



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

VÝVOJ EKOLOGICKÝCH TEPELNĚ IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ NA BÁZI PŘÍRODNÍCH SUROVIN

DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL THERMAL INSULATION MATERIALS BASED ON
NATURAL RAW MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Simona Halásová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

BRNO 2023



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Simona Halášová
Název	Vývoj ekologických tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních surovin
Vedoucí práce	doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Datum zadání	20. 11. 2022
Datum odevzdání	26. 5. 2023

V Brně dne 26. 5. 2023

doc. Ing. Jiří Bydžovský, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

- [1] CHYBÍK, J. Přírodní stavební materiály. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2009
- [2] Slípková, A., Vývoj tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních vláken, Diplomová práce, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2012
- [3] Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., Paiva, A., Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution, Construction and Building Materials, Volume 38, January 2013, Pages 155-160, ISSN 0950-061
- [4] Hadded, A., Benltoufa, S., Fayala, F., Jemni, A., Thermo physical characterisation of recycled textile materials used for building insulating, Journal of Building Engineering, Volume 5, March 2016, Pages 34-40, ISSN 2352-7102
- [5] Vaverka, J.; Chybík, J., Mrlík, F. Stavební fyzika 2, stavební tepelná technika. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. 420 s. ISBN 80-214-1649-1.
- [6] ŠTASTNÍK, S., ZACH, J. Zkoušení izolačních materiálů. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 95 s. ISBN 80-214-2253-X
- [7] ČSN EN 14064-1 Tepelně izolační výrobky pro stavby - Výrobky z foukané minerální vlny vyráběné insitu - Část 1: Specifikace výrobků před zabudováním
- [8] ČSN EN 14064-2 Tepelně izolační výrobky pro stavby - Výrobky z foukané minerální vlny vyráběné insitu - Část 2: Požadavky na zabudované výrobky

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce bude členěna na teoretickou část a praktickou část. V rámci teoretické části práce bude provedena literární rešerše s cílem zmapovat možné zdroje obnovitelných a druhotných surovin na přírodní bázi a způsobů jejich využití, především v oblasti tepelně izolačních materiálů využívaných ve stavebnictví.

Dále bude provedeno zmapování jednotlivých výrobních procesů výroby tepelných izolantů z přírodních surovin a posouzení možného uplatnění různých typů izolantů vyráběných pomocí různých technologií ve stavebnictví. Toto posouzení bude provedeno, jak z pohledu funkčních vlastností, tak i životního cyklu.

V praktické části práce bude provedeno laboratorní ověření funkčních vlastností na vybraném izolantu, který bude v části teoretické vyhodnocený jako nejlepší, jak z pohledu funkčních vlastností, tak i životního cyklu. V závěru práce pak bude provedeno srovnání zjištěných vlastností vybraného izolantu s konvenčními izolanty dostupnými na stavebním trhu.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je vývoj ekologických tepelněizolačních materiálů ze zdrojů snadno obnovitelných a druhotných přírodních surovin. Práce se zabývá samotnými zdroji surovin, technologiemi výroby, využitím materiálů z těchto surovin v oblasti tepelněizolačních materiálů a jich posouzením z hlediska funkčních vlastností a životního cyklu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelná izolace, celulóza, surovinový zdroj, sláma, funkční vlastnost, životní cyklus.

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is the development of ecological thermal insulation materials from easily renewable and secondary natural raw materials. The thesis deals with the raw material sources themselves, production technologies, the use of materials from these raw materials in the field of thermal insulation materials and their assessment in terms of functional properties and life cycle.

KEYWORDS

Thermal insulation, cellulose, raw material source, straw, functional property, life cycle.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HALÁSOVÁ, Simona. Vývoj ekologických tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních surovin. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí doc. Ing. Jiří Zach, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vývoj ekologických tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních surovin* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2023

Simona Halášová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Vývoj ekologických tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních surovin* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2023

Simona Halášová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala za odborné vedení, pomoc a cenné rady při zpracování této bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Zachovi, Ph.D. a panu Ing. Janu Bubeníkovi za pomoc při zpracování praktické části.

OBSAH

I. ÚVOD.....	10
II. TEORETICKÁ ČÁST	11
1. Šíření tepla	11
2. Tepelněizolační materiály	14
2.1 Dělení tepelněizolačních materiálů.....	14
2.2 Základní vlastnosti tepelněizolačních materiálů.....	16
3. Technologie výroby tepelněizolačních materiálů z přírodních vláken	20
3.1 Vláknité tepelněizolační materiály	20
3.1.1 Příprava suroviny	21
3.1.2 Výroba vláknité vrstvy.....	21
3.1.3 Pojení vláknité vrstvy	23
3.2 Dřevovláknité tepelněizolační materiály	28
3.2.1 Příprava vstupní suroviny	28
3.2.2 Výroba izolačních desek.....	28
3.3 Foukané a sypané izolační materiály	29
3.3.1 Příprava materiálu.....	29
3.3.2 Aplikace foukaných tepelných izolací.....	29
4. Zdroje surovin pro výrobu tepelných izolantů na bázi celulózy	30
4.1 Základní složky rostlin.....	30
4.2 Zdroje celulózy	31
4.3 Zemědělství jako potenciální zdroj celulózy	32
4.4 Produkce slámy	34
4.5 Tepelněizolační materiály z přírodních surovin na bázi celulózy.....	34
5. Porovnání běžně používaných tepelněizolačních materiálů	35
5.1 Hodnocení životního cyklu	36
5.2 Srovnání vlastností vybraných druhů tepelněizolačních materiálů.....	37

III. PRAKTICKÁ ČÁST	40
1. Cíle práce	40
2. Metodika práce.....	40
3. Výběr vstupních surovin a příprava zkušebních vzorků	41
4. Zkušební metody.....	42
4.1 Stanovení sypné hmotnosti	42
4.2 Stanovení zrnitosti síťovým rozbořem	43
4.3 Stanovení součinitele tepelné vodivosti	43
5. Vyhodnocení zkoušek.....	44
5.1 Vyhodnocení výsledků stanovení sypné hmotnosti	46
5.2 Výsledky síťových rozborů	47
5.3 Výsledky stanovení součinitele tepelné vodivosti	52
6. Diskuse výsledků	54
IV.Závěr	56
Seznam použité literatury	57
Seznam grafů	59
Seznam obrázků.....	60
Seznam tabulek.....	60
PRÍLOHY	61
Příloha 1: Hodnoty získané stanovením sypných hmotností	61
Příloha 2: Hodnoty získané síťovým rozbořem.....	61

I. ÚVOD

Vzhledem k neustále se měnícím klimatickým podmínkám se tepelněizolační materiály v posledních desetiletích staly neoddelitelnou součástí stavebních konstrukcí. Jejich účelem je především zabezpečení požadovaných teplot vnitřního prostředí budov, minimalizace tepelných ztrát v zimních obdobích, ale také zabránění přehřívání konstrukcí v obdobích letních a přispívání tak k celkovému zvýšení komfortu užívání staveb.

Produkce stavebních materiálů se spolu s ostatními sektory průmyslové výroby výrazně podílí na celosvětové produkci skleníkových plynů. Z tohoto důvodu je v posledních letech v oblasti výroby stavebních materiálů kladen důraz na jejich snižování [1].

Mimo snižování emisí skleníkových plynů je také v oblasti stavebnictví v posledních letech klíčovou otázkou využívání obnovitelných a druhotných surovin a nakládání s odpady vzniklými jak v samotném sektoru stavebnictví, tak i v ostatních oblastech lidské činnosti [1].

Bakalářská práce se v teoretické části věnuje průzkumu možných zdrojů obnovitelných a druhotných surovin na bázi celulózy vznikajících zejména v zemědělství, potravinářském a dřevozpracujícím průmyslu a vyhodnocení jejich použitelnosti v oblasti výroby tepelněizolačních materiálů určených především pro stavebnictví. Dále se práce zabývá některými technologickými procesy, kterými lze tyto suroviny zpracovávat, uplatněním materiálů vytvořených těmito procesy a jejich vlivem na životní prostředí v průběhu životního cyklu.

Praktická část práce je věnována úpravě vybraných surovin z oblasti zemědělství a výrobě tepelněizolačních materiálů zvolenou technologií. Dále se práce věnuje makroskopickým rozborům vyrobených izolantů a stanovení jejich klíčových fyzikálních vlastností. V poslední fázi se pak věnuje srovnání stanovených vlastností vyrobených izolantů s vlastnostmi tepelněizolačních materiálů běžně dostupných na stavebním trhu.

II. TEORETICKÁ ČÁST

1. Šíření tepla

V oblasti posuzování tepelně technických vlastností, zejména tepelných ztrát a zisků stavebních konstrukcí obecně rozeznáváme tři způsoby šíření tepla, a to vedení, proudění a sálání [2].

Vedení tepla lze definovat jako přenos energie z jedné látky na látku v bezprostředním kontaktu s ní, přičemž nesmí dojít k výměně částic mezi těmito látkami, nebo jako přenos energie mezi dvěma částmi jedné látky. Samotné vedení tepla je závislé na skupenském stavu látky, ve které je vykonáváno [2].

Pokud se jedná o vedení v látkách pevných, je přesun tepelné energie způsobován skupinovým kmitáním částic, přičemž částice jedné látky nebo její části vykonávají, oscilační pohyb kolem svých rovnovážných poloh a navozují tento pohyb i u částic sousedních. Při tomto způsobu šíření tepla vykonávají částice s vyšší teplotou intenzivnější pohyb a přebytek energie odevzdávají látkám s nižší teplotou, které vykonávají pohyb méně intenzivní. O této skutečnosti hovoří druhý zákon termodynamiky, který říká, že přirozený tepelný tok směřuje vždy z teplejší oblasti do oblasti chladnější [2].

V případě vedení tepla v kapalných látkách je tento proces způsobován neuspořádaným skupinovým pohybem částic. Tyto částice podobně jako u látek pevných vykonávají oscilační pohyb kolem svých rovnovážných poloh, přičemž po určitém počtu cyklů dochází ke změně polohy a provedení další kolektivní oscilace. V důsledku tohoto děje dochází k přenosu kinetické energie a vedení tepla [2].

Hovoříme-li o látkách plynných, kterých částice na sobě nejsou závislé, dochází k přenosu kinetické energie, tudíž k vedení tepla, vzájemnými srážkami mezi částicemi plynu [2].

Pro vedení tepla platí Fourierovy zákony vyjádřeny následujícími rovnicemi:

- **První Fourierův zákon:**

$$q = -\lambda \frac{d\theta}{dx} \quad (1.1)$$

kde: q představuje hustotu tepelného toku kolmo na směr proudění [W/m^2],

λ součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$],

θ teplotu [$^{\circ}\text{C}$],

x směr proudění tepelného toku [m] [3].

Tento výraz udává vztah mezi hustotou tepelného toku q a teplotním gradientem $\frac{d\theta}{dx}$, přičemž platí, že se zvyšující se hodnotou teplotního gradientu stoupá hodnota tepelného toku [3].

- **Druhý Fourierův zákon:**

$$\frac{d\theta}{d\tau} = a \cdot \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (1.2)$$

kde: θ představuje teplotu [$^{\circ}\text{C}$],

τ čas [s],

a součinitel teplotní vodivosti [m^2/s],

x směr proudění tepelného toku [m] [3].

Proudění tepla, někdy také nazýváno jako konvekce, je děj uskutečňovaný ve fluidních kapalinách nebo plynech, míšením dvou částí látky s odlišnou teplotou, při kterém dochází k přenosu tepla. V závislosti na charakteru pohybu látky rozeznáváme konvekci přirozenou, kdy dochází k pohybu fluida v důsledku rozdílných hustot způsobených odlišnou teplotou nebo konvekci nucenou, kdy je pohyb fluida zabezpečován mechanicky [2].

V oblasti šíření tepla rozeznáváme dva druhy proudění:

- **Laminární proudění**, při kterém se vzduch pohybuje rovnoběžně se směrem proudu [3].
- **Turbulentní proudění**, při kterém dochází k chaotickému, neuspořádanému pohybu látky [3].

Pokud dochází k výměně tepla mezi kapalným, případně plynným prostředím a povrchem tělesa nazýváme tento jev přestupem tepla. V takovémto případě dochází k tvorbě vrstvy vnějšího proudění a vrstvy mezní. V mezní vrstvě může docházet k laminárnímu i turbulentnímu pohybu vzduchu, případně kapaliny. V důsledku viskozity proudící látky platí, že rychlost proudu mezní vrstvy spojitě roste od nulové hodnoty na povrchu tělesa až na rychlost proudění vnější vrstvy [3].

Přestup tepla při proudění je definován Newtonovým zákonem a lze ho vyjádřit vztahem:

$$q_k = h_k(\theta_s - \theta_a) \quad (1.3)$$

kde: q_k představuje hustotu tepelného toku proudícího mezi vzduchem, případně kapalinou a povrchem konstrukce [W/m^2],

h_k součinitel přestupu tepla při proudění [W/(m²·K)],

θ_s teplotu povrchu konstrukce [°C],

θ_a teplotu vzduchu, případně kapaliny [°C] [3].

Sálání je typ šíření tepla uskutečňovaný zejména pevnými povrchy. Každá hmota s vyšší teplotou než absolutní nula, emituje spojitě elektromagnetické záření o vlnové délce závislé na teplotě, které pro svůj přenos nevyžaduje médium, tudíž je uskutečňováno i ve vakuu. Množství vyzářené energie se zvyšuje se zvyšující se teplotou látky, přičemž sálavá schopnost různých těles je při shodné teplotě rozdílná [2,3].

V oblasti sálání se zavádí pojem dokonale černého tělesa, které má při dané teplotě maximální sálavou energii. Sálavá energie skutečných těles při shodné teplotě pak nepřekračuje hodnotu dokonale černého tělesa [3].

Pokud dochází u tělesa k emisi sálavé energie, může dojít k částečnému pohlcení této energie okolním prostředím, k jejímu rozptýlení, nebo dopadu na jiná tělesa. Dopadající sálavou energii pak lze vyjádřit vztahem:

$$Q_0 = Q_A + Q_R + Q_T \quad (1.4)$$

kde: Q_0 představuje celkovou energii dopadající na těleso,

Q_A tepelnou energii pohlcovanou tělesem,

Q_R tepelnou energii odraženou tělesem,

Q_T tepelnou energii procházející tělesem [3].

Pro sálání tepla dále platí:

- **Stefan-Boltzmanův zákon**, který říká, že hustota sálavého toku je přímo úměrná čtvrté mocnině absolutní teploty. Tento vztah lze vyjádřit:

$$q_\xi = C_\xi \left(\frac{T}{100} \right)^4 \quad (1.5)$$

kde: q_ξ představuje hustotu sálavého tepelného toku [W/m²],

C_ξ součinitel sálání dokonale černého tělesa s hodnotou $C_\xi = 5,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$,

T absolutní teplotu [K], vyjádřenou vztahem:

$$T = 273,15 + \theta \quad (1.6)$$

kde: θ představuje teplotu tělesa [°C] [3].

- **Kirchhoffův zákon tepelného záření**, který platí pro reálná (šedá) tělesa a lze ho vyjádřit vztahem:

$$\frac{C}{C_{\check{c}}} = \frac{C \left(\frac{T}{100}\right)^4}{C_{\check{c}} \left(\frac{T}{100}\right)^4} = A < 1 \quad (1.7)$$

kde: C představuje součinitel sálání skutečného tělesa [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$],

$C_{\check{c}}$ součinitel sálání dokonale černého tělesa [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$],

A pohltivost záření [3].

- **Planckův vyzařovací zákon**, který říká, že „emise a absorpce zářivé energie se může dít jen po celistvých násobcích kvanta“ vyjádřeného vztahem:

$$E = h \cdot f \quad (1.8)$$

kde: E představuje energii zářivého toku [J],

h Planckovu konstantu s hodnotou $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (1.9)

f frekvence záření [s^{-1}] [4].

2. Tepelněizolační materiály

Z hlediska normy ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie je za tepelněizolační materiál považována hmota, která výraznou mírou omezuje šíření tepla konstrukcí a její charakteristický hodnota součinitele tepelné vodivosti nabývá hodnot max. 0,1 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ při normových podmínkách [5].

Norma ČSN EN ISO 9229 - Tepelné izolace – Terminologie definuje také tepelněizolační výrobek, a to jako materiál, který je zabudován do konstrukce nebo na konstrukci a je určen k omezení šíření tepla touto konstrukcí [6].

2.1 Dělení tepelněizolačních materiálů

Tepelněizolační materiály jako takové lze dělit mnoha různými způsoby. Nejčastěji se však dělí dle uplatnění ve stavebních konstrukcích, podle materiálu, ze kterého se samotný výrobek zhotovuje a dle formy, ve které jsou izolanty dodávány zákazníkovi.

Z hlediska způsobu použití a zabudování ve stavebních konstrukcích lze tepelněizolační materiály rozdělit na skupiny:

- **Vnější izolace obvodových plášťů**, přičemž tento typ izolačních materiálů je využíván pro kompletní izolaci obvodového pláště nebo pro izolování exponovaných míst, kde hrozí vysoké riziko vzniku tepelných mostů.

- **Vnitřní izolace obvodových pláštů.** V tomto případě se jedná o tepelněizolační materiály, které jsou aplikovány na vnitřní stranu stavební konstrukce. Tento typ realizace se využívá zejména při provádění rekonstrukčních prací nebo v případech, kde není možno aplikovat tepelné izolace z vnější strany stavební konstrukce. Jelikož při tomto typu realizace dochází k posunu kondenzační zóny v konstrukci směrem do vnitřního prostředí budovy, je nutno zvýšit pozornost u bilance vodních par a zabezpečit, aby v zimních obdobích nedocházelo ke kondenzaci vodních par v místě kontaktu tepelněizolačního materiálu a stavební konstrukce.
- **Izolace střešních pláštů.** Tento typ tepelných izolantů je používán jak u střech šikmých, kde je aplikován nejčastěji mezi krokve, tak u střech plochých jednoplášťových a dvouplášťových, kde je součástí souvislé vrstvy střešní konstrukce.
- **Izolace vnitřních svislých a vodorovných konstrukcí,** přičemž se jedná o tepelné izolace podlahových, stropních a interiérových dělicích konstrukcí, které oddělují prostory s odlišnými teplotami vytápění. Tyto typy izolací ve většině případů slouží nejen jako tepelněizolační, ale plní také akusticky izolační funkci.
- **Izolace pro speciální aplikace,** kdy se jedná zejména o materiály používané pro izolace technických zařízení budov jako jsou kotly, bojler, rozvody vody, chladicí a klimatizační jednotky a další [5].

Dále lze tepelněizolační materiály dělit z materiálového hlediska, a to na následující skupiny:

- **Pěnoplastické materiály,** ze kterých nejvyužívanější jsou expandované (pěnové) polystyreny, u kterých je největší výhodou nízká hmotnost, dobré mechanické vlastnosti, snadná opracovatelnost a poměrně nízká cena a extrudované polystyreny, které mají kromě výhod shodných s EPS také lepší mechanické vlastnosti a nízkou nasákavost. Kromě těchto materiálů sem patří také polyuretany, pěnové polyethyleny, pěnové pryskyřice a pěnové PVC.
- **Vláknité materiály.** Do této kategorie spadají materiály vyráběné ze skleněných, minerálních a syntetických vláken, které disponují výhodami jako je zejména odolnost vůči vysokým teplotám a tvarovatelnost, jsou však náročné na zabudování do konstrukce a nasákavé, přičemž se zvyšující se vlhkostí ztrácí svoje izolační vlastnosti. Do kategorie vláknitých materiálů lze také zařadit izolace na bázi ovčí vlny.

- **Pěněné silikáty**, zejména pak pěnové sklo, které se vyznačuje nehořlavostí, dlouhodobou stálostí vlastností, odolností vůči chemickému a mechanickému působení a vysokou pevností v tlaku.
- **Minerální materiály**, mezi které lze zařadit expandovaný perlit, expandovaný vermikulit, struskovou pemzu a keramzit.
- **Materiály na bázi dřeva a přírodních vláken**. Do této kategorie se řadí izolační materiály z pilin, mineralizovaných hobliny, slámy, rákosu a korku, korkové, dřevovláknité a dřevotřískové desky. Výhodou těchto materiálů je široká škála využití a vysoká prodyšnost, nevýhodou je však vyšší objemová hmotnost a cena.
- **Materiály na bázi celulózových vláken**, zejména pak drcený mineralizovaný papír, který je využíván především pro technologii foukané izolace a desky z asfaltového papíru.
- **Materiály nové generace**, kam lze zařadit například vakuové izolace [5,8,9].

V neposlední řadě lze tepelněizolační materiály rozdělit dle formy, ve které je výrobek dodáván zákazníkovi pro následnou aplikaci na:

- **Izolační desky**, kdy hovoříme o tuhých a polotuhých pravoúhlých tepelněizolačních materiálech s pravoúhlým průřezem a rovnoměrnou tloušťkou, přičemž tloušťka má výrazně nižší hodnotu než ostatní rozměry izolantu.
- **Izolační rohože**, přičemž se jedná o vláknité pružné tepelněizolační materiály, které mohou být opatřeny povrchovou úpravou a jsou dodávány v rovinné podobě nebo jako svinuté v rolích.
- **Volně ložené materiály**, které jsou dodávány ve formě granulátů, hrudek, perel, volných vláken nebo prášků a jsou určeny pro zabudování do konstrukce ručním nebo pneumatickým ukládáním [6,10].

2.2 Základní vlastnosti tepelněizolačních materiálů

Tepelné izolace patří ke skupině stavebních materiálů, u kterých není možné stanovit některé vlastnosti běžnými konvenčními metodami používanými pro klasické stavební materiály jakými jsou např. beton, keramika apod. neboť se tyto materiály obecně vyznačují nízkou objemovou hmotností a nižšími mechanickými vlastnostmi. Klasické metody by mohli vést k porušení zkoumaného materiálu, k ovlivnění výsledných hodnot, nebo by z hlediska povahy izolačního materiálů nemuseli být pro daný typ izolantu zcela použitelné (např. stanovení objemu pomocí hydrostatického vážení apod.). Z tohoto

důvodu se všechny vlastnosti stanovují přesně danými postupy a za definovaných podmínek v závislosti na konkrétním zkoušeném materiálu, přičemž se vychází vždy z konkrétní zkušební normy, a dále z výrobních norem pro jednotlivé izolanty, které často zkušební postupy dále upřesňují [11].

