aktivity Ca^{2+} , Na^+ , K^+ a parciální tlak H_2O .

Vzhledem k velkému zájmu o zeolity se v posledních letech rozvinula výroba jejich syntetických analogů. [1]

2.7 Vodní sklo

Vodní sklo (Na_2SiO_3) je koloidní roztok alkalických silikátů. Zpravidla se připravuje rozpouštěním alkalicko-silikátového skla, většinou sodného, ve vodě. Sodnosilikátové sklo se vyrábí sklářskou technologií, neboť se připravuje tavením směsi, sestávající z křemičitého

písku dostatečné čistoty a sody, v kontinuální vanové peci při teplotě 1 400 °C. Sklovina, plynule vytékající z pece, se zpravidla ochlazuje vodou.

Připravené sklo je čiré, úplně průhledné. Působením vzdušné vlhkosti na jeho povrchu vznikne šedobílý povlak produktů hydrolyzy. Ze zjištěné hodnoty je možno poměrně přesně určit složení sodnosilikátového skla. Sodnosilikátové sklo je ve vodě poměrně dobře rozpustné, avšak rychlost rozpouštějícího procesu je nízká. Rychlost rozpouštění se podstatně zvýší užitím vyšší teploty i tlaku (autoklávováním). Přechodová složka mezi pevným sklem a jeho vodným roztokem je tzv. hydratované vodní sklo.

a) Výroba z PKS/D (pevný křemičitan sodný/draselný): PKS/D se vyrábí ze sklářského písku (oxid křemičitý, 70–75 %) tavením ve sklářské vanové peci při teplotě 1 400–1 600 °C za pomoci alkalických tavidel – soda (uhličitan sodný) nebo potaš (uhličitan draselný), tj. látek, které tavení písku usnadňují.

Roztavená sklovina se prudce chladí za účelem rozpraskání na co nejmenší části (vizuálně podobné kouskům ledu) a tím se zajistí co nejjednodušší následné rozpouštění. Takto připravený vstupní materiál se pomocí hydroxidu sodného/draselného, vody, teploty a tlaku rozpouští v autoklávu (vytápěná, uzavíratelná tlaková nádoba) na tekuté vodní sklo. Tímto způsobem lze vyrábět všechny typy vodních skel.

b) Výroba hydrotermální reakcí se provádí v autoklávu, kde se za pomoci hydroxidu, vody, teploty a tlaku přímo rozpouští křemičitý písek. Touto metodou lze vyrábět jen určité typy vodních skel sodných.

Přidáváním organických či anorganických aditiv do procesu rozpouštění v autoklávu lze vylepšovat parametry a vlastnosti vodních skel.

Hydratované vodní sklo vytváří pevnou látku obsahující 10 až 30 % rozpuštěného Na_2SiO_3 . Je možno je připravit zahříváním práškového skla při 100 °C s malým množstvím vody. Vytvoří se průsvitná látka snadno a rychle se rozpouštějící i ve studené vodě. Nejdůležitější a nejčastěji měřenou vlastností vodního skla je jeho hustota, která se pohybuje v hodnotách 37–42 B \acute{e} . [4]

2.8 Portlandský cement

Portlandský cement je nejvíce používaným druhem cementu při výrobě malty a betonu. Obsahuje směs oxidů kovů a alkalických zemin vápníku, oxidy křemíku a hliníku. Portlandský

cement je vyráběn pálením vápence (zdroj vápníku) s jílem a pískem (zdroj křemíku), čímž vzniká slínek, ke kterému se během procesu mletí přidává sádrovec jako regulátor tuhnutí.

Po interakci cementu s vodou nastává jeho hydratace, projevující se tuhnutím a tvrdnutím cementové pasty. Studium těchto procesů je velmi obtížné, neboť vznikají fáze, které se často vyznačují rentgenamorfní povahou, takže je není možno přesně stanovit (tedy blíže identifikovat). Pouze některé složky cementu jako například portlandit Ca(OH)_2 , ettringit $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$ a další fáze se vyznačují krystalickými útvary, i když do jisté míry mohou vykazovat amorfni charakter. Mezi novotvary vzniklé hydratací cementu, které jsou v převážné míře amorfni, zařazujeme vápenaté hydrosilikáty. [4;5]

2.9 Hořečnatá maltovina

Hořečnatá maltovina (Sorelova) je vzdušná maltovina ve složení směs MgO + roztok chloridu hořečnatého (MgCl_2), nebo oxidu hořečnatého (roztok MgSO_4). Sorelův cement je hořečnaté pojivo užívané ve stavebnictví. Tvrďne na velmi pevnou hmotu, která dosahuje pevnosti v tlaku až 150 MPa podle plniva. Chemická podstata závisí na poměru surovin a koncentraci MgCl_2 . Čím je větší koncentrace MgCl_2 , tím maltovina pomaleji tuhne, ale má větší pevnost.

Při hydrataci vzniká sloučenina $5\text{Mg(OH)}_2\cdot\text{MgCl}_2\cdot7\text{H}_2\text{O}$ (hydroxid chlorid hořečnatý). Maltovina je málo odolná proti H^+ a OH^- , proto je nutno vně nebo vnitřně hydrofobizovat. Vlastnosti maltoviny se mění, v závislosti na plnivu lze získat hotové výrobky nízkopevnostní (křemelinový písek), tepelně izolační (korek, piliny).

Sorelův cement vyniká pevností, odolností proti vlhkosti, objemovou stálostí a dobrou afinitou k organickým materiálům, u nichž navíc výrazně zvyšuje požární odolnost. Nevýhodou je jeho chemická agresivita vůči kovům, zejména oceli, na níž způsobuje intenzivní korozi. Využívá se jako pojivo pro desky s organickým plnivem, například heraklitové desky. Dříve se používal pro přípravu malty a stavebních tmelů. Dnes je prakticky nahrazen akrylátovými pryskyřicemi. Jako pojivo se používal k přípravě xylolitu.[4]

2.10 Kamenivo pro lehké betony

Kamenivo do lehkých betonů je pórovité s objemovou hmotností do 2000 kg/m^3 , nebo jeho sypná hmotnost není větší než 1200 kg/m^3 . Používají se přírodní horniny, upravené průmyslové odpady a umělá pórovitá kameniva.

Mezi přírodní pórovitá kameniva patří například vulkanické tufy a tufity, vápenné tufy, vulkanická láva a pemza, spongility (písčité slíny, křemičité vápence) a také diatomity (křemelina), které vznikají sedimentací křemičitých skořápek s odumřelými rozsivkami a jílovitých látek.

Z upravených průmyslových odpadů používáme pouze kameniva s nízkou měrnou aktivitou Ra226, která nesmí překročit hygienický limit 120 Bq/kg. Používají se proto například sbalkované spékané popílky, jež se vyrábí ze směsi popílku a vody, a vzniklé granule se vypalují. Dále jsou to popílky sbalkované vyráběné za studena, škvára, která je odpadem po spalování uhlí, cihelná drť, připravená drcením zlomků cihel nebo cihelné suti, a agloporit.

Umělá kameniva z přírodních zdrojů jsou využívána pro izolační malty nebo konstrukčně-izolační betony. Zástupci jsou expandovaný perlit vyráběný výpalem perlitu (vulkanické sklo), expandovaný vermikulit vyráběný rychlým výpalem rozdrčené slídy, expandit vyráběný z břidlice, která výpalem zvětší svůj objem, a keramzit (LIAPOR) vyráběný ze snadněji tavitelných jílu, které se v žáru nadýmají.[6]

3 Experimentální část

V první části experimentů jsem prověřovala a zjišťovala vlastnosti a charakteristiky použitých surovin pro moje zkoušky. Jednalo se zejména o různé druhy pórovitého kameniva s adsorpčními schopnostmi v návaznosti na kameniva nevhodná, jako je například písek pro možnost vzájemného porovnání zjišťovaných výsledků. V neposlední řadě jsem též prověřovala i různé druhy pojiv pro dosažení vhodné adsorpce v návaznosti na tlakové pevnostní charakteristiky připravovaných směsí i kompatibilitnost pojiv a kameniva.

3.1 Suroviny pro zkoušky

Mezi základní suroviny, které byly používány pro testované směsi, patřily uvedené různé druhy pórovitých kameniv a pro porovnání i klasický betonářský písek, cement, metakaolin, hořečnatá maltovina, dále aktivační přísady NaOH, Ca(OH)₂, vodní sklo a voda.

3.1.1 Kamenivo pro zkoušky

Vlastní zkoušky byly prováděny za použití různých druhů kameniva, a to kamenivo hutné jako byl písek, pro možnost posouzení výsledků hydratačních tepel dalších kameniv pórovitého charakteru, které byly nosnou kóstrou celého systému zkoušek. Popis, rozdělení a vlastnosti použitého kameniva je uveden v následujícím rozdělení.

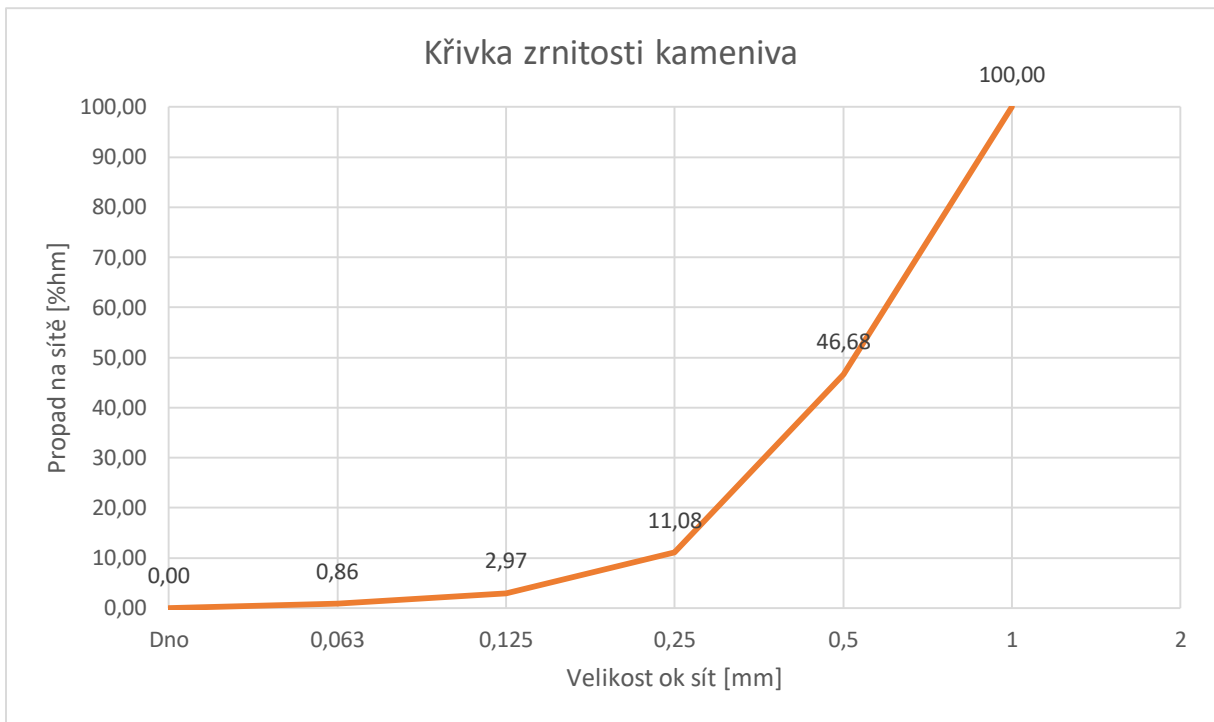
3.1.1.1 Písek z laboratoře

Pro zkoušky bylo použito hutné kamenivo – písek frakce 0–1 mm žluté barvy z laboratoře betonu. Písek byl vždy použit jako startovací kamenivo pro výrobu zkoušených směsí a použitého pojiva.

Tabulka 1: Kamenivo z laboratoře pro zkoušky směsí

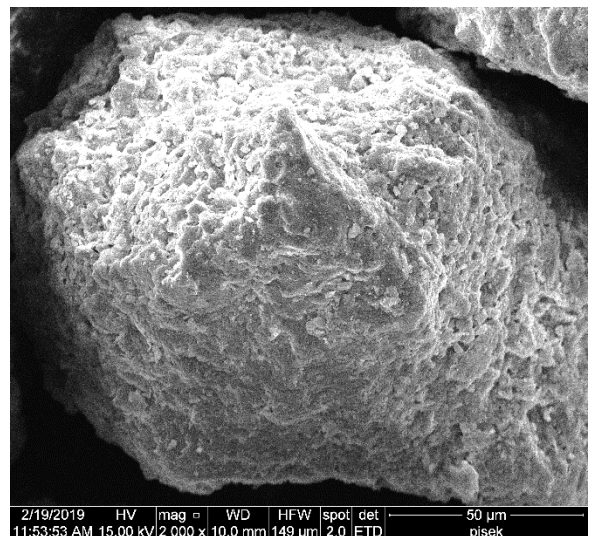
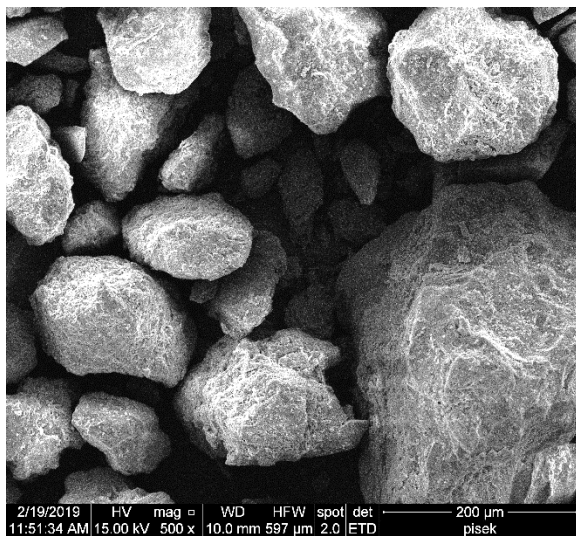
Velikost ok sít [mm]	Zbytky na sítích v			Propad sítím
	[g]	[%]	Nadčítaně v [%]	
1,000	0,0	0,00	0,00	100,00
0,500	273,3	53,32	53,32	46,68
0,250	182,5	35,60	88,92	11,08
0,125	41,6	8,12	97,03	2,97
0,063	10,8	2,11	99,14	0,86
Dno	4,4	0,86	100,00	0,00

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 1: Křivka zrnitosti kameniva z laboratoře

Zdroj: Vlastní šetření



Na tomto obrázku je znázorněna mikrostruktura zrna použitého základního kameniva – tedy písku z laboratoře frakce 0–1 mm.

Obr. 1: Mikrostruktura písku frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

3.1.1.2 Zeolit

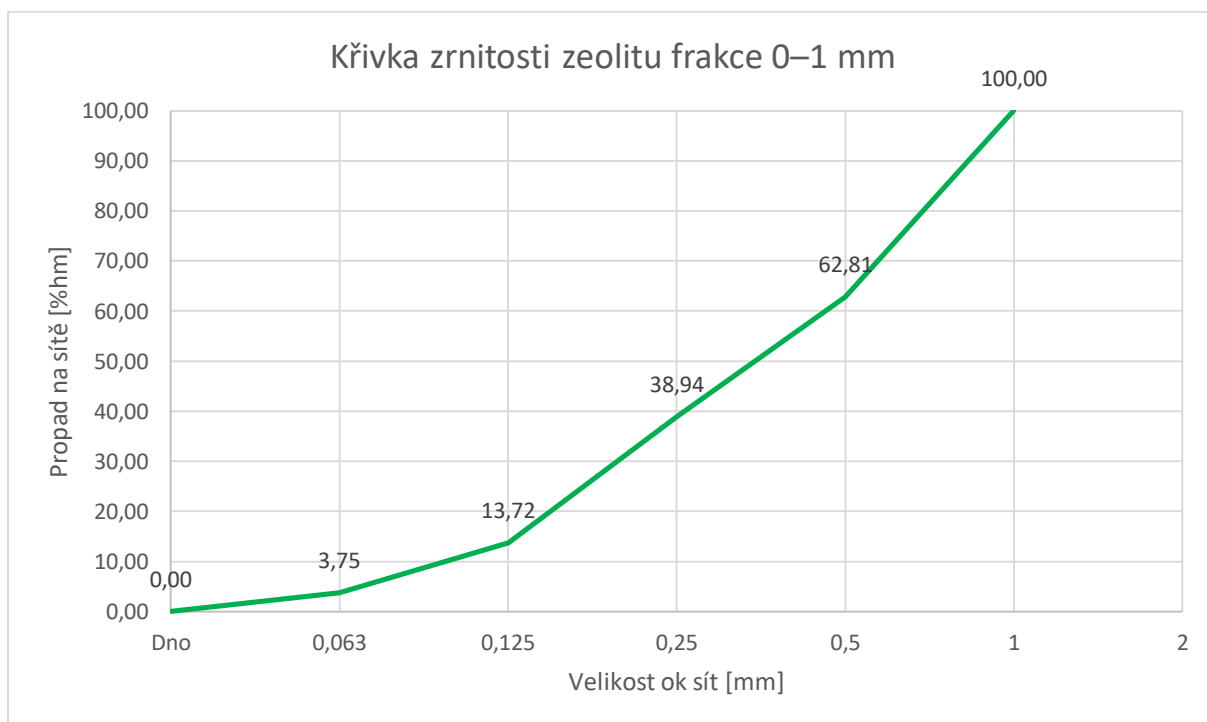
Pro vlastní zkoušky jsem použila druh zeolitu zvaný klinoptilolit, poskytnutý firmou ZEOCEM a. s. Klinoptilolit zpravidla vytváří zrnité a celistvé agregáty složené z velmi jemných lupenitých krystalů. Je průhledný, bílý, šedý, narůžovělý až červený. Má značný praktický význam ve stavebnictví, zemědělství a v průmyslu kvůli svým vlastnostem.

Zkoušky adsorpce kameniva (zeolitu) jsem provedla se třemi zrnitostními frakcemi, a to s frakcí 4–8 mm, 0–1 mm a 0–20 μm . Pro výrobu zkušebních tělísek jsem z důvodu malého rozměru forem 20x20x20 mm použila pouze frakci zeolitu 0–1 mm a 0–20 μm .

Tabulka 2: Zrnitost zeolitu frakce 0–1 mm

Velikost ok sít [mm]	Zbytky na sítích v		Propad sítím	
	[g]	[%]	Nadčítaně v [%]	
1,000	0,0	0,00	0,00	100,00
0,500	178,4	37,19	37,19	62,81
0,250	114,5	23,87	61,06	38,94
0,125	121,0	25,22	86,28	13,72
0,063	47,8	9,96	96,25	3,75
Dno	18,0	3,75	100,00	0,00

Zdroj: Vlastní šetření

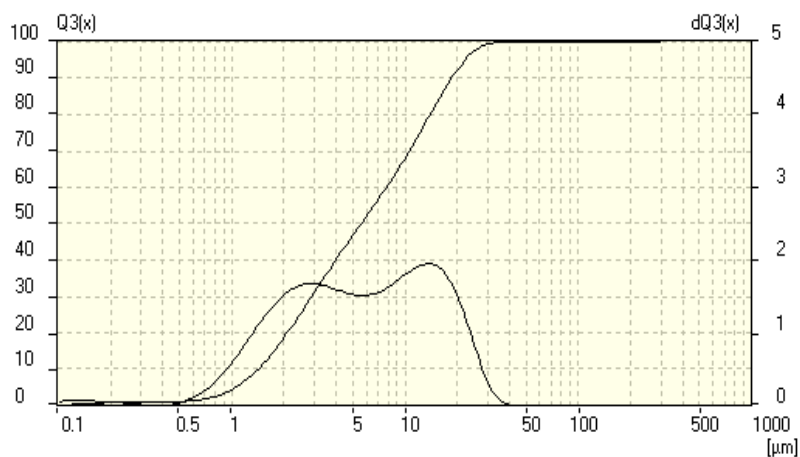


Graf 2: Křivka zrnitosti zeolitu frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

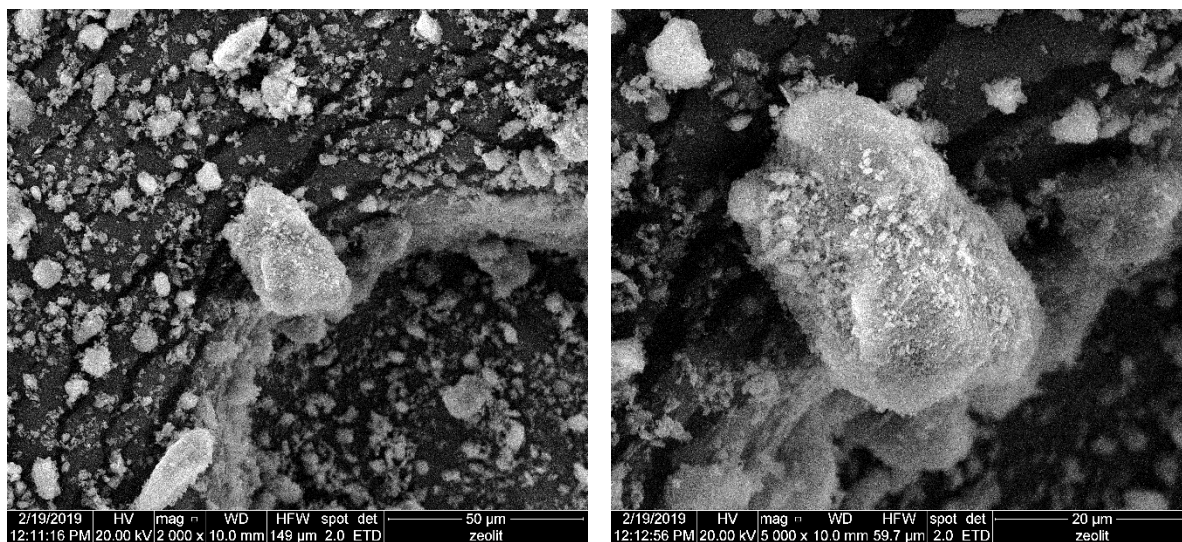
Interpolation Values... C:\Program Files\va22_32\writsch\micron-sizes.FPS								
0.100-	0.200µm=	0.77%	0.200-	0.300µm=	0.22%	0.300-	0.400µm=	0.02%
0.400-	0.500µm=	0.05%	0.500-	0.600µm=	0.22%	0.600-	0.700µm=	0.44%
0.700-	0.800µm=	0.67%	0.800-	0.900µm=	0.87%	0.900-	1.000µm=	1.04%
1.000-	2.000µm=	14.29%	2.000-	3.000µm=	12.47%	3.000-	4.000µm=	9.06%
4.000-	5.000µm=	6.69%	5.000-	6.000µm=	5.20%	6.000-	8.000µm=	8.60%
8.000-	10.000µm=	7.30%	10.000-	20.000µm=	24.38%	20.000-	30.000µm=	7.09%
30.000-	40.000µm=	0.59%	40.000-	50.000µm=	0.00%	50.000-	60.000µm=	0.00%
60.000-	80.000µm=	0.00%	80.000-	100.000µm=	0.00%	100.000-	200.000µm=	0.00%
200.000-	300.000µm=	0.00%	300.000-	400.000µm=	***	400.000-	500.000µm=	***
500.000-	600.000µm=	***	600.000-	800.000µm=	***			

Interpolation Values... C:\Program Files\va22_32\writsch\five-percent-steps.FPV								
1.0 %	<=	0.315 µm	2.0 %	<=	0.745 µm	5.0 %	<=	1.059 µm
10.0 %	<=	1.424 µm	15.0 %	<=	1.758 µm	20.0 %	<=	2.094 µm
25.0 %	<=	2.472 µm	30.0 %	<=	2.897 µm	35.0 %	<=	3.383 µm
40.0 %	<=	3.983 µm	45.0 %	<=	4.700 µm	50.0 %	<=	5.579 µm
55.0 %	<=	6.626 µm	60.0 %	<=	7.844 µm	65.0 %	<=	9.167 µm
70.0 %	<=	10.612 µm	75.0 %	<=	12.197 µm	80.0 %	<=	13.966 µm
85.0 %	<=	15.998 µm	90.0 %	<=	18.525 µm	95.0 %	<=	22.088 µm
98.0 %	<=	25.998 µm						



Graf 3: Granulometrické složení zeolitu frakce 0–20 µm

Zdroj: Vlastní šetření



Zde je vidět mikrostruktura zrna zeolitu frakce 0–20 µm

Obr. 2: Mikrostruktura zeolitu frakce 0–20 µm

Zdroj: Vlastní šetření

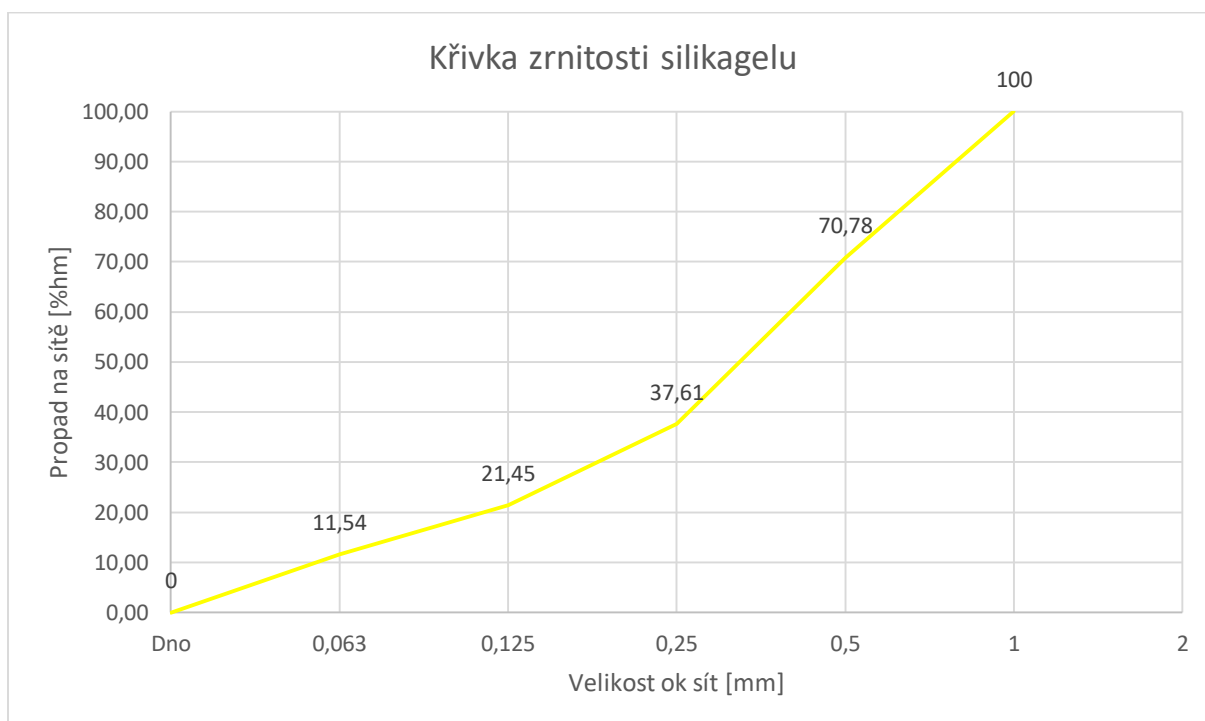
3.1.1.3 Silikagel

Silikagel je granulovitá, pórovitá forma oxidu křemičitého (SiO_2), která se synteticky vyrábí z křemičitanu sodného. Má vysokou poréznost, která právě umožňuje snadné absorbování vody, a proto je silikagel vhodný jako pohlcovač vlhkosti. Je schopen snížit vlhkost v uzavřeném systému až na 40 %. Po nasycení vlhkostí či vodou lze silikagel regenerovat neboli vysušit při ohřátí na 120–150 °C. Také je netoxický, nehořlavý a chemicky vysoce inertní. Běžný silikagel pojme množství vody, které odpovídá přibližně 20 % jeho hmotnosti.

