

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra lesnické a dřevařské ekonomiky**



**Disertační práce**

**Právní, ekonomické a technologické aspekty využití alternativních  
surovin jako způsob ochrany mimoprodukčních funkcí lesa**

**autor: Mgr. Petra Hýsková**

**školitel: doc. Ing. Vilém Jarský, Ph.D.**

2020 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Mgr. Petra Hýsková

Ekonomika a management  
Řízení a ekonomika podniku

Název práce

**Právní, ekonomické a technologické aspekty využití alternativních surovin jako způsob ochrany mimo-produkčních funkcí lesa**

Název anglicky

**Legal, economical and technological aspects of the use of alternative raw materials as a way of protecting non-productive functions of the forest**

### Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení možnosti využití posklizňových zbytků zemědělských plodin v České republice hojně pěstovaných pro výrobu kompozitních materiálů. Konkrétně se jedná o následující posklizňové zbytky: plevy pšenice ozimé, stonky pšenice ozimé, stonky řepky ozimé. Práce si klade za cíl (a) zhodnotit administrativní a právní aspekty zahájení dané výroby, vč. možných dotačních titulů; (b) zhodnotit technická a technologická řešení výroby; (c) zhodnotit ekonomické aspekty výroby, zejména předpověď stability dodávky surovin v čase a vyčíslit potenciál těchto surovin.

### Metodika

Metodicky bude práce členěna do následujících kroků:

- literární rešerše zaměřená na materiálové charakteristiky předmětných kompozitních materiálů. Potřebná data a informace týkající se implementace výroby těchto kompozitních materiálů do již fungujícího výrobního provozu kompozitních materiálů na bázi dřeva budou získávána v tuzemské organizaci,
- data pro analýzy budou čerpána zejména z odborných vědeckých článků, situačních a výhledových zpráv, ze statistik Českého statistického úřadu a Organizace pro výživu a zemědělství (FAO), z výrobních podniků,
- primární i sekundární data budou zpracovávána pomocí ekonomicko-matematických metod a ekonometrického modelování,
- administrativní a právní aspekty výroby budou zhodnoceny na základě analýzy, komparace a syntézy příslušných předpisů

## Doporučený rozsah práce

100 stran

## Klíčová slova

posklizňové zbytky, kompozitní materiál, výroba, životní prostředí, ekonomické aspekty

---

## Doporučené zdroje informací

- ANGO, T.G., BÖRJESON, L., SENBETA, F., HYLANDER, K. 2014. Balancing Ecosystem Services and Disservices: Smallholder Farmers. Use and Management of Forest and Trees in an Agricultural Landscape in Southwestern Ethiopia. *Ecology and Society* 19(1): art30. doi:10.5751/ES-06279-190130
- ASDRUBALI, F., D'ALESSANDRO, F., SCHIAVONI, S. 2015. A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies* 4:1–17. doi:10.1016/j.susmat.2015.05.002
- de GROOT, R. S., WILSON, M.A., BOUMANS, R.M.J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem function, goods and services. *Ecological Economics* 41(3): 393–408. doi:10.1016/S0921-8009(02)00089-7
- DZIURKA, D., MIRSKI, R., DUKARSKA, D., DERKOWSKI, A. 2015. Possibility of using the expanded polystyrene and rape straw to the manufacture of lightweight particleboards. *Maderas. Ciencia y tecnología* 17(3): 647–656. doi:10.4067/S0718-221X2015005000057
- CHAZDON, R. L., 2008. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science* 320:5882. doi:10.1126/science.1155365
- KLÍMEK, P., WIMMER, R. 2017. Alternative Raw Materials for Bio-Based Composites. In: International Conference “Wood Science and Engineering in the Third Millennium” – ICWSE 2017. Brasov: Bioresources.
- MANTAU, U., SAAL, U., PRINS, K., STEIERER, F., LINDNER, M., VERKERK, H., EGGERS, J., LEEK, N., OLDENBURGER, J., ASIKAINEN, A., et al. (2010). Final Report: Real Potential for Changes in Growth and Use of EU Forests, EUwood, Hamburg, Germany.
- SCARLAT, N., MARTINOV, M., DALLEMAND, J.-F. 2010. Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use. *Waste Management* 30(10): 1889–1897. doi:10.1016/j.wasman.2010.04.016
- ŠIŠÁK, L., SLOUP, R., STÝBLO, J. 2013. Diferencované oceňování společenské sociálně-ekonomické významnosti funkcí lesa podle vztahu k trhu a jeho aplikace a rámci ČR. *Zprávy lesnického výzkumu* 58(1): 50–57.
- TUHÁČEK, M., JELÍNKOVÁ, J. (eds.) 2015. Právo životního prostředí: praktický průvodce. První vydání. Praha: Grada. Edice Právo pro každého.

---

## Předběžný termín

2020/21 ZS – FLD – Obhajoba DisP

### Vedoucí práce

doc. Ing. Vilém Jarský, Ph.D.

### Garantující pracoviště

Katedra lesnické a dřevařské ekonomiky

Elektronicky schváleno dne 10. 9. 2020

**prof. Ing. Luděk Šišák, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 9. 2020

**prof. Ing. Luděk Šišák, CSc.**

Předseda oborové rady

Elektronicky schváleno dne 11. 9. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 11. 09. 2020



"Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma Právní, ekonomické a technologické aspekty využití alternativních surovin jako způsob ochrany mimoprodukčních funkcí lesa vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací a doporučení školitele. Souhlasím se zveřejněním disertační práce dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách, v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V Praze dne 23. září 2020

Mgr. Petra Hýsková

## **ABSTRAKT**

### **Právní, ekonomické a technologické aspekty využití alternativních surovin jako způsob ochrany mimoprodukčních funkcí lesa**

Odlesňování je celosvětová hrozba v podobě snižování všech ekosystémových služeb, které poskytují lesní ekosystémy lidem. Vládní ochrana lesů samozřejmě rozsah odlesňování snižuje, otázkou však zůstává, zda dostatečně. Z tohoto důvodu má smysl zabývat se ochranou ekosystémových služeb lesa formou hledání substitutu k dřevní biomase, kupř. posklizňových zbytků zemědělských plodin. Tyto posklizňové zbytky zemědělských plodin nalézají v posledních letech uplatnění zejména na energetické a materiálové využití. Má-li být tato surovina dlouhodobě průmyslově využívána, musíme mít představu o její budoucí produkci. V předkládané disertační práci byly představeny odhady budoucí produkce slámy pšenice a řepky ozimé v České republice a v Evropské unii. Nutno zmínit, že vyvinuté modely jsou aplikovatelné i na jiné posklizňové zbytky, a to i v jiných částech světa. Kromě dostupnosti suroviny v čase byly hodnoceny také technologické parametry výroby materiálů z posklizňových zbytků. Pozitivně byla hodnocena enzymatická a chemická předúprava povrchu třísek, které měly za následek snížení povrchového napětí třísek, které dále pozitivně ovlivňuje vlastnosti kompozitních materiálů. Rovněž byl publikován jeden užitečný vzor, který chrání řešení tepelně izolačního materiálu z plev pšenice ozimé. Ze zhodnocení administrativních a právních aspektů zahájení dané výroby vyplývá, že administrativní zátěž při vzniku nového výrobního provozu nebo doplnění/modernizaci stávající výroby by byla prakticky totožná, a to zejména z toho důvodu, že i při doplnění/modernizaci stávající výrobní linky bude pravděpodobně vždy nutné podstoupit stavební řízení a s ním spojené vyhodnocení vlivů na životní prostředí. Zároveň byly v této části práce zhodnoceny klady a zápory jednotlivých druhů obchodních společností, základní administrativní povinnosti spojené s počátkem podnikání a možné druhy dotačních titulů, jež je možné na účely zmíněné v této práci čerpat. Z důvodu nejrůznějších faktorů se do budoucna očekává, a dosavadní vývoj tyto předpoklady zcela potvrzuje, nedostatek dřevní suroviny v dřevozpracujících, energetických, ale i jiných odvětvích národního hospodářství. Tato disertační práce přináší komplexní pohled na jedno možné řešení budoucího nedostatku dřevní suroviny, a to na problematiku částečné substituce dřeva v kompozitních materiálech posklizňovými zbytky zemědělských plodin.

**Klíčová slova:** posklizňové zbytky, kompozitní materiál, výroba, životní prostředí, ekonomické aspekty

## **ABSTRACT**

### **Legal, economical and technological aspects of the use of alternative raw materials as a way of protecting non-productive functions of the forest**

Deforestation is a global threat in the form of a reduction of all ecosystem services that forest ecosystems provide to humans. The government forest protection reduces the extent of deforestation, but the question remains whether it is sufficient. For this reason, it makes sense to deal with the protection of forest ecosystem services in the form of finding a substitute for wood biomass, e.g. post-harvest residues of agricultural crops. In recent years, these post-harvest residues of agricultural crops have found application mainly for energy and material use. If this raw material is to be used industrially in the long term, we must have an idea of its future production. In the presented dissertation thesis, estimates of future production of straw of wheat and winter rape in the Czech Republic and in the European Union were presented. It should be mentioned that the developed models are applicable also to other post-harvest residues, even in other parts of the world. In addition to the availability of raw materials over time, the technological parameters of the production of materials from post-harvest residues were also evaluated. The enzymatic and chemical pretreatment of the particle surface, which resulted in a reduction of the surface tension of the particles, which further positively affects the properties of composite materials, was evaluated positively. One utility model has also been published which protects the solution of thermal insulation material from winter wheat chaff. The evaluation of the administrative and legal aspects of starting a given production shows that the administrative burden when creating a new production plant or supplementing / modernizing existing production would be practically the same, especially since even when supplementing / modernizing an existing production line it will probably always be necessary to undergo construction proceedings and the associated environmental impact assessment. At the same time, in this part of the work were evaluated pros and cons of individual types of companies, basic administrative duties associated with the beginning of business and possible types of grant titles that can be drawn for the purposes mentioned in this work. Due to various factors, the lack of wood raw material in wood processing, energy, but also other sectors of

the national economy is expected in the future, and the development so far fully confirms these assumptions. This dissertation provides a comprehensive view of one possible solution to the future shortage of wood raw material, namely the issue of partial substitution of wood in composite materials by post-harvest residues of agricultural crops.

**Keywords:** alternative raw materials, composite material, production, environment, economical aspects

# Obsah

Seznam článků a výstupů .....	10
1. Úvod .....	11
2. Cíle práce.....	13
3. Rozbor problematiky .....	14
3.1. Mimoprodukční funkce lesa .....	14
3.1.1. Ochrana lesa – historie a současnost.....	14
3.1.2. Funkce lesa.....	15
3.2. Administrativní a právní aspekty.....	20
3.2.1. Již existující obchodní společnost, která vyrábí konvenční dřevotřískové desky .	21
3.2.2. Již existující obchodní společnost s odlišnou výrobou .....	23
3.2.3. Podnikající fyzická osoba .....	24
3.2.4. Dosud nepodnikající fyzická osoba/dosud nevzniklá obchodní společnost (možné druhy obchodní společnosti) .....	24
3.3. Dotační tituly .....	31
4. Metodika.....	34
5. Syntéza výsledků a diskuse .....	35
5.1. Technologické aspekty .....	36
5.2. Ekonomické aspekty .....	38
5.3. Mezinárodní přesah .....	48
6. Závěry a přínos.....	50
7. Seznam literatury a použitých zdrojů.....	53
8. Separáty článků a výstupů.....	63

## Seznam článků a výstupů

Číslo výstupu	Druh výstupu	Bibliografická citace
1	článek v databázi WoS	<b>HÝSKOVÁ, P., HÝSEK, Š., SCHÖNFELDER, O., ŠEDIVKA, P., LEXA, M., a JARSKÝ, V.</b> 2020, Utilization of agricultural rests: straw-based composite panels made from enzymatic modified wheat and rapeseed straw, <i>Industrial Crops and Products</i> , č. 144, 112067.
2	článek v databázi WoS	<b>HÝSKOVÁ, P., GAFF, M., HILDAGO-CORDERO, J.F., a HÝSEK, Š.</b> 2020, Composite materials from totora ( <i>Schoenoplectus californicus</i> . C.A. Mey, Sojak): Is it worth it?, <i>Composite Structures</i> , č. 232, 111572.
3	článek v databázi WoS	<b>GAJDAČOVÁ, P., HÝSEK, Š., a JARSKÝ V.</b> 2018, Utilisation of winter rapeseed in wood-based materials as a solution of wood shortage and forest protection, <i>BioResources</i> , roč. 13, č. 2, s. 2546-2561.
4	článek v databázi WoS	<b>HÝSKOVÁ, P., HÝSEK, Š., a JARSKÝ, V.</b> 2020, The Utilization of Crop Residues as Forest Protection: Predicting the Production of Wheat and Rapeseed Residues, <i>Sustainability</i> , roč. 12, č. 14, 5828.
5	článek v odborném periodiku v ČR	<b>HÝSEK, Š., HÝSKOVÁ, P., a HABÁN, R.</b> 2020, Materiálové využití recyklovaného dřeva v České republice, <i>Odpadové fórum</i> , roč. 38, č. 1, s. 38-39.
6	užitný vzor	<b>HÝSEK, Š., BÖHM, M., a GAJDAČOVÁ, P.</b> 2017, Zapsaný užitný vzor: Tepelně izolační materiál a lisovaná izolační deska jej obsahující – UV 2017-34117, č. 31238

# 1. Úvod

V posledních několika letech vzrůstá snaha o rozsáhlejší využití alternativních surovin, mezi které jsou řazeny posklizňové zbytky, jako dosud vůbec či nevhodně využívaného zdroje biomasy pro další výrobu, neboť nyní jsou posklizňové zbytky zejména nedostatečně zaorávány, nebo využívány energeticky.

Vzhledem k zjištěným mechanickým a fyzikálním vlastnostem se jeví jako vhodné využití posklizňových zbytků, tedy kupř. plev pšenice ozimé, stonků pšenice ozimé, stonků řepky ozimé, pro výrobu třískových desek. Hlavním záměrem této práce je proto zhodnotit právní, ekonomické a technologické aspekty využití těchto posklizňových zbytků, pro výrobu třískových desek, a to jako jednoho z možných způsobů ochrany mimoprodukčních funkcí lesa.

Je zcela zřejmé, že v současné době kůrovcové kalamity v České republice je dřevní hmoty pro výrobu třískových desek až nadbytečné množství, navíc za velmi nízkou cenu, avšak tato práce si klade za cíl zabývat se stavem, který zcela jistě nastane v budoucnosti, nikoliv vzdálené, kdy bude dřevní hmoty nedostatek. Tento nedostatek nejenže způsobí značný cenový nárůst suroviny, ale zejména způsobí ohrožení lesa a v konečném důsledku riziko ohrožení možnosti poskytování mimoprodukčních funkcí, které si v současné době začíná uvědomovat nejen odborná veřejnost (Maes a kol. 2015). Celosvětový nesoulad produkce a spotřeby dřeva v letech 2030 – 2050 predikoval již v roce 1996 Solberg a kolektiv. V roce 2010 následně vyčíslil Mantau a kolektiv, že v roce 2030 bude chybět v Evropské unii 316 milionů m<sup>3</sup> dřeva. Dle údajů Evropské komise činil v roce 2015 čistý import dřeva do EU 38 milionů m<sup>3</sup> dřeva (Cazzaniga a kol. 2019). Johnson a kolektiv v roce 2018 publikovali optimističtější odhad, než Mantau a kolektiv v roce 2010. Dle Johnsona a kolektivu bude v roce 2030 v EU chybět jen 31 milionů m<sup>3</sup> dřeva. Rozdíl mezi těmito dvěma prognózami spočívá v tom, že Johnson a kolektiv neuvažují využívání surového dřeva pro energetické účely, jako Mantau a kolektiv.

Výše popsaný jev samozřejmě není pouze lokálním jevem odehrávajícím se v České republice, ale v určitých obdobích je možné jej pozorovat také v Asii či Jižní Americe. Analýzy v této disertační práci jsou založeny zejména na lokálních datech z České republiky a Evropské Unie, popřípadě v jednom článku na lokálních datech z Jižní Ameriky. Výsledky práce je však možné generalizovat a aplikovat i globálně. Generalizace výsledků je žádoucí

zejména z důvodu, že popisovaný problém nelegálních těžeb dřevní hmoty je aktuální zejména v rozvojových zemích v oblasti výskytu deštných pralesů, kde zároveň posklizňové zbytky nejsou nikterak využívány, a to ani energeticky, ale pouze páleny na polích.

Práce je zpracována tak, že v úvodní části je detailně rozpracována část právních a administrativních aspektů pro využití alternativních surovin, když ekonomické a technologické aspekty jsou obsaženy v odborných článcích a jsou v této práci obsaženy souhrnně tak, aby práce poskytovala jasný přehled aspektů, které z využití alternativních surovin plynou.

Udržitelná produkce lignocelulóзовých materiálů (dřeva či stonků jednoletých a dvouletých rostlin) a výroba produktů z těchto biomateriálů je zásadní bioekonomická otázka (Evropská komise 2012). Ač tato práce představuje stonky jednoletých a dvouletých rostlin jako vhodný substitut dřeva, rozhodně netvrdí, že je nutný růst produkce těchto stonků dosahovat expanzí zemědělsky obhospodařované půdy či neudržitelnou intenzifikací zemědělské výroby. Naopak, veškeré kalkulace, které jsou v práci prováděny, uvažují pouze s posklizňovými zbytky, které lze dle osvědčených agronomických postupů v rámci udržitelného zemědělství z pole odebrat. Navržené bioekonomické řešení, které je v práci popisováno zejména v kontextu evropském, však může být akcentováno a aplikováno i v měřítku celosvětovém, tím spíše, že k masivním nelegálním těžbám dřeva dochází zejména v rozvojových zemích, a právě tam by bylo záhodno nelegálně vytěženou dřevní hmotu substituovat posklizňovými zbytky.



## 2. Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení možnosti využití posklizňových zbytků zemědělských plodin v České republice hojně pěstovaných pro výrobu kompozitních materiálů. Konkrétně se jedná o následující posklizňové zbytky: plevy pšenice ozimé, stonky pšenice ozimé, stonky řepky ozimé. Práce si klade za cíl (a) zhodnotit administrativní a právní aspekty zahájení dané výroby, vč. možných dotačních titulů; (b) zhodnotit technická a technologická řešení výroby; (c) zhodnotit ekonomické aspekty výroby, zejména předpověď stability dodávky surovin v čase a vyčíslit potenciál těchto surovin.

## **3. Rozbor problematiky**

### **3.1. Mimoprodukční funkce lesa**

V současné době, kdy si společnost začíná stále více uvědomovat dopad klimatických změn, začíná nabývat na důležitosti ochrana životního prostředí v podobě, ve které jsme již po několik generací navyknuti žít. Vyšší teploty, sucho, kůrovcová kalamita, to jsou jen některé dopady, které společnost vnímá a začínají tak být patrné snahy o alespoň částečné zastavení těchto změn, které však dle mého názoru mají stále spíše ekonomického původce. Avšak díky všem probíhajícím změnám v krajině si širší veřejnost začíná uvědomovat důležitost životního prostředí v podobě, ve které ho nyní známe, a to nejen z důvodů ekonomických.

Jak již bylo zmíněno výše, v úvodu této práce, případné zvýšení využití posklizňových zbytků pro další výrobu v celosvětovém měřítku je možností, jak ochránit lesy, zatížené zejména nelegální těžbou, před dalším odlesňováním, a to zejména pro zachování možnosti poskytovat mimoprodukční funkce lesa a zabránit tak znehodnocování ekosystémových služeb lesa v postižených lokalitách.

Pokud budeme celosvětově uvažovat s posklizňovými zbytky zemědělských plodin jako s náhradou za dřevní biomasu, může zvýšení materiálového využití těchto posklizňových zbytků snížit v postižených lokalitách odlesňování a zabránit tak znehodnocování ekosystémových služeb lesa – produkčních, kulturních, regulačních i podpůrných. Níže v této kapitole je představen ucelený přehled těchto ekosystémových služeb, se zaměřením na les, přičemž jsou představeny pohledy různých autorů.

#### **3.1.1. Ochrana lesa – historie a současnost**

Dle údajů Českého statistického úřadu lesy nyní pokrývají stabilně cca 33% rozlohy České republiky a jsou nenahraditelnou složkou životního prostředí a velmi důležitým obnovitelným přírodním zdrojem (de Groot a kol. 2002), který společnosti poskytuje mnohé (Kindler 2016), přičemž od roku 2002 je patrný neustálý mírný přírůstek plochy, jež se zvětšuje zejména u soukromých vlastníků a měst a obcí. V případě lesů státních je pozorován mírný sestup rozlohy, avšak v zanedbatelné míře (ČSÚ 2018).

České země a její zákonodárce si byl nutnosti ochrany lesa, jako jednoho z nejdůležitějších přírodních bohatství, vědom již v období dřívějším. Pravděpodobně nejstarší

právní normy upravující ochranu lesa tak najdeme již v Maiestas Carolina, který však byl Karel IV. nucen prohlásit za shořelý, neboť reformátorské myšlenky omezující moc stavů nebyl schopen prosadit (Malý 1997). Například v Anglii byla podobná úprava ještě dříve, konkrétně v období Viléma Dobyvatele, tedy v 11. století (Green 2013).

První právní předpis upravující ochranu lesa na celém území byl Tereziánský lesní řád z roku 1754, avšak prvním moderním předpisem upravujícím tuto problematiku byl Lesní zákon z roku 1852. Následovná právní úprava pocházející z dob 60. a 70. let 19. stol. byla vzhledem k době vzniku zaměřena na hospodaření s lesy státními (Tuháček a Jeníková 2015).

Pro poměrně rozsáhlou plochu našeho území je v současné době stěžejním právním předpisem zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „lesní zákon“), jež v ustanovení § 1 jasně deklaruje zájem zákonodárce o zachování lesa, péči o les a obnovu lesa jako národního bohatství.

Lesní zákon se, dle Drobníka, snaží vytvořit vyhovující právní prostředí nejen pro hospodaření na velkých plochách státních lesů, ale též i požadavkům jiných vlastníků, včetně vlastníků menších lesů. Hlavním cílem je samozřejmě zachování lesů, což působí na úpravu harmonizace vztahů spojených jak s produkční, tak mimoprodukční funkcí lesů. (Drobník a Dvořák 2010).

Mezi další neopomenutelné zákony patří též zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů, jež upravuje právní režim lesů v některých kategoriích zvláště chráněných území a zohledňuje též evropskou úpravu oblastí označených Natura 2000. Dále též zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, ve znění pozdějších předpisů, jež upravuje režim lesních pozemků v rámci chráněných oblastí přirozené akumulace vod a ochranná pásma vodních zdrojů. Dále též zákon č. 449/2001 Sb., o myslivosti, ve znění pozdějších předpisů, který upravuje problematiku snižování stavů zvěře v honitbě jako opatření pro ochranu lesních porostů.

### **3.1.2. Funkce lesa**

Z výše uvedeného je patrné, že i zákonodárce si je vědom hodnoty lesa a jeho funkcí, o čemž svědčí též ust. § 2 písm. b) lesního zákona, kdy určuje „*funkcemi lesa přínosy podmíněné existencí lesa, které se člení na produkční a mimoprodukční*“. Tato myšlenka je dále rozvedena v ust. § 8 tohoto zákona, kde je určena kategorie lesů se zvláštním určením, ve kterých je plnění mimoprodukčních funkcí lesa nadřazeno plnění produkčních funkcí. Ust. § 8

odst. 2 lesního zákona taxativně vyjmenovává, že jde o lesy: „a) v prvních zónách chráněných krajinných oblastí a lesy v přírodních rezervacích, národních přírodních památkách a přírodních památkách, b) lázeňské, c) příměstské a další lesy se zvýšenou rekreační funkcí, d) sloužící lesnickému výzkumu a lesnické výuce, e) se zvýšenou funkcí půdoochrannou, vodochrannou, klimatickou nebo krajinnotvornou, f) potřebné pro zachování biologické různorodosti, g) v uznaných oborách a v samostatných bažantnicích, h) v nichž jiný důležitý veřejný zájem vyžaduje odlišný způsob hospodaření.“ Vyskot k tomuto doplňuje, že mimoprodukční funkce lesa jsou tak uplatňovány jen v jiných než hospodářských lesích (Vyskot 2003).

Pojem mimoprodukční funkce lesa obsahuje také vyhláška č. 298/2018 Sb., o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů, v ust. §3 odst. 1 písm. a), když určuje, že oblastní plán obsahuje také zjištění funkčního potenciálu lesů v dané oblasti, a to pro funkci produkční a funkce mimoprodukční. Na rozdíl od vyhlášky č. 83/1996 Sb., o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů, však na stejném místě rezignuje na příkladný výčet mimoprodukčních funkcí, kterými byly funkce vodochranné, půdoochranné, rekreační, reprodukční (zachování a rozvoj genofondu) a funkce ochrany přírody apod. Jiné než produkční funkce lesa odlišuje též literatura, avšak přístupy a klasifikace se odlišuje.