Obecně se u tepelněizolačních materiálů sledují následující vlastnosti:

- **Součinitel tepelné vodivosti (λ)**, vyjadřující schopnost látky vést teplo, který se stanovuje (u tepelně izolačních materiálů) dle normy ČSN EN 12667. Jednotka pro součinitel tepelné vodivosti je $W/(m \cdot K)$. Ve většině případů se stanovuje tzv. charakteristická hodnota součinitele tepelné vodivosti λ_D , která se stanovuje za definovaných podmínek výrobní normy a zahrnuje v sobě vždy i variabilitu daného výrobku při výrobě [11].
- **Tloušťka (d)** tepelněizolačních materiálů, která se stanovuje pro izolanty určené do tlakem nezatižených konstrukcí dle normy ČSN EN 823, která umožňuje provádění stanovení třemi způsoby, a to metodou s číselníkovým úchylkoměrem, metodou jehly a desky a metodou posuvného měřidla s noniem, přičemž se nejčastěji využívá dotlaku 50 Pa. Tloušťka izolantů určených do plovoucích podlah se stanovuje dle normy ČSN EN 12431 [11-13]. V případě volně sypaných izolací na bázi celulózy norma ČSN EN 15101-1+A1 zavádí pojem deklarovaná tloušťka izolace, která závisí na způsobu použití izolačního materiálu. V případě foukání izolací do otevřeného prostoru se jedná o tloušťku materiálu po odečtení hodnoty sedání materiálu. Pro foukané izolace zabudované v konstrukcích platí, že tloušťka materiálu je shodná s tloušťkou dutiny. Tloušťka tepelných izolantů se udává v milimetrech [14].
- **Objemová hmotnost (ρ_e)**, určena dle normy ČSN EN 1602 na samotných výrobcích nebo na zkušebních tělesech odebraných z výrobků výpočtem z hodnot stanovených vážením a měřením těchto vzorků. V případě výrobků se provádí stanovení lineárních rozměrů dle normy ČSN EN 822. V případě zkušebních těles připravených vyříznutím z tepelněizolačního materiálu se postupuje při stanovení rozměrů dle normy ČSN EN 12085. Stanovení tloušťky se provádí způsoby shodnými se způsoby opsanými v odstavci výše. Objemová hmotnost se udává v kg/m^3 [11].
- **Nasákavost (W_p)**, kterou lze stanovit ve dvou variantách, a to stanovením krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření dle ČSN EN ISO 29767, která

umožňuje provádění stanovení metodou A – odkapání a metodou B – odečtení počátečního navlhčení, nebo stanovením dlouhodobé nasákavosti dle ČSN EN ISO 16535, která umožňuje provádění metody 1 – při částečném ponoření a metody 2 – při úplném ponoření. Nasákavost je udávána v kg/m^2 [11,15,16].

- **Pevnost v tahu kolmo k rovině desky (σ_m)**, jako vlastnost důležitá z hlediska mechanické stability soudržnosti zateplovacích systémů, především v případech, kdy dochází ke zvýšení zatížení izolantů vlastní tíhou. Pevnost v tahu kolmo k rovině desky se stanovuje dle normy ČSN EN 1607 a udává se v kPa [11].
- **Pevnost v tlaku (σ_{mt}) nebo napětí při 10 % deformaci (σ_{10})**, které se stanovují dle normy ČSN EN 826 pro mez únosnosti izolantu při zatížení tlakem nebo pro napětí při dosažení smluvní deformace 10 % při počátečním tlaku (250 ± 10) Pa, případně pokud již při tomto zatížení dochází k výrazným deformacím, jako počáteční tlak se použije tlak 50 Pa. O pevnosti v tlaku hovoříme v případě, kdy hodnota maximální síly zodpovídá deformaci menší než 10 %, o napětí při 10 % deformaci hovoříme, pokud před dosažením 10 % deformace nedochází k poškození vzorku. Jak pevnost v tlaku, tak i napětí při 10 % deformaci se udává v kPa [11,17].
- **Pevnost ve smyku (τ) a modul pružnosti ve smyku (G)**, stanovované dle ČSN EN 12090, přičemž se jedná o vlastnosti důležité zejména v oblasti izolačních materiálů využívaných jako součást zateplovacích systémů. V obou případech se hodnoty udávají v kPa [11,18].
- **Délka a šířka**, které určují odchylku od výrobcem deklarovaných vlastností a stanovení se provádí dle ČSN EN 822.
- **Odchylka od rovinnosti (S_{max})**, jako výsledek měření prováděného na tepelněizolačních výrobcích dle normy ČSN EN 825, kdy se odchylka určuje jako maximální změřená vzdálenost mezi podkladní deskou a hranou spodní strany izolantu. Stanovení odchylky se provádí ve směru délky i ve směru šířky výrobku a udává se v milimetrech [19].
- **Odchylka od pravouhlosti hran výrobků (S_a)**, která se stanovuje dle normy ČSN EN 824 ve směru délky i ve směru šířky výrobku, měřením vzdálenosti hran izolantu od přiloženého kovového úhelníku a udává se v milimetrech [20].
- **Faktor difuzního odporu (μ)**, kdy se jedná o bezrozměrnou veličinu, která se stanovuje výpočtem dle normy ČSN EN 12086 jako podíl součinitele difuze

vodní páry ve vzduchu (δ_{air}) a součinitele difuzní vodivosti vodní páry (δ) daného zkušebnímu materiálu stanoveného dle normy ČSN EN 12086 [21].

- **Dotvarování tlakem**, kdy se stanovuje pro jednotlivé tepelněizolační materiály poměrná deformace (ϵ_t) dle normy ČSN EN 1606 jako podíl deformace v čase (X_t) a tloušťky zkušebnímu tělesa (d_s). Tato vlastnost charakterizuje izolační materiály na základě schopnosti odolávat dlouhodobému zatížení [11,22].
- **Rozměrová stabilita za určených teplotních a vlhkostních podmínek**, která se stanovuje dle normy ČSN EN 1604 jako změna lineárních rozměrů ($\Delta\epsilon$) souborů kondiciovaných vzorků při vystavení normou předepsaným teplotním a vlhkostním podmínkám po dobu (24 ± 1) h. Výsledkem zkoušky jsou střední hodnoty změny lineárních rozměrů ($\Delta\epsilon_l$, $\Delta\epsilon_b$ a $\Delta\epsilon_d$) udávané v procentech [23].
- **Stejněměrný odpor vůči proudění vzduchu (R_s)**, který se stanovuje dle normy ČSN EN ISO 9053-1 metodou statického proudění vzduchu, nebo dle ČSN EN ISO 9053-2 metodou alternativního proudění vzduchu. Jako jednotka stejnoměrného odporu vůči proudění vzduchu se využívá Pa·s [24,25].
- **Činitel zvukové pohltivosti (α_s)**, stanovený dle normy ČSN EN ISO 354 v dozvukové komoře [26].
- **Dynamická tuhost (s')**, stanovena dle normy ČSN ISO 9052-1, jako podíl dynamické síly působící kolmo na zkušební vzorek (F) a součinu plochy zkušebnímu vzorku (S) a výsledné dynamické změny tloušťky vzorku (Δd). Tato vlastnost je důležitá zejména při řešení kročejové neprůzvučnosti podlahových konstrukcí a vyjadřuje schopnost materiálů utlumovat mechanické kmity. Dynamická tuhost se udává v MPa/m [11,27].
- **Reakce na oheň**, která se stanovuje dle ČSN EN 13501-1 na základě výsledků zkoušek mezi které patří zkouška nehořlavosti prováděná dle EN ISO 1182, stanovení spalného tepla dle EN ISO 1716, zkouška jednotlivým hořícím předmětem dle EN 13823 a zkouška zápalnosti dle EN ISO 11925-2. Dle výsledků zkoušek se tepelněizolační materiály dělí do tříd A1 a A2, kam spadají materiály nejodolnější až F, kam spadají materiály s nejnižší odolností vůči působení ohně. Zkušební metody a požadavky na jednotlivé třídy jsou uvedeny v normě ČSN EN 13501-1 [28].

V případě tepelněizolačních materiálů z volně sypané celulózy se pak sledují i další specifické vlastnosti, a to:

- **Sedání (s)**, které se stanovuje dle Přílohy B normy ČSN EN 15101-1+A1 ve dvou variantách. Pro materiály volně foukané do prostoru se stanovuje sedání při cyklickém působení vlhkosti, kdy se vzorky zabudované do zkušební krabice umísťují do klimatizační komory a provádí se čtyři zkušební cykly, každý o délce jednoho měsíce za přesně stanovených podmínek. Po proběhnutí každého cyklu se u vzorků měří pokles výšky. V případě materiálů foukaných do stěn se stanovuje mechanické sedání. Provádí se zkouška, při které se měří pokles výšky materiálu zabudovaného ve zkušební krabici, na kterou působí vibrace po dobu nejméně půl hodiny. Sedání se vyjadřuje v procentech [14].
- **Odolnost proti plísním**, která se určuje dle Přílohy F normy ČSN EN 15101-1+A1 srovnávací metodou. Vzorky zkoušeného materiálu a srovnávací vzorky z bukového nebo borovicového bělového dřeva se očkují suspenzí spor přesně definovaných kmenů plísní a poté se inkubují po dobu 28 dnů. Po ukončení inkubace se provede kontrola vzorků a zařazení materiálu do kategorií BA0, kdy na vzorcích není viditelná žádná plíseň při padesátinásobném zvětšení mikroskopem až BA3, kdy je plíseň viditelná volným okem [14].
- **Hoření postupujícím žhnutím** dle normy ČSN EN 16733. Pro materiály, u kterých je prokázána náchylnost k souvislému doutnání se pak zavádí povinné značení S, pro materiály, které náchylné na souvislé doutnání nejsou značení NoS [14].

3. Technologie výroby tepelněizolačních materiálů z přírodních vláken

Technologie výroby tepelněizolačních materiálů z přírodních vláken jsou závislé na druhu výrobku a jeho použití ve stavebních konstrukcích. Vybrané technologie výroby tepelněizolačních materiálů budou popsány v následujících kapitolách.

3.1 Vlákenné tepelněizolační materiály

Výroba tepelněizolačních materiálů z přírodních vláken je založena na technologii netkaných textilií, sestávající z přípravy suroviny, vytváření a pojení vlákenné vrstvy [29].

3.1.1 Příprava suroviny

Příprava suroviny pro výrobu textilií spočívá v uvolnění technických vláken ze zdřevnatělých stonků, které může být prováděno následujícími způsoby:

- **Biologicky**, nejčastěji způsobem rosení, kdy dochází k oddělování vláken od lýkové kůry za pomoci plísní. Druhým způsobem biologické úpravy je studenovodní nebo teplovodní máčení za působení bakterií.
- **Fyzikálně** metodou propařování v autoklávech.
- **Chemicky** máčením v lázních Na_2SO_3 a kyseliny octové.
- **Mechanicky** zpracováním nerosené nebo mírně rosené suroviny vlnářským způsobem [30].

Po uvolnění se vlákna od zdřevnatělých stonků separují v tírnách, kde jsou jednotlivé stonky materiálu zarovnávané a paralyzovány do rovnoběžné polohy, vyčesávány od krátkých částí, urovnávány do základního koberce, lámány na lámacích zařízeních a potěrány v tzv. potěracích turbínách, kde dochází k oddělení vláken od pazdeří. Odpad vznikající při této technologii ve formě výčesků z procesu vyčesávání a hačků z potěrání je zpracováván do formy krátkých vláken, tzv. koudele. Nezpracovaný odpad a pazdeří je pak využíván například k získávání celulózy nebo jako palivo v tírnách a popel následně jako hnojivo v zemědělství [30,31].

Surovinu lze předem upravovat také přímo na poli, kdy jsou stonky při sklizni lámány a mačkány a následně jsou z nich vytrásány nečistoty a pazdeří. Touto metodou vzniká směs krátkých a dlouhých vláken nazývaná „jednotné vlákno“ [32].

3.1.2 Výroba vláknité vrstvy

Technologie výroby vláknité vrstvy může probíhat dvěma způsoby, a to mokrým nebo suchým způsobem. Od zvoleného způsobu výroby se odvíjejí vlastnosti vlákenné vrstvy jako je objemnost, rovnoměrnost a orientace vláken, které mají vliv na výsledné vlastnosti tepelněizolačních materiálů [29].

3.1.2.1 Výroba vlákenné vrstvy suchým způsobem

3.1.2.1.1 Mechanická výroba vlákenné vrstvy

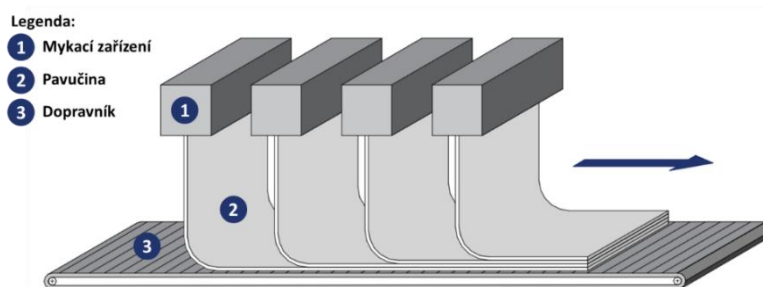
Základním úkonem při technologii mechanické výroby vlákenné vrstvy je příprava vlákenné pavučiny a její následné vrstvení [29].

Vlákenná pavučina je připravována na tzv. mykacích strojích, tvořených soustavou válců, kterých úkolem je postupně osamostatňovat vlákna a uspořádávat je ve směru

vystupující pavučiny. Válcové jsou opatřeny drátkovými nebo pilkovými pracovními povlaky, kterých vzájemné postavení závisí na účelu válce [29].

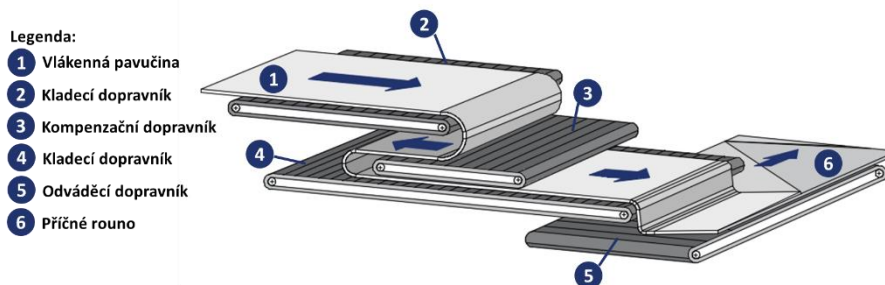
Po vytvoření se pavučina může odvádět do zpevňovacího zařízení, kdy vzniká lehká netkaná textilie, nebo se může přivádět do vrstvicího zařízení, kde dochází k ukládání jednotlivých vrstev vlákně pavučiny na sebe. Vrstvení může být prováděno v podélném, příčném nebo kolmém směru [29].

V případě vrstvení podélným směrem je pavučina z mykacího přístroje odváděna a vrstvena přímo na dopravník pohybující se ve směru odtahu pavučiny viz Obrázek 1 [29].



Obrázek 1: Vrstvení vlákně pavučiny v podélném směru [29]

Příčné vrstvení vlákně pavučiny je zabezpečováno kladečem, který se skládá z dopravníku, který přivádí pavučinu a výkyvných ukládacích a kompenzačních pasů viz Obrázek 2 [29].



Obrázek 2: Vrstvení vlákně pavučiny v příčném směru [29]

Pro výrobu kolmo kladených vlákně vrstev se využívají dva druhy zařízení, a to vibrační kolmý kladeč a rotační kolmý kladeč. Tímto způsobem výroby vzniká vlákně vrstva vykazující vyšší odolnost vůči stlačení [29].

3.1.2.1.2 Aerodynamická výroba vlákně vrstvy

V případě aerodynamického způsobu výroby vlákně vrstvy je pro rozvlákňování suroviny využíván šhubací válec, který se otáčí vysokou rychlostí. Působením odstředivých sil a proudu přiváděného vzduchu jsou vlákna snímána z válce, unášena vzduchem a vrstvena na pohyblivý síťový dopravník. Tímto způsobem je tvořena vlákně

vrstva z neorientovaných vláken, co způsobuje menší rozdíly vlastností textilie v podélném a příčném směru [29].

3.1.2.2 Výroba vlákenné vrstvy mokrým způsobem

Výroba vlákenné vrstvy hydrodynamickým, tedy mokrým způsobem je založena na technologii využívané pro výrobu papíru. Tento výrobní proces sestává z několika kroků. Nejdříve jsou vlákna máčena a mechanicky dispergována ve vodě. Následně je vlákenná směs přepravována na síťový pás, kde dochází k filtraci suspenze a tvorbě samotné vlákenné vrstvy. Vlákenná vrstva je dále ždímána, sušena a zpevňována, případně se provádějí finální úpravy povrchů. Tímto způsobem výroby vzniká vlákenná vrstva s nahodilou orientací vláken, vykazující podobné vlastnosti v příčném i podélném směru [29].

3.1.3 Pojení vláknité vrstvy

Spojování vlákenných vrstev může být prováděno řadou technologií, které lze rozdělit do třech základních kategorií, a to na mechanické pojení, chemické pojení a termické pojení [29].

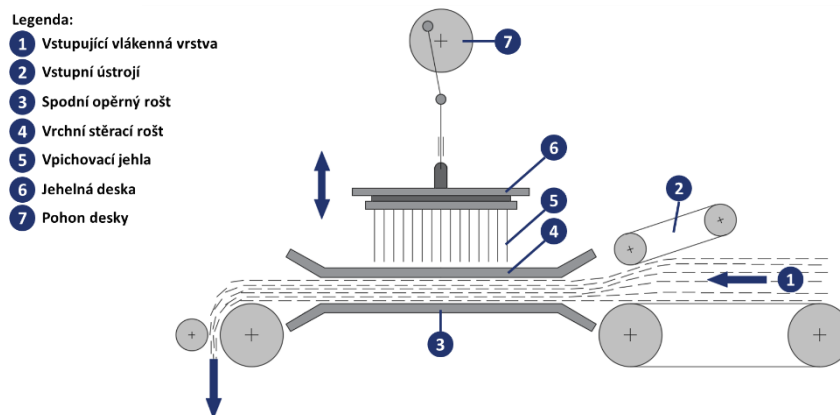
3.1.3.1 Mechanické pojení vlákenných vrstev

3.1.3.1.1 Vpichování

Technologie vpichování je založena na procesu provazování vrstev vlákenné pavučiny přeorientovanými svazky vláken, které vznikají působením jehel s ostny. Konstrukce vpichovacího stroje viz Obrázek 3 je složena ze vstupního ústrojí, kterým jsou vrstvy vlákenné pavučiny přiváděny mezi stěrací a opěrný perforovaný rošt. Přes rošty cyklicky pronikají vpichovací jehly, které na své ostny zachytávají svazky vláken, přesměrovávají je kolmo k vrstvě a následně přes vrstvu protahují [29].

Podstatou soudržnosti takto vytvořených vrstev jsou třecí síly vznikající mezi vlákny, přičemž při procesu vpichování dochází přesměrováním vláken ke zvětšení třecích ploch mezi jednotlivými vlákny a síly, kterou jsou vlákna přitlačována k sobě [29].

Počet, rozmístění a hloubka vpichů jehel v procesu vpichování výrazně ovlivňuje míru zpevnění vlákenné vrstvy. U většiny materiálů pak platí, že se zvyšujícím se zpevněním vlákenné vrstvy roste objemová hmotnost, klesá však propustnost a tloušťka výrobku [33].



Obrázek 3: Uspořádání vpichovacího stroje [29]

3.1.3.1.2 Zpevňování vodním paprskem

Proces zpevňování vlákněných vrstev vodním paprskem, nazývaný také spunlaced, spočívá v provazování vrstev vlákněné pavučiny proudem vody přiváděným tryskami. Tryskání je prováděno na formovacích pásech, které podepírají rouno a mají výrazný vliv na efektivnost přesměrovávání a provazování jednotlivých vrstev vlákněné pavučiny. Jako formovací pásy se síta, kterých otvory musí být uzpůsobeny tak, aby tryskající voda dokázala protékat vrstvou a nebyl jí kladen velký odpor. Zároveň však musí být zabezpečena eliminace propadu vláken menších délek. Převázané vrstvy pavučiny jsou následně zbavovány přebytečné vody ždímáním, sušeny a v závěru upravovány dle požadavků výrobce [29].

Soudržnost vlákněné vrstvy je zabezpečena třecími silami mezi jednotlivými vlákny podobně jako u vpichování, tudíž není potřebné při této technologii využívání pojivových složek [29].

Technologie spunlaced je vhodná pro výrobu řady netkaných textilií, nicméně procesy sušení a úpravy vody činí tuto technologii vysoce nákladnou a energeticky náročnou [29].

3.1.3.1.3 Proplétání

Technologie proplétání je založena na mechanickém spojování vlákněných vrstev, soustavou vazných nití za pomoci kladecích a proplétacích jehel [29].

Proces proplétání je realizován prostřednictvím soustavy jehel na zařízeních nazývaných proplétací stroje. Kladečí jehla proplétacího stroje umísťuje vaznou niť do háčku proplétací jehly s otevřeným jazýčkem. Proplétací jehla háček uzavírá jazýčkem a následně niť protahuje rounem. Tímto způsobem dochází ke zpevňování vlákněné vrstvy [29].

Technologii proplétání je možné realizovat i bez proplétací nitě a kladecích jehel. V tomto případě dochází k proplétání vlákenné vrstvy vlastními svazky vláken. Jehla prostupuje vlákennou vrstvou s otevřeným háčkem a nabírá svazky vláken, kterými pak proplétá vrstvu [29].

3.1.3.2 Chemické pojení vlákenných vrstev

Pro chemické pojení vlákenných vrstev se využívají zejména disperze polymerů a kopolymerů. Druh použitého pojiva pak závisí na požadovaných vlastnostech vyráběného materiálu [29].

Technologie chemického pojení vlákenných vrstev sestává ze dvou fází. Jedná se o nanášení pojiva na vlákennou vrstvu a koagulaci pojiva [29].

3.1.3.2.1 Nanášení pojiva

Nanášení pojiva na vlákenné vrstvy se provádí zejména ve formě disperze nebo se aplikují pojiva na bázi epoxidů a rezinů, která se vytvrzují zvýšením teploty, a to impregnací, stříkáním a nanášením pojiva tiskem nebo raklí [29].

Nanášení pojiva impregnací je prováděno tak, že vláknitá vrstva prochází nádrží obsahující dispergované pojivo, kde dochází k nasycení vrstvy pojivem. Následně materiál prochází dvojicí válců, které zabezpečují vyždímání přebytečného pojiva [29].

V případě stříkání se nanášení pojiva provádí stříkacími pistolemi, nebo zařízením s rotačním kartáčem. Při této technologii dochází k rozstříkování pojiva nad vlákennou vrstvou, přičemž se pojivo zachytává zejména na vláknech v blízkosti povrchu. Jelikož se tímto způsobem pojivo dostává těžko do nižších vrstev materiálu je stříkání často prováděno z obou stran a vrstva je prosávána pod tlakem [29].

V případě nanášení pojiva tiskem nebo raklí je pojivo nanášeno zejména na povrch vlákenné vrstvy [29].

Nanášení pojiva může být prováděno také ve zpeněné formě. Tato technologie spočívá v úpravě pojiva ve zpeňovacím zařízení. Do tohoto zařízení je přiváděn vzduch a disperze pojiva obsahující povrchové aktivní látky, které zjednodušují tvorbu pěny. Následně se pěna nanáší na povrch vlákenných vrstev tiskem nebo raklí. Výhodou této metody je snížení množství pojiva potřebného pro rovnoměrné pokrytí vlákenné vrstvy v důsledku zvýšení objemu pojiva napěněním [29].

3.1.3.2 Vytvrzování pojiva

Vytvrzování pojiva je zabezpečováno zvýšením teploty a případně odpařováním disperzního prostředí, kterým je nejčastěji voda. Tento proces se odehrává v sušárnách nebo vytvrzovacích pecích, kde dochází k zahřívání materiálu a případnému odpařování vody, díky čemuž dochází k ztužování pojiva [29].

3.1.3.3 Termické pojení vlákněných vrstev

Technologie termického pojení vlákněných vrstev spočívá v nanášení a tavení pojiva, formátování pojících míst a následném ochlazování materiálu [29].

K termickému pojení vlákněných vrstev se v oblasti tepelných izolací využívají zejména pojiva na báze polyesteru [29].