Tabulka 3: Zrnitost silikagelu frakce 0–1 mm

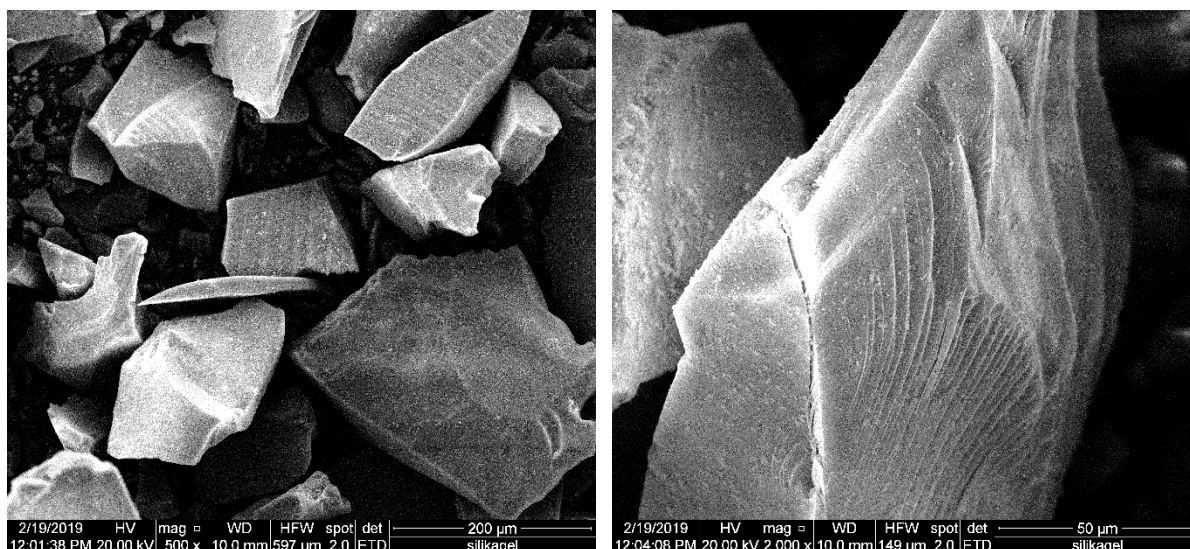
Velikost ok sít [mm]	Zbytky na sítích v		Propad sítím	
	[g]	[%]	Nadčítaně v [%]	
1,000	0,0	0,00	0,00	100,00
0,500	51,9	29,22	29,22	70,78
0,250	58,9	33,16	62,39	37,61
0,125	28,7	16,16	78,55	21,45
0,063	17,6	9,91	88,46	11,54
Dno	20,5	11,54	100,00	0,00

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 4: Křivka zrnitosti silikagelu frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření



Mikrostruktura zrn drceného silikagelu o velikosti částic 0–1 mm

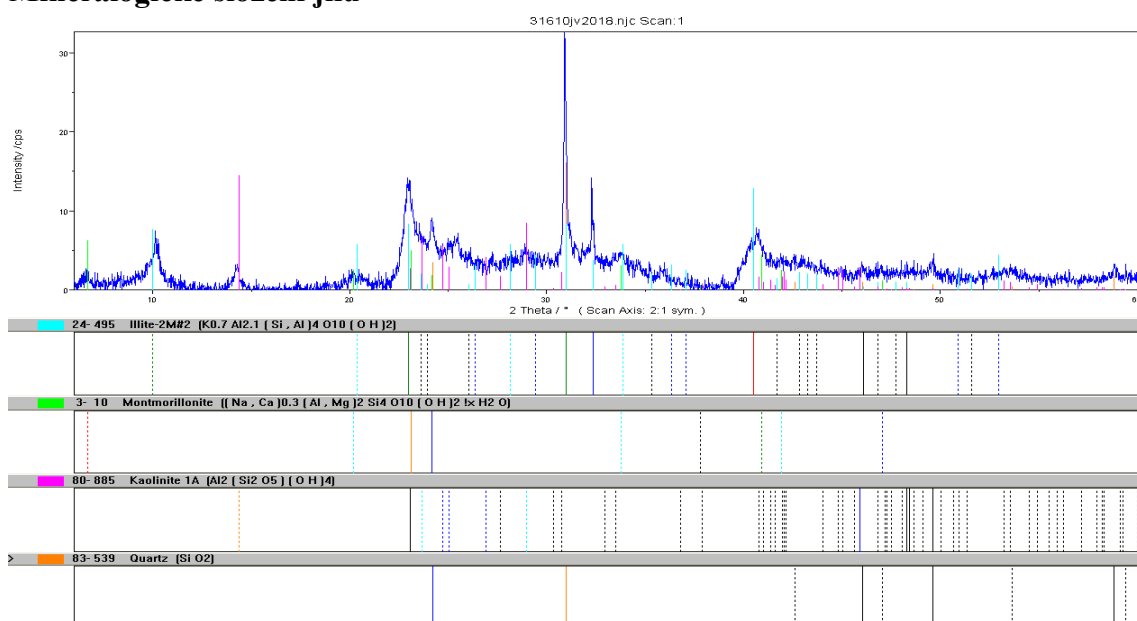
Obr. 3: Mikrostruktura silikagelu frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

3.1.1.4 Jíl

Jíl je přírodní bentonit, který má absorpční schopnosti, je ekologicky nezávadný. Vzorek byl odebrán z výroby ve Velkém Chvojně a byla na něm prováděna zkouška mineralogického složení, jak je uvedeno v následujícím rentgenogramu, a současně byl také proveden síťový rozbor jako u předchozích druhů kameniva.

Mineralogické složení jílu



Obr. 4: RTG jílu

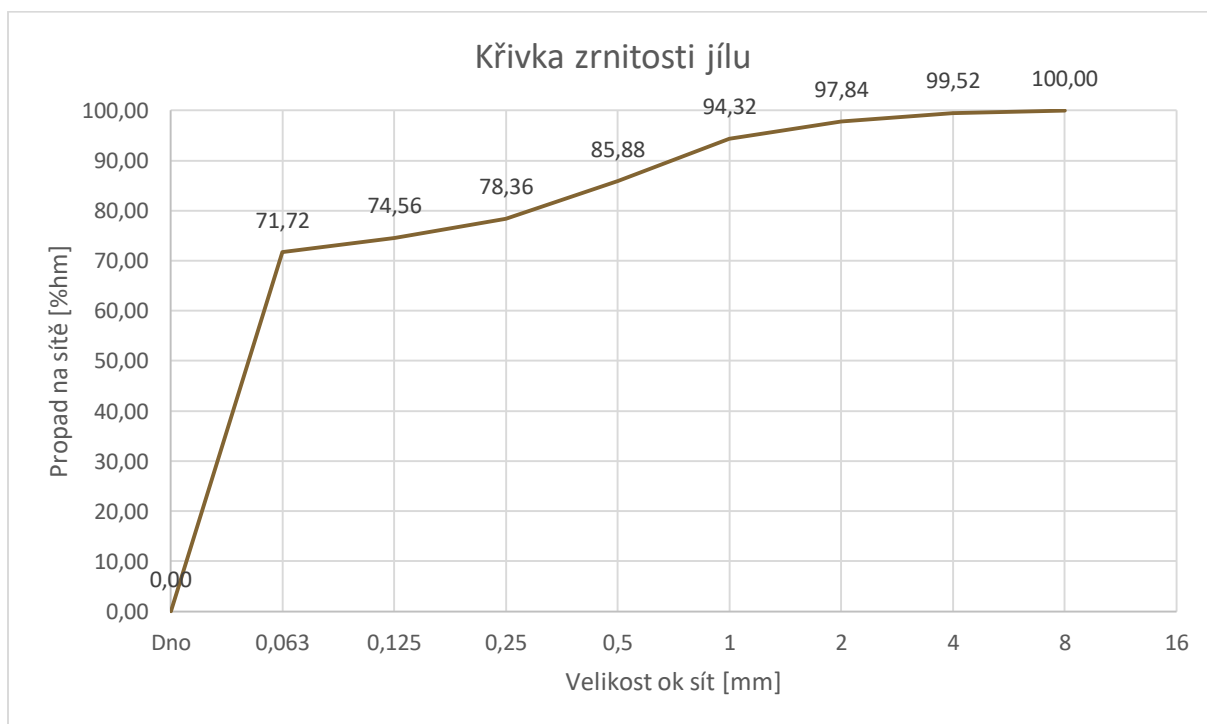
Zdroj: Vlastní šetření

Jak vyplývá z přiloženého rentgenogramu, použitý jííl obsahuje několik jíilových minerálů, zhruba ve stejných podílech. Ve vzorku jíilu se vyskytuje zejména illit z rozpadu slídových minerálů, montmorillonit a kaolinit z rozpadu živcových hornin, a křemen, který je běžně přítomen v zemské kůře a tedy i v jíilových minerálech.

Tabulka 4: Zrnitost jíilu

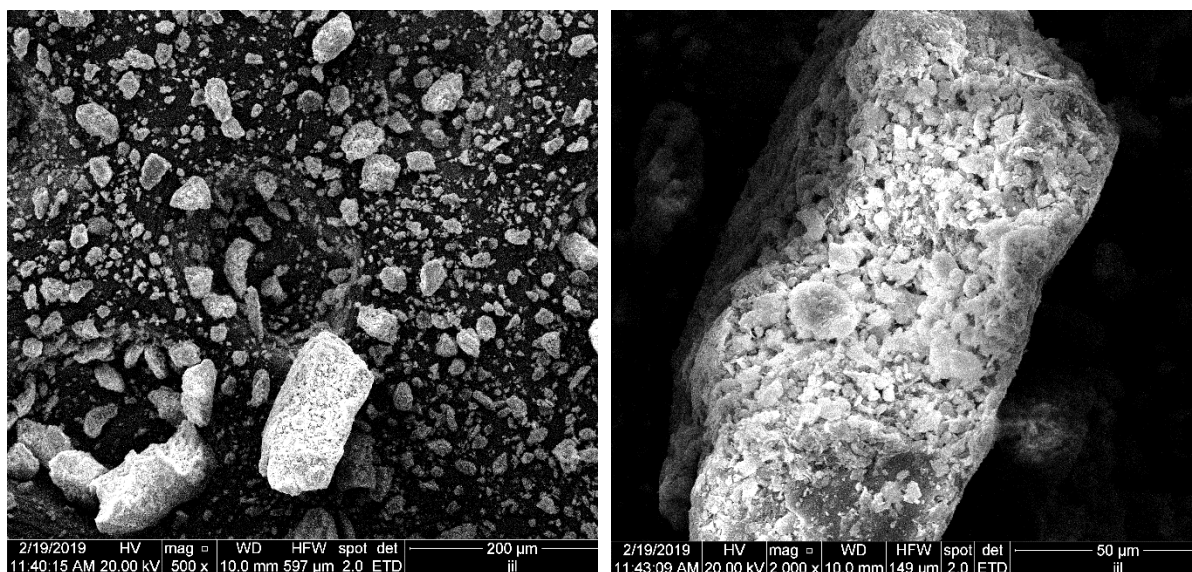
Velikost ok sítě [mm]	Zbytky na sítích v			Propad sítím
	[g]	[%]	Nadčítaně v [%]	
8,000	0,0	0,00	0,00	100,00
4,000	1,2	0,48	0,48	99,52
2,000	4,2	1,68	2,16	97,84
1,000	8,8	3,52	5,68	94,32
0,500	21,1	8,44	14,12	85,88
0,250	18,8	7,52	21,64	78,36
0,125	9,5	3,80	25,44	74,56
0,063	7,1	2,84	28,28	71,72
Dno	179,3	71,72	100,00	0,00

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 5: Křivka zrnitosti jíilu

Zdroj: Vlastní šetření



Mikrostruktura jílu použitého pro přípravu zkušebních tělísek

Obr. 5: Mikrostruktura jílu frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

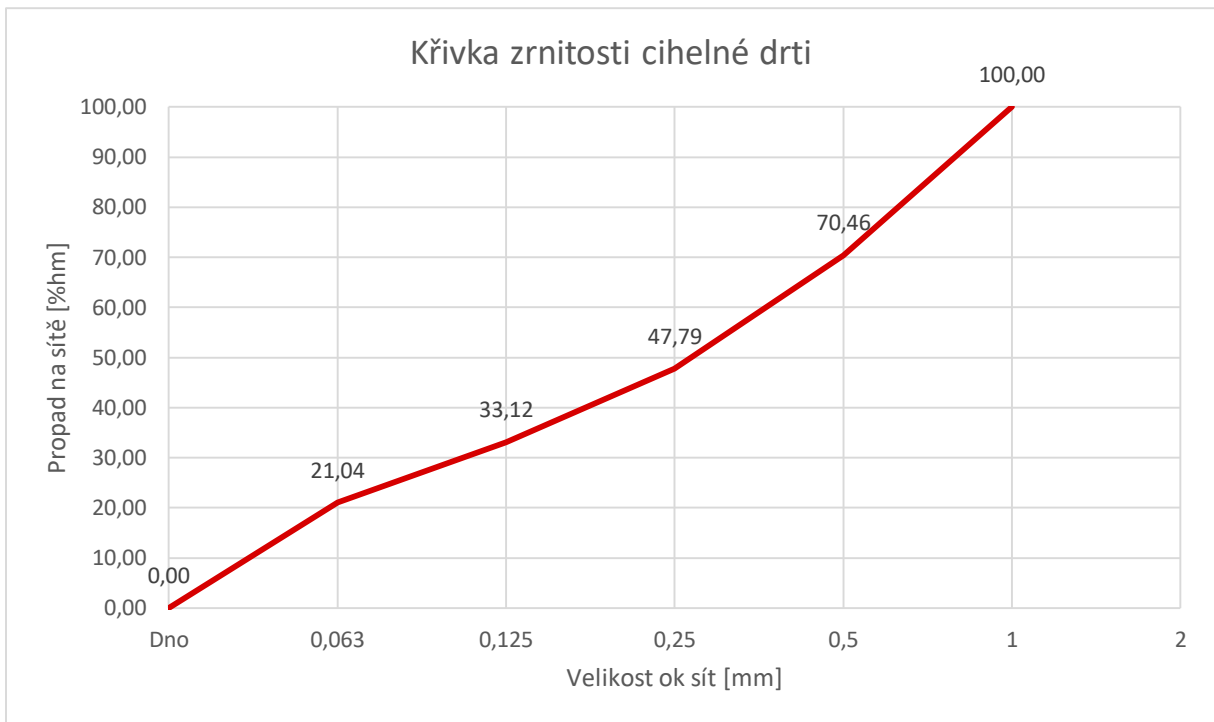
3.1.1.5 Cihelná drť

Cihelná drť byla vyrobena rozemletím běžně dostupných cihel plných pro zdění.

Tabulka 5: Zrnitost cihelné drti

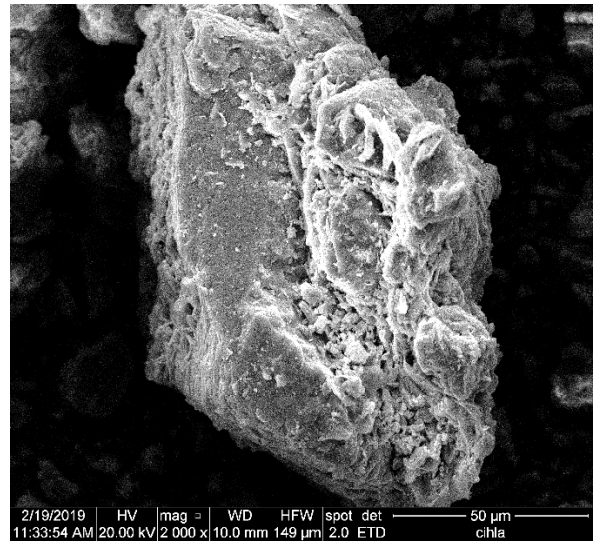
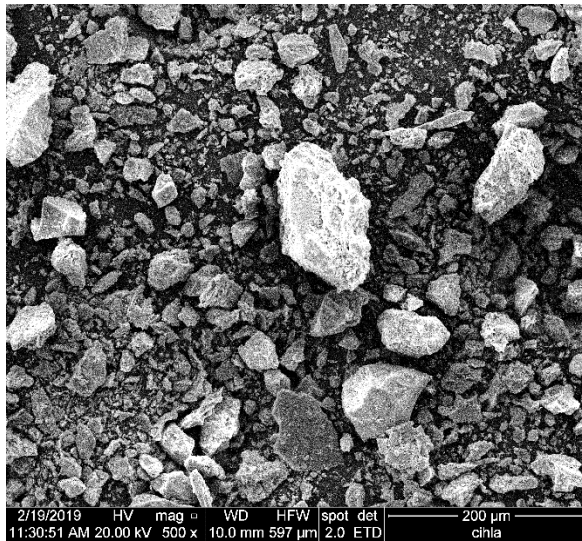
Velikost ok sít [mm]	Zbytky na sítích v			Propad sítím
	[g]	[%]	Nadčítaně v [%]	
1	0,0	0,00	0,00	100,00
0,5	157,7	29,54	29,54	70,46
0,25	121,0	22,67	52,21	47,79
0,125	78,3	14,67	66,88	33,12
0,063	64,5	12,08	78,96	21,04
Dno	112,3	21,04	100,00	0,00

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 6: Křivka zrnitosti cihelné drti

Zdroj: Vlastní šetření



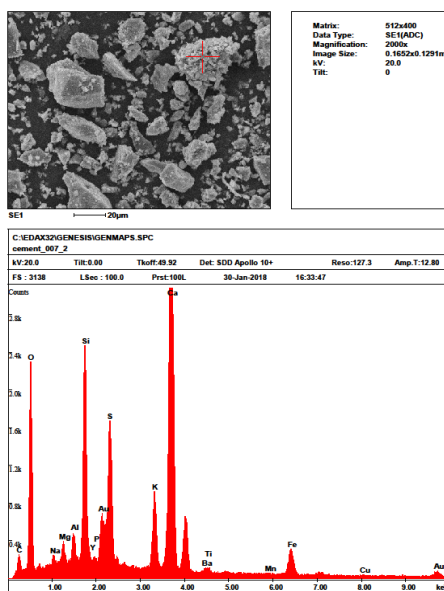
Mikrostruktura cihelné drti použité na přípravu vzorků

Obr. 6: Mikrostruktura cihelné drti frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

3.1.2 Cement

Používala jsem cement CEM I 42,5 R s měrným povrchem 320–380 m²/kg. EN 197-1. Výrobce: Spenner Zementwerk Berlin [6]. Mikrostruktura cementu a jeho chemické složení je uvedeno na obrázku 7.



Shluk jemných zrn PC slinku a regulátoru tuhnutí sádrovce, což vychází z prvkového diagramu s majoritním zastoupením Ca, Si, S a O.

Obr. 7: Mikrostruktura silikagelu frakce 0–1 mm

Zdroj: [7]

3.1.3 Aktivační přísady

Jako aktivační přísady byly používány roztoky hydroxidů alkalických kovů (10–15 M), a to zejména hydroxid sodný, eventuálně v kombinaci s hydroxidem draselným. Silně alkalické prostředí (pH>13) je nutné pro reakční procesy alkalické aktivace. Vzhledem k nízké ceně bude jejich dostupnost použitím optimální. Pro naše kompozity byly používány tyto hydroxidy jakosti technické, event. chemicky čisté, což plně postačovalo pro naše použití. Do kompozitů byly přidávány formou roztoků v kapalně složce směsi. [8]

3.1.3.1 Hydroxid sodný

Hydroxid sodný NaOH neboli louh je silně zásaditá anorganická aktivační látka přidávaná do směsí/roztoků pro zvýšení alkality roztoku. Používaný hydroxid sodný pro zkoušky byl technický. [1]

3.1.3.2 Vodní sklo

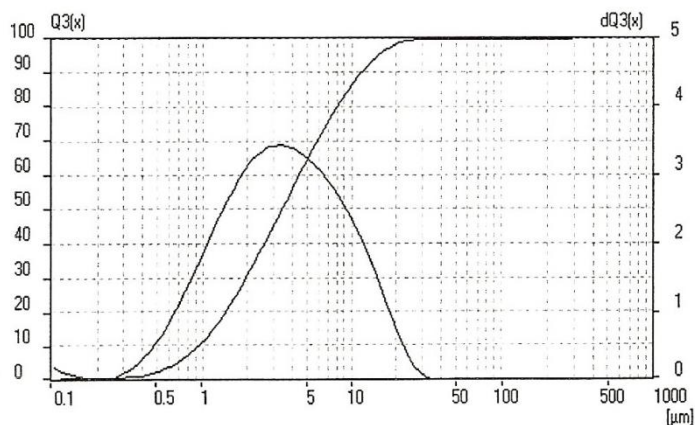
Vodní sklo Na_2SiO_3 je zásaditá aktivační látka s obsahem amorfního SiO_2 . Distributor: BARVY A LAKY HOSTIVARĚ a.s., Průmyslová 1472/11, 102 19, Praha 10, ČR.

3.1.4 Metakaolin

Metakaolin (MK) je pucolán vyrobený výpalem kaolínů v teplotním rozmezí 600–900 °C. Používaný metakaolin byl sedlecký (světlý) s měrným povrchem 30 000 m^2/kg . [1]

Interpolation Values... C:\Program Files\la22 32\fritsch\micron-sizes.FPS											
***** %	<=	0.100 μm	0.5 %	<=	0.200 μm	0.7 %	<=	0.300 μm			
1.2 %	<=	0.400 μm	2.2 %	<=	0.500 μm	3.6 %	<=	0.600 μm			
5.3 %	<=	0.700 μm	7.1 %	<=	0.800 μm	9.0 %	<=	0.900 μm			
11.0 %	<=	1.000 μm	30.6 %	<=	2.000 μm	45.3 %	<=	3.000 μm			
56.0 %	<=	4.000 μm	64.3 %	<=	5.000 μm	70.6 %	<=	6.000 μm			
79.8 %	<=	8.000 μm	86.1 %	<=	10.000 μm	98.3 %	<=	20.000 μm			
99.9 %	<=	30.000 μm	100.0 %	<=	40.000 μm	100.0 %	<=	50.000 μm			
100.0 %	<=	60.000 μm	100.0 %	<=	80.000 μm	100.0 %	<=	100.000 μm			
100.0 %	<=	200.000 μm	***** %	<=	300.000 μm	***** %	<=	400.000 μm			
***** %	<=	500.000 μm	***** %	<=	600.000 μm	***** %	<=	800.000 μm			

Interpolation Values... C:\Program Files\la22 32\fritsch\five-percent-steps.FPV											
1.0 %	<=	0.369 μm	2.0 %	<=	0.480 μm	5.0 %	<=	0.684 μm			
10.0 %	<=	0.949 μm	15.0 %	<=	1.195 μm	20.0 %	<=	1.442 μm			
25.0 %	<=	1.700 μm	30.0 %	<=	1.970 μm	35.0 %	<=	2.276 μm			
40.0 %	<=	2.611 μm	45.0 %	<=	2.977 μm	50.0 %	<=	3.400 μm			
55.0 %	<=	3.894 μm	60.0 %	<=	4.457 μm	65.0 %	<=	5.106 μm			
70.0 %	<=	5.896 μm	75.0 %	<=	6.857 μm	80.0 %	<=	8.052 μm			
85.0 %	<=	9.591 μm	90.0 %	<=	11.738 μm	95.0 %	<=	15.172 μm			
98.0 %	<=	19.210 μm	99.0 %	<=	21.963 μm	100.0 %	<=	48.000 μm			



Graf 7: Granulometrické složení Sedleckého kaolinu I A

Zdroj: [1]

3.1.5 Voda

Záměsová voda byla používána z vodovodního řadu, a to jako hydratační a reologická pro zajištění vhodné konzistence připravovaných směsí, tak i při hydrotermálním zpracování vzorků v autoklávech.

3.2 Stanovení adsorpčního tepla systémů kamenivo a voda

Sorpční teplo, neboli entalpie jednotlivých systémů kamenivo a voda, bylo jedním z nejdůležitějších zjišťovaných parametrů pro moji práci. Na základě naměřených hodnot byly postupně vyselektovány druhy kameniva, které splňují mnou očekávané požadavky pro použití v připravovaných směsích. Jednalo se o měření množství uvolněné tepelné energie při smíchání vhodného suchého kameniva s vodou na základě vztlínání kapilárním systémem. Energii takto vzniklou by recipročně přijímal systém při uvolňování vody z kapilárního řečiště, což by mělo za následek ochlazování výrobků použitých jako architektonických doplňků, nebo konstrukcí v exteriérech event. za zvláštních podmínek i v interiérech.

3.2.1 Stanovení adsorpčního tepla systému písek frakce 0–1 mm a voda

Jako první jsem pro zkoušku použila systém písek-voda, kde jsem předpokládala, jak je uvedeno v úvodu této práce, uvolnění minimálního množství sorpčního tepla. Stanovení sorpčního tepla jsem provedla s vysušeným pískem, který jsem předem vysušila v sušárně při teplotě 50, 100, a 150 °C po dobu 12 hod. Po vysušení jsem vzorky nechala vytemperovat na laboratorní teplotu v exsikátoru s náplní vysušeného silikagelu, který zjišťoval požadované vlhkostní podmínky při chladnutí vzorku. Pro zkoušku jsem dále použila vodu vytemperovanou na teplotu laboratoře, kdy pro jednu zkoušku potřebuji 2 x 200 ml. Na připravených vytemperovaných vzorcích byla provedena zkouška sorpčního tepla připraveného systému.

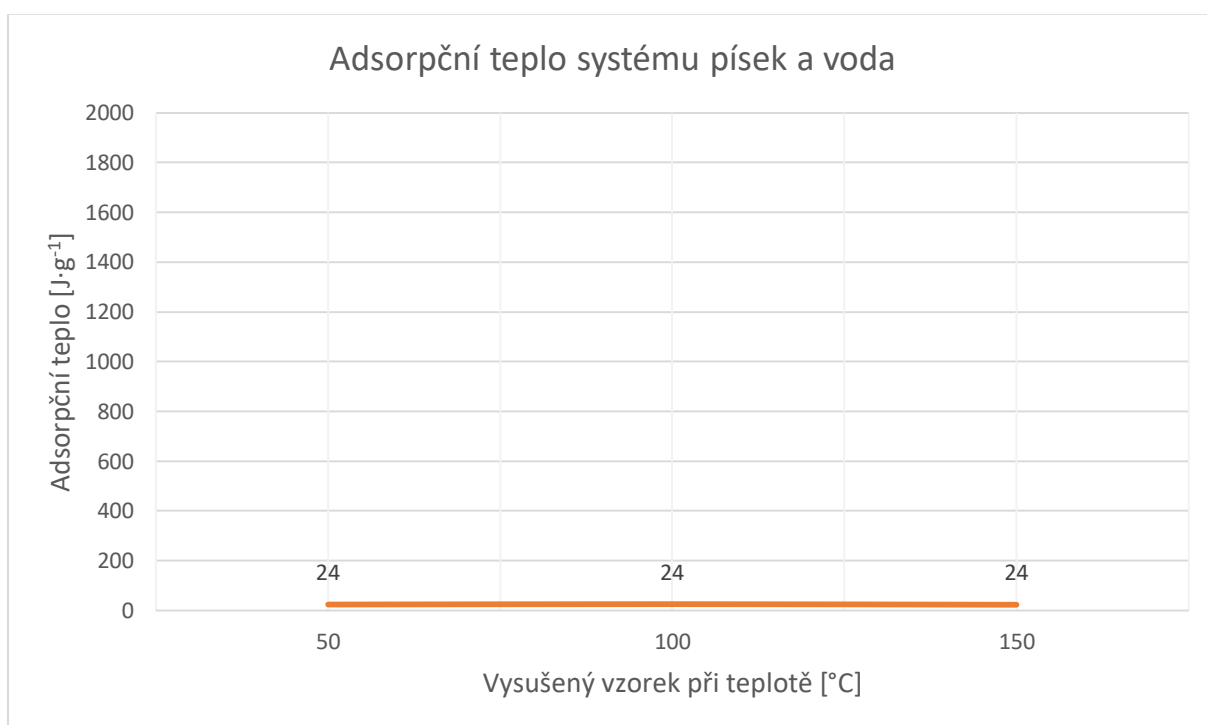
Vlastní zkouška probíhala tak, že jsem nejdříve odměřila 200 ml vody do kádinky o jmenovitém objemu 1 litr, kterou jsem si připravila na elektromagnetické míchadlo a k němu připevnila rtuťový teploměr s požadovanou přesností 0,1 °C. Na dno nádoby jsem umístila míchadlo, které jsem zapnutím přístroje roztočila. Následně jsem změřila teplotu vody v nádobě s přesností na 0,1 °C. Jako další jsem změřila teplotu vzorku v exsikátoru, také s přesností na 0,1 °C. Tyto hodnoty jsou mými počátečními hodnotami měření pro určení sorpčního tepla. Dále jsem odvážila 60 g kameniva na digitální váze a připravila ho pro následující kroky. Odměřené kamenivo jsem vsypala do kádinky na elektromagnetickém míchadle a pozorovala nárůst teploty na rtuťovém teploměru a zaznamenávala nejvyšší naměřenou hodnotu. Na závěr jsem přilila dalších 200 ml vody do nádoby s kamenivem a vodou a pozorovala změnu teploty v nádobě, kde teplota klesala a po jejím ustálení jsem zapsala konečnou teplotu.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na zrnitosti písku o frakci 0–1 mm jsou uvedeny v následující tabulce č. 6 ze které vychází i příslušný graf č. 8.