Vyskot charakterizuje funkce lesa jako „naplňování aktuálních účelových požadavků společnosti na les“ a dále doplňuje, že dominující funkcí lesa je dřevorprodukční. Zároveň Vyskot upozorňuje na dvojí pojetí objektivizace funkcí lesa, a to jako utilitární pojetí funkcí lesa, tzv. antropocentrické a existenční pojetí, tzv. ekosystémové. V případě antropocentrického pojetí vychází z principu užitekosti a člení funkce lesa na tři základní skupiny – hospodářské, ekologické a sociální, které pak ještě dále člení, kupř. ekologickou funkci dále rozděluje na stabilizační, půdoochrannou, vodohospodářskou a klimaticko-vzduchoochrannou. Zajímavé pak je, tvrzení, že lesní ekosystém není schopen produkovat žádné funkce, protože rekreace není činností lesa, nýbrž člověka. Stejný názor má i na funkci turistickou, když turistika je také pouze činností člověka, s funkcí kulturně naučnou, vědeckou atp. (Vyskot 2003).

Naproti tomu pro ekosystémové pojetí je charakteristické pouhým rozlišením účinků lesa, tedy jeho naturálních schopností. Dle tohoto pojetí pak rozlišuje klimatické, hydrické,

edafické, fytoobiologické a krajinotvorné funkční účinky, s tím tvrzením, že je nutné si uvědomit, že tyto účinky působí v každém lesním ekosystému, a to synergicky.

Šišák a Pulkrab zevrubně hovoří o mimoprodukčních funkcích lesa, které označují jako funkce bez tržní hodnoty a mezi které řadí ekologické funkce lesa (půdoochranné, vodohospodářské a vzduchoochranné funkce), kulturně-naučné funkce lesa, obranné funkce lesa a zdravotně-hygienické (Šišák a Pulkrab 1994).

Ve své práci Šišák konstatuje, že existují dvě možné formy vyjádření významu lesa jako objektu a jeho funkcí, a to peněžní a nepeněžní, přičemž upozorňuje, že peněžní oceňování je jedním z možných pohledů, který však není možné absolutizovat, když jde o výsledek plynoucí zejména z neoklasické ekonomiky. Nad rámec teoretického konstatování mimoprodukční hodnoty lesa pak Šišák hodnotí možné přístupy k samotnému ocenění ekonomického významu funkcí lesa, tedy na základě čistého důchodu nebo renty, nákladový přístup nebo výnosový přístup aj. s tím závěrem, že pro ocenění ekonomického významu je nejvhodnější mimořádný zisk, renta. Zároveň k tomuto doplňuje, že jde o velmi obtížnou disciplínu snažit se o vyjádření hodnoty sociálních funkcí lesa v penězích, přičemž její případné porovnání s hodnotou ekonomické stránky funkcí lesa je velmi problematické (Šišák a Pulkrab 1994).

Šišák a kolektiv ve studii publikované v roce 2013 představili metodiku diferenciovaného oceňování společenské sociálně-ekonomické významnosti funkcí lesa, kdy zásadním faktorem, kterým se publikovaná metodika odlišuje od metodik předešlých, je výpočet hodnot nikoli absolutních, ale relativních v porovnání s hodnotami funkcí jiných základních půdních krytů krajiny, kterými může být les nahrazen, např. trvalým travním porostem. Metodika oceňování společenské sociálně-ekonomické významnosti funkcí lesa zohledňuje funkce tržní, zprostředkovaně tržní a netržní, každá z funkcí je oceňována individuálním přístupem. Tržní funkce jsou vypočítány z tržeb (za dřevo v cenách na odvozním místě, za zvěř podle objemu tržeb), zprostředkovaně tržní funkce (hydrické a půdoochranné) jsou oceňovány na základě nákladů prevence a kompenzace, netržní funkce pak expertním odhadem (Šišák a kol. 2013). Mimoprodukční funkce lesa jsou však společensky podmíněné, v různých oblastech a čase, u různých skupin obyvatelstva mají mimoprodukční funkce lesa jinou společenskou hodnotu. Proto je nutné metodiky, které byly vytvářeny v jiném hodnotovém prostředí, aktualizovat. Ve většině částí metodiky publikované v roce 2017 došlo k novým kalkulacím úrovně vstupů. Metodika nabízí aktualizované

vyčíslené hodnoty služeb lesa jako ekosystému, které jsou transparentní, jednoduše identifikovatelné a odpovídající jejich sociálně-ekonomickému dopadu na společnost (Šišák a kol. 2017).

Z výše uvedeného je patrné, že hodnota tzv. mimoprodukčních funkcí lesa nebyla pouze teoreticky konstatována, ale též různými způsoby vypočítávána. Dle mého názoru si nově tyto funkce stále více začíná uvědomovat i širší společnost a hledá různé způsoby, jak je v co největší míře zachovat i nadále.

Jednou z možných variant by bylo dle mého možné využití posklizňových zbytků jako možného substitutu za surové dřevo.

Každý asi ihned namítne, že v současné době je v České republice dřeva nadbytek, který je nutno prodávat za velmi nízké částky, pokud se prodej vůbec podaří. Je však třeba brát v potaz blízkou budoucnost, v horizontu příštích 5 až 10 let, kdy se situace dramaticky, právě z důvodu aktuálního stavu, obrátí.

V rámci celosvětového měřítko je tato potřeba velmi aktuální již nyní, zejména v místech, kde je les kácen, pro získání dřeva (kupř. Asie).

Veškeré produkční a mimoprodukční služby lesa můžeme souhrnně nazývat ekosystémové služby lesa. Podobně jako čeští autoři, rozdělují i zahraniční autoři ekosystémové služby lesa do podobných kategorií, s drobnými odlišnostmi. Tabulka 1 zachycuje rozdělení ekosystémových služeb lesa uvedené v Brockerhoff a kol. 2017, tabulka 2 pak zachycuje rozdělení ekosystémových služeb lesa uvedené v Almeida a kol. 2018.

Na tomto místě je vhodné zdůraznit i rozdíl mezi ekosystémovými službami a funkcemi. Ať už jsou ekosystémové služby definovány jakkoli, vždy jsou definovány ve vztahu k člověku. Naproti tomu se ekosystémové funkce vyskytují nezávisle na tom, zda z nich lidé mohou benefitovat (Escobedo a kol. 2011).

**Tabulka 1** Seznam ekosystémových služeb lesa dle Almeida a kol. 2018

Typ ekosystémové služby	Název ekosystémové služby
Produkční	produkce dřeva a biomasy, nedřevní produkce, zvěř
Kulturní	rekreace, turismus, vzdělávání, pozorování rostlin a zvěře
Regulační	kontrola znečištění, retence vody, ochrana

	proti erozi, ukládání uhlíku
Podpůrná	odolnost proti klimatické změně, biodiversita, odolnost proti bouřím, odolnost proti suchu, odolnost proti nálezám

**Tabulka 2** Seznam ekosystémových služeb lesa dle Brockerhoff a kol. 2017

Sekce	Divize	Třída	
Produkční	Výživa	Rostliny a zvěř	
		Voda (pitná)	
	Materiál	Dřevní biomasa	
		Genetický materiál	
		Voda (užitková)	
Energie	Palivové dřevo		
Regulační	Mediace toxických látek a rušících jevů	Filtrace, sekvestrace	
		Mediace pachu a hluku, vizuální vliv	
	Mediace záplav	Ochrana proti erozi	
		Regulace toku vody	
		Ochrana proti záplavám	
		Ochrana proti bouřím	
	Údržba fyzikální, chemické a biologické kondice	Opylení a rozptýl semen	
		Poskytování přirozeného místa výskytu	
		Kontrola škůdců a chorob	
		Tvorba půdy	
		Regulace klimatu	
	Kulturní	Fyzická a intelektuální interakce s přírodou	Zkušenostní užití rostlin, zvířat a prostředí
			Fyzické užití rostlin, zvířat a prostředí
Vědecké a edukační užití rostlin, zvířat a prostředí			
Spirituální a symbolická interakce s přírodou		Symbolické a posvátné rostliny, zvířata a prostředí	
		Bytí a odkaz budoucím generacím	

Escobedo a kol. 2011 si však kladou i otázku, zda jsou ekosystémové služby lesa vždy pozitivní. Podobně jako ekosystémové služby lze definovat i negativní ekosystémové služby

lesa, neboli ekosystémové náklady, které negativně ovlivňují blahobyt lidí (Tabulka 3). Koncept negativních ekosystémových služeb lesa je nejvíce používán při vyčíslování čisté hodnoty ekosystémových služeb městských lesů, kdy položky jako alergie, strach z kriminality či koncentrace divokých zvířat čistou hodnotu ekosystémových služeb městských lesů snižuje (Escobedo a kol. 2011; Ango a kol. 2014).

**Tabulka 3** Příklady negativních ekosystémových služeb lesa dle Escobedo a kol. 2011

Náklady	Negativní ekosystémové služby
Finanční	Údržba porostu vč. zavlažování městských lesů Škody na infrastruktuře způsobené vegetací Náklady ušlé příležitosti záborem půdy Stínění (zvýšení spotřeby energie) Produkce zeleného odpadu Újmy na zdraví (nemoci přenášené hmyzem a zvěří, alergie, atd.)
Společenské	Zdravotní obtíže Obtíže způsobené zvěří Negativní estetický vliv a stínění Strach z kriminality
Environmentální	Spotřeba vody, hnojiv a pesticidů v městských lesích Spotřeba energie managementem Znečištění ovzduší emisemi vzniklými při údržbě a požárech, VOC emise Introdukce invazivních druhů a vytlačení původních druhů

### 3.2. Administrativní a právní aspekty

Základní administrativní a právní aspekty, se kterými se bude nutně v případě snahy o využití posklizňových zbytků zabývat, bude řízení u příslušného rejstříkového soudu, živnostenského úřadu, v případě nutnosti stavebních úprav stavební řízení ev. posouzení vlivu na životní prostředí, aj. Situace se bude samozřejmě zcela lišit, a to v závislosti na tom, zda již provoz na výrobu dřevotřískových desek již existuje, či nikoliv, případně zda se bude jednat o provoz osoby fyzické, nebo právnické. Dalšími aspekty, které budou situaci odlišovat, bude kupř. velikost provozu, nebo další plánovaný rozvoj činností a ev. také společnosti samotné.



Pro přehlednost jsou níže jednotlivé situace rozděleny do několika podkapitol tak, aby bylo zřejmé, jaké zásadní právní ev. administrativní otázky bude nutné v konkrétních podmínkách vyřešit. V rámci této práce tak bude řešena situace, kdy se nově vznikající výrobou bude zabývat již existující obchodní společnost, která v současné situaci již vyrábí konvenční dřevotřískové desky (ze zkušenosti z praxe byla větší pozornost věnována posouzení vlivu na životní prostředí); společnost, která se dosud zabývala výrobou odlišnou; již podnikající fyzickou osobou; nebo zda daná osoba teprve začne podnikat, přičemž v tomto případě bude z počátku též nutné zhodnotit, zda podnikat začne jako osoba fyzická, nebo založí obchodní korporaci, v tomto případě pak také jaký druh. Je pravděpodobné, že pro výrobu desek z posklizňových zbytků bude nutné zaměstnat větší množství zaměstnanců a je tak spíše menší šance, že by podnikatel podnikal jako osoba samostatně výdělečně činná, avšak z důvodu úplnosti a korektnosti je i tato varianta v této práci rozpracována.

### **3.2.1. Již existující obchodní společnost, která vyrábí konvenční dřevotřískové desky**

Vzhledem k níže popsaným změnám ve výrobě bude pravděpodobně nutné provést minimálně stavební úpravy, ne-li výstavbu nových objektů (kupř. skladovacích prostor), ve kterých by bylo možné plánovanou výrobu realizovat. K tomuto bude zcela jistě nutné iniciovat zahájení stavebního řízení dle zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů. V rámci tohoto řízení však bude nutné také posoudit vliv na životní prostředí dle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), ve znění pozdějších předpisů, a to z důvodu možnosti vzniku negativního vlivu na životní prostředí. Konkrétní povinnost provedení tohoto zhodnocení je obsažena v příloze č. 1 tohoto zákona, která určí, že výroba dřevovláknitých, dřevotřískových, pilinových desek nebo překližek a dých od limitu 200 m<sup>3</sup>/den je podřazována pod výrobu, u které bude toto posouzení nezbytné vykonat, přičemž zjišťovací řízení bude vedeno příslušným krajským úřadem. Účelem zjišťovacího řízení je zjištění, zda bude nutné posouzení vlivu na životní prostředí vykonat, či nikoliv. Krajský úřad může rozhodnout, že se posouzení vlivu konat nebude, přičemž proti tomuto rozhodnutí se mimo účastníků řízení může odvolat také spolek (získá-li 200 podpisů, nebo existuje alespoň 3 roky (§3 písm. i)),

který je poté oprávněn podat též správní žalobu.<sup>1</sup> Dle současných předpisů je možné posouzení provést v rámci územního řízení, nebo v rámci spojeného územního a stavebního řízení.

Jednotlivé fáze řízení je možné popsat následovně. Zároveň je na tomto místě vhodné uvést, že se jedná o druh správního řízení a zákon č. 500/2004 Sb., správní řád, bude užit subsidiárně, tedy podpůrně. Řízení je zahájeno ve chvíli, kdy investor doručí oznámení spolu s dokumentací příslušnému krajskému úřadu. Tyto podklady je však oprávněna zpracovat výhradně osoba k tomuto autorizovaná. Oznámení spolu s dokumentací je vždy uveřejněno na webových stránkách [https://portal.cenia.cz/eiasea/view/eia100\\_cr](https://portal.cenia.cz/eiasea/view/eia100_cr) - Informační systém EIA - tak, aby bylo možné po vypracování posudku od nezávislé akreditované osoby provést veřejné projednání. K tomuto řízení se může jakákoli osoba kdykoli vyjádřit, přičemž krajský úřad není povinen se tímto jakkoli řídit, nebo je při vydání svého rozhodnutí projednat. Rozhodnutí, jež je výsledkem tohoto řízení, je pak závazným stanoviskem pro další řízení, tedy jak je výše uvedeno, pro územní nebo spojené územní a stavební řízení, a další orgány veřejné správy jej musí vždy respektovat a zohledňovat ve svých řízeních, pro která je jedním z nezbytných podkladů. Je-li vydáno stanovisko, které znemožňuje žádosti vyhovět, správní orgán žádost bez dalšího zamítne (§149/4 SŘ).

V případě, že podané odvolání bude směřovat proti obsahu tohoto závazného stanoviska, bude odvolací orgán vyžadovat po nadřízeném orgánu, který toto stanovisko vydal, potvrzení nebo změnu uvedeného závazného stanoviska (§149/5 SŘ). Je-li vydáno závazné stanovisko nezákonně, lze jej změnit ev. zrušit v přezkumném řízení, ke kterému je příslušný nadřízený orgán, který rozhodnutí vydal, přičemž k tomuto je oprávněn podat podnět také jiný správní orgán (§149/6 SŘ).

Úspěšnost následného stavebního řízení pak závisí nejen na bezchybném zpracování projektové dokumentace, ale též na dalších závazných stanoviscích dalších dotčených osob. I v tomto případě však samozřejmě platí, že tato stanoviska musí být kladná, v opačném případě bude žádost bez dalšího zamítnuta, lhotejně, o jaké řízení se bude jednat, zda půjde o ohlášku, nebo stavební povolení. Stavby, pro které dostačuje ohláška, jsou určeny v ustanovení § 103 a násl. stavebního zákona.

---

<sup>1</sup> stanovisko EIA je možno napadnout prostřednictvím námitek, proti samotnému rozhodnutí je možno podat odvolání dle SŘ, příp. podat správní žalobu za účelem zrušení rozhodnutí

S případným rozšířením výroby jsou pak dále spojeny další aspekty, pro které druh nové činnosti není rozhodující, tedy kupř. nábor nových zaměstnanců a administrativní zátěž s tím spojená. Tedy nutnost nahlásit zaměstnance u zdravotní pojišťovny, přihlásit zaměstnance u České správy sociální zabezpečení, Finančního úřadu.

### 3.2.2. Již existující obchodní společnost s odlišnou výrobou

V tomto případě je vysoký předpoklad nutnosti provedení zhodnocení vlivu na životní prostředí tak, jak je uvedeno výše, a to zejména s ohledem na předpokládanou výraznější změnu ve výrobě a s tím plynoucí nutnost výraznějších stavebních úprav (sklady suroviny, hospodaření s odpadní vodou, zamezení emise prachu).

Dle ustanovení § 123 zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů, patří vedle sídla a firmy (dle §423 odst. 1 občanského zákoníku – názvu) k základním požadavkům na zakladatelské právní jednání též určení předmětu činnosti. Další konkretizaci předmětu podnikání nebo činnosti vyžaduje ustanovení §146 odst. 1 zákona č. 90/2012 Sb., o obchodních společnostech a družstvech (zákon o obchodních korporacích), ve znění pozdějších předpisů. *„Předmět činnosti bude společenské smlouva obsahovat namísto předmětu podnikání v případě, že společnost bude v souladu s § 2 odst. 1 založena za jiným účelem, než je podnikání“* (Štenglová a kol. 2017). Samotné zpracování dřeva je uvedeno v příloze č. 4 zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů, jako živnost volná. Je velmi pravděpodobné, že činnost probíhající v dosavadní výrobě bude také spadat do této kategorie a nebude tak nutné měnit předmět podnikání, který je povinně zapisován do obchodního rejstříku vedeným příslušným rejstříkovým soudem. *„Předmět činnosti nebo podnikání se zapisuje zpravidla vždy, protože činnost je realizací účelu. Oproti tomu účel je zpravidla vymezen podstatou právnické osoby a do veřejného rejstříku se podle hmotného práva zapisovat nemusí. Účel je soukromý nebo veřejný s tím, že není-li vymezen, určuje se zpravidla podle hlavní činnosti. Účel se např. vymezuje u spolků [§ 218 písm. b) ObčZ] nebo u nadací veřejně prospěšný účel, dobročinný účel [§ 311 odst. 2 písm. b) ObčZ]. Oproti tomu u obchodních korporací, kde se předpokládá účel podnikatelský, byť nejen, se účel do veřejného rejstříku nezapisuje“* (Havel 2015).

V případě, že je dosavadní činností také živnost volná a obchodní společnost má již potřebná oprávnění, netřeba dále situaci řešit s příslušným živnostenským úřadem.

Volná živnost je dle ustanovení §19 živnostenského zákona určena jako živnost ohlašovací a je tedy nutné ji ohlásit příslušnému živnostenskému úřadu, přičemž k tomuto je nutné uvést veškeré náležitosti určené ustanovením § 45 odst. 3 živnostenského zákona.

Splní-li ohlašovatel všechny požadované náležitosti, vydá mu dle ust. §47 živnostenského zákona příslušný živnostenský úřad do 5 dnů ode dne doručení ohlášení výpis z živnostenského rejstříku.

Opět i v tomto případě bude nutné zajistit standartní záležitosti spojené s rozšířením výroby.

### **3.2.3. Podnikající fyzická osoba**

V případě již podnikající fyzické osoby bude nutno řešit jak stavební řízení s posouzením vlivu na životní prostředí, tak případné řízení u příslušného živnostenského úřadu. Podnikající fyzická osoba je oprávněna na příslušném živnostenském úřadu podat přihlášku k dani z příjmu nebo silniční dani, podat přihlášku k důchodovému pojištění, nemocenskému pojištění, podat oznámení dle zákona o veřejném zdravotním pojištění příp. též oznámit zahájení samostatné výdělečné činnosti dle zákona o sociálním zabezpečení (ust. § 45a a § 45b živnostenského zákona).

### **3.2.4. Dosud nepodnikající fyzická osoba/dosud nevzniklá obchodní společnost (možné druhy obchodní společnosti)**

Nejdříve je nutné ujasnit si, jaká právní formu podnikání bude pro další činnost a rozvoj nejvhodnější, tedy zda bude založena, ev. pořízena obchodní společnost<sup>2</sup>, nebo zda bude fyzická osoba podnikat jako osoba samostatně výdělečně činná (tzv. OSVČ). V případě začínajícího podnikání se jeví jako vhodnější podnikání prostřednictvím obchodní společnosti, a to ideálně takové, kde fyzická osoba neručí závazky a existuje větší možnost vstupu potenciálních investorů nebo prodeje. Samotné zhodnocení jednotlivých typů obchodních společností bude uvedeno níže tak, aby bylo možno zjistit a zhodnotit veškeré možné klady a zápory dané společnosti pro každý konkrétní případ.

---

<sup>2</sup> je možno pořídit již založenou, avšak nikdy činnost nevykonávající tzv. ready made společnost, nebo společnost již existující tzv. s historií, která je vhodná kupř. pro potřeby žádosti o různé dotační tituly, avšak velmi riziková z pohledu jak finančního (předluženost), tak právního (možná trestní odpovědnost právnické osoby dle zákona č. 418/2011 Sb., o trestní odpovědnosti právnických osob a řízení proti nim, ve znění pozdějších předpisů)

Obecně je možno zkonstatovat, že mezi klady podnikání jako osoby samostatně výdělečně činné patří relativně nižší administrativní zátěž, neboť dostačuje vyplnit tzv. jednotný registrační formulář a splnit základní předpoklady pro získání živnostenského oprávnění, mezi které patří dosažení zletilosti, svéprávnost, tedy způsobilost k právnímu jednání, bezúhonnost, přičemž výpis z rejstříku trestů není již třeba dokládat, neexistence daňových nedoplatků, příp. nedoplatků na sociálním a zdravotním pojištění. Zároveň i daňové hledisko bývá považováno za klad, když osoba samostatně výdělečně činná odvádí daň z příjmu ve výši 15%, oproti tomu daň z příjmu právnických osob činí 19%. Rozdělí-li si společníci podíl ze zisku, bude tento zisk dále také zdaněn 15% daní. Zároveň je osoba samostatně výdělečně činná oprávněna vést pouze evidenci příjmů a pohledávek a nevést tak daňovou evidenci. Daňové výdaje jsou pak v tomto případě vypočítávány jako urč. procento z příjmů díky tzv. paušálním výdajům, avšak pouze do výše stanoveného maxima, které je každým rokem spíše snižováno. V případě uvažované výroby desek z posklizňových zbytků je předpoklad, že bude nutné zaměstnávat větší množství zaměstnanců a náklady budou zcela jistě převyšovat tyto výše zmíněná maxima. S takto větším množstvím zaměstnanců se tak zcela vytratí největší klad této formy podnikání – nízká administrativní zátěž.

Nutno poznamenat, že v obou z těchto případů bude nutné provést registraci zaměstnavatele u zdravotní pojišťovny/zdravotních pojišťoven, u České správy sociální zabezpečení, u Finančního úřadu. Zároveň také bude nutné uzavřít zákonné pojištění odpovědnosti zaměstnavatele.

Aspektem, který je dobré zmínit, je také nesrovnatelně vyšší administrativní náročnost ukončení podnikání v případě likvidace společnosti.

#### *Dosud nevzniklá obchodní společnost*

Prvním krokem při založení společnosti, je volba, kterou obchodní společnost založit. Dle zákona o obchodních korporacích rozlišujeme společnosti osobní a kapitálové. Nejzásadnějším rozdílem mezi těmito společnostmi je způsob ručení, když společníci neručí za dluhy společnosti, příp. jen omezeně; naproti tomu minimálně alespoň někteří společníci ručí za dluhy solidárně, neomezeně a celým svým majetkem (Štenglová 2017). Samozřejmě existují i další rozdíly, avšak pro větší přehlednost budou jednotlivé znaky daných společností charakterizovány níže v textu.

### *Osobní společnost – veřejná obchodní společnost*

Zřejmě nejstarší druh obchodní společnosti, známý již z dob starověkého Říma, v historii na našem území patrně nejhojněji užíván za dob první republiky, když zde neexistovala povinnost vytvářet základní kapitál. V současné době je veřejná obchodní společnost společností vznikající z podnětu více osob účastnících se na jejím podnikání nebo na správě majetku, jež je možné založit pouze společenskou smlouvou (založení zakladatelskou listinou není možné, protože zakladateli musí být alespoň dvě osoby, lhostejno, zda osoby fyzické, či právnické). Vkladová povinnost není i nadále určena, a to především z toho důvodu, že společníci ručí za dluhy neomezeně, nerozdílně a společně. V tomto bodě je jistě vhodné upozornit, že uhrazovací povinnost z titulu ručení je možno vztáhnout též na společné jmění manželů. Statutárním orgánem bude vždy každý společník, pokud je však společníkem právnická osoba, je povinna zplnomocnit osobu za ní jednající, přičemž neučiní-li tak, jedná statutární orgán právnické osoby, která je společníkem. V případě, že společník má své vlastní podnikatelské oprávnění, toto nedostačuje a je nutné, aby se jej zřídila společnost sama pro sebe. Štenglová upozorňuje, že součástí činnosti této společnosti bude vždy i správa vlastního majetku (Štenglová a Havel 2017). Není podáváno daňové přiznání právnické osoby, avšak není možné využít institutu paušálních výdajů.