Pojiva se dodávají ve formě prášků nebo past, kdy se dávkuje na povrch vlákněné vrstvy, nebo ve formě bikomponentních vláken, které se dávkuje přímo v zhomogenizované směsi se základními vlákny. Druhým způsobem spojování vlákněných vrstev je pojení prostřednictvím polymerních fólií a mřížek, které se umísťují mezi jednotlivé vlákněné vrstvy. Tato technologie však není pro tepelněizolační materiály příliš vhodná, jelikož je pojivo rozmístěno v objemu textilie velmi nerovnoměrně [29].

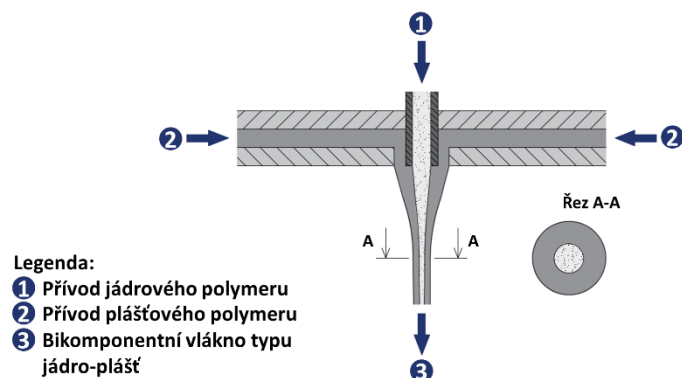
Zpevňování vrstev netkaných textilií lze provádět kalandrem, kdy prochází vlákněná vrstva s pojivem soustavou vyhříváných válců, v teplovzdušných komorách, ultrazvukem nebo infračerveným zářením [29].

Nejčastěji používané technologie termického pojení při výrobě tepelněizolačních materiálů jsou popsány v následujících částech [29].

3.1.3.3.1 Teplovzdušné pojení vlákněných vrstev bikomponentními vlákny

Pro teplovzdušné pojení tepelněizolačních materiálů se využívají bikomponentní vlákna typu jádro-plášť (viz Obrázek 4), která jsou tvořena nejčastěji dvěma polyestery. Jádro vlákna je tvořeno polyesterem s vyšší teplotou tavení, kolem 220 °C a plášť vlákna polyesterem s nižší teplotou tavení, běžně kolem 90 °C. Tímto způsobem vznikají vlákna odolnější vůči bortění v průběhu pojení [29,33].

Bikomponentní vlákna vznikají zvlákňováním polymerů na zařízení zvaném zvlákňovací hubice viz Obrázek 4 [29].



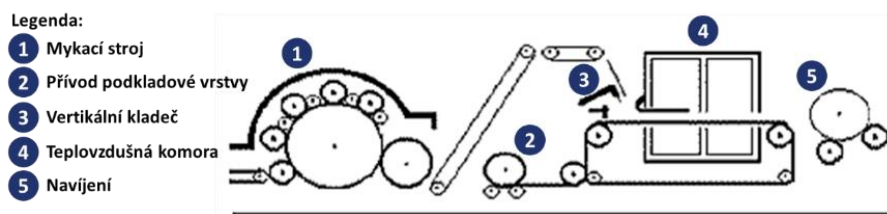
Obrázek 4: Průřez hubicí pro výrobu bikomponentního vlákna typu jádro-plášť [29]

V oblasti izolací je technologie teplovzdušného pojení bikomponentními vlákny využívána pro pojení vrstev zhomogenizované vlákenné suroviny s přidavkem pojivových vláken nejčastěji 10-20 hmot. %. Navrstvený materiál prochází pojící horkovzdušnou komorou, ve které cirkuluje horký vzduch, který je ventilátorem vhnán přes vlákennou vrstvu a transportuje teplo k pojivovým vláknům. Po roztavení pojiva dochází k jeho přeskupování a formování bodových spojů v místech křížení vláken. Po ukončení procesu termického pojení je materiál schlazen a formátován na požadované rozměry [29,33].

3.1.3.3.2 Termické pojení vlákenných vrstev technologií STRUTO®

Jedná se o technologii pro výrobu netkaných textilií s kolmo kladenými vlákny, která umožňuje zpracování přírodních, syntetických i recyklovaných druhů vláken [34,35].

Dokonale zhomogenizovaná směs základních a bikomponentních vláken je zpracovávána mykacím strojem na vlákennou pavučinu. Ta je dále dopravována do tzv. STRUTO® agregátu (viz Obrázek 5), který je tvořen kolmým vibračním nebo rotačním kladečem ukládajícím pavučinu na dopravník do kolmých skladů. Dále je agregát tvořen horkovzdušnou pojící komorou, kde dochází k propojování vláken a chladicí zónou, kde je materiál zchlazován na provozní teplotu [34,35].



Obrázek 5: Schéma STRUTO® agregátu [34]

Po průchodu agregátem je STRUTO® navíjeno nebo formátováno na požadované rozměry, případně dále upravováno [34,35].

Vláknennou pavučino lze také aplikovat na nosnou vrstvu, která je během pojícího procesu spojena s vláknennou vrstvou a vzniká tak kompozitní materiál [34,35].

3.2 Dřevovláknité tepelněizolační materiály

3.2.1 Příprava vstupní suroviny

Vstupní surovinou pro výrobu dřevovláknitých desek je kvalitní bílá štěpka z odkorněného dřeva. Nejčastěji se v tomto případě používá dřevo jehličnaté, a to zejména smrkové. Optimální rozměry štěpky pro výrobu dřevovláknitých materiálů jsou šířka 20-30 mm, délka 40-50 mm a tloušťka 3-5 mm [36].

Před procesem rozvláknění je ze štěpky odstraňována vibračními síťovými třídíči hrubá a velmi jemná frakce, nevhodná pro rozvláknování. Dále je prováděno odstraňování kovových částic pomocí magnetických separátorů, případně je pro odstranění nečistot štěpka prána v pračkách [36].

Následně je štěpka propařována a mokřým způsobem rozvláknována v rozvláknovací mlecí komoře na jednotlivá vlákna. Rozvláknění probíhá mezi dvěma disky, ze kterých je jeden stabilní a druhý ryhovaný disk rotující. Tímto působím vzniká mokrá vodní suspenze [36].

3.2.2 Výroba izolačních desek

Výroba vláknitých desek z vodní suspenze může být prováděno mokrou nebo suchou cestou [36].

Výroba mokrou cestou je prováděna tak, že je vodní suspenze s přídavkem chemikálií ukládána na podložní síta, kde dochází k odvodnění nejčastěji kalandrovým lisem, čím je struktura zahuštěna na zhruba 40 % sušiny. Síta umožňují rychlé odtékání vody a odchod páry při lisování. Následně jsou desky sušeny víceetážovými pásy nebo válcovými sušárnami. K spojování jednotlivých vláken není při této technologii zapotřebí přidávání pojiva, jelikož tuto funkci plní lignin obsažený v zdřevnatělých částech štěpky. Tento postup se dnes používá v menší míře, jelikož je vysoce energeticky náročný a vyžaduje recyklaci velkého množství technologické vody [36,37].

Více používaným způsobem je formování suchou cestou, kdy je na vysušené štěpky aplikováno pojivo, nejčastěji se jedná o formaldehydové pryskyřice a další přídatné látky. Poté je štěpka vrstvena na pás do podoby koberce, předlisována a následně slisována

v závislosti na požadovaných mechanických vlastnostech výsledného výrobku. Po slisování jsou desky dále broušeny a povrchově upravovány [36].

Optimální technologie formování desek je volena na základě požadovaných parametrů. Výroba měkkých dřevovláknitých desek s hustotou nižší než 400 kg/m^3 je prováděna zejména mokrou cestou, kdy se do suspenze přidává pojivo a hydrofobizační přísady, zejména parafín. Tyto desky jsou následně lisovány válcovým lisem za poměrně nízkých lisovacích tlaků. Polotvrdé dřevovláknité desky jsou vyráběny zejména suchým způsobem výroby, za použití různých druhů formaldehydových lepidel v závislosti na vlhkostních podmínkách, kterým budou výrobky vystaveny. Výrobu tvrdých dřevovláknitých desek s hustotou vyšší než 900 kg/m^3 lze provádět mokrým i suchým způsobem výroby [36,38].

3.3 Foukané a sypké izolační materiály

3.3.1 Příprava materiálu

V případě foukaných a sypkých izolací na báze celulózy se dnes vyrábí zejména izolace vznikající recyklací třízeného novinového papíru. Výroba samotného materiálu spočívá z několika technologických procesů. V první řadě je prováděno třízení a separace nečistot, při kterém probíhá také magnetické odstraňování kovových částic. Dále je materiál rozvlákňován v tzv. mlýnu s vířivým proudem do podoby buničiny, do které je následně přidáván borax, síran hořečnatý a kyselina boritá jako retardanty hoření. Tyto látky také působí jako ochrana proti škůdcům a plísním. Následně se materiál zbavuje prachových částic a je podroben kvalitativním zkouškám, pro kontrolu obsahu vlhkosti, sléhavosti materiálu a požární odolnosti [39].

Kromě tříděného novinového papíru lze za zástupce tepelných izolací na báze celulózy považovat také foukané izolace z dřevných vláken, které jsou vyráběny zejména z borového dřeva a foukané izolace z recyklovaného textilu. Technologie výroby je obdobná jako v případě recyklovaného novinového papíru [40,41].

3.3.2 Aplikace foukaných tepelných izolací

Technologií zafoukávání lze aplikovat tepelněizolační materiály na bázi vláken nebo granulátů. Samotná aplikace je prováděna pomocí soustavy sestávající z aplikačního foukacího stroje, do kterého je pomocí násypky vkládán izolační materiál. Z přístroje jsou dále vyvedeny hadice, kterými je tlakem vzduchu tepelný izolant dopravován a ukládán na místo určení [42].

Tepelné izolace tohoto typu lze provádět dvěma způsoby. Jedním z nich je aplikace zafoukáváním do dutin, přičemž se jedná o vyplňování dutých konstrukcí jako jsou duté trámové stropy a podlahy. Druhým způsobem je provádění volně zafoukávaných izolací, kdy je izolant foukán volně do prostoru. Jedná se zejména o zateplování půdních prostor nepochůzných dvouplášťových střeš a zavěšených sádkartonových stropů [43].

Hlavními výhodami této technologie je poměrně rychlá a snadná aplikace, proveditelná i v těžko dostupných místech, přičemž vzniká minimální riziko výskytu tepelných mostů z důvodu dokonalého přilnutí materiálu k aplikačnímu povrchu a důkladnému vyplnění izolovaného prostoru bez mezer a spár [42].

4. Zdroje surovin pro výrobu tepelných izolantů na bázi celulózy

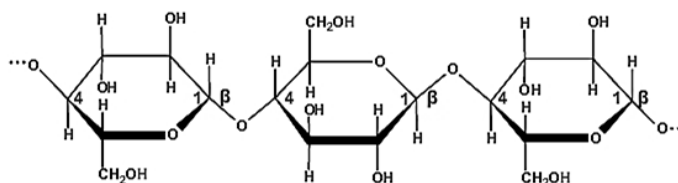
Stavebnictví je jedním z nejvýraznějších producentů odpadu, má vysokou energetickou náročnost a produkuje přibližně 36 % Evropských emisí skleníkových plynů. Většina v současnosti používaných tepelněizolačních materiálů je získávána synteticky, přičemž je tento proces spojen s vysokou spotřebou energie. Z těchto důvodů vyplývá snaha o vývoj nových tepelněizolačních materiálů z obnovitelných a druhotných surovin na organické bázi, které dosáhnou podobných, nebo pokud možno lepších vlastností než klasické materiály používané ve stavební praxi. Se stále zvyšující se cenou stavebních materiálů také roste poptávka po inovativních způsobech řešení, které využívají zejména lokální, snadno dostupné suroviny, které snižují výrobní náklady. Právě z tohoto důvodu byla tato bakalářská práce zaměřena na materiály na bázi celulózy [1].

4.1 Základní složky rostlin

Základem primárních buněčných stěn vyšších rostlin je celulóza, hemicelulózou a lignin. Tyto látky se také podílí na tvorbě sekundárních buněčných stěn [44].

Celulóza je polysacharidická, tuhá, chemicky stabilní látka, tvořena monomery β -D-glukózy. Díky řetězcům tvořeným glukózovými jednotkami, viz Obrázek 6, se jedná o látku nerozpustnou ve vodních roztocích. Udává směr růstu rostliny a zabezpečuje zachování tvaru a velikosti jednotlivých buněk. V primárních buněčných stěnách se pohybuje v množství kolem 20 % [44].

Celulóza (C₆H₁₀O₅)_n



Obrázek 6: Schéma β -D-glukózového řetězce [45]

Hemicelulóza je látka lišící se od celulózy nižší relativní molekulovou hmotností a nižším obsahem krystalických podílů. Je tvořena řetězci monosacharidů jako je β -D-glukopyranóza, hexóza a další. Je tvořena zejména amorfními částmi [45,46,47].

Lignin se vyskytuje zejména v sekundárních buněčných stěnách rostlin a zabezpečuje jejich dřevnatění [48].

4.2 Zdroje celulózy

Celulózu jako takovou je možné nalézt ve velkém množství přírodních surovin ale i v různých druzích odpadů napříč všemi odvětvími. Jednak se celulóza nachází v plodinách pěstovaných v zemědělství, dřevinách a křovinách z lesnického hospodářství ale je také obsažena ve vláknech využívaných v oděvnickém a tkalcovském průmyslu, tudíž i v odpadech z tohoto sektoru. Dále se nachází také papíru, lepenkách, buničině, papírenských kalech a dalších odpadech z papírenského odvětví až po odpadní materiály z dřezpracujícího a stavebního průmyslu. Jelikož je rozsah oblastí, z kterých je možné celulózu získávat příliš rozsáhlý a pro zmapování všech zdrojů neexistují dostatečné podklady, byla tato práce zaměřena na oblast zemědělství, které potřebné informace dokládá a tyto podklady jsou veřejně dostupné. Porovnání obsahu celulózy v zdřevnatělých částech vybraných surovinových zdrojů viz Tabulka 1.

Tabulka 1: Chemické složení vybraných přírodních materiálů [49-54]

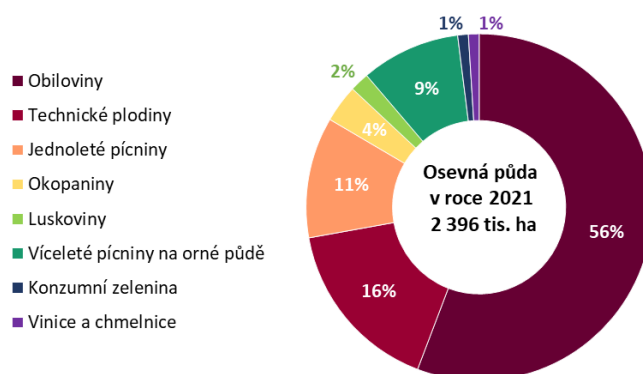
Surovina	Obsah [hmot. %]		
	Celulóza	Hemicelulóza	Lignin
Čirok	32-35	24-27	15-21
Ječmen	36-43	24-33	6-9
Oves	31-35	20-26	10-15
Pšenice	35-39	23-30	12-16
Triticale	48-50	25-27	15-17
Řepka olejná	49-52	12,69	17,72
Slunečnice	34-42	13-33	12-30
Konopí	64-71	17-24	6-8
Len	65-75	13-26	5-7
Jehličnaté dřevo	33-42	22-40	27-32
Listnaté dřevo	38-51	17-38	21-31

4.3 Zemědělství jako potenciální zdroj celulózy

V České republice je pěstování zemědělských plodin zastoupeno zejména v oblastech pěstování obilovin a technických plodin, které v roce 2021 zabírali téměř tři čtvrtiny celkové osevné půdy v zemědělství. Porovnání osevných ploch a výnosů za rok 2021 viz Tabulka 2 a Graf 1 [55,56].

Tabulka 2: Osevné plochy a výnosy jednotlivých druhů plodin pěstovaných za rok 2021 [55,56]

Plodina	Osevná plocha [tis. ha]	Sklizeň [tis. t]
Obiloviny	1344,8	8131,4
Technické plodiny	394,796	1062,13
Jednoleté píceiny	271,741	8883,619
Okopaniny	84,442	4830,652
Luskoviny	43,08	111,89
Víceleté pícniny na orné půdě	223,551	1488,278
Konzumní zelenina	11,987	275,318
Vinice a chmelnice	21,33	98,365
Půda celkem	2395,727	24881,652

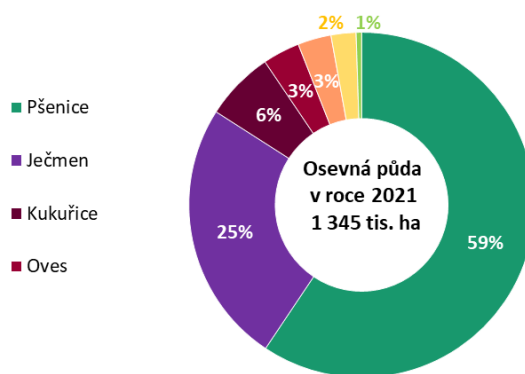


Graf 1: Podíl jednotlivých druhů plodin na osevní ploše za rok 2021 [55,56]

Dominantní složku tvoří v českém zemědělství oblast pěstování obilovin, která zabírá více než polovinu celkových osevných ploch ČR. Nejvýznamnějšími pěstovanými plodinami v této oblasti jsou pšenice zabírající 59 % celkové osevné půdy obilovin a ječmen zabírající 25 % půdy (viz Tabulka 3 a Graf 2) [55,56].

Tabulka 3: Osevné plochy a výnosy jednotlivých druhů obilovin za rok 2021 [55,56]

Plodina	Osevná plocha [tis. ha]	Sklizeň [tis. t]
Pšenice	798,6	4902,4
Ječmen	331,9	1816,2
Kukuřice	87,2	825,5
Oves	46,7	183,4
Triticale	42,1	213,3
Žito	31,4	172,4
Ostatní obiloviny	6,9	18,2
Obiloviny celkem	1344,8	8131,4

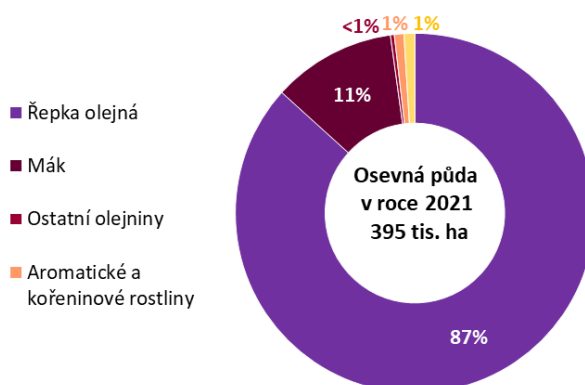


Graf 2: Podíl jednotlivých druhů obilovin na osevní ploše za rok 2021 [55,56]

Druhou dominantní složkou zabírající 16 % celkové osevné plochy je pěstování technických plodin. Za technické plodiny jsou považovány rostliny využívané k domácímu nebo průmyslovému zpracování. Patří mezi ně olejnin, přadné, barvířské, léčivé, kořeninové a aromatické rostliny. Typickým příkladem jsou len a konopí. Zastoupení podílů jednotlivých druhů technických plodin viz Tabulka 4 a Graf 3 [45,55-57].

Tabulka 4: Osevné plochy a výnosy jednotlivých druhů technických plodin za rok 2021 [56]

Plodina	Osevní plocha [tis. ha]	Sklizeň [tis. t]
Řepka olejná	342,315	1024,928
Mák	43,867	29,691
Ostatní olejnin	1,366	1,112
Aromatické a kořeninové rostliny	3,403	3,12
Léčivé rostliny	3,845	3,279
Technické plodiny celkem	394,796	1062,13



Graf 3: Podíl jednotlivých druhů technických plodin na osevní ploše za rok 2021 [56] Jak obiloviny, tak i technické plodiny se sklízí mechanizovanými technologiemi, při kterých vzniká jako vedlejší produkt sláma. Její sklizeň probíhá současně se sklizní hlavní části plodiny. Většina zdrojů uvádí, že produkce slámy je u obilovin a technických plodin

přibližně stejná jako výnos průmyslově zpracovávaných částí rostlin, tudíž pro ně můžeme vycházet z údajů uvedených v Tabulce 3 a Tabulce 4 [58,59].

4.4 Produkce slámy

Sklizeň slámy je potřebné realizovat před následujícími agrotechnickými úkony. Jedou z možností zpracování slámy přímo na poli je drcení slámy drtičem umístěným za sklízecím zařízením s následným rozmetáním po osevné ploše. V tomto případě je sláma následně zapracovávána do půdy a využita jako zdroj živin. Nevýhodou této technologie je fakt, že pokud není v půdě dostatek vlhky stébla slámy se nedokáží rozkládat a mohou způsobovat značné problémy při dalším osevu [60].

Druhou možností je využití balíkovacího lisu, který vytváří hranolové nebo válcové balíky. V tomto případě je sklizeň prováděna ve dvou fázích. V první fázi jsou sklízecí mlátičkou odebírány vrchní části plodin, ze kterých jsou poté separovány semena. V druhé fázi jsou lisem vytvářeny slaměné balíky. Pro zabezpečení požadované vlhkosti slámy může balíkování předcházet obracení a sušení slámy přímo na poli [60].

V zemědělství je sláma v současnosti využívána zejména ke stlaní v tradičních podestýlkových chovech. V menší míře se využívá jako součást hnoje nebo jako doplněk krmiv k vytvoření pocitu sytosti. S klesajícím počtem podestýlkových chovů v ČR v posledních letech také klesá možnost využívání slámy přímo v zemědělství. Sláma z řepky olejné navíc není vhodná jako stelivo. Až donedávna se spalovala přímo na polích. Dnes se pro svoji vysokou výhřevnost blížící se hnědému uhlí používá zejména v energetice. V posledních letech stoupá používání semen řepky olejné pro výrobu tuků, olejů, mazadel a bionafty, tudíž stoupá i produkce řepkové slámy. Se stoupající produkcí a klesající efektivitou využívání slámy přímo v zemědělském průmyslu stoupá potenciál slámy pro využívání v jiných oblastech např. pro výrobu tepelných izolantů [57].

4.5 Tepelněizolační materiály z přírodních surovin na bázi celulózy

Slámu jako i ostatní přírodní materiály s obsahem celulózy lze do podoby tepelněizolačních materiálů upravovat metodami popsány v kapitole 3 této bakalářské práce.

Přehled některých průmyslově vyráběných tepelných izolací na báze celulózy, jejich vlastností a tepelných vodivostí viz Tabulka 5.

