



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE MATERIÁLŮ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE

**VYUŽITÍ CIHELNÝCH RECYKLÁTŮ PRO ZADRŽOVÁNÍ
VODY V PŮDÁCH**

UTILISATION OF BRICK RECYCLED MATERIALS FOR WATER RETENTION IN SOILS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Barbora Šmírová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1256/2017
Ústav: Ústav chemie materiálů
Studentka: **Barbora Šmírová**
Studijní program: Chemie a chemické technologie
Studijní obor: Chemie, technologie a vlastnosti materiálů
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

Název bakalářské práce:

Využití cihelných recyklátů pro zadržování vody v půdách

Zadání bakalářské práce:

Bakalářská práce si klade za cíl prověřit možnosti využití cihelných recyklátů jako přídatných složek pro zadržování vody v zemědělských půdách. K experimentům bude použito několik půd, které budou nejprve klasifikovány a analyzovány. Praktická část práce počítá s provedením odpařovacích testů na vzorcích půd. Rovněž se počítá s růstovými testy na rostlinách. Studována bude především kapacita schopnosti zadržet a uvolňování vody z upravených půd s ohledem na přidané množství cihelného podílu v půdě.

Termín odevzdání bakalářské práce: 21.5.2018

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Barbora Šmírová
student(ka)

Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.
vedoucí práce

prof. RNDr. Josef Jančář, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 31.1.2018

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá možnostmi využití cihelného recyklátu jako elementu spolupůsobícího v oblasti zadržování vody v krajině, především pak v zemědělských půdách. Cihelný recyklát je svým složením a vlastnostmi stejný jako klasická pálená cihla, a tudíž je i velmi smáčivý a porézní. Především tyto vlastnosti jsou pro využití cihelného recyklátu jako vodozadržného prvku v půdě klíčové.

Cílem práce bylo zjistit a laboratorně ověřit schopnost cihelného recyklátu zadržovat vodu v půdě a následně ji uvolňovat zpět do půdy. Experimentálně byly testovány různé frakce cihelného recyklátu. Nejprve byly provedeny experimenty s jemným křemenným pískem, a následně se dvěma různými reálnými půdami. Byla hodnocena doba, za kterou se odpaří z testovací směsi všechna přidaná voda, u reálných půd pak ještě experimenty pokračovaly na rostlinách v definovaných laboratorních podmínkách.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with possible utilizations of brick recyclate as an element which cooperates in the field of water retention in the landscape, especially in agricultural soils. Brick recyclate has the same composition and properties as a classic burnt brick, and therefore is very wettable and porous. Above all, these properties are the key element to using brick recyclate as a water holding element in the soil.

The aim of this thesis was to determine the ability of brick recyclate to retain water in the soil and then release it back into the soil. Various fractions of brick recyclate were tested experimentally. First experiments were performed with fine quartz sand, and then with two different real samples of soils.. The time for the evaporation of all the added water from the test mixture was assessed. For real samples of soils, experiments continued on the plants under defined laboratory conditions.

KLÍČOVÁ SLOVA

výroba cihel, cihelný recyklát, porozita, schopnost zadržování vody, půda.

KEY WORDS

brick production, brick recyclate, porosity, ability retain water, soil

ŠMÍROVÁ, B. *Využití cihelných recyklátů pro zadržování vody v půdách*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2018. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Opravil, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomášovi Opravilovi Ph.D. a Ing. Jakobovi Palovčíkovi za odborné vedení, ochotu, věnovaný čas a cenné rady. Také chci poděkovat projektu Centra materiálového výzkumu na FCH VUT v Brně - udržitelnost a rozvoj, r.č. LO1211, za finanční podpory Národního programu udržitelnosti I (Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy) za možnost využívat přístrojové vybavení a doc. Ing. Petru Škarpovi, Ph.D., za obětavou pomoc a odborné vedení při pokusech na Mendelově univerzitě. V neposlední řadě patří velké díky mé rodině za finanční zázemí, projevenou podporu a trpělivost při studiu.

OBSAH

1	Úvod.....	6
2	Teoretická část	7
2.1	Výroba cihel	7
2.1.1	Cihlářské suroviny	7
2.1.2	Zpracování surovin.....	9
2.1.3	Tváření	9
2.1.4	Sušení	10
2.1.5	Vypalování	10
2.1.6	Vychladnutí a broušení	12
2.1.7	Skladování a třídění výrobků	12
2.2	Cihlářské výrobky	13
2.3	Cihelný recyklát.....	13
2.4	Půda	14
2.4.1	Složení půdy.....	14
2.4.2	Zrnitost půdy	15
2.4.3	Chemické vlastnosti půdy - pH.....	16
2.5	Vlastnosti cihelného recyklátu	16
2.5.1	Pórovitost	17
3	Experimentální část.....	18
3.1	Použité suroviny a chemikálie.....	18
3.2	Rastrovací elektronová mikroskopie s energiově disperzním rentgenovým fluorescenčním spektrometrem (SEM-EDS).....	18
3.3	Sítová analýza – granulometrie	19
3.4	Stanovení velikosti částic pomocí laserové difrakce.....	19
3.5	Nasákavost.....	19
3.6	Stanovení přístupných živin podle Mehlicha III	20
3.7	Stanovení dusíku v půdě.....	20
3.8	Průběh růstového pokusu	20
4	Výsledky a diskuze	21
4.1	Morfologie – rastrovací elektronová mikroskopie s energiově disperzní analýzou.....	21
4.2	Distribuce velikosti částic.....	22
4.3	Chemické složení vstupních surovin	25
4.4	Stanovení nasákavosti	26
4.5	Testy schopnosti zadržování vody.....	27
4.6	Výběr vhodných substrátů pro růstové testy a jejich charakterizace.....	30
4.7	Růstové testy	30
5	Závěr	33
6	Seznam použitých zdrojů	34
7	Seznam zkratk	36
8	Seznam příloh	37
	Příloha 1	38
	Příloha 2	39
	Příloha 3	42
	Příloha 4	45
	Příloha 5	48

1 ÚVOD

Cihly jsou již stovky let nejrozšířenějším stavebním materiálem, což dokazuje jejich výborné vlastnosti a životnost. Pálená cihla je čistě přírodní materiál, který vzniká ze základních přírodních zdrojů.

Stavebnictví a poptávka po pálených cihlách každým rokem roste o několik procent, tím dochází k maximalizaci v cihlářských výrobcích. Současně roste i podíl cihel znehodnocených přímo při výrobě, či materiálu vzniklého na stavbách jako úlomky a odřezky při formování zdiva, dalším sekundárním produktem, jehož objem roste, je cihelný obrus. Lze si tedy položit otázku, co s těmito sekundárními produkty. Vzhledem ke stále se rozvíjející společnosti, je nezbytné zacházet se všemi materiály, jež vznikají jako druhotné suroviny a které lze jakkoli využít tak, aby byly opravdu využity. Je to jednou ze základních podmínek trvale udržitelného rozvoje.

Nakládání s odpady je ošetřeno v dokumentu Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024 a vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech. Cílem je zvýšit do roku 2020 nejméně na 70 % hmotnosti míru přípravy k opětovnému použití a míru recyklace stavebních demoličních odpadů a jiných druhů, a zvýšit míru jejich materiálového využití, včetně zásypů, při nichž jsou materiály nahrazeny v souladu s platnou legislativou stavebním a demoličním odpadem [1].

Proto je třeba včas řešit možnosti a využití recyklace cihelných produktů. Jednou z hlavních produktů v cihlářském průmyslu je výroba broušených cihel, kde jako vedlejší produkt vzniká cihelný obrus. Tento materiál se částečně znovu zpracovává při výrobě cihel. Největší množství odpadního materiálu vzniká při bouracích pracích. Cihelný recyklát je dále upravován jednoduchými mechanickými operacemi, a to drcením, mletím nebo tříděním na sítích na požadovanou velikost.

V dnešní době je jedno z nejčastějších využití těchto produktů jako antuka na úpravu ploch či hřišť, v malé míře pak jako pucolán pro speciální stavební hmoty a anorganická pojiva většinou na bázi portlandského cementu.

Zde se nabízí možnost využít tento inertní materiál i v jiných užitečných aplikacích. Vzhledem k vysoké porositě a výborné smáčivosti se nabízí možnost využití cihelného recyklátu např. v zemědělství k zadržování vody v půdách, což je v dnešní době, kdy se mění klima a krajina začíná vysychat velice aktuální téma. Navíc cihla je přírodní, ekologicky nezávadný materiál.

2 TEORETICKÁ ČÁST

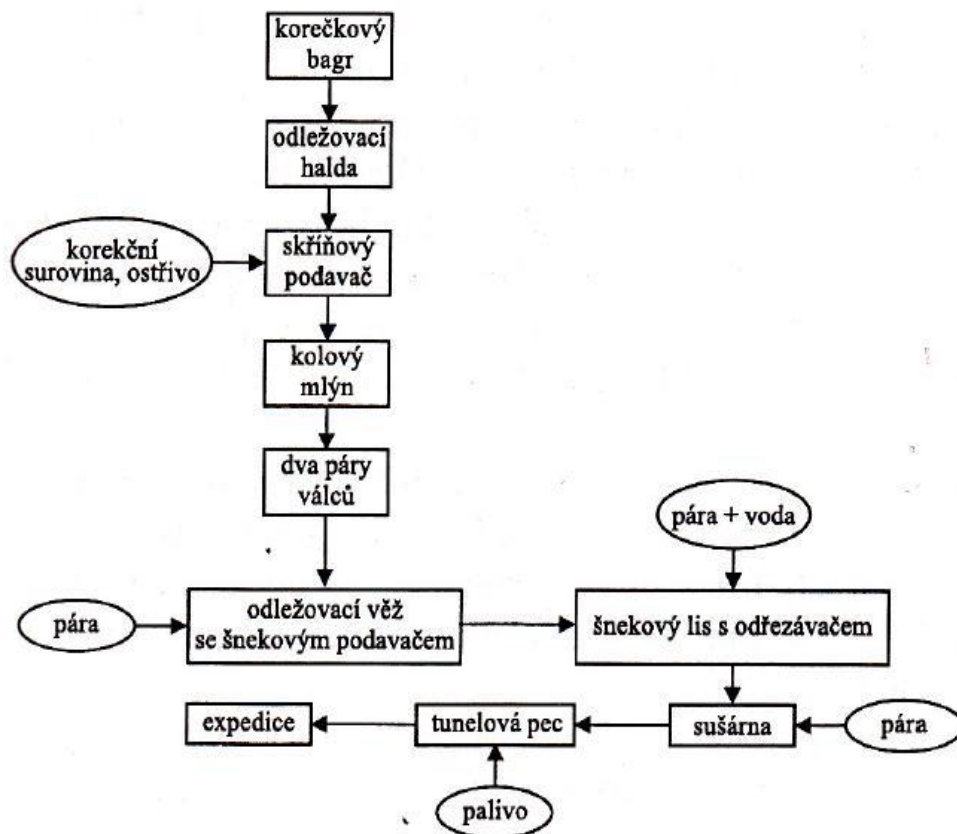
2.1 Výroba cihel

Cihlářství je po hrnčířství nejstarší keramický obor. Nejstarší výroba cihel byla zaznamenána v oblastech, kde nebyl dostatek stavebního kamene, ale hojnost plastické hlíny. Základní princip výroby cihel se neměnil po celá staletí již od dob starověkého Egypta. [1][3]

Hlína vytvarovaná do určitých pravidelných tvarů se ukázala být vhodným stavebním materiálem nejen pro svoji dostupnost, ale také pro výhodné vlastnosti, a to již v suchém stavu. [4]

V současné době představují cihlářské výrobky klasický stavební materiál pro pozemní stavby, vyznačující se tradicí, estetikou a dobrými vlastnostmi. Cihlářská výroba se odlišuje od ostatních keramických výrobních oborů tím, že se vyznačuje velkým objemem výroby. [5]

Příklad základního technologického schématu cihlářské výroby je uveden na Obr. 1.



Obr. 1: Schéma uspořádání cihlářské linky na výrobu plných, podélně nebo příčně děrovaných cihel [6]

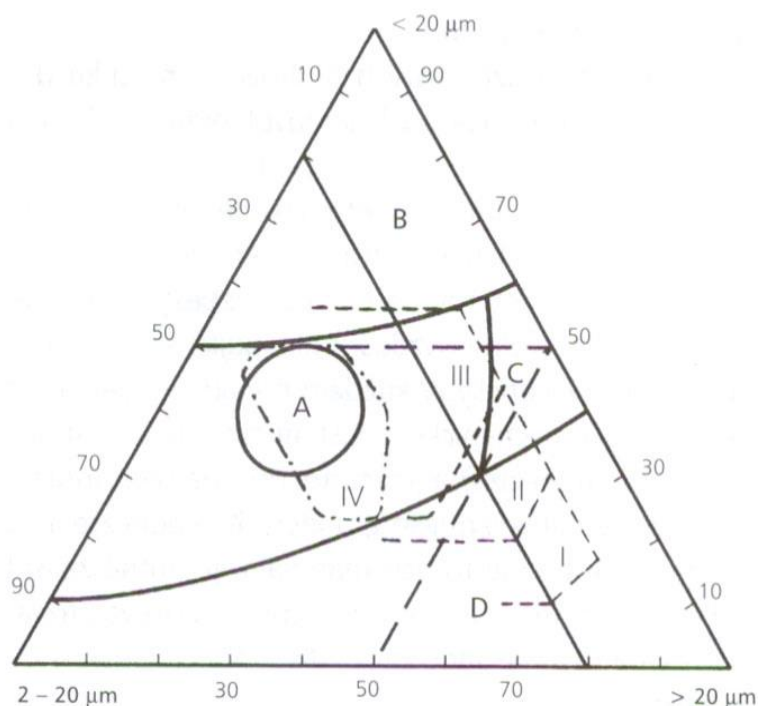
2.1.1 Cihlářské suroviny

Cihlářská technologie zpracovává cihlářské jíly a hlíny zpravidla těžené v blízkosti cihlářských závodů. Velmi rozšířené cihlářské suroviny obsahují často relativně nízké a proměnlivé množství jílových minerálů (kaolinitu, illitu, montmorillonitu, chloritu a jejich smíšených struktur) a převládající podíl zeminy tvoří prachová zrna křemene,

slídy a úlomků různých hornin včetně karbonátových. Obsahují také rozptýlený oxidický železitý pigment. Některé druhy cihlářských surovin doprovázejí také velké krystaly nebo zrna sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a kalcitu CaCO_3 . [6]

Plastičnost cihlářských surovin roste s rostoucím poměrem jílové složky k složkám neplastických, s rostoucím měrným povrchem zeminy a s rostoucí iontovou výměnnou kapacitou. Jejich plastičnost ovlivňuje také charakter jílovými minerály adsorbovaných iontů. [6]

Způsob klasifikace vhodnosti cihlářských jílů a hlín pro jednotlivé cihlářské výroby na základě jejich granulometrického složení je zřejmý z Winklerova trojúhelníkového diagramu, viz Obr. 2.



Obr. 2: Winklerův diagram znázorňující použitelnost cihlářských zemín s různou granulometrií [7734]

Jíly jsou zpravidla jemnější, a proto slouží ke zhotovování lepšího, např. tenkostěnného zboží. Dále definuje použitelnost cihlářských surovin pro různé výrobky norma ČSN 721564 Cihlářské zeminy. Společná ustanovení. Těžba se provádí většinou povrchově po odstranění ornice a jsou používány běžné mechanismy – kolečkové rypadla, skrejpry, buldozery... [8][9]

Cihlářské zeminy jsou posuzovány podle technologických vlastností, které se stanoví zkouškami navazujícími na výrobní postup pro určitý druh výrobku. K základním technologickým zkouškám řadíme:

- granulometrická analýza,
- množství rozdělovací vody,
- citlivost na sušení,
- vlastnosti vypálených vzorků při teplotách od 900 do 1100 °C (nasákavost, zdánlivá pórovitost, objemová hmotnost, pevnost v tahu za ohybu a v tlaku, vzlínavost, smrštění pálením, mrazuvzdornost, barva střepu atd.) [5].

2.1.2 Zpracování surovin

Vytěžená hlína vždy musí být dále zpracována, protože v přírodním stavu nedosahuje kvality pro výrobu. Jedná se o první technologický proces, který spočívá v úpravě vlastností natěžené suroviny tak, aby výsledné těsto mělo optimální vlastnosti, stabilizované pro celý objem výroby. Provádíme regulaci vlastností změnou množství vody, ostřením, odvzdušňováním, odležením, použitím přísad, ale také důslednou homogenizací, drcením, mletím a mísením. [5]

Odležení suroviny a cihlářského těsta patří mezi hlavní úpravářské metody, kterými regulujeme vlastnosti cihlářského těsta, kde nezbytnou podmínkou je přítomnost vody a měřítkem bývá čas odležení. To je důležité, aby se její vlastnosti stačily důkladně ustálit. Hlína se potom dále jemně mele, homogenizuje a dovlhčuje v jemných válech. [10]

Do hmoty jsou přidány potřebné příměsi k úpravě některých vlastností základní cihlářské suroviny. Podle účinku na cihlářské těsto nebo na konečné vlastnosti výrobků je rozdělujeme na:

- Plastifikační,
- ostřiva,
- lehčiva,
- barvicí přísady,
- ztužující přísady.