Specifikem je také skutečnost, že zánik účasti jednotlivých společníků znamená ve svém důsledku též zánik společnosti samé. Pokorná upozorňuje též na zákaz převodu podílu společníků znamenající též zákaz zastavení podílu. Případ smrti, tedy přechodu podílu, je nutné výslovně sjednat ve společenské smlouvě, jinak je vyloučen. Smrt společníka bude tak znamenat zrušení společnosti, nedohodnou-li se ostatní společníci na jejím pokračování. Předmětem dědictví by pak byl vypořádací podíl, zrušila-li by se společnost, pak podíl na likvidačním zůstatku (Pokorná 2014a).

### *Osobní společnost – komanditní společnost*

Tento druh osobní společnosti vznikl zhruba kolem 12.stol. v Itálii, a to za účelem možnosti soustředění kapitálu od osob, které neměly zájem podnikat, za zisk ve formě podílu na zisku z tohoto podnikání. V současné době společnost vzniká společenskou smlouvou za podmínky, že alespoň jeden ze společníků ručí za závazky neomezeně (komplementář) a druhý omezeně (komandista). Stejně jako u veřejné obchodní společnosti je možné tuto společnost založit za účelem podnikání a správy vlastního majetku, přičemž společnost musí mít vlastní podnikatelské oprávnění, i pokud jím disponuje některý z jejích společníků (Havel

a Štenglová 2017a). Jak je uvedeno výše, komandista ručí za dluhy omezeně, a to do výše vkladu, tedy do doby, než je do obchodního rejstříku zapsáno, že splatil svůj vklad (Havel a Štenglová 2017b). Tyto vklady pak odpovídají velikosti podílu, naproti tomu komplementáři mají podíly stejné (Havel a Štenglová 2017c). Pokorná dovozuje, že převod podílu komplementáře je vyloučen, stejně tak i zástava tohoto podílu, oproti podílu komandisty, na který je možné aplikovat přiměřeně ustanovení o převoditelnosti obchodního podílu u společnosti s ručením omezením (Pokorná 2014b). Komanditní společnost nemá vnitřní organizační strukturu a společníci se tak osobně účastní na řízení společnosti s tím, že statutárním orgánem jsou výhradně komplementáři (Pokorná 2014b). Pokorná poznamenává, že jim tak náleží obchodní vedení společnosti, a to vzhledem k vyššímu riziku, které nesou. V zásadních otázkách rozhodují však komplementáři, tak komandisté, když hlasují zvlášť a je nutné, aby souhlasily obě tyto skupiny (Pokorná 2014b).

#### *Kapitálová společnost – společnost s ručením omezeným*

Tato společnost vznikla koncem 19. stol. v reakci na nutnost omezit ručení společníků, a to i v jiné, snadnější formě, než kterou byla akciová společnost. Tento pojmový znak je základním definičním znakem i v současné právní úpravě, když ostatní znaky společnosti mohou být určeny dispozitivně, tedy odchylně, než jak určí zákon (Štenglová a kol. 2017a). Hlavním kladem oproti výše uvedeným společnostem je pouze omezené ručení za dluhy společnosti, a to do výše nesplněné vkladové povinnosti. Její minimální výše je však zákonem (ust. § 142 odst. 1 zákona o obchodních korporacích) stanovena na 1 Kč.

Založit tento druh obchodní korporace je oprávněna jak jedna, tak více osob, lhostejno, zda fyzických, nebo právnických, a to zakladatelským právním jednáním. Toto jednání je označováno rozdílně, a to podle toho, kolik osob takovéto jednání činí. Jedná-li pouze jedna osoba, hovoří zákon o zakladatelské listině, jedná-li více osob, pak prostřednictvím společenské smlouvy. Obě tyto listiny musí mít formu veřejné listiny, tedy dle ust. § 776 odst. 2 zákona o obchodních korporacích formu notářského zápisu. Je tedy zřejmé, že v tomto případě musí zakladatelé navštívit notáře. Na toto jednání nemá zákon pouze požadavky co do způsobu uzavření, ale též co do obsahu, přičemž mezi základní náležitosti (ust. § 123 odst. 1 občanského zákoníku ve spojitosti s ust. § 146 zákona o obchodních korporacích) těchto listin patří zejména určení sídla, předmětu činnosti, určení statutárního orgánu, prvních členů tohoto orgánu, výši vkladu, výši základního kapitálu, počet jednatelů a jejich oprávnění k jednání, určení správce vkladu (Holejšovský 2014).

Společnost však vzniká až zápisem do obchodního rejstříku, přičemž pro toto je třeba zajistit následující dokumenty: výpis z živnostenského rejstříku, listinu dokládající právní důvod užívání prostor, ve kterých bude zapsáno sídlo obchodní společnosti, přičemž k tomuto postačí písemné prohlášení vlastníka nemovitosti, které nebude starší 3 měsíců, výpis z evidence rejstříku trestů, potvrzení o vkladu na bankovní účet pro dosud nevzniklý subjekt a prohlášení správce vkladu.

K tomuto je zároveň důležité poznamenat, že k žádosti o zápis do obchodního rejstříku je nutné (dle ust. § 18 zákona č. 304/2013 Sb., o veřejných rejstřících právnických a fyzických osob, ve znění pozdějších předpisů) využít elektronický inteligentní formulář dostupný na <https://or.justice.cz/ias/ui/podani>.

Druhou možností je učinit toto jednání u kteréhokoli notáře, který je oprávněn nově vzniklou společností do obchodního rejstříku zapsat dle ust. § 108 a násl. zákona o veřejných rejstřících. Je-li využit tento způsob, je placen nižší poplatek za zápis než v případě běžného způsobu zápisu.

Další povinnosti při vzniku společnosti jsou též tyto:

- aktivovat a užívat datovou schránku
- vést účetnictví (podávat daňové přiznání)
- zaregistrovat se k dani z příjmu právnických osob
- označit sídlo.

Se vznikem tohoto typu obchodní společnosti jsou konstituovány též obligatorní orgány, tedy valnou hromadu, pokud má společnost více jak jednoho společníka, a jednatele. Samozřejmě společnost může společenskou smlouvou určit vznik též dalších orgánů, typicky dozorčí radu jako orgán poradní. Společníci však nejsou nijak omezováni a je tak možné, aby vznikly též další orgány – např. inventarizační komise.

Valná hromada je nejvyšším orgánem společnosti a rozhoduje tak o nejpodstatnějších věcech společnosti, kterými jsou kupř. volba, ev. odvolání jednatele, schvalování účetních závěrek, rozhodování o změně výše základního kapitálu apod. Valná hromada je svolávána jednatelem, a to alespoň jednou za účetní období, přičemž je samozřejmě možné, aby byla stanovena přímo frekvence častější, nebo aby byla za zvláštních okolností, jež je nutné projednat neprodleně, mimořádná valná hromada. Má-li společnost pouze jediného



společníka, rozhoduje dle zákona tento společník sám v působnosti valné hromady (Holejšovský 2014).

Jednateli pak dle Holejšovského náleží obchodní vedení společnosti a je statutárním orgánem společnosti, který je volen. Jednatel musí splňovat hned několik podmínek, a to svéprávnost, bezúhonnost, nesmí být známa překážka k provozování živnosti a zároveň nesmí být na majetek jednatele samotného, příp. korporace, ve které působil jako člen orgánu vedeno insolvenční řízení. Jednatel je povinen vykonávat svoji funkci s péčí řádného hospodáře, tedy s potřebnými znalostmi a pečlivě (Holejšovský 2014).

Převoditelnost podílu jednotlivých společníků je možná, když naproti výše uvedeným společnost nejde o společnost osobní.

Společnost s ručením omezením nemá povinnost zřídit internetové stránky, avšak zřídila je, je nutné, aby na nich mimo jiné zveřejnila stejné údaje, jak je tomu v případě akciové společnosti (ust. § 7 odst. 3 zákona o obchodních korporacích).

#### *Kapitálová společnost – akciová společnost*

Vznik tohoto typu společnosti je možno datovat až do doby římské, avšak novodobý ráz tato společnost začala mít nejdříve ve středověké Itálii. Největší rozvoj však zaznamenala s v souvislosti s rozvojem námořní dopravy, která zabezpečovala obchod s koloniemi tehdejší Evropy (Štenglová a kol. 2017b).

Akciová společnost je společností, jejíž základní kapitál je rozvržen do určitého počtu akcií (ust. § 243 odst. 1 zákona o obchodních korporacích). Oproti povinné minimální výši vkladu u společnosti s ručením omezením musí základní kapitál akciové společnosti činit minimálně dva miliony korun českých, ev. 80 tis. EUR. Tuto výši stanovil zákonodárce jako tzv. test serióznosti. Akcionáři neručí za dluhy společnosti a zpravidla se nepodílí na každodenním řízení společnosti, když tento úkol přenechávají profesionálnímu managementu. Svůj vliv uplatňují na schůzi valné hromady, na které vykonávají svá stanovená práva. Zákon dále určuje i další povinnost strukturu – společnosti, když stanoví na výběr dva možné systémy vnitřního řízení – monistický nebo dualistický. V případě monistického systému je společnost řízena statutárním ředitelem a správní radou, oproti tomu v případě dualistického systému společnost řídí představenstvo a dozorčí rada. K založení společnosti je nutné přijetí stanov, a to formou veřejné listiny, tedy notářského zápisu, které obsahují základní organizační a správní dokument dané společnosti. Zákon stanoví povinné náležitosti i

samotnému znění těchto stanov, mimo jiné i určení předmětu podnikání. V našem případě však bude dostačovat uvést výroba, obchod a služby neuvedené v přílohách 1 a 3 živnostenského zákona. Mezi další povinné náležitosti patří počet akcií, jejich forma, určení počtu hlasů spojených s jednou akcií, který systém vnitřního řízení byl zvolen, počet členů jednotlivých zřizovaných orgánů atd. (Lasák 2014). Mezi další povinnosti, které je třeba plnit, je kupř. i nutnost zřízení webových stránek (ust. §7 odst. 2 zákona o obchodních korporacích), na kterých kromě základních informací o sobě zveřejňuje i pozvánky na valnou hromadu s minimálním předepsaným obsahem (ust. §407 odst. 1 a 2 zákona o obchodních korporacích). Vzhledem k výše uvedenému základnímu výčtu je jasné, že z počátku podnikání je založení tohoto typu akciové společnosti finančně náročné a oproti založení společnosti s ručením omezením nepřináší vyšší přidanou hodnotu než větší důvěryhodnost či prestiž. Samozřejmě pokud se bude společnost úspěšně rozvíjet, zaměstnávat více zaměstnanců a vyvstane-li potřeba, je možné společnost s ručením omezeným transformovat na společnost akciovou.

#### *Podnikání fyzické osoby*

Nejzákladnější znaky tohoto způsobu podnikání byly popsány v kapitole výše a není tak nutné je zde opakovat. Základním právním předpisem upravujícím převážnou část podnikatelských činností je živnostenský zákon (zákon č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání, ve znění pozdějších předpisů). Pokorná vysvětluje, že není možné zaměňovat pojem živnost a podnikání, když živnost je užší pojem zahrnující jen podnikání řídicí se živnostenským zákonem<sup>3</sup>. Zároveň zdůrazňuje, že živnostenský zákon dopadá jak na osoby fyzické a právnické, které podnikají dle tohoto zákona a není tak možné do této kategorie zařazovat jen drobně podnikající fyzické osoby (o povinnosti zřídit živnostenské oprávnění též v případě obchodních korporací bylo výše v příslušných podkapitolách pojednáno) (Pokorná 2014c).

Má-li jakákoli osoba zájem začít podnikat jako OSVČ, je nutné podat Jednotný registrační formulář na příslušném živnostenském úřadě. Touto registrací odpadá nutnost provést registraci zaměstnavatele u zdravotní pojišťovny/zdravotních pojišťoven, u České správy sociální zabezpečení, u Finančního úřadu, jak je tomu u obchodních společností. Závěrem je také nutné uzavřít zákonné pojištění odpovědnosti zaměstnavatele.

---

<sup>3</sup> do této kategorie nespádají např. tzv. svobodná povolání, nebo zemědělství

### 3.3. Dotační tituly

Samotný proces získání dotace je v hlavních bodech vždy stejný, avšak je třeba upozornit, že každá výzva může obsahovat odlišnosti. Je jistě výhodou, že výroba dřevotřískových desek z posklizňových zbytků je činností spadající do oblasti ochrany životního prostředí a je tedy velmi žádoucí. Je tak možné domnívat se, že jde z pohledu žádosti o poskytnutí dotace o kvalitní podnikatelský záměr, na který je možné aplikovat hned několik aktuálně vyhlášených výzev, u kterých je dle mého názoru předpoklad, že budou vyhlašovány i pro další období. Samotná žádost je podávána na Portálu IS KP14+ jako součást MS2014+ dostupného na internetových stránkách <https://mseu.mssf.cz/> formou celkové žádosti. Samozřejmě je vhodné žádost podávat co nejdříve po termínu vyhlášení výzvy tak, aby nebyly finanční prostředky již vyčerpány, avšak kupř. program Nízkouhlíkových technologií má ve výzvě samotné uvedeno, že je možné alokovanou částku navýšit, a to za podmínky, že bude převis kvalitních žádostí o poskytnutí dotace. Jasně však je, že toto bude hodnoceno spíše subjektivně a se samotným navýšením alokace tak nelze kalkulovat. Publikace výsledků, tedy rozhodnutí, zda dotace byla, či nebyla poskytnuta, se žadatel dozví opět na Portálu IS KP14+. V případě úspěchu je nutné, aby byl projekt realizován naprosto přesně dle podmínek uvedených ve výzvě a žádosti o poskytnutí dotace. Finanční prostředky žadatel získá zpětně, po realizaci projektu, na základě skutečně vynaložených nákladů na projekt, které je povinen doložit. Všechny podpořené projekty mají zpravidla určenu též podmínku délky udržitelnosti v délce 5 let od ukončení realizace, která monitorována prostřednictvím tzv. monitorovacích zpráv (OPPIK 2020a).

Možnost získání dotace, tedy finanční podpory, je příležitostí pro každého pro začátek, či rozšíření svého podnikání, avšak vždy je nutné podrobně nastudovat znění jednotlivých výzev a veškerých podmínek v nich obsažených, když i ty se v čase mění a není tak možné spoléhat na znění již uzavřené výzvy, neboť nedodržení podmínek může mít až fatální dopady na žadatele, a to zejména v případech, kdy je nutné veškeré finanční prostředky navrátit z důvodu nesplnění těchto předem stanovených požadavků. Finanční podpory je možné dělit do několika kategorií, přičemž v této práci budou pro lepší orientaci děleny dle účelu, pro který jsou poskytovány. Zároveň je nutno podotknout, že v práci jsou reflektovány jen aktuální otevřené výzvy, které mohly v průběhu tvorby práce již uzavřeny, neboť doba trvání výzvy se může pohybovat pouze v řádu několika měsíců.

## *Nemovitosti*

Tyto dotace jsou poskytovány v rámci operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (OPPIK) v období 2014–2020, který spravuje Agentura pro podporu podnikání a inovace spadající pod Ministerstvo průmyslu a obchodu.

Dotaci na nemovitosti, konkrétně na modernizaci zastaralých a technicky nevyhovujících, nebo jejich nahrazení novými, ve výši 1 – 70 mil. Kč mohou získat malé a střední podniky<sup>4</sup> z kraje Ústeckého, Moravskoslezského nebo Karlovarského, přičemž jako další podmínkou je zachování a zvýšení zaměstnanosti v regionu. Výše dotace je určena ve výši 35% pro střední podniky a ve výši 45% pro malé podniky a příjemce musí být vlastníkem předmětných nemovitostí. Mezi způsobilé výdaje je pak možné zařadit jak rekonstrukci samotného objektu, tak terénní úpravy, odstranění původní stavby, zajištění inženýrských sítí nebo komunikací ke stavbám (API 2020a)

Dále je možné požádat o poskytnutí dotace na snížení energetické náročnosti a zvýšení energetické efektivity v podnikatelském sektoru, ve výši 500 tis. – 400 mil. Kč, přičemž tato podpora je poskytována oproti výše uvedenému i velkému podniku. Počet zaměstnanců je však rozhodujícím kritériem pro určení výše dotace, když malý podnik má stanovenou hranici na 50% způsobilých výdajů, střední 40% a velký 30%. Dotaci je možné využít např. na rekonstrukci a modernizaci rozvodů elektřiny, tepla, nebo plynu, modernizaci soustav osvětlení, zateplení, výměnu a renovaci otvorových výplní, instalaci vzduchotechniky, instalace obnovitelných zdrojů energie atd. (OPPIK 2020b).

## *Nákup strojů*

V rámci programu Nízkouhlíkové technologie lze pořídit nejen elektromobil, či dobíjecí stanici ale především získat dotaci za účelem zavedení technologie určené k získávání druhotných surovin v kvalitě, jež je vhodná pro další využití v průmyslové výrobě, příp. též k zavedení inovativní technologie na výrobu inovativních výrobků vyrobených z druhotných surovin, včetně náhrad primárních zdrojů druhotnými surovinami. Celková výše podpory se pohybuje v rozmezí 1 – 70 mil Kč, přičemž je omezena maximální výše podpory, a to dle

---

<sup>4</sup> podnikatel, který zaměstnává méně než 250 zaměstnanců a jeho roční obrat nepřesahuje 50 milionů EUR nebo jeho bilanční suma roční rozvahy nepřesahuje 43 milionů EUR – z <https://www.czechinvest.org/cz/Sluzby-pro-male-a-stredni-podnikatele/Chcete-dotace/OPPI/Radce/Definice-maleho-a-stredniho-podnikatele>

velikosti podniku v rozmezí od 25% (velký podnik) do 45% (malý podnik). Dotaci je možné využít k pořízení dlouhodobého hmotného majetku, ev. i nehmotného, je-li nezbytný k provozování hmotného majetku, tedy např. k nákupu strojů a softwarů. Jediným omezením je nutnost realizovat projekt mimo oblast Prahy (OPPIK 2020c; API 2020b).

### *Příklad dobré praxe*

Jako případ dobré praxe čerpání dotace OPPIK v dřevozpracujícím průmyslu může být rozšíření a modernizace výrobních a skladovacích prostor družstva Dřevotvar. Družstvo vyrábí nábytek, nábytkové dílce, kuchyňské dřevěné náčiní a altány, své výrobky vyváží do celého světa, zejména do západní Evropy. Dle oficiálně dostupných informací byl projekt, podpořený operačním programem Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost, realizován v letech 2017–2019 a celkové náklady projektu byly 33 mil. Kč. Modernizace objektu přinesla zefektivnění výroby a rozšíření výrobních a skladovacích kapacit. Rekonstrukce zahrnovala výměnu oken v objektu, zateplení budovy, rekonstrukci střechy a půdních skladovacích prostor, instalaci nového osvětlení, modernizaci vytápění, rekonstrukci nákladního výtahu, vzduchotechniky, vyasfaltování celého areálu atd. V rámci projektu byl vystavěn i expediční sklad s rampou (Dřevotvar 2020).

## 4. Metodika

Vzhledem k tomu, že předkládaná disertační práce má podobu komentovaného souboru publikovaných článků, metodiky dílčích částí výzkumu jsou detailně prezentovány v jednotlivých člancích.

V práci byly použity následující metodické postupy:

- administrativní, právní, technologické i ekonomické aspekty výroby byly zhodnoceny s využitím metod deskripce, analýzy, komparace a syntézy příslušných předpisů,
- data pro analýzy byla čerpána zejména z odborných vědeckých článků, ze statistik Českého statistického úřadu (ČSÚ) a Organizace pro výživu a zemědělství (FAOSTAT) a z výrobních podniků,
- primární i sekundární data byla zpracována statistickými metodami, konkrétní metodika je vždy uvedena v příslušném článku.

## 5. Syntéza výsledků a diskuse

Lignocelulózové materiály mají pro zpracovatelský průmysl velký potenciál, a v nadcházející době budou mít důležitou úlohu při výrobě kompozitních materiálů nejen proto, že mohou být produkovány udržitelným způsobem. Využití obnovitelných materiálů při výrobě kompozitů se zvyšuje (Wu a kol. 2014, Mohanty a kol. 2001), přičemž zejména je atraktivní kombinace levného lignocelulózového materiálu a levného adhesiva. Právě tato skutečnost byla motivací pro výzkum publikovaný v časopise *Industrial Crops and Products* (Hýsková a kol. 2020c). V případě využití např. slámy pšenice ozimé, která je dvakrát levnější než dřevo (Perlack a kol. 2011), v kombinaci s močovinoformaldehydovým lepidlem je možné docílit cenu vstupních surovin pro výrobu třískových desek v úrovni 66 EUR/t.

Důležitým faktorem, pro který se považují lignocelulózové zbytky jako budoucí alternativa dřeva pro výrobu panelů, je očekávaný budoucí nedostatek dřevní hmoty v Evropské unii (Mantau a kol. 2010). Naproti tomu, každý rok Evropská unie vyprodukuje celkem 700 milionů tun odpadu ve formě zemědělských posklizňových zbytků (Babenko a kol. 2018). K dnešnímu dni je značná část posklizňových zbytků spálena, což je ekonomicky nevhodné a z hlediska životního prostředí nebezpečné z důvodu produkce velkého množství skleníkových plynů spalováním.

Dalšími hlavními benefity posklizňových zbytků zemědělských plodin jsou též jejich nenáročná obnovitelnost, snadná dostupnost, recyklovatelnost, biologická odbouratelnost a ekologická kompatibilita. A co více, jsou charakteristické výhodnou specifickou pevností, hmotností, dobrými termálními a akustickými vlastnostmi (Dukarska a kol. 2017).

Výroba kompozitních materiálů ze slámy pšenice a řepky také příznivě přispěje k řešení problému s ukládáním CO<sub>2</sub> z ovzduší. Převod těchto posklizňových zbytků zemědělských plodin na produkty s vyšší přidanou hodnotou může vést ke zlepšení výkonnosti zemědělského sektoru, protože jejich lepší využití bude pro zemědělce užitečné ve smyslu zdroje dalšího příjmu, který může být důležitým motivujícím faktorem při prosazování efektivního systému sběru a zpracování těchto komodit (Yasin a kol. 2010; Gajdačová a kol. 2018).

## 5.1. Technologické aspekty

Úprava povrchu a struktury přírodních materiálů může zlepšit jejich zpracovatelnost a využitelnost, přičemž mezi metody vedoucí ke změně struktury je možno zařadit metody biologické (Mamun a Bledzki, 2014), hydrotermické (Yu a kol. 2014), mechanické (Alang a kol. 2012) a fyzikální a chemické (Naghmouchi a kol. 2015, Zhang 2014). Tyto metody byly hojně vědecky zkoumány a nyní jsou zpracovatelským průmyslem využívány při výrobě materiálů z bavlny, lnu a konopných vláken. Většina výzkumů týkající se materiálového využití posklizňových zbytků je zaměřena na zlepšení povrchových vlastností odstraněním tuků, vosků, bílkovin a nekystalických částí celulózy, za využití všech výše uvedených metod (Bledzki a kol. 2010).

Již zmíněná biologická metoda, jejíž částí je enzymatická modifikace, je ve srovnání s tradičními metodami (zejm. chemická metoda) vhodnější, z toho důvodu že je možné ji provádět za mírných a ekologických procesních podmínek, a to za bezvýznamného ovlivnění mechanických vlastností vláken (Zhang a kol. 2012). Enzymatická modifikace nemusí vést pouze k odstranění necelulóзовých látek, ale může být využita také k úpravě povrchu (Saleem a kol. 2008).

Zkoumání právě enzymatické modifikace bylo předmětem článku č. 1 (Hýsková a kol. 2020c). Příspěvek se zabývá možností využití posklizňových zbytků zemědělských plodin, konkrétně pak slámy pšenice ozimé a slámy řepky ozimé pro účel výroby třískových desek. Za účelem zvýšení povrchového napětí třísek byly třísky před nanesením adhesiva upraveny působením enzymů; xylanáz, pektináz a kombinací obou. Byl sledován vliv enzymatické úpravy na vlastnosti upravených třísek a následně, po výrobě desek, byl sledován i vliv úpravy třísek na mechanické a fyzikální vlastnosti vyrobených kompozitů.

Prokázal se vliv enzymatické modifikace na vlastnosti zvolených třísek. Použitými xylanázami a pektinázami byla ovlivněna morfologie povrchu třísek, jejich povrchové napětí a rovnovážná vlhkost. Největší eroze povrchu byla dosažena kombinací xylanáz a pektináz. Ačkoli měly zvolené enzymy vliv na vlastnosti třísek, vliv enzymatické úpravy na vlastnosti vyrobených třískových desek pozorován nebyl, a to ani u třísek z pšenice nebo řepky. Následnou výrobní technologií třískových desek bylo však dosaženo eliminace těchto rozdílných vlastností vstupních třísek.