Tabulka 5: Přehled tepelněizolačních materiálů na báze celulózy dostupných v ČR [61-63]

Izolační materiál	Použití	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]	Příklady výrobců
Dřevovláknité desky	Nadkroevní izolace	0,041-0,044	PAVATEX; EGGER; INTHERMO; STEICO; AGEPAN
	Opláštění stěn dřevostaveb	0,038-0,044	
	Dodatečné zateplení budov	0,040-0,044	
	Výplňová izolace obvodových stěn příček a střech	0,037-0,051	
	Kročejové a tepelné izolace podlah	0,038-0,046	
Dřevocementové desky	Tepelné a zvukové izolace konstrukcí	0,080-0,090	DCD IDEAL; VELOX
	Ztracené bednění obvodových stěn s vysokými nároky na tepelnou izolaci		
Foukané a sypané izolace z celulózy a rozvlákněného papíru	Tepelné izolace nepochozích střech a půd	0,038-0,040	CIUR; ENROLL; DEKTRADE
	Tepelné izolace šikmých střech	0,038-0,040	
	Izolace dutin obvodových stěn a příček	0,041-0,043	
	Izolace dutých konstrukcí stropů	0,039-0,041	
Konopné desky a rohože	Mezikroevní izolace	0,036-0,042	CANABEST; IZOLACE KONOPI CZ
	Izolace dřevěných rámových stavbách		
	Izolace střešních vestaveb		
	Izolace trámových stropů		
	Izolace obvodových stěn a příček dřevostaveb		
	Izolace podlahových konstrukcí	0,039-0,041	
Konopný filc	Kročejové izolace plovoucích, parketových a dřevěných podlah	0,047	IZOLACE KONOPI CZ
Desky z obilné slámy	Opláštění obvodových stěn	0,098-0,099	EKOPANELY
	Opláštění vnitřních nosných stěn		
	Izolace příček a podlah		
	Izolace podhledů, šikmin a půdních vestaveb		
	Vnitřní obklad stěn na dřevěném roštu		
Korkové podložky	Izolace podlahových konstrukcí	0,053	KOREX INTERNATIONL
Desky z expandovaného korku	Tepelné a akustické izolace příček, stěn, podlah a stropů	0,036-0,038	JELINEK CORK GROUP
	Izolace plochých, šikmých a zelených střech		
	Izolace vibrační strojů a zařízení		
	Chladová izolace komor		

5. Porovnání běžně používaných tepelněizolačních materiálů

V následující kapitole se práce zabývá tepelněizolačními materiály běžně používanými ve stavební praxi, porovnáním vlivů na životní prostředí v průběhu jejich životního cyklu a srovnáním jejich vybraných vlastností.

5.1 Hodnocení životního cyklu

Produkce stavebních materiálů jakožto součást průmyslové výroby je jedním z odvětví, které výraznou mírou přispívají ke znečišťování životního prostředí. Jedná se zejména o vysokou spotřebu přírodních zdrojů, energie a produkci emisí skleníkových plynů [64].

Pro zjištění dopadů výrobků na životní prostředí v celém jejich období životnosti se provádí tzv. hodnocení životního cyklu materiálů neboli Life Cycle Assessment (LCA). Tato metoda slouží k získávání informací o dopadech jednotlivých období životního cyklu materiálů (viz Obrázek 7) na konkrétní oblasti životního prostředí. Environmentální dopady jsou při této metodě vyjadřovány tzv. kategoriemi dopadů, kam zahrnujeme změnu klimatu, úbytek surovinových zdrojů a vliv odpadních látek na ovzduší, půdu, vodu a veřejné zdraví. Díky informacím plynoucím z LCA lze zavádět efektivnější opatření pro zamezení těchto nepříznivých vlivů v konkrétních oblastech životního cyklu výrobků [65].



Obrázek 7: Fáze životního cyklu stavebních materiálů [66]

Hodnocení životního cyklu materiálů je prováděno dle normy ČSN EN ISO 14040 a výsledky hodnocení jsou prezentovány následujícími environmentálními kritérii:

- **Svázané emise CO₂ (GWP)**, tzv. potenciál globálního oteplování neboli Global Warming Potential udávaný v (kg CO₂, ekviv.). Jedná se o produkci CO₂ za celé období životního cyklu materiálu nebo konkrétní část cyklu, navýšenou o složku ostatních emisí skleníkových plynů přepočtenou na úroveň efektu CO₂ [67,68].
- **Svázané emise SO₂ (AP)**, tzv. potenciál okyselování prostředí neboli Acidification Potential udávaný v (kg SO₂, ekviv.), kdy se jedná o celkovou produkci SO₂ v období životního cyklu materiálu nebo jeho části navýšenou o složku ostatních emisí plynů způsobujících zakyselování prostředí, přepočtenou na úroveň efektu SO₂ [67,68].

- **Svázané energie (PEI)** neboli Primary Energy Input, kdy se jedná o souhrn celkové spotřeby energie získávané z přírodních zdrojů v průběhu celého životního období materiálu udávané v (MJ) [67,68].

Méně častými environmentálními kritérii jsou pak ještě **potenciál eutrofizace (EP)** udávající množství atmosférických emisí z odpadních vod, které zapříčiňují nepřirozené zvyšování živin ve vodě a půdách v (kg_{x,ekv.}) nebo (kg_{4³⁻,ekv.}). Dále je to **potenciál ničení ozónové vrstvy (ODP)** udávající množství emisí nepříznivě působících na stratosférickou ozónovou vrstvu v (kg CFC-11 SO_{ekv.}) a **potenciál tvorby přírodního ozonu (POCP)** udávající množství emisí způsobujících tvorbu přízemního ozonu v (kg C SO₂H SO_{4,ekv.}) [68,69].

5.2 Srovnání vlastností vybraných druhů tepelněizolačních materiálů

Pro srovnání vlastností byly vybrány tepelněizolační materiály nejběžněji se vyskytující na stavebním trhu, a to dřevní vlna, expandovaný a extrudovaný polystyren, celulóza v podobě foukané izolace, minerální vlna, ovčí vlna, pěnové sklo, polyuretan, skelná vlna a sláma. Vyhodnocení jednotlivých vlastností a dopadů na životní prostředí viz Tabulka 6 a Graf 4-8.

Z uvedených hodnot vyplývá, že nejnižší objemové hmotnost mají polyuretan a oba druhy polystyrenů, naopak nejvyšší objemová hmotnost byla zaznamenána u pěnového skla a slámy. Se stoupající objemovou hmotností chronologicky stoupá i tepelná vodivost, tudíž nejnižší tepelná vodivost byla zaznamenána u polystyrenů a polyuretanu, naopak nejvyšší u slámy, dřevné vlny a pěnového skla.

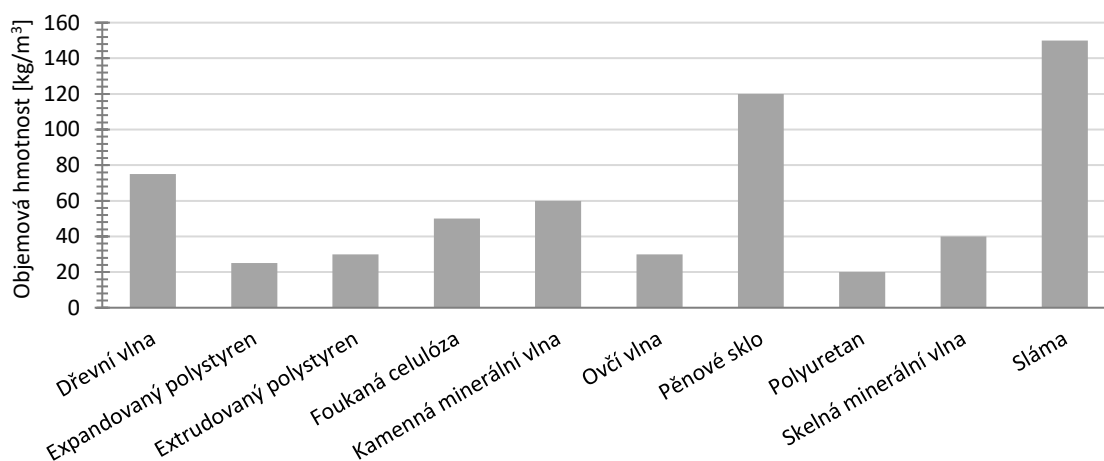
Co se týče vplyvu na životní prostředí v průběhu životního cyklu tepelněizolačních materiálů, nejnižší svázané emise CO₂ (GWP), svázané emise SO₂ (AP) i svázanou energii (PEI) vykazují dřevní vlákna a sláma. U těchto materiálů se u hodnot GWP také promítá fakt, že se jedná o přírodní materiály, které při svém růstu jistým způsobem pohlcují CO₂, tudíž jsou tyto hodnoty záporné.

Naopak nejvyšší produkce CO₂, vliv na zakyselování životního prostředí produkcí plynů, zejména SO₂ a nejvyšší hodnoty svázané energie byly zaznamenány u polyuretanu a expandovaného polystyrenu.

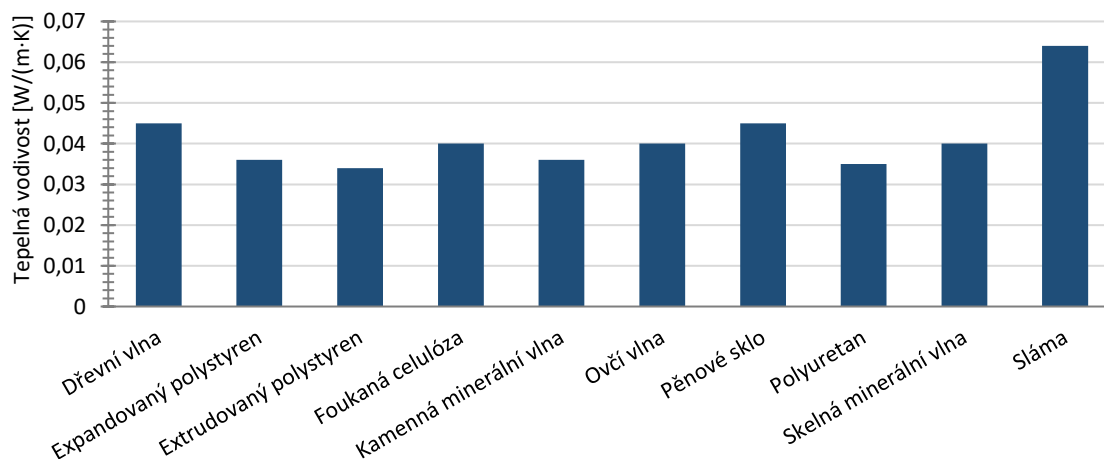
Hodnoty uvedené v Tabulce 6 také potvrzují, že přírodní materiály zejména rostlinného charakteru vykazují nižší hodnoty environmentálních parametrů než materiály vyráběné synteticky.

Tabulka 6: Porovnání vlastností a vlivů na životní prostředí konvenčních tepelných izolací [67,69]

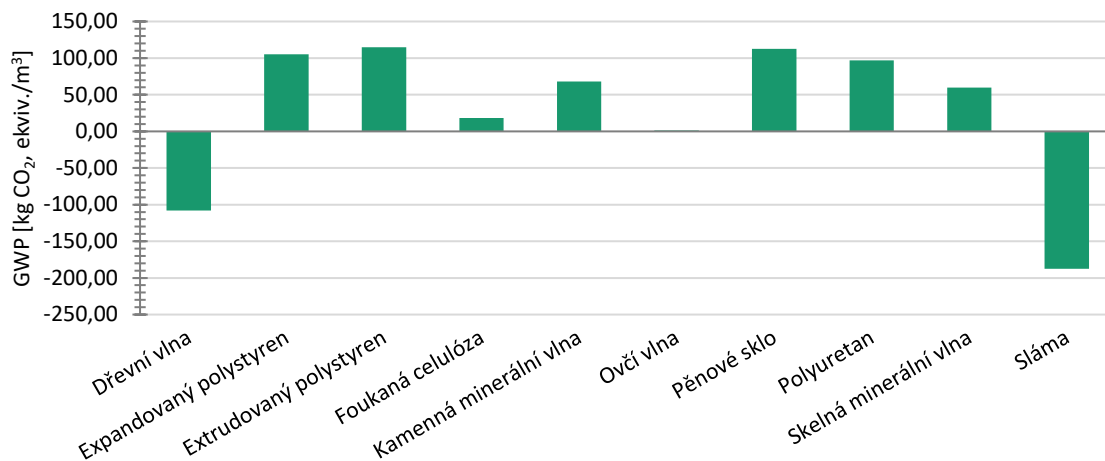
Izolační materiál	ρ_c [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	GWP [kg CO ₂ , ekvív./kg]	AP [kg SO ₂ , ekvív./kg]	PEI [GJ/kg]	GWP [kg CO ₂ , ekvív./m ³]	AP [kg SO ₂ , ekvív./m ³]	PEI [GJ/m ³]
Dřevní vlna	75	0,045	-1,440	0,001	0,001	-108,000	0,111	0,086
Expandovaný polystyren	25	0,036	4,212	0,015	0,105	105,303	0,373	2,627
Extrudovaný polystyren	30	0,034	3,821	0,013	0,097	114,615	0,402	2,895
Foukaná celulóza	50	0,040	0,368	0,003	0,007	18,390	0,145	0,357
Minerální vlna	60	0,036	1,133	0,008	0,020	67,986	0,501	1,212
Ovčí vlna	30	0,040	0,040	0,003	0,015	1,200	0,078	0,441
Pěnové sklo	120	0,045	0,940	0,002	0,016	112,800	0,272	1,884
Polyuretan	20	0,035	4,845	0,020	0,099	96,902	0,406	1,985
Skelná vlna	40	0,040	1,496	0,007	0,046	59,832	0,279	1,821
Sláma	150	0,064	-1,250	0,001	0,001	-187,500	0,131	0,128



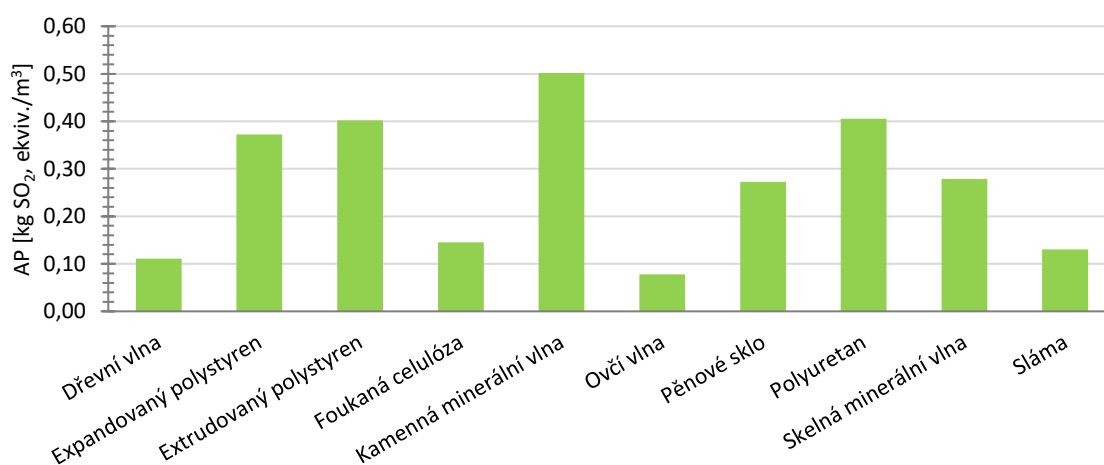
Graf 4: Porovnání objemových hmotností [67,69]



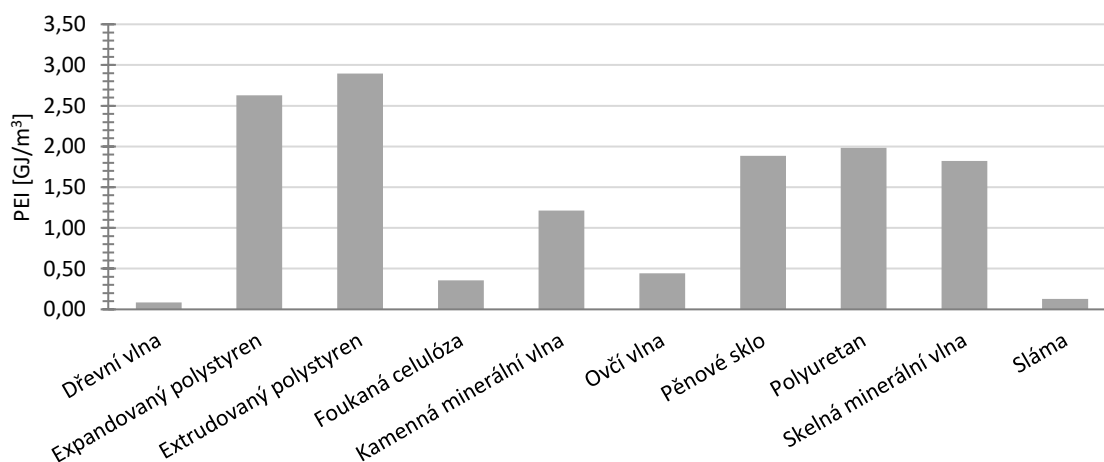
Graf 5: Porovnání tepelných vodivostí [67,69]



Graf 6: Porovnání svázaných emisí CO₂ [67,69]



Graf 7: Porovnání svázaných emisí SO₂ [67,69]



Graf 8: Porovnání množství svázané energie [67,69]

III. PRAKTICKÁ ČÁST

1. Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je vyvinout ekologický tepelněizolační materiál ze snadno obnovitelných a druhotných surovin na bázi dřeva nebo dalších přírodních materiálů s převažujícím podílem celulózy.

V teoretické části bylo cílem provést literární rešerši zaměřenou na zmapování možných zdrojů obnovitelných a druhotných surovin na přírodní bázi a způsobů jejich využití, především v oblasti tepelněizolačních materiálů využívaných ve stavebnictví. Dále bylo úkolem zmapovat jednotlivé výrobní procesy výroby tepelných izolantů z přírodních surovin a posouzení možného uplatnění různých typů izolantů vyráběných různými technologiemi ve stavebnictví. Toto posouzení bylo zaměřeno zejména na funkční vlastností a životní cyklus tepelně izolačních materiálů.

V praktické části je cílem navrhnout na základě poznatků z teoretické části vhodný izolant na bázi celulózy, provést laboratorní ověření jeho vlastností a v závěru provést srovnání zjištěných vlastností s vlastnostmi izolantů běžně dostupných na stavebním trhu.

2. Metodika práce

Na základě informací popsanych v kapitole 4 teoretické části této bakalářské práce byl proveden výběr surovin potenciálně vhodných pro výrobu tepelněizolačních materiálů.

Dále byl proveden výběr technologie rozvlákňování, kdy byly vstupní suroviny nejdříve pokráceny na požadované délky a následně mechanicky rozvlákňovány v nožovém mlýnu Pulverisette 11 (viz Obrázek 8). Při mechanickém rozvlákňování byl hledán u každé suroviny vhodný časový interval mletí a intenzita otáčení mlecího nože.



Obrázek 8: Nožový mlýn Pulverisette 11

Po rozvláknění se jednalo o vzorky sypkého materiálu, tudíž byla stanovena jejich sypná hmotnost a proveden síťový rozbor pro stanovení zastoupení jednotlivých frakcí zrn v těchto vzorcích.

Dle vyhodnocení výsledků sypné hmotnosti a dle provedených síťových rozborů bylo vybráno po jednom vzorku z každého druhu suroviny. Jelikož se práce zabývá tepelněizolačními materiály bylo na těchto vybraných vzorcích provedeno měření tepelné vodivosti.

Na závěr bylo provedeno porovnání vyrobených izolantů s materiály běžně dostupnými na stavebním trhu a určen způsob jejich možného uplatnění.

3. Výběr vstupních surovin a příprava zkušebních vzorků

Pro vývoj tepelněizolačního materiálu na báze celulózy byly zvoleny vstupní suroviny z oblasti zemědělství. Důvodem volby bylo zjištění, že v důsledku klesajícího podílu podestýlkových chovů v posledních letech klesají i možnosti využívání slámy přímo v tomto odvětví. Na základě podílů jednotlivých druhů plodin na osevní zemědělské ploše viz kapitola 4, Graf 1. a obsahu celulózy viz Tabulka 1, byli zvoleni tři zástupci plodin ze skupiny obilovin a jeden zástupce technických plodin.

Konkrétně se jednalo se o ječmennou slámu, ovesnou slámu, slámu z Triticale a slámu z řepky olejné (viz Obrázek 9).

Jednotlivé druhy slámy byly v první fázi přípravy vzorků ručně postříhány na délku cca 3 cm (maximální doporučená délka mletého materiálu pro daný typ nožového mlýnu je do 40 mm) a následně mechanicky rozvlákněny v nožovém mlýnu Pulverisette 11 při měnícím se časovém intervalu mletí a různé rychlosti otáčení mlecího nože (objem mlecí nádoby je 1,4 l, nádoba byla vždy naplněna ze 35 %, tj. na objem 0,5 l).

Seznam vzorků, jejich značení, frekvence mletí a mlecí intervaly jsou zaznamenány v Tabulce 7.



Obrázek 9: Zvolené druhy surovin ze zemědělství

Tabulka 7: Seznam vzorků

JEČMEN			OVES			TRITICALE		
Značení vzorku	Frekvence mletí [ot./min.]	Doba mletí [s]	Značení vzorku	Frekvence mletí [ot./min.]	Doba mletí [s]	Značení vzorku	Frekvence mletí [ot./min.]	Doba mletí [s]
J-2/120	2 000	120	O-2/120	2 000	120	T-2/180	2 000	180
J-4/60	4 000	60	O-4/60	4 000	60	T-4/60	4 000	60
J-4/120	4 000	120	O-4/120	4 000	120	T-4/120	4 000	120
J-6/30	6 000	30	O-6/30	6 000	30	T-6/30	6 000	30
J-6/60	6 000	60	O-6/60	6 000	60	T-6/60	6 000	60
J-8/60	8 000	60	O-8/60	8 000	60	T-8/60	8 000	60
J-10/60	10 000	60	O-10/60	10 000	60	T-10/60	10 000	60
ŘEPKA OLEJNÁ								
Značení vzorku	Frekvence mletí [ot./min.]	Doba mletí [s]	Značení vzorku	Frekvence mletí [ot./min.]	Doba mletí [s]	Značení vzorku	Frekvence mletí [ot./min.]	Doba mletí [s]
R-2/120	2 000	120	R-6/30	6 000	30	R-8/60	8 000	60
R-4/60	4 000	60	R-6/60	6 000	60	R-10/15	10 000	15
R-4/120	4 000	120	R-8/15	8 000	15	R-10/30	10 000	30
R-6/15	6 000	15	R-8/30	8 000	30	R-10/60	10 000	60

4. Zkušební metody

Na čtyřech zkušebních sadách vždy po sedmi zkušebních vzorcích, v případě řepky olejné dvanácti vzorcích, byla stanovena sypná hmotnost materiálu a proveden síťový rozbor.

Jelikož je sláma materiál, na který nejsou v současnosti vytvořené přesné postupy zkoušení byly tyto zkoušky provedeny dle norem pro kameniva.

Na základě sypné hmotnosti, velikosti částic v jednotlivých frakcích a vizuálního posouzení bylo vybráno vždy po jednom vzorku z každé sady na kterých byla stanovena tepelná vodivost.

4.1 Stanovení sypné hmotnosti

Stanovení sypné hmotnosti bylo provedeno dle postupu uvedeného v normě ČSN EN 1097-3 pro stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva. Pro zkoušku byla v našem případě vodotěsná válcová nádoba o objemu 1,0 l zaměněna za skleněnou váženku o objemu 85 ml. Objem váženky byl stanoven vážením vody a toto stanovení bylo ověřeno také měření rozměrů nádoby a výpočtem jejího objemu.

Stanovení sypné hmotnosti bylo prováděno tak, že byla váženka vytárována na váze, poté byla naplněna vzorkem až po okraj, přebytek vzorku nad okrajem nádoby byl seříznut ocelovým pravítkem tak, aby nedošlo k hutnění. Nádoba se vzorkem byla zvážena a

hmotnost zaznamenána. Tímto postupem bylo provedeno stanovení třikrát na každém vzorku.

Sypná hmotnost byla vypočtena dle vztahu:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

kde: ρ představuje sypnou hmotnost slámy [kg/m^3],

m hmotnost zkušební vzorku [kg],

V objem zkušební nádoby [m^3].