V cihlářství se většinou používají odpadní látky vzhledem k možnému zpracovanému objemu odpadu, relaci ceny výrobku k jeho hmotnosti, působení vypalovací teploty. [5][10]

2.1.3 Tváření

Vytváření v keramice představuje převedení polydispersního systému keramického těsta v kompaktní systém konkrétních geometrických rozměrů (=výlisek). Podle druhů výrobku a požadavků na jeho kvalitu, a také podle vlastností suroviny a těsta volíme příslušný způsob formování:

- lití a vstřikovací lití,
- točení ruční i mechanické,
- lisování (mechanické, izostatické, hydrostatické),
- extrudování (tažení) ve verzi tuhé, polotuhé, měkké,
- vibrování, střešení, thixotropní lití,
- dusání, stírání, stloukání,
- modelování,
- zvláštní (explosivní, lití taveniny, lisování taveniny). [5][8]

V cihlářství se téměř výhradně užívá vytváření z plastického těsta. Významné postavení má tažení plastického těsta-extrudování na šnekovém lisu, které můžeme vidět na Obr. 3.



Obr. 3: Tváření cihlářských výrobků [11]

2.1.4 Sušení

Proces sušení je při výrobě cihlářského zboží velmi důležitý. Jedná se o technologický proces, při němž odstraňujeme nebo snižujeme vlhkost výlisku účinkem tepla na takovou vlhkost, která je určena podmínkami výpalu. Jílová složka hlíny obsahuje minerály, které mají schopnost bobtnání, čili přijímání vody do svých vrstevnatých struktur. [1][5]

Při sušení se keramické výrobky zbavují jako první mechanicky vázané vody a dochází ke smrštění (2-10 %). Suší se přirozeně i uměle ohřátým vzduchem. Celý proces musí probíhat tak, aby se daly páry vysušovat i zevnitř výrobku, ne jen z povrchu. Musí být tedy velmi pozvolné. Teplý vzduch neustále proudí, protože v opačném případě by rychle nasál páru a dále by nesusil. Chemicky vázaná voda se uvolňuje až při procesu pálení v rozmezí teplot 450 – 600 °C, kdy dochází k dalšímu smrštění v průměru o 3-8 %. [1][3]

2.1.5 Vypalování

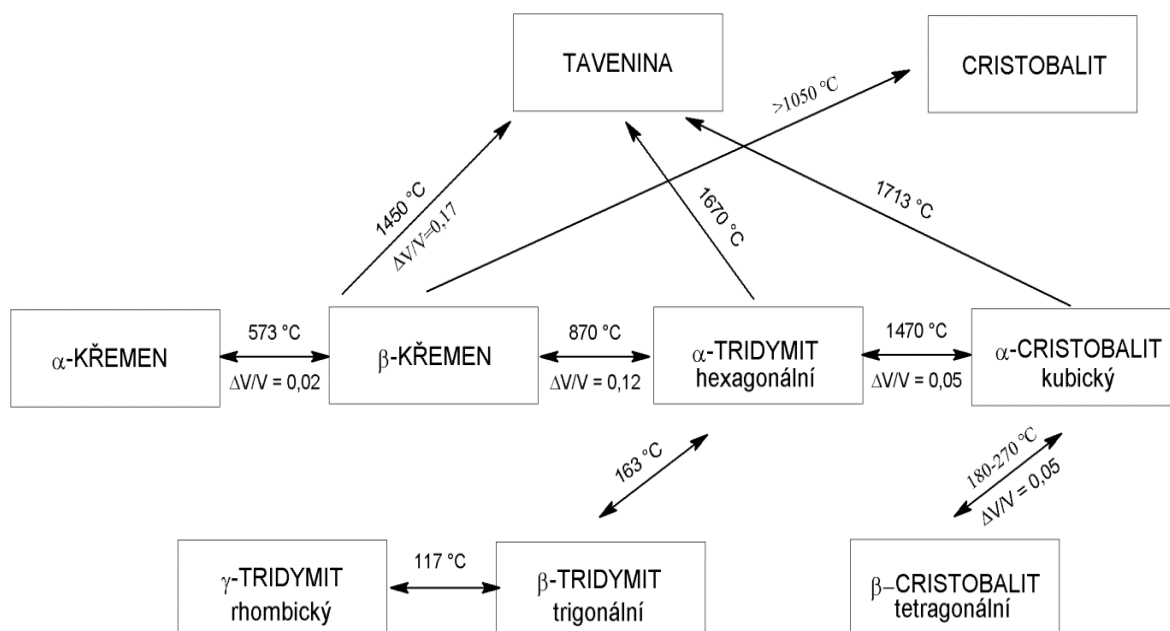
Výpal je poslední technologickou etapou, kde dochází k přeměně mikrostruktury střepu z výsušku do vypáleného střepu. Výtvar při teplotách 900 – 1400 °C získává své charakteristické vlastnosti jako stálost tvaru, pevnost, vzhled, barvu, odolnost proti povětrnosti, agresivním látkám apod. Zpevňování se děje pochodem, který nazýváme slinování a výsledným produktem je vypálený střep. Účinkem teploty dochází k částečnému vzniku sklovité taveniny, která umožňuje spojování zrn, aniž by se látka celá musela roztavit. Tomuto spojení říkáme keramická vazba. Procesy probíhající při výpalu lze pro lepší přehlednost rozdělit do několika kategorií. [12]

a) Dehydratace

Adsorbovaná voda se odpařuje při teplotách 80 až 150 °C, při teplotě 250 °C se uvolní veškerá. Krystalická voda se uvolňuje přibližně od 60 do 250 °C. Chemicky vázaná voda se uvolňuje podle typu minerálu v oblasti 250 až 800 °C. [5]

b) Změna modifikace

Řada surovin mění svou modifikaci. Diaspor, böhmit, gipsit přechází na korund. Nejdůležitější je změna modifikace SiO₂, která souvisí s objemovými změnami. Modifikační přeměny SiO₂ jsou zobrazeny níže, viz Obr. 4. [5]



Obr. 4: Změny modifikace SiO₂ [5]

c) Termická disociace

Disociace je reakce typická pro uhličitany obsažené v cihlářské zemině. Jde o endotermickou reakci, s rostoucím obsahem uhličitanu tedy vzrůstá množství tepla potřebné pro výpal. Rovnice disociace uhličitanu vápenatého (1):



Rozklad uhličitanu vápenatého začíná při teplotě 500 až 600 °C v závislosti na parciálním tlaku CO₂, při 100 kPa nastává rovnováha při 835 °C. Majoritní podíl CO₂ se uvolňuje v intervalu 700 až 900 °C. Rozklad dolomitu začíná už při 400 °C a probíhá ve dvou stupních, kdy se nejdříve uvolní oxid hořečnatý a oxid uhličitý (2). Ve druhém stupni se rozkládá uhličitan vápenatý, viz rovnice (1): [5]



d) Oxidace organických látek

Organické látky přítomny v surovině nebo v lehčivu se rozkládají a těkají již od 200 °C a při teplotě přibližně 350 °C se zapalují v přítomnosti oxidační atmosféry. [5]

e) Reakce železitých sloučenin

Podobně jako vápenec a dolomit disociuje i siderit (FeCO₃) při teplotě kolem 550 °C. Vzniklý FeO je oxidován nad 600 °C na Fe₂O₃. Pyrit je oxidován při teplotě kolem 450 °C viz rovnice (3): [12]



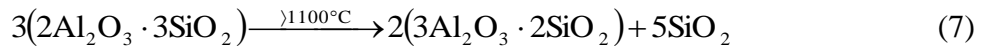
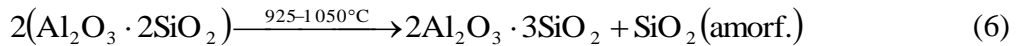
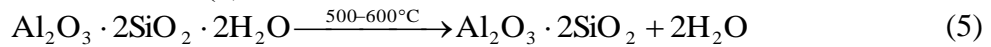
Obvyklý je vznik směsi oxidů železa (FeO, Fe₃O₄, Fe₂O₃) a oxidu siřičitého. V redukční atmosféře vzniká Fe₃O₄, který černě barví cihelný stěp. V přítomnosti lehčiva vzniká oxid uhelnatý, který s oxidy železa vytváří rovnovážné stavy a při různých teplotách a koncentracích CO. Při teplotách 420 až 500 °C dochází k disociaci podle rovnice (4):



To má za následek nadýmání výrobku při pálení a jde o princip výroby lehčeného kameniva keramzit. [5]

f) Reakce v tuhé fázi před slinováním

Kaolinit prochází přeměnou na metakaolin (5), následně na Al-Si-spinel a amorfní oxid křemičitý (6). Při teplotě nad 1 100 °C dochází ke vzniku mullitu (7) a následně SiO₂ přechází na cristobalit (8). [1414]



Analogicky se rozkládají i jiné jílové minerály v závislosti na substituovaných iontech Mg²⁺, Fe²⁺, K⁺, Na⁺. Ility chudé na alkálie tvoří spinel a korund od 900 °C a následně od 1 000 °C dochází k tání. Obdobně se projevuje montmorillonit. Slídy při 700 až 820 °C vytváří leucit K₂O.Al₂O₃.4SiO₂, který je těžce tavitelný [5].

g) Tavení a tvorba skelné fáze

Cihlářská surovina je multikomponentní systém a vzhledem k teplotě výpalu do 1 000 °C nastává tvorba skelné fáze jen v omezeném rozsahu. Níže je uveden přehled systémů, jejichž eutektika se mohou uplatnit [5]:

725 °C Na₂O – CaO – SiO₂,

767 °C Na₂O – Al₂O₃ – SiO₂,

799 °C Na₂O – SiO₂,

975 °C Li₂O – Al₂O₃ – SiO₂,

990 °C CaO – K₂O – Al₂O₃ – SiO₂,

1 070 °C CaO – Al₂O₃ – FeO – SiO₂.

Přehled reakcí, které mohou při výpalu nastat, jsou uvedené v příloze (viz Obr. 30).

Jednotlivé pece na vypalování cihlářského zboží se liší podle toho, zda přichází nebo nepřichází do styku s ohněm. Zda jsou přenosné či stálé, zda mají přerušovaný nebo kontinuální provoz, kolik mají komor, jaký plamen je v nich použit a jaké palivo. [1]

2.1.6 Vychladnutí a broušení

Broušené cihly jsou moderním stavebním prvkem pro rychlé zdění (úspora až 25 % času). Cihly jsou tedy vyšší o 11 mm (249 mm), aby byla finální výška zděného modulu 250 mm zachována. [15]

Po výpalu jsou cihlářské výrobky umístěny ve skladu, kde dochází k jejich postupnému vychladnutí. Rychlé vychladnutí výrobku může vést k nadměrnému pnutí s následným popraskáním. [8]

2.1.7 Skladování a třídění výrobků

Cihlářské výrobky jsou skladovány v halách nebo na otevřených skládkách. Pokud jsou výrobky uskladněny ve vnějším prostředí, je nutno je chránit před vlhkostí, která by v kombinaci s mrazem mohla vést k jejich porušení. Většinou se výrobky z důvodu lepší manipulace umísťují na palety. [8]



Obr. 5: Skladování cihlářského výrobku [11]

2.2 Cihlářské výrobky

Pod pojmem cihlářské výrobky rozumíme nežáruvzdorné výrobky s pórovitým střepem. Mají typické červené zbarvení, způsobené obsahem Fe_2O_3 a používají se ke stavebním účelům. Mohou být rozděleny do různých skupin na základě mineralogie – křemičité, zirkonové cihly, cihly z oxidu hlinitého, mullitové cihly, magnezitové a dolomitové cihly. [4][12][16]

Podmínkou je, aby suroviny neobsahovaly rozpustné soli, které by mohly způsobovat výkvěty (síran sodný, síran hořečnatý, sádrovec, sloučeniny chromu a vanadu). Výrobky bývají neglazované (vyjma např. střešních tašek), plné, nebo lehčené otvory, či póry [17].

Třídění výrobků do čtyř kategorií je definováno normou s platností od 1. 9. 1990 ČSN 70 2600 takto:

- prvky pro svislé konstrukce,
- prvky pro vodorovné konstrukce,
- výrobky pro pálenou krytinu,
- výrobky pro zvláštní účely. [18]

Fyzikální vlastnosti střepu cihlářských výrobků jsou proměnlivé v závislosti na složení suroviny, způsobu tváření a intenzitě výpalu. Reprezentativní hodnoty vlastností cihelného střepu jsou v Tabulka 1: **Vlastnosti cihelného střepu**. Velkou výhodou je dostatečná pevnost při poměrně vysoké pórovitosti a dlouhá životnost výrobků. [12]

2.3 Cihelný recyklát

Cihelný recyklát se u většiny drticích linek získává zrnitostí do cca 80 mm a to nejméně ve třech frakcích 0-16 mm, 16-32 mm a 32-80 mm, přičemž producenti tohoto materiálu jsou schopni vytřídit i jiné požadované frakce. [19]

Cihelný recyklát je nejvíce používán jako zásypový materiál. Zvýšení kvalit zpracování a čistoty recyklátu však tento materiál pozvedají na vyšší úroveň, a je předmětem zkoumání jejich využití v různých aplikacích. Cihelný obrus (nejjemnější frakce) je částečně přimícháván ke vstupním surovinám při výrobě cihel, a to jak pálených tak nepálených. Materiál s frakcí do 3 mm se označuje jako antuka,

kteřá je pouříváná pro úpravu povrchů sportoviřt' a cest. Hrubří frakce slouří k povrchové úpravě hrobů, lehčivo v zeminách a jako zásypový materiál.[20]

2.4 Půda

Půda je přírodní zdroj, na kterém je lidská společnost existenčně závislá. Bez půdy by přitom nebylo řivota, tedy alespoň ne v takové podobě, jak ho známe dnes. Jedná se o tenkou vrstvu, větřinou ne tlustří než 1 m a v mnoha případech mnohem méně, přesto jsou její funkce zcela unikátní a nenahraditelné. [21][20]

Důležitou vlastností půdy je úrodnost. Úrodnost je výsledkem vzájemného působení mnoha faktorů – fyzikálních, chemických, biologických a klimatických. Je to schopnost půdy poskytovat rostlinám podmínky pro růst a vývoj. Tyto podmínky jsou splněny, pokud půda poskytuje dostatek řivin, vody a vzduchu pro optimální řivot organismů a má schopnost se vyrovnávat se změnami v půdním prostředí. [21] [22]

Půdní úrodnost je ovlivněna složením a vývojem půdy, klimatickými podmínkami, zemědělskými (agrotechnickými) zásahy (zpracování půdy, hnojení, vápnění, používání přípravků na ochranu rostlin), technickými opatřeními (melioracemi a závlahami) a způsobem využití půdy. Půdní úrodnost je ohrořována erozí, zhutněním, kontaminací a dalšími degradacemi. Úrodnost půdy přirozeně ovlivňuje i její výnosnost, cenu a její bonitu, resp. stupeň ochrany zemědělského půdního fondu. [22]

2.4.1 Sloření půdy

Půdní prostředí představuje rozsáhlý polydisperzní systém, který je tvořený složkou pevnou, kapalnou a plynnou, a můžeme ho charakterizovat různými parametry. Průměrné zastoupení jednotlivých složek je zobrazeno na Obr. 6. Tyto parametry mají přímý vliv na stav půdního prostředí – kvalitu a zdraví půdy. [23]

Vlastnosti půd se značně liří podle toho, z jakého materiálu vznikají a kde se nacházejí. Například půdy na svazích nebývají hluboké a úrodné ve srovnání s půdami v nířinách a na mírných svazích. Půdy vyvinuté na pískovcích bývají méně úrodné než půdy vytvořené např. na sprařích, které naopak vynikají svou úrodností v zemědělství. Zemina vyvinutá v tropickém klimatu je zase zcela odlišná od půd nacházejících se v mírných nebo arktických oblastech. [21] [22]

a) Pevná fáze:

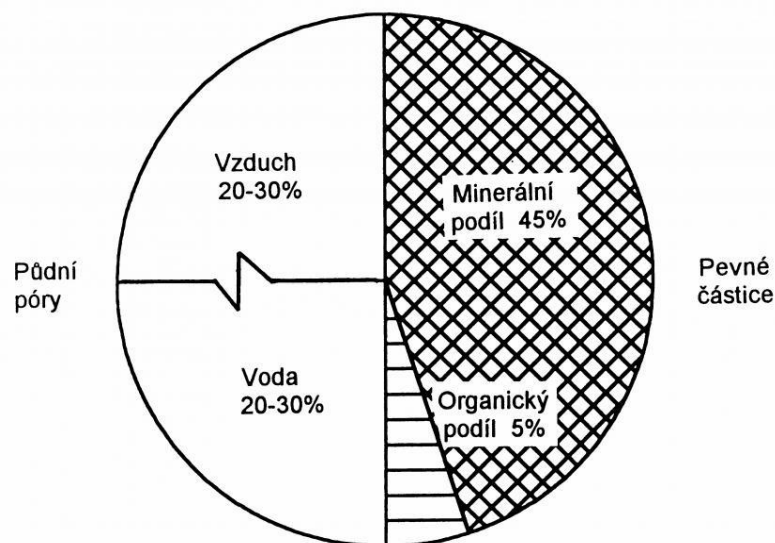
Pevná fáze půdy sestává z minerálního a organického podílu půdy. Minerální podíl představuje minerální částice různé velikosti, různé formy i různého uspořádaní. Obecně se dělí na jíl, prach, písek a skelet. Organický podíl je složen z řivých organismů a déle z odumřelých organických zbytků a přeměněné organické hmoty. [23]

b) Kapalná fáze:

Kapalná fáze půdy představuje půdní roztok obsahující ionty, organické molekuly, soli a další chemické sloučeniny. Kapalná fáze je do značné míry fixována na pevnou půdní fázi, v rámci jejíhož uspořádaní vyplňuje póry a podílí se tak na tvorbě souvislejší půdní hmoty. [23]

c) Plynná fáze:

Plynná fáze půdy je složena z plynů a vodní páry. Zabírá půdní mezery, které nejsou vyplněné vodou. Mezi půdním vzduchem a přizemní vrstvou troposféry probíhá nepřetržitá látková výměna, nicméně složením se půdní od nadzemního vzduchu liří. [23]



Obr. 6: Průměrné zastoupení jednotlivých složek minerální hlinité půdy ve stavu příznivém pro růst rostlin, hodnoty jsou uvedeny v objemových procentech [23]

2.4.2 Zrnitost půdy

Zrnitostní složení půdy, někdy nazývané mechanickou skladbou nebo také texturou či půdním druhem, je jedním z nejvýznamnějších půdních charakteristik ovlivňujících fyzikální, chemické (sorpční) a biologické vlastnosti půdy, dále jejich zpracovatelnost a úrodnost. Zrnitost zeminy je dána zastoupením jednotlivých velikostně rozdílných minerálních částic. [24][25][26]

Pro půdy má největší význam jejich obsah v tzv. jemnozemi, tj. v sumě minerálních částic o velikosti pod 2 mm v průměru. Částice větší než 2 mm nazýváme skelet a rozdělujeme ho na hrubý písek (2 - 4 mm), štěrk (4 – 30 mm), kameny (> 30 mm) a balvany (> 300 mm). [24][25]

Jemnozeme je podstatnou složkou půdy, zahrnuje a ovlivňuje všechny základní půdní vlastnosti. Proto se mechanické zrnitostní, strukturní, chemické i biologické analýzy půdy stanovují na vzorcích jemnozeme a jejich výsledky charakterizují půdu jako celek. [24][23]

Moderní klasifikace zrnitosti lze stanovit pomocí trojúhelníkového diagramu. Nejčastěji je u nás používán trojúhelník USDA (US Department of Agriculture – Americké ministerstvo zemědělství), který se zobrazuje na Obr. 7. Tato klasifikace je dnes ve světě v mírných obměnách nejrozšířenější. [24][26]



Obr. 7: Trojúhelníkový diagram zrnitosti půd (USDA) [24]

2.4.3 Chemické vlastnosti půdy - pH

Půdní reakce patří mezi důležité ukazatele stavu půdního prostředí. Ovlivňuje růst rostlin, složení mikrobiálních společenstev, rozpustnost a dostupnost prvků, humifikační proces, pedogenezi půd, pohyblivost těžkých kovů apod. Kyselost půdy je závislá na výskytu volně disociovaných iontů vodíku (případně dalších – hliníku, železa) v půdním roztoku. Ke kvantitativnímu vyjádření reakce nám pak slouží hodnota pH. Jedná se o záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů. [24][26]

Je možná konstatovat, že kyselější reakce půdy bývá v oblastech s vyšším podílem srážek, při nichž dochází k vymývání značného množství výměnných bází z povrchových vrstev půdy (Ca^{2+} , Mg^{2+} apod.) Naproti tomu alkalickou reakci můžeme zaznamenat zejména v semiaridních a aridních oblastech, tam kde je vysoký stupeň nasycení bazickými kationty. [26]

2.5 Vlastnosti cihelného recyklátu

Pro jednodušší přehlednost základních vlastností cihelného třepu, jsou hodnoty vypsány v tabulce 1.

Tabulka 1: Vlastnosti cihelného střeptu [12]

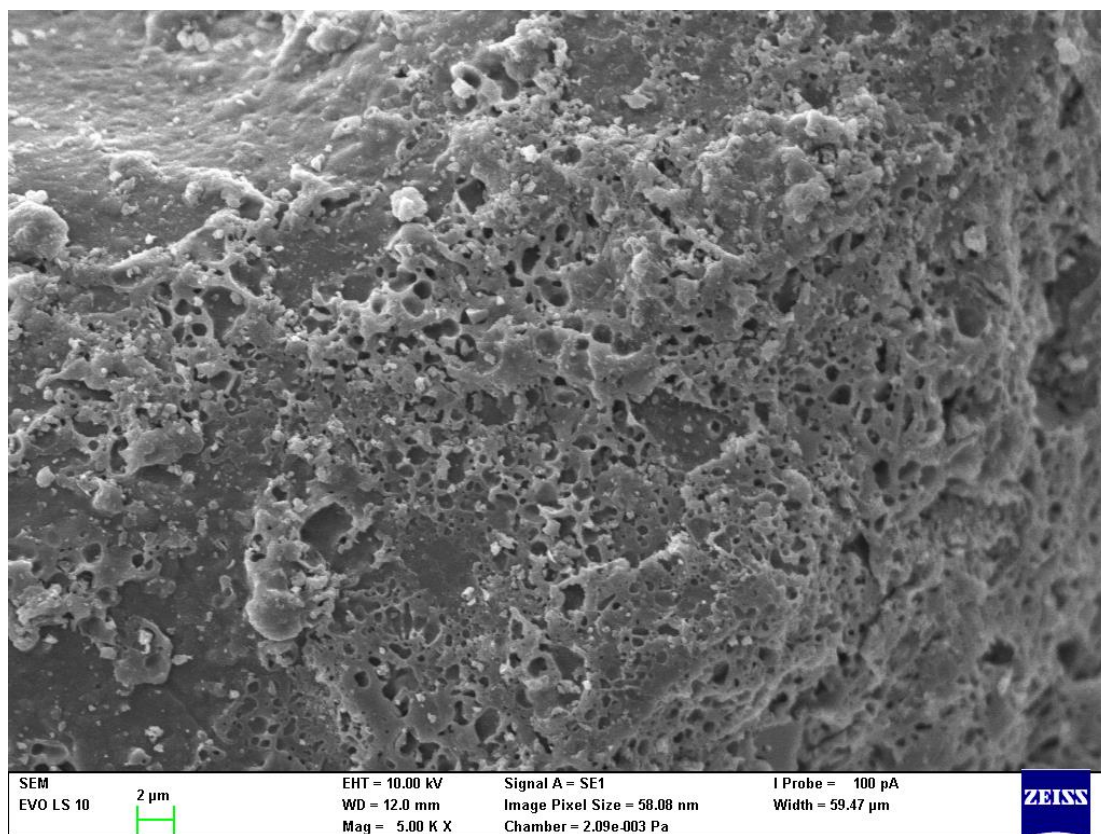
Vlastnosti	Hodnota	Měrná jednotka
Hustota	2600 – 2700	P [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
Objemová hmotnost (suchý stav)	1600 – 2200	ρ_v [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
Hmotnostní nasákavost	20 – 25	n_m [%]
Objemová nasákavost	36 – 55	n_v [%]
Modul pružnosti	8000 – 12000	E [MPa]
Součinitel tepelné vodivosti	0,65 – 0,80	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Měrná tepelná kapacita	0,9 – 1,1	c [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]
Součinitel teplotní délkové roztažnosti	$5,0\cdot 10^{-6}$	α [K^{-1}]

2.5.1 Pórovitost

U mnoha materiálů, s nimiž se setkáváme, je v určitém objemu tuhé fáze přítomna jiná fáze. Prostory, které jsou zaplněny kapalnou a plynnou fází, a jejichž rozměr je podstatně menší než rozměry uvažovaného tuhého tělesa, budeme nazývat póry, a to bez ohledu na jejich tvar, vzájemnou velikost a míru propojenosti. [27]

Pórovitost může být otevřená, když jsou póry a dutiny vzájemně spojeny a jsou spojeny i s povrchem, nebo uzavřená, když jsou póry a dutiny uzavřené. V cihlářských výrobcích se vyskytuje většinou kapilární (otevřená) pórovitost, protože většinou nedochází nebo jen výjimečně ke slinování za přítomnosti taveniny. [27]

Pórovitost se zjišťuje u pevných látek nebo u jednotlivých zrn látek sypkých. Pórovitost podstatně ovlivňuje mnohé vlastnosti stavebních materiálů, zejména objemovou hmotnost, nasákavost, odolnost proti mrazu, pevnost a tepelnou vodivost. [28]



Obr. 8: Cihelný recyklát z drtiče frakce pod 1 mm, zvětšení 5000× na SEM-EDS

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část se zabývá přehledem metod, které byly použity pro analýzu surovin a jejich přípravu.

3.1 Použité suroviny a chemikálie

Písek ČSN jemný	písek dle ČSN 72 1200 (0-1mm)
Hlína těžká	hlína odebraná v oblasti Kuřimi
Hlína lehká	hlína odebraná v oblasti Žabčic
Cihelný recyklát	drcený cihelný recyklát, cihelna Dolní Bukovsko, Heluz
CaCl ₂	stanovení pH v substrátu
Mehlich III	NH ₄ F, HNO ₃ , NH ₄ NO ₃ , EDTA III.

3.2 Rastrovací elektronová mikroskopie s energiově disperzním rentgenovým fluorescenčním spektrometrem (SEM-EDS)

Rastrovací elektronová mikroskopie je metoda využívající se k studiu struktury látek. Princip metody je založen na interakci svazku elektronů s povrchem vzorku. Zdrojem primárních elektronů je žhavená katoda (wolframový drátek). Emitované elektrony jsou urychlovacím napětím a soustavou elektromagnetických/elektrostatických čoček fokusovány na vzorek. Elektronový svazek skenuje vytyčený povrch vzorku, přičemž z každého místa je emitován signál, ze kterého je vytvořen finální obraz. Pro měření je důležité dosažení vysokého vakua, které zaručuje, že elektronový svazek nebude interagovat s částicemi z ovzduší [29].

Pro pozorování struktury vzorků byl použit rastrovací elektronový mikroskop s energiově disperzní analýzou (SEM-EDS) ZEISS EVO LS 10. Tento mikroskop je obsazen detektory zpětně odražených a sekundárních elektronů, dosahuje zvětšení až 30 000× a je schopen korelativní mikroskopie. [30]



Obr. 9 Rastrovací elektronový mikroskop ZEISS EVO LS 10 [30]

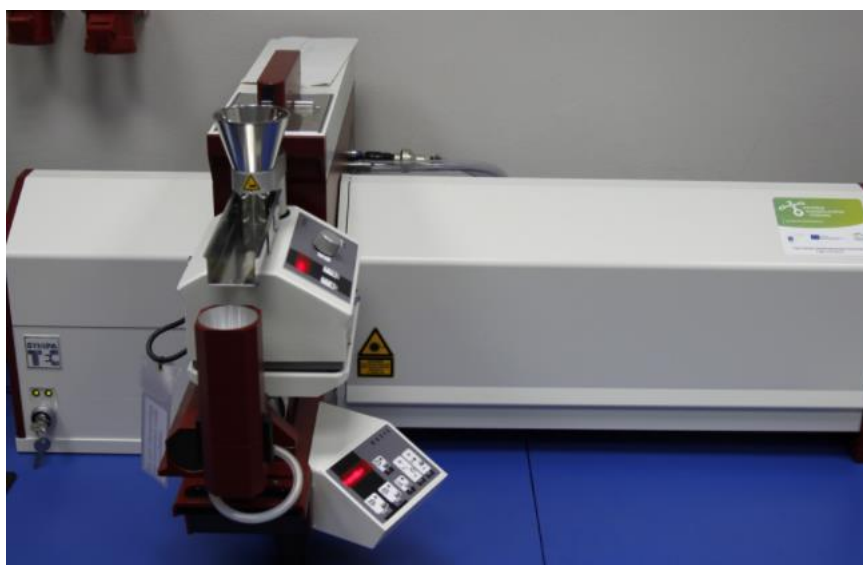
3.3 Sítová analýza – granulometrie

Pro stanovení frakčního rozměru částice bylo využito sítové analýzy, jejíž princip spočívá v tom, že sledovaný vzorek partikulární látky se prosévá řadou sít, umístěných většinou nad sebou tak, že síta s velkými otvory jsou nahoře a pod nimi postupně síta s menšími otvory, odstupňovanými podle určitých pravidel. [31]

Navážka materiálu 300 g byla síťovaná na přístroji Vibratory Sieve Shaker RETSCH AS200 v intervalu po dobu 10 min, při amplitudě 70. Sítová analýza byla pro každý vzorek provedena třikrát.

3.4 Stanovení velikosti částic pomocí laserové difrakce

Pro stanovení velikosti částic v podsítných frakcích byl použit laserový analyzátor SYMPATEC HELOS KR, který je schopen měření velikosti částic práškových vzorků v rozmezí od 0,1 do 1 850 μm pomocí laserové difrakce. Přístroj umožňuje dispergaci vzorků suchým i mokřím způsobem i za použití organických rozpouštědel. Měření je krátké a lze provádět na třech objektivích a vyhodnocení je prováděno pomocí příslušného software [30].



Obr. 10 Laserový analyzátor velikosti částic - Sympatec HELOS KR [3035]

3.5 Nasákavost

Tato metoda popisuje schopnost látky pojmout co nejvíce kapaliny. Zjišťuje se postupným nořením a zatopením pórovité látky kapalinou, kde se ponechá do nastolení rovnovážného stavu. Množství přijaté kapaliny závisí především na struktuře látky, tj. zda jsou póry otevřené či uzavřené, na viskozitě kapaliny a době působení. [12][28]

Při zjišťování nasákavosti předpokládáme, že kapalina s látkou nereaguje ani chemicky, ani nepůsobí fyzikální změny objemu (rozpuštění, bobtnání).[28]

Nasákavost se vyjadřuje v procentech hmotnosti, jako poměr přijatého hmotnostního množství kapaliny k hmotnosti vysušeného vzorku, nebo v procentech objemu jako objem přijaté kapaliny vyjádřený v procentech objemu vzorku. Hmotnostní nasákavost n_h je dána vztahem: [28]

$$n_h = \frac{m_k}{m_s} \cdot 100 = \frac{m_n - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

m_k – hmotnost nasáklé kapaliny (9)

m_n – hmotnost nasáklého vzorku

m_s – hmotnost vysušeného vzorku

3.6 Stanovení přístupných živin podle Mehlich III

Od roku 1999 se přechází při agrochemickém zkoušení půd na metodu Mehlich III. Důvodem je lepší schopnost činidla Mehlich III pufrovat pH při extrakci tak, aby nedocházelo k jeho zvýšení nad 2,9, kdy již nemá přídavek fluoridu vliv na uvolňování fosforu. EDTA, která je součástí vyluhovadla, umožňuje rozšířit použití metody i ke stanovení mědi. Výsledky obsahu P, K a Mg jsou v půdách vyšší, což je bráno v úvahu při hodnocení zásobenosti půd těmito živinami. [35]

V půdách bylo podle Zbírala et al., (2016) stanoveno výměnné pH (1:5 půda: 0,01M CaCl₂), přístupné živiny (P, K, Ca a Mg) stanovené extrakčním činidlem Mehlich III (1:10 půda: extrakční činidlo Mehlich III). Obsah fosforu byl stanoven z výluhů metodou UV-VIS při vlnové délce 690 nm. Draslík, vápník a hořčík byly stanoveny metodou atomové absorpční spektrofotometrie. Extrakční roztok Mehlich III obsahuje NH₄F, HNO₃, NH₄NO₃, EDTA III.

3.7 Stanovení dusíku v půdě

Dusík se nachází v půdě v převážné míře ve formě organické (98-99 %) a jen malá část je obsažena ve formě minerální (NH₄⁺, NO₃⁻, případně NO₂⁻). Dusík vázaný v organické formě představuje zásobní formu N, kterou rostliny mohou využívat až po mineralizaci. Obsah minerálního dusíku v půdě značně kolísá v závislosti na intenzitě mineralizace, amonizace a nitrifikace. [35]

Obsah dusíkatých látek byl stanoven metodou UV-VIS při vlnové délce 410 nm společně se standardními vzorky.

3.8 Průběh růstového pokusu

Pro růstové testy byl vybrán raný hlávkový salát (*Lactuca sativa* L. var. capitata L.) značky SEMO. Na experiment, který trval 58 dnů, byl použit substrát s jemnou a hrubou zrnitostí. Každá frakce byla namíchána v podílu 5, 10 a 20 % s cihelným recyklátem ve čtyřech shodných opakování. Po vysetí byly rostliny zalévány stejným množstvím vody, a umístěny ve shodných laboratorních podmínkách ve skleníku (prostory Mendelovy univerzity v Brně).

Zálivka byla rostlinám dodávána dle vývoje počasí. Pro všechny květináče vždy ve stejnou dobu a ve stejném množství. Pro zálivku byla využívána voda z vodovodního řadu. Díky tomu je zajištěna její čistota.

Celý experiment trval od 14. 3. 2018 do 11. 5. 2018. Byly pořízeny časosběrné fotografie, pomocí nichž byl sledován růst a vzhled rostlin v průběhu celého experimentu. Poslední zálivka byla provedena 53. den, kdy byla sklizena většina rostlin pro zjištění výnosů (výťažnosti). Následně byla ukončena zálivka a bylo sledováno, která rostlina uschne jako poslední.