Na základě fyzikálních a mechanických vlastností vyrobených třískových desek tak nelze zvolené enzymatické úpravy pokládat za účinné a nelze je tedy doporučit jako předúpravu při výrobě třískových desek ze slámy pšenice a řepky. Je nezbytné podotknout, že enzymatická předúprava povrchu třísek je mokrá úprava, která by při výrobě třískových desek produkovala navíc také odpadní vodu. Hospodaření s odpadní vodou přináší významné vícenáklady, které by bylo možné akceptovat jen v případě významného zlepšení fyzikálních a mechanických vlastností desek z upravených třísek.

Předúpravou povrchu posklizňových zbytků zemědělských plodin za účelem zvýšení adheze mezi materiálem a lepidlem se zabýval i článek Gajdačová a kol. 2018. Záměrem výzkumu bylo porovnávání účinnosti dvou modifikací stonků (alkalická a hydrotermická) na stoncích řepky (*Brassica napus* L.), kukuřice (*Zea mays* L.) a pšenice (*Triticum aestivum* L.). Ve výzkumu byl prokázán statisticky významný vliv hydrotermické modifikace na snížení kontaktního úhlu mezi vodou a povrchem stonku řepky ozimé a kukuřice a vliv alkalické modifikace na snížení kontaktního úhlu mezi vodou a povrchem stonku kukuřice. Dále byla v tomto článku hodnocena i možnost využití řepky ozimé pro výrobu kompozitních materiálů, a to pomocí SWOT analýzy, ve které byla tato problematika komplexně zhodnocena. Tato část výsledků je diskutována v kapitole 5.2.

Dalším možným využitím posklizňových zbytků zemědělských plodin je výroba tepelně izolačních materiálů. Ukazuje se, že v oblasti tepelně izolačních materiálů jsou posklizňové zbytky zemědělských plodin daleko více konkurenceschopné produktům ze dřeva (tepelně izolační vláknité desky), než v oblasti materiálů pro konstrukční účely či v oblasti materiálů pro nábytkářské účely. Tepelně izolační desky již byly úspěšně vyrobeny ze stonků slunečnice (Binici a kol. 2014), stonků rýže (Wei a kol. 2015) a mnoha dalších alternativních materiálů (Asdrubali a kol. 2015).

Z pohledu tepelně izolačních vlastností jsou zajímavým posklizňovým zbytkem, produkovaným v České republice, plevy pšenice ozimé. Pšeničné plevy mají velmi dobré tepelně izolační vlastnosti ve volně sypaném stavu (Pavelek a kol. 2018), i v podobě lisované desky (Hýsek a kol. 2018a). V rámci řešení této disertační práce rovněž vzniklo jedno technické řešení pro využití plev obilovin. Byl vyvinut tepelně izolační panel z plev obilovin a recyklované polyuretanové pěny. Vyvinutá izolační deska je až z 85% tvořena odpadními materiály (plevy obilovin a recyklované polyuretanová pěna). Deska má dobré izolační

vlastnosti, a zároveň oproti jiným izolačním materiálům se vyznačuje vysokou pružností, soudržností a pevností. Toto technické řešení je zapsáno jako užitný vzor č. 31238.

## 5.2. Ekonomické aspekty

Materiálové využití posklizňových zbytků je velmi racionální zužitkování, zejména díky vázání oxidu uhličitého v produktech po delší dobu (Ramamoorthy a kol. 2015; Hýsek a kol. 2018b). Velmi zajímavé plodiny jsou samozřejmě ty, které jsou v globálním měřítku nejpěstovanější, a zároveň produkující velké množství biomasy, kterou lze z pole po sklizni odvést a následně zužitkovat. Úspěšně již byly vyrobeny kompozitní materiály např. z rýžové slámy (Xia a kol. 2018), rýžových plev (Muthuraj a kol. 2019), pšeničné slámy (Sitz a kol. 2015), pšeničných plev (Hýsek a kol. 2018a), řepkové slámy (Hýsková a kol. 2020c) či z posklizňových zbytků dalších plodin (Klímek a Wimmer 2017).

Samotná technologie výroby kompozitních materiálů z posklizňových zbytků zemědělských plodin je ve výše uvedených, a mnoha dalších studiích velmi dobře zmapována. Budoucí dostupnost lignicelulóзовé suroviny pro výrobu těchto kompozitů však tak dobře popsána není (Gajdačová a kol. 2018). Odhadem budoucí dostupnosti posklizňových zbytků, zejména pro energetické využití, se již několik studií zabývalo (Ericsson and Nilsson 2006; Graham a kol. 2007; Kluts a kol. 2017). Vzhledem k tomu, že produkce posklizňových zbytků zemědělských plodin systematicky sledována není, je nutné tuto produkci odhadovat.

Systematicky jsou sledována data týkající se rozlohy osevních ploch zemědělských plodin a rovněž také produkce jednotlivých plodin. Tato data jsou velmi dobře dostupná i v časových řadách, a to jak na národní úrovni, tak i nadnárodní.

Samotné množství vyprodukovaných posklizňových zbytků zemědělských plodin však systematicky sledováno není, což je dáno tím, že posklizňovým zbytkům se až donedávna nevěnovala pozornost. Využívali se kupř. k zaorání a obohacení půdy o nezbytné organické látky, nebo jako podestýlka pro chovaná zvířata.

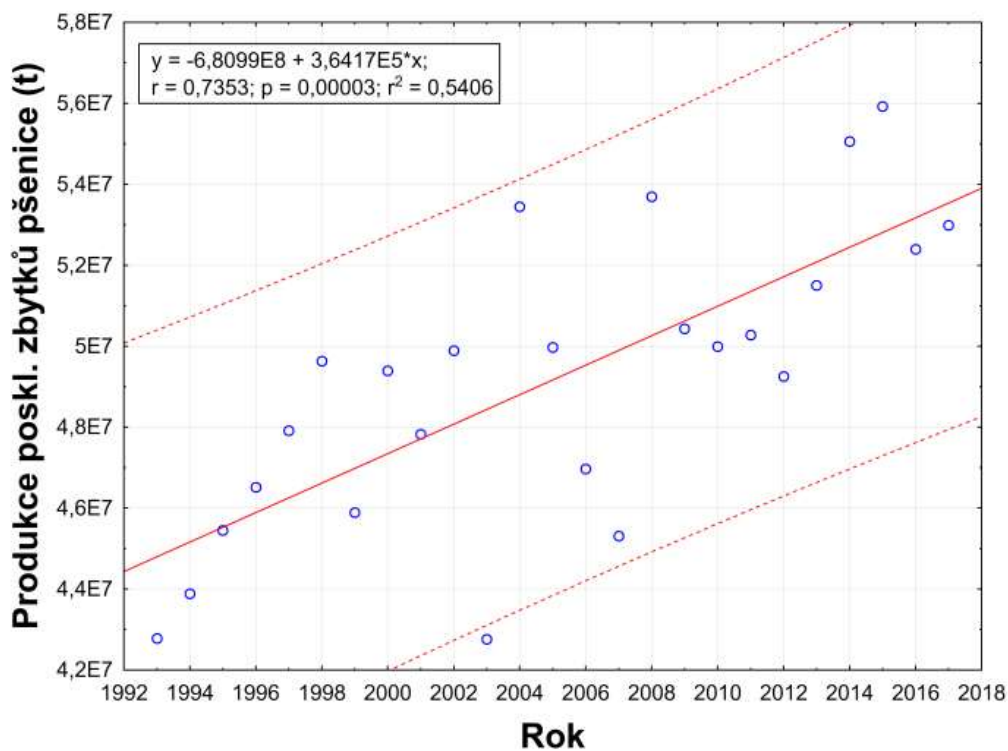
Vzhledem k tomu, že hlavním nositelem zisku rostlinné zemědělské výroby je produkce, výnos semen, jsou sledovány tyto hodnoty. Celosvětový vzestup zájmu o posklizňové zbytky je velmi úzce spjat až se vzestupem zájmu o biopaliva druhé generace. Na množství vyprodukovaných posklizňových zbytků je usuzováno na základě výpočtu

učiněného pomocí přepočítávacích koeficientů residue to product ratio (RPR), definovaných jako podíl zbytků a zemědělské produkce (Bensten a kol. 2014; Scarlat a kol. 2010).

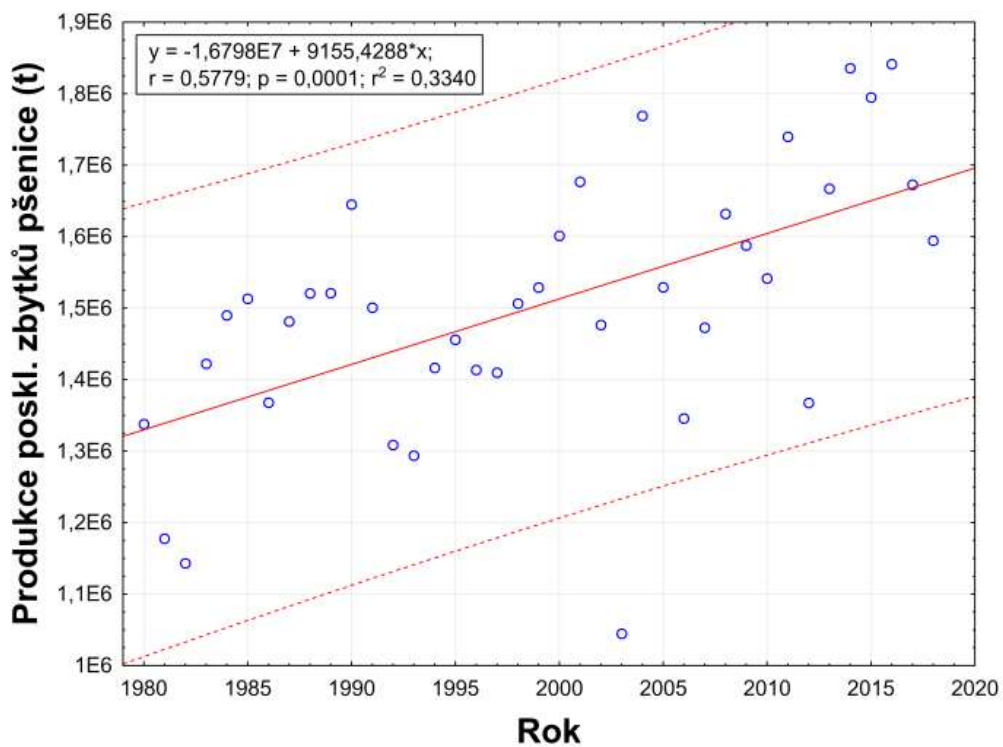
V případě znalosti budoucí produkce různých plodin lze pak jednoduše vypočítat i očekávanou produkci posklizňových zbytků tak, jak je počítáno např. ve studii Searle a Malins 2013, BNEF 2012, Ericsson and Nilsson 2006. Otázkou však zůstává, zda je tento postup vhodný. Hmotnostní podíl semen a vegetativní části rostliny je závislý na mnoha faktorech, od klimatu, počasí a půdních podmínek, přes agronomický plán, až po odrůdu dané plodiny. S rostoucím hektarovým výnosem RPR navíc klesá. Těsnost této závislosti není však z výše uvedených důvodů velká (Scarlat a kol. 2010). Nepřesnost do přepočtu dále vnáší fakt, že zemědělci maximalizují pouze výnos semen a ten je sám o sobě ovlivněn těmi samými faktory, jako poměr hmotnosti semen a posklizňových zbytků (EU agricultural outlook 2018).

Manuskript Hýsková a kol. 2020b si klade za cíl odhadnout budoucí produkci posklizňových zbytků pšenice a řepky v Evropské unii a v České republice, přičemž pro odhad produkce posklizňových zbytků byla použita odlišná metodika, než v případě doposud publikovaných výzkumů. Tyto metodické odlišnosti jsou v článku popsány a důvody jsou diskutovány.

Odhadnuté modely produkce posklizňových zbytků pšenice (sláma i plevy) jsou graficky znázorněny na obrázku 1 a 2. Zobrazené pásy kolem regresní přímky představují 95% interval spolehlivosti predikce v zobrazené oblasti. Produkce posklizňových zbytků pšenice je dlouhodobě rostoucí v celé EU, i v ČR.

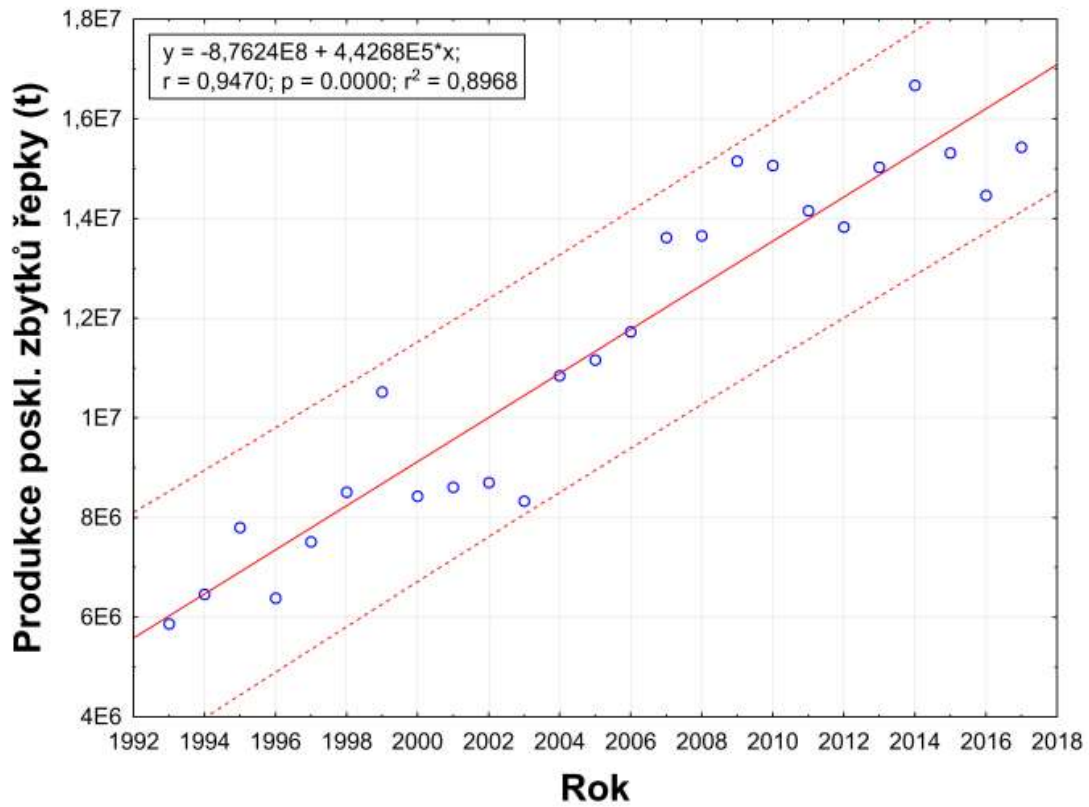


Obrázek 1 Model produkce posklizňových zbytků pšenice (uváděno v sušině) v Evropské unii

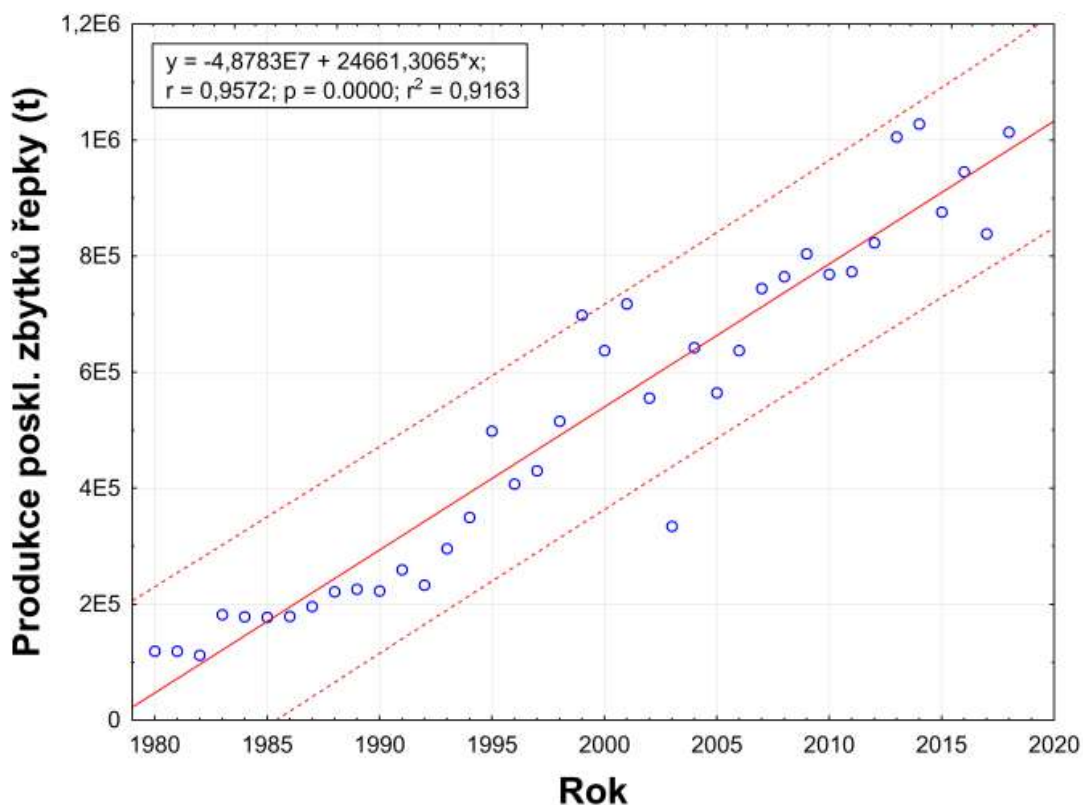


Obrázek 2 Model produkce posklizňových zbytků pšenice (uváděno v sušině) v České republice

Odhadnuté modely produkce posklizňových zbytků řepky jsou graficky znázorněny na obrázku 3 a 4. Zobrazené pásy kolem regresní přímky představují 95% interval spolehlivosti predikce v zobrazené oblasti. Z grafu je patrné, že růst produkce posklizňových zbytků řepky je jak v celé EU, tak i v ČR, strmější, než v případě vývoje posklizňových zbytků pšenice.



Obrázek 3 Model produkce posklizňových zbytků řepky (uváděno v sušině) v Evropské unii



**Obrázek 4** Model produkce posklizňových zbytků řepky (uváděno v sušině) v České republice

V tabulce 4 jsou uvedeny predikované hodnoty celkového vyprodukovaného množství posklizňových zbytků v roce 2030, které bude možné v rámci udržitelného zemědělství z pole odvést. V roce 2030 predikujeme v Evropské unii produkci 58,3 milionů tun posklizňových zbytků pšenice a 22,4 milionů tun posklizňových zbytků řepky. V České republice pak predikujeme produkci 1,8 milionů tun posklizňových zbytků pšenice a 1,3 milionů tun posklizňových zbytků řepky. V dříve publikované predikci Searle a Malins 2013 odhadují, že v roce 2030 bude v EU vyprodukováno 109 milionů tun posklizňových zbytků pšenice, které bude možné odvést z pole. Pouze 54 milionů tun však bude dle této studie dostupných na trhu. Jedná se o výrazně vyšší predikované hodnoty, než v našem modelu. Naopak u řepky jsou čísla předpokládaná v predikci Searle a Malins 2013 nižší, než v naší studii, když pro rok 2030 predikují celkovou produkci pro odvoz z pole na úrovni 15 milionů tun, přičemž množství dostupné na trhu pak odhadují na 7 milionů tun. Rozdíl v těchto predikovaných hodnotách je dán odlišnou metodikou, Searle a Malins 2013 používají pro obě sledované plodiny jiné RPR (0,94 pro pšenici a 1,08 pro řepku, oba koeficienty konstantní v čase), odečítají spotřebu posklizňových zbytků z některých odvětví (ve výši jedné třetiny pro obě plodiny), přepočítávají jinak vlhkost a rovněž uvažují u obou plodin s jiným podílem

posklizňových zbytků, které je v rámci udržitelného zemědělství nutné ponechat na poli (ve výši jedné třetiny pro obě plodiny).

Motivem převážné části výzkumů odhadujících produkci posklizňových zbytků je kvantifikovat tuto produkci pro účel zjištění dostupnosti biomasy pro energetické účely (Ericsson a Nilsson 2006; van Dam a kol. 2007; Monforti a kol. 2013; De Wit a Faaij 2009). Odhady z těchto studií však nejsou s námi predikovanými výsledky porovnatelné, protože nejsou dostatečně zobecněné a zaměřují se pouze na produkci biomasy pro energetické účely. Určitá část výzkumů si pak klade za cíl kvantifikaci produkce posklizňové biomasy v uplynulém období, bez predikce do budoucnosti (García-Condado a kol. 2019; Kim a Dale 2004; Scarlat a kol. 2019). Velmi detailní modely, zohledňujících mnoho faktorů, publikované ve studii García-Condado a kol. 2019 či Scarlat a kol. 2019 odhadují produkci posklizňových zbytků v EU v minulosti. Bylo by užitečné aplikovat tyto modely na predikovaná data a vytvořit touto metodikou odhad produkce do budoucnosti.

**Tabulka 4** Odhad produkce posklizňových zbytků pšenice a řepky (sušina) v EU a ČR v roce 2030

	Lineární regresní model produkce poskl. zbytků pšenice	Odhad produkce poskl. zbytků pšenice v roce 2030	Lineární regresní model produkce poskl. zbytků pšenice	Odhad produkce poskl. zbytků řepky v roce 2030
Evropská unie	$y = -6,8099E8 + 3,6417E5 \cdot x$	58,3 Mt	$y = -8,7624E8 + 4,4268E5 \cdot x$	22,4 Mt
Česká republika	$y = -1,6798E7 + 9155,4288 \cdot x$	1,8 Mt	$y = -4,8783E7 + 24661,3065 \cdot x$	1,3 Mt

Rostoucí poptávka po biomase vede k hledání alternativních zdrojů. Část poptávky může být uspokojena recyklovaným dřevem tak, jak je popsáno ve článku Hýsek a kol. 2020. Celý systém recyklace však předpokládá důsledné třídění výrobků ze dřeva a z materiálů na bázi dřeva. Právě zde je v České republice slabé místo. Této skutečnosti si je vědom i zákonodárce, a to jak na úrovni vnitrostátní, tak i evropské. Zásadní ustanovení, které je v této souvislosti nutno brát v potaz, je ustanovení § 21 odst. 7 zákona o odpadech, ve znění účinném od roku 2020, které mimo jiné určuje, že je zakázáno na skládky ukládat recyklovatelný a využitelný odpad. Tento ambiciózní plán byla Česká republika připravena splnit, ale vzhledem k posunu tohoto cíle v rámci celé EU (směrnici 2018/850/EU) byla účinnost tohoto zákazu posunuta až na rok 2030. Je tak zřejmé, že jakási aktivita je v

souvislosti s tímto nedostatkem vyvíjena, ale její účinnost nastane nejdříve v roce 2030 (Hýsek a kol. 2020).

Budeme-li chtít využít posklizňové zbytky v širším měřítku jako reálný zdroj suroviny pro výrobu, kupř. dřevotřískových desek, je nutné provést zhodnocení, které bylo provedeno formou SWOT analýzy, jež byla publikována v časopise BioResources. Jako silnou stránku spatřuji relativní snadnou dostupnost suroviny, a to za nízkou cenu, u které ani v budoucnu není předpoklad poklesu produkce. Neméně významnou silnou stránkou jsou dobré mechanické vlastnosti, když kompozitní materiály vyrobené z této suroviny mají vlastnosti srovnatelné s komerčně vyráběnými produkty na bázi dřeva (Huang a kol. 2016; Nikvash a kol. 2012; Dziurka a kol. 2015; Dukarska a kol. 2017). Mezi slabé stránky oproti tomu je nutné dle mého názoru zařadit sezónnost sklizně a vyšší objemnost při skladování, která tak zapříčiní větší nároky na plochy skladování. Hlavní příležitostí je vyřešení nedostatku dřevní suroviny, který v blízké době nastane, a to i za předpokladu možnosti využití i jiných stonků než z řepky. Ve vyráběných kompozitních materiálech nemusí být zastoupena pouze vlákna či třísky řepky ozimé, účelově je lze kombinovat i s jinými přírodními vlákny či třískami (Oh a Jmaludin 2015; Nikvash a kol. 2012). Největší hrozbou dle mého mínění je konkurence biopaliv, zejm. druhé generace, které má být v budoucnu více podporováno jako méně ekologicky náročné, než v současné době nejvíce užívaná biopaliva první generace. Avšak biopaliva druhé generace je možné získávat z jiných zdrojů, jako např. z odpadových tuků, kafilerních tuků apod. Další hrozbou mohou být také škůdci napadající monokultury.