Naměřené a vypočtené hodnoty byly zaznamenány v Příloze 1 Tabulce 1.

4.2 Stanovení zrnitosti síťovým rozborem

Zkouška byla provedena postupem dle normy ČSN EN 933-1 pro stanovení zrnitosti kameniva, přičemž část praní materiálu byla přeskočena.

Pro stanovení zrnitosti je používána normová sada sít sestávající ze sít s děrovanými plechy s oky o průměru 125; 63; 31,5; 16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,063 mm a dna. Pro naše účely bylo síto s oky o průměru 0,25 mm zaměněno za průměr 0,20 mm.

Před provedením zkoušky byla normová sada sít seskládána do sloupce na sebe od nejmenšího průměru v spodní části po největší průměr v horní části. Pod síto s nejmenším průměrem bylo osazeno dno, na síto s největším průměrem bylo osazeno víko. Vzorek byl navážen na požadované množství a nasypán na připravenou sadu sít. Sloupec byl dále mechanicky strásán na strásacím stolku po dobu 1 min. Po střesení byl sloupec sít rozebrán a byly váženy zůstatky na jednotlivých sítích. Hmotnosti jednotlivých frakcí byly zaznamenány v Příloze 2 Tabulce 1-4. Z naměřených hodnotí byly vytvořeny křivky zrnitosti viz Graf 14-Graf 17.

4.3 Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno dle normy ČSN EN 12667 postupem dle ISO 8301 (ČSN 72 7012-3 metodou měřidla tepelného toku).

Podstatou zkoušky je stanovení součinitele tepelné vodivosti materiálů na základě navození ustáleného tepelného stavu ve vzorcích.

Vzorky pro toto stanovení byly připraveny tak, že do desky z extrudovaného polystyrenu byl vyříznut otvor čtvercového půdorysu s rozměry (200×200) mm a podlepen papírem. Do takto vytvořené šablony byly vsypávány jednotlivé vzorky slámy (viz Obrázek 10).

Měření bylo provedeno na zařízení Lambda 2300, Holometrix Micromet Inc. (viz Obrázek 10), kdy byly vzorky vkládány mezi topnou a chladicí desku přístroje a bylo měřeno napětí na měřidlech tepelného toku. Na každém vzorku byla provedena tři měření, poté byl vzorek vytažen, materiál byl doplněn, zhutněn jemným zatlačením do rámečku a znova byla provedena série třech měření. Výsledné hodnoty měření jsou zaznamenány v Tabulce 8 a Grafu 18.



Obrázek 10: Zařízení pro stanovení tepelné vodivosti

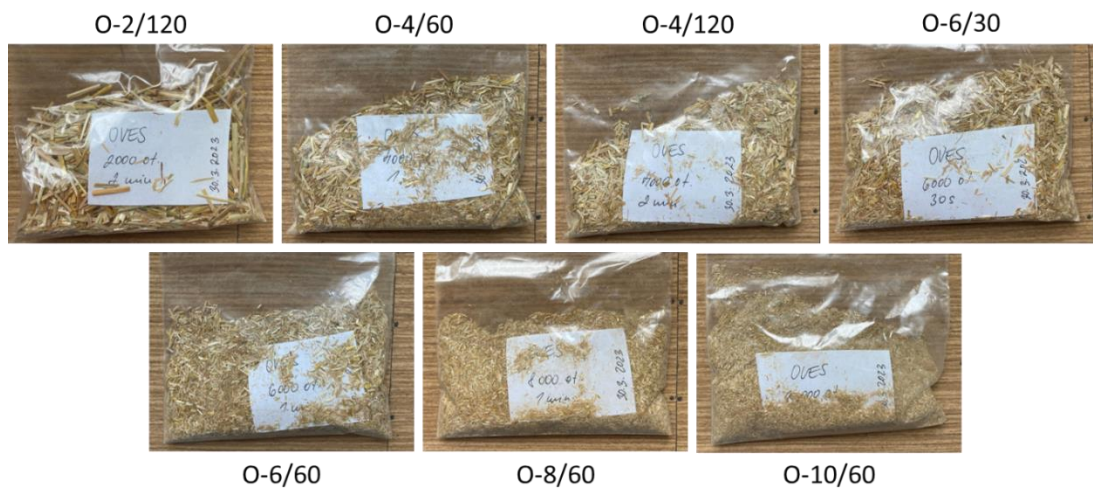
5. Vyhodnocení zkoušek

U vzorků jednotlivých druhů slámy po mechanickém rozvláknění v nožovém mlýnu je patrné, že se zvyšující se dobou mletí a se zvyšujícími se otáčkami mlýnu jsou částice kratší a vzorky obsahují více prашných podílů (viz Obrázek 11 - Obrázek 14).

Jako optimální byly makroskopickým posouzením zvoleny vzorky mechanicky rozvlákněné při 4 000 ot./min. a dobou mletí 60 s.



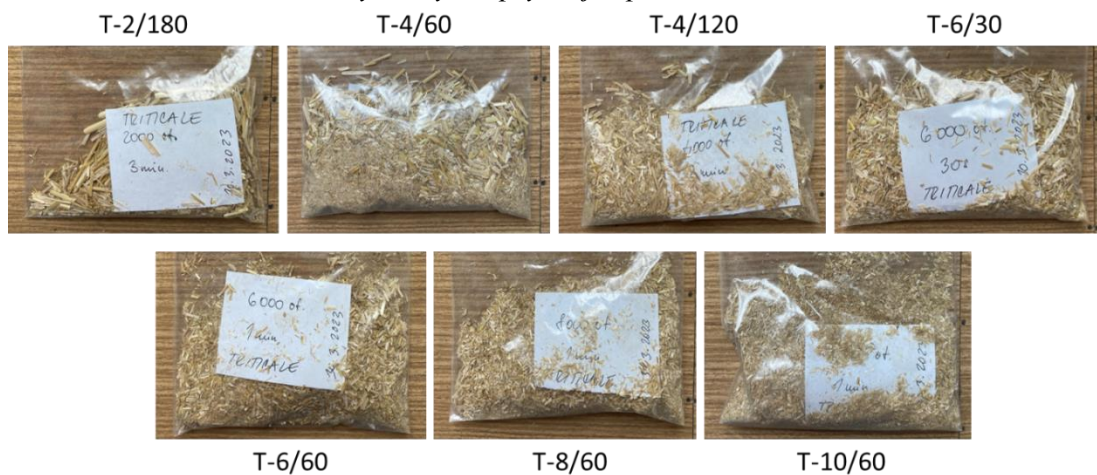
Obrázek 11: Vzorky ječmenné slámy po mechanickém rozvláknění



Obrázek 12: Vzorky ovesné slámy po mechanickém rozvláknění



Obrázek 13: Vzorky slámy z řepky olejné po mechanickém rozvláknění



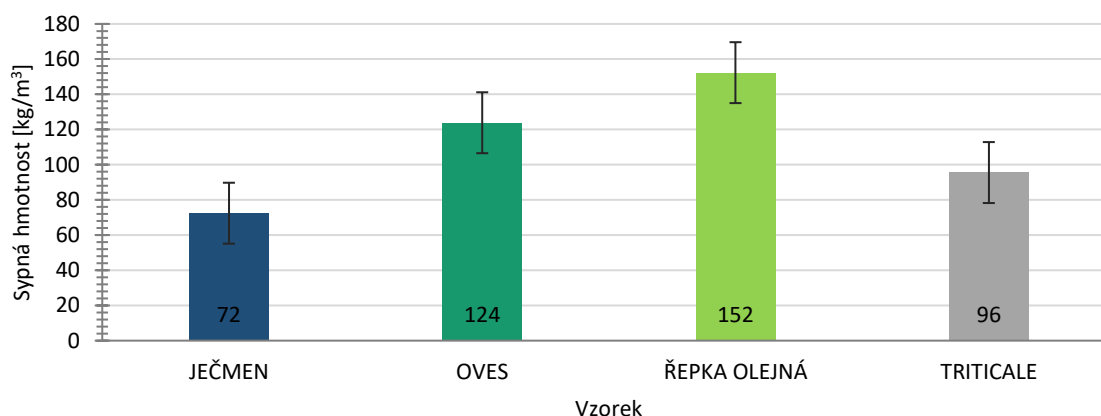
Obrázek 14: Vzorky slámy z triticales po mechanickém rozvláknění

5.1 Vyhodnocení výsledků stanovení sypné hmotnosti

Ze stanovených hodnot sypných hmotností dle normy ČSN EN 1097-3 lze usuzovat, že se zvyšující se dobou mletí a také se zvyšujícími se otáčkami mlýnu dochází ke zvyšování sypné hmotnosti. Tuto skutečnost potvrzuje fakt, že u všech druhů slámy byla nejnižší sypná hmotnost zaznamenána u vzorků mechanicky rozvláknovaných při frekvenci 2 000 ot./min. a době mletí 2 min. Naopak nejvyšší hodnoty sypné hmotnosti byly zaznamenány při 10 000 ot./min. a době mletí 60 s. Dle těchto skutečností lze předpokládat, že při zvýšení otáček a doby mletí suroviny dochází k navyšování jemných podílů ve vzorcích, které způsobují zvyšování sypné hmotnosti.

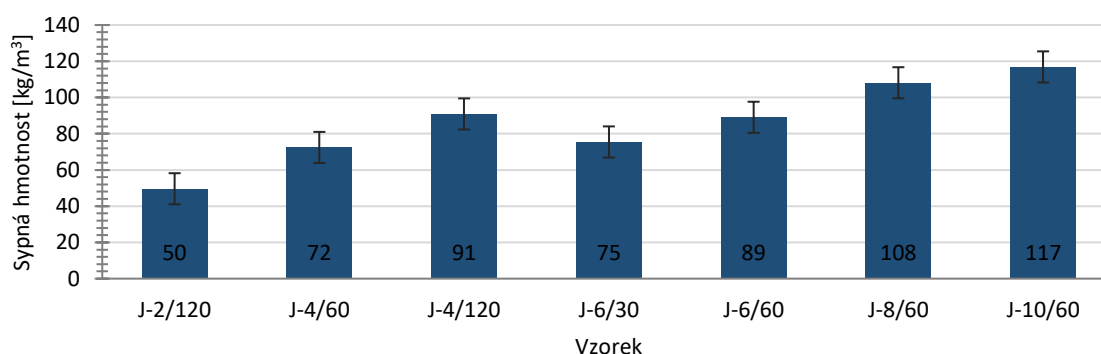
Z porovnání vzorků rozvlákněných při 4 000 ot./min. a době mletí 60 s (viz Graf 9), vybraných makroskopickým posouzením vyplývá, že nejnižší hodnotu sypné hmotnosti dosáhl vzorek ječmenné slámy, naopak nejvyšší hodnoty dosáhla řepka olejná.

Porovnání sypných hmotností jednotlivých vzorků zkoumaných materiálů lze vidět na Grafu 10-Grafu 13. Hodnoty získané stanovením sypných hmotností jsou uvedeny v Příloze 1, Tabulce 1.

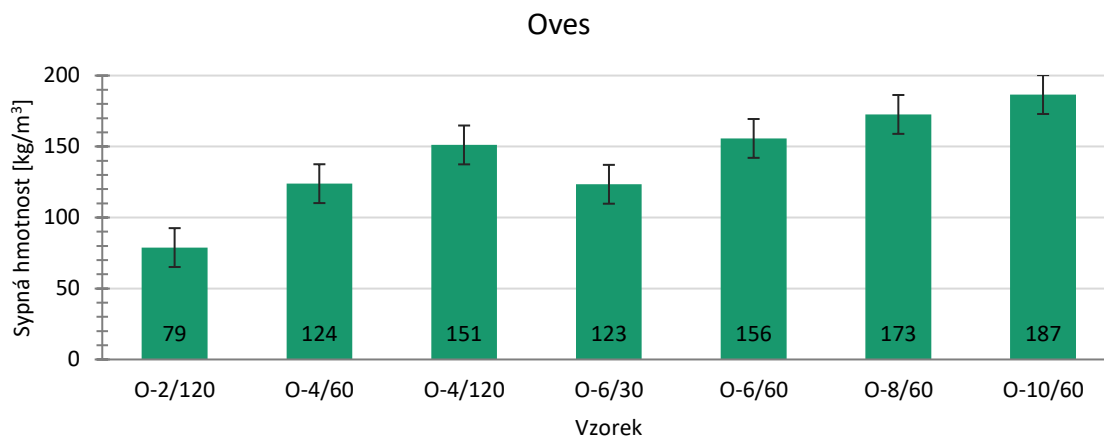


Graf 9: Srovnání vzorků rozvlákněných při 4 000 ot./min. a době mletí 60 s

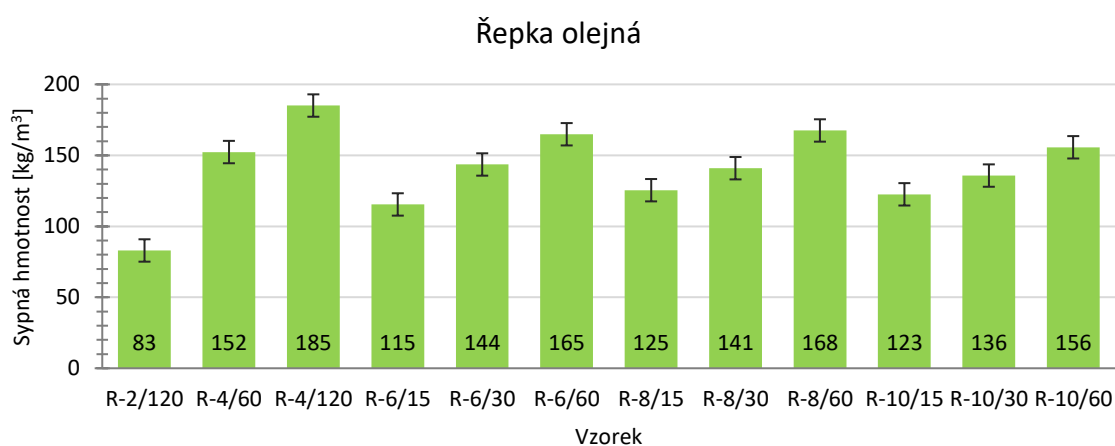
Ječmen



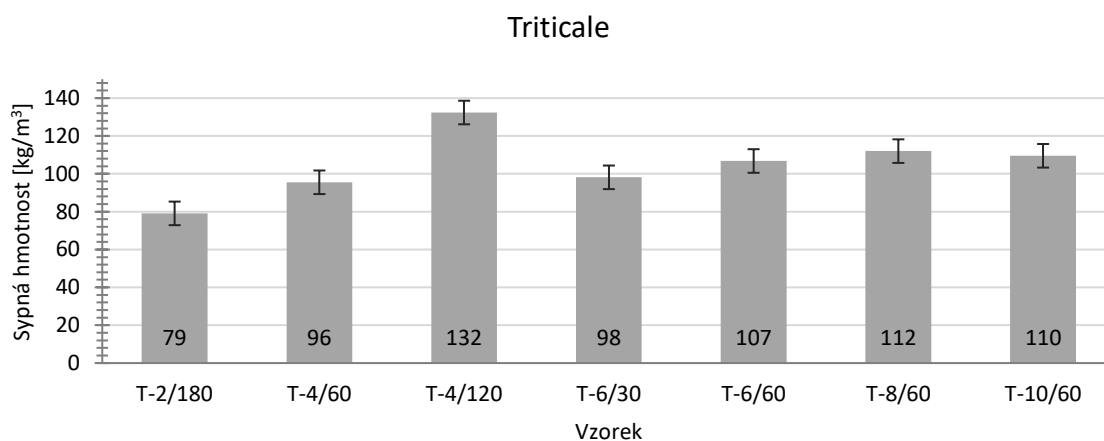
Graf 10: Srovnání sypných hmotností vzorků ječmene



Graf 11: Srovnání sypných hmotností vzorků ovsa



Graf 12: Srovnání sypných hmotností vzorků řepky olejné



Graf 13: Srovnání sypných hmotností vzorků triticale

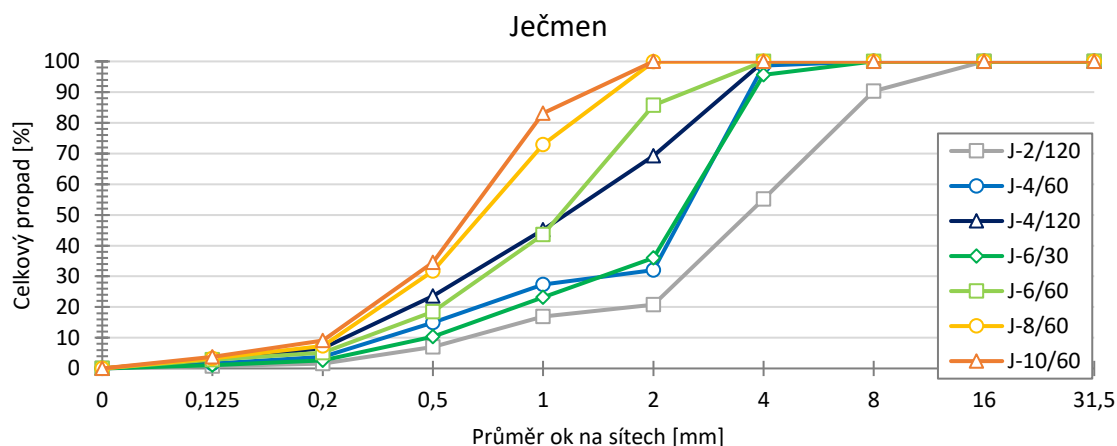
5.2 Výsledky síťových rozborů

Síťové rozborby jednotlivých vzorků byly prováděny dle normy ČSN EN 933-1. Výsledné hodnoty byly zaznamenány v Příloze 2, Tabulce 1-4. Dále byl proveden výpočet

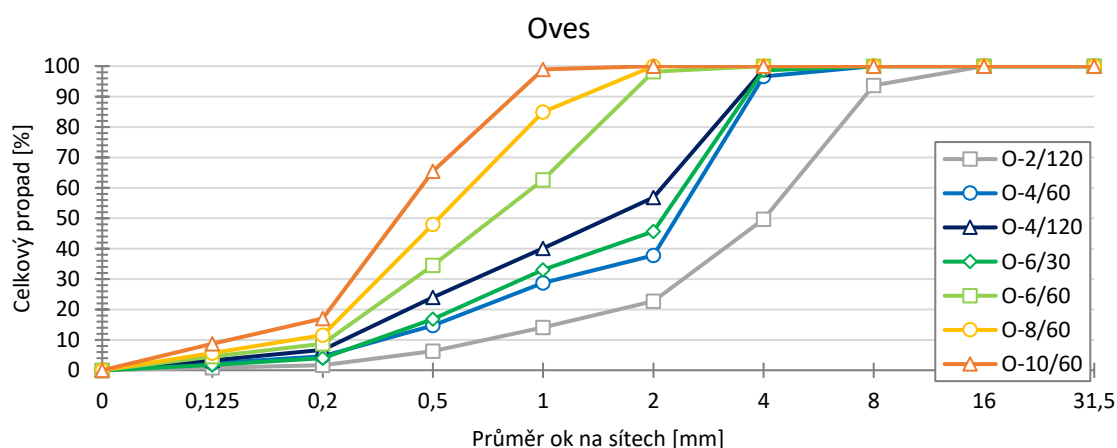
středních velikostí částic jednotlivých vzorků (viz Příloha 2, Tabulka 5-6) a stanovení hmotnostních podílů jemných částic pod 1 mm (viz Příloha 2, Tabulka 5-6). Rozměr zrna 1 mm byl zvolen jako rozhodující pro stanovení jemných podílů z toho důvodu, že právě částice pod 1 mm vykazují vysokou sypnou hmotnost a prašivost.

Ze získaných hodnot byly vytvořeny Graf 14-26, které potvrzují předpoklad, že se zvyšujícími se otáčkami a prodlužující se dobou mletí stoupají podíly jemných frakcí v materiálu, naopak se snižováním otáček a zkracováním časového intervalu mletí dochází ke zvyšování podílů hrubších částic.

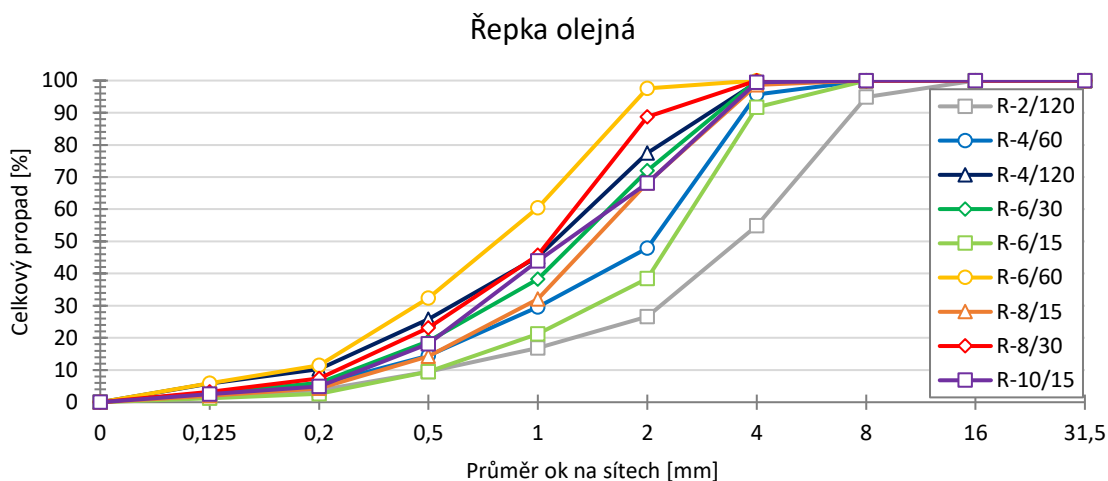
Na základě sítových rozborů a stanovení obsahů jemných podílů byly jako optimální vzorky pro stanovení tepelné vodivosti vybrány vzorky mechanicky rozvlákněné při 4 000 ot./min. a době mletí 60 s, které obsahovali do 50 hmot.% jemných částic. Vybrány byly tedy stejné vzorky jako při výběru podle sypné hmotnosti.