Tabulka 6: Zjišťování adsorpčního tepla písku frakce 0–1 mm a vody

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Sorpční teplo kameniva Q [kJ]	
	Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	60	200	24,7	22,8	22,9	22,4	1,45	24
100	60	200	24,7	22,7	22,8	22,3	1,45	24
150	60	200	24,7	22,8	22,9	22,5	1,45	24

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 8: Křivka průběhu vývinu adsorpčního tepla u vzorku písku a vody

Zdroj: Vlastní šetření

3.2.2 Stanovení adsorpčního tepla systému zeolit a voda

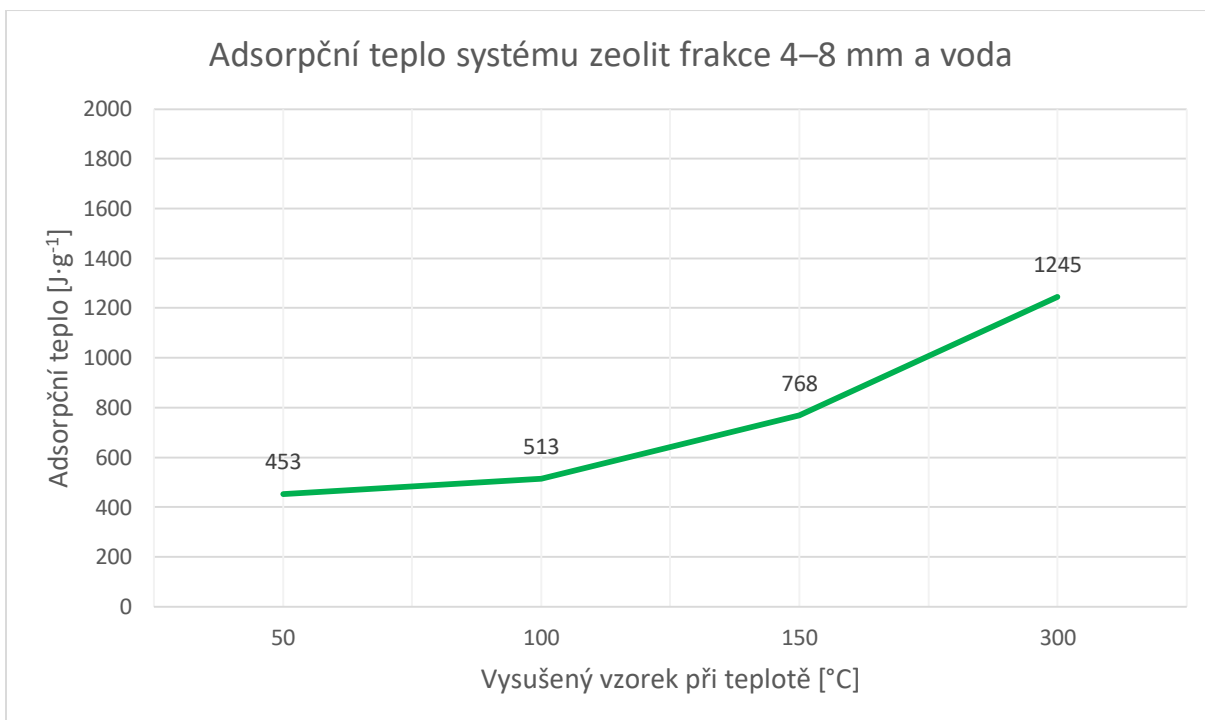
Pro druhou zkoušku jsem použila systém zeolit-voda, kde jsem předpokládala, jak je uvedeno v úvodu této práce, že dojde k uvolnění značného množství sorpčního tepla. Stanovení adsorpčního tepla jsem provedla s vysušeným zeolitem, který jsem předem vysušila v sušárně při teplotě 50, 100, 150 a tentokrát i při teplotě 300 °C po dobu 12 hod.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na třech zrnitostech zeolitu, jsou postupně uvedeny v následujících tabulkách č. 7; 8 a 9, ze kterých vychází i příslušné grafy č. 9; 10 a 11.

Tabulka 7: Zjišťování adsorpčního tepla zeolitu frakce 4–8 mm a vody

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo kameniva Q	
	Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	60	200	23,5	23,8	25,8	24,6	27,20	453
100	60	200	23,5	22,2	24,4	24,1	30,78	513
150	60	200	23,5	23,0	26,3	25,0	46,08	768
300	60	200	24,0	22,4	27,8	25,7	74,70	1245

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 9: Vyhodnocení vývinu adsorpčního tepla systému zeolit frakce 4–8 mm a voda

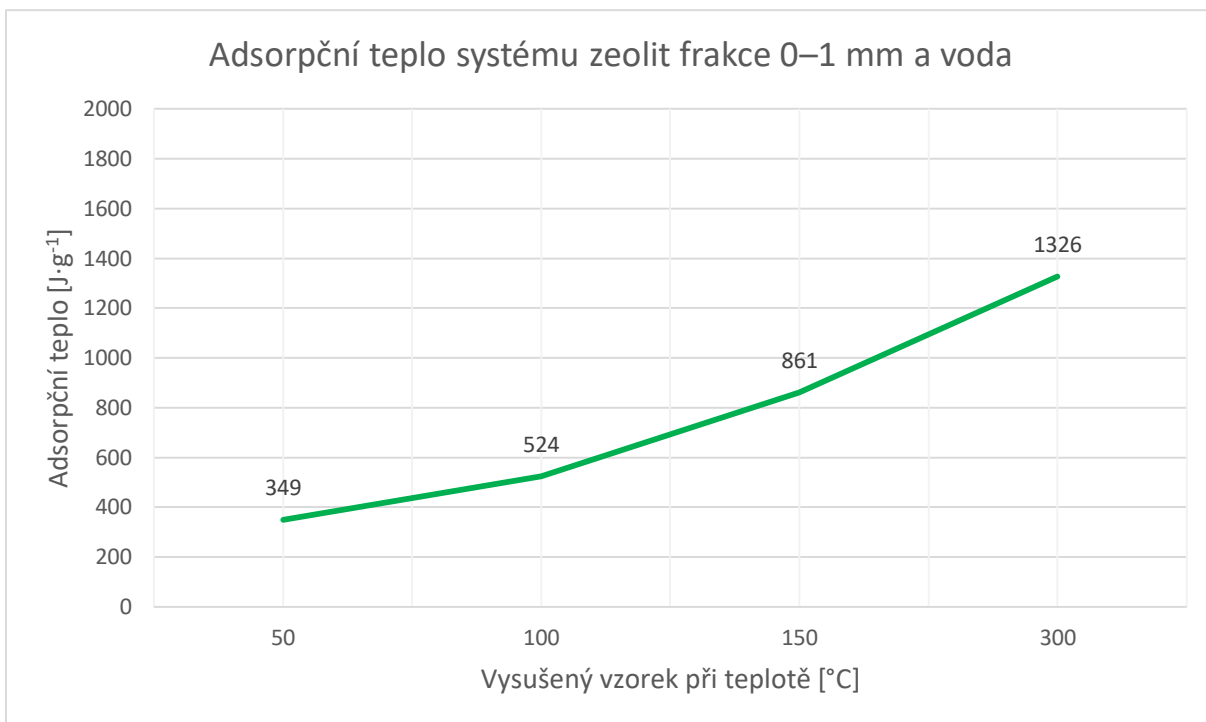
Zdroj: Vlastní šetření

Dále byla prováděna stejná zkouška u zeolitu frakce 0–1 mm z důvodu porovnání nárůstu sorpčního tepla v závislosti na velikosti částic (měrný povrch) zrnitého materiálu.

Tabulka 8: Zjišťování adsorpčního tepla zeolitu frakce 0–1 mm a vody

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo kameniva Q	
	Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	60	200	24,1	22,6	24,1	23,3	20,93	349
100	60	200	24,1	22,5	24,7	24,0	31,41	524
150	60	200	24,1	23,4	27,1	25,2	51,64	861
300	60	200	22,6	21,5	27,2	24,5	79,56	1326

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 10: Vyhodnocení vývinu adsorpčního tepla systému zeolit frakce 0–1 mm a voda

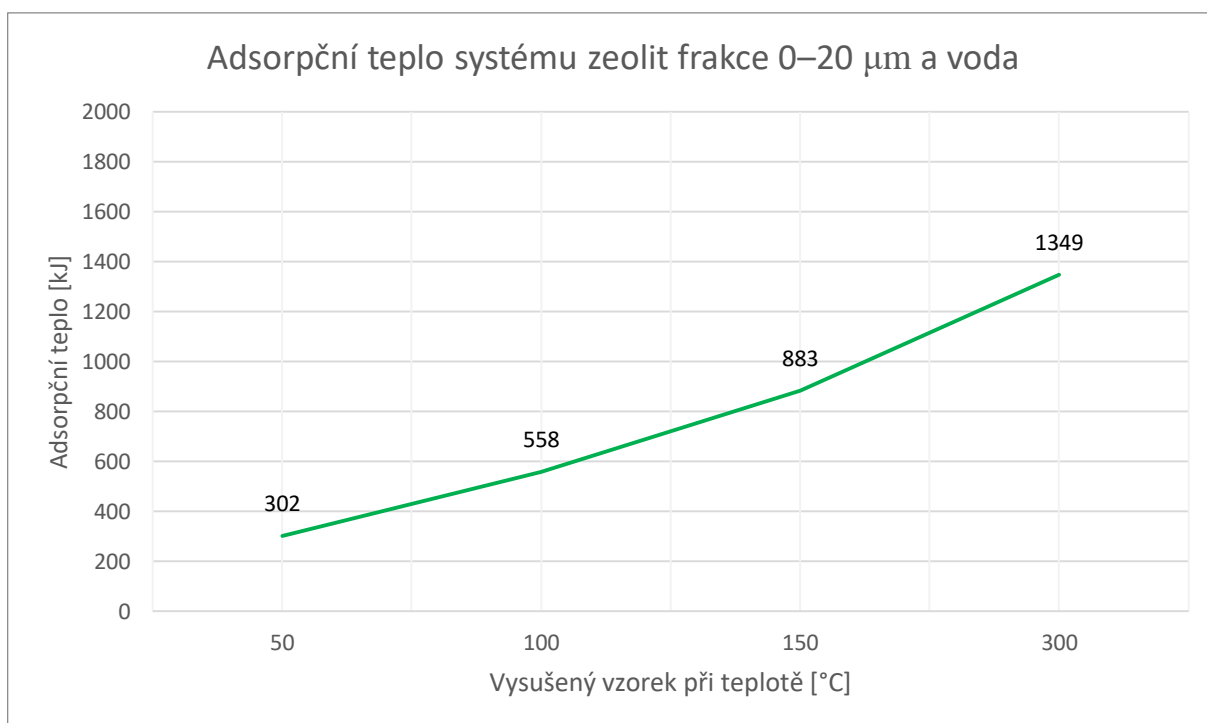
Zdroj: Vlastní šetření

Jako poslední byla u zeolitu prováděna stejná zkouška s frakcí 0–20 μm z důvodu porovnání nárůstu sorpčního tepla v závislosti na velikosti částic (měrný povrch) zrnitého materiálu.

Tabulka 9: Zjišťování adsorpčního tepla zeolitu frakce 0–20 μm a vody

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo kameniva Q	
	Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	60	200	22,5	22,2	23,5	22,8	18,14	302
100	60	200	23,3	21,9	24,3	23,4	33,51	558
150	60	200	23,3	21,8	25,2	21,5	53,00	883
300	60	200	21,6	20,2	26,0	23,3	80,96	1349

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 11: Vyhodnocení vývinu sorpčního tepla systému zeolit frakce 0–20 μm a voda

Zdroj: Vlastní šetření

3.2.3 Stanovení adsorpčního tepla systému silikagel frakce 0–1 mm a voda

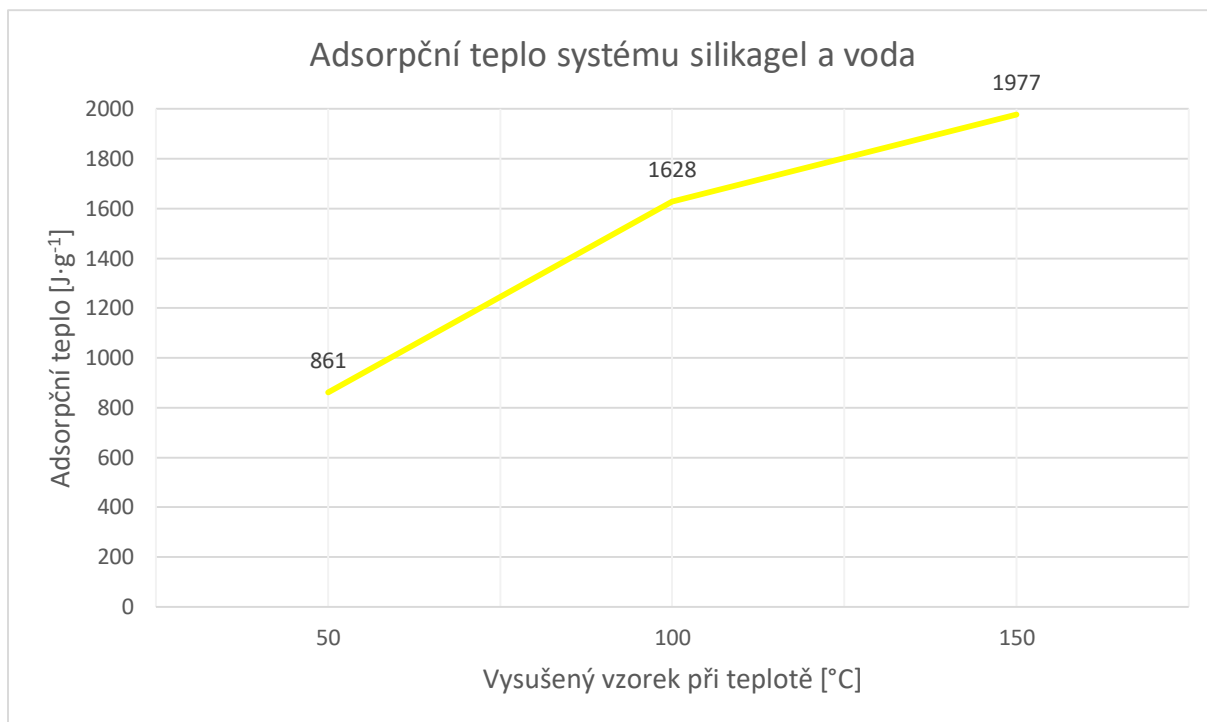
Dalším zkoušeným systémem byl systém silikagel-voda, kde jsem předpokládala uvolnění velkého množství sorpčního tepla. Stanovení jsem provedla s vysušeným silikagelem, který jsem předem vysušila v sušárně při teplotě 50, 100 a 150 °C po dobu 12 hod.

Naměřené hodnoty tohoto systému jsou uvedeny v následující tabulce č. 10, ze které vychází i příslušný graf č. 12.

Tabulka 10: Zjišťování adsorpčního tepla silikagelu frakce 0–1 mm a vody

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo kameniva Q	
	Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	60	200	23,8	22,7	26,4	24,6	51,64	861
100	60	200	22,5	21,5	28,5	24,5	97,67	1628
150	60	200	23,1	22,1	30,6	26,0	118,61	1977

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 12: Vyhodnocení vývinu adsorpčního tepla systému silikagel frakce 0–1 mm a voda

Zdroj: Vlastní šetření

3.2.4 Stanovení adsorpčního tepla systému jíl a voda

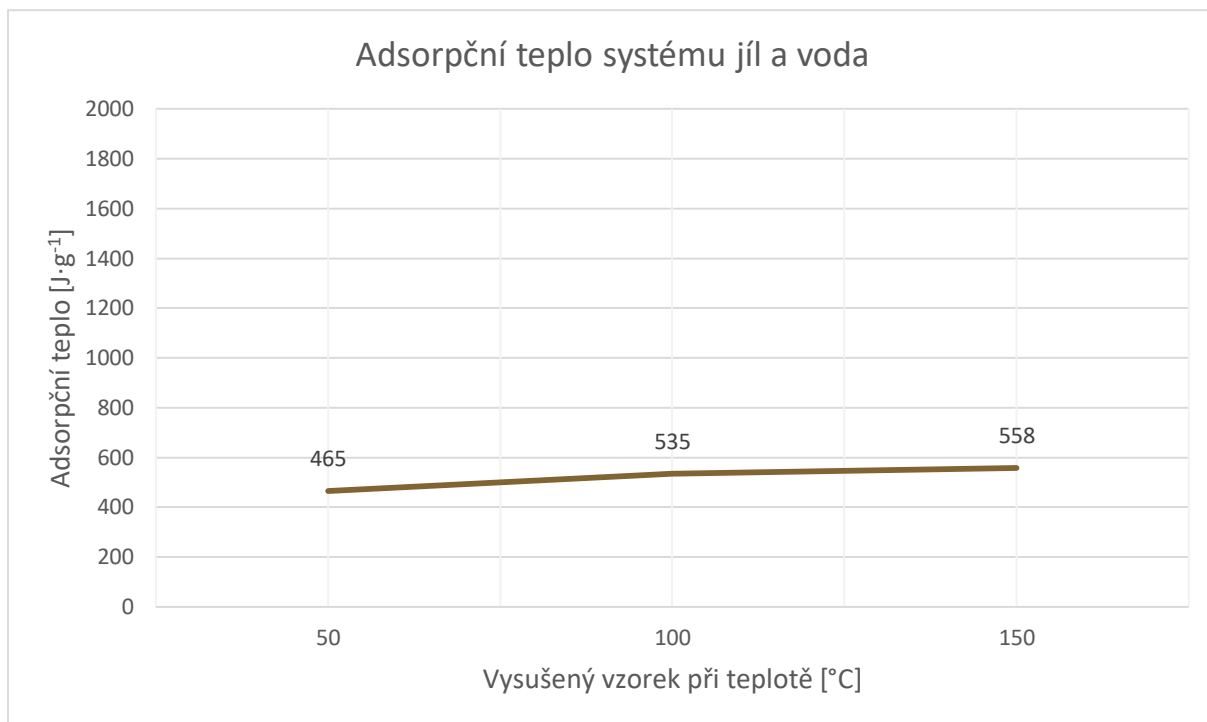
Další zkoušku jsem provedla na systému jíl-voda, kde jsem předpokládala též uvolnění určitého množství sorpčního tepla. Vlastní stanovení sorpčního tepla jsem provedla s vysušeným jílem, který jsem předem vysušila v sušárně při teplotě 50, 100 a 150 °C po dobu 12 hod.

Naměřené hodnoty tohoto systému jsou uvedeny v následující tabulce č. 11, ze které vychází i příslušný graf č. 13.

Tabulka 11: Zjišťování adsorpčního tepla systému jíl a voda

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo kameniva Q	
	Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	60	200	23,3	21,8	23,8	22,9	27,91	465
100	60	200	23,3	22,6	24,9	23,6	32,09	535
150	60	200	23,3	22,9	25,3	23,8	33,48	558

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 13: Vyhodnocení sorpčního tepla systému jílu frakce 0–1 mm a voda

Zdroj: Vlastní šetření

3.2.5 Stanovení adsorpčního tepla systému cihelná drť a voda

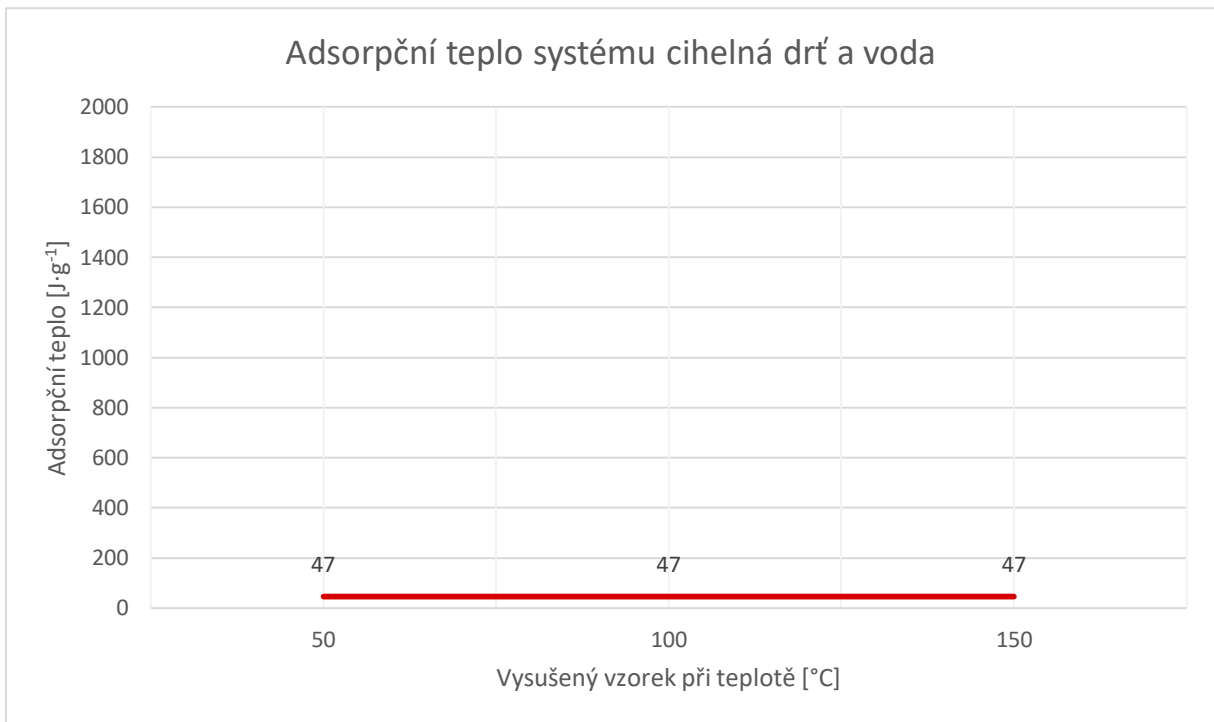
Pátou zkoušku jsem provedla na systému cihelná drť-voda, kde jsem předpokládala, jak je uvedeno v úvodu této práce, uvolnění značného množství adsorpčního tepla. Stanovení adsorpčního tepla jsem provedla s vysušenou cihelnou drtí, kterou jsem si předem vysušila v sušárně při teplotě 50, 100 a 150 °C po dobu 12 hod.

Naměřené hodnoty tohoto systému jsou uvedeny v následující tabulce č. 12, ze které vychází i příslušný graf č. 14.

Tabulka 12: Zjišťování adsorpčního tepla systému cihelná drť a voda

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo kameniva Q	
	Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	60	200	22,5	22,1	22,3	22,2	2,79	47
100	60	200	22,5	22,3	22,5	22,3	2,79	47
150	60	200	22,5	22,5	22,7	22,6	2,79	47

Zdroj: Vlastní šetření

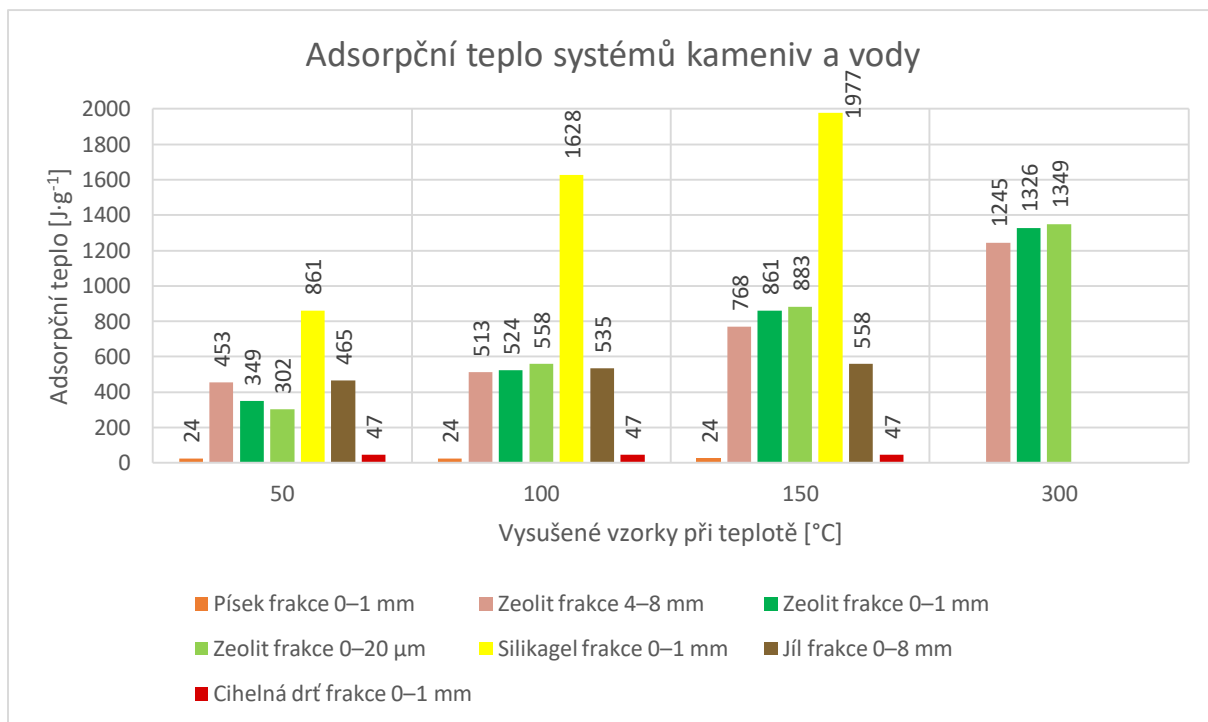


Graf 14: Vyhodnocení sorpčního tepla systému cihelná drť frakce 0–1 mm a voda

Zdroj: Vlastní šetření

3.2.6 Srovnání dosažených adsorpčních tepel zkoumaných systémů

V této kapitole bych chtěla vyhodnotit mnou zkoumané systémy různých druhů zejména pórovitého kameniva a vody se zjištěním výše uvolněného adsorpčního tepla v závislosti na sušící teplotě při ohřevu kameniva. Následující graf č. 15 uvádí vyhodnocení jednotlivých systémů.



Graf 15: Vyhodnocení adsorpčního tepla zkoumaných systémů

Zdroj: Vlastní šetření

Z výše uvedeného grafu vychází poznatek, že použití pórovitého kameniva má vždy vyšší tepelné hodnoty adsorpce než kamenivo hutné.

Nejlepší ze zkoumaných materiálů, byl silikagel, u kterého hodnota adsorpce, dosahovala hodnoty již při zahřátí na 50 °C 861 J·g⁻¹. Dále následuje zhruba v poloviční hodnotě zeolit frakce 4–8 mm s 453 J·g⁻¹ a jíl s 465 J·g⁻¹.

3.3 Výroba zkušebních tělísek a stanovení adsorpčního tepla

V této kapitole jsem se věnovala přípravě zkušebních vzorků, do kterých jsem vspecifikovala vhodné druhy kameniva dle předchozích experimentů. Zde jsem na vytvořených vzorcích zjišťovala adsorpční teplo, které bude již více korespondovat s vyrobenými výrobky z navržených směsí.

Jako první jsem se zde zaměřila zejména na běžné pojivo a to cement, a také pojiva méně používaná, - novější, mezi něž patří např. pojivo geopolymerní, event. archaická jako je např. hořečnatá Sorelova maltovina. Vytvořené vzorky s uvedenými typy pojiv jsem podrobila nejprve tlakovým zkouškám, a poté i tepelným charakteristikám. Jednotlivé naměřené výsledky jsou komplexně vyhodnoceny v závěru jednotlivých kapitol.

3.3.1 Systémy s cementem

Nejdříve jsem provedla zkoušky s cementem, kde jsem chtěla ověřit vlastnosti směsí, dávkování složek a zejména jejich tlakové pevnostní charakteristiky na připravených vzorcích. Současně jsem ověřila odolnost proti mrazu a hlavně adsorpční teplo takto vyrobených systémů a tím si určit podíly pojiva a plniva pro další práci v jednotlivých systémech. Pro zkoušku byl použit cement pevnostní třídy 42,5 R a postupně byly odzkoušeny různé druhy kameniva jak hutného, tak i pórovitého ze zdrojů které mi byly k dispozici.

3.3.1.1 Cement, kamenivo z laboratoře písek frakce 0–1 mm a voda

Jako první jsem provedla zkoušku směsi kameniva z laboratoře, cementu a vody pro získání pevnostních charakteristik, a tím jsem si určila vhodné množství cementu pro výrobu zkušebních tělísek. Zkušební vzorky jsem si vyráběla ve tvaru krychlí o velikosti 20x20x20 mm. Za výchozí hmotnost směsi kameniva a cementu jsem si určila 125 g, kdy tato hmotnost odpovídá množství směsi pro naplnění forem. Vodu jsem do směsí přidávala na požadovanou konzistenci. Následně jsem namíchala směsi v procentuálních poměrech celé možné škály. Pro zkoušky jsem vybrala tři vzorky, kde se množství cementu blíží 250; 450 a 650 kg/1m³ čerstvého betonu.