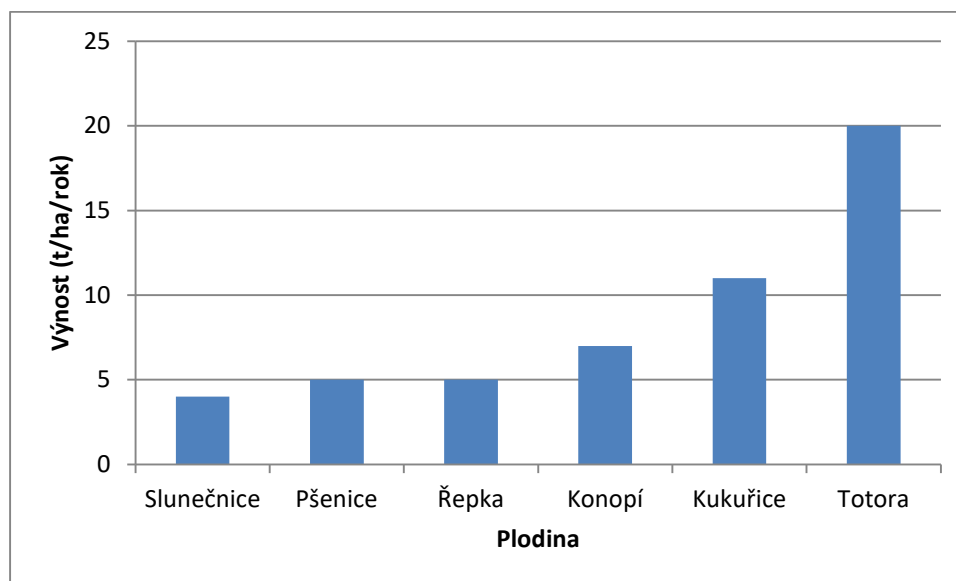
Nekonvenční zdroje mohou pomoci diverzifikovat zdroje surovin použitelné v průmyslu a přispět k udržitelné ekonomice. Mezi tyto alternativní zdroje biomasy patří totora (*Schoenoplectus californicus* (C. A. Mey) Soják), což je mokřadní jednoděložní rostlina z rodu skřípíneček, která roste v jezerech a močálech v Americe od Kalifornie po Chile a na některých z tichomořských ostrovů (Hidalgo-Cordero a García-Navarro 2018). Na České zemědělské univerzitě probíhá rozsáhlý výzkum výroby lisovaných desek ze stonků této zajímavé rostliny. V rámci řešení této disertační práce byla provedena analýza, která odpovídá na otázku, zda má smysl desky z totory vyrábět. Výzkum publikovaný v časopise Composite Structures (Hýsková a kol. 2020a) zohledňuje nejen mechanické a fyzikální vlastnosti těchto desek, ale také zvažuje potenciál totory, cenu suroviny nebo dostupnost totory na trhu.

Totora je vytrvalá bylina s každoroční obnovou stonků. Dobře řízená sklizeň by proto neměla mít velký dopad na přirozený cyklus rostliny. Sečení navíc přispívá k čištění



stárnoucích a mrtvých částí rostliny, omezuje produkci metanu v mokřinách a podporuje opětovný růst nových výhonků, které zvyšují hustotu rostliny. Například přírodní porost totory může mít hustotu kolem 200 stonků / m<sup>2</sup>, zatímco porost, který je neustále sečen, může mít hustotu kolem 320 stonků / m<sup>2</sup>, tedy vyšší produktivitu na jednotku plochy (PELT 2000). Rostlina totora je produktivní déle než 25 let, pokud není zničen kořenový systém (Macía a Balslev 2000). Na druhé straně může přetěžování porostu vést k jeho degradaci (Hidalgo-Cordero a García-Navarro 2018; ADESU 2001; PELT 2002).

Produkce sušiny stonků může dosahovat až 58 t / ha / rok v substrátech obohacených o živiny, jako jsou uměle vybudované mokřady pro čištění odpadních vod (de Lange a kol. 1998). Za normálních podmínek je však maximální zdokumentovaná produkce sušiny kolem 37 t / ha / rok, s průměrem 20 t / ha / rok v závislosti na různých faktorech, jako je lokalita, srážky, substrát a stáří rostlin (Hidalgo-Cordero a García-Navarro 2018; Noriega 1993). Maximální hodnoty výnosu v umělých mokřadech jsou podobné hodnotám uváděným pro jiné druhy makrofytů, které byly použity ve fyto-remediačních mokřadech, a vyšší, než je možné vidět, u některých zemědělských plodin, pokud jde o t / ha / rok (Obrázek 5).



**Obrázek 5** Průměrný hektarový výnos sušiny různých rostlin, FAOSTAT 2020, Klímek a Wimmer 2017

Ač se jedná o rostlinu s velkým hektarovým výnosem, z které lze vyrobit hodnotné produkty, hlavní překážkou jejího většího rozšíření je nerozvinutý dodavatelsko-odběratelský řetězec a manuální způsoby pěstování a sklizení.

Z dostupných údajů z Ekvádoru je patrné, že ruční sečení bylo nejméně efektivní částí výrobního procesu. Cena sklizení představovala téměř 50% hodnoty suroviny. Komplikovaná byla i časová náročnost sklizně, která se značně lišila v závislosti na hloubce bažiny, typu porostu a zkušenostech pracovníků. V jezeře San Pablo (Ekvádor) sklídila jedna osoba přibližně 50 m<sup>2</sup> za 50 minut, zatímco v jezeře Yaguarcocha (Ekvádor) bylo sklizeno přibližně 900 m<sup>2</sup> za 12 dní 6-7 osobami (Macía a Balslev 2000). Simbaña 2003 publikoval náklady na výsadbu a sklizeň totory na rozloze 1 682 m<sup>2</sup> v jezeře San Pablo. Podíl nákladů na jednotlivých částech je následující: sazenice 1%, příprava terénu 8%, výsadba 5%, údržba 10%, doprava 16%, zařízení 10%, sečení 49%. Na druhé straně ve studiích provedených PELT a ADESU v Lake Titicaca v roce 2003 byly odhady nákladů provedeny pomocí průzkumů. Výsledky se liší od první zmiňované studie: sazenice 25%, příprava terénu 5%, výsadba 5%, údržba 6%, doprava 20%, zařízení 14% a sečení 25% (PELT, ADESU 2003). Porovnání je uvedeno v tabulce 5. Obě prezentované studie byly provedeny v roce 2003. Z tabulky 5 je dále patrné, že náklady na obhospodařování 1 ha totory (vč. sklizení) na jezeře Titicaca byly téměř poloviční ve srovnání s cenou uváděnou v Ekvádoru. Jedná se o rozdíl způsobený rozdílnou plochou pěstování a z toho plynoucích úspor z rozsahu. Hlášená tržní cena za 1 kg suché totory v Lake Titicaca činila 0,25 USD. Cena totory v roce 2003 v Ekvádoru publikovaná nebyla. V současné době je tržní cena jednoho kilogramu suchých stonků totory prodávaných v okolí jezera San Pablo (Ekvádor) 0,35 USD. Vzhledem k tomu, že výsadba a sklizení jsou stále prováděny hlavně ručně, může být efektivita produkce totory pomocí nových technologií výrazně zlepšena. Například některé sklízecí stroje používané pro sečení rákosu v severní Evropě jsou schopny sekat mezi 1 a 1,5 ha / hodinu (van der Sluis 2013). To by mohlo zvýšit účinnost sklizně a snížit ceny surové totory, čímž by se zvýšila její konkurenceschopnost vůči jiným zdrojům biomasy.

**Tabulka 5** Porovnání nákladů na pěstování 1 ha totory na různých stanovištích

	Náklady na 1 ha totory			
	jezero San Pablo (Ekvádor)		jezero Titicaca (Peru/Bolívie)	
	(USD)	(%)	(USD)	(%)
sazenice	4	1,10	150	25,08
příprava půdy	28	7,68	30	5,02
výsadba	20	5,49	30	5,02
údržba porostu	36	9,87	33	5,52
doprava	60	16,46	120	20,07
vybavení	36,6	10,04	85	14,21
sklizeň	180	49,37	150	25,08
celkem	364,6	100,00	598	100,00

Nákladová stránka produkce totory vychází daleko příznivěji, pokud vezmeme v úvahu rostliny pěstované na umělých mokřadech. Hlavním účelem makrofytů pěstovaných na umělých mokřadech je čištění vody za současně nízkých provozních nákladů. Vedlejším efektem je vázání oxidu uhličitého v biomase. V případě materiálového využití stonků je oxid uhličitý nadále vázán v produktu, což s sebou nese i významné benefity pro životní prostředí tak, jak je uvedeno výše v rozboru ekosystémových služeb.

Porosty totory v umělých mokřadech vykazovaly vysokou odolnost vůči různým úrovním pH (od 3 do 11) a rovněž měly vysokou schopnost odstraňování těžkých kovů (Blanco 2018; Rearte a kol. 2013; Knox a kol. 2010; Arreghini a kol. 2017). Ne však všechny umělé mokřady, jejichž primární účel je fytoremediace, jsou vhodné i pro sklizeň stonků totory. Dle druhu kontaminantů, které voda obsahuje nemusí být vždy vhodné sečení stonků. V některých případech je žádoucí hromadění detritu, aby docházelo k akumulaci kontaminantů ve vrstvě sedimentu (Murray-Gulde a kol. 2005).

### 5.3. Mezinárodní přesah

Odlesňování je nejvýznamnějším faktorem, který způsobuje globální ztrátu biodiverzity, snižování schopnosti půdy zachytit srážky a obecně snižuje všechny ekosystémové služby, které poskytují lesní ekosystémy lidem (Fugère a kol. 2016). Odlesňování je ve většině západních zemích zamezováno, kupř. Česká republika stanoví vlastníkům lesa povinnost vykácený hospodářský les znovu zalesnit, přičemž holina na lesních pozemcích musí být zalesněna do dvou let a lesní porosty na ní zajištěny do sedmi let od jejího vzniku (Lesní zákon, č. 289/1995 Sb.). V Bavorsku, například, musí být vykácený hospodářský les zalesněn do tří let (Art. 15 BayWaldG). I v západních zemích, kde je odlesňování velmi účinně omezováno, je však vymahatelnost těchto nástrojů velmi omezená, kupř. v České republice jsou tyto povinnosti prozatím dodržovány zejména z důvodu vlastnické struktury lesů, kdy většina lesů je vlastněna státem nebo samosprávnými celky (ČSÚ 2018). Samozřejmě ani státní vlastnictví lesů či státní kontrola nezaručuje, že odlesňování bude vždy zamezeno, a to ať po právní, či faktické stránce (Le Tourneau 2016).

Situace v rozvojových zemích je však ještě horší. Těžební aktivity prováděné neudržitelnými postupy jsou v rozvojových zemích motivovány zejména těžbou dřeva pro materiálové využití, těžbou palivového dřeva a těžbou dřeva pro výrobu dřevěného uhlí. Intenzita těchto neudržitelných aktivit má přímý negativní vliv na klima, vodní cyklus, erozi půdy, i biodiverzitu (Eguiguren a kol. 2019). Existují nejrůznější strategie, jak odlesňování zamezit. Většina států se snaží tento problém řešit vládní ochranou, např. v podobě zřízení velkoplošných chráněných území (Eguiguren a kol. 2019; Tan-Soo a kol. 2016). Ačkoli existují i nejrůznější programy pro rekultivaci či znovuzalesnění území po vytěžených tropických deštných lesích, ekosystémové služby poskytované takto znovu obnovenými ekosystémy jsou nižší, než u původních ekosystémů. To je dáno zejména nižší biologickou rozmanitostí a horší kvalitou půdy v nově založených porostech na degradované půdě (Chazdon 2008). Odlesňování se přitom v nejvyšší míře vyskytuje v tropických deštných lesích, v rozvojových zemích, kde jsou zároveň posklizňové zbytky zemědělských plodin páleny na poli (Ziegler a kol. 2012; Srinivasarao a kol. 2014). Využívání posklizňové biomasy zemědělských plodin namísto těžení biomasy z tropických deštných lesů v té samé lokalitě je tedy logickou variantou příznivou pro životní prostředí. Materiálové využívání posklizňových zbytků zemědělských plodin v rozvojových zemích může významným

způsobem přispět k ochraně mimoprodukčních funkcí lesa a k vázání oxidu uhličitého v materiálech po delší dobu.

## 6. Závěry a přínos

V disertační práci byly představeny a postupně podrobně rozebrány právní, ekonomické a technologické aspekty využití alternativních surovin. Uvážíme-li posklizňové zbytky zemědělských plodin jako substitut k dřevní biomase, může nárůst materiálového využívání posklizňových zbytků celosvětově snížit odlesňování a tím zamezit znehodnocování ekosystémových služeb lesa.

Mají-li být posklizňové zbytky zemědělských plodin dlouhodobě průmyslově využívány, je nutné znát jejich budoucí produkci. V této disertační práci bylo přistoupeno k odhadu budoucí produkce pšeničné a řepkové slámy v ČR a v EU, kdy byla použita odlišná metodika než v dosud publikovaných studiích. Zejména koeficient residue to product ratio byl vypočítán pro sledované plodiny v každém roce zvlášť a následně byla vypočítána produkce posklizňových zbytků v každém roce dle přepočítávacího koeficientu charakteristického pro každý rok. Dále pak se odhady zabývají celkovým vyprodukovaným množstvím posklizňových zbytků, které je možné v rámci udržitelného zemědělství z pole odvést, žádná část produkce posklizňových zbytků pro vybraná odvětví z celkové predikce není odečítána. Odhady ukázaly, že v roce 2030 bude v Evropské unii možné sklídit z pole 58,3 milionů tun posklizňových zbytků pšenice a 22,4 milionů tun posklizňových zbytků řepky. V České republice potom 1,8 milionu tun posklizňových zbytků pšenice a 1,3 milionu tun zbytků řepky.

Jako zajímavá varianta kompozitu z alternativních surovin byla identifikována deska z pšeničné slámy pojená močovinoformaldehydovým adhesivem, kdy by cena vstupních surovin pro výrobu 1 tuny těchto třískových desek činila 66 EUR. Potenciální předúpravy povrchu slámy by však výrobou těchto desek významně prodražovali. Nejúčinnější úpravy povrchu; hydrotermická, enzymatická či alkalická, jsou mokré úpravy, které by během výroby desek produkovaly odpadní vodu. Nakládání s odpadními vodami by přinášelo dodatečné náklady, které v případě výroby třískových desek ze dřeva neexistují. Tyto náklady by mohly být akceptovány pouze v případě, kdy by fyzikální a mechanické vlastnosti desek vyrobených z upravované slámy byly výrazně vylepšeny. Třískové desky vyráběné z alternativních surovin nemusí nutně obsahovat slámu, či jinou alternativní surovinu, např. totoru, ze sta procent. V případě kombinace dřeva a slámy v jedné desce poskytuje toto řešení lepší vlastnosti desky, než pokud by byla deska vyrobena pouze ze slámy. Pouze částečná náhrada

dřeva v materiálech na bázi dřeva přináší rovněž pozitivní externality projevující se v ochraně mimoprodukčních funkcích lesa.

Kromě využívání alternativních surovin může ke zmiňovaným pozitivním externalitám přispět i recyklace dřeva, zejména pak v podobě vícestupňového kaskádového využívání dřeva. Ideální, ale zároveň i reálně proveditelná kaskáda, může být čtyřstupňová, kdy surové dřevo není ihned spalováno, ale je použito nejprve pro výrobu konstrukcí z masivního dřeva např. krovů, nábytku či palet. Po skončení základní životnosti výrobků z masivního dřeva jsou tyto výrobky dezintegrovány a jsou z nich vyrobeny třískové desky (dřevotřískové desky, OSB desky). Z těchto třískových desek mohou být následně dále vyrobeny hodnotné chemické produkty (papír nebo celulóza). Až jako poslední, tedy čtvrtý stupeň, lze zařadit energetické využití vysloužilých produktů. Přičemž samozřejmě i popel z tohoto pálení lze také využít, a to jako příměs do stavebních materiálů.

Ze zhodnocení administrativních a právních aspektů zahájení výroby kompozitních materiálů z posklizňových zbytků vyplynulo, že primárně vhodnější pro tento účel podnikání je založení obchodní společnosti, když výroba by vyžadovala zapojení většího množství zaměstnanců. Pro korektnost je však v práci obsaženo i rozpracování podmínek podnikání osoby samostatně výdělečně činné. V práci bylo též zhodnoceno, že pravděpodobně nejvhodnější formou obchodní společnosti bude společnost s ručením omezeným, a to z důvodu nižších administrativních nákladů než v případě založení akciové společnosti, omezené výše ručení a snazšího převodu v případě dalšího rozvoje, tedy pro potřeby snadnějšího vstupu investora, či prodej obchodního podílu. Práce obsahuje zároveň ucelený přehled povinností spojených se vznikem nové obchodní společnosti, případně s novým druhem podnikání, jež se bude zabývat výrobou třískových desek tak, aby poskytla investorovi jasný přehled o nutných krocích potřebných pro začátek podnikání.

Dále je v práci uveden kratší výčet možných dotačních titulů, které je možno pro tento účel podnikání využít, jde však pouze o demonstrativní výčet, když dotační tituly se v čase mění. Jejich základní účel je však shodný, do budoucna tak bude sloužit jako pomyslné vodítko při hledání vhodných dotačních titulů. Zejména se tak jedná o dotace poskytované v rámci operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (OPPIK).

Jak již bylo řečeno výše, práce předpokládá, že možné využití posklizňových zbytků pro výrobu dřevotřískových desek bude znamenat značnou úsporu v objemu množství dřevní hmoty potřebné pro tuto výrobu a ve svém důsledku tak nejen ochranu lesa samotného, ale

také ochranu mimoprodukčních funkcí lesa, které, ač dle různých přístupů k nim, se jeví jako velmi důležité, a to se vzrůstající tendencí.

Vzhledem k závěrům, které práce poskytuje, je možné konstatovat, že jednotlivé hodnocené aspekty nijak nepřekračují nároky na počátek odlišné výroby a neměly být překážkou pro rozvoj tohoto podnikání. Vzhledem k objemu masy dřevní hmoty potřebné k výrobě standartních dřevotřískových desek, je jasné, že i zde v práci předjímaná výroba, která pouze z části nahradí dřevní hmotu, posklizňovými zbytky bude znamenat výraznou ochranu lesa a jeho mimoprodukčních funkcí, které nám poskytuje. Nutno poznamenat, že nám jako lidstvu, neboť obdobné závěry lze dovést také kupř. pro rozvojové země.



## 7. Seznam literatury a použitých zdrojů

- [1] ADESU. 21.03, 2001. *Técnicas de reimplante de totora ambito Boliviano*. La Paz. b.n.
- [2] ALANG, Mb, Jt BARMINAS, Ba ALIYU a Sa OSEMEAHON, 2012. Synthesis and optimization of polyacrylamide and gum arabic graft copolymer. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* [online]. **5**(4), 1694–1702. ISSN 1991-8631. Dostupné z: doi:[10.4314/ijbcs.v5i4.32](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i4.32)
- [3] ALMEIDA, Iulia, Christine RÖSCH a Somidh SAHA, 2018. Comparison of Ecosystem Services from Mixed and Monospecific Forests in Southwest Germany: A Survey on Public Perception. *Forests* [online]. B.m.: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, **9**(10), 627. Dostupné z: doi:[10.3390/f9100627](https://doi.org/10.3390/f9100627)
- [4] ANGO, Tola Gemechu, Lowe BÖRJESON, Feyera SENBETA a Kristoffer HYLANDER, 2014. Balancing Ecosystem Services and Disservices: Smallholder Farmers' Use and Management of Forest and Trees in an Agricultural Landscape in Southwestern Ethiopia. *Ecology and Society* [online]. **19**(1), art30. ISSN 1708-3087. Dostupné z: doi:[10.5751/ES-06279-190130](https://doi.org/10.5751/ES-06279-190130)
- [5] API - AGENTURA PRO PODNIKÁNÍ A INOVACE, 2020a. *Nemovitosti - Uhelné regiony - Výzva V* [online] [vid. 2020-08-20]. Dostupné z: <https://www.agentura-api.org/cs/programy-podpory/nemovitosti/nemovitosti-vyzva-v-uhelne-regiony/>
- [6] API - AGENTURA PRO PODNIKÁNÍ A INOVACE, 2020b. *Nízkouhlíkové technologie – Druhotné suroviny – Výzva V*. API [online] [vid. 2020-08-20]. Dostupné z: <https://www.agentura-api.org/cs/programy-podpory/nizkouhlikove-technologie/nizkouhlikove-technologie-druhotne-suroviny-vyzva-v/>
- [7] ARREGHINI, Silvana, Laura DE CABO, Roberto SERAFINI a Alicia Fabrizio DE IORIO, 2017. Effect of the combined addition of Zn and Pb on partitioning in sediments and their accumulation by the emergent macrophyte *Schoenoplectus californicus*. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. **24**(9), 8098–8107. ISSN 0944-1344, 1614-7499. Dostupné z: doi:[10.1007/s11356-017-8478-7](https://doi.org/10.1007/s11356-017-8478-7)
- [8] ART. 15 BAVARIAN FOREST ACT. (GVBL S. 313) BAYRS 7902-1-L, *Art. 15 Bayerisches Waldgesetz (BayWaldG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Juli 2005 (GVBl. S. 313, BayRS 7902-1-L), das zuletzt durch § 3 Abs. 2 des Gesetzes vom 27. April 2020 (GVBl. S. 236) geändert worden ist*.
- [9] ASDRUBALI, Francesco, Francesco D'ALESSANDRO a Samuele SCHIAVONI, 2015. A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies* [online]. **4**, 1–17. ISSN 22149937. Dostupné z: doi:[10.1016/j.susmat.2015.05.002](https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002)
- [10] BABENKO, Maryna, Adriana ESTOKOVA, Mykola SAVYTSKYI a Stanislav UNČÍK, 2018. Study of Thermal Properties of Lightweight Insulation Made of Flax Straw. *Slovak Journal of Civil Engineering* [online]. **26**(2), 9–14. ISSN 1338-3973. Dostupné z: doi:[10.2478/sjce-2018-0008](https://doi.org/10.2478/sjce-2018-0008)
- [11] BENTSEN, Niclas Scott, Claus FELBY a Bo Jellesmark THORSEN, 2014. Agricultural residue production and potentials for energy and materials services. *Progress in Energy and Combustion Science* [online]. **40**, 59–73. ISSN 03601285. Dostupné z: doi:[10.1016/j.peccs.2013.09.003](https://doi.org/10.1016/j.peccs.2013.09.003)
- [12] BINICI, Hanifi, Mustafa EKEN, Mustafa DOLAZ, Orhan AKSOGAN a Mehmet KARA, 2014. An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres. *Construction and Building Materials* [online]. **51**, 24–33. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:[10.1016/j.conbuildmat.2013.10.038](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.038)

- [13] BLANCO, Juan, 2018. Suitability of Totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) for Its Use in Constructed Wetlands in Areas Polluted with Heavy Metals. *Sustainability* [online]. **11**(1), 19. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:[10.3390/su11010019](https://doi.org/10.3390/su11010019)
- [14] BLEDZKI, Andrzej K., Abdullah A. MAMUN, Adam JASZKIEWICZ a Karsten ERDMANN, 2010. Polypropylene composites with enzyme modified abaca fibre. *Composites Science and Technology* [online]. **70**(5), 854–860. ISSN 02663538. Dostupné z: doi:[10.1016/j.compscitech.2010.02.003](https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.02.003)
- [15] (BNEF) BLOOMBERG NEW ENERGY, 2012. *Moving Towards A Next-Generation Ethanol Economy: Final Study*. 2012.
- [16] BROCKERHOFF, Eckehard G., Luc BARBARO, Bastien CASTAGNEYROL, David I. FORRESTER, Barry GARDINER, José Ramón GONZÁLEZ-OLABARRIA, Phil O'B. LYVER, Nicolas MEURISSE, Anne OXBROUGH, Hisatomo TAKI, Ian D. THOMPSON, Fons VAN DER PLAS a Hervé JACTEL, 2017. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation* [online]. **26**(13), 3005–3035. ISSN 0960-3115, 1572-9710. Dostupné z: doi:[10.1007/s10531-017-1453-2](https://doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2)
- [17] CAZZANIGA, Noemi Emanuela, Ragnar Klas Henrik JONSSON, Roberto PILLI a Andrea CAMIA, 2019. *Wood Resource Balances of the European Union and Member States*. [online]. LU: Publications Office [vid. 2020-09-25]. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/020267>
- [18] CENIA, 2020. *Informační systém EIA* [online] [vid. 2020-08-20]. Dostupné z: [https://portal.cenia.cz/eiasea/view/eia100\\_cr](https://portal.cenia.cz/eiasea/view/eia100_cr)
- [19] ČSÚ, 2020. *Zemědělství - časové řady* [online] [vid. 2020-03-23]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/zem\\_cr](https://www.czso.cz/csu/czso/zem_cr)
- [20] ČSÚ, Lesnictví. *Lesnictví* [online] [vid. 2018-08-20]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/lesnictvi\\_zem](https://www.czso.cz/csu/czso/lesnictvi_zem)
- [21] DE WIT, Marc a André FAAIJ, 2009. European biomass resource potential and costs. *Biomass and Bioenergy* [online]. **34**(2), A roadmap for biofuels in Europe, 188–202. ISSN 0961-9534. Dostupné z: doi:[10.1016/j.biombioe.2009.07.011](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.07.011)
- [22] DROBNÍK, Jaroslav a Petr DVOŘÁK, 2010. *Lesní zákon: komentář*. Vyd. 1. Praha: Wolters Kluwer Česká republika. Komentáře Wolters Kluwer. ISBN 978-80-7357-425-3.
- [23] DŘEVOTVAR, 2020. Rozšíření a modernizace prostor areálu v Jamném nad Orlicí. *Drevotvar.cz*. [online] [vid. 2020-09-12]. Dostupné z: <https://www.drevotvar.cz/rozsireni-a-modernizace-prostor-v-arealu-v-jammem-nad-orlici.html>
- [24] DUKARSKA, Dorota, Rafał CZARNECKI, Dorota DZIURKA a Radosław MIRSKI, 2017. Construction particleboards made from rapeseed straw glued with hybrid pMDI/PF resin. *European Journal of Wood and Wood Products* [online]. **75**(2), 175–184. ISSN 0018-3768, 1436-736X. Dostupné z: doi:[10.1007/s00107-016-1143-x](https://doi.org/10.1007/s00107-016-1143-x)
- [25] DZIURKA, Dorota, Radosław MIRSKI, Dorota DUKARSKA a Adam DERKOWSKI, 2015. Possibility of using the expanded polystyrene and rape straw to the manufacture of lightweight particleboards. *Maderas. Ciencia y tecnología* [online]. B.m.: Bío, **17**(3), 647–656. ISSN 0718-221X. Dostupné z: doi:[10.4067/S0718-221X2015005000057](https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000057)
- [26] EC, 2018. *EU agricultural outlook for markets and income, 2018-2030*. 2018. B.m.: European Commission, DG Agriculture and Rural Development, Brussels.