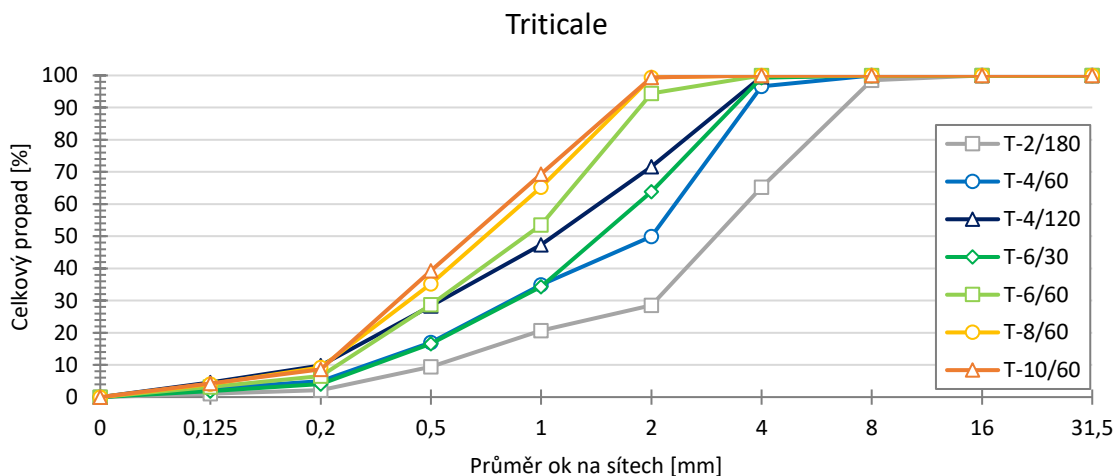
Graf 14: Sítový rozbor vzorků ječmene



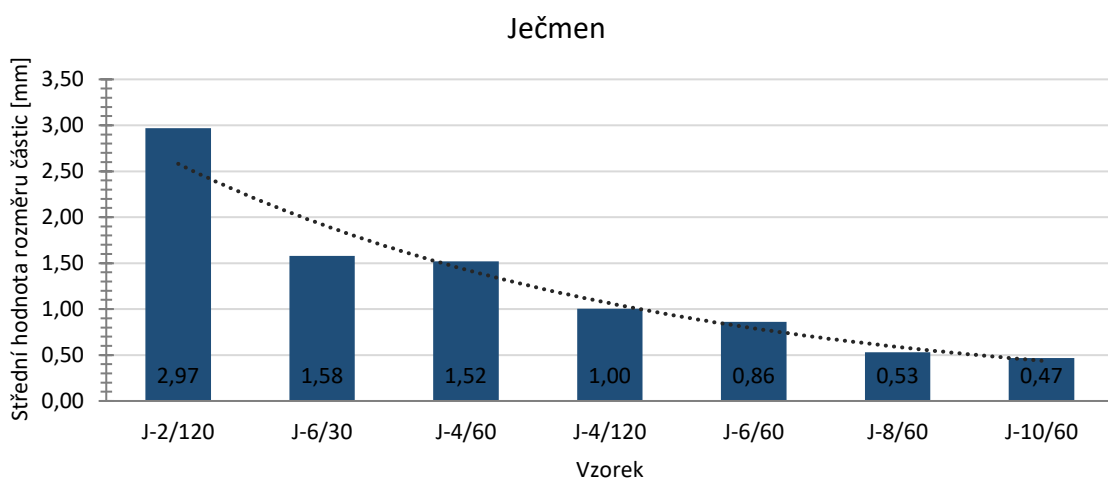
Graf 15: Sítový rozbor vzorků ovsa



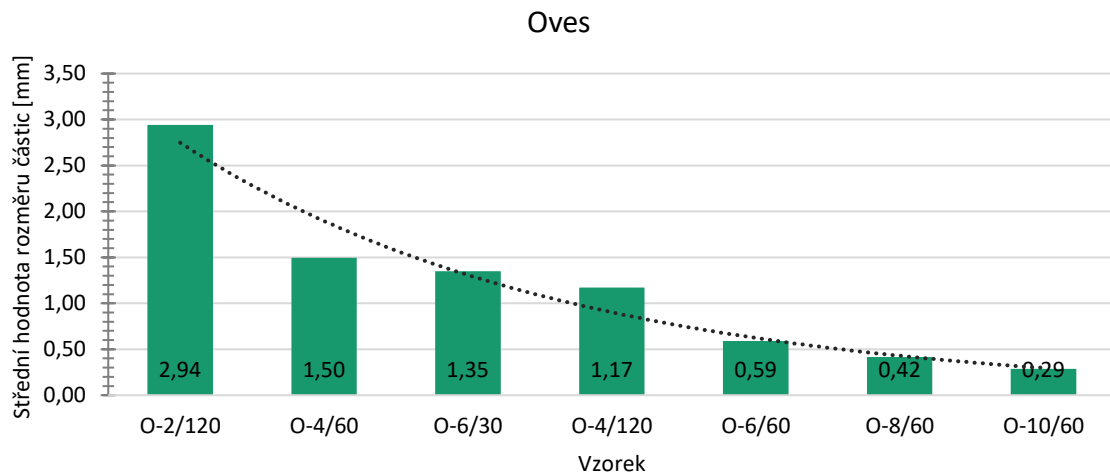
Graf 16: Sítový rozbor vzorků řepky olejné



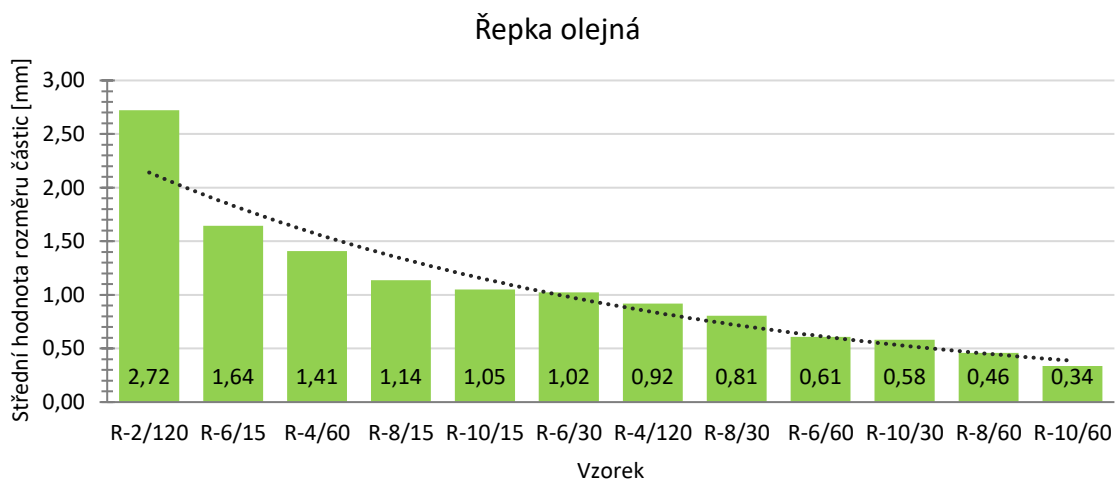
Graf 17: Sítový rozbor vzorků triticale



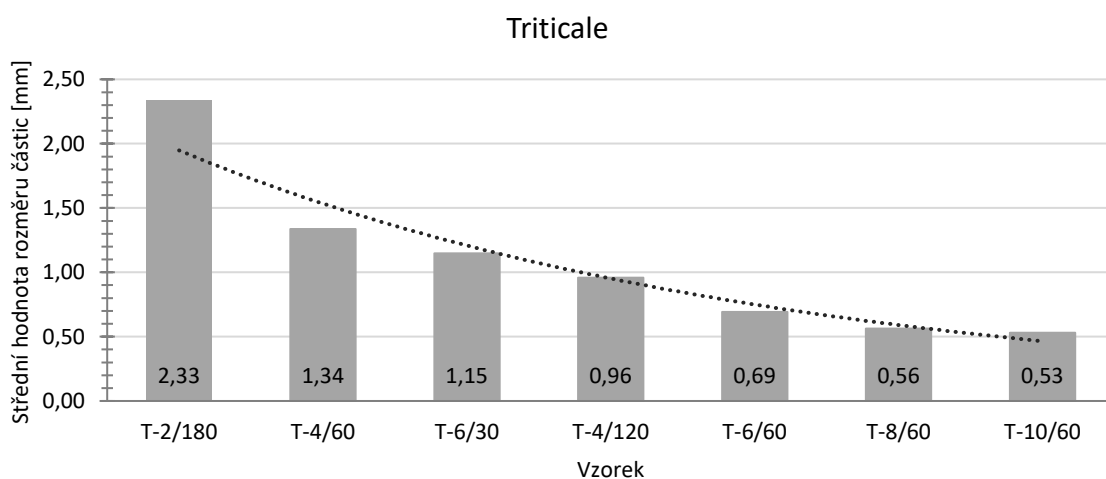
Graf 18: Srovnání středních velikostí částic vzorků ječmene



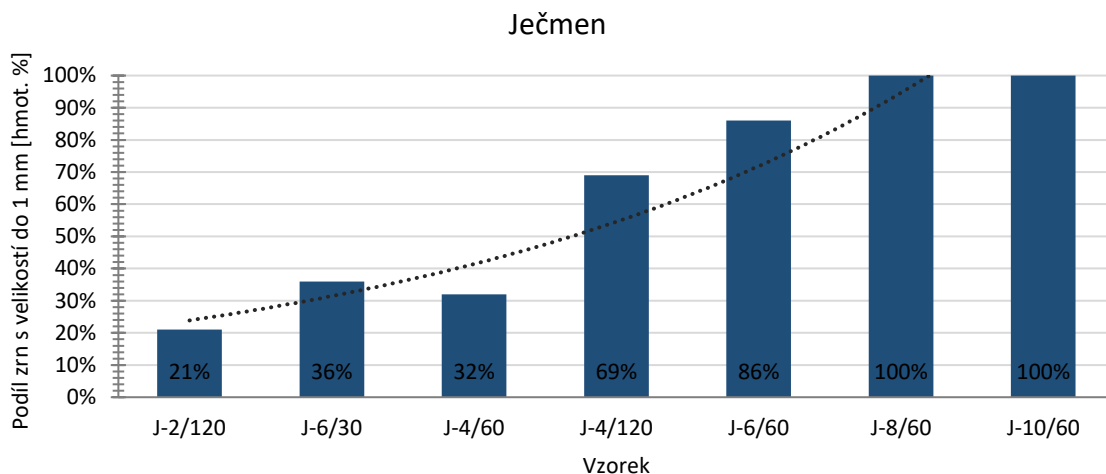
Graf 19: Srovnání středních velikostí částic vzorků ovsa



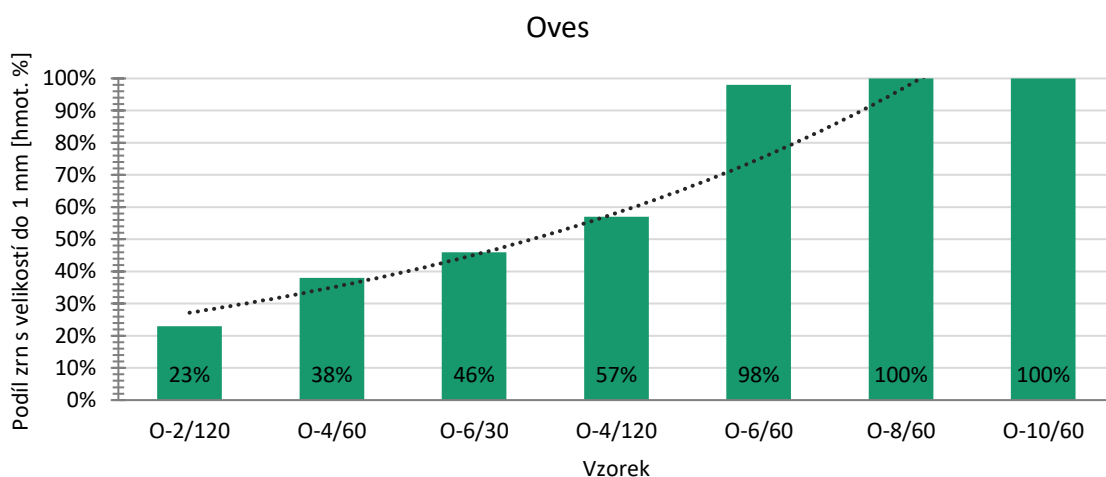
Graf 20: Srovnání středních velikostí částic vzorků řepky olejně



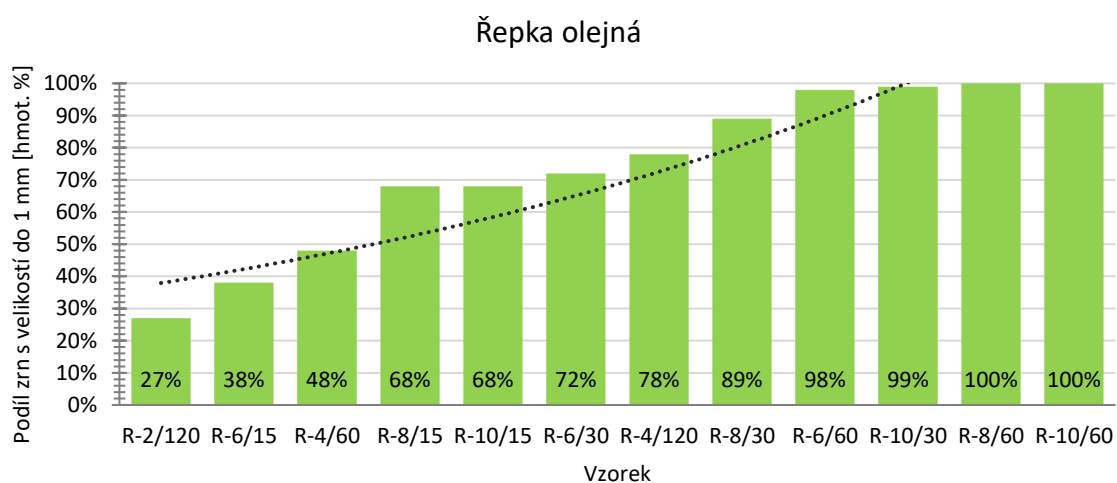
Graf 21: Srovnání středních velikostí částic vzorků triticale



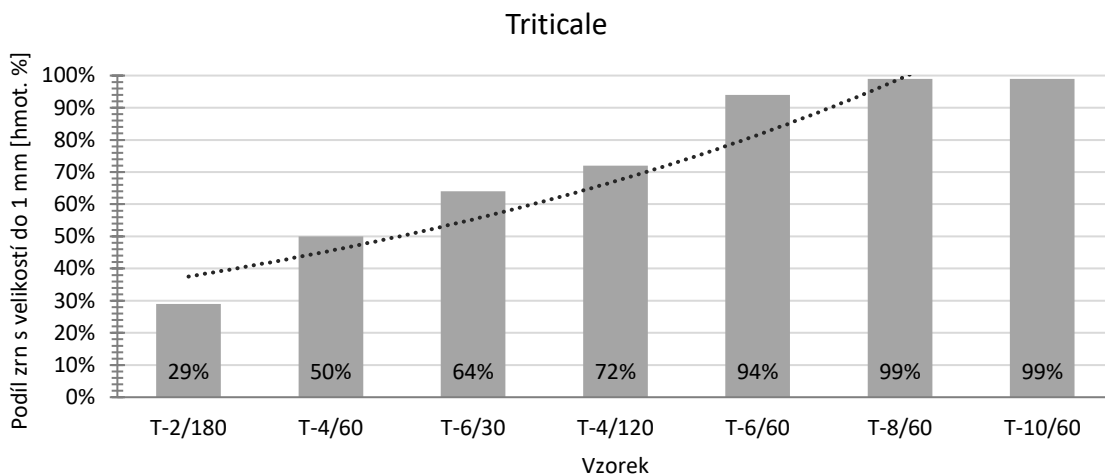
Graf 22: Srovnání hmotnostních podílů částic pod 1 mm u vzorků ječmene



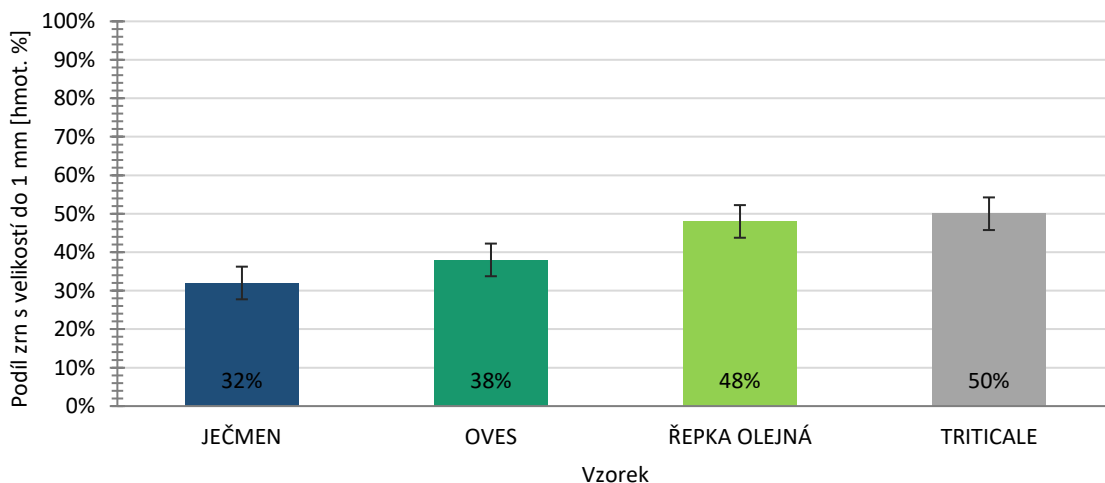
Graf 23: Srovnání hmotnostních podílů částic pod 1 mm u vzorků ovsa



Graf 24: Srovnání hmotnostních podílů částic pod 1 mm u vzorků ječmene řepky olejně



Graf 25: Srovnání hmotnostních podílů částic pod 1 mm u vzorků ječmene triticales



Graf 26: Srovnání obsahů jemných podílů u vzorků rozvlákněných na 4 000 ot./min. a 60 s

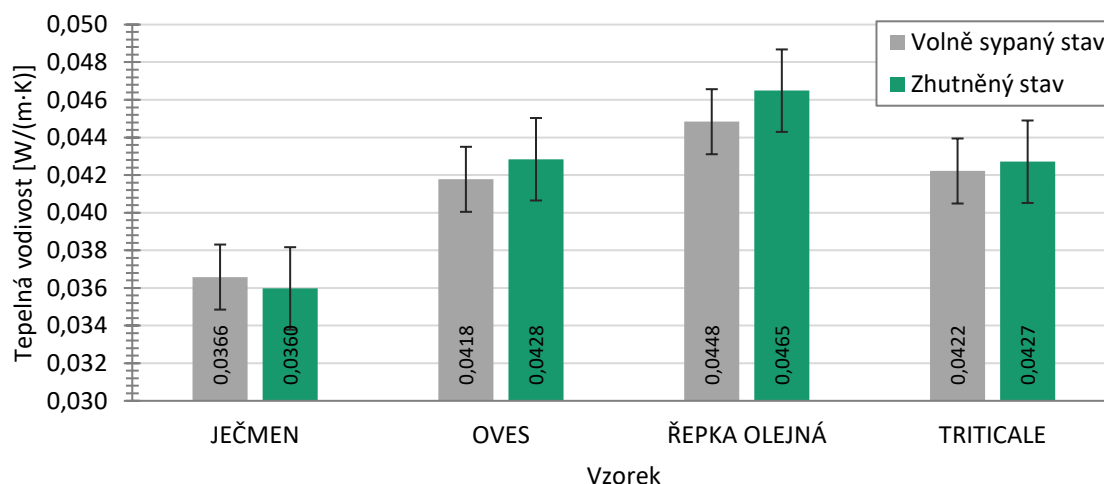
5.3 Výsledky stanovení součinitele tepelné vodivosti

Stanovení součinitele tepelné vodivosti bylo provedeno dle normy ČSN EN 12667 postupem dle ISO 8301 (ČSN 72 7012-3 metodou měřidla tepelného toku) na vzorcích všech druhů slámy rozvlákněných při 4 000 ot./min. a době mletí 60 s, vybraných jako optimální dle stanovení sypných hmotností a síťových rozborů. Na každém ze vzorků byly provedeny dvě série po třech měřeních součinitele tepelné vodivosti, přičemž první série měření byla prováděna na vzorku volně nasypaného materiálu a druhá série na ztuhnutém materiálu. Zároveň s těmito měřeními byly stanoveny tloušťky jednotlivých vrstev materiálů, ze kterých byly poté vypočítány sypné hmotnosti pro danou sérii měření. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 8.

Dle srovnání výsledných hodnot v Grafu 27 dosáhl nejnižších hodnot součinitele tepelné vodivosti ve volně sypaném i zhutněném stavu vzorek ječmenné slámy, naopak nejvyšších hodnot v obou stavech vzorek řepky olejné. Ječmenná sláma současně dosáhla také nejnižší sypné hmotnosti naopak řepková sláma nejvyšší sypné hmotnosti. Zajímavostí u ječmenné slámy kromě nejnižší tepelné vodivosti byl také fakt, že se zvýšením objemové hmotnosti u vzorku v zhutněném stavu došlo ke snížení tepelné vodivosti. U zbývajících vzorků byla s nárůstem objemové hmotnosti zaznamenána také zvyšující se tepelná vodivost.

Tabulka 8: Stanovení součinitele tepelné vodivosti

Materiál	OVES		JEČMEN		ŘEPKA OLEJNÁ		TRITICALE		
Vzorek	O-4/60		J-4/60		R-4/60		T-4/60		
Stav	Volně sypaný	Zhutněný	Volně sypaný	Zhutněný	Volně sypaný	Zhutněný	Volně sypaný	Zhutněný	
Rozměry [mm]	a	198,00							
	b	208,00							
	tl.	23,20	23,58	22,71	23,15	23,98	24,61	22,86	23,50
Hmotnost [g]	122,68	151,32	55,31	65,68	136,73	165,16	115,29	130,23	
Sypná hmotnost [kg/m ³]	128	156	59	69	138	163	122	135	
Tepelná vodivost [W/(m·K)]	Měření 1								
	0,0420	0,0429	0,0367	0,0361	0,0451	0,0466	0,0424	0,0428	
	Měření 2								
	0,0418	0,0429	0,0367	0,0359	0,0448	0,0465	0,0421	0,0427	
	Měření 3								
	0,0415	0,0428	0,0363	0,0359	0,0446	0,0464	0,0421	0,0426	
	Průměrné hodnoty								
0,0418	0,0428	0,0366	0,0360	0,0448	0,0465	0,0422	0,0427		



Graf 27: Srovnání tepelných vodivostí vzorků ve volně sypaném a zhutněném stavu

6. Diskuse výsledků

V rámci praktické části práce byly provedeny zkoušky na čtyřech druzích slámy, a to slámy z ječmene, ovesa, řepky olejné a triticales. Jednotlivé druhy slámy byly mechanicky rozvlákněny nožovým mlýnem a poté podrobeny stanovení sypné hmotnosti, síťovému rozboru a stanovení tepelné vodivosti.

V první fázi bylo provedeno na jednotlivých vzorcích z každého druhu slámy makroskopické posouzení částic, přičemž byly hledány optimální intervaly mletí tak, aby vzorek obsahoval zejména částice z intervalu cca 1-3 mm. Horní mez intervalu byla zvolena tak, aby částice nebyly příliš dlouhé pro zpracování. Dolní mez intervalu byla zvolena tak, aby částice neprášili a nezvyšovali sypnou hmotnost materiálu.

Dále bylo provedeno stanovení sypných hmotností a srovnání výsledných hodnot. Dle tohoto srovnání lze obecně usuzovat, že se zvyšujícími se otáčkami mlecího zařízení a prodlužující se dobou mletí dochází ke zvyšování jemných podílů důsledkem čehož má sypná hmotnost rostoucí trend. Dále byl dle srovnání jednotlivých sypných hmotností proveden výběr vzorků potenciálně vhodných pro výrobu tepelněizolačních materiálů. U všech druhů slámy byly zvoleny vzorky mechanicky rozvlákněné při 4 000 ot./min. a době mletí 60 s. Nejnižší sypné hmotnosti 72 kg/m^3 bylo dosaženo tímto způsobem rozvláknění u vzorku ječmenné slámy. Dále následovali vzorek slámy z triticales se sypnou hmotností 96 kg/m^3 a vzorek z ovesné slámy se sypnou hmotností 124 kg/m^3 . Nejvyšší hodnoty sypné hmotnosti 152 kg/m^3 dosáhl vzorek slámy z řepky olejné.