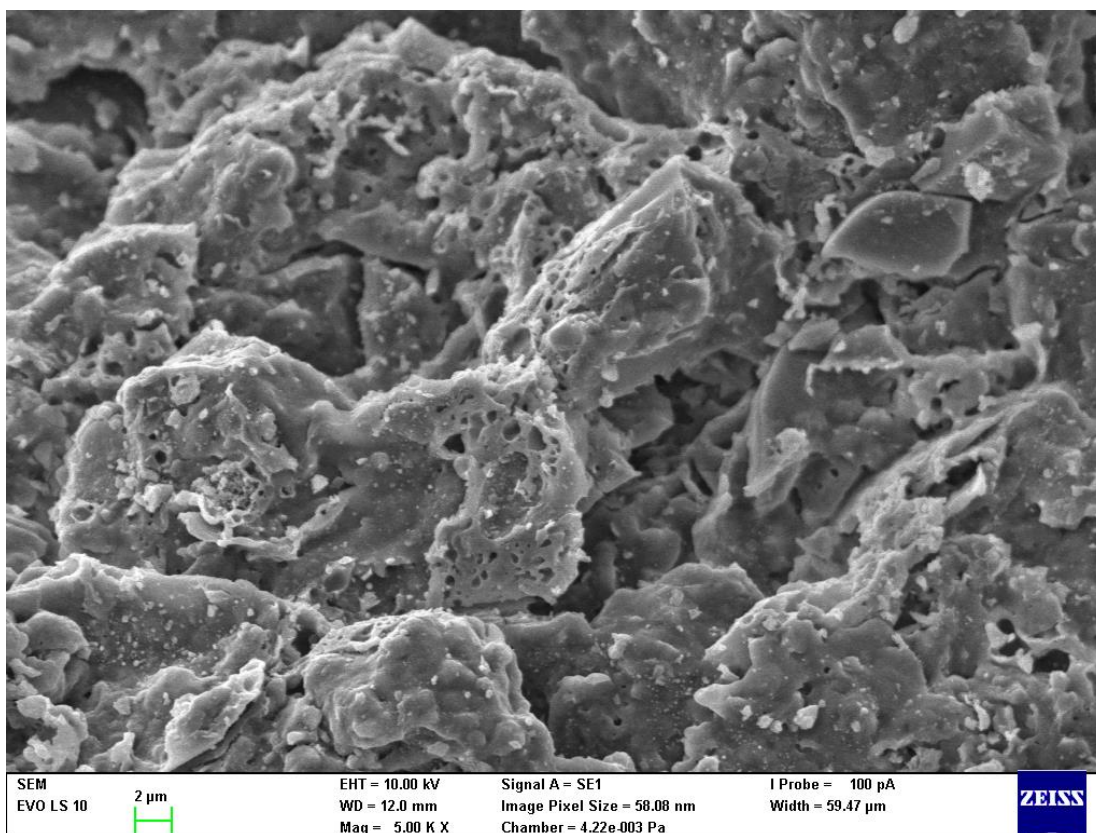
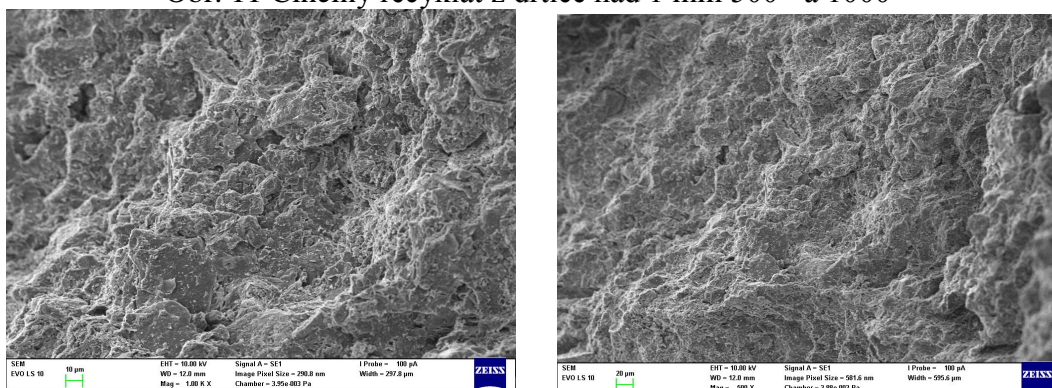
4 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Morfologie – rastrovací elektronová mikroskopie s energiově disperzní analýzou

Pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu byla pozorována morfologie vzorků. Byly pořízeny snímky všech vzorků cihelného recyklátu při zvětšení 500×, 1000× a 5000× (Obr. 12).

Na Obr. 11 vidíme náhled na cihelný recyklát při několika zvětšeních. Při největším zvětšení (5000×) je na snímku patrná vysoká porozita částic cihelného recyklátu.

Obr. 11 Cihelný recyklát z drtiče nad 1 mm 500× a 1000×



Obr. 12 Cihelný recyklát z drtiče frakce nad 1 mm, zvětšení 5000×

4.2 Distribuce velikosti částic

Cihelné recykláty byly nejprve podrobeny sítové analýze na soustavě 4 sít o velikosti ok 2 mm, 0,8 mm, 0,63 mm, 0,2 mm. Výsledná distribuce částic na sítích a množství podsítné frakce je uvedeno Tabulka 2. Distribuce velikosti částic je rovněž vynesena v grafech na obr. (Obr. 18, Obr. 19, Obr. 20).



Obr. 13: Frakce >2 mm

Obr. 14: Frakce 1-2 mm

Obr. 15: Frakce 0,63-1 mm



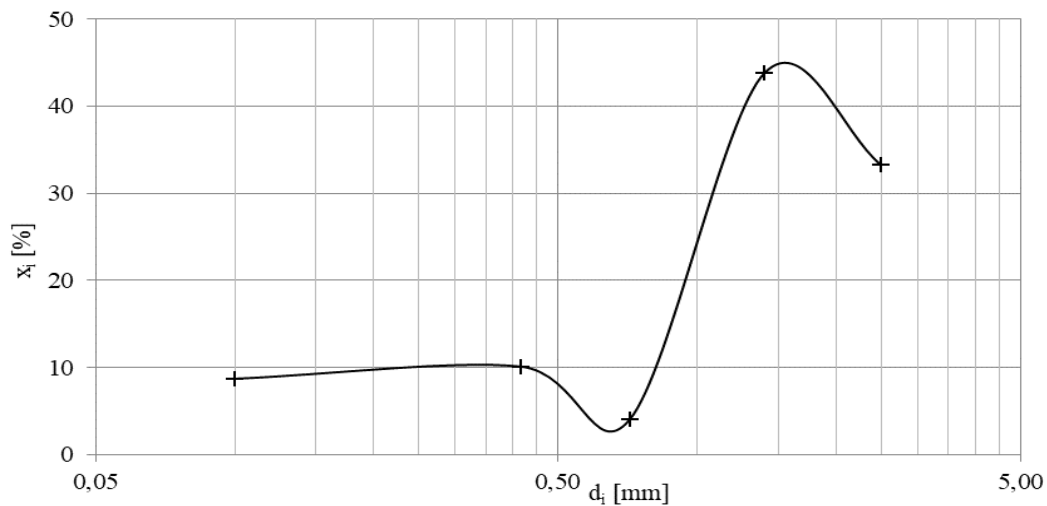
Obr. 16: Frakce 0,2-0,63 mm

Obr. 17: Frakce <0,2 mm

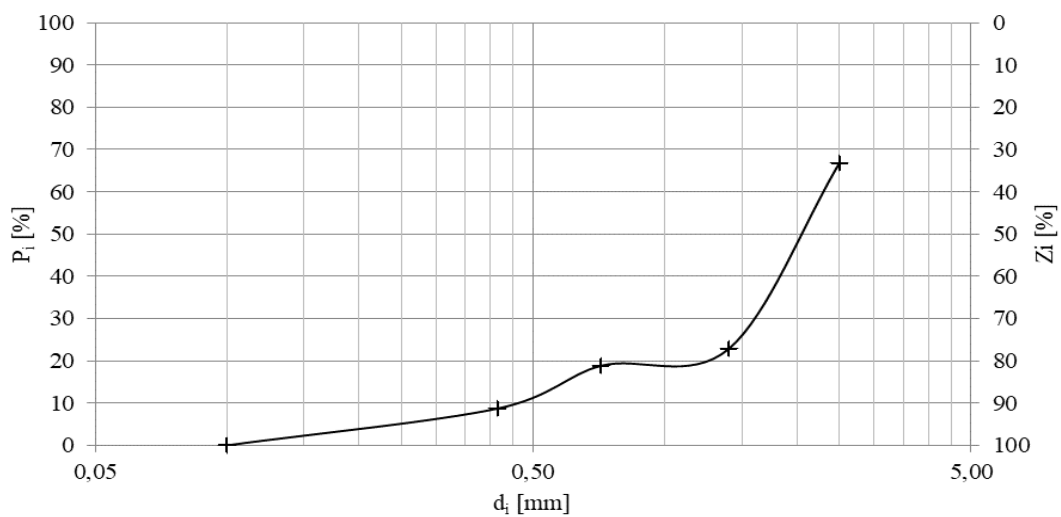
Tabulka 2: Naměřené a vypočítané hodnoty pro distribuci cihelného recyklátu

síto	1	2	3	4	5
velikost oka b [mm]	2,00	0,80	0,63	0,20	miska
střední prosevný průměr d_i [mm]	2,50	1,40	0,72	0,42	0,10
hmotnost frakce m_i [g]	100,1	131,9	12,2	30,5	26,2
hmotnostní zlomek x_i [%]	33,27	43,84	4,04	10,12	8,72

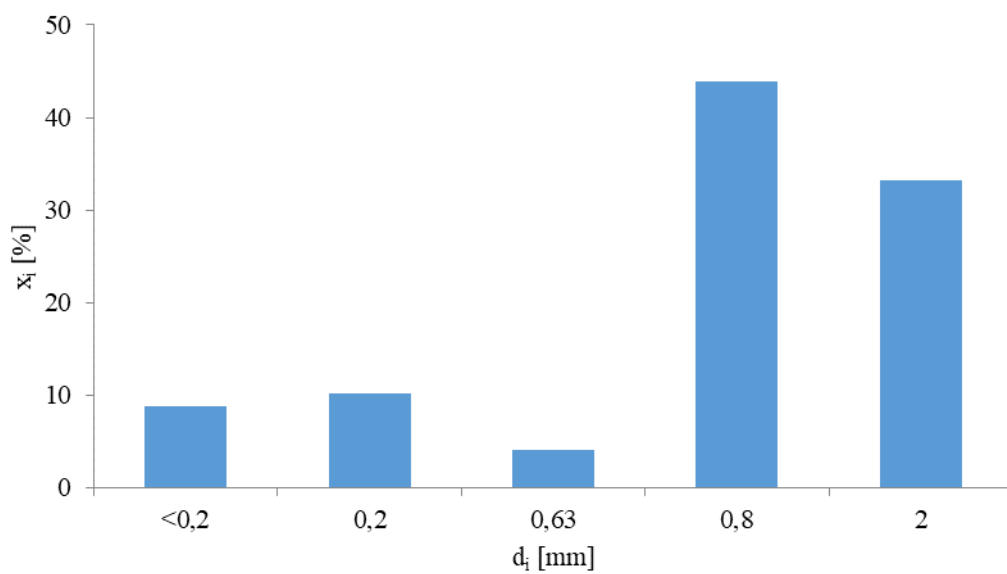
Z histogramu a distribučních křivek je patrné, že v drti byly nejvíce zastoupeny částice o rozměrech >0,8 mm. K měření se použil směsný recyklát, který vznikl na konci drtiče, kde síto má průměr oka 1 mm. Separace na drtiči není dokonalá, a proto při vlastním měření směs obsahuje i vysoký podíl jemnějších frakcí.



Obr. 18: Diferenciální distribuční křivka cihelného recyklátu



Obr. 19: Integrační distribuční křivka cihelného recyklátu

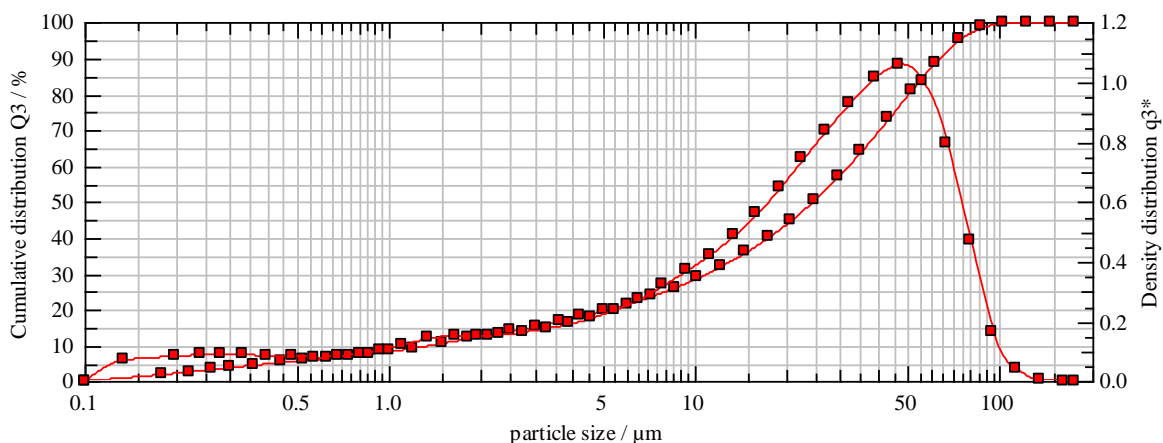


Obr. 20: Distribuce částic na sítě cihelného recyklátu

Směs frakcí menších než 0,63 mm byla podrobena laserové difrakční analýze velikosti částic na přístroji HELOS kr měřením na suché cestě, vzorek byl změřen třikrát. Ve výsledcích (Tabulka 3: Výsledek laserové difrakční analýzy cihelných recyklátů) jsou uvedeny průměrné hodnoty z měření a příklad distribuční křivky naměřené na přístroji HELOS.

Tabulka 3: Výsledek laserové difrakční analýzy cihelných recyklátů

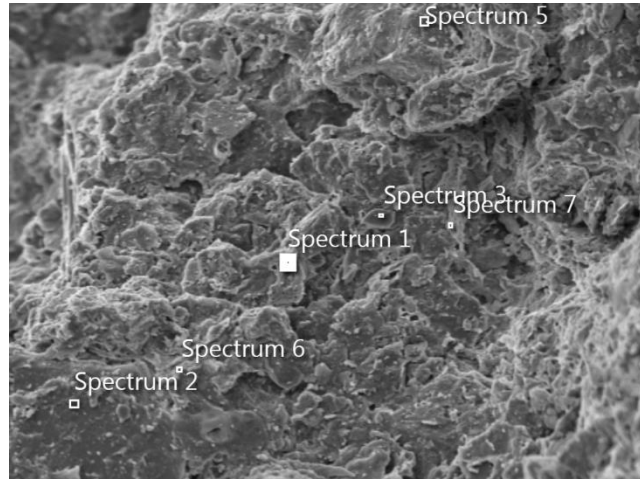
Vzorek	D ₅₀ střední velikost částic [μm]	D ₉₀ střední velikost částic [μm]	Modus průměr největšího množství detekovaných částic [μm]
Cihelný recyklát	24,26	63,52	46,83



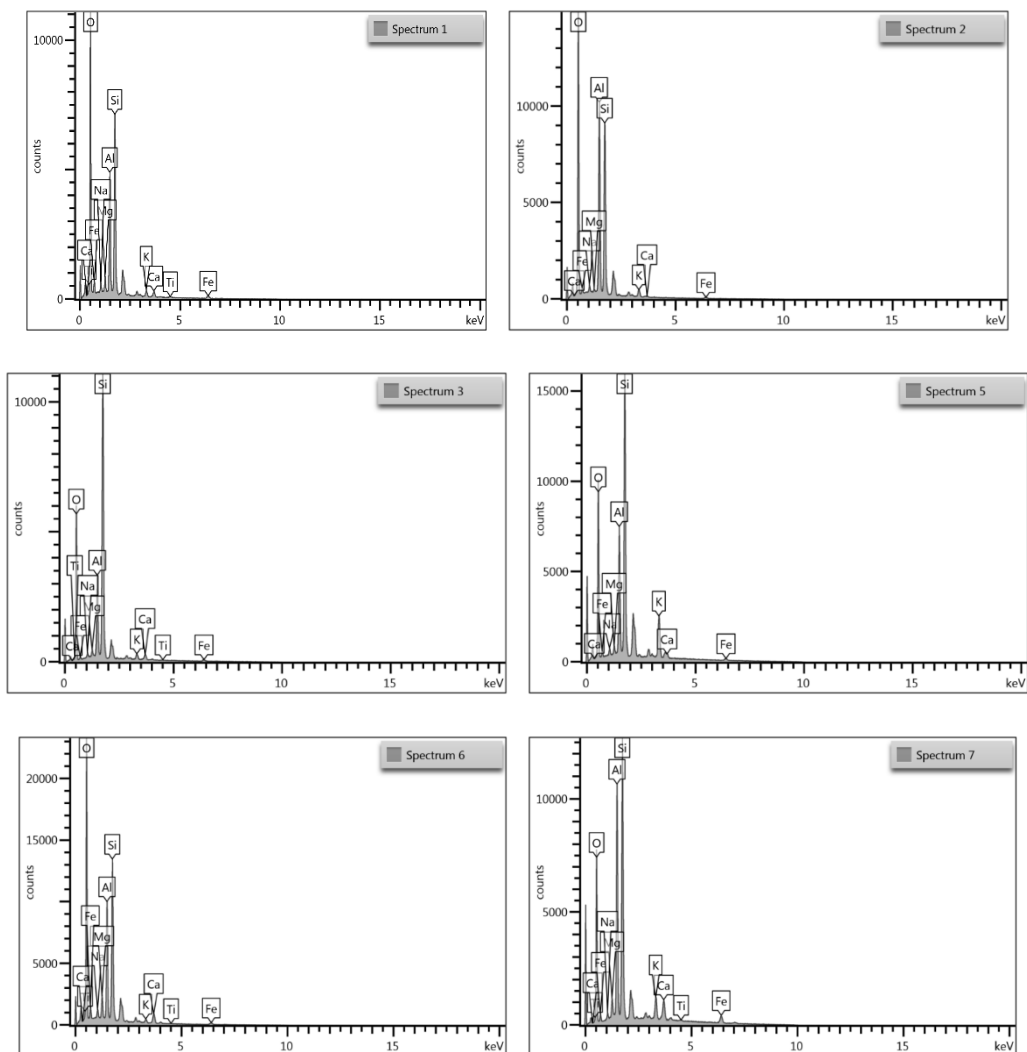
Obr. 21: Výsledek laserové difrakční analýzy velikosti částic cihelných separátů.