- [27] EGUIGUREN, Paúl, Richard FISCHER a Sven GÜNTER, 2019. Degradation of Ecosystem Services and Deforestation in Landscapes With and Without Incentive-Based Forest Conservation in the Ecuadorian Amazon. *Forests* [online]. **10**(5), 442. ISSN 1999-4907. Dostupné z: doi:[10.3390/f10050442](https://doi.org/10.3390/f10050442)
- [28] ERICSSON, Karin a Lars J. NILSSON, 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass and Bioenergy* [online]. **30**(1), 1–15. ISSN 0961-9534. Dostupné z: doi:[10.1016/j.biombioe.2005.09.001](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.09.001)
- [29] ESCOBEDO, Francisco J., Timm KROEGER a John E. WAGNER, 2011. Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution* [online]. **159**(8–9), 2078–2087. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:[10.1016/j.envpol.2011.01.010](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.010)
- [30] EVROPSKÁ KOMISE, 2012. *Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe (COM(2012) 60 final)* [online]. Brussels, Belgium: European Commission [vid. 2020-03-13]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/official-strategy_en.pdf)
- [31] FAOSTAT, 2020. *Crops - data* [online] [vid. 2020-03-23]. Dostupné z: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- [32] FUGÈRE, Vincent, Elizabeth A. NYBOER, Johanna C. BLEECKER a Lauren J. CHAPMAN, 2016. Impacts of forest loss on inland waters: Identifying critical research zones based on deforestation rates, aquatic ecosystem services, and past research effort. *Biological Conservation* [online]. **201**, 277–283. ISSN 0006-3207. Dostupné z: doi:[10.1016/j.biocon.2016.07.012](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.012)
- [33] GAJDAČOVÁ, Petra, Štěpán HÝSEK a Vilém JARSKÝ, 2018. Utilisation of Winter Rapeseed in Wood-based Materials as a Solution of Wood Shortage and Forest Protection. *BioResources* [online]. **13**(2), 2546–2561. ISSN 1930-2126. Dostupné z: doi:[10.15376/biores.13.2.2546-2561](https://doi.org/10.15376/biores.13.2.2546-2561)
- [34] GARCÍA-CONDADO, Sara, Raúl LÓPEZ-LOZANO, Lorenzo PANARELLO, Iacopo CERRANI, Luigi NISINI, Antonio ZUCCHINI, Marijn VAN DER VELDE a Bettina BARUTH, 2019. Assessing lignocellulosic biomass production from crop residues in the European Union: Modelling, analysis of the current scenario and drivers of interannual variability. *GCB Bioenergy* [online]. **11**(6), 809–831. ISSN 1757-1693, 1757-1707. Dostupné z: doi:[10.1111/gcbb.12604](https://doi.org/10.1111/gcbb.12604)
- [35] GRAHAM, R. L., R. NELSON, J. SHEEHAN, R. D. PERLACK a L. L. WRIGHT, 2007. Current and Potential U.S. Corn Stover Supplies [online]. [vid. 2020-03-23]. ISSN 0002-1962. Dostupné z: <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/708000>
- [36] GREEN, Judith A., 2013. Forest laws in England and Normandy in the twelfth century: Forest laws in England and Normandy in the twelfth century. *Historical Research* [online]. **86**(233), 416–431. ISSN 09503471. Dostupné z: doi:[10.1111/1468-2281.12003](https://doi.org/10.1111/1468-2281.12003)
- [37] GROOT, R. S. de, M. A. WILSON a R. M. J. BOUMANS, 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem function, goods and services. *Ecological Economics* [online]. B.m.: Elsevier, **41**(3), 393–408. ISSN 0921-8009. Dostupné z: doi:[10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- [38] HAVEL, Bohumil a ŠTENGLOVÁ, IVANA, 2017a. § 118 [Vymezení pojmu, firma]. In: Ivana ŠTENGLOVÁ, Bohumil HAVEL, Filip CILEČEK, Petr KUHN a Petr ŠUK *Zákon o obchodních korporacích*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, s. 284. ISBN 978-80-7400-540-4.
- [39] HAVEL, Bohumil a ŠTENGLOVÁ, IVANA, 2017b. § 120 [Podíly a vypořádací podíly komanditistů]. In: Ivana ŠTENGLOVÁ, Bohumil HAVEL, Filip

- CILEČEK, Petr KUHN a Petr ŠUK *Zákon o obchodních korporacích*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, s. 287. ISBN 978-80-7400-540-4.
- [40] HAVEL, Bohumil a ŠTENGLOVÁ, IVANA, 2017c. § 122 [Ručení komanditisty]. In: Ivana ŠTENGLOVÁ, Bohumil HAVEL, Filip CILEČEK, Petr KUHN a Petr ŠUK *Zákon o obchodních korporacích*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství C. H. Beck. ISBN 978-80-7400-540-4.
- [41] HAVEL, Bohumil, 2015. § 25 [Seznam zapisovaných údajů]. In: Jan DĚDIČ, Jiří GAŇO, Bohumil HAVEL, Miloslav JINDŘICH, Jan LASÁK a ŠTENGLOVÁ, IVANA *Zákon o veřejných rejstřících právnických a fyzických osob*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, s. 44.
- [42] HIDALGO-CORDERO, Juan Fernando a Justo GARCÍA-NAVARRO, 2018. Totora ( *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) and its potential as a construction material. *Industrial Crops and Products* [online]. **112**, 467–480. ISSN 09266690. Dostupné z: doi:[10.1016/j.indcrop.2017.12.029](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029)
- [43] HOLEJŠOVSKÝ, Josef, 2014. Společnost s ručením omezeným. In: Jarmila POKORNÁ, Josef HOLEJŠOVSKÝ a Jan LASÁK *Obchodní společnosti a družstva*. V Praze: C.H. Beck. ISBN 978-80-7400-475-9.
- [44] HUANG, Lili, Ping XIA, Yamei LIU, Yao FU, Yuanye JIANG, Shengquan LIU a Xiulun WANG, 2016. Production of Biodegradable Board using Rape Straw and Analysis of Mechanical Properties. *BioResources*. **11**(1), 772–785. ISSN 1930-2126.
- [45] HÝSEK, Š., P. HÝSKOVÁ a R. HABÁN, 2020. Materiálové využití recyklovaného dřeva v České republice. *Odpadové fórum*. **38**(1), 38–39.
- [46] HÝSEK, Štěpán, Martin BÖHM a Petra GAJDAČOVÁ, 2017. Zapsaný užitný vzor: Tepelně izolační materiál a lisovaná izolační deska jej obsahující – UV 2017-34117, č. 31238. 2017.
- [47] HÝSEK, Štěpán, Milan PODLENA, Henry BARTSCH, Christoph WENDERDEL a Martin BÖHM, 2018a. Effect of wheat husk surface pre-treatment on the properties of husk-based composite materials. *Industrial Crops and Products* [online]. **125**, 105–113. ISSN 09266690. Dostupné z: doi:[10.1016/j.indcrop.2018.08.035](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.035)
- [48] HÝSEK, Štěpán, Milan PODLENA, Martin BÖHM, Henry BARTSCH a Christoph WENDERDEL, 2018b. Effect of Cold Plasma Surface Pre-treatment of Wheat Straw Particles on Straw Board Properties. *BioResources* [online]. **13**(3), 5065–5079–5079. ISSN 1930-2126. Dostupné z: doi:[10.15376/biores.13.3.5065-5079](https://doi.org/10.15376/biores.13.3.5065-5079)
- [49] HÝSKOVÁ, Petra, Milan GAFF, Juan FERNANDO HIDALGO-CORDERO a Štěpán HÝSEK, 2020a. Composite materials from totora (*Schoenoplectus californicus*. C.A. Mey, Sojak): Is it worth it? *Composite Structures* [online]. **232**, 111572. ISSN 02638223. Dostupné z: doi:[10.1016/j.compstruct.2019.111572](https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111572)
- [50] HYSKOVA, Petra, Stepan HYSSEK a Vilem JARSKY, 2020b. The Utilization of Crop Residues as Forest Protection: Predicting the Production of Wheat and Rapeseed Residues. *Sustainability* [online]. Basel: Mdpi, **12**(14), 5828. Dostupné z: doi:[10.3390/su12145828](https://doi.org/10.3390/su12145828)
- [51] HÝSKOVÁ, Petra, Štěpán HÝSEK, Ondřej SCHÖNFELDER, Přemysl ŠEDIVKA, Martin LEXA a Vilém JARSKÝ, 2020c. Utilization of agricultural rests: Straw-based composite panels made from enzymatic modified wheat and rapeseed straw. *Industrial Crops and Products* [online]. **144**, 112067. ISSN 09266690. Dostupné z: doi:[10.1016/j.indcrop.2019.112067](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112067)



- [52] CHAZDON, R. L., 2008. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science* [online]. **320**(5882), 1458–1460. ISSN 0036-8075, 1095-9203. Dostupné z: doi:[10.1126/science.1155365](https://doi.org/10.1126/science.1155365)
- [53] JONSSON, R, Vn BLUJDEA, G FIORESE, R PILLI, F RINALDI, C BARANZELLI a A CAMIA, 2018. Outlook of the European forest-based sector: forest growth, harvest demand, wood-product markets, and forest carbon dynamics implications. *iForest - Biogeosciences and Forestry* [online]. **11**(2), 315–328. ISSN 19717458. Dostupné z: doi:[10.3832/ifor2636-011](https://doi.org/10.3832/ifor2636-011)
- [54] KIM, Seungdo a Bruce E. DALE, 2004. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy* [online]. **26**(4), 361–375. ISSN 09619534. Dostupné z: doi:[10.1016/j.biombioe.2003.08.002](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.08.002)
- [55] KINDLER, Elisabeth, 2016. A comparison of the concepts: Ecosystem services and forest functions to improve interdisciplinary exchange. *Forest Policy and Economics* [online]. **67**, 52–59. ISSN 13899341. Dostupné z: doi:[10.1016/j.forpol.2016.03.011](https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.03.011)
- [56] KLÍMEK, Petr a Rupert WIMMER, 2017. Alternative Raw Materials for Bio-Based Composites. In: *International Conference "Wood Science and Engineering in the Third Millennium" - ICWSE 2017*. Brasov: Bioresources.
- [57] KLUTS, Ingeborg, Birka WICKE, Rik LEEMANS a André FAAIJ, 2017. Sustainability constraints in determining European bioenergy potential: A review of existing studies and steps forward. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. **69**, 719–734. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:[10.1016/j.rser.2016.11.036](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.036)
- [58] KNOX, Anna Sophia, Eric A. NELSON, Nancy V. HALVERSON a John B. GLADDEN, 2010. Long-Term Performance of a Constructed Wetland for Metal Removal. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* [online]. **19**(6), 667–685. ISSN 1532-0383, 1549-7887. Dostupné z: doi:[10.1080/15320383.2010.515628](https://doi.org/10.1080/15320383.2010.515628)
- [59] LASÁK, Jan, 2014. Akciová společnost. In: Jarmila POKORNÁ, Josef HOLEJŠOVSKÝ a Jan LASÁK *Obchodní společnosti a družstva*. Praha: C.H. Beck. ISBN 978-80-7400-475-9.
- [60] LE TOURNEAU, François-Michel, 2016. Is Brazil now in control of deforestation in the Amazon? *Cybergeo* [online]. [vid. 2020-09-11]. ISSN 1278-3366. Dostupné z: doi:[10.4000/cybergeo.27484](https://doi.org/10.4000/cybergeo.27484)
- [61] MACÍA, Manuel J. a Henrik BALSLEV, 2000. Use and management of Totora (*Schoenoplectus Californicus*, Cyperaceae) in Ecuador. *Economic Botany* [online]. **54**(1), 82–89. ISSN 0013-0001, 1874-9364. Dostupné z: doi:[10.1007/BF02866602](https://doi.org/10.1007/BF02866602)
- [62] MAES, Joachim, Ana BARBOSA, Claudia BARANZELLI, Grazia ZULIAN, Filipe BATISTA E SILVA, Ine VANDECASTEELE, Roland HIEDERER, Camino LIQUETE, Maria Luisa PARACCHINI, Sarah MUBAREKA, Chris JACOBS-CRISIONI, Carolina Perpiña CASTILLO a Carlo LAVALLE, 2015. More green infrastructure is required to maintain ecosystem services under current trends in land-use change in Europe. *Landscape Ecology* [online]. **30**(3), 517–534. ISSN 0921-2973, 1572-9761. Dostupné z: doi:[10.1007/s10980-014-0083-2](https://doi.org/10.1007/s10980-014-0083-2)
- [63] MALÝ, Karel, ed., 1997. *Dějiny českého a československého práva do roku 1945*. Praha: Linde Praha a.s. ISBN 978-80-7201-045-5.
- [64] MAMUN, Abdullah Al a Andrzej Korneliusz BLEDZKI, 2014. Enzyme Modification of Grain By-products and Their Biocomposites: Characterization, Mechanical and Thermal Properties: Enzyme Modification of Grain By-products and Their Biocomposites .... *Macromolecular Materials and Engineering* [online]. **299**(2), 248–256. ISSN 14387492. Dostupné z: doi:[10.1002/mame.201300140](https://doi.org/10.1002/mame.201300140)

- [65] MANTAU, U., U. SAAL, F. STREIERER, M. LINDER, H. VERKERK, J. EGGERS, N. LEEK, J. OLDEBURGER, A. ASIKAINEN, A. PERTTU a K. PRINTS, 2010. *Final report. Real potential for changes in growth and use of EU forests. EUwood.*
- [66] MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR, 2020. *ISKP14+* [online] [vid. 2020-07-20]. Dostupné z: <https://mseu.mssf.cz/>
- [67] MINISTERSTVO SPRAVEDLNOSTI ČESKÉ REPUBLIKY, 2012. *Veřejný rejstřík a Sbírka listin* [online] [vid. 2020-08-20]. Dostupné z: <https://or.justice.cz/ias/ui/podani>
- [68] MOHANTY, A. K., M. MISRA a L. T. DRZAL, 2001. Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview. *Composite Interfaces* [online]. **8**(5), 313–343. ISSN 0927-6440, 1568-5543. Dostupné z: doi:[10.1163/156855401753255422](https://doi.org/10.1163/156855401753255422)
- [69] MONFORTI, F., K. BÓDIS, N. SCARLAT a J. -F. DALLEMAND, 2013. The possible contribution of agricultural crop residues to renewable energy targets in Europe: A spatially explicit study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. **19**, 666–677. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:[10.1016/j.rser.2012.11.060](https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.060)
- [70] MURRAY-GULDE, Cynthia L., George M. HUDDLESTON, Kristina V. GARBER a John H. RODGERS, 2005. Contributions of Schoenoplectus californicus in a Constructed Wetland System Receiving Copper Contaminated Wastewater. *Water, Air, and Soil Pollution* [online]. **163**(1–4), 355–378. ISSN 0049-6979, 1573-2932. Dostupné z: doi:[10.1007/s11270-005-1297-3](https://doi.org/10.1007/s11270-005-1297-3)
- [71] MUTHURAJ, Rajendran, Clément LACOSTE, Patrick LACROIX a Anne BERGERET, 2019. Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. *Industrial Crops and Products* [online]. **135**, 238–245. ISSN 0926-6690. Dostupné z: doi:[10.1016/j.indcrop.2019.04.053](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.053)
- [72] NAGHMOUCHI, Ilhem, Francesc X. ESPINACH, Pere MUTJÉ a Sami BOUFI, 2015. Polypropylene composites based on lignocellulosic fillers: How the filler morphology affects the composite properties. *Materials & Design (1980-2015)* [online]. **65**, 454–461. ISSN 02613069. Dostupné z: doi:[10.1016/j.matdes.2014.09.047](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.09.047)
- [73] NIKVASH, Neda, Alireza KHARAZIPOUR a Markus EURING, 2012. Effects of Wheat Protein as a Biological Binder in the Manufacture of Particleboards Using a Mixture of Canola, Hemp, Bagasse, and Commercial Wood. *Forest Products Journal* [online]. **62**(1), 49–57. ISSN 0015-7473. Dostupné z: doi:[10.13073/FPJ-D-11-00102.1](https://doi.org/10.13073/FPJ-D-11-00102.1)
- [74] NORIEGA, G., 1993. *Los totorales del Lago Titicaca, estado tecnología y potencial.* Puno. b.n.
- [75] OH, Yong-Sung, Mohd Ariff JAMALUDIN, Yong-Sung OH a Mohd Ariff JAMALUDIN, 2015. Evaluation of rapeseed stalk particleboard bonded with laboratory-made urea-formaldehyde resin. *Ciência Florestal* [online]. B.m.: Universidade Federal de Santa Maria, **25**(2), 515–521. ISSN 1980-5098. Dostupné z: doi:[10.5902/1980509818471](https://doi.org/10.5902/1980509818471)
- [76] OPPIK, 2020a. Cesta k dotaci. *OPPIK.cz, informační portál o dotacích pro podnikatele* [online] [vid. 2020-08-20]. Dostupné z: <https://www.opvik.cz/cesta-k-dotaci>
- [77] OPPIK, 2020b. Nízkouhlíkové technologie. *OPPIK.cz, informační portál o dotacích pro podnikatele* [online] [vid. 2020-08-20]. Dostupné z: <https://www.opvik.cz/dotacni-programy/nizkouhlikove-technologie>

- [78] OPPIK, 2020c. Úspory energie. *OPPIK.cz, informační portál o dotacích pro podnikatele* [online] [vid. 2020-08-20]. Dostupné z: <https://www.oppik.cz/dotacni-programy/uspory-energie>
- [79] PAVELEK, Miloš, Marek PRAJER a Kamil TRGALA, 2018. Static and Dynamic Thermal Characterization of Timber Frame/Wheat (*Triticum Aestivum*) Chaff Thermal Insulation Panel for Sustainable Building Construction. *Sustainability* [online]. **10**(7), 2363. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:[10.3390/su10072363](https://doi.org/10.3390/su10072363)
- [80] PELT, ADESU. 21.04, 2003. *Plantación de totora en comunidades*. B.m. b.n.
- [81] PELT. 21.02, 2000. *Evaluación de la totora en el Perú (Ámbito Peruano del sistema TDPS) Parte 1*. Puno. b.n.
- [82] PELT. 21.03, 2002. *Validación de las técnicas de plantación, corte y cosecha de totora*. Puno. b.n.
- [83] PERLACK, Robert, Laurence EATON, Anthony TURHOLLOW, Matt LANGHOLTZ, Craig BRANDT, Mark DOWNING, Robin GRAHAM, Lynn WRIGHT, Jacob KAVKEWITZ, Anna SHAMEY, Richard NELSON, Bryce STOKES, William ROONEY, David MUTH, J. Richard HESS, Jared ABODEELY, Chad HELLWINCKEL, Danial De La Torre UGARTE, Daniel YODER, James LYON, Timothy RIALS, Timothy VOLK, Thomas BUCHHOLZ, Lawrence ABRAHAMSON, Robert ANEX, Thomas VOIGT, William BERGUSON, Don RIEMENSCHNEIDER, Douglas KARLEN, Jane JOHNSON, Robert MITCHELL, Kenneth VOGEL, Edward RICHARD, John TATARKO, Larry WAGNER, Kenneth SKOG, Patricia LEBOW, Dennis DYKSTRA, Marilyn BUFORD, Patrick MILES, D. Andrew SCOTT, James PERDUE, Robert RUMMER, Jamie BARBOUR, John STANTURF, David MCKEEVER, Ronald ZALESNY, Edmund GEE, P. Daniel CASSIDY a David LIGHTLE, 2011. U.S. Billion-ton Update: Biomass Supply for a Bioenergy and Bioproducts Industry. *Agricultural and Biosystems Engineering Technical Reports and White Papers* [online]. Dostupné z: [https://lib.dr.iastate.edu/abe\\_eng\\_reports/16](https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_reports/16)
- [84] POKORNÁ, Alena, 2014a. Komanditní společnost. In: Jarmila POKORNÁ, Josef HOLEJŠOVSKÝ a Jan LASÁK *Obchodní společnosti a družstva*. Praha: C.H. Beck. ISBN 978-80-7400-475-9.
- [85] POKORNÁ, Alena, 2014b. Veřejná obchodní společnost. In: Jarmila POKORNÁ, Josef HOLEJŠOVSKÝ a Jan LASÁK *Obchodní společnosti a družstva*. Praha: C.H. Beck. ISBN 978-80-7400-475-9.
- [86] POKORNÁ, Jarmila, 2014c. Podnikatel a podnikatelské oprávnění. In: Josef BEJČEK, Petr HAJN, Jarmila POKORNÁ a Koziak JAROMÍR *Obchodní právo: obecná část, soutěžní právo*. Praha: C.H. Beck. ISBN 978-80-7400-547-3.
- [87] PŘÍLOHA Č. 4 ZÁKONA Č. 455/1991 SB., *o živnostenském podnikání (živnostenský zákon)*.
- [88] RAMAMOORTHY, Sunil Kumar, Mikael SKRIFVARS a Anders PERSSON, 2015. A Review of Natural Fibers Used in Biocomposites: Plant, Animal and Regenerated Cellulose Fibers. *Polymer Reviews* [online]. **55**(1), 107–162. ISSN 1558-3724, 1558-3716. Dostupné z: doi:[10.1080/15583724.2014.971124](https://doi.org/10.1080/15583724.2014.971124)
- [89] REARTE, Tomás Agustín, Patricia Beatriz BOZZANO, Maria Luisa ANDRADE a Alicia FABRIZIO DE IORIO, 2013. Biosorption of Cr(III) and Pb(II) by *Schoenoplectus californicus* and Insights into the Binding Mechanism. *ISRN Chemical Engineering* [online]. **2013**, 1–13. ISSN 2090-861X. Dostupné z: doi:[10.1155/2013/851602](https://doi.org/10.1155/2013/851602)
- [90] SALEEM, Zuhair, Heinrich RENNEBAUM, Frank PUDEL a Eckhard GRIMM, 2008. Treating bast fibres with pectinase improves mechanical