Sítový rozbor a stanovení obsahu jemných podílů pod 1 mm potvrzuje výše uvedené tvrzení, že se zvyšující se frekvencí otáček a prodlužující se dobou mletí dochází k navyšování jemných podílů. Jako optimální byly v tomto případě zvoleny vzorky rozvlákněvané při 4 000 ot./min. a 60 s, shodně jako u stanovení sypné hmotnosti. Volba byla provedena na základě vyhodnocení procentuálních podílů jemných částic, přičemž tyto vzorky dosáhli obsahu jemných částic do 50 hmot. %. Nejnižší podíl jemných částic 32 hmot. % byl zaznamenán u vzorku ječmenné slámy, přičemž střední velikost částic byla 1,52 mm, dále následoval vzorek ovesné slámy s 38 hmot. % a střední velikostí částic 1,50 mm, vzorek řepky olejné s 48 hmot. % a střední velikostí částic 1,41 mm a nejvyšší obsah jemných podílů 50 % dosáhl vzorek triticales se střední velikostí částic 1,34 mm.

Na základě stanovení sypných hmotností a provedených síťových rozbořech byly vzorky rozvlákněné při 4 000 ot./min a 60 s podrobeny stanovení tepelné vodivosti. Nejnižší

tepelné vodivosti ve volně sypaném stavu dosáhl vzorek ječmene, a to 0,0366 W/(m·K), dále vzorek ovsa 0,0418 W/(m·K), vzorek triticales 0,0422 W/(m·K) a nejvyšší tepelné vodivosti vzorek řepky olejné 0,0448 W/(m·K). Po zhutnění byly naměřené hodnoty pro ječmen 0,0360 W/(m·K), triticales 0,0427 W/(m·K), oves 0,0428 W/(m·K), a řepku olejnou 0,0465 W/(m·K). Zajímavostí bylo, že u ječmene po zhutnění došlo ke snížení tepelné vodivosti oproti stavu volně sypanému (toto je typické pro klasické tepelně izolační materiály). Je tedy patrné, že optimum objemové hmotnosti je vyšší než objemová hmotnost ve volně sypaném stavu, což je velmi výhodné z hlediska ukládání tohoto izolantu do konstrukce, protože je možné materiál zhutnit bez zhoršení tepelně izolačních vlastností a tím omezit jeho sesedání ve svislé nebo šikmé konstrukci.

Z provedených laboratorních zkoušek vyplývá, že nejvhodnější surovinou pro mechanické rozvlákňování nožovým mlýnem je sláma z ječmene, přičemž jako optimální se jeví proces rozvlákňování při frekvenci 4 000 ot./min. a době mletí 60 s. Surovina rozvlákněná tímto způsobem dosahuje nejnižší sypné hmotnosti a nejnižší tepelné vodivosti. Dosáhla také nejnižšího množství jemných podílů, které zabezpečuje nižší prašnost materiálu. Jelikož se jedná o materiál lehký a málo prašný jeví se jako optimální technologie pro zpracovávání tohoto druhu materiálu technologie foukaných izolací. Výhodou je v tomto případě, že ječmenná sláma dosahuje nižších tepelných vodivostí v zhutněném stavu, což má příznivý dopad v případě sléhání foukané tepelné izolace. Pro kompletní vývoj tepelněizolačního materiálu by bylo potřebné materiál dále ošetřovat proti účinkům požáru, vlhkosti, plísním a škůdcům. Pro tyto účely jsou však vhodné stávající metody, které nemají výrazný vliv na tepelněizolační vlastnosti foukaného materiálu.

IV. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala vývojem tepelněizolačních materiálů na bázi přírodních surovin, zejména celulózy.

V teoretické části této bakalářské práce byly popsány některé technologie vhodné pro výrobu tepelněizolačních materiálů z přírodních vláken. Dále byly zmapovány surovinové zdroje na bázi celulózy, ze kterých jako nejvhodnější vycházely suroviny vznikající jako odpad v zemědělském odvětví. Dále byl proveden průzkum tepelněizolačních materiálů vyráběných z přírodních materiálů. Tyto materiály byly následně porovnány z hlediska funkčních vlastností a životního cyklu.

Na základě poznatků získaných při zpracovávání teoretické části této práce byly vybrány surovinové zdroje pro výrobu tepelněizolačních materiálů na báze celulózy z oblasti zemědělství. Konkrétně se jednalo o ječmennou a ovesnou slámu, slámu z triticales a slámu z řepky olejné. Na těchto surovinách bylo provedeno mechanické rozvláknění na nožovém mlýnu a na vzorcích poté stanovení sypných hmotností, sítové rozborů a stanovení součinitelů tepelné vodivosti.

Jako nejvhodnější surovina se ze zkoumaných vzorků na základě provedených zkoušek pro výrobu tepelněizolačních materiálů jeví ječmenná sláma, připravená mechanickým rozvlákněním nožovým mlýnem s frekvencí 4 000 ot./min. po dobu 60 s. Ječmenná sláma dosáhla při tomto způsobu rozvláknění nejnižší sypné hmotnosti ze všech vzorků, a to 72 kg/m^3 , nejnižšího podílu jemných částic 32 hmot. % se střední velikostí částic 1,52 mm a nejnižších tepelných vodivostí. Ve volně sypaném stavu byla dosažena tepelná vodivost $0,0366 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ a ve zhutněném stavu $0,0360 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Vzhledem k charakteru materiálu a jeho vlastnostem byla jako optimální pro využití této suroviny zvolena technologie foukaných tepelných izolací.

Z naměřených hodnot součinitelů tepelné vodivosti, které se pohybovali u jednotlivých druhů slámy v rozmezí $0,0363\text{-}0,0457 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ lze usuzovat, že se jedná o materiály potenciálně vhodné pro tepelněizolační materiály. Co se týče tepelněizolačních materiálů nejběžněji používaných ve stavební praxi vykazuje EPS součinitel tepelné vodivosti přibližně $0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, XPS $0,034 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ a minerální vlna $0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Z těchto hodnot vyplývá, že při zvolení vhodného způsobu rozvláknění a technologie výroby lze vyrábět ze slámy tepelné izolanty blízké se svými vlastnostmi vlastnostem materiálů běžně používaných ve stavební praxi.

Seznam použité literatury

- [1] IACOB, Florea, Elena JUMATE, Daniela MANEA a Radu FECHETE. NMR Study on New Natural Building Materials. *Procedia Manufacturing*. 2019/01/01, **32**, 224-229. Dostupné z: doi:10.1016/j.promfg.2019.02.206
- [2] FICKER, Tomáš. *Handbook of building thermal technology, acoustics and daylighting: Příručka stavební tepelné techniky, akustiky a denního osvětlení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2670-5.
- [3] ŠTĀSTNÍK, Stanislav. *Fyzika stavebních látek - Modul M01: Fyzikální vlastnosti stavebních materiálů a konstrukcí*. Brno, 2006.
- [4] Kinematika. *Ústav fyziky a materiálového inženýrství: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně - Fakulta technologická* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://ufmi.ft.utb.cz/texty/el_mag/F2_10.pdf
- [5] ČSN 73 0540-1. *Tepelná ochrana budov: Část 1: Terminologie*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [6] ČSN EN ISO 9229. *Tepelné izolace: Terminologie*. Česká agentura pro standardizaci, 2021.
- [7] ZACH, Jiří. *Speciální izolace: BJ13*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006.
- [8] Přednosti a vlastnosti. *REFAGLASS* [online]. c2019 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.refaglass.cz/vlastnosti/>
- [9] Základní druhy izolačních materiálů. *CzechUps* [online]. 2020, 4. 10. 2020 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://czechups.com/cim-izolovat-zakladni-druhy-izolacnich-materialu/>
- [10] Stavební tepelné izolace - přehled trhu. *Tzb-info* [online]. c2001-2023, 20. 3. 2007 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3991-stavebni-tepelne-izolace-prehled-trhu>
- [11] *BJ007 - Izolační materiály: Návod do cvičení*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2022.
- [12] ČSN EN 823. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení tloušťky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [13] ČSN EN 12431. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení tloušťky izolačních výrobků pro plovoucí podlahy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [14] ČSN EN 15101-1+A1. *Tepelněizolační výrobky pro budovy - Výrobky z volně sypané celulózy (LFCI) vyráběné in situ: Část 1: Specifikace pro výrobky před zabudováním*. Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [15] ČSN EN ISO 29767. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení krátkodobé nasákavosti při částečném ponoření*. Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [16] ČSN EN ISO 16535. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení slouhodobé nasákavosti při ponoření*. Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [17] ČSN EN 826. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Zkouška tlakem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [18] ČSN EN 12090. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Zkouška smyku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [19] ČSN EN 825. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení rovinnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [20] ČSN EN 824. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení pravoúhlosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [21] ČSN EN 12086. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení propustnosti vodní páry*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [22] ČSN EN 1606. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví: Stanovení dotvarování tlakem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [23] ČSN EN 1604. *Tepelněizolační výrobky pro použití ve stavebnictví - Stanovení rozměrové stability za určených teplotách a vlhkostních podmínek*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [24] ČSN EN ISO 9053-1. *Akusitka - Určení odporu proti proudění vzduchu: Část 1: Metoda statického proudění vzduchu*. Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [25] ČSN EN ISO 9053-2. *Akusitka - Určení odporu proti proudění vzduchu: Část 2: Alternativní metoda proudění vzduchu*. Česká agentura pro standardizaci, 2021.
- [26] ČSN EN ISO 354. *Akusitka - Měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [27] ČSN ISO 9052-1. *Stanovení dynamické tuhosti: Část 1: Materiály pro izolaci plovoucích podlah v bytových objektech*. Praha: Centrum služeb pro normalizaci, 1992.
- [28] ČSN EN 13501-1. *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb: Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň*. Česká agentura pro standardizaci, 2019.
- [29] JIRSÁK, Oldřich a Klára KALINOVÁ. *Netkané textilie* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/47069817-Netkane-textilie-prof-rndr-oldrich-jirsak-csc-ing-klara-kalinova-ph-d.html>

- [30] ŠAMONILOVÁ, Vlasta. *Vlastnosti Iněných směsových přízí vypředených z vláken připravených na zařízení REA 120*. Liberec. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní. Vedoucí práce Doc.Dr.Ing. Dana Křemenáková.
- [31] Vlákno. *Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích: Fakulta zemědělská a technologická* [online]. c2021 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Vlakno.htm>
- [32] *Konopí - biomasa pro život*. Chvaleč: Konopa, 2007. ISBN 978-80-254-1149-0.
- [33] HROUDOVÁ, Jitka. *Vývoj a výzkum environmentálně úsporných izolačních materiálů*. Brno, 2013. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D.
- [34] LOSKOT, Vít. *Způsob zvýšení tloušťky vyráběné netkané textilie*. Liberec, 2011. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní.
- [35] MACH, Pavel. *Konstrukční řešení řezacího zařízení pro objemové netkané textilie ve výrobní lince*. Liberec, 2011. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní.
- [36] BÖHM, Martin a Jan REISNER. Dřevovláknité desky (DVD). *LESNICKÁ PRÁCE: NAKLADATELSTVÍ A VYDAVATELSTVÍ* [online]. c2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-89-2010/lesnicka-prace-c-6-10/drevovlaknite-desky-dvd>
- [37] RAUNKJÆR STUBDRUP, Kristine, Panagiotis KARLIS, Serge ROUDIER a Luis DELGADO SANCHO. *Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách (BAT) pro výrobu desek na bázi dřeva: Směrnice o průmyslových emisích 2010/75/EU (integrované prevenci a omezování znečištění)*. Evropská unie, 2016. ISBN 978-92-79-54949-6. Dostupné z: doi:10.2791/21807
- [38] BÖHM, Martin, Jan REISNER, Jan BOMBA a Jiří LUKÁŠEK. Materiály na bázi dřeva: Měkké dřevovláknité desky. *Materiály na bázi dřeva* [online]. c2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://drevene-materialy.fld.czu.cz/katalog/materialy/detail/?plodina_id=114&ref=%2Fkatalog%2Fmaterialy%2Flist%2F%3Fskupina_id%3D105
- [39] Foukané celulózoové vlákno. *Izotrade.s.r.o.: Foukaná tepelná izolace* [online]. 2016 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.izolace-izotrade.cz/foukana-izolace/foukane-celulozove-vlakno.html>
- [40] Micro Tex Insulation. *ANT. PETR* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.antpetr.cz/micro-tex-insulation/>
- [41] CLIMAWOOD. *KANEV IZOLACE* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.izolace-kanev.cz/produkty/climawood/>
- [42] Ušetřete díky foukané izolaci. *Izotrade.s.r.o.: Foukaná tepelná izolace* [online]. 2016 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.izolace-izotrade.cz/foukana-izolace.html>
- [43] Technologie. *Izotrade.s.r.o.: Foukaná tepelná izolace* [online]. 2016 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.izolace-izotrade.cz/foukana-izolace/technologie.html>
- [44] ADOLFOVÁ, Terezie. *Využití celulózy a jejích modifikací v biologii a medicíně*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Helena Nejezchlebová, Ph.D.
- [45] TEPLÁ, Milada. Biochemie - základní kapitoly: Přírodní látky: Sacharidy. *Www.studiumbiochemie.cz* [online]. 2013 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: http://www.studiumbiochemie.cz/prirodni_latky.html
- [46] TECHNICKÉ PLODINY (TEXTILNÍ ROSTLINY, OKOPAINY). MUNI ARTS: Digitální knihovna Filozofické fakulty Masarykovy univerzity [online]. c2022 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://digilib.phil.muni.cz/_flysystem/fedora/pdf/131122.pdf
- [47] VACKOVÁ, Kateřina. *Úprava povrchových vlastností celulózoových derivátů fyzikálními a chemickými postupy*. Zlín, 2008. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce Prof. Ing. Lubomír Lapčík Dr.Sc;Dr.h.c.
- [48] Lignin. *MeziStromy.sz: Vzdělávací portál* [online]. c2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/slovník/lignin>
- [49] MANSOURI, Nour-Eddine, Francisc-Xavier ESPINACH, F. JULIAN, Narcis VERDAGUER, Lluís TORRES, Miquel LLOP a Pere MUTJÉ. Research on the suitability of organosolv semi-chemical triticale fibers as reinforcement for recycled HDPE composites. *Bioresources*. 2012/08/27, 7. Dostupné z: doi:10.15376/biores.7.4.5032-5047
- [50] ZOMMERE, Gunta, Ausma VILUMSONE, Dace KALNINA, Rita SOLIENKO a Veneranda STRAMKALE. Comparative Analysis of Fiber Structure and Cellulose Contents in Flax and Hemp Fibres. *Materials Science. Textile and Clothing Technology*. 2014/02/06, 8, 96. Dostupné z: doi:10.7250/mstct.2013.016
- [51] Ji, Wenchao, Zhemin SHEN a Yujian WEN. A Continuous Hydrothermal Saccharification Approach of Rape Straw Using Dilute Sulfuric Acid. *BioEnergy Research*. 2014/12/01, 7, 1392-1401. Dostupné z: doi:10.1007/s12155-014-9468-y
- [52] TARASOV, Dmitry, Mathew LEITCH a Pedram FATEHI. Lignin-carbohydrate complexes: properties, applications, analyses, and methods of extraction: a review: properties, applications, analyses, and methods

- of extraction. *Biotechnology for Biofuels*. 2018, **11**(1), 269. ISSN 1754-6834. Dostupné z: doi:10.1186/s13068-018-1262-1
- [53] ENERGY CHARACTERISTICS OF SUNFLOWER BY-PRODUCTS. *SAF: Sustainable Agribusiness Forum* [online]. c2017-2023, 13. 04. 2021 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://saf.org.ua/en/news/1172/>
- [54] PASSOTH, Volkmar a Mats SANDGREN. Biofuel production from straw hydrolysates: current achievements and perspectives: current achievements and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019, **103**(13), 5105-5116. ISSN 1432-0614. Dostupné z: doi:10.1007/s00253-019-09863-3
- [55] Situační a výhledová zpráva. [Praha]: Ministerstvo zemědělství České republiky, [1994]-. ISBN 978-80-7434-651-4. ISSN 1211-7692.
- [56] *Zemědělství*. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, [1998?]-. ISBN 978-80-7434-660-6.
- [57] TECHNICKÁ PLODINA. *CETRUM PRE TRADIČNÚ LUDOVÚ KULTÚRU* [online]. c2014-2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.ludovakultura.sk/polozka-encyklopedie/technicka-plodina/>
- [58] URBAN, Josef. *Hodnocení sklízecích mlátiček FENDT 8350 a CLAAS Lexion 580 TERRA TRAC*. České Budějovice, 2009. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské techniky a služeb. Vedoucí práce Ing. Milan Frid, CSc.
- [59] KOČ, Břetislav. Sláma pod kotel, ale i do nádrže auta. *TRÍPÓL - časopis pro studenty: e-zin popularizující vědu a techniku* [online]. Tábor, 2014, 9. dubna 2010 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/1029-slama-pod-kotel-ale-i-do-nadrze-auta>
- [60] Sláma: sklizeň, zpracování. *Zemědělec: Odborný a stavovský týdeník* [online]. c2023, 10. 06. 2011 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/slama-sklizen-zpracovani/>
- [61] Expandované izolační korkové desky 30x500x1000mm tepelná a akustická izolace stěn. *Kork24.cz: váš obchod s korkem* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://kork24.cz/shop/32-korkova-izolace-tepelna-a-zvukova-deska/327-expandovane-izolacni-korkove-desky-30x500x1000mm-tepelna-a-akusticka-izolace-sten/>
- [62] Přírodní korková podložka pod podlahy - role 10 m², 6 mm. *LaSamba.cz* [online]. c2012-2022 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: https://www.lasamba.cz/prirodni-korkova-podlozka-pod-podlahy-role-10-m-2-6-mm-p9117?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=gads_18136732741&utm_term=&gclid=Cj0KCQjwmZejBhC_ARIsAGhCqnfVRCuDuOIIIGZiPBmlCVV-Kd_m-pmwDO-hUUUiB4OU_dKoVorRCaY8aAh-9EALw_wcB
- [63] *IZOLACE-INFO: INFORMAČNÍ PORTÁL* [online]. c2008-2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/>
- [64] IACOB, Florea a Daniela MANEA. Analysis of Thermal Insulation Building Materials Based on Natural Fibers. *Procedia Manufacturing*. 2019/01/01, **32**, 230-235. Dostupné z: doi:10.1016/j.promfg.2019.02.207
- [65] ŽIVOTNÍ CYKLUS VÝROBKŮ A TETODA JEHO POSOUZENÍ. *ODPOVĚDNÁ SPOTŘEBA* [online]. [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <http://odpovednaspotreba.cz/odborne-podklady/zivotni-cyklus-vyrobku/>
- [66] Life Cycle Stages. *One Click LCA* [online]. 07. 02. 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015064999-Life-Cycle-Stages>
- [67] HODKOVÁ, Julie. Která tepelná izolace je nejvíce eko?. *Ekolist.cz* [online]. 1. 3. 2011 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/julie-hodkova-ktera-tepelna-izolace-je-nejvice-eko>
- [68] Slovník pojmů. *Envimat: stavební výrobky a životní prostředí* [online]. c2010-2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/metodika/pojmy/#potencial-eutrofizace-prostredi>
- [69] *Envimat: stavební výrobky a životní prostředí* [online]. c2010-2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/>

Seznam grafů

Graf 1: Podíl jednotlivých druhů plodin na osevní ploše za rok 2021	32
Graf 2: Podíl jednotlivých druhů obilovin na osevní ploše za rok 2021	33
Graf 3: Podíl jednotlivých druhů technických plodin na osevní ploše za rok 2021	33
Graf 4: Porovnání objemových hmotností.....	38
Graf 5: Porovnání tepelných vodivostí.....	38
Graf 6: Porovnání svázaných emisí CO ₂	39
Graf 7: Porovnání svázaných emisí SO ₂	39
Graf 8: Porovnání množství svázané energie	39
Graf 9: Srovnání vzorků rozvlákněných při 4 000 ot./min. a době mletí 60 s	46
Graf 10: Srovnání sypaných hmotností vzorků ječmene	46

Graf 11: Srovnání sypaných hmotností vzorků ovsu.....	47
Graf 12: Srovnání sypaných hmotností vzorků řepky olejné.....	47
Graf 13: Srovnání sypaných hmotností vzorků triticales.....	47
Graf 14: Síťový rozbor vzorků ječmene.....	48
Graf 15: Síťový rozbor vzorků ovsu.....	48
Graf 16: Síťový rozbor vzorků řepky olejné.....	49
Graf 17: Síťový rozbor vzorků triticales.....	49
Graf 18: Srovnání středních velikostí částic vzorků ječmene.....	49
Graf 19: Srovnání středních velikostí částic vzorků ovsu.....	50
Graf 20: Srovnání středních velikostí částic vzorků řepky olejné.....	50
Graf 21: Srovnání středních velikostí částic vzorků triticales.....	50
Graf 22: Srovnání hmotnostních podílů částic pod 1 mm u vzorků ječmene.....	51
Graf 23: Srovnání hmotnostních podílů částic pod 1 mm u vzorků ovsu.....	51
Graf 24: Srovnání hmotnostních podílů částic pod 1 mm u vzorků ječmene řepky olejné.....	51
Graf 25: Srovnání hmotnostních podílů částic pod 1 mm u vzorků ječmene triticales.....	52
Graf 26: Srovnání obsahů jemných podílů u vzorků rozvlákněných na 4 000 ot./min. a 60 s.....	52
Graf 27: Srovnání tepelných vodivostí vzorků ve volně sypaném a zhutněném stavu.....	53

Seznam obrázků

Obrázek 1: Vrstvení vlákně pavučiny v podélném směru.....	22
Obrázek 2: Vrstvení vlákně pavučiny v příčném směru.....	22
Obrázek 3: Uspořádání vpichovacího stroje.....	24
Obrázek 4: Průřez hubicí pro výrobu bikomponentního vlákna typu jádro-plášť.....	27
Obrázek 5: Schéma STRUTO® agregátu.....	27
Obrázek 6: Schéma β -D-glukózového řetězce.....	31
Obrázek 7: Fáze životního cyklu stavebních materiálů.....	36
Obrázek 8: Nožový mlýn Pulverisette 11.....	40
Obrázek 9: Zvolené druhy surovin ze zemědělství.....	41
Obrázek 10: Stanovení tepelné vodivosti.....	44
Obrázek 11: Vzorky ječmenné slámy po mechanickém rozvláknění.....	44
Obrázek 12: Vzorky ovesné slámy po mechanickém rozvláknění.....	45
Obrázek 13: Vzorky slámy z řepky olejné po mechanickém rozvláknění.....	45
Obrázek 14: Vzorky slámy z triticales po mechanickém rozvláknění.....	45

Seznam tabulek

Tabulka 1: Chemické složení vybraných přírodních materiálů.....	31
Tabulka 2: Osevné plochy a výnosy jednotlivých druhů plodin pěstovaných za rok 2021.....	32
Tabulka 3: Osevné plochy a výnosy jednotlivých druhů obilovin za rok 2021.....	32
Tabulka 4: Osevné plochy a výnosy jednotlivých druhů technických plodin za rok 2021.....	33
Tabulka 5: Přehled tepelněizolačních materiálů na báze celulózy dostupných v ČR.....	35
Tabulka 6: Porovnání vlastností a vlivů na životní prostředí konvenčních tepelných izolací.....	38
Tabulka 7: Seznam vzorků.....	42
Tabulka 8: Stanovení součinitele tepelné vodivosti.....	53