Tabulka 13: Směs ve složení písek frakce 0–1 mm, cement a voda

Složení směsi					
[kg složek/m ³ ČB]			[%]		
Cement	Písek	Voda	Cement	Písek	Voda
2115	235	Dle konzistence	90	10	Dle konzistence
1880	470		80	20	
1645	705		70	30	
1410	940		60	40	
1175	1175		50	50	
940	1410		40	60	
705	1645		30	70	
470	1880		20	80	
235	2115		10	90	

Zdroj: Vlastní šetření

Poznámka: modře označené řádky je složení na námi používaných směsí

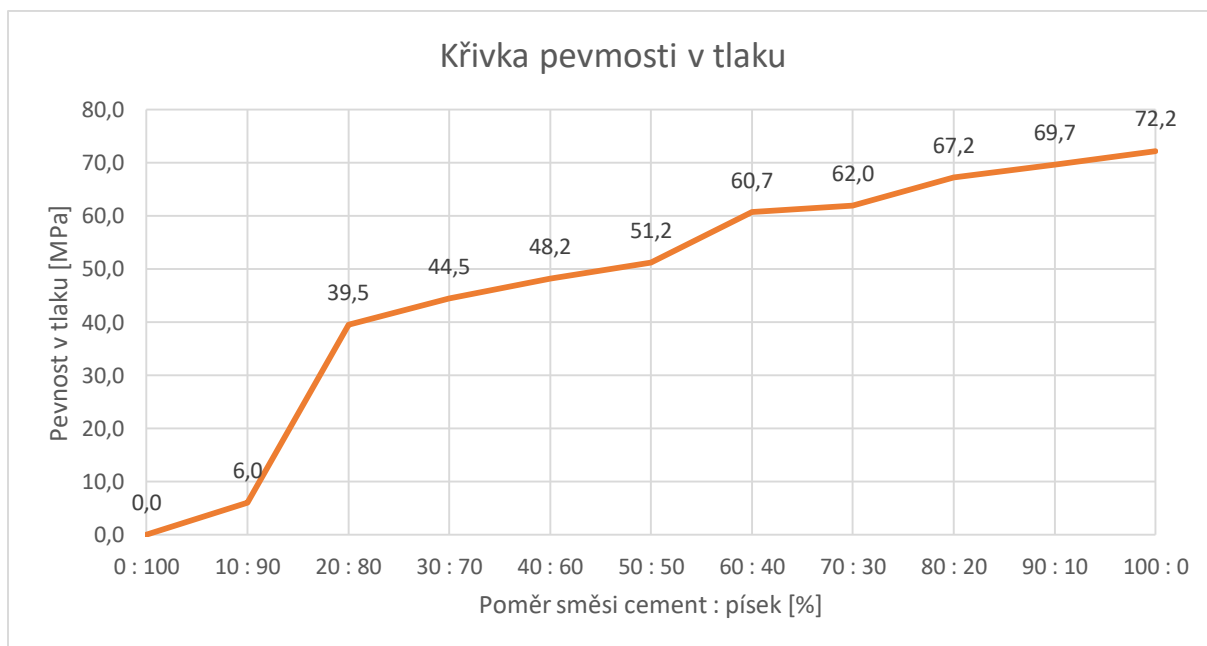
Při zkoušce kameniva z laboratoře s cementovým pojivem jsem vyhotovila tělíska se všemi poměry po 10 %, abych ověřila správnost výběru poměrů (modře označeno), které jsem si zvolila podle složení betonu na kubický metr. Zkušební tělíska jsem nechala vždy ve formě zpevnit přes noc a následující den jsem krychličky hydrotermálně upravila po dobu 16 h při teplotě 60 °C. Po uplynutí doby ve vodní lázni jsem osušila povrch zkušebních tělísek a pro pevnostní zkoušku je vysušila po dobu jedné hodiny za teploty 100 °C.

Zkušební tělíska připravená ke zkoušce jsem vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsí se všemi procentuálními poměry cementového pojiva a kameniva, jak je uvedeno v následující tabulce č. 14, ze které vychází i příslušný graf č. 16.

Tabulka 14: Tlakové pevnosti vzorků ve složení písek frakce 0–1 mm, cement a voda

Směs cement : písek [%]	Zatížení na vzorek [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
100 : 0	28,88	72,2
90 : 10	27,88	69,7
80 : 20	26,88	67,2
70 : 30	24,28	62,0
60 : 40	24,28	60,7
50 : 50	20,48	51,2
40 : 60	19,28	48,2
30 : 70	17,80	44,5
20 : 80	15,80	39,5
10 : 90	2,40	6,0
0 : 100	0,00	0,0

Zdroj: Vlastní šetření



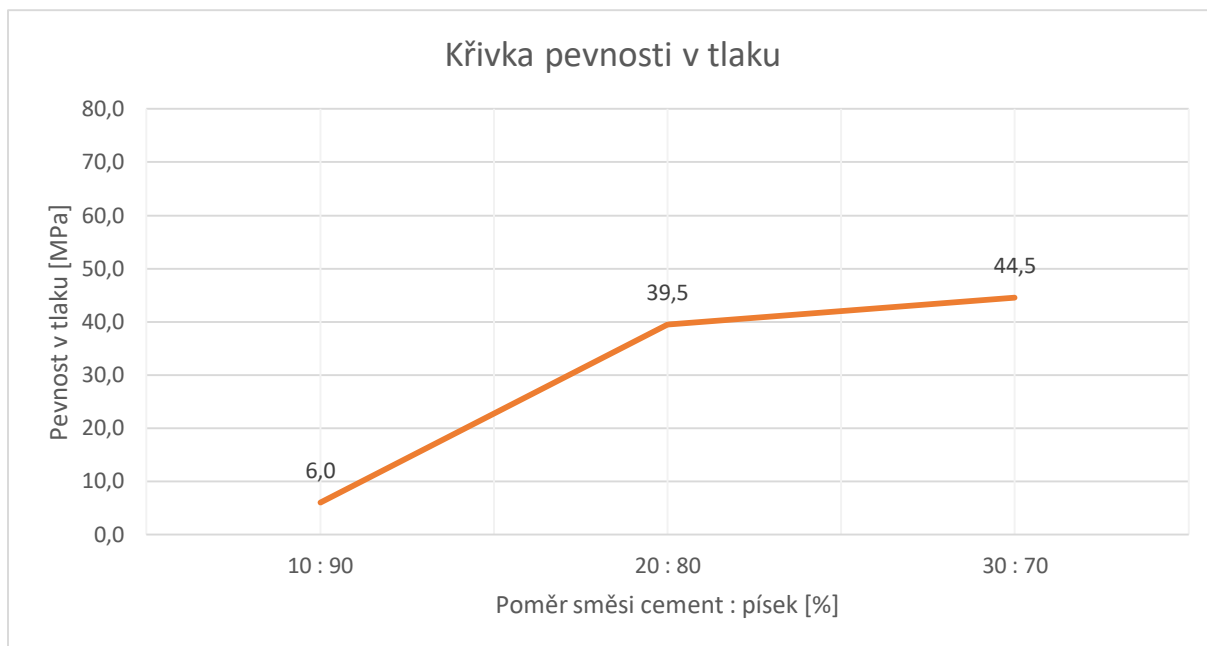
Graf 16: Pevnost v tlaku vybraných vzorků systému cement-písek

Zdroj: Vlastní šetření

Tabulka 15: Pevnosti vzorků ve složení písek frakce 0–1 mm, cement a voda

Cement : písek [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	2,40	6,0
20 : 80	15,80	39,5
30 : 70	17,80	44,5

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 17: Vyhodnocení pevnosti systému písek frakce 0–1 mm a voda

Zdroj: Vlastní šetření

Další zkouškou bylo stanovení adsorpčního tepla systému kameniva frakce 0–1 mm s cementem a vodou. Zkoušku jsem provedla se čtyřmi zkušebními tělísky s vybranými třemi poměry směsi a postupovala jsem stejně jako při zkoušce adsorpčního tepla kameniva.

Zkušební tělíska v poměru 10 : 90, 20 : 80 a 30 : 70 (cement : písek) jsem předem vysušila v sušárně při teplotě 50, 100, a 150 °C po dobu 12 hod. Po vysušení jsem vzorky nechala vytemperovat na laboratorní teplotu v exsikátoru s náplní vysušeného silikagelu, který zjišťoval požadované vlhkostní podmínky při chladnutí vzorku. Pro zkoušku jsem dále použila vytemperovanou vodu, kdy pro jednu zkoušku potřebuji 2x množství vody v ml, které je závislé na hmotnosti vysušených tělísek. Množství vody potřebné pro jednotlivé zkoušky jsem vypočítala podle vzorce:

$$m_v = \frac{200 \cdot m_s}{60}$$

kde m_v je množství vody potřebné pro zkoušku [g], 200 je množství vody použité při zkoušce adsorpčního tepla kameniva [g], m_s je hmotnost vysušených zkušebních tělísek při dané teplotě [g] a 60 je hmotnost kameniva při určení adsorpčního tepla [g].

Na připravených vytemperovaných zkušebních těliscích byla provedena zkouška sorpčního tepla daného systému.

Vlastní zkouška probíhala tak, že jsem nejdříve změřila teplotu vzorku v exikátoru s přesností na 0,1 °C. Následně jsem zvažila čtyři zkušební tělíska na digitální váze s přesností na 0,1 g. Poté jsem mohla spočítat množství vody potřebné pro zkoušku, podle vzorce uvedeného výše, které jsem zaokrouhlila na celé gramy. Zjištěné množství vody jsem odlila do odměrného válce, a poté jsem jej přelila do kádinky o jmenovitém objemu 1 litr, kterou jsem si připravila na elektromagnetické míchadlo a k němu připevnila rtuťový teploměr, který má přesnost 0,1 °C. Na dno nádoby jsem umístila míchadlo, které jsem zapnutím přístroje roztočila. Následně jsem změřila teplotu vody v nádobě s přesností na 0,1 °C.

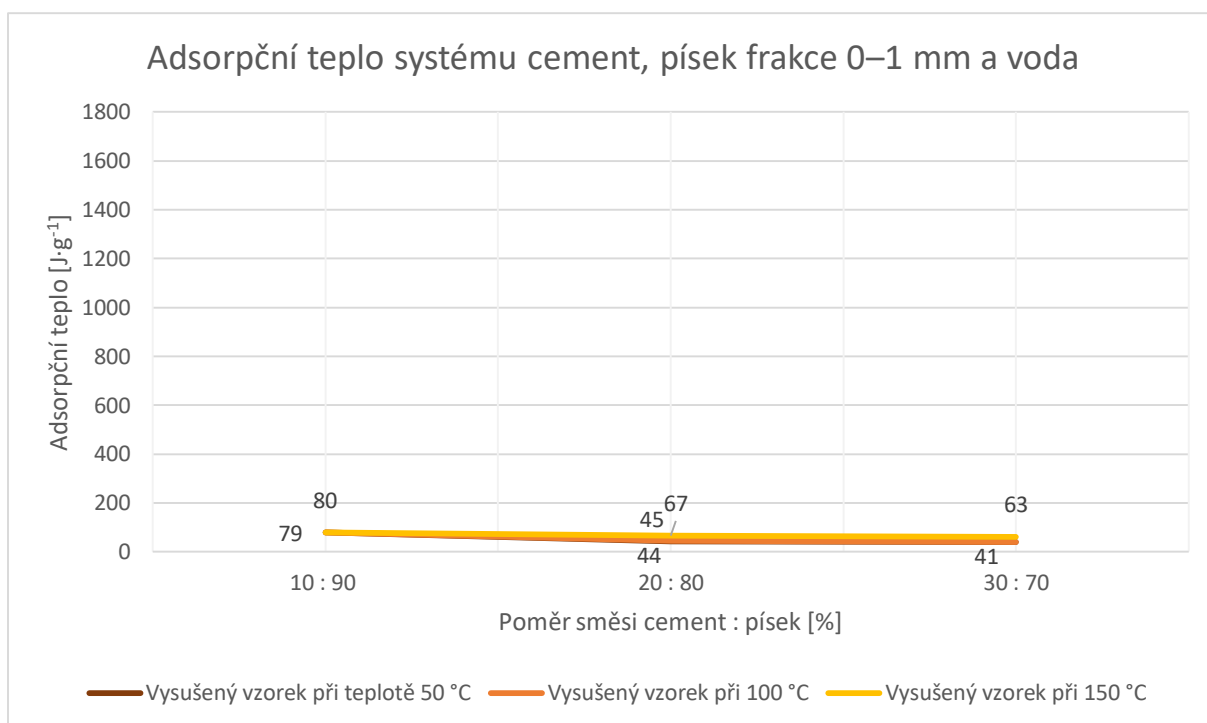
Vysušená zkušební tělíska jsem vložila do kádinky na elektromagnetickém míchadle. Pozorovala jsem nárůst teploty na rtuťovém teploměru a zaznamenávala nejvyšší naměřenou hodnotu. Na závěr jsem přilila stejné množství vody spočítané na začátku zkoušky do nádoby s tělísky a pozorovala změnu teploty v nádobě, kde teplota klesala a po jejím ustálení jsem zapsala konečnou teplotu.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na systému cement, písek a voda, kdy zrnitost písku byla 0–1 mm, jsou uvedeny v následující tabulce č. 16, ze které vychází i příslušný graf č. 18.

Tabulka 16: Stanovení adsorpčního tepla systému písek frakce 0–1 mm a cement

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	10 : 90	52,8	176	21,8	21,1	21,4	21,3	4,18	79
	20 : 80	62,9	210	21,8	21,2	21,4	21,3	2,80	44
	30 : 70	67,8	226	21,8	21,1	21,3	21,2	2,79	41
100	10 : 90	52,7	176	23,3	22,5	22,8	22,6	4,20	80
	20 : 80	62,5	208	23,3	22,5	22,7	22,6	2,79	45
	30 : 70	67,3	224	23,3	22,5	22,7	22,6	2,79	41
150	10 : 90	52,5	175	22,5	22,1	22,4	22,3	4,18	80
	20 : 80	62,1	207	22,5	22,1	22,4	22,3	4,19	67
	30 : 70	66,9	223	22,5	22,1	22,4	22,3	4,19	63

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 18: Vyhodnocení vývoje adsorpčního tepla vzorků cement, písek frakce 0–1 mm s vodou

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.1.2 Cement, kamenivo-zeolit frakce 0–1 mm a voda

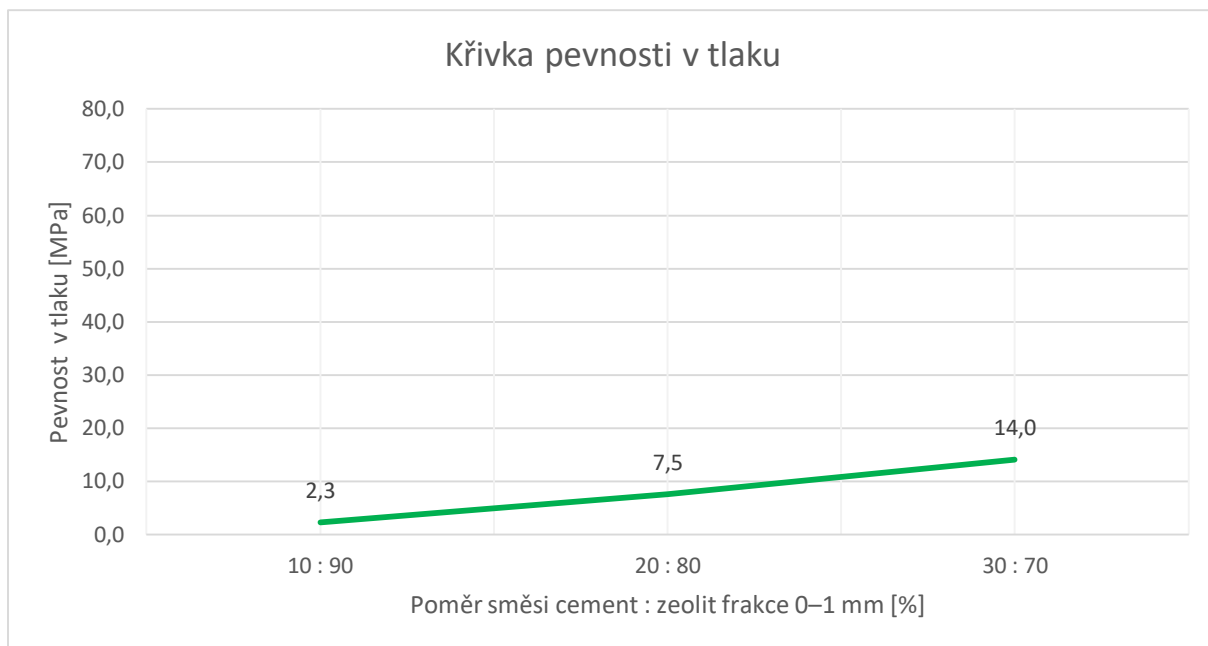
Pokračovala jsem zkouškou směsi cement, zeolit a voda, kde jsem použila poměry a postup stejný jako u systému cement, písek a voda. Z této směsi jsem vyrobila zkušební tělíska ve tvaru krychlí o velikosti 20x20x20 mm.

Zkušební tělíska připravená ke zkoušce jsem vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsi s různými procentuálními poměry cementového pojiva a kameniva.

Tabulka 17: Pevnost v tlaku vybraných vzorků systému cement-zeolit frakce 0–1 mm

Cement : zeolit [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	0,90	2,3
20 : 80	3,00	7,5
30 : 70	5,60	14,0

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 19: Vyhodnocení tlakových pevností systému zeolit cement frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

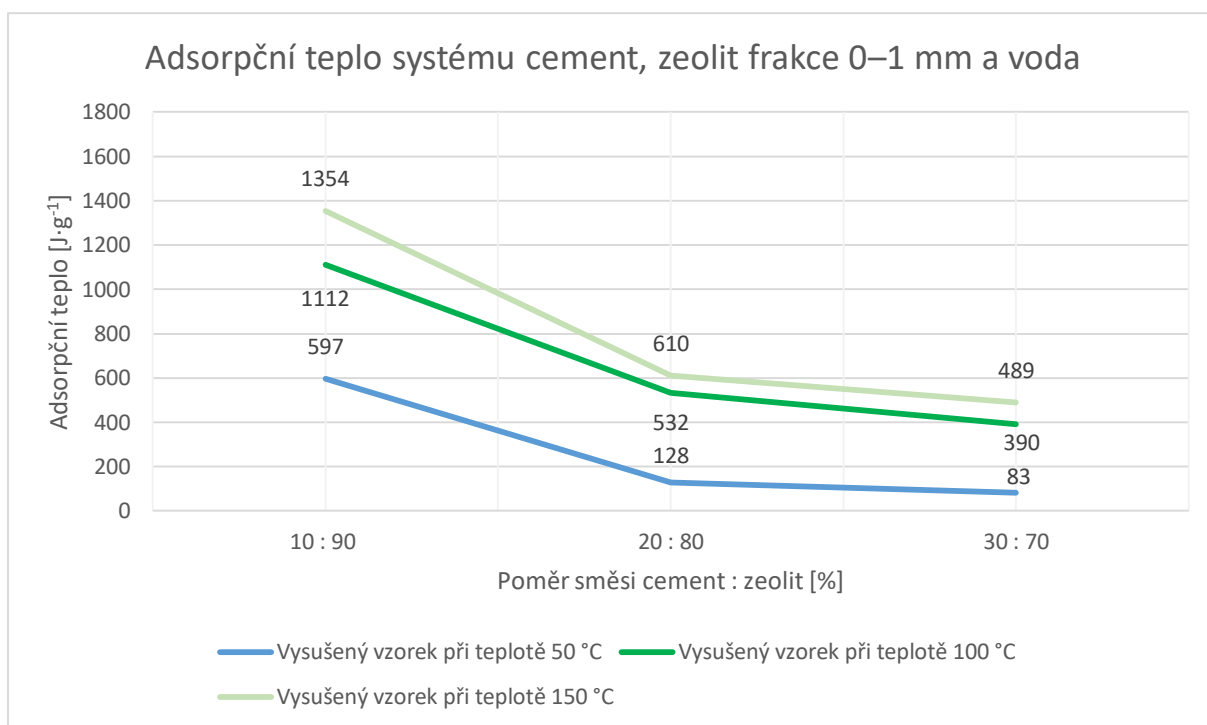
Další zkouškou bylo stanovení adsorpčního tepla systému zeolitu s cementem a vodou na čtyřech zkušebních těliscích jako v předchozí zkoušce.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na systému cement, zeolit a voda, kdy zrnitost byla 0–1 mm, jsou uvedeny v následující tabulce č. 18, ze které vychází i příslušný graf č. 20.

Tabulka 18: Stanovení adsorpčního tepla systému zeolit frakce 0–1 mm a cement

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	10 : 90	28,0	93	23,0	22,7	23,9	23,5	16,72	597
	20 : 80	43,5	145	23,0	23,1	23,5	23,3	5,58	128
	30 : 70	50,6	169	23,0	22,9	23,2	23,1	4,20	83
100	10 : 90	27,3	90	23,7	23,2	25,4	24,2	30,36	1112
	20 : 80	41,7	138	23,7	23,4	25,0	24,4	22,19	532
	30 : 70	46,5	155	23,7	22,7	24,0	23,7	18,16	390
150	10 : 90	26,9	90	22,7	22,3	24,9	23,7	36,43	1354
	20 : 80	41,3	138	22,7	22,3	24,1	23,3	25,19	610
	30 : 70	45,8	153	22,7	21,6	23,2	22,8	22,40	489

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 20: Vyhodnocení průběhu adsorpčního tepla vzorků cement, zeolit frakce 0–1 mm s vodou

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.1.3 Cement, kamenivo-zeolit frakce 0–20 μm a voda

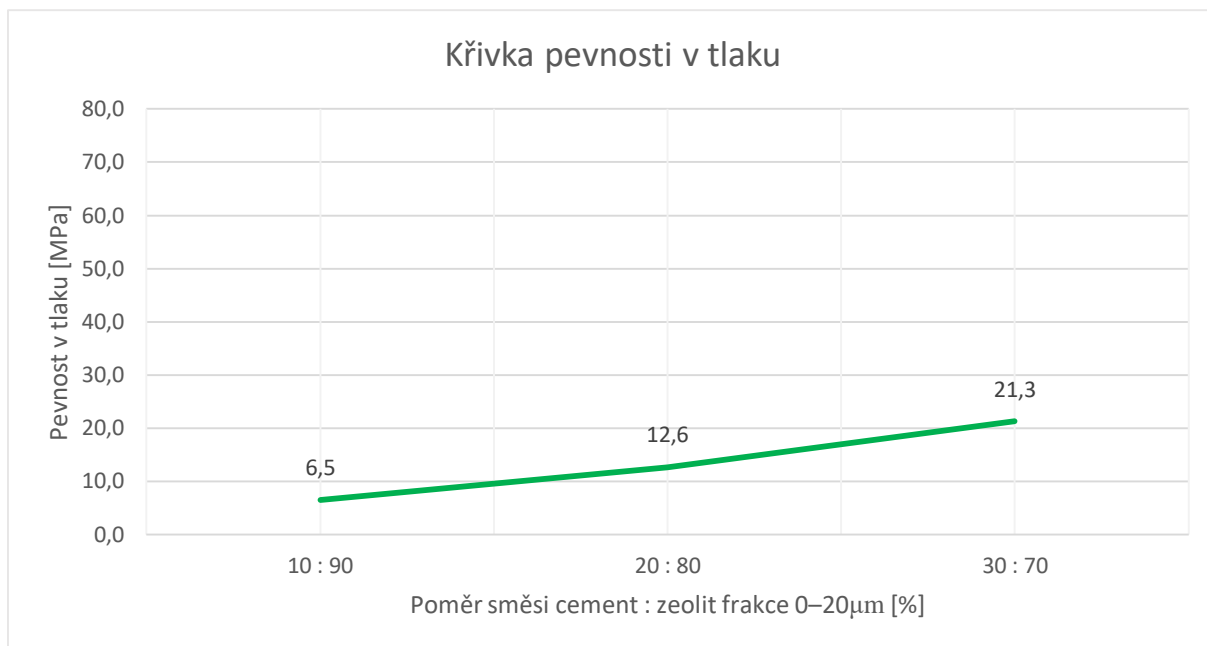
Pokračovala jsem zkouškou směsi cement, zeolit frakce 0–20 μm a voda, kde jsem použila poměry určené při systému cement, písek a voda. Z této směsi jsem vyrobila zkušební tělíska ve tvaru krychlí o velikosti 20x20x20 mm a pokračovala stejným způsobem jako v předchozí zkoušce.

Zkušební tělíska připravená ke zkoušce jsem vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsí s různými procentuálními poměry cementového pojiva a kameniva.

Tabulka 19: Pevnost v tlaku vybraných vzorků systému cement-zeolit frakce 0–20 μm

Cement : zeolit [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	2,60	6,5
20 : 80	5,05	12,6
30 : 70	8,50	21,3

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 21: Vyhodnocení tlakových pevností systému zeolit cement frakce 0–20 μm

Zdroj: Vlastní šetření

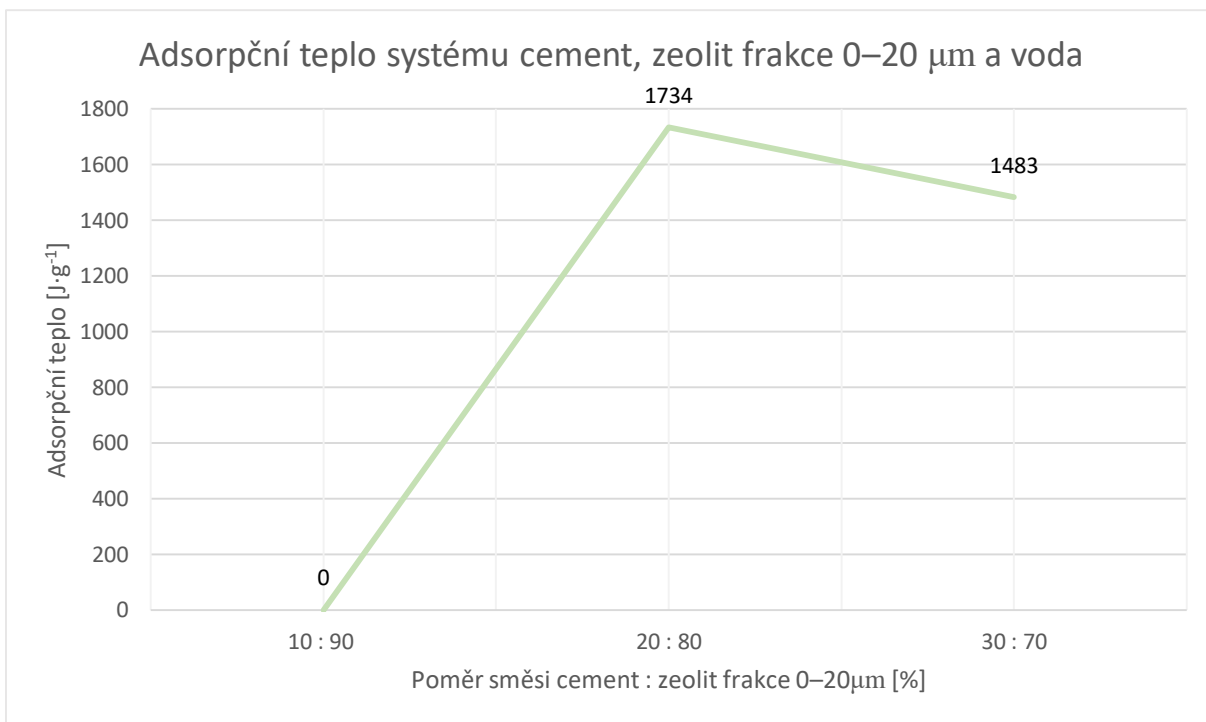
Další zkouškou bylo stanovení adsorpčního tepla systému zeolitu s cementem a vodou. Zkoušku jsem provedla se čtyřmi zkušebními tělísky s vybranými třemi poměry směsi a postupovala jsem stejně jako při stanovení adsorpčního tepla v předchozím případě.

Naměřené hodnoty adsorpčního tepla, které bylo zjišťováno na systému cement, zeolit frakce 0–20 μm a voda, jsou uvedeny v následující tabulce č. 20, ze které vychází i příslušný graf č. 22.

Tabulka 20: Stanovení adsorpčního tepla systému zeolit frakce 0–20 μm a cement

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
150	10 : 90	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0
	20 : 80	32,3	108	22,5	21,8	25,8	23,8	56,00	1734
	30 : 70	33,1	110	22,5	21,5	25,0	24,5	49,08	1483

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 22: Vyhodnocení průběhu adsorpčního tepla vzorků cement, zeolit frakce 0–20 μm a voda

Zdroj: Vlastní šetření

Jelikož docházelo k postupnému rozpadu vzorků, tak jsem ve zkoušce adsorpce s tímto systémem nepokračovala.