- characteristics of reinforced thermoplastic composites. *Composites Science and Technology* [online]. **68**(2), 471–476. ISSN 02663538. Dostupné z: doi:[10.1016/j.compscitech.2007.06.005](https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.06.005)
- [91] SCARLAT, N., F. FAHL, E. LUGATO, F. MONFORTI-FERRARIO a J. F. DALLEMAND, 2019. Integrated and spatially explicit assessment of sustainable crop residues potential in Europe. *Biomass and Bioenergy* [online]. **122**, 257–269. ISSN 0961-9534. Dostupné z: doi:[10.1016/j.biombioe.2019.01.021](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.021)
- [92] SCARLAT, Nicolae, Milan MARTINOV a Jean-François DALLEMAND, 2010. Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use. *Waste Management* [online]. **30**(10), Anaerobic Digestion (AD) of Solid Waste, 1889–1897. ISSN 0956-053X. Dostupné z: doi:[10.1016/j.wasman.2010.04.016](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.016)
- [93] SEARLE, Stephanie a Chris MALINS, 2013. *Availability of Cellulosic Residues and Wastes in the EU* [online]. říjen 2013. B.m.: The International Council on Clean Transportation. Dostupné z: [www.theicct.org > files > ICCT\\_EUcellulosic-waste-residues\\_20131022](http://www.theicct.org/files/ICCT_EUcellulosic-waste-residues_20131022)
- [94] SIMBAÑA, A., 2003. *Hacia el aprovechamiento sustentable de la totora (Schoenoplectus californicus), en el Imbabura provincia de Imbabura (Master's thesis)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Ibarra. b.n.
- [95] SITZ, Evan D. a Dilpreet S. BAJWA, 2015. The mechanical properties of soybean straw and wheat straw blended medium density fiberboards made with methylene diphenyl diisocyanate binder. *Industrial Crops and Products* [online]. **75**, 200–205. ISSN 09266690. Dostupné z: doi:[10.1016/j.indcrop.2015.05.006](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.006)
- [96] SLUIS, T. van der, R. P. POPPENS, P. KRAISVITNII, O. RII, J. P. LESSCHEN, M. GALYTSKA a H. W. ELBERSEN, 2013. *Reed harvesting from wetlands for bioenergy: technical aspects, sustainability and economic viability of reed harvesting in Ukraine* [online]. 2460. Wageningen: Alterra, Wageningen-UR [vid. 2020-08-20]. Dostupné z: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/444612>
- [97] SMĚRNICE 2018/850/EU, o skládkách odpadů.
- [98] SOLBERG, Birger a EUROPEAN FOREST INSTITUTE, ed., 1996. *Long-term trends and prospects in world supply and demand for wood and implications for sustainable forest management*. Joensuu: European Forest Institute. European Forest Institute research report, 6. ISBN 978-952-9844-29-6.
- [99] SRINIVASARAO, Ch., Rattan LAL, Sumanta KUNDU, M. B. B. Prasad BABU, B. VENKATESWARLU a Anil Kumar SINGH, 2014. Soil carbon sequestration in rainfed production systems in the semiarid tropics of India. *Science of The Total Environment* [online]. **487**, 587–603. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:[10.1016/j.scitotenv.2013.10.006](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.006)
- [100] ŠIŠÁK, Luděk a Karel PULKRAB, 1994. *Mimoprodukční cena lesa*. Praha: Vysoká škola zemědělská. ISBN 978-80-213-0197-9.
- [101] ŠTENGLOVÁ, IVANA a Bohumil HAVEL, 2017. § 95 [Vymezení pojmu]. In: Ivana ŠTENGLOVÁ, Bohumil HAVEL, Filip CILEČEK, Petr KUHN a Petr ŠUK *Zákon o obchodních korporacích*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, s. 248. ISBN 978-80-7400-540-4.
- [102] ŠTENGLOVÁ, IVANA, 2017. § 1 [Okruh obchodních korporací]. In: Ivana ŠTENGLOVÁ, Bohumil HAVEL, Filip CILEČEK, Petr KUHN a Petr ŠUK *Zákon o obchodních korporacích*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, s. 1. ISBN 978-80-7400-540-4.
- [103] ŠTENGLOVÁ, IVANA, Bohumil HAVEL, Filip CILEČEK, Petr KUHN a Petr ŠUK, 2017a. § 132 [Vymezení společnosti s ručením omezeným]. In: Ivana

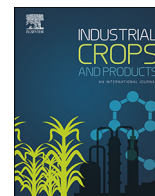


- ŠTENGLOVÁ, Bohumil HAVEL, Filip CILEČEK, Petr KUHN a Petr ŠUK *Zákon o obchodních korporacích*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, s. 303. ISBN 978-80-7400-540-4.
- [104] ŠTENGLOVÁ, IVANA, Bohumil HAVEL, Filip CILEČEK, Petr KUHN a Petr ŠUK, 2017b. § 146 [Náležitosti společenské smlouvy]. In: Ivana ŠTENGLOVÁ, Bohumil HAVEL, Filip CILEČEK, Petr KUHN a Petr ŠUK *Zákon o obchodních korporacích*. 2. vydání. Praha: Nakladatelství C. H. Beck, s. 318. ISBN 978-80-7400-540-4.
- [105] TAN-SOO, Jie-Sheng, Norliyana ADNAN, Ismariah AHMAD, Subhrendu K. PATTANAYAK a Jeffrey R. VINCENT, 2016. Econometric Evidence on Forest Ecosystem Services: Deforestation and Flooding in Malaysia. *Environmental and Resource Economics* [online]. **63**(1), 25–44. ISSN 0924-6460, 1573-1502. Dostupné z: doi:[10.1007/s10640-014-9834-4](https://doi.org/10.1007/s10640-014-9834-4)
- [106] TUHÁČEK, Miloš a Jitka JELÍNKOVÁ, ed., 2015. *Právo životního prostředí: praktický průvodce*. První vydání. Praha: Grada. Edice Právo pro každého. ISBN 978-80-247-5464-2.
- [107] VAN DAM, J., A. P. C. FAAIJ, I. LEWANDOWSKI a G. FISCHER, 2007. Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios. *Biomass and Bioenergy* [online]. **31**(6), 345–366. ISSN 0961-9534. Dostupné z: doi:[10.1016/j.biombioe.2006.10.001](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.10.001)
- [108] VYHLÁŠKA Č. 298/2018 SB., o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů.
- [109] VYHLÁŠKA Č. 83/1996 SB., o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů.
- [110] VYSKOT, Ilja, 2003. *Kvantifikace a hodnocení funkcí lesů České republiky*. Praha: Ministerstvo životního prostředí. ISBN 978-80-7212-264-6.
- [111] WEI, Kangcheng, Chenglong LV, Minzhi CHEN, Xiaoyan ZHOU, Zhenyu DAI a Da SHEN, 2015. Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing. *Energy and Buildings* [online]. **87**, 116–122. ISSN 03787788. Dostupné z: doi:[10.1016/j.enbuild.2014.11.026](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.026)
- [112] WU, Guofeng, Ping QU, Enhui SUN, Zhizhou CHANG, Yueding XU a Hongying HUANG, 2014. Physical, Chemical, and Rheological Properties of Rice Husks Treated by Composting Process. *BioResources* [online]. **10**(1), 227–239. ISSN 1930-2126. Dostupné z: doi:[10.15376/biores.10.1.227-239](https://doi.org/10.15376/biores.10.1.227-239)
- [113] XIA, Tengfei, Hongying HUANG, Guofeng WU, Enhui SUN, Xiaochen JIN a Wanying TANG, 2018. The characteristic changes of rice straw fibers in anaerobic digestion and its effect on rice straw-reinforced composites. *Industrial Crops and Products* [online]. **121**, 73–79. ISSN 09266690. Dostupné z: doi:[10.1016/j.indcrop.2018.04.004](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.004)
- [114] YASIN, Muhammad, Abdul Waheed BHUTTO, Aqeel Ahmed BAZMI a Sadia KARIM, 2010. Efficient utilization of rice-wheat straw to produce value-added composite products. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*. **1**(2).
- [115] YU, Guoce, Shinichi YANO, Hiroyuki INOUE, Seiichi INOUE, Jianlong WANG a Takashi ENDO, 2014. Structural Insights into Rice Straw Pretreated by Hot-Compressed Water in Relation to Enzymatic Hydrolysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology* [online]. **174**(6), 2278–2294. ISSN 0273-2289, 1559-0291. Dostupné z: doi:[10.1007/s12010-014-1199-1](https://doi.org/10.1007/s12010-014-1199-1)

- [116] ZÁKON Č. 100/2001 SB., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí).
- [117] ZÁKON Č. 114/1992 SB., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů.
- [118] ZÁKON Č. 183/2006 SB., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- [119] ZÁKON Č. 254/2001 SB., o vodách, ve znění pozdějších předpisů.
- [120] ZÁKON Č. 289/1995 SB., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- [121] ZÁKON Č. 304/2013 SB., o veřejných rejstřících právnických a fyzických osob, ve znění pozdějších předpisů.
- [122] ZÁKON Č. 449/2001 SB., o myslivosti, ve znění pozdějších předpisů.
- [123] ZÁKON Č. 455/1991 SB., o živnostenském podnikání, ve znění pozdějších předpisů.
- [124] ZÁKON Č. 500/2004 SB., správní řád.
- [125] ZÁKON Č. 89/2012 SB., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů.
- [126] ZÁKON Č. 90/2012 SB., o obchodních korporacích.
- [127] ZHANG, Hongli, 2014. Effect of a novel coupling agent, alkyl ketene dimer, on the mechanical properties of wood–plastic composites. *Materials & Design* [online]. **59**, 130–134. ISSN 02613069. Dostupné z: doi:[10.1016/j.matdes.2014.02.048](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.048)
- [128] ZHANG, Yao, Sheng CHEN, Jing WU a Jian CHEN, 2012. Enzymatic surface modification of cellulose acetate fibre by cutinase-CBM (carbohydrate-binding module) fusion proteins. *Biocatalysis and Biotransformation* [online]. **30**(2), 184–189. ISSN 1024-2422, 1029-2446. Dostupné z: doi:[10.3109/10242422.2011.638713](https://doi.org/10.3109/10242422.2011.638713)
- [129] ZIEGLER, Alan D., Jacob PHELPS, Jia QI YUEN, Edward L. WEBB, Deborah LAWRENCE, Jeff M. FOX, Thilde B. BRUUN, Stephen J. LEISZ, Casey M. RYAN, Wolfram DRESSLER, Ole MERTZ, Unai PASCUAL, Christine PADOCH a Lian Pin KOH, 2012. Carbon outcomes of major land-cover transitions in SE Asia: great uncertainties and REDD+ policy implications. *Global Change Biology* [online]. **18**(10), 3087–3099. ISSN 1365-2486. Dostupné z: doi:[10.1111/j.1365-2486.2012.02747.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02747.x)

## 8. Separáty článků a výstupů

1. HÝSKOVÁ, P., HÝSEK, Š., SCHÖNFELDER, O., ŠEDIVKA, P., LEXA, M., a JARSKÝ, V. 2020, Utilization of agricultural rests: straw-based composite panels made from enzymatic modified wheat and rapeseed straw, *Industrial Crops and Products*, č. 144, 112067.



## Utilization of agricultural rests: Straw-based composite panels made from enzymatic modified wheat and rapeseed straw



Petra Hýsková, Štěpán Hýsek\*, Ondřej Schönfelder, Přemysl Šedivka, Martin Lexa, Vilém Jarský

Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 1176, 165 21 Prague 6, Suchbát, Czech Republic

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Composite material  
Enzymatic modification  
Wheat  
Rapeseed  
Straw

### ABSTRACT

The paper deals with the possibility of using post-harvest crop residues, namely winter wheat straw and winter rapeseed straw for the purpose of producing particleboards. In order to increase particle surface energy, particles were treated with enzymes prior to application of the adhesive; xylanases, pectinase, and a combination of both. The effect of the enzymatic treatment on the properties of the treated particles was monitored and, after the production of the boards, the influence of particle treatment on the mechanical and physical properties of the composites was also monitored. The effect of enzymatic modification on the properties of wheat and rapeseed particles was observed. The enzymes used influenced the particle surface morphology, their surface energy and equilibrium moisture content. Only the combination of pectinase and xylanase (Texazym SER 7) increased the surface energy of wheat surface from 26 mN/m (untreated) to 30 mN/m. The greatest erosion of the surface was achieved by the combination of xylanases and pectinases. After enzymatic treatment both wheat and rapeseed straw exhibited higher equilibrium moisture content. The increase of moisture of wheat straw was from 11.9 %–13.2 % and of rapeseed straw from 12.4 %–13.44 %. Although the selected enzymes had an effect on the properties of the particles, the effect of the enzymatic treatment on the equilibrium moisture, the internal bond strength and the bending characteristics of the produced particleboards were not observed. Produced boards reached low mechanical properties, internal bond strength reached values from 61–99 mN/mm<sup>2</sup>.

### 1. Introduction

Lignocellulosic materials have great potential for the manufacturing industry and will have an important role to play in the production of composite materials in the near future, and not only because they can be produced in a sustainable way (Lee et al., 2018). The use of renewable materials in the production of composites is increasing (Mohanty et al., 2001; Wu et al., 2014). In particular, there is an attractive combination of cheap lignocellulosic material and cheap adhesives. In the case of the use of, for example, winter wheat straw, which is twice as cheap as wood (Perlack et al., 2011), in combination with urea-formaldehyde adhesive, we can achieve the price of input raw materials for the production of particleboards at 66 EUR/t. An important factor due to which lignocellulosic residues are considered a future wood alternative for panel production is the expected future shortage of wood in the European Union (Mantau et al., 2010). By contrast, each year the European Union produces a total of 700 million tonnes of waste in the form of agricultural post-harvest residues (Babenko et al., 2018). To date, much of the post-harvest residue has been burned, which is economically unsuitable and environmentally

hazardous due to the production of large quantities of greenhouse gases from incineration. One of the main benefits of post-harvest crop residues is their easy renewal, accessibility, recyclability, biodegradability and ecological compatibility (Mesquita et al., 2018). Furthermore, they are characterized by advantageous specific strength, weight and good thermal and acoustic properties. For example, rapeseed particleboard with density of 650 kg/m<sup>3</sup> reached following values: MOR 20.6 N/mm<sup>2</sup>, MOE 3610 N/mm<sup>2</sup>, IB 0.63 N/mm<sup>2</sup> (Dukarska et al., 2017), or insulation particleboard from rice straw with density of 250 kg/m<sup>3</sup> reached thermal conductivity coefficient of 0.0498 W/(m.K) (Wei et al., 2015). These panels are competitive with low-density fiberboards made from wood. The production of composite materials from wheat and rapeseed straw favorably contributes to resolving the problem of CO<sub>2</sub> in the air. The conversion of these post-harvest crop residues into products with higher added value can lead to an improvement in the performance of the agricultural sector (Klímeček et al., 2018). Their better utilization will be useful for farmers in terms of a source of additional income, which may be an important motivating factor in promoting an efficient system of collection and processing of these commodities (Mahieu et al., 2019; Gajdačová et al., 2018; Yasina

\* Corresponding author.

E-mail address: [hysesks@fd.czu.cz](mailto:hysesks@fd.czu.cz) (Š. Hýsek).

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112067>

Received 25 February 2019; Received in revised form 18 December 2019; Accepted 22 December 2019

Available online 26 December 2019

0926-6690/© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

et al., 2010).

The treatment of the surface and structure of raw materials can improve their processability and usability. Methods leading to structural change are biological (Mamun and Bledzki, 2014), hydrothermal (Yu et al., 2014), mechanical (Alang et al., 2011), physical and chemical (Liu et al., 2017; Naghmouchi et al., 2015; Zhang, 2014). Modifications of raw materials such as cotton, linen and hemp fibre have been extensively investigated by the manufacturing industry. Most research is focused on improving surface properties by removing fats, waxes, proteins and non-crystalline celluloses (Bledzki et al., 2010). Compared to traditional methods, enzymatic modification is desirable because it can be carried out under mild and environmentally-friendly process conditions and without significantly affecting the mechanical properties of fibres (Zhang et al., 2012). Enzymatic modification may not only lead to the removal of non-cellulosic substances, but surface treatment can also be carried out by enzymes (Saleem et al., 2008).

Pectic substances are the main components of the middle lamellae of plant cells that are present in the form of calcium and magnesium pectate. Alkaline pectinases, which are capable of degrading pectin in the middle lamella, are classified as pectinases or pectinolytic enzymes (Chiliveri et al., 2016; Li and Pickering, 2008). These include two major groups: methylesterases, which catalyse the removal of the methoxyl group from pectin to form pectate and depolymerases (hydrolases and lysates), which divide the main chain of pectin and pectate via hydrolytic cleavage (Chiliveri et al., 2016). Post-harvest plant fibres treated by enzymatic pectinase treatment exhibit the same fibre fractions and higher strength, thereby increasing their suitability for use in composite materials (Bernava et al., 2014). Hoondal et al. (2002) report the use of enzymatic treatment of pectinase in jute and flax. Their results are consistent with Saleem et al. (2008) and confirm the increase in the mechanical properties of the fibres of the test material, or an increase in the elastic characteristics and tensile strength.

D-Xylans are the most abundant non-cellulosic polysaccharides in annual plants that have a lump-shaped stem and form 20–35 % of total dry matter. Xylanases are a group of glycoside hydrolase enzymes that degrade linear polysaccharide xylan to xylose via catalytic hydrolysis of the glycosidic bond ( $\beta$ -1,4) of xylosides (Liu and Kokare, 2017; Walia et al., 2017). The best known xylanases are endo-B-1,4-xylanases, which attack the main chain of xylans, and fl-xylosidases which hydrolyse xylooligosaccharides to D-xylose (Haltrich et al., 1996). Vardhini and Murugan (2017) investigated the effect of enzymatic treatment of xylanase on banana fibers. Their results show that the effect of treatment resulted in a decrease in lignin by 27.7 % and hemicelluloses by 61 %. Treatment of the chemical composition of the fibers led to an increase in tensile strength when using an enzyme concentration of up to 15 %. A higher concentration leads to a decrease in strength. Removal of lignin and hemicellulose results in increased fibre density.

The combination of enzymatic treatment of pectinase and xylanase was used to soften and refine the surface of jute fabrics. A suitable mixing ratio of enzymes can reduce the rate of enzymatic reaction and improve its effectiveness (Hoondal et al., 2002).

The motivation for this study was utilization of cheap raw materials and cheap adhesive in order to produce a material with high added value. However, the adhesion between straw surface and urea-formaldehyde adhesive was already found to be poor. Based on the carried out research, it can be assumed that the enzyme pre-treatment of particles from straw will lead to increased adhesion in the production of straw particleboards using urea-formaldehyde adhesive. In order to verify this hypothesis, in the submitted study, particles from wheat and rapeseed straw were treated with xylanases and pectinases, and particleboards were then made from such particles. Along with the idea of using cheap input materials, commercially produced enzymes were used for enzymatic treatment. In order to clarify the effect of enzymatic treatment on the properties of the particles and particleboards, tests of the properties of the treated particles and the properties of the resulting

**Table 1**  
Enzyme identification.

Variant code	Commercial name of the enzyme	Main enzymatic component
0	untreated	
1	Texazym BFE	Pectinase
2	Texazym SER 7 conc.	Combination of pectinase and xylanase
3	Texazym DLG new	Xylanase

composite materials were carried out.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Materials

Commercially-sold chopped wheat (*Triticum aestivum* L.) and rapeseed (*Brassica napus* L.) straw particles were used to manufacture the boards (Mikó Stroh, Borota, Hungary). Commercially used enzymes were obtained from Inotex (Dvůr Králové nad Labem, Czech Republic). The enzyme identification is shown in Table 1. Nofome AF (TANATEX Chemicals, Einsteinstraat, Netherlands) was used for venting, defoaming and wetting the product. Enzymatic modification was carried out on both wheat and rapeseed particles using an apparatus for the wet dyeing process. The dye bath was 1:5. The process of the enzymatic modification is described in Table 2.

### 2.2. Particleboard manufacturing

According to the methodology previously published in (Hýšek et al., 2018a), particleboards were pressed from particles with an applied urea-formaldehyde adhesive mixture. The K350S urea-formaldehyde with ammonium nitrate hardener was used. The resin content was 9 % (solid adhesive / dry particle mass), the content of paraffin emulsion was 1 % (solid paraffin / dry particle mass) and the ratio solid hardener / dry adhesive was 6.5 %. The paraffin emulsion was mixed into the adhesive mixture prior the addition of the hardener. Before pressing, the particles were dried to a moisture content of 10 %. The dimensions of the produces particleboards were 8 mm x 320 mm x 380 mm and the nominal density was 490 kg/m<sup>3</sup>. Fig. 1 shows the pressing diagram used for the manufacture of all boards in this research.

### 2.3. Characterization of treated particles

The following techniques were used to analyse the modified particle material. Changes in the surface structure of particles (degradation) were observed using scanning electron microscope (SEM) MIRA 3. A secondary electron detector operated at 15 kV acceleration voltage was used. Changes in surface properties were further characterized using test inks evaluating the surface energy of the investigated surface. Non-toxic test inks with values (28, 30, 32, ... 60 mN/m) and toxic test inks with values (20, 22, 24 and 26 mN/m) from the company Arcotest GmbH were used. In order to assess the effect of enzymes on the volume properties of the treated particles, the equilibrium moisture content of the modified particles air-conditioned in an environment of 65 % relative humidity and 20 °C was monitored. Fluorescence-lifetime imaging microscopy (FLIM) was used to determine whether the effect of enzymes had changed in the macromolecular composition of the treated particles. A more detailed description of methods used can be found in (Hýšek et al., 2018a).

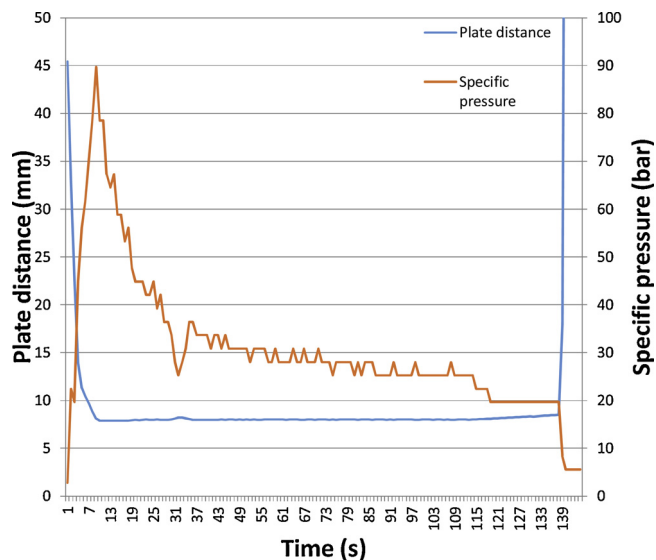
### 2.4. Determination of particleboard properties

Both the physical and mechanical properties of produced composites were observed. The equilibrium moisture content of the boards



**Table 2**  
The enzymatic modification process.

Code	Type of particles	Bath composition	Conditions	Completion of operation
A0	wheat	without treatment		
A1	wheat	5 % from v.m. Texazym BFE 0,5 ml/l Nofome AF	temperature 55 °C time: 2 hours	Rinse warm cold water Drying
A2	wheat	5 % from v.m. Texazym SER 7 conc.	temperature 55 °C time: 2 hours	Rinse warm cold water Drying
A3	wheat	5 % from v.m. Texazym DLG new 0,5 ml/l Nofome AF	temperature 55 °C time: 2 hours	Rinse warm cold water Drying
B0	rapeseed	without treatment		
B1	rapeseed	5 % from v.m. Texazym BFE 0,5 ml/l Nofome AF	temperature 55 °C time: 2 hours	Rinse warm cold water Drying
B2	rapeseed	5 % from v.m. Texazym SER 7 conc.	temperature 55 °C time: 2 hours	Rinse warm cold water Drying
B3	rapeseed	5 % from v.m. Texazym DLG new 0,5 ml/l Nofome AF	temperature 55 °C time: 2 hours	Rinse warm cold water Drying



**Fig. 1.** Pressing diagram.

and their vertical density profile were chosen in order to characterize the physical properties. The equilibrium moisture content of the boards was estimated after conditioning of the boards in an environment with 65 % relative humidity and 20 °C and subsequent drying at 103 °C. The density of particleboards has a fundamental influence on their physical and mechanical properties and was therefore checked according to standard EN 323 (1993). A previous study showed that particle modification may affect the vertical density profile (VDP) of boards (Hýšek et al., 2018b), and the VDP was therefore also assessed in this work. An X-ray density profile analyser was used to determine the VDP of the produced board. Internal bond strength and bending strength were measured in order to characterize the mechanical properties of manufactured boards. The measurements of internal bond strength were carried out according to EN 319 (1993) and the measurements of four-point bending strength were carried out according to modified standard EN 798 (2004). The exact method of determining the bending strength of the developed composites is described in Hýšek et al. (2018b).