4.3 Chemické složení vstupních surovin

Vstupní materiál – cihelný recyklát byl podroben analýze EDS, při které bylo zjištěno chemické složení materiálu. Jednotlivá spektra na struktuře cihelného recyklátu jsou znázorněná na Obr. 22.



Obr. 22: Struktura cihelného recyklátu zobrazena pomocí sekundárních elektronů



Obr. 23 Prvková spektra

Pomocí analýzy SEM - EDS bylo zjištěno prvkové složení cihelného recyklátu. Výsledky jsou uvedeny v Tabulka 4 a jsou uvedeny v procentech prvků. Reálně se ve vzorku nacházejí v podobě převážně oxidů či jiných fází.

Tabulka 4: Prvkového složení cihelného recyklátu zjištěného SEM-EDS analýzou

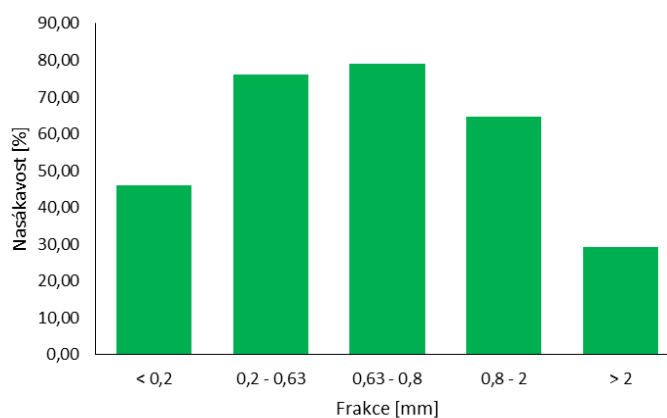
Prvek	Zastoupení [%hmot.]					
	Spektrum 1	Spektrum 2	Spektrum 3	Spektrum 4	Spektrum 5	Spektrum 6
O	45,89	46,85	36,63	34,11	46,94	30,12
Na	0,98	0,77	0,49	0,68	0,96	0,53
Mg	1,58	0,21	0,75	0,70	2,47	1,47
Al	13,26	21,07	10,55	11,99	13,18	19,68
Si	22,76	23,07	43,16	31,70	21,01	28,91
K	2,21	2,93	2,61	14,86	1,35	6,64
Ca	2,65	0,50	3,08	1,67	4,43	7,42
Fe	9,83	4,60	2,32	4,29	9,43	4,51

4.4 Stanovení nasákavosti

Jednotlivé frakce byly podrobeny zkoušce nasákavosti, kdy byla stanovena maximální hodnota, kolik vody se může do vzorku nasáknout – kapacita nasákavosti vodou. Výpočet byl proveden podle rovnice (9). Na Obr. 24 jsou uvedeny výsledky pro frakci >2 mm, kde maximální kapacita nasákavosti vodou je 30 %hmot. Frakce v rozmezí 0,63-0,8 mm má objem pórů téměř 2,5× větší a o 5 % menší kapacitu vody má frakce 0,2-0,63 mm. Z měření můžeme říci, že částice o velikosti od 0,2-2 mm jsou pro následné testy nejvhodnější.

Tabulka 5: Vypočítané hodnoty nasákavosti cihelných recyklátů

frakce [mm]	m [g]	[%]
< 0,2	9,2	45,92
0,2 - 0,63	38,1	76,00
0,63 - 0,8	39,6	79,06
0,8 - 2	32,3	64,53
> 2	14,7	29,32



Obr. 24: Nasákavost jednotlivých frakcí cihelného recyklátu

4.5 Testy schopnosti zadržování vody

Testování zadržování vody v půdě bylo prováděno vázkovou metodou. Jako standard byl použit jemný křemenný písek. Následně byly připraveny směsi tohoto písku s cihelným recyklátem. Pro porovnávání hodnot bylo stanoveno časové rozmezí od 3. do 13. dne. Při vázkových testech s pískem bylo zjištěno, že pro zadržování vody je ideální obsah přidaného cihelného recyklátu 5-10 % s výjimkou frakce 0,63-1 mm, kde při přidavku 5% cihelného recyklátu byl zjištěn nejrychlejší odchod vody z testované směsi. Výsledky jsou uvedeny v Tabulka 6: Procentuální množství odpařené vody v písku, grafy jsou uvedeny v Příloha 2.

Tabulka 6: Procentuální množství odpařené vody v písku

[%]	Množství [%]													[den]
	1	2	3	7	9	10	11	14	15	17	18	19	22	
0	13,2	22,5	33,8	69,0	82,0	86,9	89,6	95,1	96,4	98,0	99,3	100,0	100,0	
	1	2	3	5	6	8	9	12	14	15	19	21	22	[den]
1	14,6	22,0	29,0	43,3	52,6	67,9	75,1	92,5	96,1	97,5	100,0	100,0	100,0	^ 2 mm
5	10,9	18,2	25,1	39,2	48,3	62,8	69,4	85,6	90,4	92,1	96,5	97,9	98,6	
10	11,6	18,9	25,8	39,7	48,8	63,5	70,3	84,8	89,0	90,7	95,2	96,6	97,4	
15	10,5	17,7	24,8	39,5	49,4	63,7	69,7	83,1	87,2	88,8	94,7	94,7	95,5	
20	11,7	19,7	27,7	44,9	54,0	67,7	72,2	82,5	85,8	87,2	91,3	92,8	93,6	
1	10,7	17,9	25,1	39,1	48,4	62,5	68,7	85,2	90,4	92,2	96,9	98,2	98,8	1-2 mm
5	10,6	17,5	24,3	37,2	45,9	59,6	65,7	83,1	89,0	91,0	96,0	97,5	98,3	
10	10,4	17,7	24,7	38,4	47,3	61,3	67,9	83,6	87,9	89,6	94,0	95,5	96,2	
15	10,6	17,8	25,0	39,5	48,3	62,1	68,3	82,8	87,2	88,9	93,6	95,1	95,9	
20	11,3	18,9	26,8	43,4	52,8	66,8	72,1	83,3	86,8	88,2	92,4	93,9	94,6	
1	8,8	16,0	23,1	36,3	45,5	59,8	66,1	84,5	90,4	92,4	97,1	98,4	99,1	0,63-1 mm
5	9,4	16,1	22,6	34,8	43,6	57,4	63,6	82,8	89,3	91,4	96,5	98,0	98,8	
10	9,6	16,4	23,0	34,8	44,1	58,8	65,5	83,6	88,5	90,3	94,9	96,3	97,1	
15	9,1	16,4	23,8	37,9	47,4	62,3	68,4	82,1	86,3	87,9	92,5	94,0	94,8	
20	10,8	18,7	26,8	43,0	52,6	68,0	73,6	84,5	87,8	89,2	93,2	94,7	95,4	
1	10,0	17,0	24,2	37,3	46,4	61,5	68,3	88,5	93,3	94,9	98,9	100,0	100,0	0,2-0,63 mm
5	11,1	18,4	25,9	40,1	49,6	64,9	71,6	88,4	92,6	94,0	97,9	99,1	99,7	
10	9,8	16,5	23,5	36,2	44,8	59,4	66,2	85,0	90,0	91,7	96,1	97,5	98,2	
15	11,5	18,6	25,7	38,9	47,5	61,9	68,5	87,0	91,3	92,7	96,6	97,9	98,6	
20	10,0	19,1	27,8	44,5	55,5	72,1	77,6	87,4	90,3	91,6	95,1	96,4	97,0	
1	11,7	18,9	26,5	41,1	50,5	65,0	71,9	89,4	94,2	95,8	99,9	100,0	100,0	<0,2 mm
5	9,4	16,2	23,3	37,2	45,9	60,4	67,4	88,4	93,1	94,7	98,3	99,0	99,7	
10	9,2	15,9	23,2	35,7	44,5	59,2	66,0	87,6	92,9	92,1	98,2	98,3	99,8	
15	8,9	14,9	21,9	35,7	44,3	58,1	64,2	83,3	90,3	92,4	96,7	98,0	98,7	
20	9,9	18,1	26,3	42,2	52,2	67,9	74,7	89,5	93,1	94,4	97,9	99,5	99,5	

Těžká jílová půda má už sama o sobě výbornou funkci zadržování vody. Pokud do směsi přidáme frakcí >2 mm, tak docílíme pouze provzdušnění půdy, a dojde k rychlejšímu odpařování. Přidaná frakce 1-2 mm už má pozitivní vliv na odpařování a zadržuje vodu v pórech. V Příloha vidíme, že neúčinnější je přidaná frakce 1-2 mm v poměru 5-10 %, ale frakce v rozmezí 0,2-1 mm podporuje nejlépe zadržování vody v poměru 5-15 %. U nejmenší přidané frakce (<0,2 mm) je ideální použít 5% směs. Výsledky jsou uvedeny v Tabulka 7.

Tabulka 7: Procentuální množství odpařené vody v těžké půdě

[%]	Množství [%]								[den]
	1	3	4	7	9	11	17	22	
0	5,8	18,3	24,8	42,7	56,9	69,3	82,3	88,5	
1	7,1	20,6	27,5	45,9	58,3	70,4	82,9	88,8	> 2 mm
5	6,9	19,7	26,5	44,4	56,9	68,7	82,2	88,4	
10	7,7	20,5	26,9	43,7	54,9	67,9	81,2	87,5	
15	8,3	22,5	29,4	45,7	58,9	70,7	82,8	88,7	
20	7,4	21,6	29,0	47,7	62,5	74,4	85,3	90,4	
1	5,2	17,1	23,4	40,1	52,0	64,9	79,3	86,4	1-2 mm
5	4,6	15,4	21,2	36,8	47,8	60,9	77,3	85,3	
10	4,7	14,9	20,6	35,8	47,3	60,3	77,2	84,8	
15	4,9	17,2	22,9	37,3	50,4	63,4	78,5	85,8	
20	5,2	16,1	22,3	40,0	52,5	65,8	80,0	86,8	
1	5,9	18,4	24,8	41,6	54,0	66,5	80,3	87,0	0,63-1 mm
5	5,8	16,2	22,1	37,4	48,3	62,2	77,7	85,2	
10	4,7	15,2	20,8	35,9	46,6	60,0	76,5	84,8	
15	5,8	16,2	21,8	36,9	49,0	62,4	77,7	85,1	
20	5,7	17,5	23,8	40,9	52,5	65,7	80,1	86,8	
1	5,8	17,6	23,9	40,5	52,8	65,3	79,5	86,4	0,2-0,63 mm
5	5,0	15,4	21,1	36,4	47,2	63,4	78,2	85,4	
10	5,1	15,5	21,0	36,4	47,5	61,4	77,0	84,8	
15	4,7	15,6	21,4	37,6	49,0	62,7	77,5	85,2	
20	5,3	16,3	23,0	40,2	52,6	65,6	79,8	86,6	
1	5,3	17,3	23,7	41,2	53,9	66,4	80,6	87,4	<0,2 mm
5	4,9	15,4	21,2	36,3	47,7	63,0	78,6	85,9	
10	5,2	16,1	21,9	37,7	48,7	62,3	77,4	85,0	
15	5,1	16,1	22,8	39,4	50,3	64,0	78,9	86,1	
20	5,2	17,3	23,7	40,2	52,3	65,2	79,7	86,6	
	1	3	4	7	9	11	17	22	[den]

V Tabulka 8 vidíme, že nejpomaleji se voda odpařuje ze vzorku s obsahem cihelného recyklátu pod 0,63 mm, v 10-15 % hmotnostně přidaného recyklátu do půdy. U přidané frakce 0,63-1 mm vykazuje nejlepší výsledky směs s 10% přídavkem. Cihelný recyklát větší než 1 mm je pak nutné přidat ve větším množství, cca 20 % hmot.

Tabulka 8: Procentuální množství odpařené vody v lehké půdě

[%]	Množství [%]							[den]
	2	6	8	10	13	16	22	
0	23,2	57,3	71,3	79,3	84,6	96,2	100,0	
1	22,7	58,1	71,8	79,8	85,0	89,8	99,8	2 mm ^
5	25,2	55,4	70,8	78,9	84,5	89,6	100,0	
10	27,3	63,5	74,7	80,9	85,7	90,4	99,8	
15	24,7	61,0	72,4	79,1	84,1	89,2	99,2	
20	23,0	56,1	68,9	76,0	81,3	86,6	97,2	
1	24,1	60,9	73,7	80,6	85,5	90,2	99,9	
5	24,9	63,5	74,0	80,2	84,6	89,2	98,2	
10	18,4	59,7	72,1	78,7	83,7	89,9	100,0	
15	26,2	58,9	70,7	77,4	82,6	87,7	97,9	
20	21,0	58,7	68,9	75,6	80,7	86,0	96,4	
	2	5	7	13	15	19	22	[den]
1	14,2	48,2	65,1	85,9	89,3	93,5	100,0	0,63-1 mm
5	14,7	44,1	62,6	86,9	90,6	96,7	100,0	
10	11,0	40,3	59,3	83,9	87,6	93,2	98,3	
15	14,3	43,1	62,3	83,3	86,9	91,3	98,3	
20	16,0	44,6	62,3	82,1	85,7	89,2	96,4	
1	13,3	39,4	64,8	85,4	88,7	94,5	96,4	
5	13,4	41,7	61,6	85,5	89,1	93,5	97,2	
10	12,0	39,9	59,4	83,8	87,5	93,0	96,2	
15	12,1	39,4	58,3	81,3	85,2	92,2	94,3	
20	15,1	43,3	60,7	82,2	86,0	94,2	95,4	
1	14,3	44,9	63,9	83,1	89,7	94,6	93,4	<0,2 mm
5	14,9	43,3	61,5	83,3	88,1	93,4	93,8	
10	14,3	41,0	59,0	83,3	86,8	92,0	92,9	
15	14,7	41,3	59,8	84,6	86,7	91,9	92,0	
20	25,3	51,8	70,8	86,5	86,8	91,9	93,5	

Pokud porovnáme jednotlivé použití jednotlivých frakcí ve všech testovaných substrátech (písek, těžká půda, lehká půda), vychází jako nejvhodnější použití frakcí 0,63-1 mm a 0,2-0,63 mm. Experiment byl prováděn za laboratorních podmínek a vážení na vahách s chybou 0,005 g. Výsledky jsou uvedeny v Příloha 4.



Obr. 25 Ukázka průběhu testu zadržování vody, experiment s pískem

4.6 Výběr vhodných substrátů pro růstové testy a jejich charakterizace

Výběr správného substrátu je pro pěstování jakýchkoliv rostlin velmi důležitý. Substrát by měl obsahovat dostatečnou dávku živin, aby se malé rostlinky uchytily. Mezi další důležité požadavky patří zrnitost půdy. Proto pro experimenty byly vybrány dvě odlišné půdy – lehká písčité a těžká jílovitá půda.

Stanovení přístupných živin a rozbor dusíku byl měřen paralelně pro 2 navážky a výsledky uvedené v Tabulka 9,10 jsou průměrem těchto dvou hodnot. Z výsledků je patrné, že vstupní podmínky pro pěstování rostlin má z hlediska hodnocených živin lehčí půda.

Tabulka 9: Přístupné živiny v půdě

Vzorek	pH CaCl ₂	P [mg/kg]	K [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Mg [mg/kg]
Lehká půda	7,19	93,35	138,2	2373,5	102,55
Těžká půda	7,68	12,75	124,3	8210,0	386,35

Tabulka 10: Rozbor dusíku v půdě

vzorek	N-NH ₄ [mg/kg]	N-NO ₃ [mg/kg]	Nmin
Lehká půda	1,95	10,10	12,05
Těžká půda	0,84	2,69	3,53

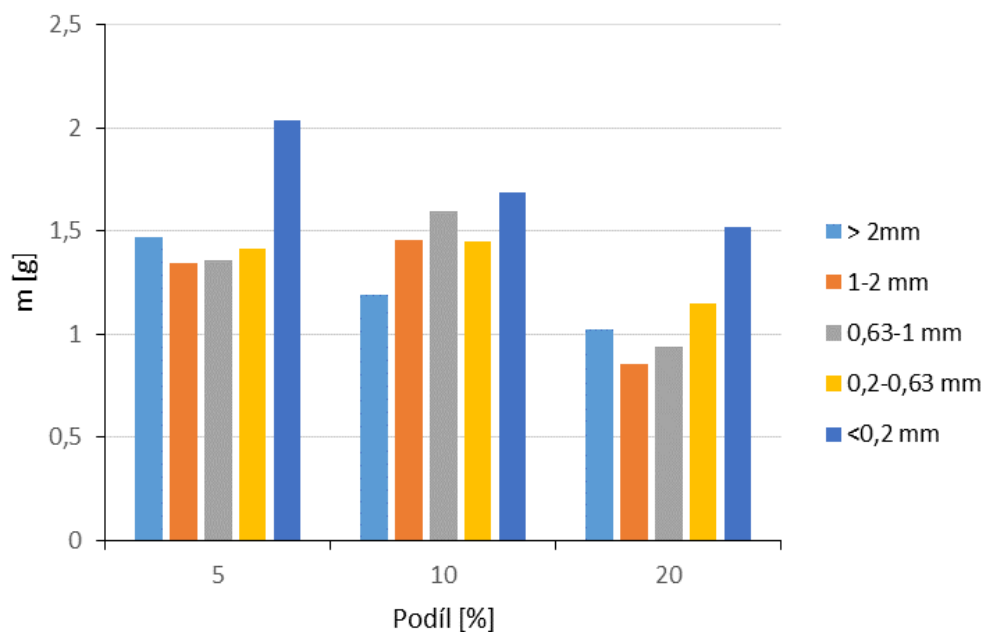
4.7 Růstové testy

Na Obr. 26 je již okem viditelný rozdíl mezi použitými substráty. Lehčí půda má pozitivní vliv na růst rostlin sama o sobě. Těžší půda má hrubší zrnitost, která mírně komplikuje růst rostlin. Zalévání bylo konstantní pro obě zeminy, to mělo negativní vliv pro těžší půdu, protože má lepší schopnost zadržování vody a menší potřebu vody než lehčí půda (vliv jílových složek půdy), docházelo k přemáčení půdy.