Tabulka 3: Sítový rozbor triticale

Materiál	Vzorek	T-2/180	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	T-4/160	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]
		Navážka [g]	m [g]			m [g]			
	Síto [mm]	7,50				12,00			
	31,5	0,00	0,00	7,39	100,00	0,00	0,00	11,81	100,00
	16	0,00	0,00	7,39	100,00	0,00	0,00	11,81	100,00
	8	0,11	1,49	7,28	98,51	0,00	0,00	11,81	100,00
	4	2,46	33,29	4,82	65,22	0,40	3,39	11,41	96,61
	2	2,71	36,67	2,11	28,55	5,51	46,66	5,90	49,96
	1	0,58	7,85	1,53	20,70	1,78	15,07	4,12	34,89
	0,5	0,83	11,23	0,70	9,47	2,11	17,87	2,01	17,02
	0,2	0,54	7,31	0,16	2,17	1,42	12,02	0,59	5,00
	0,125	0,08	1,08	0,08	1,08	0,28	2,37	0,31	2,62
	0	0,08	1,08	0,00	0,00	0,31	2,62	0,00	0,00
	Suma	7,39	100,00			11,81	100,00		
	Vzorek	T-4/120	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	T-6/30	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]
	Navážka [g]	12,50				13,29			
	Síto [mm]					m [g]			
	31,5	0,00	0,00	12,26	100,00	0,00	0,00	13,16	100,00
	16	0,00	0,00	12,26	100,00	0,00	0,00	13,16	100,00
	8	0,00	0,00	12,26	100,00	0,00	0,00	13,16	100,00
	4	0,05	0,41	12,21	99,59	0,09	1,22	13,07	99,32
	2	3,43	27,98	8,78	71,62	4,66	63,06	8,41	63,91
	1	2,98	24,31	5,80	47,31	3,89	52,64	4,52	34,35
	0,5	2,33	19,00	3,47	28,30	2,33	31,53	2,19	16,64
	0,2	2,26	18,43	1,21	9,87	1,66	22,46	0,53	4,03
	0,125	0,65	5,30	0,56	4,57	0,29	3,92	0,24	1,82
	0	0,56	4,57	0,00	0,00	0,24	3,25	0,00	0,00
	Suma	12,26	100,00			13,16	178,08		
	Vzorek	T-6/60	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	T-8/60	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]
	Navážka [g]	9,74				11,35			
	Síto [mm]					m [g]			
	31,5	0,00	0,00	9,56	100,00	0,00	0,00	11,10	100,00
	16	0,00	0,00	9,56	100,00	0,00	0,00	11,10	100,00
	8	0,00	0,00	9,56	100,00	0,00	0,00	11,10	100,00
	4	0,00	0,00	9,56	100,00	0,00	0,00	11,10	100,00
	2	0,53	5,54	9,03	94,46	0,07	0,63	11,03	99,37
	1	3,91	40,90	5,12	53,56	3,79	34,14	7,24	65,23
	0,5	2,37	24,79	2,75	28,77	3,33	30,00	3,91	35,23
	0,2	2,12	22,18	0,63	6,59	2,89	26,04	1,02	9,19
	0,125	0,33	3,45	0,30	3,14	0,57	5,14	0,45	4,05
	0	0,30	3,14	0,00	0,00	0,45	4,05	0,00	0,00
	Suma	9,56	100,00			11,10	100,00		
	Vzorek	T-10/60	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]				
	Navážka [g]	11,91							
	Síto [mm]								
	31,5	0,00	0,00	11,76	100,00				
	16	0,00	0,00	11,76	100,00				
	8	0,00	0,00	11,76	100,00				
	4	0,00	0,00	11,76	100,00				
	2	0,07	0,63	11,69	99,40				
	1	3,54	31,89	8,15	69,30				
	0,5	3,53	31,80	4,62	39,29				
	0,2	3,60	32,43	1,02	8,67				
	0,125	0,52	4,68	0,50	4,25				
	0	0,50	4,50	0,00	0,00				
	Suma	11,76	105,95						

Tabulka 2: Sítový rozbor ovsa

Materiál	Vzorek	O-2/120	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	O-4/160	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]
		Navážka [g]	m [g]			m [g]			
	Síto [mm]	19,87				19,82			
	31,5	0,00	0,00	19,58	100,00	0,00	0,00	19,76	100,00
	16	0,00	0,00	19,58	100,00	0,00	0,00	19,76	100,00
	8	1,24	6,33	18,34	93,67	0,00	0,00	19,76	100,00
	4	8,61	43,97	9,73	49,69	0,68	3,44	19,08	96,56
	2	5,29	27,02	4,44	22,68	11,61	58,76	7,47	37,80
	1	1,69	8,63	2,75	14,04	1,80	9,11	5,67	28,69
	0,5	1,51	7,71	1,24	6,33	2,77	14,02	2,90	14,68
	0,2	0,91	4,65	0,33	1,69	1,99	10,07	0,91	4,61
	0,125	0,18	0,92	0,15	0,77	0,45	2,28	0,46	2,33
	0	0,15	0,77	0,00	0,00	0,46	2,33	0,00	0,00
	Suma	19,58	100,00			19,76	100,00		
	Vzorek	O-4/120	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	O-6/30	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]
	Navážka [g]	19,60				19,71			
	Síto [mm]					m [g]			
	31,5	0,00	0,00	19,52	100,00	0,00	0,00	19,61	100,00
	16	0,00	0,00	19,52	100,00	0,00	0,00	19,61	100,00
	8	0,00	0,00	19,52	100,00	0,00	0,00	19,61	100,00
	4	0,22	1,13	19,30	98,87	0,28	1,43	19,33	98,57
	2	8,21	42,06	11,09	56,81	10,37	52,88	8,96	45,69
	1	3,27	16,75	7,82	40,06	2,48	12,65	6,48	33,04
	0,5	3,15	16,14	4,67	23,92	3,18	16,22	3,30	16,83
	0,2	3,36	17,21	1,31	6,71	2,51	12,80	0,79	4,03
	0,125	0,67	3,43	0,64	3,28	0,44	2,24	0,35	1,78
	0	0,64	3,28	0,00	0,00	0,35	1,78	0,00	0,00
	Suma	19,52	100,00			19,61	100,00		
	Vzorek	O-6/60	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	O-8/60	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]
	Navážka [g]	19,71				19,70			
	Síto [mm]					m [g]			
	31,5	0,00	0,00	19,54	100,00	0,00	0,00	19,54	100,00
	16	0,00	0,00	19,54	100,00	0,00	0,00	19,54	100,00
	8	0,00	0,00	19,54	100,00	0,00	0,00	19,54	100,00
	4	0,00	0,00	19,54	100,00	0,00	0,00	19,54	100,00
	2	0,36	1,84	19,18	98,16	0,00	0,00	19,54	100,00
	1	6,95	35,57	12,23	62,59	2,94	15,05	16,60	84,95
	0,5	5,49	28,10	6,74	34,49	7,22	36,95	9,38	48,00
	0,2	5,03	25,74	1,71	8,75	7,12	36,44	2,26	11,57
	0,125	0,82	4,20	0,89	4,55	1,15	5,89	1,11	5,68
	0	0,89	4,55	0,00	0,00	1,11	5,68	0,00	0,00
	Suma	19,54	100,00			19,54	100,00		
	Vzorek	O-10/60	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]				
	Navážka [g]	19,48							
	Síto [mm]								
	31,5	0,00	0,00	19,25	100,00				
	16	0,00	0,00	19,25	100,00				
	8	0,00	0,00	19,25	100,00				
	4	0,00	0,00	19,25	100,00				
	2	0,00	0,00	19,25	100,00				
	1	0,21	1,09	19,04	98,91				
	0,5	6,44	33,45	12,60	65,45				
	0,2	9,33	48,47	3,27	16,99				
	0,125	1,60	8,31	1,67	8,68				
	0	1,67	8,68	0,00	0,00				
	Suma	19,25	100,00						

Tabulka 4: Síťový rozbor řepky olejné

Materiál	Vzorek		R-2/120	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	R-4/60	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	Vzorek	R-4/120	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	R-6/30	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	
	Navážka [g]	Síto [mm]	m [g]				m [g]				Navážka [g]	m [g]				m [g]				
ŘEPKA OLEJNÁ	31,5	0,00	0,00	0,00	19,23	100,00	0,00	0,00	19,22	100,00	31,5	0,00	0,00	19,25	100,00	0,00	0,00	19,42	100,00	
	16	0,00	0,00	0,00	19,23	100,00	0,00	0,00	19,22	100,00	16	0,00	0,00	19,25	100,00	0,00	0,00	19,42	100,00	
	8	0,99	5,15	0,00	18,24	94,85	0,00	0,00	19,22	100,00	8	0,00	0,00	19,25	100,00	0,00	0,00	19,42	100,00	
	4	7,68	39,94	10,56	10,56	54,91	0,84	4,37	18,38	95,63	4	0,11	0,57	19,14	99,43	0,00	0,00	19,42	100,00	
	2	5,44	28,29	5,12	26,63	9,18	47,76	9,20	47,87	95,63	2	4,22	21,92	14,92	77,51	5,44	28,01	13,98	71,99	
	1	1,88	9,78	3,24	16,85	3,52	18,31	5,68	29,55	1	6,22	32,31	8,70	45,19	6,55	33,73	7,43	38,26		
	0,5	1,42	7,38	1,82	9,46	2,90	15,09	2,78	14,46	14,46	0,5	3,73	19,38	4,97	25,82	3,75	19,31	3,68	18,95	
	0,2	1,11	5,77	0,71	3,69	1,73	9,00	1,05	5,46	5,46	0,2	2,99	15,53	1,98	10,29	2,51	12,92	1,17	6,02	
	0,125	0,30	1,56	0,41	2,13	0,49	2,55	0,56	2,91	0,125	0,125	0,86	4,47	1,12	5,82	0,63	3,24	0,54	2,78	
	0	0,41	2,13	0,00	0,00	0,00	2,91	0,00	0,00	0	1,12	5,82	0,00	0,00	0,00	0,54	2,78	0,00	0,00	
	Suma	19,23	100,00		100,00		19,22	100,00				Suma	19,25	100,00		19,42	100,00			
	Vzorek	R-6/15	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	R-6/60	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	R-8/15	Zůstatek [%]	Vzorek	R-8/15	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	R-8/30	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]
	Navážka [g]	19,93				19,72				20,04		Navážka [g]	20,04				19,85			
	Síto [mm]	m [g]				m [g]				m [g]		Síto [mm]	m [g]				m [g]			
	31,5	0,00	0,00	19,78	100,00	0,00	0,00	19,40	100,00	0,00	0,00	31,5	0,00	0,00	20,03	100,00	0,00	0,00	19,73	100,00
	16	0,00	0,00	19,78	100,00	0,00	0,00	19,40	100,00	0,00	0,00	16	0,00	0,00	20,03	100,00	0,00	0,00	19,73	100,00
	8	0,00	0,00	19,78	100,00	0,00	0,00	19,40	100,00	0,00	0,00	8	0,00	0,00	20,03	100,00	0,00	0,00	19,73	100,00
	4	1,64	8,29	18,14	91,71	0,00	0,00	19,40	100,00	0,00	0,27	4	0,27	1,35	19,76	98,65	0,00	0,00	19,73	100,00
	2	10,53	53,24	7,61	38,47	0,47	2,42	18,93	67,58	2	6,10	30,45	13,66	68,20	2,22	11,25	17,51	88,75		
1	3,41	17,24	4,20	21,23	7,20	37,11	11,73	60,46	1	7,23	36,10	6,43	32,10	8,50	43,08	9,01	45,67			
0,5	2,33	11,78	1,87	9,45	5,45	28,09	6,28	32,37	0,5	3,58	17,87	2,85	14,23	4,44	22,50	4,57	23,16			
0,2	1,36	6,88	0,51	2,58	4,06	20,93	2,22	11,44	0,2	1,99	9,94	0,86	4,29	3,12	15,81	1,45	7,35			
0,125	0,26	1,31	0,25	1,26	1,08	5,57	1,14	5,88	0,125	0,46	2,30	0,40	2,00	0,82	4,16	0,63	3,19			
0	0,25	1,26	0,00	0,00	1,14	5,88	0,00	0,00	0	0,40	2,00	0,00	0,00	0,00	0,63	3,19	0,00	0,00		
Suma	19,78	100,00		100,00		19,40	100,00				Suma	20,03	100,00		19,73	100,00				
Vzorek	R-8/60	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	R-10/15	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	R-10/30	Zůstatek [%]	Vzorek	R-10/30	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	R-10/60	Zůstatek [%]	Propad [g]	Propad [%]	
Navážka [g]	19,56				19,84				20,07		Navážka [g]	20,07				19,55				
Síto [mm]	m [g]				m [g]				m [g]		Síto [mm]	m [g]				m [g]				
31,5	0,00	0,00	19,31	100,00	0,00	0,00	19,74	100,00	0,00	0,00	31,5	0,00	0,00	19,87	100,00	0,00	0,00	19,22	100,00	
16	0,00	0,00	19,31	100,00	0,00	0,00	19,74	100,00	0,00	0,00	16	0,00	0,00	19,87	100,00	0,00	0,00	19,22	100,00	
8	0,00	0,00	19,31	100,00	0,00	0,00	19,74	100,00	0,00	0,00	8	0,00	0,00	19,87	100,00	0,00	0,00	19,22	100,00	
4	0,00	0,00	19,31	100,00	0,11	0,56	19,63	99,44	4	0,00	4	0,00	0,00	19,87	100,00	0,00	0,00	19,22	100,00	
2	0,05	0,26	19,26	99,74	6,19	31,36	13,44	68,09	2	0,20	1,01	19,67	98,99	0,00	0,00	0,00	0,00	19,22	100,00	
1	3,56	18,44	15,70	81,31	4,76	24,11	8,68	43,97	1	6,70	33,72	12,97	65,27	0,63	3,28	18,59	96,72			
0,5	8,12	42,05	7,58	39,25	5,10	25,84	3,58	18,14	0,5	7,10	35,73	5,87	29,54	8,76	45,58	9,83	51,14			
0,2	5,05	26,15	2,53	13,10	2,62	13,27	0,96	4,86	0,2	4,00	20,13	1,87	9,41	6,45	33,56	3,38	17,59			
0,125	1,25	6,47	1,28	6,63	0,47	2,38	0,49	2,48	0,125	1,00	5,03	0,87	4,38	1,59	8,27	1,79	9,31			
0	1,28	6,63	0,00	0,00	0,49	2,48	0,00	0,00	0	0,87	4,38	0,00	0,00	1,79	9,31	0,00	0,00			
Suma	19,31	100,00		100,00		19,74	100,00				Suma	19,87	100,00		19,22	100,00				

Tabulka 5: Stanovení středních velikostí částic a objemů částic pod 1 mm pro oves, tritikale a ječmen

Materiál	Vzorek	O-2/120		Kumulativní		O-4/120		Kumulativní		O-6/30		Kumulativní		O-8/60		Kumulativní		O-10/60		Kumulativní			
		Navážka [g]	19,87	součet zrn do 1 mm [g]	19,82	součet zrn do 1 mm [g]	19,60	součet zrn do 1 mm [g]	19,71	součet zrn do 1 mm [g]	19,71	součet zrn do 1 mm [g]	19,70	součet zrn do 1 mm [g]	19,48	součet zrn do 1 mm [g]	19,70	součet zrn do 1 mm [g]	19,48	součet zrn do 1 mm [g]			
OVES	Navážka [g]	31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Síto [mm]	16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	8	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	4	8,61	0,68	0,68	0,22	0,22	0,22	0,22	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	2	5,29	11,61	11,61	8,21	8,21	8,21	8,21	10,37	10,37	10,37	10,37	10,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
	1	1,69	1,69	1,69	1,80	1,80	3,27	3,27	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48	6,95	6,95	6,95	6,95	2,94	2,94	2,94	2,94	0,21	0,21
	0,5	1,51	3,20	2,77	4,57	4,57	3,15	6,42	3,18	5,66	5,66	5,66	5,66	5,49	12,44	12,44	12,44	10,16	10,16	10,16	6,44	6,44	6,65
	0,2	0,91	4,11	1,99	6,56	6,56	3,36	9,78	2,51	8,17	8,17	8,17	8,17	5,03	17,47	17,47	17,47	17,28	17,28	17,28	9,33	9,33	15,98
	0,125	0,18	4,29	0,45	7,01	7,01	0,67	10,45	0,44	8,61	8,61	8,61	8,61	0,82	18,29	18,29	18,29	18,43	18,43	18,43	1,60	1,60	17,58
	0	0,15	4,44	0,46	7,47	7,47	0,64	11,09	0,35	8,96	8,96	8,96	8,96	0,89	19,18	19,18	19,18	19,54	19,54	19,54	1,67	1,67	19,25
Suma	19,58	23 hmot. %	19,76	38 hmot. %	19,52	57 hmot. %	19,52	57 hmot. %	19,61	46 hmot. %	19,54	98 hmot. %	19,54	98 hmot. %	19,54	100 hmot. %	19,54	100 hmot. %	19,25	100 hmot. %	19,25	100 hmot. %	
Střední velikost částic [mm]	2,94		1,50		1,17		1,17		1,35		0,59		0,59		0,42		0,42		0,29		0,29		
Materiál	Vzorek	T-2/180	7,50	Kumulativní	T-4/120	12,50	Kumulativní	T-6/30	13,29	Kumulativní	T-8/60	11,35	Kumulativní	T-10/60	11,91	Kumulativní	T-12/60	11,91	Kumulativní	T-14/60	11,91	Kumulativní	
Navážka [g]	Síto [mm]	31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
16	8	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	2,46	0,40	0,05	0,05	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
2	2,71	5,51	3,43	3,43	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	4,66	
1	0,58	0,58	1,78	1,78	2,98	2,98	2,98	2,98	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	3,89	
0,5	0,83	1,41	2,11	3,89	2,33	5,31	5,31	5,31	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22	6,22	
0,2	0,54	1,95	1,42	5,31	2,26	7,57	7,57	7,57	7,88	7,88	7,88	7,88	7,88	7,88	7,88	7,88	7,88	7,88	7,88	7,88	7,88	7,88	
0,125	0,08	2,03	0,28	5,59	0,65	8,22	8,22	8,22	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	8,17	
0	0,08	2,11	0,31	5,90	0,56	8,78	8,78	8,78	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	8,41	
Suma	7,39	29 hmot. %	11,81	50 hmot. %	12,26	72 hmot. %	12,26	72 hmot. %	13,16	64 hmot. %	9,56	94 hmot. %	11,10	99 hmot. %	11,76	99 hmot. %	11,76	99 hmot. %	11,76	99 hmot. %	11,76	99 hmot. %	
Střední velikost částic [mm]	2,33		1,34		0,96		0,96		1,15		0,69		0,69		0,56		0,56		0,53		0,53		
Materiál	Vzorek	J-2/120	14,90	Kumulativní	J-4/60	15,05	Kumulativní	J-6/30	14,80	Kumulativní	J-8/60	14,76	Kumulativní	J-10/60	14,66	Kumulativní	J-12/60	14,66	Kumulativní	J-14/60	14,66	Kumulativní	
Navážka [g]	Síto [mm]	31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
16	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	5,15	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	5,05	9,90	9,90	4,61	4,61	4,61	4,61	4,61	8,78	8,78	8,78	8,78	8,78	8,78	8,78	8,78	8,78	8,78	8,78	8,78	8,78	8,78	
1	0,57	0,57	0,69	0,69	3,61	3,61	3,61	3,61	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	6,21	
0,5	1,46	2,03	1,84	2,53	3,25	6,86	6,86	6,86	3,77	3,77	3,77	3,77	3,77	9,91	9,91	9,91	9,91	9,91	9,91	9,91	9,91	9,91	
0,2	0,79	2,82	1,66	4,19	2,54	9,40	9,40	9,40	4,92	4,92	4,92	4,92	4,92	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	11,87	
0,125	0,12	2,94	0,33	4,52	0,96	9,96	9,96	9,96	5,15	5,15	5,15	5,15	5,15	12,22	12,22	12,22	12,22	12,22	12,22	12,22	12,22	12,22	
0	0,11	3,05	0,23	4,75	0,43	10,39	10,39	10,39	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63	
Suma	14,67	21 hmot. %	14,85	32 hmot. %	15,00	69 hmot. %	15,00	69 hmot. %	14,73	86 hmot. %	14,73	86 hmot. %	14,48	100 hmot. %	14,48	100 hmot. %	14,48	100 hmot. %	14,48	100 hmot. %	14,48	100 hmot. %	
Střední velikost částic [mm]	2,97		1,52		1,00		1,00		1,58		0,86		0,86		0,53		0,53		0,47		0,47		

Tabulka 6: Stanovení středních velikostí částic a objemů částic pod 1 mm pro řepku olejnou

Materiál	Vzorek Navážka [g] Síto [mm]	R-2/120		Kumulativní součet zrn do 1 mm [g]		R-4/120		Kumulativní součet zrn do 1 mm [g]		R-6/30		Kumulativní součet zrn do 1 mm [g]		R-6/15		Kumulativní součet zrn do 1 mm [g]		R-6/60		Kumulativní součet zrn do 1 mm [g]				
		m [g]	m [g]	m [g]	%	m [g]	%	m [g]	%	m [g]	%	m [g]	%	m [g]	%	m [g]	%	m [g]	%	m [g]	%	m [g]	%	
ŘEPKA OLEJNÁ	31,5	0,00				0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		
	16	0,00				0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		
	8	0,99				0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		
	4	7,68				0,84		0,11		0,00		0,00		1,64		0,00		0,00		0,00		0,00		
	2	5,44				9,18		4,22		5,44		10,53		0,47		0,00		0,00		0,00		0,00		
	1	1,88				3,52		6,22		6,55		3,41		7,20		3,41		7,20		3,41		7,20		
	0,5	1,42				2,90		3,73		9,95		3,75		10,30		2,33		5,45		5,74		12,65		
	0,2	1,11				1,73		2,99		12,94		2,51		12,81		1,36		7,10		4,06		16,71		
	0,125	0,30				0,49		0,86		13,80		0,63		13,44		0,26		7,36		1,08		17,79		
	0	0,41				0,56		1,12		14,92		0,54		13,98		0,25		7,61		1,14		18,93		
Střední velikost částic [mm]	Suma	19,23			19,22		19,25		78 hmot. %	19,42		72 hmot. %	19,78		38 hmot. %	19,40		98 hmot. %		0,61		1,64		
ŘEPKA OLEJNÁ	20,04				1,41		0,92		0,00		1,02		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
	20,04				1,85		19,56		0,00		19,84		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
	31,5	0,00					0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
	16	0,00					0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
	8	0,00					0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
	4	0,27					0,00		0,00		0,11		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
	2	6,10				2,22		0,05		6,19		0,20		6,70		0,20		6,70		0,63		0,63		
	1	7,23				8,50		3,56		3,56		4,76		4,76		6,70		6,70		6,70		6,70		
	0,5	3,58				4,44		8,12		11,68		5,10		9,86		7,10		13,80		8,76		9,39		
	0,2	1,99				3,12		5,05		16,73		2,62		12,48		4,00		17,80		6,45		15,84		
0,125	0,46				0,82		1,25		17,98		0,47		12,95		1,00		18,80		1,59		17,43			
0	0,40				0,63		1,28		19,26		0,49		13,44		0,87		19,67		1,79		19,22			
Střední velikost částic [mm]	Suma	20,03			19,73		19,31		100 hmot. %	19,74		68 hmot. %	19,87		99 hmot. %	19,22		100 hmot. %		0,34		0,58		
		1,14			0,81		0,46			1,05														