3.3.1.4 Cement, kamenivo-silikagel frakce 0–1 mm a voda

Pokračovala jsem zkouškou směsi cement, silikagel a voda, kde jsem použila poměry určené při systému cement, písek a voda. Z této směsi jsem vyrobila zkušební tělíska ve tvaru krychlí o velikosti 20x20x20 mm. Vzorky jsem nechala vždy ve formě zpevnit přes noc a následující den jsem krychličky hydrotermálně upravila po dobu 16 h při teplotě 60 °C. Po uplynutí doby ve vodní lázni jsem zjistila, že silikagel nelze použít v cementových systémech, jelikož se silikagel v alkalickém prostředí, které cement vytváří, rozpouští.



Obr. 8: Destrukce vzorků ve směsi cement-silikagel při hydrotermální úpravě

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.1.5 Cement, kamenivo-bentonitový jíl a voda

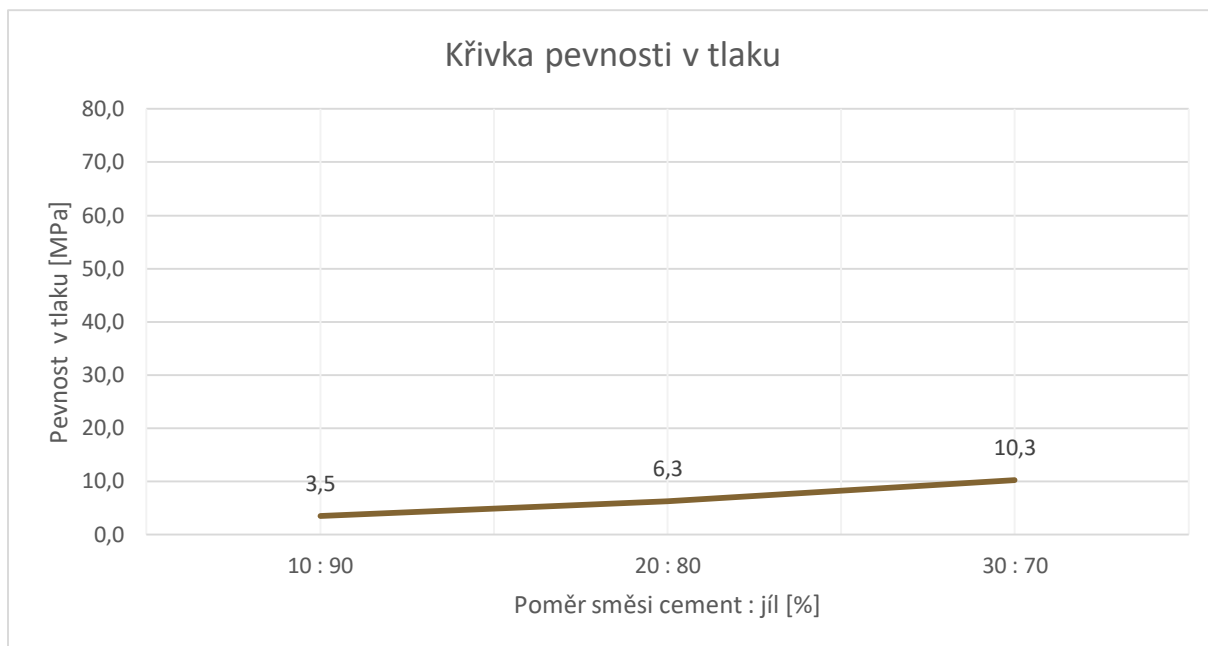
Pokračovala jsem zkouškou směsi cement, jíl a voda, kde jsem použila poměry určené při systému cement, písek a voda. Z této směsi jsem vyrobila zkušební tělíska ve tvaru krychlí o velikosti 20x20x20 mm a postupovala stejným způsobem jako v předchozích měřeních.

Zkušební tělíska připravená ke zkoušce jsem vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsí s různými procentuálními poměry cementového pojiva a kameniva.

Tabulka 21: Pevnost v tlaku vzorků systému cement-jíl a voda

Cement : jíl [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	1,40	3,5
20 : 80	2,50	6,3
30 : 70	4,10	10,3

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 23: Vyhodnocení tlakových pevností systému cement, jíl frakce 0–8 mm a vody

Zdroj: Vlastní šetření

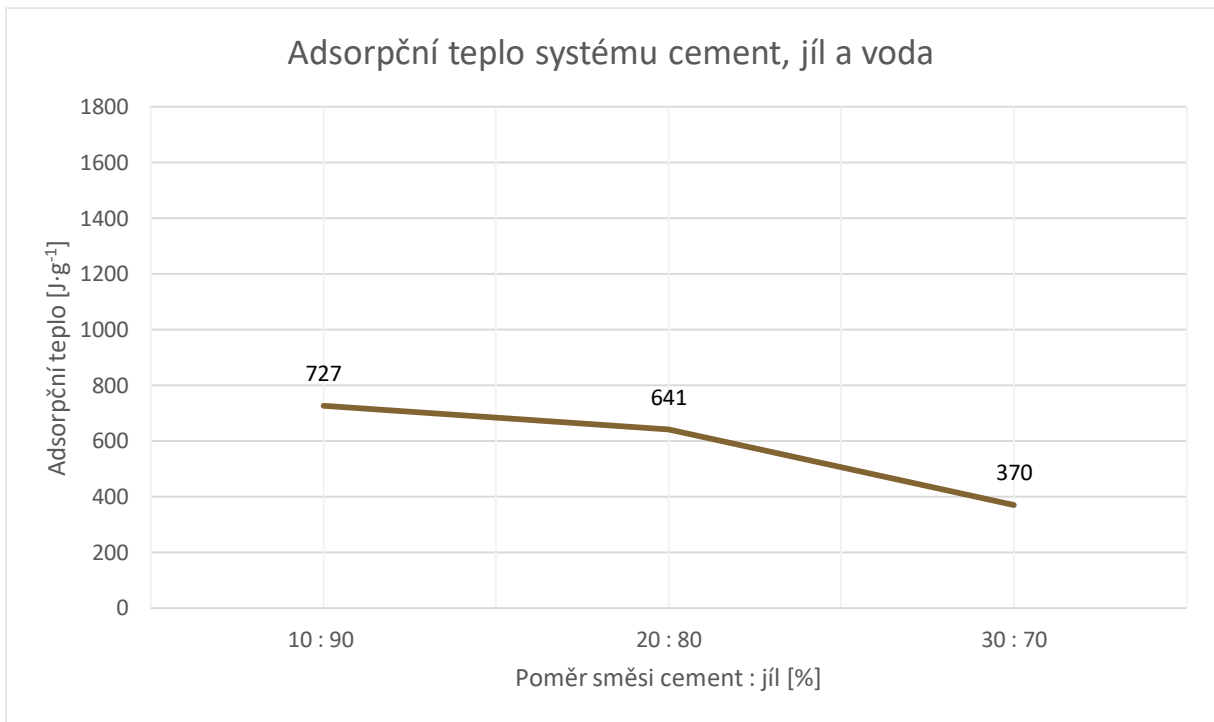
Další zkouškou bylo stanovení adsorpčního tepla systému jílu s cementem a vodou. Zkoušku jsem provedla se čtyřmi zkušebními tělisky s vybranými třemi poměry směsi a postupovala jsem stejně jako při předchozí zkoušce.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na vzorcích cement, jíl a voda, jsou uvedeny v následující tabulce č. 22, ze které vychází i příslušný graf č. 24.

Tabulka 22: Stanovení adsorpčního tepla vzorků cement a jíl s vodou

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
100	10 : 90	32,2	106	23,7	23,1	24,8	23,8	23,42	727
	20 : 80	32,4	107	23,7	23,3	24,8	24,3	20,77	641
	30 : 70	33,8	112	23,7	23,0	23,6	23,7	12,50	370

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 24: Vyhodnocení průběhu adsorpčního tepla vzorků cement a jíla s vodou

Zdroj: Vlastní šetření



Obr. 9: Zkouška vzorků s jílem po zjištění adsorpčního tepla při sušení na 100 °C.

Zdroj: Vlastní šetření

Zkoušky s nejnižším podílem cementu se při zjišťování adsorpčního tepla rozpadly a ani ostatní nejsou dostatečně soudržné, jak je patrné z obrázku č. 9, a na základě tohoto zjištění jsem v této zkoušce nepokračovala.

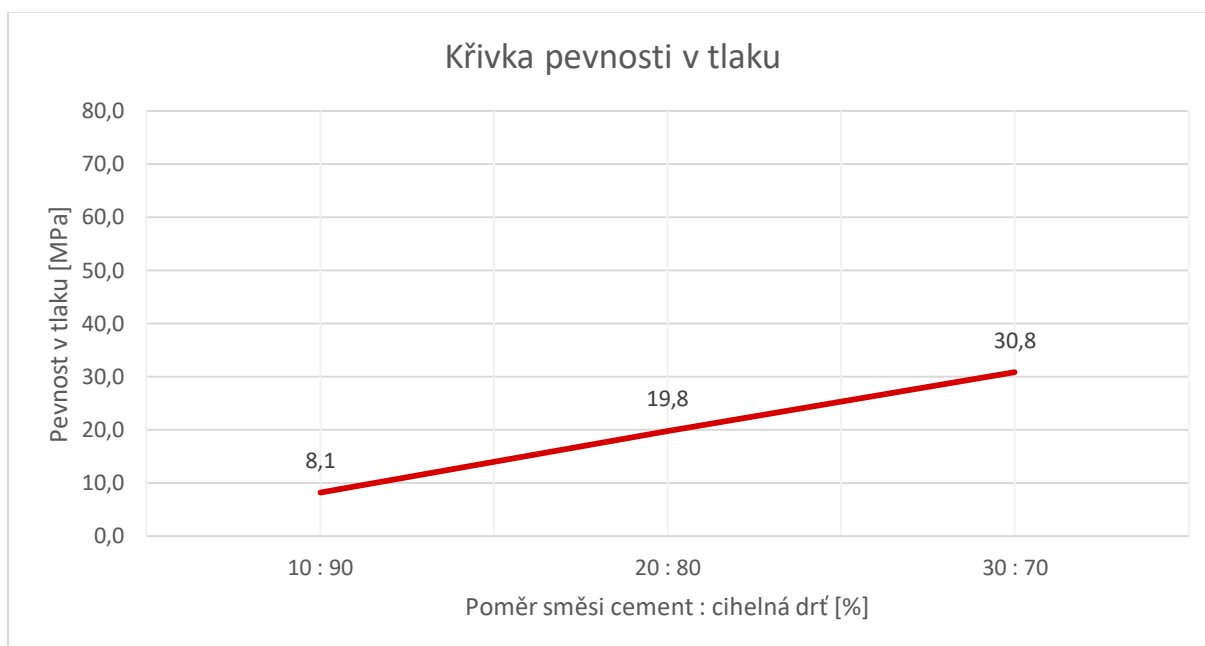
3.3.1.6 Cement, kamenivo-cihelná drť frakce 0–1 mm a voda

Jako poslední jsem zkoušela systém ve směsi cement, cihelná drť frakce 0–1 mm a voda, kde jsem použila opět stejné poměry určené při systému cement, písek a voda. Z této směsi jsem vyrobila zkušební tělíska ve tvaru krychlí o velikosti 20x20x20 mm. Vyrobena a ošetřena zkušební tělíska jsem vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsí s různými procentuálními poměry cementového pojiva a cihelné drti.

Tabulka 23: Pevnost v tlaku vybraných vzorků systému cement-cihelná drť frakce 0–1 mm

Cement : cihelná drť [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	3,25	8,1
20 : 80	7,90	19,8
30 : 70	12,3	30,8

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 25: Vyhodnocení tlakových pevností systému cement cihelná drť frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

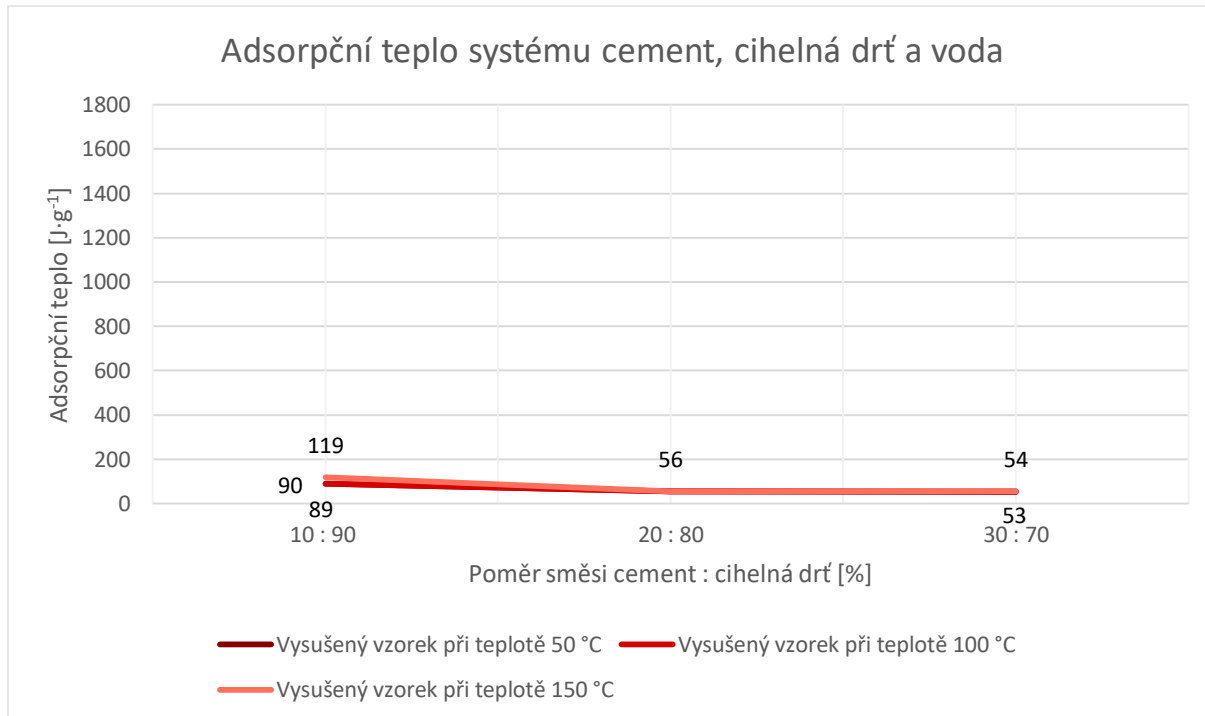
Další zkouškou bylo stanovení adsorpčního tepla systému cihelná drť s cementem a vodou. Zkoušku jsem provedla se čtyřmi zkušebními tělíska s vybranými třemi poměry směsí a postupovala jsem stejně jako při stanovení adsorpčního tepla kameniva.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na systému cement, cihelná drť a voda, jsou uvedeny v následující tabulce č. 24, ze které vychází i příslušný graf č. 26.

Tabulka 24: Stanovení adsorpčního tepla vzorků cement, cihelná drť frakce 0–1 mm s vodou

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	10 : 90	47,0	157	21,2	21,0	21,3	21,2	4,20	89
	20 : 80	49,9	166	21,2	21,1	21,3	21,2	2,79	56
	30 : 70	52,5	175	21,2	21,2	21,4	21,3	2,79	53
100	10 : 90	46,7	156	21,4	21,2	21,5	21,4	4,20	90
	20 : 80	49,8	166	21,4	21,1	21,3	21,2	2,79	56
	30 : 70	52,0	173	21,4	21,1	21,3	21,2	2,79	54
150	10 : 90	46,6	155	21,6	21,0	21,4	21,3	5,56	119
	20 : 80	49,5	165	21,6	21,1	21,3	21,2	2,79	56
	30 : 70	51,8	173	21,6	21,1	21,3	21,4	2,82	54

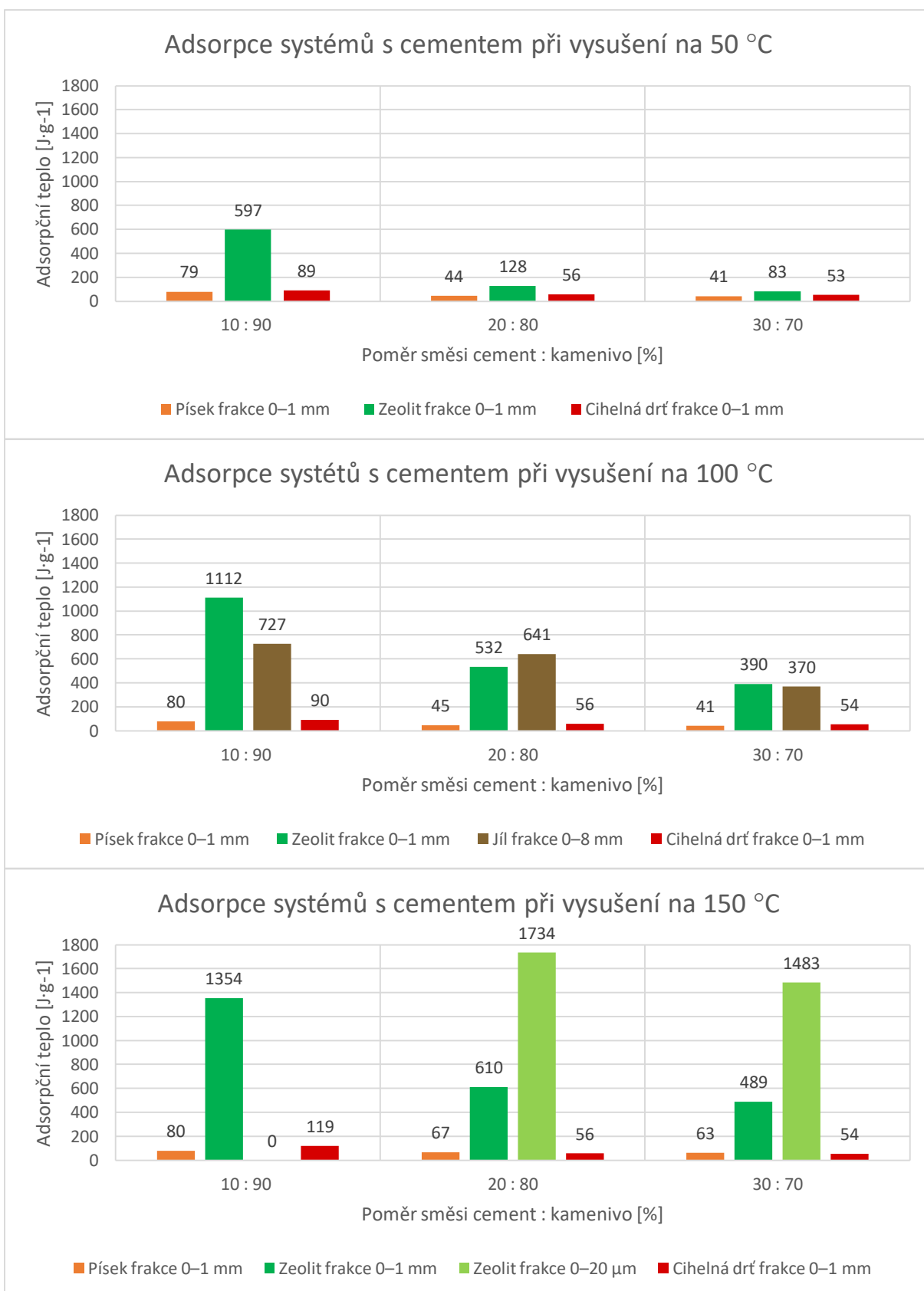
Zdroj: Vlastní šetření



Graf 26: Průběh adsorpčního tepla vzorků cement, cihelná drť frakce 0–1 mm s vodou

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.1.7 Vyhodnocení zkoumaných vzorků systémů s cementovým pojivem



Graf 27: soubor vyhodnocení adsorpčních teplot systémů cement, kamenivo a voda

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.2 Systémy s geopolymérem

Využití geopolyméru jako pojiva není tak obvyklé jako u cementu, ale vzhledem k svým dobrým vazebným vlastnostem a zejména možnosti vzniku pórovitých struktur i ve formě zeolitů při hydrotermální přípravě a zpevňování zvyšuje možnost vyššího adsorpčního potenciálu těchto směsí. Adsorpční teplo je pochopitelně závislé také na použití zejména vhodného kameniva, a proto jsem chtěla i toto pojivo vyzkoušet.

3.3.2.1 Geopolymerní pojivo, kamenivo z laboratoře písek frakce 0–1 mm

První zkouškou bylo ověření směsi geopolyméru a písek, kde jsem vycházela z poměrů určených u systému cement, písek a voda, pro tento systém jsem brala jako stěžejní poměr metakaolinu a písku, kdy metakaolin nahrazuje cement. Tekutou složku geopolyméru, která se skládá z hydroxidu sodného (NaOH), vody a vodního skla, jsem dopočítala dle množství metakaolinu. Při těchto výpočtech jsem vycházela z množství surovin pro samotný geopolymér, kdy hmotnost metakaolinu byla 48,4 g, hydroxidu sodného 6,9 g, vody 8,7 g a vodního skla 34,5 g.[12] Potřebné množství tekuté složky jsem dopočítala podle vzorce:

$$X = \frac{Mk \cdot X_1}{Mk_1}$$

kde X je potřebné množství dané složky pro tekutou složku směsi [g], Mk je dané množství metakaolinu k poměru plniva (10, 20, nebo 30 %) [g], X_1 je množství složky pro tekutou složku podle množství pro samotný geopolymér [g] a Mk_1 je množství metakaolinu podle množství pro samotný geopolymér [g].

Po dopočítání hmotnosti dílčích složek tekuté složky jsem tyto hmotnosti vynásobila třemi, abych zachovala daný poměr dílčích složek ku množství metakaolinu a mohla podle potřeby hydratovat kamenivo s metakaolinem. Samotnou tekutou složku jsem vytvořila následovně. Nejprve jsem na digitální váze s přesností na 0,1 g navážila potřebné množství hydroxidu sodného a k němu přilila za pomoci stříčky dané množství vody. Před přidáním vodního skla jsem nejprve musela počkat, než se hydroxid sodný ve vodě zcela rozpustil, kdy při rozpouštění hydroxidu sodného docházelo k exotermické reakci, a nakonec jsem přilila požadované množství vodního skla.

Po smíchání písku s metakaolinem a tekutou složkou směsi jsem vyrobila zkušební tělíska ve tvaru krychlí o velikosti 20x20x20 mm. Vzorky jsem nechala vždy ve formě zpevnit přes noc a následující den jsem krychličky termálně upravila, po dobu 16 h při teplotě 60 °C. Pro

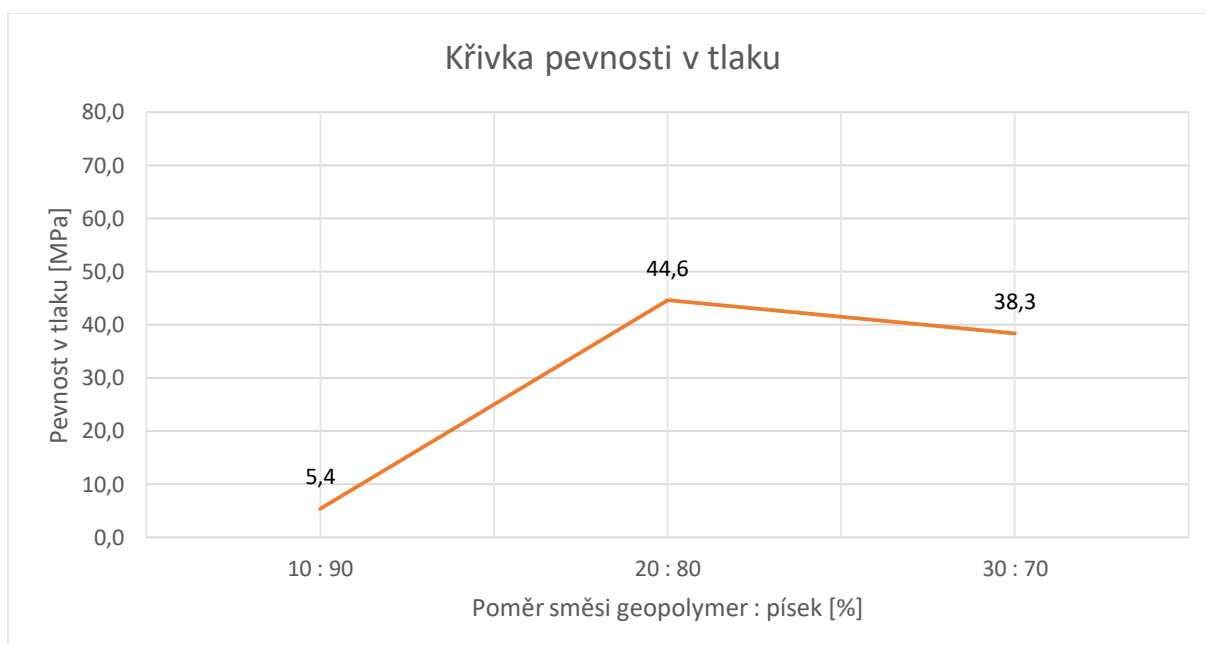
pevnostní zkoušku bylo třeba vzorky vysušit v sušárně, kde jsem je ponechala 1 h při teplotě 100 °C.

Zkušební tělíska připravená ke zkoušce jsem vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsí s různými procentuálními poměry geopolymerního pojiva a kameniva.

Tabulka 25: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, písek frakce 0–1 mm

Geopolymer : písek [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	2,15	5,4
20 : 80	17,84	44,6
30 : 70	15,33	38,3

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 28: Vyhodnocení tlakových pevností systému geopolymery a písek frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

Další zkouškou bylo stanovení adsorpčního tepla systému písek a geopolymer. Zkoušku jsem provedla se čtyřmi zkušebními tělísky s vybranými třemi poměry směsí a postupovala jsem stejně jako při stanovení adsorpčního tepla kameniva.

Zkušební tělíska v poměru 10 : 90, 20 : 80 a 30 : 70 (metakaolin : písek) jsem předem vysušila v sušárně při teplotě 50, 100, a 150 °C po dobu 12 hod. Po vysušení jsem vzorky nechala vytemperovat na laboratorní teplotu v exsikátoru s náplní vysušeného silikagelu, který zjišťoval požadované vlhkostní podmínky při chladnutí vzorku. Pro zkoušku jsem dále použila vytemperovanou vodu, kdy pro jednu zkoušku potřebuji 2x množství vody, které je závislé na

hmotnosti vysušených tělísek. Množství vody potřebné pro jednotlivé zkoušky jsem vypočítala podle vzorce uvedeného v kapitole systému cement, písek a voda. Na připravených vytemperovaných zkušebních těliscích byla provedena zkouška adsorpčního tepla daného systému.