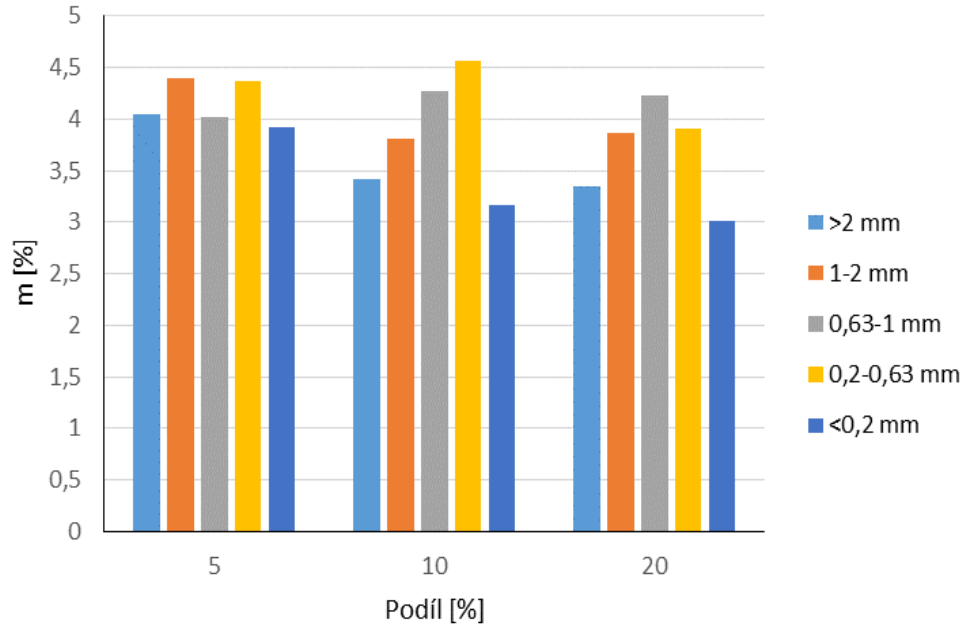
Obr. 26: Rostliny salátu (vlevo-těžká půda, vpravo-lehká půda)

Na grafu uvedeném na Obr. 27 lze pozorovat výtěžnost na testovacích rostlinách salátu, který byl pěstován v těžší půdě. Vlastnosti vstupní suroviny nejsou pro pěstování rostlin ideální. Půda je těžká, málo provzdušněná. Největší výtěžnost byla u všech testovacích rostlin dosažena při použití frakce $<0,2$ mm, a to v přídatku 5% hmot. Dále je možné konstatovat, že přídatek 5-ti a 10-ti procent mají velice podobný vliv na růst rostlin a s tím spojenou výtěžnost fytohmoty.



Obr. 27: Výtěžnost salátů v těžší půdě

Na grafu uvedeném na Obr. 28 lze pozorovat výtěžnost na testovacích rostlinách salátu, který byl pěstován v lehčí půdě. Při použitých frakcích v substrátu nebylo dosaženo velkých rozdílů v růstu rostlin. Největší výtěžnost byla zjištěna při aplikaci frakce 0,2-0,63 mm.



Obr. 28: Výtěžnost salátů v lehčí půdě

Poslední záливka pro saláty byla 53. den, od té doby bylo pozorováno, které rostliny dříve uschnou, a který květináč bude první bez vláhy. Bylo zjištěno, že u přidané frakce >2 mm byly jako první pozorovány změny a rostlinka v krátkém čase povadla. Půda s přidanou frakcí 0,63-1 mm udržela vodu v květináči nejdéle. Zde je potřeba konstatovat, že tento závěr, kdy byl již vyvinutý kořenový systém rostlin, platí pro obě testované půdy stejné.



Obr. 29 Salát 6. den od poslední záливky

5 ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na studium zadržování vody v půdě pomocí cihelného recyklátu. Pro studii byl zvolen cihelný recyklát z cihelny Heluz, který byl síťováním rozdělen do několika frakcí, které byly následně použity k experimentům. Pro každou frakci byly zjištěné a laboratorně ověřené schopnosti cihelného recyklátu zadržovat vodu. Následně byla testována i schopnost ji zpět uvolňovat do okolního prostředí, půdy. Nejprve byly provedeny experimenty s jemným křemenným pískem, který byl považován za standard s velice nízkou schopností zadržovat vodu. Poté se v experimentech pokračovalo s dvěma různými reálnými půdami, ve kterých byly provedeny i růstové experimenty. Experimentálně byla zjištěna maximální hodnota nasákavosti jednotlivých frakcí, bylo stanoveno, kolik vody může vzorek maximálně pojmout. Bylo zjištěno, že nejlepších hodnot dosahovaly frakce ze středového intervalu distribuční křivky (0,2-1 mm). Nasákavost u těchto frakcí se pohybovala v rozmezí 65-80 %.

Voda v jemném křemenném písku poměrně rychle přechází do okolí. Cihelným recyklátem byla zlepšená schopnost zadržování vody, kde bylo dosaženo nejlepších výsledků s přídavky 5-10 % hmot. Například po devíti dnech byla hmotnost zadržované vody v květináči s pískem a přidaným cihelným recyklátem o 12% vyšší. Celkově tento experiment ukázal, že účinnost přídavku cihelného recyklátu nastupuje mezi 6 -7 dnem bez závlivky jednotlivé rozdíly obsahu vody mezi vzorky bez a s přídavkem cihelného recyklátu jsou téměř až 20 % hmot. Jelikož se jedná až o celou pětinu celkové vody, lze konstatovat, že by to pro rostliny mohlo hrát klíčovou roli, zejména v suchých oblastech.

Následně byly provedeny experimenty s reálnými půdami a bylo zjištěno, že směs těžké půdy s cihelným recyklátem, frakcí 1-2 mm byla vyhodnocena jako ideální podpora závlahy a to již v přídavku 5 %, u ostatních přídavků byla tato frakce také hodnocena jako nejlepší. Vzhledem k ekonomické stránce věci je však možné konstatovat, že pro použitý typ těžké půdy je ideální přídavek 5 % hmot. frakce 1-2 mm. U lehké půdy bylo experimentálně stanoveno, že ideálním přídavkem je opět 5 % hmot přidaného cihelného recyklátu o frakci pod 1 mm, u větších frakcí aplikovaných do lehké půdy, bylo efektu zádrže vody dosaženo až při výrazně vyšších přídavcích okolo 20 % hmot.

Získané poznatky byly následně ověřovány růstovým experimentem na rostlinách raného hlávkového salátu (*Lactuca sativa L. var. capitata L.*). při růstovém experimentu byla hodnocena výtěžnost získaná fytomasy salátu a po ukončení závlivky i to jak rychle budou rostliny uvadat. Z hlediska dosažení vyšších výtěžností fytomasy bylo prokázáno, že pro těžké půdy je vhodný menší přídavek (5%hmot.) jemných frakcí pod 0,2 mm. Naopak pro půdy lehké jsou vhodné přídavky 5 – 10 % hmot frakcí ze středových hodnot distribuční křivky (0,2-1 mm).

Po ukončení závlivky nejdéle vydržely relativně vitální rostliny, které byly pěstovány v půdě s přídavkem 5-10 % hmot. frakce 0,63 -1 mm přidaného cihelného recyklátu a to u obou testovaných půd.

Celkově můžeme říci, že přídavek cihelného recyklátu napomáhá zadržování vody v půdách a jeho účinnost je modifikovatelná přidávaným množstvím cihelného recyklátu a jeho velikostí částic. Pro každou půdu je však nutné experimentálně stanovit množství i typ přidávaného cihelného aditiva.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015-2024. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Břeclav: Moraviapress. ISSN 1211-1244., 2014, ročník 2014, číslo 352.]
2. ZÁŘICKÝ, Aleš. *Nástin dějin výroby od pravěku po současnost*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2009, 266 s. ISBN 978-80-7368-689-5.
3. Davar. *Badatelna: Výprava do minulosti* [online]. 2017 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.davar.cz/badatelna/>
4. HERAINOVÁ, Marcela. *Cihlářská výroba a kamenina*. Praha: Silikátový svaz, 2004, 58 s. Učebnice pro střední odborné školy (Silikátový svaz). ISBN 80-868-2107-2.
5. PYTLÍK, Petr. *Cihlářství*. Brno: CERM, 1995. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0612-7.
6. HANYKÝŘ, Vladimír. *Technologie keramiky*. Hradec Králové: Vega, 2000. ISBN 80-900-8606-3.
7. SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-807-6007-1
8. ŠEDIVÝ, Jan. *Stavební materiály a konstrukce*. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2013, 64 s. ISBN 978-80-87096-16-1.
9. ČSN 72 1564 (721564) *Cihlářské zeminy. Společná ustanovení*. 1. Praha: ÚNMZ, 1986.
10. *Automatizace provozu cihelny v Hevlíně* [online]. FCC PUBLIC, 2011 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/43429.pdf>
11. Výroba cihel Heluz Family 2in1. *Stavba domů svépomocí* [online]. 2017 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.svepomoci.cz/stavba-domu/priprava-stavby/5229-video-vyroba-cihel-heluz-family-2in1.html>
12. MÁLEK, Petr. *Stavební materiály a konstrukce*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 2002, 214 s. ISBN 80-704-0568-6.
13. LACH, Vladimír. *Keramika*. 3. vyd. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0332-2.
14. HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů*. 2. upravené vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury ALFA, 1988.
15. JIROUT, Jiří. Metodika zdění z broušených cihel. In: *SOU Sedlčany o.p.s.* [online]. Sedlčany [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.souch.sedlcany.cz/attachments/article/102/Metodika%20Zd%C4%9Bn%C3%AD%20brou%C5%A1en%C3%BDch%20cihel.pdf>
16. Ahmad, S., Iqbal, Y., and Ghani, F. (2008). "Phase and Microstructure of Brick-Clay Soil and Fired Clay-Bricks From Some Areas in Peshawar Pakistan." *Journal of The Pakistan Materials Society*, 2(1), 33-39.
17. ADÁMEK, Jiří, Bohumil NOVOTNÝ a Jan KOUKAL. *Stavební materiály*. 1. Brno: Cerm, 1996. ISBN 80-214-0631-3.
18. ČSN 72 2600 (722600) *Cihlářské výrobky. Společná ustanovení*. 1. Praha: ÚNMZ, 1988.

19. KRENÍKOVÁ, Věra. *Odpady a druhotné suroviny II*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-871-2.
20. *Cyhlovyrecyklat.cz* [online]. Brno, 2016 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <http://www.cyhlovyrecyklat.cz/>
21. BRTNICKÝ, Martin. *Půdoznalství v kostce*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-28-3-0.
22. Jaké máme druhy půd a jejich vlastnosti. *Vítejte na Zemi* [online]. 2013 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: http://www.vitejenazemi.cz/cenia/index.php?p=jake_mame_druhy_pud_a_jejich_vlastnosti&site=puda
23. *Mikroorganismy jako indikátory stavu půdního prostředí* [online]. 2014 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/
24. VOPRAVIL, Jan. *Půda a její hodnocení v ČR*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2011. ISBN 978-80-87361-02-3.
25. TOMÁŠEK, Milan. *Půdy České republiky*. 2. dopl. vyd. ISBN 80-707-5403-6.
26. ŠARAPATKA, Bořivoj. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.
27. KUTÍLEK, Miroslav. *Vlhkost pórovitých materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984, 212 s. Česká matice technická (SNTL).
28. DĚDEK, Miloň a František VOŠICKÝ. *Stavební materiály: pro 1. ročník SPŠ stavebních*. 6., upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2008, 260 s. ISBN 978-80-86817-26-2.
29. An introduction to electron microscopy. FEI [online]. [cit. 2018-04-23]. Available from: www.fei.com/introduction-to-electron-microscopy/
30. Laboratoř kovů a koroze - přístrojové vybavení. CENTRUM MATERIÁLOVÉHO VÝZKUMU [online]. Brno [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.materials-research.cz/cs/laboratore-cmv/laboratore/anorganicke-materialy-laborator-kovu-a-koroze>
31. RICHTER, Jan, Tomáš SVĚRÁK a Petr STEHLÍK. *Chemické inženýrství I*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2004. ISBN 80-214-2568-7.
32. ZBÍRAL, Jiří. *Analýza půd : jednotné pracovní postupy*. Vyd. 3., rozš. a přeprac. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2011. 230 s. ISBN 9788074010408.

7 SEZNAM ZKRATEK

ES	Evropské směrnice
ČSN	Česká technická norma
SEM-EDS	Rastrovací elektronová mikroskopie s energiově disperzním rentgenovým fluorescenčním spektrometrem
USDA	US Department of Agriculture – Americké ministerstvo zemědělství

8 SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1 – Mineralogie výpalu cihlářských zemin

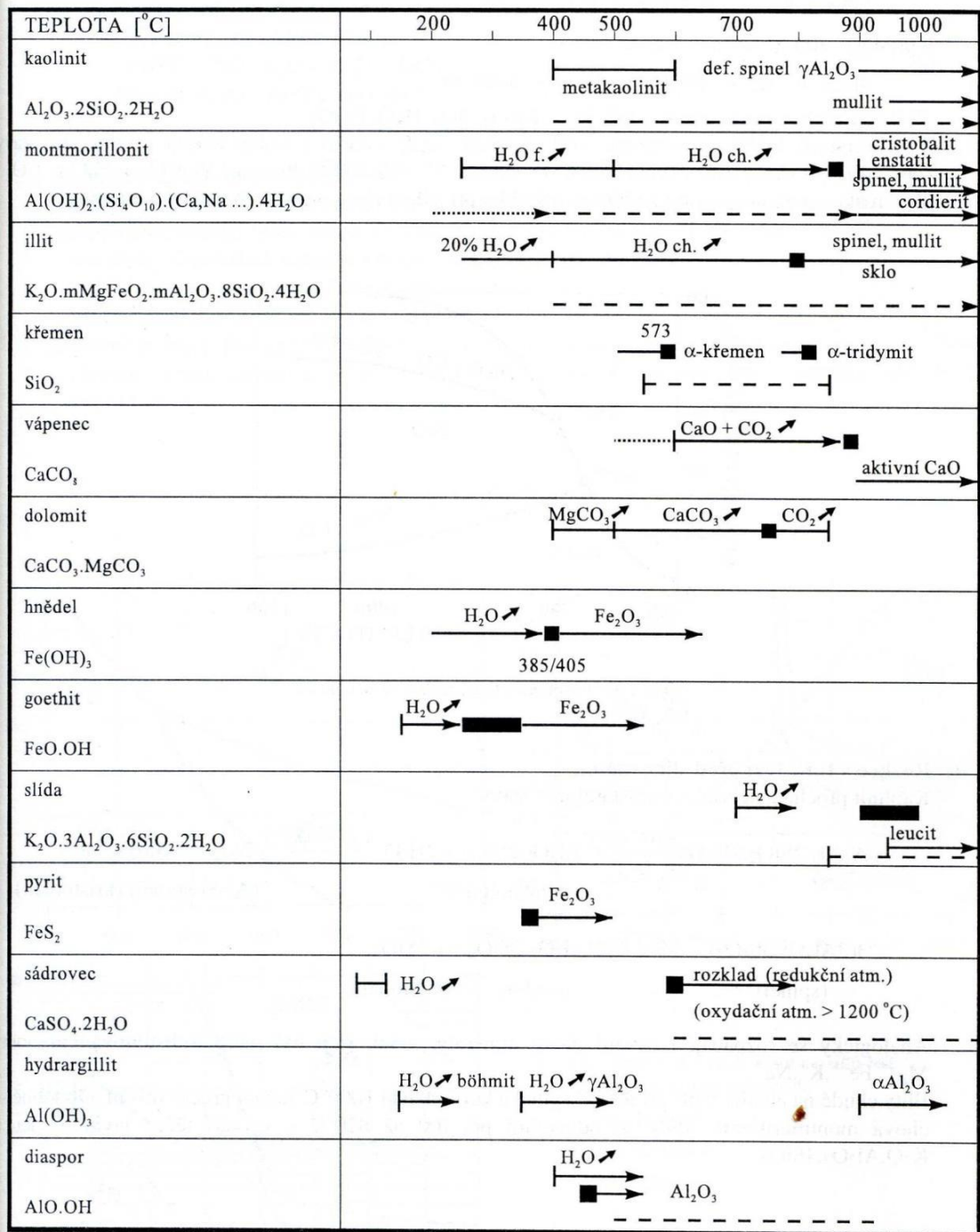
PŘÍLOHA 2 – Odpařovací testy pro písek

PŘÍLOHA 3 – Odpařovací testy pro těžkou půdu

PŘÍLOHA 4 – Odpařovací testy pro lehkou půdu

PŘÍLOHA 5 – Časová fotodokumentace růstu rostlin

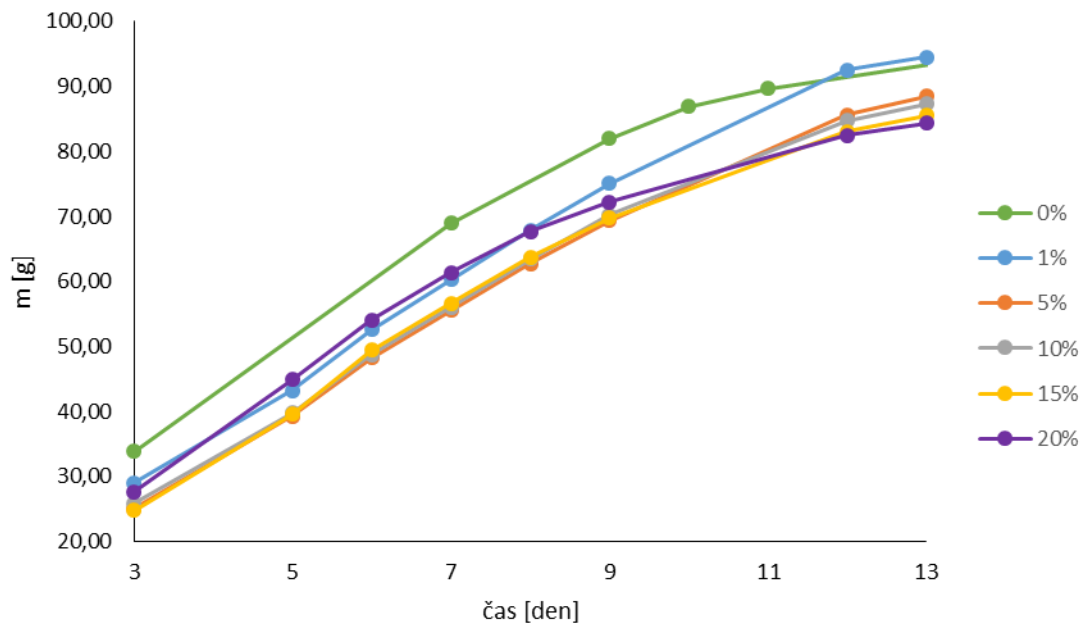
Příloha 1



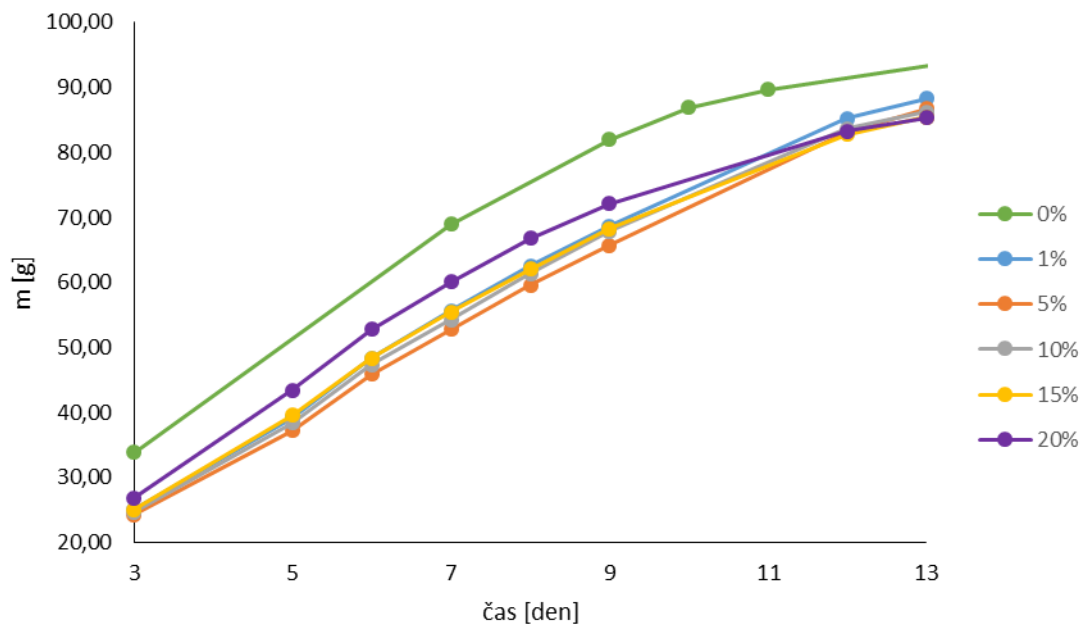
rozpad mřížky
 - - - - - aktivní mezistupně:
 pravděpodobný
 ————— výrazný

Obr. 30: Mineralogie výpalu cihlářských zemin [1334]

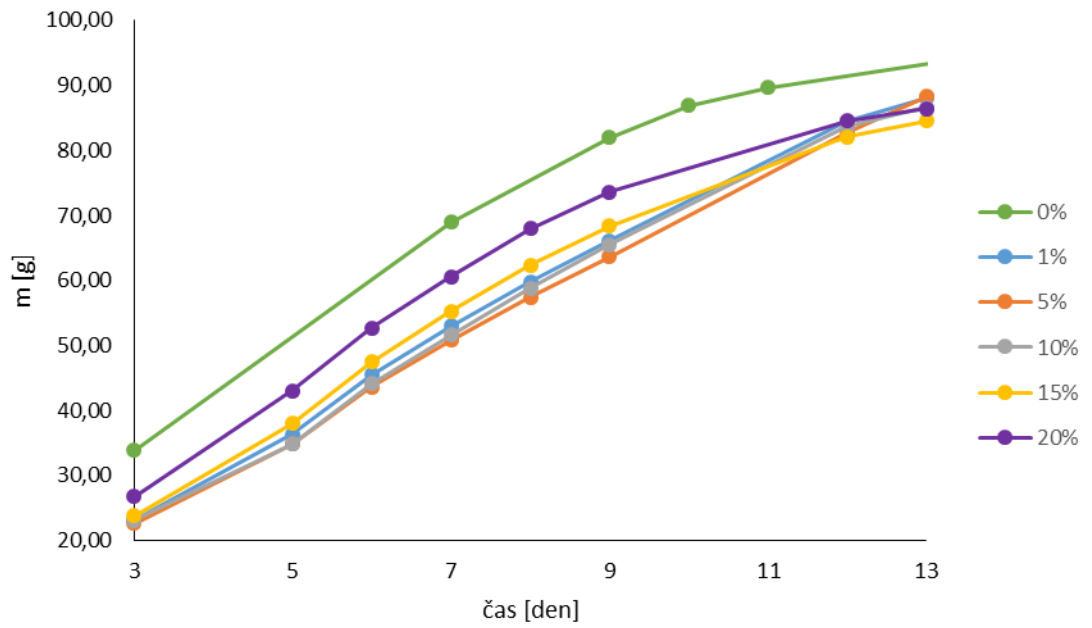
Příloha 2



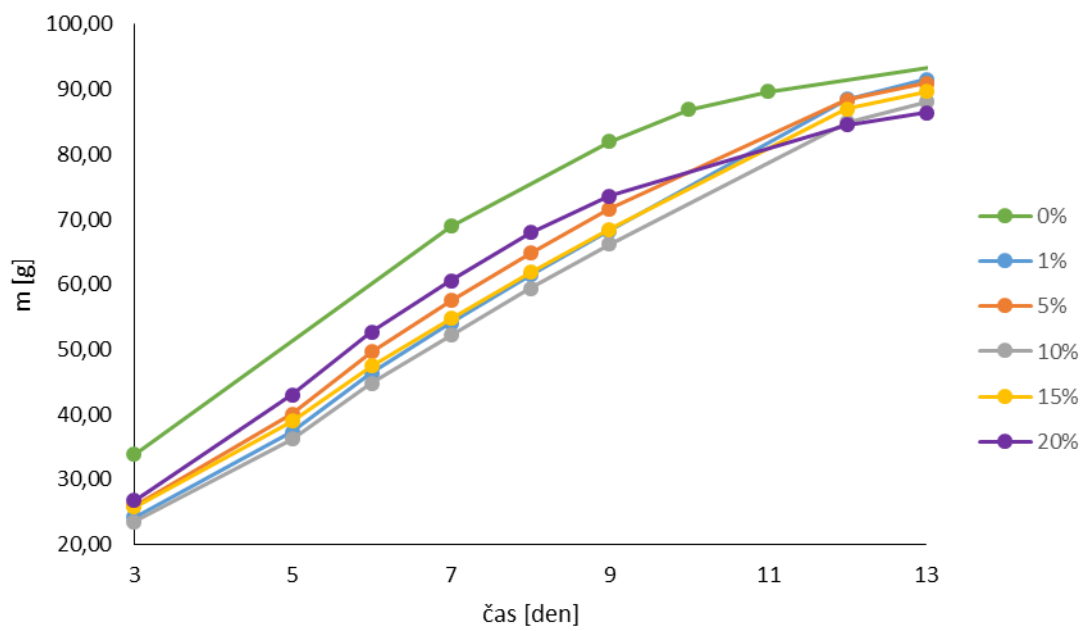
Obr. 31: Vážkové testy pro písek s frakcí >2 mm



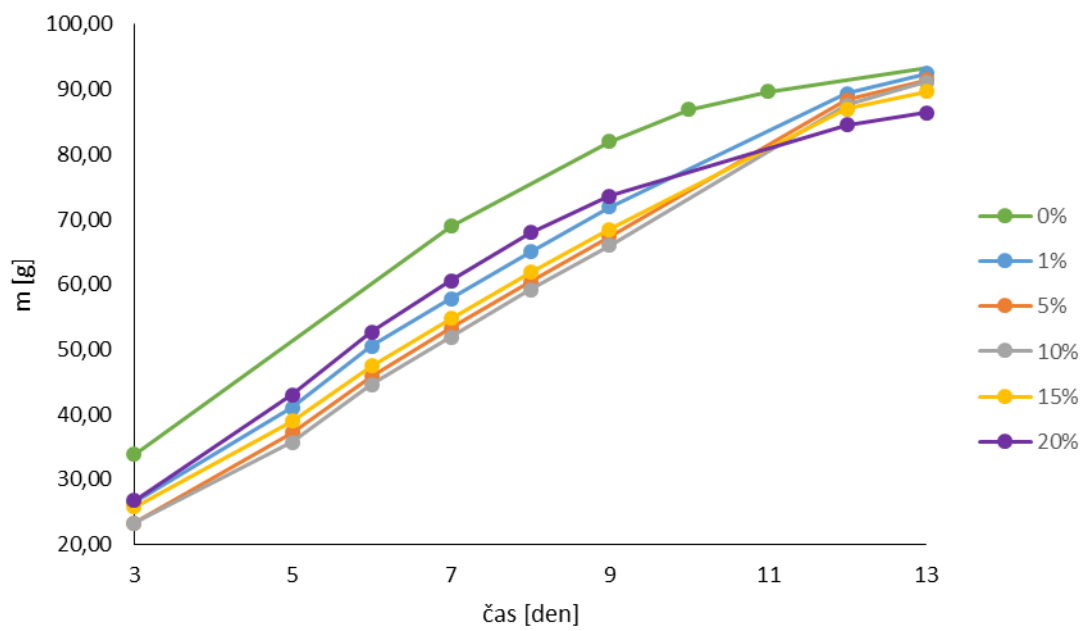
Obr. 32: Vážkové testy pro písek s frakcí 1-2 mm