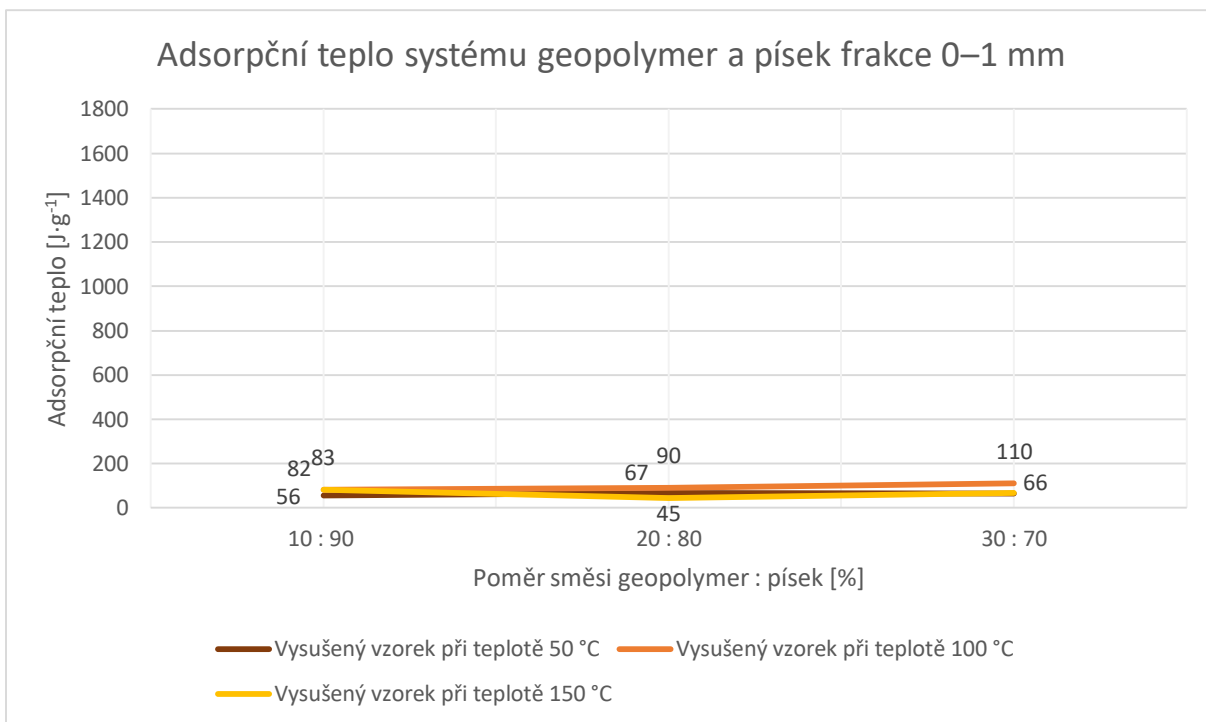
Vlastní zkouška probíhala tak, že jsem nejdříve změřila teplotu vzorku v exikátoru s přesností na 0,1 °C. Následně jsem zvážila čtyři zkušební tělíska na digitální váze s přesností na 0,1 g. Poté jsem mohla spočítat množství vody potřebné pro zkoušku podle vzorce uvedeného v kapitole systému cement, písek a voda, které jsem zaokrouhlila na celé gramy. Zjištěné množství vody jsem odlila do odměrného válce, to jsem následně připravila do kádinky o jmenovitém objemu 1 litr, kterou jsem si připravila na elektromagnetické míchadlo, a k němu připevnila rtuťový teploměr, který má přesnost 0,1 °C. Na dno nádoby jsem umístila míchadlo, které jsem zapnutím přístroje roztočila. Následně jsem změřila teplotu vody v nádobě s přesností na 0,1 °C. Vysušená zkušební tělíska jsem vložila do kádinky na elektromagnetickém míchadle a pozorovala nárůst teploty na rtuťovém teploměru a zaznamenávala nejvyšší naměřenou hodnotu. Na závěr jsem přilila stejné množství vody, spočítané na začátku zkoušky, do nádoby s tělísky a vodou a pozorovala jsem změnu teploty v nádobě, kde teplota klesala, a po jejím ustálení jsem zapsala konečnou teplotu.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na systému geopolymery a písek, jsou uvedeny v následující tabulce č. 26, ze které vychází i příslušný graf č. 29.

Tabulka 26: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a písek frakce 0–1 mm

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	10 : 90	50,3	168	21,8	21,2	21,4	21,3	2,80	56
	20 : 80	62,5	208	21,8	21,2	21,5	21,4	4,18	67
	30 : 70	63,8	213	21,8	21,3	21,6	21,5	4,19	66
100	10 : 90	50,7	169	23,3	22,9	23,2	22,9	4,19	83
	20 : 80	62,3	208	23,3	22,4	22,8	22,6	5,59	90
	30 : 70	63,4	211	23,3	22,4	23,9	22,6	6,97	110
150	10 : 90	51,3	171	22,5	22,0	22,3	22,2	4,18	82
	20 : 80	62,1	207	22,5	22,2	22,4	22,3	2,79	45
	30 : 70	63,0	210	22,5	22,1	22,4	22,3	4,19	66

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 29: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a písek frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.2.2 Geopolymerní pojivo, zeolit frakce 0–1 mm

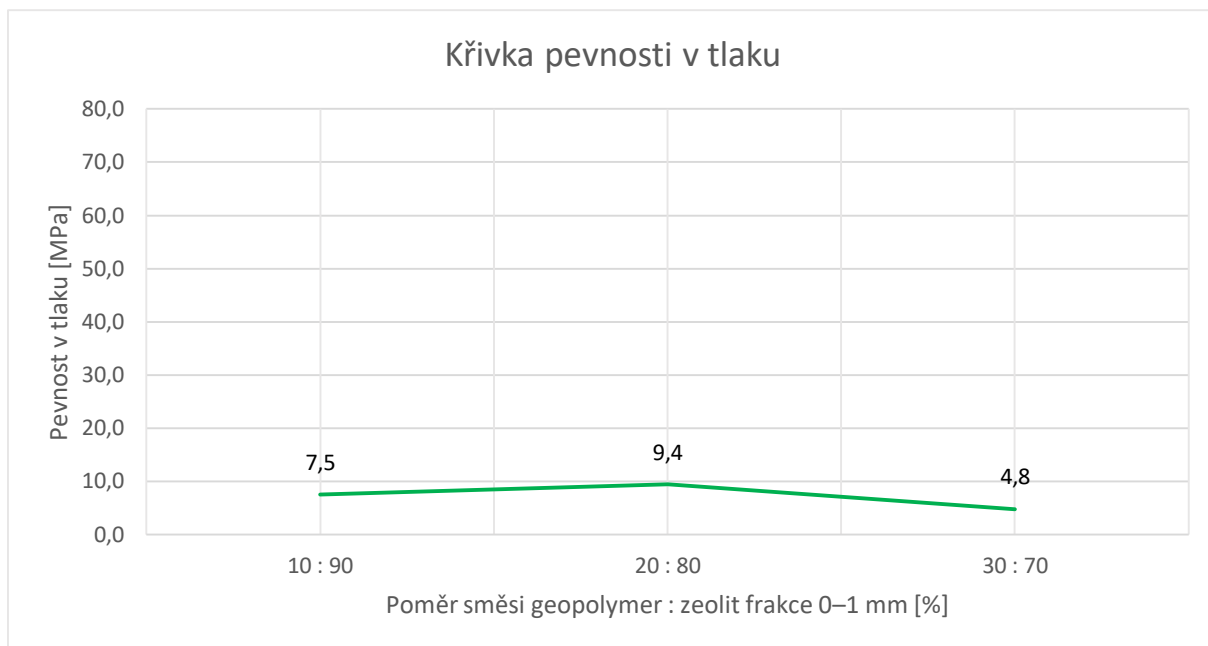
Druhou zkouškou bylo ověření směsi geopolymery a zeolit, kde jsem vycházela z poměrů určených u systému cement, písek a voda, a jako stěžejní jsem brala poměr metakaolinu a písku.

Zkušební tělíska připravená ke zkoušce jsem vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsí s různými procentuálními poměry geopolymerního pojiva a kameniva.

Tabulka 27: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, zeolit frakce 0–1 mm

Geopolymer : zeolit [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	3,00	7,5
20 : 80	3,75	9,4
30 : 70	1,90	4,8

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 30: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, zeolit frakce 0–1 mm

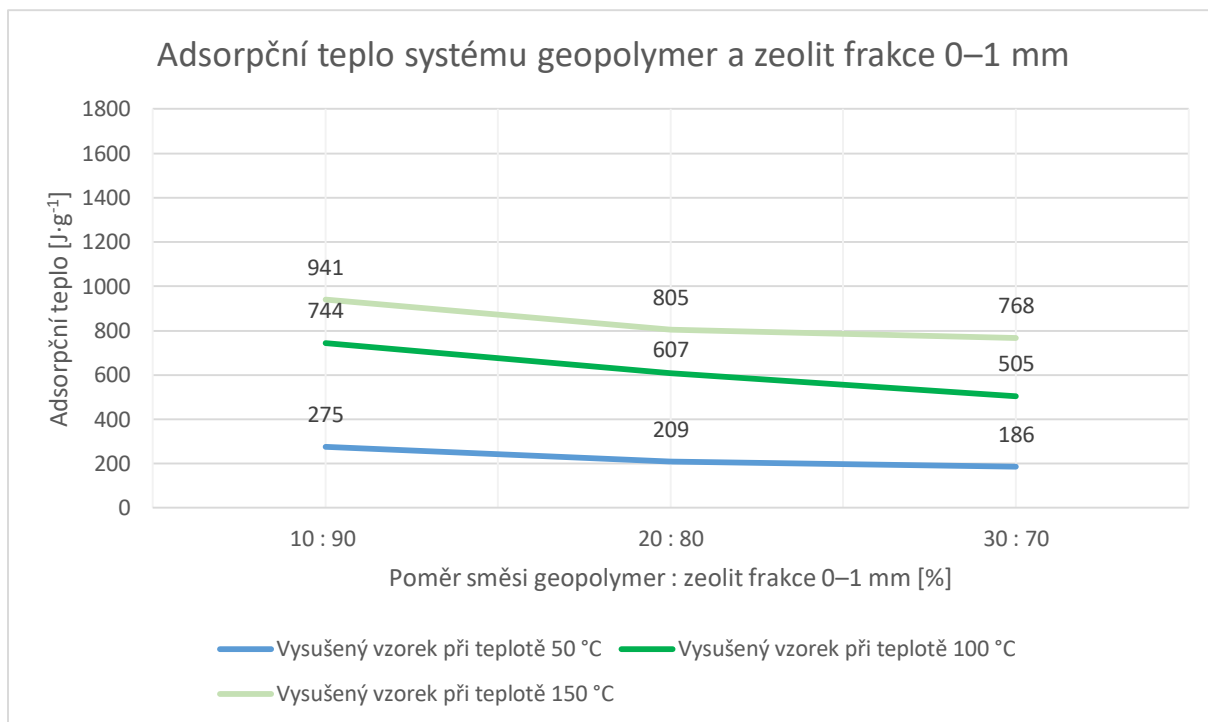
Další zkouškou bylo stanovení adsorpčního tepla systému zeolit a geopolymery. Zkoušku jsem provedla se čtyřmi zkušebními tělisky s vybranými třemi poměry směsi a postupovala jsem stejně jako při stanovení adsorpčního tepla kameniva.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na systému geopolymery a zeolit, jsou uvedeny v následující tabulce č. 28., ze které vychází i příslušný graf č. 31.

Tabulka 28: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a zeolit frakce 0–1 mm

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	10 : 90	45,8	153	23,0	22,2	23,1	22,8	12,59	275
	20 : 80	46,6	155	23,0	22,2	22,9	22,6	9,75	209
	30 : 70	45,0	150	23,0	22,2	22,8	22,5	8,37	186
100	10 : 90	45,2	151	22,6	21,0	23,4	23,0	33,64	744
	20 : 80	46,0	153	22,6	21,1	23,1	22,8	27,90	607
	30 : 70	47,3	148	22,6	21,0	22,6	22,3	22,38	505
150	10 : 90	44,6	149	21,2	20,7	23,7	22,3	41,97	941
	20 : 80	45,2	151	21,2	21,0	23,6	22,4	36,37	805
	30 : 70	43,7	146	21,2	21,3	23,7	22,5	33,57	768

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 31 Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a zeolit frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.2.3 Geopolymerní pojivo, zeolit frakce 0–20 μm

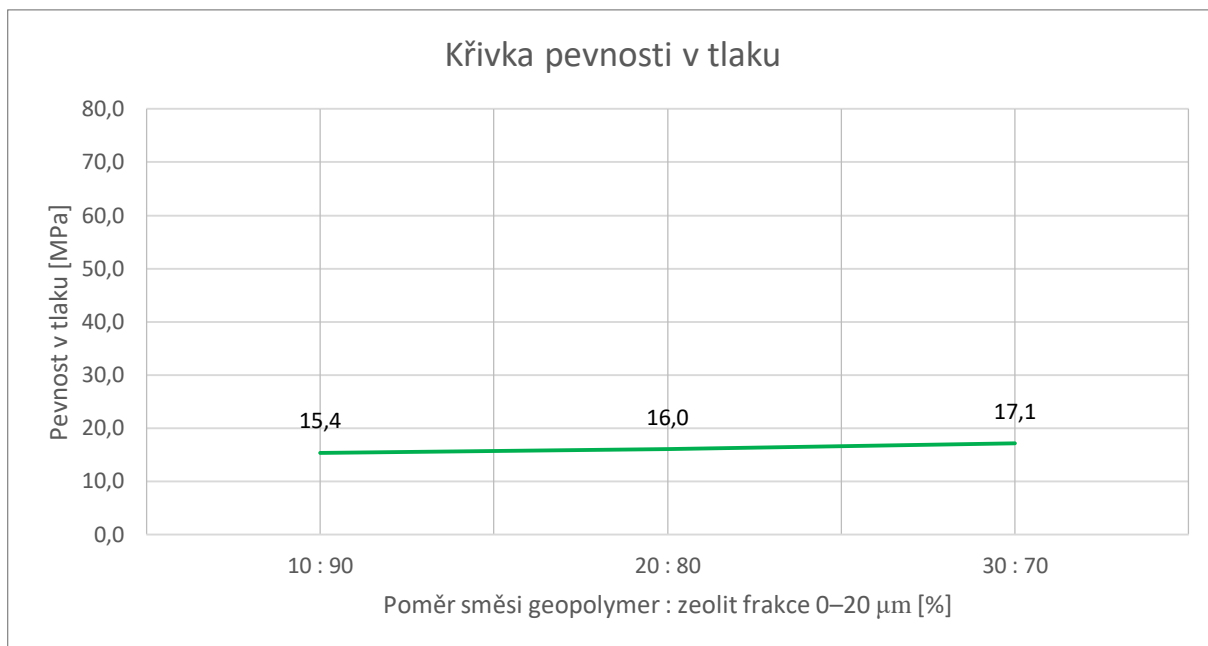
Druhou zkouškou bylo ověření směsi geopolymery a zeolit, kde jsem vycházela z poměrů určených u systému cement, písek a voda, a jako stěžejní jsem brala poměr metakaolinu a písku. Dále jsem postupovala jako v předchozí zkoušce.

Zkušební tělíska připravená ke zkoušce jsem vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsí s různými procentuálními poměry geopolymerního pojiva a kameniva.

Tabulka 29: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, zeolit frakce 0–20 μm

Geopolymer : zeolit [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	6,15	15,4
20 : 80	6,40	16,0
30 : 70	6,85	17,1

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 32: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, zeolit frakce 0–20 µm

Zdroj: Vlastní šetření

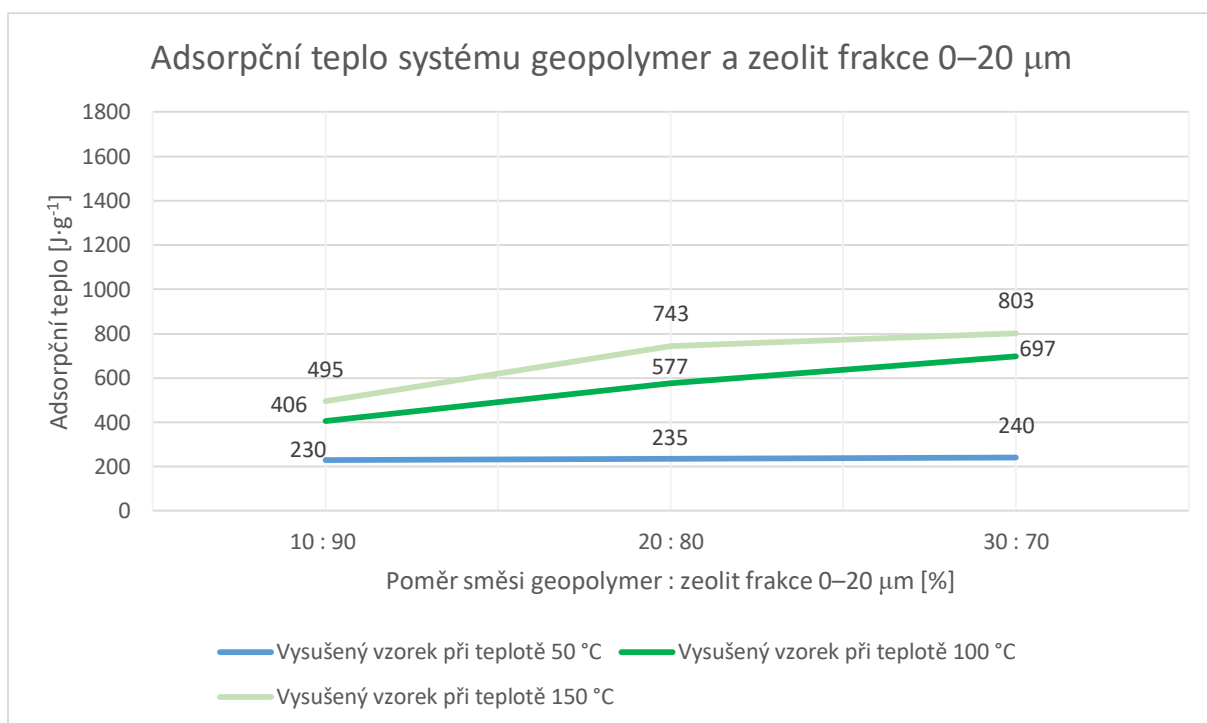
Další zkouškou bylo stanovení adsorpčního tepla systému písek a geopolymery. Zkoušku jsem provedla se čtyřmi zkušebními tělísky s vybranými třemi poměry směsi a postupovala jsem stejně jako při stanovení adsorpčního tepla kameniva.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na systému geopolymery a zeolit, jsou uvedeny v následující tabulce č. 30, ze které vychází i příslušný graf č. 33.

Tabulka 30: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a zeolit frakce 0–20 µm

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	10 : 90	36,5	122	23,0	22,2	22,9	22,6	8,40	230
	20 : 80	41,5	138	23,0	22,2	22,9	22,6	9,74	235
	30 : 70	40,6	135	23,0	22,2	22,9	22,6	9,74	240
100	10 : 90	37,8	126	22,5	21,8	22,9	22,4	15,35	406
	20 : 80	41,3	138	22,5	21,7	23,4	23,0	23,83	577
	30 : 70	40,3	134	22,5	21,7	23,7	23,5	28,08	697
150	10 : 90	39,4	131	22,7	21,6	23,0	22,2	19,49	495
	20 : 80	41,2	137	22,7	21,5	23,7	22,6	30,63	743
	30 : 70	40,1	134	22,7	22,1	24,4	23,4	32,19	803

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 33: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a zeolit frakce 0–20 µm

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.2.4 Geopolymerní pojivo, cihelná drť frakce 0–1 mm

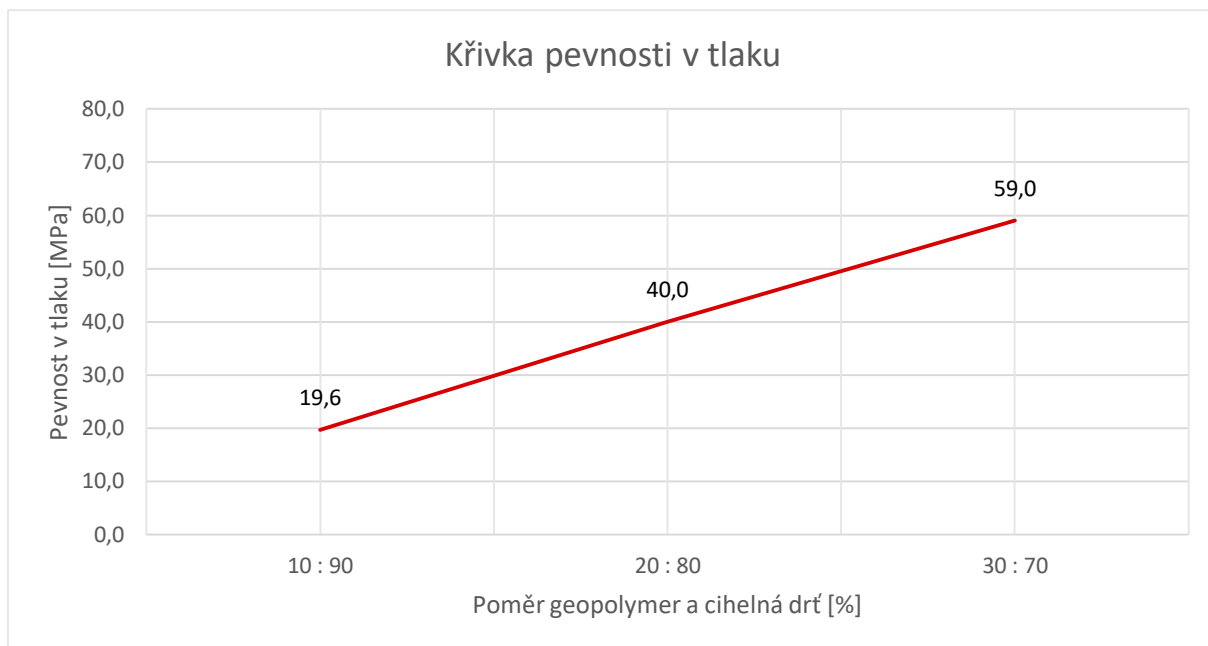
Druhou zkouškou bylo ověření směsi geopolymery a cihelná drť, kde jsem vycházela z poměrů určených u systému cement, písek a voda, a jako stěžejní jsem brala poměr metakaolinu a písku, kde postup přípravy byl stejný jako u první směsi.

Zkušební tělíska připravená ke zkoušce jsem vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsi s různými procentuálními poměry geopolymerního pojiva a kameniva.

Tabulka 31: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, cihelná drť frakce 0–1 mm

Geopolymer : cihelná drť [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	7,85	19,6
20 : 80	16,00	40,0
30 : 70	23,60	59,0

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 34: Pevnosti vzorků ve složení geopolimer, cihelná drť frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

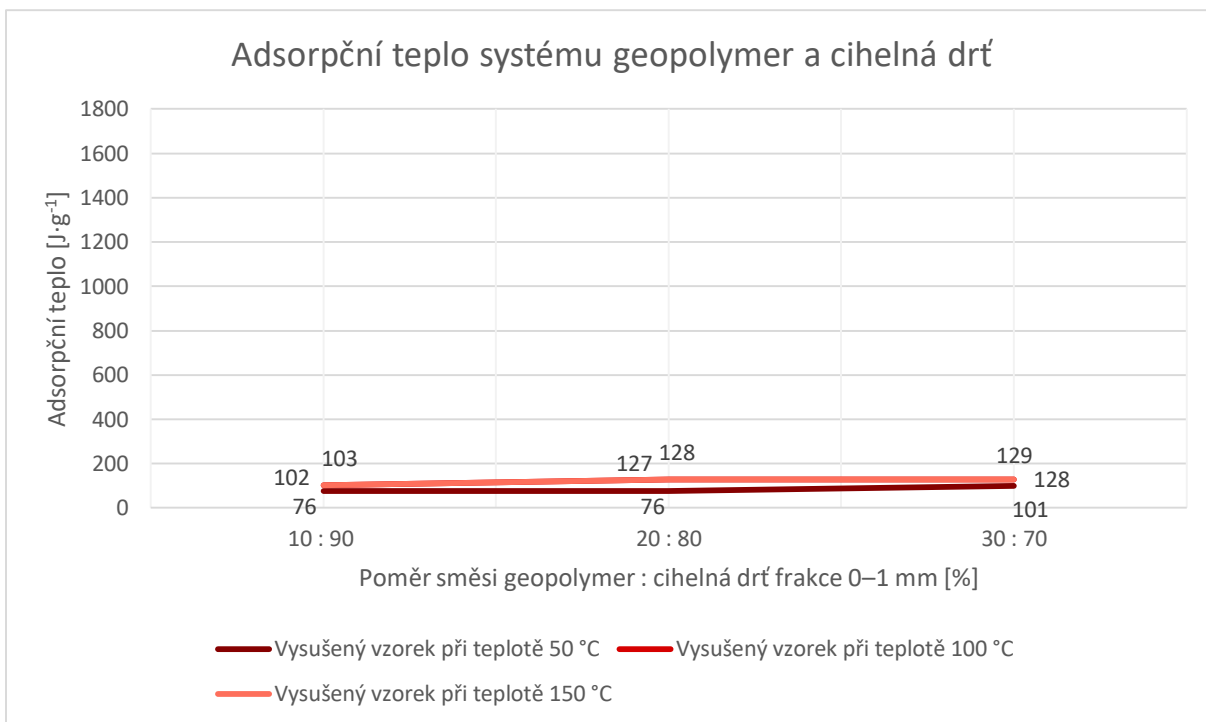
Dále jsem pokračovala zkouškou stanovení adsorpčního tepla systému cihelná drť a geopolimer. Zkoušku jsem provedla se čtyřmi zkušebními tělísky s vybranými třemi poměry směsi a postupovala jsem stejně jako při stanovení adsorpčního tepla kameniva.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na systému geopolimer a cihelná drť, jsou uvedeny v následující tabulce č. 32, ze které vychází i příslušný graf č. 35

Tabulka 32: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolimer a cihelná drť frakce 0–1 mm

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	10 : 90	55,1	184	21,2	21,2	21,5	21,2	4,19	76
	20 : 80	55,4	185	21,1	21,1	21,4	21,3	4,20	76
	30 : 70	55,3	184	21,2	20,6	21,0	20,8	5,57	101
100	10 : 90	54,8	183	21,3	21,1	21,5	21,3	5,59	102
	20 : 80	54,9	183	21,3	21,2	21,7	21,5	6,98	127
	30 : 70	54,6	182	21,3	21,0	21,5	21,2	6,98	128
150	10 : 90	54,5	182	21,6	21,4	21,8	21,6	5,59	103
	20 : 80	54,6	182	21,6	21,2	21,7	21,6	6,98	128
	30 : 70	54,3	181	21,6	21,1	21,6	21,5	6,98	129

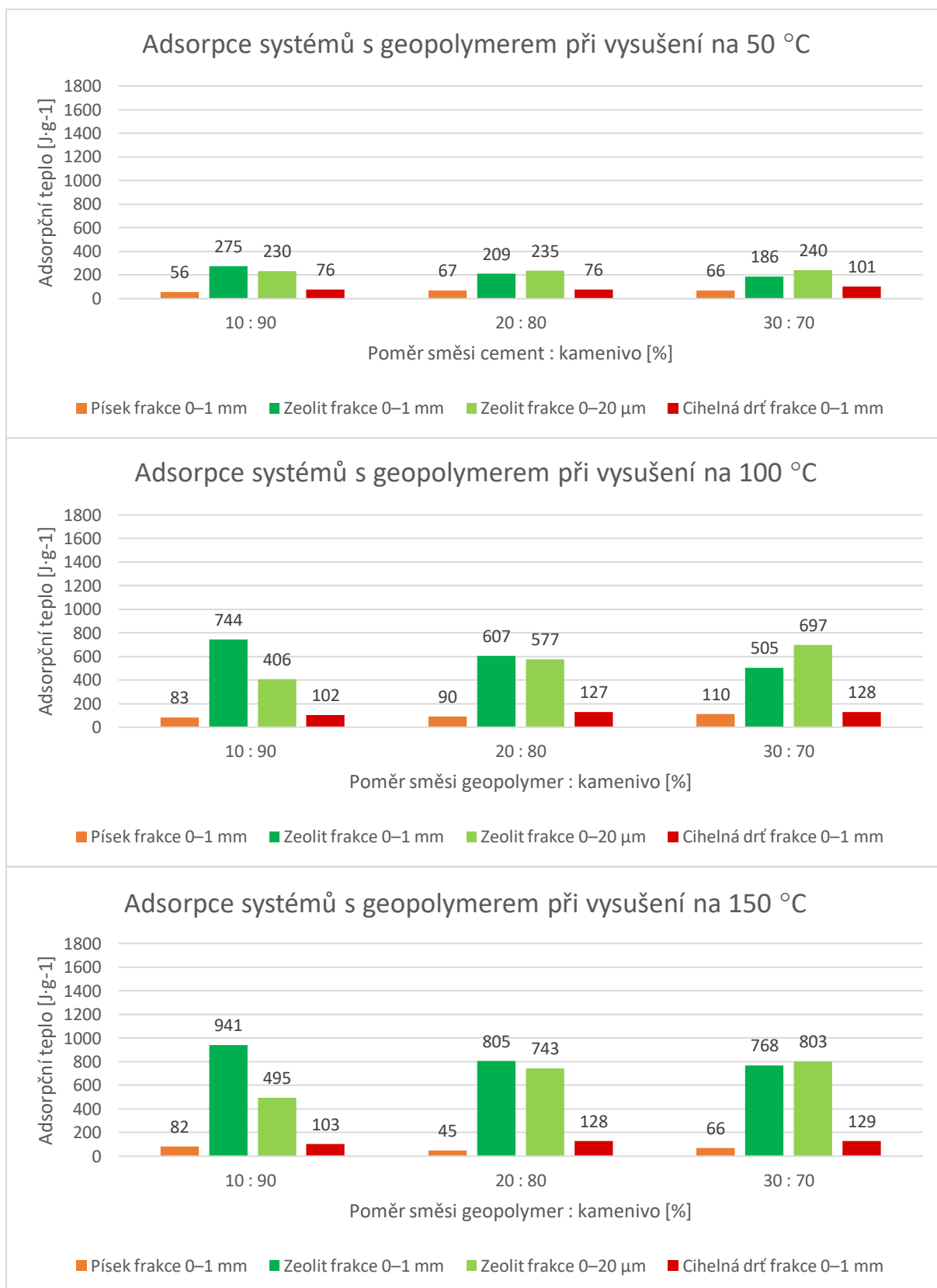
Zdroj: Vlastní šetření



Graf 35: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a cihelná drť frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.2.5 Vyhodnocení zkoumaných vzorků systémů s geopolymerním pojivem



Graf 36: Soubor vyhodnocení sorpčního tepla zkoumaných vzorků s geopolymerním pojivem

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.3 Systémy s hořčnatým pojivem

Na základě použití silikagelu jako kameniva při výrobě zkušebních vzorků, kde bylo použito pojivo cement, jsem zjistila, že se v alkalickém prostředí tohoto pojiva silikagel rozpouští a tak jsem hledala náhradu v podobě pojiva na kyselé bázi. Použila jsem tedy pojivo hořčnaté – Sorelův cement. Zde jsem provedla dvě zkoušky a to s pískem z laboratoře frakce 0–1 mm a již zmíněným silikagelem. Výsledky tohoto zkoumání jsou uvedeny dále.