Obr. 33 Vážkové testy pro písek s frakcí 0,63-1 mm

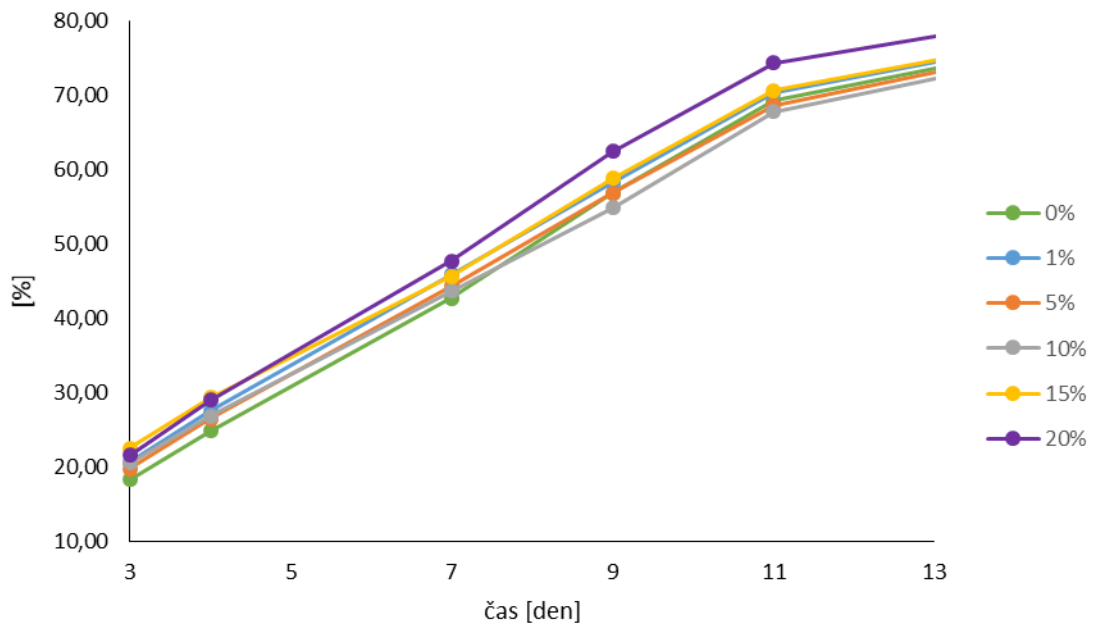


Obr. 34 Vážkové testy pro písek s frakcí 0,2-0,63 mm

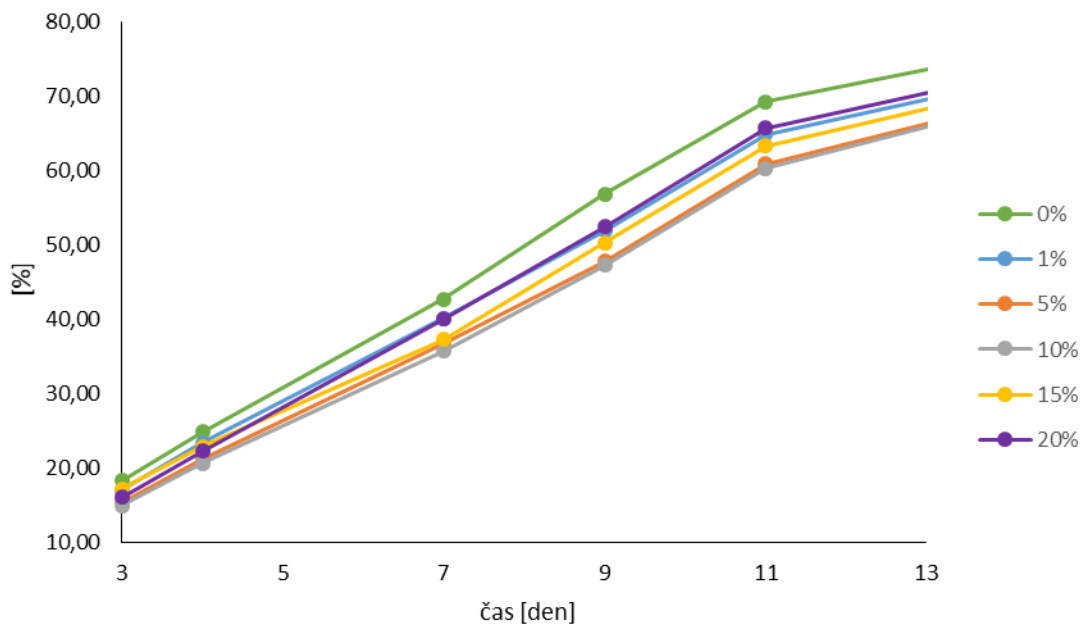


Obr. 35 Vážkové testy pro písek s frakcí <math><0,2\text{ mm}</math>

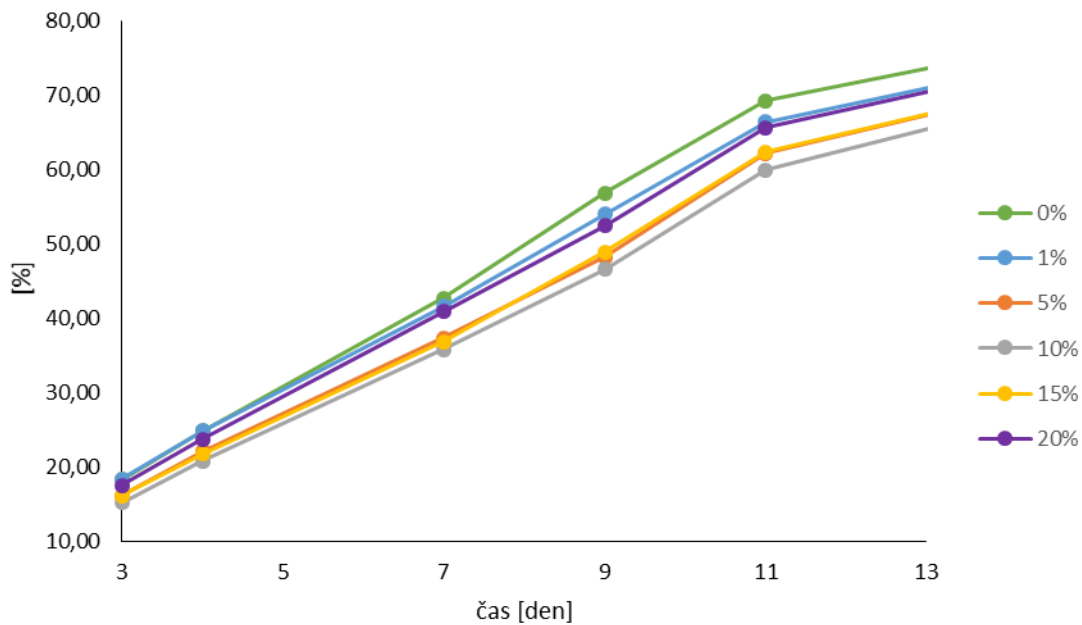
Příloha 3



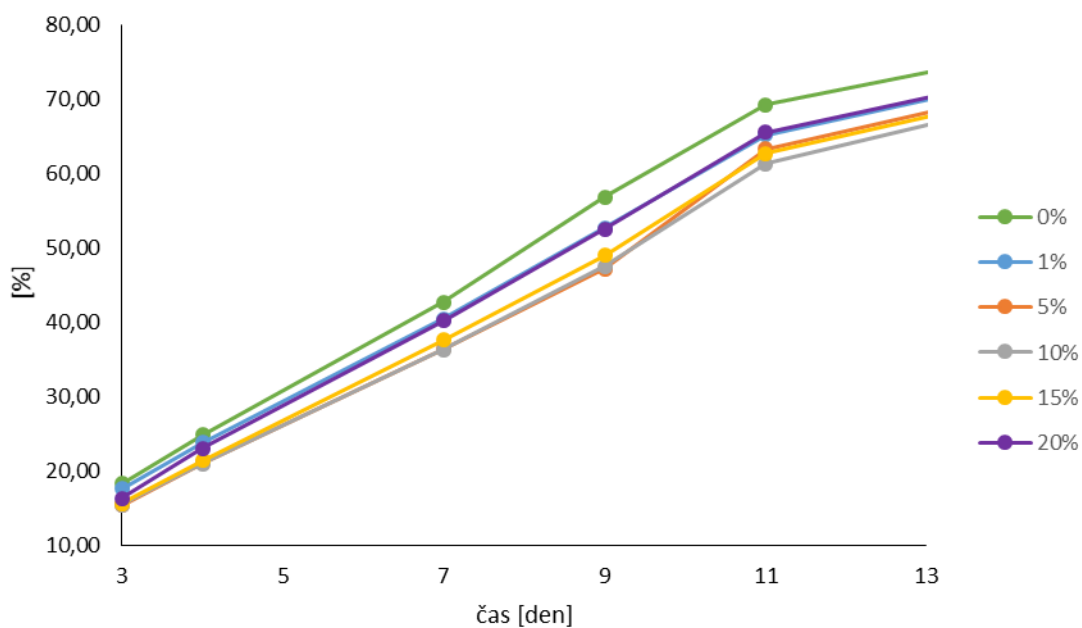
Obr. 36: Vážkové testy pro těžší půdu s frakcí >2 mm



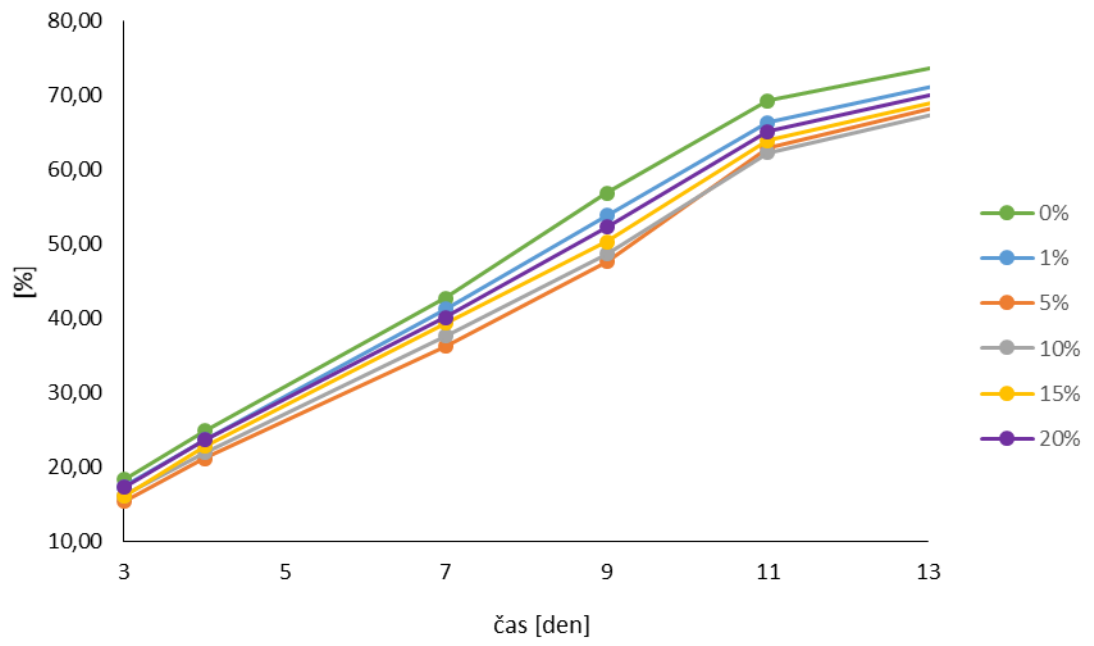
Obr. 37: Vážkové testy pro těžší půdu s frakcí 1-2 mm



Obr. 38: Vázkové testy pro těžší půdu s frakcí 0,63-1 mm

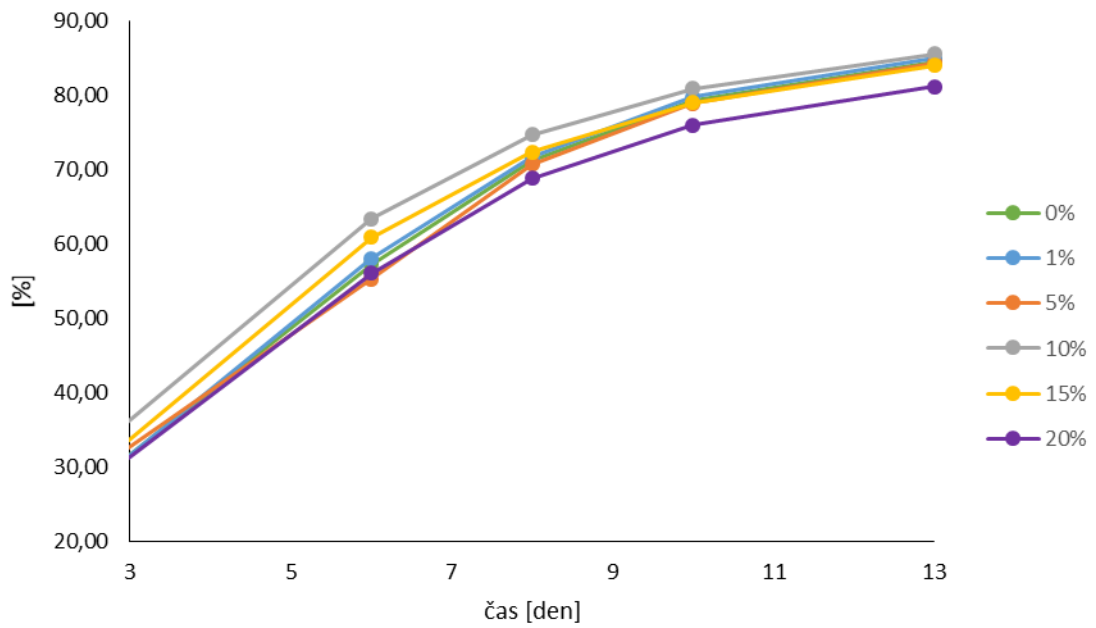


Obr. 39: Vázkové testy pro těžší půdu s frakcí 0,2-0,63 mm

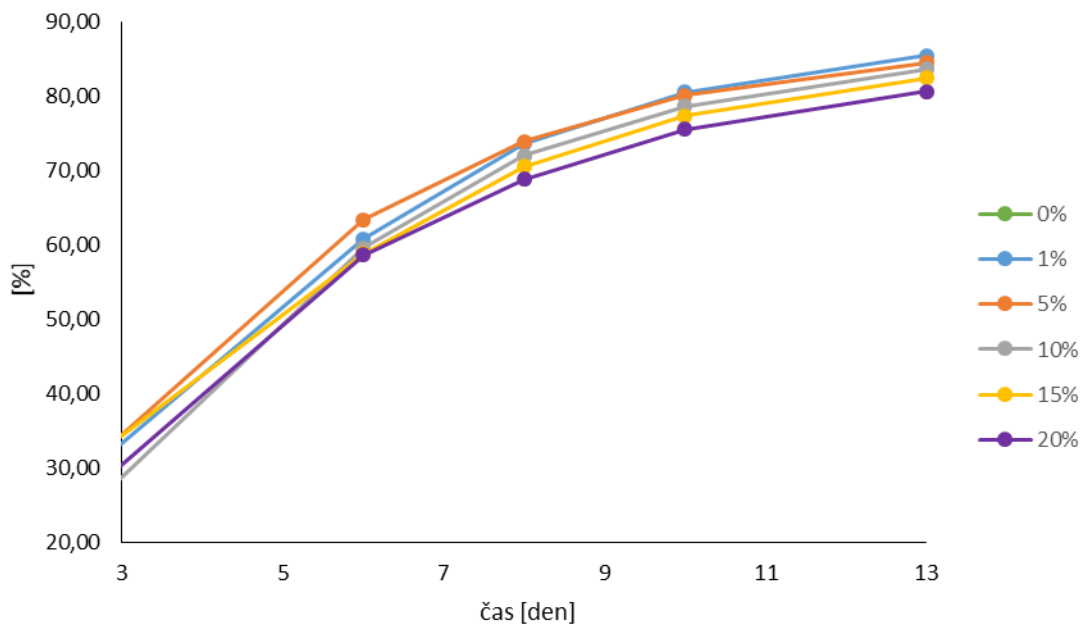


Obr. 40: Vážkové testy pro těžší hlínu s frakcí <2 mm

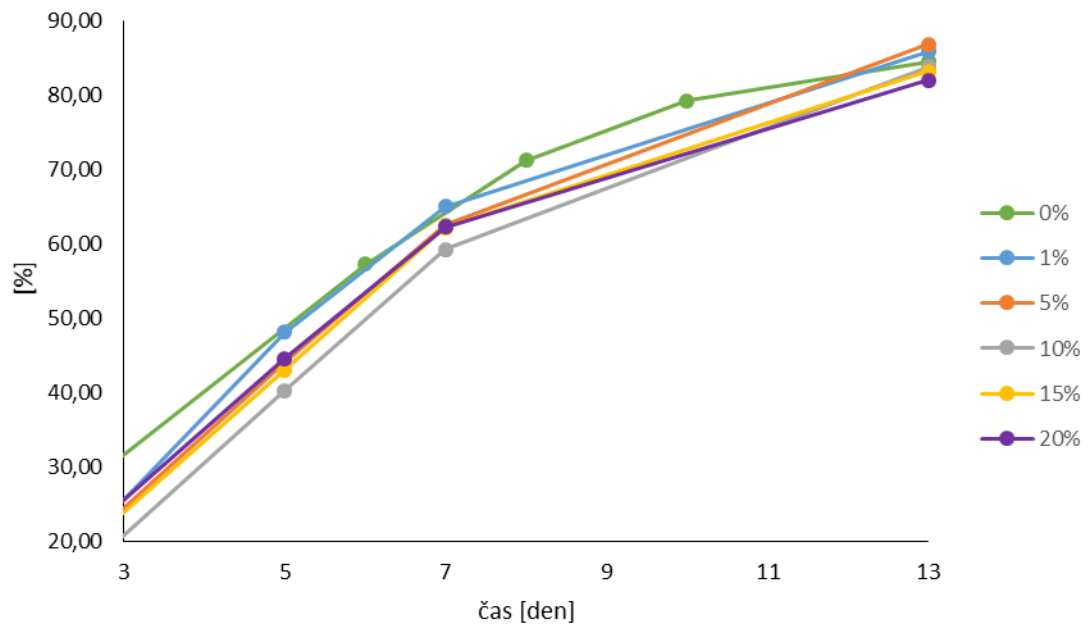
Příloha 4



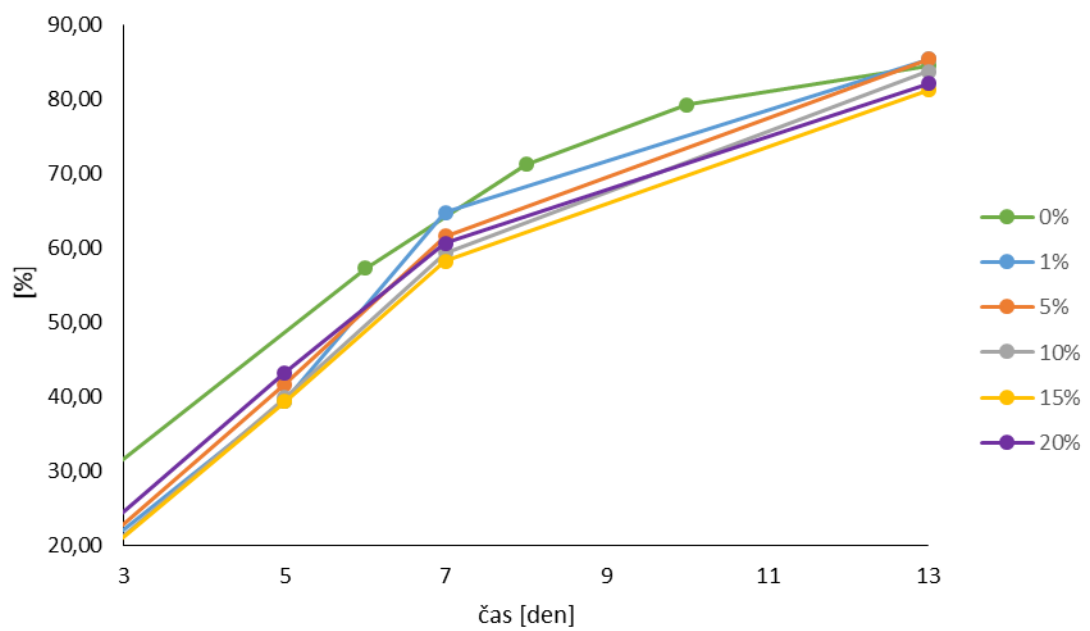
Obr. 41: Vážkové testy pro lehkou půdu s frakcí >2 mm



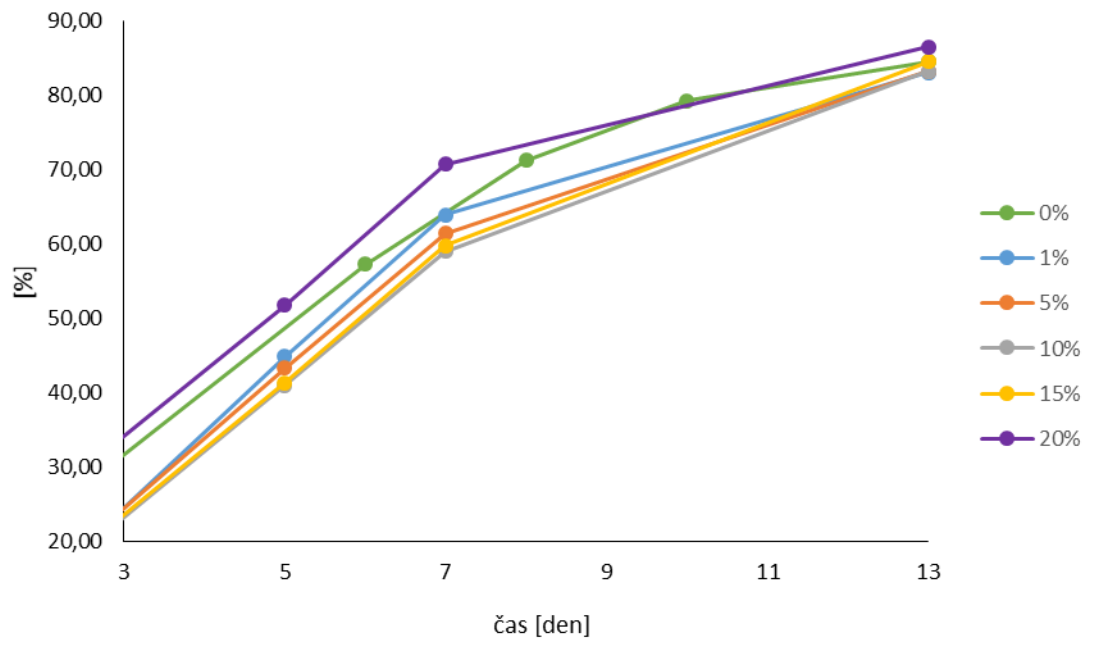
Obr. 42: Vážkové testy pro lehkou půdu s frakcí 1-2 mm



Obr. 43: Vážkové testy pro lehkou půdu s frakcí 0,63-1 mm



Obr. 44: Vážkové testy pro lehkou půdu s frakcí 0,2-0,63 mm



Obr. 45: Vážkové testy pro lehkou půdu s frakcí <0,2 mm

Příloha 5



Obr. 46: Růst salátů 9. den



Obr. 47: Růst salátů 20. den



Obr. 48: Růst salátů v těžké půdě 30. den



Obr. 49: Růst salátů v lehké půdě 30. den



Obr. 50: Růst salátů 34. den



Obr. 51: Růst salátů 40. den



Obr. 52: Růst salátů 42. den



Obr. 53: Růst salátů 49. den



Obr. 54: Růst salátů 54. den