3.3.3.1 Hořčnaté pojivo, kamenivo z laboratoře písek frakce 0–1 mm

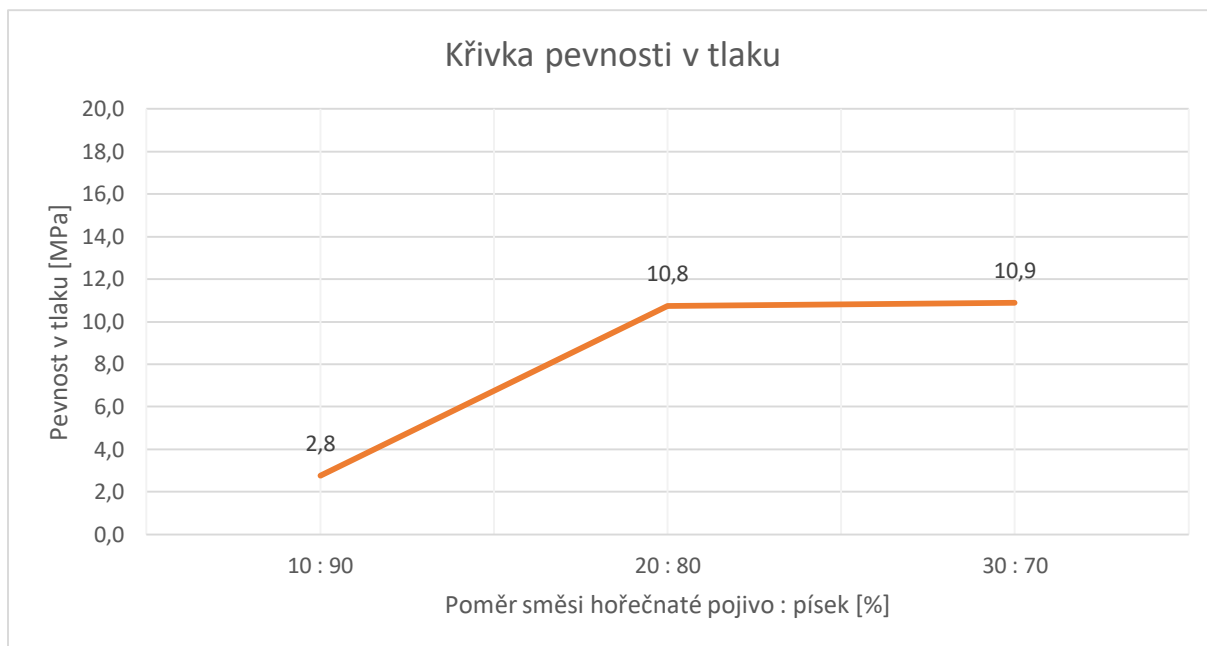
Jako poslední jsem zkoušela systém ve směsi hořčnatá maltovina, písek z laboratoře frakce 0–1 mm a voda, kde jsem použila poměry určené při systému cement, písek a voda. Vycházela jsem z daných poměrů cement : písek, kdy jsem množství cementu nahradila směsí hořčnatého pojiva. Množství pojiva jsem dále rozdělila, aby složení hořčnatého pojiva bylo 5MgO a MgCl₂. Takto připravené pojivo jsem následně smíchala s kamenivem a přidala vodu dle potřeby. Z této směsi jsem vyrobila zkušební tělíska ve tvaru krychlí o velikosti 20x20x20 mm. Vzorky jsem nechala vždy ve formě přes noc a následující den jsem krychličky hydrotermálně zpevnila po dobu 16 h při teplotě 60 °C. Po uplynutí doby ve vodní lázni jsem osušila povrch zkušebních tělísek a pro pevnostní zkoušku je bylo třeba vysušit v sušárně, kde jsem je ponechala 1 h při teplotě 100 °C.

Zkušební tělíska připravená ke zkoušce jsem vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsí s různými procentuálními poměry hořčnatého pojiva a kameniva.

Tabulka 33: Pevnost v tlaku vzorků hořčnaté pojivo-písek z laboratoře frakce 0–1 mm

Sorelův cement : písek [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	1,10	2,8
20 : 80	4,30	10,8
30 : 70	4,35	10,9

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 37: Tlakové pevnosti vzorků hořecnaté pojivo a písek z laboratoře frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

Další zkouškou bylo stanovení adsorpčního tepla systému hořecnaté pojivo písek z laboratoře a voda. Zkoušku jsem provedla se čtyřmi zkušebními tělisky s vybranými třemi poměry směsi a postupovala jsem stejně jako při stanovení adsorpčního tepla kameniva.

Zkušební tělíska v poměru 10 : 90, 20 : 80 a 30 : 70 (hořecnaté pojivo písek z laboratoře) jsem předem vysušila v sušárně při teplotě 50, 100, a 150 °C po dobu 12 hod. Po vysušení jsem vzorky nechala vytemperovat na laboratorní teplotu v exsikátoru s náplní vysušeného silikagelu, který zjišťoval požadované vlhkostní podmínky při chladnutí vzorku. Pro zkoušku jsem dále použila vytemperovanou vodu, kdy pro jednu zkoušku potřebuji 2x množství vody, které je závislé na hmotnosti vysušených tělísek. Množství vody potřebné pro jednotlivé zkoušky jsem vypočítala podle vzorce uvedeného v systému cement, písek a voda. Na připravených vytemperovaných zkušebních těliscích byla provedena zkouška adsorpčního tepla daného systému.

Vlastní zkouška probíhala tak, že jsem nejdříve změřila teplotu vzorku v exsikátoru s přesností na 0,1 °C. Následně jsem zvažila čtyři zkušební tělíska na digitální váze s přesností na 0,1 g. Poté jsem mohla spočítat množství vody potřebné pro zkoušku podle vzorce uvedeného v kapitole 3.3.1.1. systém s cementem, pískem a vodou, to jsem zaokrouhlila na celé gramy. Zjištěné množství vody jsem odlila do odměrného válce, které jsem následně připravila do kádinky o jmenovitém objemu 1 litr, kterou jsem si připravila na elektromagnetické

míchadlo a k němu připevnila rtuťový teploměr, který má přesnost 0,1 °C. Na dno nádoby jsem umístila míchadlo, které jsem zapnutím přístroje roztočila. Následně jsem změřila teplotu vody v nádobě s přesností na 0,1 °C.

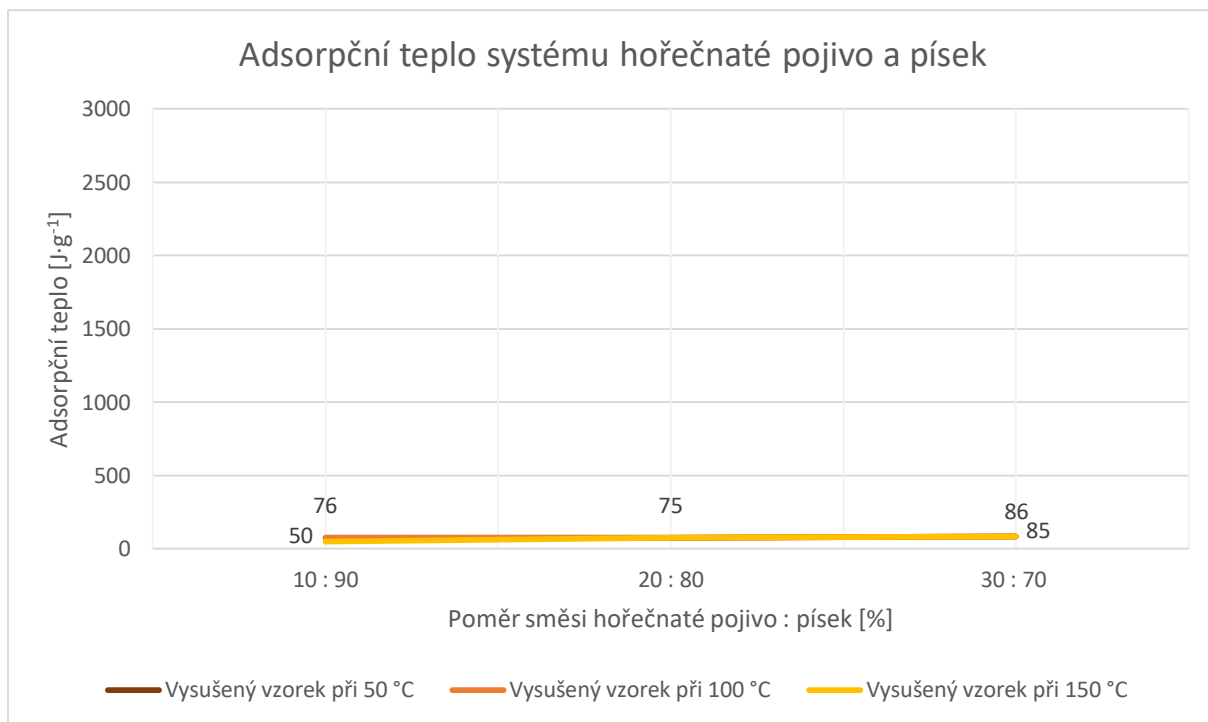
Vysušená zkušební tělíska jsem vložila do kádinky na elektromagnetickém míchadle a pozorovala nárůst teploty na rtuťovém teploměru a zaznamenala nejvyšší naměřenou hodnotu. Na závěr jsem přilila stejné množství vody, spočítané na začátku zkoušky, do nádoby s tělísky a pozorovala změnu teploty v nádobě, kde teplota klesala, a po jejím ustálení jsem zapsala konečnou teplotu.

Naměřené hodnoty tohoto systému, který byl zkoušen na systému hořečnaté pojivo-písek z laboratoře, jsou uvedeny v následující tabulce č. 34, ze které vychází i příslušný graf č. 38.

Tabulka 34: Adsorpční tepla vzorků hořečnatého pojiva a písku frakce 0–1 mm

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	10 : 90	55,3	184	21,6	20,6	20,9	20,7	4,19	76
	20 : 80	56,1	187	21,6	20,6	20,9	20,7	4,19	75
	30 : 70	49,4	165	21,6	20,8	21,1	20,0	4,21	85
100	10 : 90	55,2	184	23,3	22,5	22,8	22,7	4,18	76
	20 : 80	55,7	186	23,3	22,5	22,8	22,7	4,19	75
	30 : 70	49,1	164	23,3	22,6	22,9	22,7	4,20	86
150	10 : 90	55,1	183	22,5	21,9	21,8	21,7	2,78	50
	20 : 80	55,6	185	22,5	21,8	22,1	22,0	4,17	75
	30 : 70	48,8	163	22,5	21,6	22,2	22,1	4,19	86

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 38: Průběhu adsorpčního tepla vzorků hořečnaté pojivo, písek z laboratoře frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

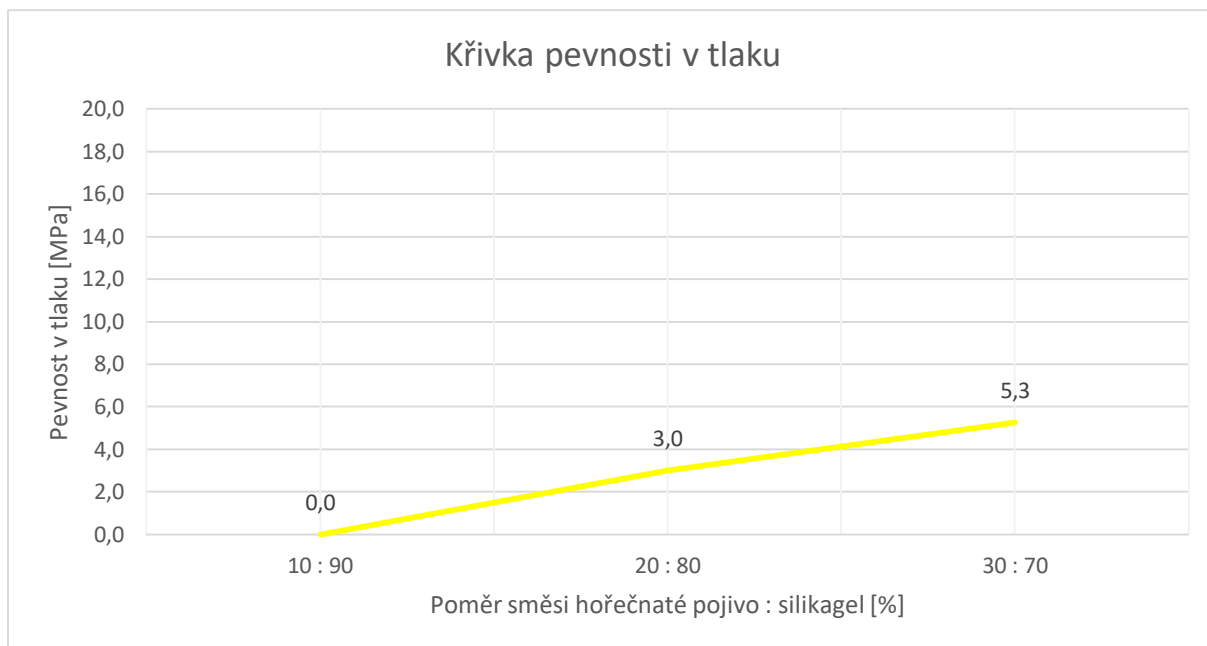
3.3.3.2 Hořečnaté pojivo, kamenivo z laboratoře silikagel frakce 0–1 mm

Jak je uvedeno v úvodu této kapitoly (3.3.3), byl zkoušen systém ve směsi hořečnaté pojivo a silikagel frakce 0–1 mm a voda, kde jsem použila poměry určené při systému cement, písek a voda. Z této směsi jsem vyrobila zkušební tělíska ve tvaru krychlí o velikosti 20x20x20 mm a po zpevnění, což je popsáno výše, jsem je vložila do lisu a zjišťovala maximální sílu při destrukci a vypočetla pevnosti v tlaku směsí při různých procentuálních poměrech hořečnatého pojiva a kameniva.

Tabulka 35: Pevnost v tlaku vzorků systému hořečnaté pojivo-silikagel frakce 0–1 mm

Sorelův cement : silikagel [%]	Zatěžovací síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
10 : 90	0,00	0,0
20 : 80	1,20	3,0
30 : 70	2,10	5,2

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 39: Vyhodnocení tlakových pevností vzorků hořecnaté pojivo a silikagel frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

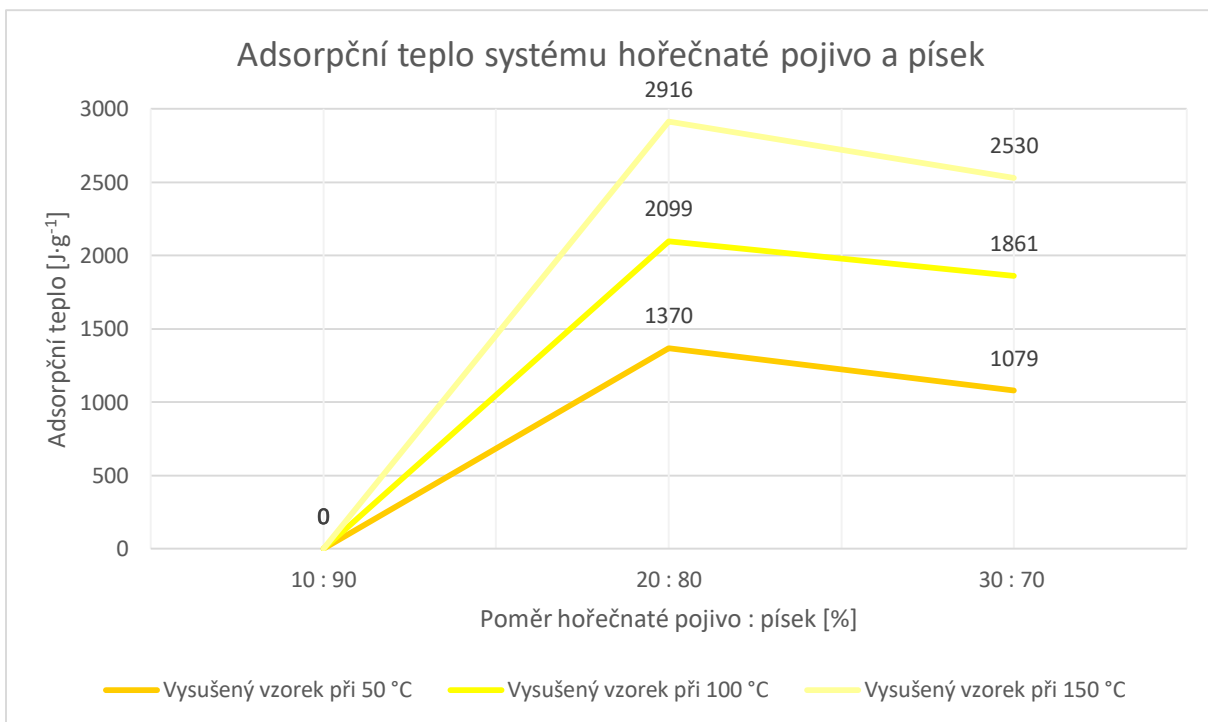
Další zkouškou bylo stanovení adsorpčního tepla systému hořecnatého pojiva a silikagelu. Zkoušku jsem provedla se čtyřmi zkušebními tělisky s vybranými třemi poměry směsi a postupovala jsem stejně jako při stanovení adsorpčního tepla kameniva.

Naměřené hodnoty tohoto systému jsou uvedeny v následující tabulce č. 36, ze které vychází i příslušný graf č. 40.

Tabulka 36: Stanovení adsorpčního tepla vzorků hořecnaté pojivo a silikagel

Vysušený vzorek při teplotě [°C]	Směs cement : kamenivo [%]	Hmotnost [g]		Teplota [°C]				Adsorpční teplo směsi Q	
		Vzorku	Vody	Vzorku	Vody	Zvýšená	Pokles	[kJ]	[J·g ⁻¹]
50	10 : 90	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0
	20 : 80	31,7	106	21,8	21,3	24,4	23,0	43,43	1370
	30 : 70	36,1	120	21,8	21,8	24,6	23,1	38,95	1079
100	10 : 90	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0
	20 : 80	30,6	102	23,3	22,8	27,4	25,3	64,22	2099
	30 : 70	34,5	115	23,3	22,5	27,1	25,0	64,21	1861
150	10 : 90	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0
	20 : 80	29,3	98	21,7	20,4	26,5	23,6	85,44	2916
	30 : 70	33,2	111	21,7	21,0	27,0	24,1	84,00	2530

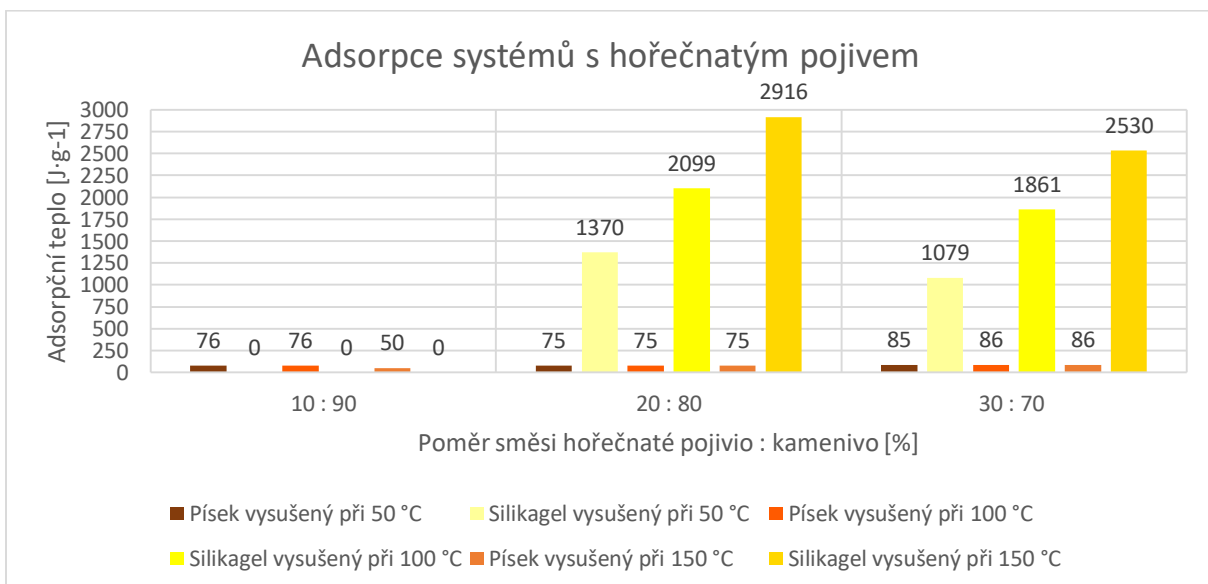
Zdroj: Vlastní šetření



Graf 40: Vyhodnocení průběhu adsorpčního tepla vzorků hořčnaté pojivo, silikagel frakce 0–1 mm

Zdroj: Vlastní šetření

3.3.3.3 Porovnání výše adsorpčního tepla systémů s hořčnatým pojivem



Graf 41: Vyhodnocení zkoumaných vzorků systémů s hořčnatým pojivem

Zdroj: Vlastní šetření

4 Vyhodnocení a návrhy využití hydrofilních kompozitů

Příprava kompozitů s různými pojivy v kombinaci s různými druhy pórovitého kameniva a jejich mechanicko-fyzikálně-chemické vlastnosti byly hlavními aspekty návrhu těchto směsí. Za určitých podmínek přípravy směsí je možné dosáhnout velmi zajímavých výsledků, které by mohly být použity v praxi a tím, jak je uvedeno v úvodu mé práce, mohou takto vyrobené výrobky ovlivňovat lokální okolní prostředí částí staveb, nádvoří apod.

Při mém návrhu jsem posuzovala tlakově pevnostní charakteristiky připravených vzorků současně s možností adsorpce vody do jejich struktury a odolnost proti mrazu pro výrobky celoročně exploatované v exteriérech

4.1 Kamenivo pro zkoušky

Jako kamenivo pro zkoušky jsem se snažila vybrat dostupné druhy vzorků, které vykazovaly vysokou pórovitost, a ta byla základem pro vlastní využití tohoto kameniva do mnou navrhovaných kompozitů.

Současně jsem pro jednu zkoušku na ověření svých předpokladů a ke kontrole správnosti použila kromě pórovitého kameniva i klasický betonářský písek, který měl vykazovat minimální naměřené hodnoty.

Také jsem musela připravit vhodnou zrnitost kameniva kvůli použití směsi do malých forem (krychle o hraně $a=20$ mm).

4.1.1 Granulometrie kameniva

Použité kamenivo bylo připraveno na velikost zrna 0–1 mm. V jílu, který obsahoval jemných podílů $< 0,063$ mm v množství 75 % propadu, jsem tolerovala zrna do 8 mm, která byla v množství 0,5 % propadu. Průběh křivek granulometrie je uveden v kapitole 3.1.1.

Křivky korespondují s charakteristickým průběhem standartní křivky zrnitosti, kde jsou zastoupena všechna zrna. Jemné frakce, jak je vidět u jílu a mletého zeolitu s maximálním zrnem < 20 μm , nebyly, jak je uvedeno, kompozity zcela stabilní.

4.1.2 Stanovení adsorpčního tepla kameniva

Po přípravě vzorků kameniva byla provedena zkouška adsorpce vody do systému kapilár v pórovitém kamenivu, přičemž se měřila uvolněná energie (adsorpční teplo – entalpie soustavy). Hodnota množství uvolněného tepla mi ukázala vhodnost použití kameniva pro mé účely v připravovaných systémech.

Z uvedeného grafu v kapitole 3.2.6 vyplývá, že nejlepším mnou použitým kamenivem je silikagel z hlediska výše adsorpčního tepla, protože dosahuje nejvyššího adsorpčního tepla v hodnotě až $861 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ při tepelné přípravě na $50 \text{ }^\circ\text{C}$, který má oproti zeolitu frakce 0–1 mm, s adsorpčním teplem až $349 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, dvojnásobný nárůst. Dále je zde zeolit frakce 4–8 mm s adsorpčním teplem až $453 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, zeolit frakce 0–20 μm dosahující až $302 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, jíl s $465 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, cihelná drť s $47 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ a nakonec nenasákavý betonářský písek frakce 0–1 mm z laboratoře s hodnotou adsorpčního tepla jen $24 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$.

Bližším zkoumáním těchto systémů bylo zjištěno, že použitelné hydratační teplo mají kameniva, která mají ve svých pórech volné náboje na molekulách sloučenin, z nichž byly vytvořeny, a afinitou k polární molekule vody vytváří vodíkový můstek, přičemž se uvolní energie. Tak je tomu u molekul silikagelu SO_4^{4-} , komůrkových molekul zeolitu a vrstevnatých molekul jílových minerálů.

4.2 Vyhodnocení vzorků kompozitů

Vyrobené vzorky z ověřovaných druhů kameniva byly nejprve vytvrzeny buď hydrotermálně, nebo pouze termálně. Dalším zkoušením byla ověřena tlaková pevnost, která je pro použití ve stavebním dílce jednou z důležitějších charakteristik. Další charakteristikou, která je hlavním tématem mé práce, bylo stanovení adsorpčního tepla (entalpie) připravených směsí.

4.2.1 Posouzení tlakových pevností kompozitů

V každé sérii bylo vyrobeno 6 krychliček o velikosti hrany $a=20 \text{ mm}$. Náhodné dva vzorky byly podrobeny tlakovým pevnostem. Komplexní vyhodnocení hodnot pevností v tlaku je uvedeno v kapitole 3.3.

Ze zjištěných hodnot vyplývá, že ne všechny připravené kompozity vyhověly požadovaným tlakovým pevnostem. Je nutno podotknout, že určitým trendem, který z výsledků vyplývá, je v první řadě množství pojiva a v další řadě druh použitého vzorku kameniva. Při jejich použití je nutné také zvažovat výši adsorpčního tepla, jak je uvedeno dále.

4.2.2 Vyhodnocení adsorpčního tepla kompozitů

Důvod, pro který byla tato práce vytvořena, je v podstatě vyhodnocen v této pasáži, kde je porovnána výše adsorpčního tepla zkoumaných systémů (vytvořených vzorků kompozitů). V grafech v kapitole 3.3 jsou jednotlivé případy uvedeny a vyhodnoceny jak po stránce složení tak i výše teploty (50 ; 100 a $150 \text{ }^\circ\text{C}$) pro zjišťování hodnot adsorpčního tepla.

Při porovnání adsorpčního tepla čistého kameniva a kompozitů vychází adsorpční teplo směsí nižší než vzorků kameniva z důvodu zaplnění části pórů jemnými částicemi pojiva. Uvedené hodnoty jsou velice zajímavé pro využití na různých stavebních výrobcích, které z nich budou navrženy. Z daných hodnot také vyplývá, že je možné v určitých případech využít i čisté kamenivo bez pojiva, a to účinnost takto navrženého systému zvýší.

Tyto hodnoty jsou posuzovány především při nižší teplotě přípravy tj. 50 °C. Víme, že teplota v letních obdobích na slunečných místech může být i vyšší. Dále záleží při tomto posuzování také na teplotě barevného odstínu použitých výrobků, jejich povrchové struktuře (hladká, profílovaná, pískovaná, pemrlovaná, kyselinovaná apod.).

Použitím vhodného odstínu se může prodloužit doba ztráty vlhkosti v daných výrobcích, a tudíž se dá předpokládat, že když světlé barvy (povrchy) odpařují vodu pomaleji oproti tmavým, které se zahřívají více, dá se barvou povrchu regulovat i rychlost desorpce (odpařování) vody, a proto lze ovlivnit i dobu ochlazování prostoru po určitou denní dobu.

4.2.3 Celkový přehled a výpočty výsledků

Ze znalostí fyzikálních jevů a charakteristik mnou ověřované vody a pevných stavebních výrobků vyplývají různé charakteristiky jako je například nasákavost. Pomocí zkoušek jsem rozšířila a změřila adsorpční tepla uvedených směsí. Komplexní posouzení všech zjištěných výsledků a charakteristik za různých tepelných podmínek v kombinaci pojivo-kamenivo je uvedeno v kapitole 3,3.

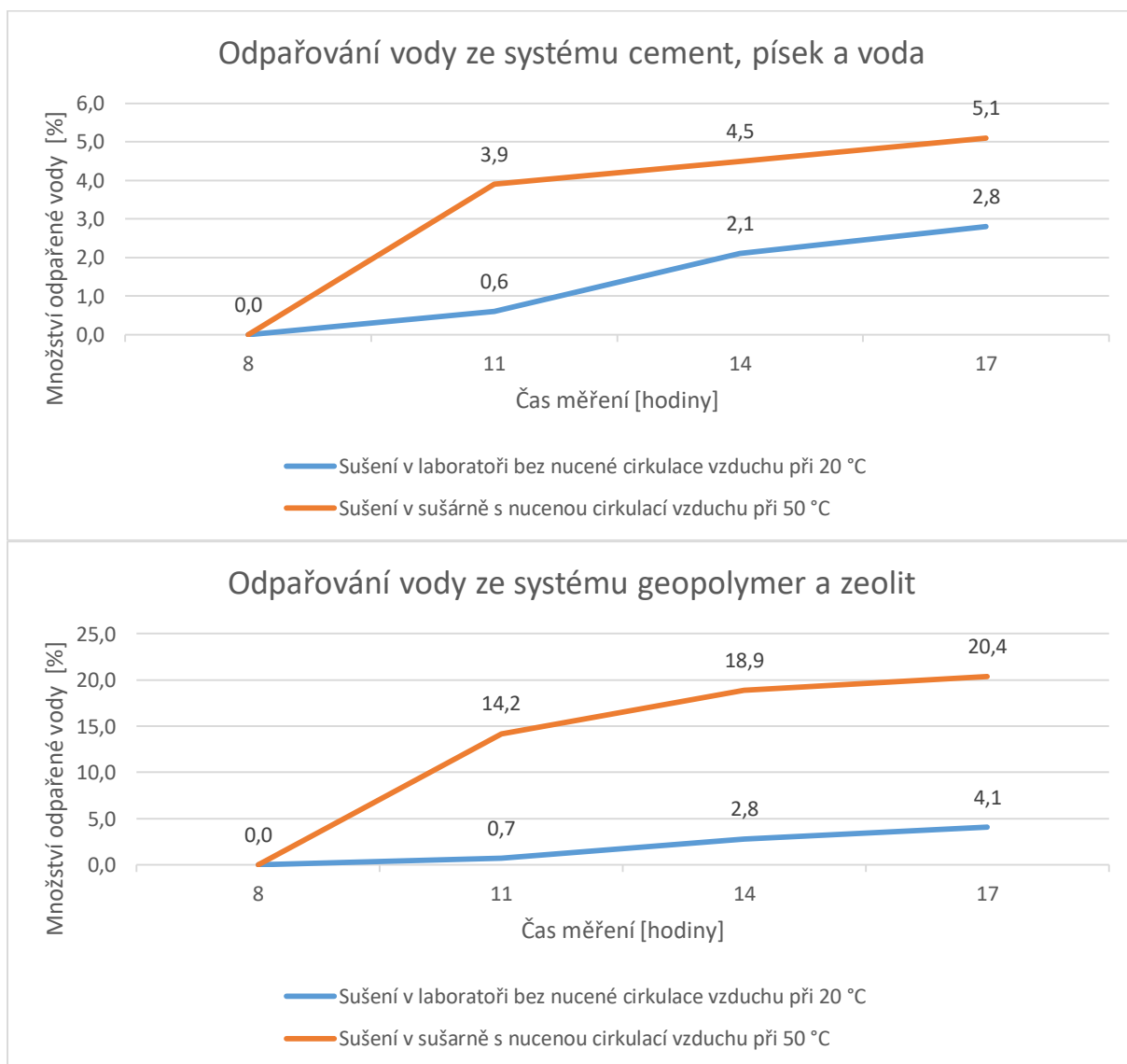
Běžně se ve venkovním prostředí na velkých místech provádí kropení ploch, například silnic, aby v letním období bylo ochlazováno okolí a tím se v těchto místech na určitou krátkou dobu, dle intenzity oslunění, toto prostředí zlepšilo. Tuto skutečnost jsem chtěla pojistit tím, že budu využívat nejenom skupenské teplo vody, při němž dochází k přeměně kapaliny na páru, ale dále využívám pro větší intenzitu ochlazování okolí entalpií pórovitých systémů při desorpci vody z kapilárního řečiště těchto výrobků.

Dále uvádím příklad uvolnění, respektive pohlcení, tepelné energie v jednotlivých fázích v průběhu dne na vybraných vzorcích připravených kompozitů, což je uvedeno v tabulce č. 37 a vyjádřeno graficky na grafu č. 42

Tabulka 37: Závislost odpařování vody v čase na vybraných vzorcích

Směs 20:80 (střední složení směsi pojivo:kamenivo)				
Čas v hod.	Odpařená voda v %			
	Cement : písek		Geopolymer : zeolit	
	20 °C	50 °C	20 °C	50 °C
8	0,0		0,0	
11	0,6	3,9	0,7	14,2
14	2,1	4,5	2,8	18,9
17	2,8	5,1	4,1	20,4
Max. vlhkost vzorku	5,6		20,6	

Zdroj: Vlastní šetření



Graf 42: Oblast odpařování vody v závislosti na normálních a extrémních podmínkách

Zdroj: Vlastní šetření

Z výše uvedených hodnot vyplývá, že množství spotřebovaného tepla na přeměnění vody z kapaliny na páru stejné teploty je $2257 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$. Mnou zkoumané systémy s pojivem, jak bylo již

uvedeno, mají hodnoty ve velkém rozsahu, při nejnižší zkoumané teplotě 50 °C bylo naměřeno 41 J·g⁻¹ u písku až 1370 J·g⁻¹ u silikagelu. Při vyšších teplotách vysušení (150 °C) je možné dosáhnout i hodnot, které se blíží měrnému skupenskému teplu varu vody.

Nejlépe použitelný kompozit, jak po stránce adsorpčního tepla, tak po stránce mechanické odolnosti se jevil zeolit s cementovým, nebo geopolymerním pojivem.

4.2.4 Úprava navržených výrobků vegetací

Nakonec bych se v závěru chtěla zmínit, že je možné umístit do připravených výrobků, v kterých bude například nasypán drcený zeolit, broméliovité rostliny, které patří k velmi zvláštním čeledím. Pro svůj růst využívají systém nálevkovité růžice svých listů, kde se zadržuje voda, rychle se uchytí řasy, prvoci i hmyzí zárodky. Toto živočišné společenstvo vylučuje organické zbytky, které bromélie vstřebávají svými listy a využívají ke své výživě.

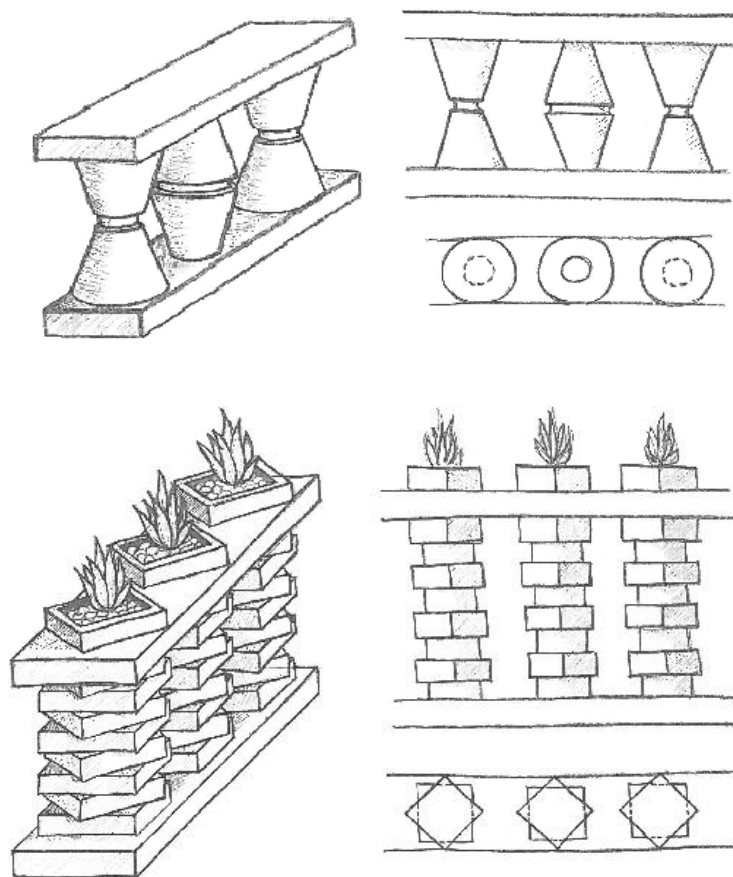


Obr. 10: Bromélie

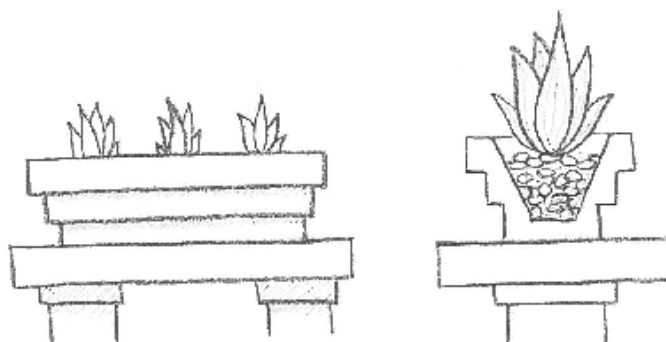
Zdroj: [9]

4.3 Návrhy a možnosti využití kompozitů v architektuře

Sloupky



Žlab



Obr. 11: Návrh sloupků a žlabu

Zdroj: Vlastní návrh

4.4 Ekonomické vyhodnocení

V ekonomickém vyhodnocení se nejprve věnují cenové náročnosti výroby vybraných směsí, kde použijí střední poměr tedy 20 : 80, (pojivo : kamenivo).

Tabulka 38: Ceny surovin a vybraných směsí

Suroviny	Cena v Kč/kg	Cement		Geopolymer	Hořčnatá maltovina
		Písek	Zeolit frakce 0–1 mm		Silikagel
Cement	3,300	0,660	0,660		
Metakaolin S	0,300			0,060	
Vodní sklo	155,000			22,165	
Hydroxid sodný	93,000			2,651	
Voda	0,050	0,003	0,003	0,002	0,003
Chlorid hořčnatý	336,000				11,088
Oxid hořčnatý	948,000				158,316
Písek fr. 0–1 mm	0,300	0,240			
Zeolit	12,000		9,600	9,600	
Silikagel	293,000				234,400
Cena 1 kg výrobku		0,903	10,263	34,477	403,807

Zdroj: Vlastní šetření

Z výše uvedené tabulky vyplývají náklady na výrobu vybraných směsí z mé práce. Při posuzování ekonomických hodnot není možné pracovat jenom s nimi, ale je nutné d komplexního pohledu na danou problematiku nahlížet i na výši adsorpčního tepla navrhovaných kompozitů.

V kapitole 4.2.3 je uvedeno, že nejlépe použitelnou směsí je zeolit s cementovým nebo geopolymerním pojivem. Při posouzení i z ekonomického hlediska vyplývá, že 1 m³ systému cement-písek je přibližně 10x levnější než navrhovaná směs cement-zeolit, ale pro zlepšení environmentálních podmínek je systém pojivo-zeolit přibližně 13x účinnější, z hlediska adsorpčního tepla, než je systém pojivo-písek, jak vyplývá z kapitol 3.3.1.7 a 3.3.2.5.

Závěr

Předložená práce se zabývá výzkumem nových materiálů na bázi betonu se zvýšenou schopností adsorpce vody do své struktury s tím, že při jejím odpařování bude docházet k ochlazování výrobků a to ve dvou fázích, které se dělí na skupenské teplo vody, tzn. přeměna kapalné vody v plyn a dále, což bylo náplní mé práce, desorpční teplo za použití různých typů pórovitého kameniva.

V první části zkoušek jsem zjišťovala adsorpční teplo v systémech voda-kamenivo, které bylo před zkouškou vysušeno při různých teplotách (50; 100 a 150 °C), z nichž jsem vybrala interval 50–100 °C. Ze zjištěných výsledků jsem rozdělila použité kamenivo do dvou základních skupin. Jednou skupinou byla kameniva povrchově neaktivní (jedná se i o povrchy vnitřní – kapiláry). Do této skupiny jsem zařadila písek a cihelnou drť, kde adsorpce nepřesáhla v žádné zkoušce 47 J·g⁻¹. Do druhé skupiny povrchově aktivních kameniv jsem se značným nárůstem adsorpčního tepla zařadila silikagel 861–1628 J·g⁻¹, jíl 465–535 J·g⁻¹ a zeolit 349–524 J·g⁻¹.

V další části jsem řešila přípravu směsí ze zkoušeného kameniva výrobu vzorků, na kterých byly opět zkoušeny adsorpční tepla a další charakteristiky. Chování směsí neaktivního kameniva (písek a cihelná drť) ovlivnila přítomnost pojiva a hodnoty adsorpce mírně vzrostly a dosahovaly hodnot okolo 120 J·g⁻¹.

Pro můj závěr použití aktivního kameniva bylo zjištěno, že silikagel, který měl v systému s vodou nejvyšší adsorpční teplo, nebylo možno použít v alkalických pojivových systémech, kde je nestabilní a rozpouští se. Jako dalším materiálem byl odzkoušen jíl, ale vzhledem k majoritnímu podílu jemných částic nebylo možné vytvořit dostatečně pevnou hmotu a při zkoušce se ve vodním prostředí rozpadal. S vyšším podílem pojiva pak docházelo ke značnému snížení adsorpčního tepla.

Jako nejlepší se jevil přírodní zeolit (klinoptilolit) frakce 0–1 mm, poskytnutý firmou ZEOCEM a. s., který měl dostatečné tlakové pevnosti s cementovým pojivem 14,0 MPa a s geopolymerním pojivem 9,4 MPa. Vyhověl také zmrazovacím cyklům. Pro zvýšení efektivity tohoto návrhu, jak je uvedeno v mé práci je možné využít i sypaného drceného zeolitu v nádobách, které je možné zapracovat do příslušných návrhů.

Práce se dále zabývá vlastnostmi a využitím speciálně připravených kompozitů s možností využití na výrobu různých stavebních prvků, které mají zajistit v extrémně teplých dnech letního období zlepšení environmentální podmínky, tzn. chlazení okolí. Hlavní část této práce spočívá v návrhu speciálních kompozitů s hydrofilními vlastnostmi a ve studiu jejich působení na vnější prostředí v návaznosti na jejich pevnost v tlaku a odolnosti proti mrazu během chladných zimních období.

Klimatické podmínky budou procházet vývojem, bude se zvyšovat teplota Země, a proto je třeba postupně reagovat na tyto změny různými opatřeními a toto by mělo být jedno z nich. Cílem je upravit tyto podmínky přírodní cestou bez dalších energetických nároků a má práce takovouto cestu navrhuje. Jeden z nezbytných požadavků pro mnou navrhované směsi je jejich dlouhodobá stálost a mechanická odolnost. Abychom mohli modelovat jednotlivé kombinace směsí, tzn. pojiva a plniva, jak po stránce fyzikální, tak i chemické, musíme nejdřív poznat jejich charakteristiky chování za rozdílných podmínek zpracování. Proto hlavním požadavkem pro lepší pochopení vlastností materiálů z nich vyrobených je studium mikrostruktury, zejména mikropórovitosti s rozlišením druhové použitelnosti a současně s dodržением dlouhodobé stálosti.

Využití navrhovaných materiálů v budoucnosti bude vycházet nejenom z místních zdrojů, ale i z druhotných surovin odpadních materiálů. Kompozity budou vyráběny tak, aby splňovaly specifické požadavky na jejich použití pro daný účel. Lepší znalosti vlastností materiálů a procesů jejich přípravy spojené zejména s kvalitním pórovitým kamenivem vedou k úspěšnému kombinování materiálů různého původu a složení.

Kompozitní směsi, u nichž se používají speciální plniva s vysokou adsorpcí, jak je v práci uvedeno, mají široké aplikace při zlepšování životního prostředí. Mohou být mimo jiné použity v jiných odvětvích jako filtrační materiály, kde kromě vody jsou schopny imobilizovat potenciálně toxické elementy z toxických odpadů apod. Tyto vlastnosti se očekávají od jejich pórovité struktury, která je schopna pojmout nebezpečné látky a tím regenerovat různé kapalné substance. Princip a účinnost těchto látek tkví především ve velikosti a počtu pórů a měrném povrchu, spolu s druhem použitého pojiva mohou docílovat přijatelné synergie.

Seznam literatury

- [1] Ing. VOREL Jindřich, Disertační práce – Kompozity na bázi alkalicky aktivovaných aluminosilikátů; Chemická fakulta – ústav chemie materiálů.
- [2] GÁLIKOVÁ Eliška, Bakalářská práce – Dehydratace ethanolu geopolymerními zeolity; Chemická fakulta – ústav chemie materiálů.
- [3] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Rosa>.
- [4] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-007-1.
- [5] MALÝ, Josef a Pavla ROVNANÍKOVÁ. *Základy chemie: učební text pro studenty distančního a denního studia*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1995. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0611-9.
- [6] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. Brno: Vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-214-0779-4.
- [7] DAVÍDEK Tomáš, Středoškolská odborná činnost – Využití betonového kalu; Střední průmyslová škola stavební Josefa Gočára.
- [8] BLAŽEK, Jaroslav a Ján FABINI. *Chemie pro studijní obory SOŠ a SOU nechemického zaměření*. Praha: SPN - pedagogické nakladatelství, 1999. ISBN 8072351044.
- [9] <https://zmagazin.cz/tilandsie-tillandsia-bromeliovita-rostlina>
- [10] AÏTCIN, Pierre-Claude. *Vysokohodnotný beton*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) a Českou betonářskou společnost vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Betonové stavitelství. ISBN 80-86769-39-9.
- [11] Henning, Otto; Lach, Vladimír chemie ve stavebnictví 1983, 1. vydání, Vydavatel: SNTL, Místo vydání: Praha
- [12] ŘEPÍK Michal, Středoškolská odborná činnost – Příprava geopolymerního pojiva; Střední průmyslová škola stavební Josefa Gočára.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Kamenivo z laboratoře pro zkoušky směsí	17
Tabulka 2: Zrnitost zeolitu frakce 0–1 mm	19
Tabulka 3: Zrnitost silikagelu frakce 0–1 mm.....	21
Tabulka 4: Zrnitost jílu.....	23
Tabulka 5: Zrnitost cihelné drti	24
Tabulka 6: Zjišťování adsorpčního tepla písku frakce 0–1 mm a vody	29
Tabulka 7: Zjišťování adsorpčního tepla zeolitu frakce 4–8 mm a vody	30
Tabulka 8: Zjišťování adsorpčního tepla zeolitu frakce 0–1 mm a vody	30
Tabulka 9: Zjišťování adsorpčního tepla zeolitu frakce 0–20 µm a vody	31
Tabulka 10: Zjišťování adsorpčního tepla silikagelu frakce 0–1 mm a vody.....	32
Tabulka 11: Zjišťování adsorpčního tepla systému jílu a voda	33
Tabulka 12: Zjišťování adsorpčního tepla systému cihelná drť a voda	34
Tabulka 13: Směs ve složení písek frakce 0–1 mm, cement a voda	38
Tabulka 14: Tlakové pevnosti vzorků ve složení písek frakce 0–1 mm, cement a voda	39
Tabulka 15: Pevnosti vzorků ve složení písek frakce 0–1 mm, cement a voda.....	39
Tabulka 16: Stanovení adsorpčního tepla systému písek frakce 0–1 mm a cement	41
Tabulka 17: Pevnost v tlaku vybraných vzorků systému cement-zeolit frakce 0–1 mm.....	42
Tabulka 18: Stanovení adsorpčního tepla systému zeolit frakce 0–1 mm a cement	43
Tabulka 19: Pevnost v tlaku vybraných vzorků systému cement-zeolit frakce 0–20 µm.....	44
Tabulka 20: Stanovení adsorpčního tepla systému zeolit frakce 0–20 µm a cement	45
Tabulka 21: Pevnost v tlaku vzorků systému cement-jíl a voda	47
Tabulka 22: Stanovení adsorpčního tepla vzorků cement a jílu s vodou	48
Tabulka 23: Pevnost v tlaku vybraných vzorků systému cement-cihelná drť frakce 0–1 mm	50
Tabulka 24: Stanovení adsorpčního tepla vzorků cement, cihelná drť frakce 0–1 mm s vodou	51
Tabulka 25: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, písek frakce 0–1 mm	54
Tabulka 26: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a písek frakce 0–1 mm	55
Tabulka 27: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, zeolit frakce 0–1 mm	56
Tabulka 28: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a zeolit frakce 0–1 mm.....	57
Tabulka 29: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, zeolit frakce 0–20 µm.....	58
Tabulka 30: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a zeolit frakce 0–20 µm.....	59
Tabulka 31: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, cihelná drť frakce 0–1 mm.....	60
Tabulka 32: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a cihelná drť frakce 0–1 mm	61
Tabulka 33: Pevnost v tlaku vzorků hořčnaté pojivo-písek z laboratoře frakce 0–1 mm.....	64
Tabulka 34: Adsorpční tepla vzorků hořčnatého pojiva a písku frakce 0–1 mm.....	66
Tabulka 35: Pevnost v tlaku vzorků systému hořčnaté pojivo-silikagel frakce 0–1 mm.....	67
Tabulka 36: Stanovení adsorpčního tepla vzorků hořčnaté pojivo a silikagel.....	68
Tabulka 37: Závislost odpařování vody v čase na vybraných vzorcích.....	73
Tabulka 38: Ceny surovin a vybraných směsí.....	76

Seznam grafů

Graf 1: Křivka zrnitosti kameniva z laboratoře	18
Graf 2: Křivka zrnitosti zeolitu frakce 0–1 mm.....	19
Graf 3: Granulometrické složení zeolitu frakce 0–20 µm	20
Graf 4: Křivka zrnitosti silikagelu frakce 0–1 mm	21
Graf 5: Křivka zrnitosti jílu	23
Graf 6: Křivka zrnitosti cihelné drti.....	25
Graf 7: Granulometrické složení Sedleckého kaolinu I A.....	27

Graf 8: Křivka průběhu vývinu adsorpčního tepla u vzorku písku a vody.....	29
Graf 9: Vyhodnocení vývinu adsorpčního tepla systému zeolit frakce 4–8 mm a voda	30
Graf 10: Vyhodnocení vývinu adsorpčního tepla systému zeolit frakce 0–1 mm a voda	31
Graf 11: Vyhodnocení vývinu sorpčního tepla systému zeolit frakce 0–20 μm a voda.....	32
Graf 12: Vyhodnocení vývinu adsorpčního tepla systému silikagel frakce 0–1 mm a voda.....	33
Graf 13: Vyhodnocení sorpčního tepla systému jílu frakce 0–1 mm a voda.....	34
Graf 14: Vyhodnocení sorpčního tepla systému cihelná drť frakce 0–1 mm a voda.....	35
Graf 15: Vyhodnocení adsorpčního tepla zkoumaných systémů	36
Graf 16: Pevnost v tlaku vybraných vzorků systému cement-písek.....	39
Graf 17: Vyhodnocení pevnosti systému písek frakce 0–1 mm a voda	40
Graf 18: Vyhodnocení vývoje adsorpčního tepla vzorků cement, písek frakce 0–1 mm s vodou.....	42
Graf 19: Vyhodnocení tlakových pevností systému zeolit cement frakce 0–1 mm.....	43
Graf 20: Vyhodnocení průběhu adsorpčního tepla vzorků cement, zeolit frakce 0–1 mm s vodou	44
Graf 21: Vyhodnocení tlakových pevností systému zeolit cement frakce 0–20 μm	45
Graf 22: Vyhodnocení průběhu adsorpčního tepla vzorků cement, zeolit frakce 0–20 μm a voda	46
Graf 23: Vyhodnocení tlakových pevností systému cement, jíl frakce 0–8 mm a vody.....	48
Graf 24: Vyhodnocení průběhu adsorpčního tepla vzorků cement a jílu s vodou	49
Graf 25: Vyhodnocení tlakových pevností systému cement cihelná drť frakce 0–1 mm	50
Graf 26: Průběh adsorpčního tepla vzorků cement, cihelná drť frakce 0–1 mm s vodou	51
Graf 27: soubor vyhodnocení adsorpčních teplot systémů cement, kamenivo a voda.....	52
Graf 28: Vyhodnocení tlakových pevností systému geopolymery a písek frakce 0–1 mm	54
Graf 29: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a písek frakce 0–1 mm.....	56
Graf 30: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, zeolit frakce 0–1 mm.....	57
Graf 31 Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a zeolit frakce 0–1 mm	58
Graf 32: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, zeolit frakce 0–20 μm	59
Graf 33: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a zeolit frakce 0–20 μm	60
Graf 34: Pevnosti vzorků ve složení geopolymery, cihelná drť frakce 0–1 mm	61
Graf 35: Stanovení adsorpčního tepla systému geopolymery a cihelná drť frakce 0–1 mm.....	62
Graf 36: Soubor vyhodnocení sorpčního tepla zkoumaných vzorků s geopolymerním pojivem	63
Graf 37: Tlakové pevnosti vzorků hořčičnaté pojivo a písek z laboratoře frakce 0–1 mm	65
Graf 38: Průběhu adsorpčního tepla vzorků hořčičnaté pojivo, písek z laboratoře frakce 0–1 mm	67
Graf 39: Vyhodnocení tlakových pevností vzorků hořčičnaté pojivo a silikagel frakce 0–1 mm	68
Graf 40: Vyhodnocení průběhu adsorpčního tepla vzorků hořčičnaté pojivo, silikagel frakce 0–1 mm	69
Graf 41: Vyhodnocení zkoumaných vzorků systémů s hořčičnatým pojivem	69
Graf 42: Oblast odpařování vody v závislosti na normálních a extrémních podmínkách.....	73

Seznam obrázků

Obr. 1: Mikrostruktura písku frakce 0–1 mm.....	18
Obr. 2: Mikrostruktura zeolitu frakce 0–20 μm	20
Obr. 3: Mikrostruktura silikagelu frakce 0–1 mm	22
Obr. 4: RTG jílu.....	22
Obr. 5: Mikrostruktura jílu frakce 0–1 mm	24
Obr. 6: Mikrostruktura cihelné drti frakce 0–1 mm.....	25
Obr. 7: Mikrostruktura silikagelu frakce 0–1 mm	26
Obr. 8: Destrukce vzorků ve směsi cement-silikagel při hydrotermální úpravě.....	47
Obr. 9: Zkouška vzorků s jílem po zjištění adsorpčního tepla při sušení na 100 °C.....	49
Obr. 10: Bromélie	74
Obr. 11: Návrh sloupků a žlabu.....	75

Pracovní pomůcky

Fotografické přílohy



Formy na výrobu zkušebních 6ti zkušebních vzorků o rozměru $a = 20 \times 20 \times 20$ mm $18 \times 18 \times 18$ mm.



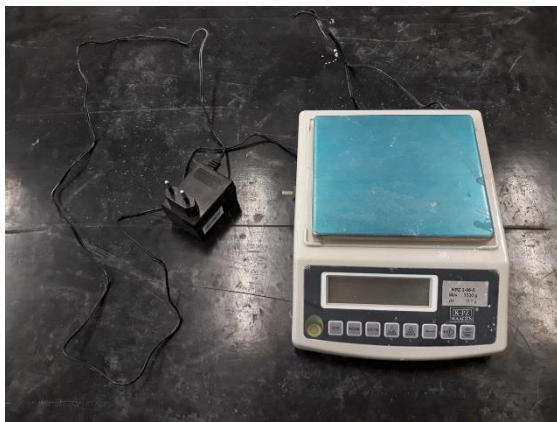
Zkušební lis na stanovení pevnosti vzorků v tlaku.



Horkovzdušná sušárna na sušení i pro hydrotermální zpracování vzorků.



Exikátor s vodní náplní pro normální zrání při laboratorní teplotě.



Digitální váha na přípravu navážek surovin do surovinových směsí.



Vibrolis na pomoc při míchání vzorků a zhutňování směsí



Elektrická pec pro tepelné úpravy surovin i vzorků.



Sestava elektromagnetického míhadla pro zjišťování adsorpcí.