## 2.5. Statistical analysis

The results were statistically processed using descriptive statistics and variance analysis (ANOVA). The Tukey post-hoc test was further used to ascertain if any of the differences were statistically significant. All of the hypotheses were tested at a significance level of  $\alpha = 0.05$

## 3. Results and discussion

### 3.1. Morphological changes in particles

In Fig. 2a–h are depicted morphological changes in the particle surface after three enzymatic pre-treatments. The surface of untreated wheat particles can be seen in Fig. 2a, where the pores in the surface layer are sunk into the top layer (epidermis). In Fig. 2b–d, the loss of the top layer (epidermis) of the wheat particle surface can be partially observed, where pores are protruding (Gajdačová et al., 2018). The highest loss in the top layer was caused by a combination of pectinases and xylanases (Fig. 2c). Enzymatic treatment of rapeseed particles caused erosion of particle surface (Fig. 2f–h), and the highest erosion was again caused by the combination of pectinases and xylanases (Fig. 2g). When the enzymes were applied to rapeseed particles separately, the erosion of surface was milder (Fig. 2f and h), however visible in comparison with untreated rapeseed surface (Fig. 2e).

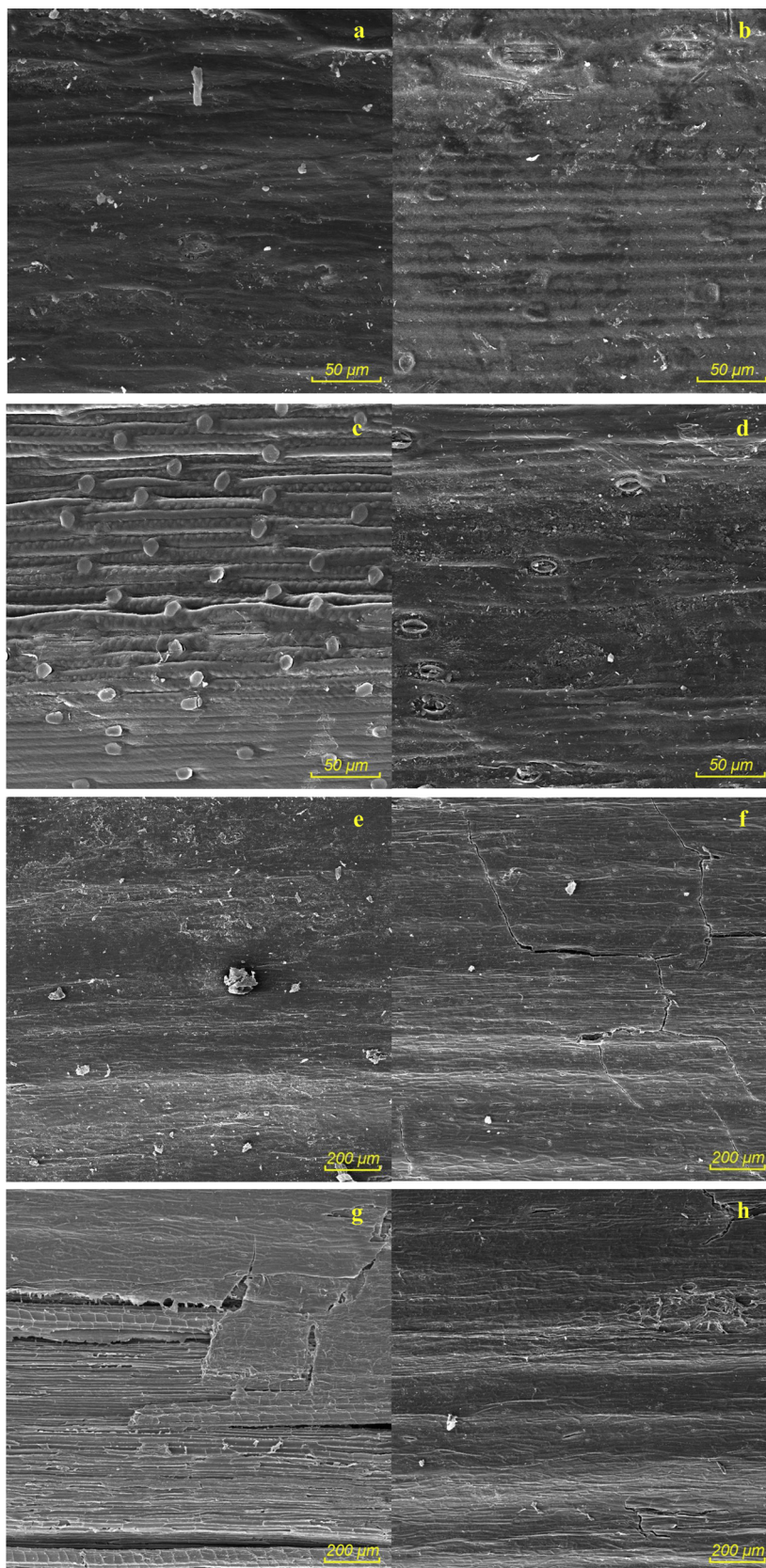
### 3.2. Physical properties of particles

The values of surface energy of particle surfaces are specified in Table 3. Not all of the modifications of wheat particles caused the desired effect in terms of an increase in the surface energy. The increase was caused only by the combination of pectinases and xylanases (treatment 2). On the other hand, all of the enzyme combinations caused an increase in surface energy on rapeseed particles. The highest increase was caused by pectinases. The higher surface energy of particles should contribute to higher mechanical properties of boards glued with urea-formaldehyde adhesive (Banea and da Silva, 2009).

Fig. 3 shows the equilibrium moisture content of straw particles climatized at 20 °C and 65 % RH and Table 4 shows the statistical significance for pairwise differences. Rapeseed straw reached higher equilibrium moisture content than wheat straw, and in all of the cases the enzymatic pre-treatment increased the moisture uptake of particles. An increase in moisture uptake after pre-treatment indicates the desired degradation of hydrophobic substances from the particles. However, higher moisture uptake can be a disadvantage in application of boards from those particles and has to be resolved by adding paraffin emulsion to the adhesive mixture (de Lima Mesquita et al., 2018; Onat et al., 2014).

From the statistical significance for pairwise differences (Table 4) it can be concluded that the value of equilibrium moisture content of untreated wheat straw statistically significantly differs from other values. The highest value of equilibrium moisture content (modification no. 2 of rapeseed straw) was not statistically significantly higher than values reached by rapeseed straw (modifications no. 1 and 3) and wheat straw (modifications no. 2 and 3).

The effect of pre-treatment on the mean fluorescence lifetime (decay



**Fig. 2.** Electron micrographs of wheat and rapeseed surfaces. (a) Untreated wheat straw, (b) wheat straw treatment no. 1, (c) wheat straw treatment no. 2, (d) wheat straw treatment no. 3, (e) untreated rapeseed straw, (f) rapeseed straw treatment no. 1, (g) rapeseed straw treatment no. 2 and (h) rapeseed straw treatment no. 3.

**Table 3**  
Surface energy of straw.

Pre-treatment	Straw	Surface energy (mN/m)
untreated	wheat	26 ± 2
1	wheat	26 ± 2
2	wheat	30 ± 2
3	wheat	26 ± 2
untreated	rape	34 ± 2
1	rape	42 ± 2
2	rape	38 ± 2
3	rape	38 ± 2

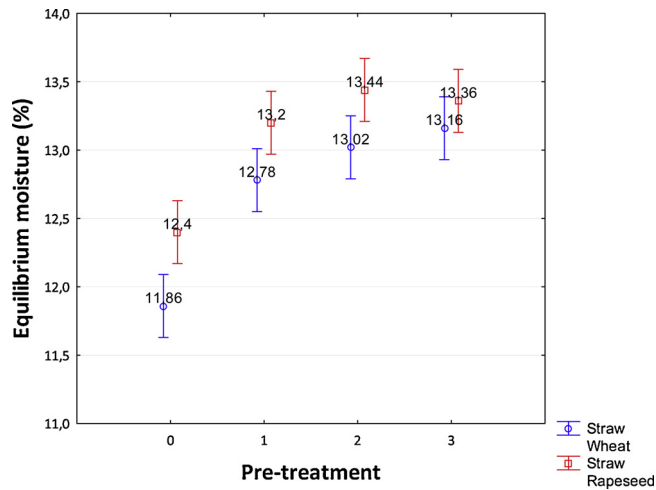


Fig. 3. Effect of pre-treatment on equilibrium moisture of straw particles.

time) of modified straw is depicted in Fig. 4. It can be seen that only the mean decay time of wheat straw was affected by the enzymatic pre-treatments. The differences between variants of treated rapeseed straw are not statistically significant. Pre-treatments of wheat straw caused a decrease in the decay time, and the highest decrease was caused by pectinases. The mean fluorescence lifetime of lignocellulose materials is affected mainly by the content of sugars and lignin (Coletta et al., 2013; Hýšek et al., 2018a) and this characteristic is lower when the content of lignin in the lignocellulose is higher (because lignin is characterized by a shorter fluorescence lifetime than the fluorescence lifetime of cellulose and hemicelluloses) (Coletta et al., 2013; Donaldson and Radotic, 2013). The measured decay times of treated wheat straw indicated that the content of lignin in treated straw was higher than in untreated wheat straw, and that all of the wheat straw variants had a higher lignin content than rapeseed straw. This finding partly corresponds to the analyses of equilibrium moisture content (both particles and boards) when rapeseed materials reached slightly higher moisture due to higher content of holocellulose. However, our findings do not correspond to other studies, where the lignin content was reported to be

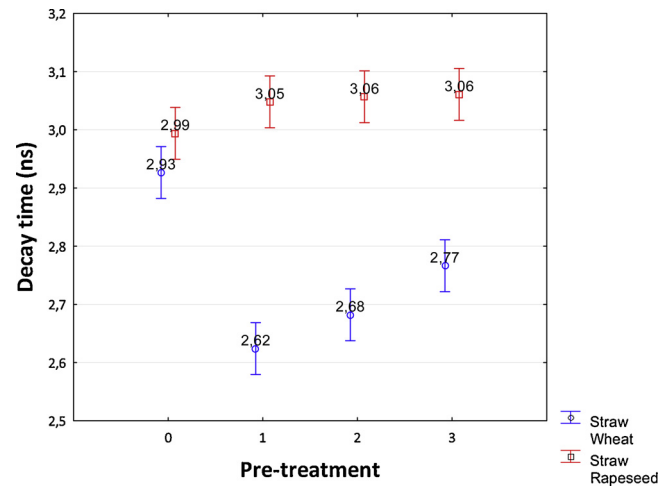


Fig. 4. Effect of pre-treatment on fluorescence lifetime of modified straw.

higher in rapeseed straw (Adapa et al., 2009; Tofanica et al., 2011). This can be explained by high variability of straw composition caused by soil-climate conditions (Adapa et al., 2009; Haag et al., 2017).

### 3.3. Physical and mechanical properties of boards

The vertical density profiles of the boards are shown in Fig. 5. In all cases, the high press closing speed created a steep density profile, which subsequently had a positive effect on absolute bending strength values, but a negative effects for internal bond strength (Azizi et al., 2011; Wang and Sun, 2002). Due to manual layering, minor variations (caused by scattering of the density in the area of the board as well as in the density of individual layers of samples) in the density were recorded between the variants.

The comparison between equilibrium moisture of particles and equilibrium moisture of pressed boards may provide information about the influence of an adhesive mixture (mainly hydrophobic agent) on board properties. The graph in Fig. 6 shows the equilibrium moisture of the pressed boards at 25 °C and 65 % relative humidity. Compared to the equilibrium moisture content of the particles shown in Fig. 3, it is also evident that boards made of wheat particle achieved a lower average equilibrium moisture. However, due to the addition of paraffin emulsion to the adhesive mixture, the differences between individual particle variants decreased and only one difference was statistically significant at a significance level of 0.05 (Table 5). Enzymatic treatment of wheat particle resulted in a higher board equilibrium moisture content of about 2 % compared to particleboard made from plasma-treated wheat particles (Hýšek et al., 2018b).

The results of the mechanical properties of pressed boards (internal bond strength, bending strength and modulus of elasticity) are specified in Figs. 7–9. All of the mechanical properties, and in particular their dispersion, may be slightly affected by the non-homogeneous density

**Table 4**  
Statistical significance for pairwise differences in Fig. 3 (effect of equilibrium moisture content).

Straw / Pre-treatment	Wheat 0	Wheat 1	Wheat 2	Wheat 3	Rapeseed 0	Rapeseed 1	Rapeseed 2	Rapeseed 3
Wheat 0		s.	s.	s.	s.	s.	s.	s.
Wheat 1	s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	s.
Wheat 2	s.	n.s.		n.s.	s.	n.s.	n.s.	n.s.
Wheat 3	s.	n.s.	n.s.		s.	n.s.	n.s.	n.s.
Rapeseed 0	s.	n.s.	s.	s.		s.	s.	s.
Rapeseed 1	s.	n.s.	n.s.	n.s.	s.		n.s.	n.s.
Rapeseed 2	s.	s.	n.s.	n.s.	s.	n.s.		n.s.
Rapeseed 3	s.	s.	n.s.	n.s.	s.	n.s.	n.s.	

Note: s. statistically significant; n.s. not statistically significant; significance level  $\alpha = 0.05$ .



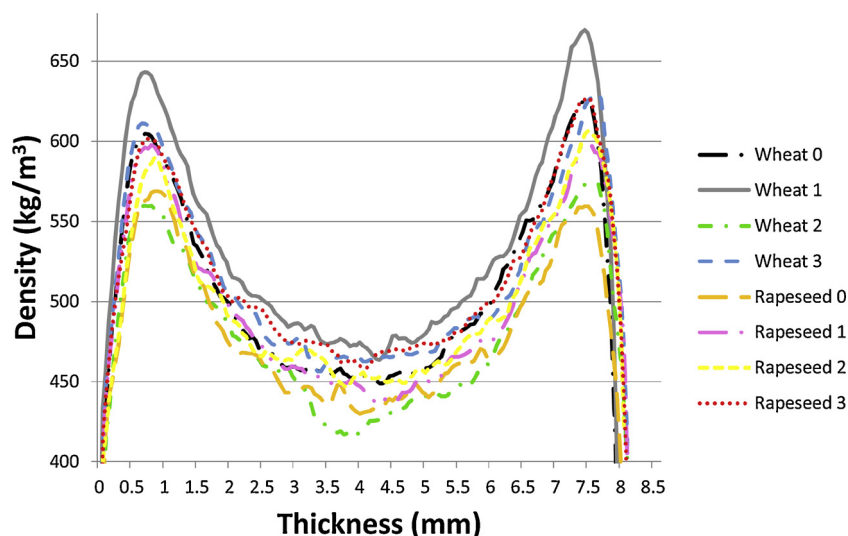


Fig. 5. Vertical density profiles of boards at 25 °C and 65 % relative humidity.

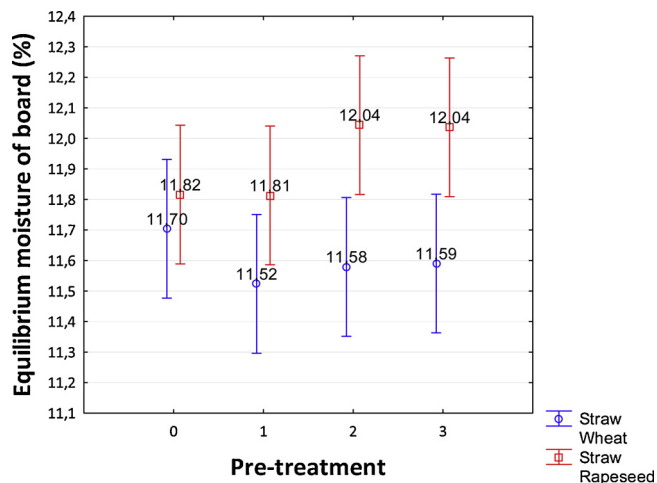


Fig. 6. Effect of particle pre-treatment on equilibrium moisture of boards.

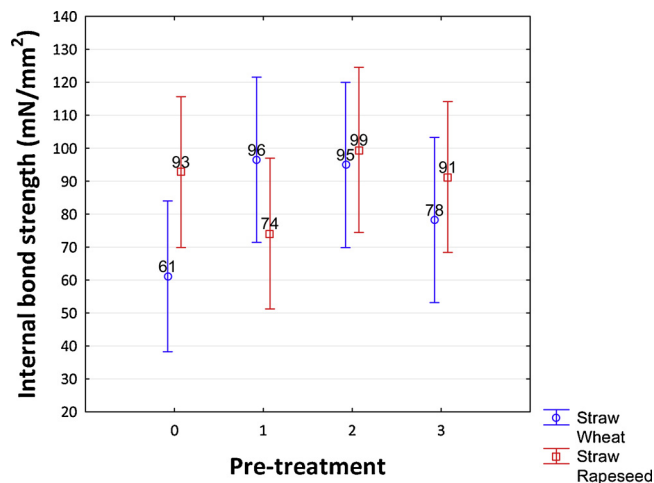


Fig. 7. Effect of particle pre-treatment on internal bond strength of boards.

profile due to the manual particle layering (Fig. 5). Although the selected enzyme particle treatment variants caused significant changes in their surface structure and their equilibrium moisture, the effect of the modification on the mechanical properties was not observed. None of the differences in Figs. 7–9 are statistically significant at a significance level of 0.05. The addition of the adhesive mixture (adhesive and hydrophobization additives) and the pressing of boards eliminated the different properties of wheat and rapeseed particles modified by different enzymes. However, the difference between modified and unmodified particles was also eliminated. Surprisingly, no statistically

significant effect was observed between rapeseed and wheat particle-boards. The difference between the types of particles was eliminated by the technology of board production, which did not correspond to other works (Khan et al., 2018; Tran et al., 2014).

Due to the fact that the same time was used for all of the enzymatic treatment variants, it is not possible to evaluate the dependence of the enzymatic treatment efficiency on the length of the soaking process and the different concentrations. Enzymatic treatment of wheat and rapeseed particles was carried out at temperatures of 50 °C, as the enzymes are the most efficient at this temperature, and optimizing the

**Table 5**  
Statistical significance for pairwise differences in Fig. 5 (effect of equilibrium moisture).

Straw / Pre-treatment		Wheat 0	Wheat 1	Wheat 2	Wheat 3	Rapeseed 0	Rapeseed 1	Rapeseed 2	Rapeseed 3
Wheat	0		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Wheat	1	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	s.	n.s.
Wheat	2	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Wheat	3	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Rapeseed	0	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
Rapeseed	1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.
Rapeseed	2	n.s.	s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
Rapeseed	3	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

Note: s. statistically significant; n.s. not statistically significant; significance level  $\alpha = 0.05$ .

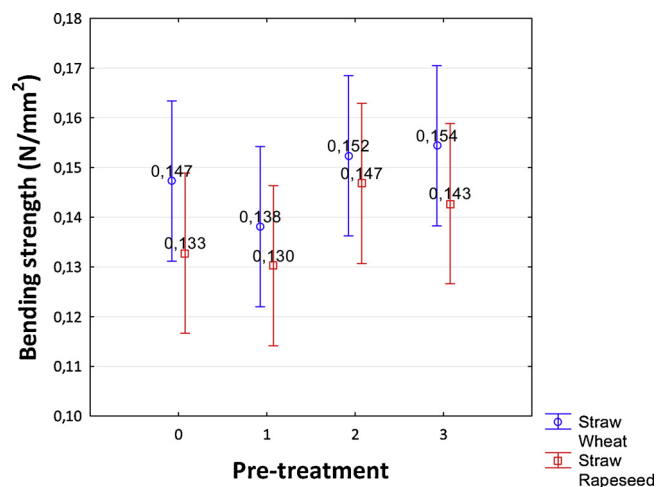


Fig. 8. Effect of particle pre-treatment on bending strength of boards.

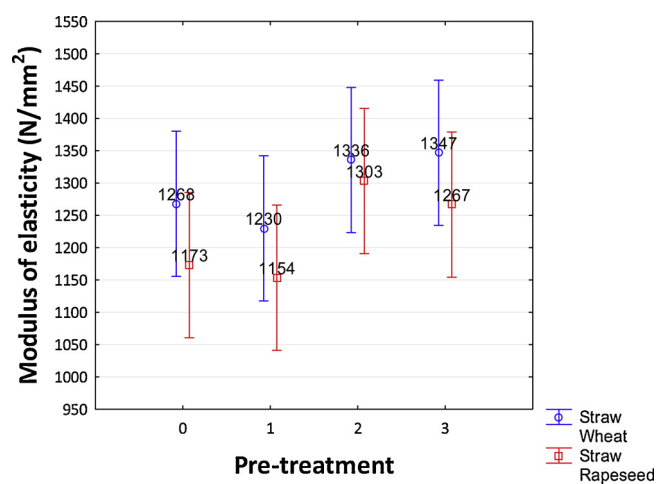


Fig. 9. Effect of particle pre-treatment on modulus of elasticity of boards.

temperature to achieve the most efficient level of treatment no longer makes sense in order to optimize this treatment process. For enzymatic treatment of the particles in this study, enzymes were used at a concentration of 5 % with an effect of 2 h followed by rinsing with hot and cold water followed by drying. In the study by Foulk et al. (2008), the enzyme Texza BFE pectinase at concentrations of 2, 5 and 10 % for 7–10 hours at 50 °C was also used for the enzymatic process of flax fibres. Higher enzymatic treatment efficiency was achieved at a concentration of 10 % and a treatment duration of more than 7 h (Foulk et al., 2008).

#### 4. Conclusions

In order to develop a material with high added value from cheap raw materials and cheap adhesive, this study deeply analysed properties of raw materials treated with enzymes and properties of boards made from such modified raw materials. The influence of enzymatic modification on the properties of the selected particles was demonstrated. The used xylanases and pectinases influenced the morphology of the surface of the particles, their surface energy and equilibrium moisture. The greatest erosion of the surface was achieved by the combination of xylanases and pectinases. Although the selected enzymes had an effect on the particle properties, the influence of enzymatic treatment on the properties of the produced particleboards was not observed, even for wheat or rape particles. The production technology of particleboards therefore eliminated the different properties of

the input particles. Even the difference between the wheat and rapeseed particles was eliminated by the board production technology. Based on the physical and mechanical properties of the produced particleboards, the selected enzymatic treatment cannot be considered effective and cannot therefore be recommended as pre-treatment for the production of wheat and rapeseed straw. The enzyme pre-treatment of the particle surface is a wet treatment that produced waste water in the production of particleboards. Wastewater management brings significant additional costs that can only be accepted if the physical and mechanical properties of boards from modified particles are significantly improved.

#### Author contributions

Petra Hýšková: Conceived and designed the analysis, Performed the analysis, Wrote the paper

Štěpán Hýšek: Collected the data, Contributed data or analysis tools, Wrote the paper

Ondřej Schönfelder: Collected the data, Wrote the paper

Přemysl Šedivka: Performed the analysis, Performed the analysis

Martin Lexa: Collected the data, Contributed data or analysis tools

Vilém Jarský: Conceived and designed the analysis

#### Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### Acknowledgments

The authors are grateful for the support of the Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences, Grant No. IGA A\_02\_18. This paper was supported by Project No. QK1920391 financed by Ministry of Agriculture of the Czech Republic called “Diverzifikace vlivu biohospodářství na strategické dokumenty lesnicko-dřevařského sektoru jako podklad pro státní správu a návrh strategických cílů do roku 2030”.

#### References

- Adapa, P., Tabil, L., Schoenau, G., 2009. Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw. *Biosyst. Eng.* 104, 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.06.022>.
- Alang, M.B., Barminas, J.T., Aliyu, B.A., Osemeahon, S.A., 2011. Synthesis and optimization of polyacrylamide and gum arabic graft copolymer. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5 <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v5i4.32>. 1694–1702–1702.
- Azizi, K., Tabarsa, T., Ashori, A., 2011. Performance characterizations of particleboards made with wheat straw and waste veneer splinters. *Compos. Part B Eng.* 42, 2085–2089. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.04.002>.
- Babenco, M., Estokova, A., Savitskyi, M., Unčík, S., 2018. Study of thermal properties of lightweight insulation made of flax straw. *Slovak J. Civ. Eng.* 26, 9–14. <https://doi.org/10.2478/sjce-2018-0008>.
- Banea, M.D., da Silva, L.F.M., 2009. Adhesively bonded joints in composite materials: an overview. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J. Mater. Des. Appl.* 223, 1–18. <https://doi.org/10.1243/14644207JMDA219>.
- Bernava, A., Reihmane, S., Strazds, G., 2014. Influence of pectinase enzyme beisol pro on hemp fibres retting. Presented at the Baltic Polymer Symposium 2014 pp. 67–67.
- Bledzki, A.K., Mamun, A.A., Jazskiewicz, A., Erdmann, K., 2010. Polypropylene composites with enzyme modified abaca fibre. *Compos. Sci. Technol.* 70, 854–860. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.02.003>.
- Chiliveri, S.R., Koti, S., Linga, V.R., 2016. Retting and degumming of natural fibers by pectinolytic enzymes produced from *Bacillus tequilensis* SV11-UV37 using solid state fermentation. *SpringerPlus* 5. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2173-x>.
- Coletta, V.C., Rezende, C.A., da Conceição, F.R., Polikarpov, I., Guimarães, F.E.G., 2013. Mapping the lignin distribution in pretreated sugarcane bagasse by confocal and fluorescence lifetime imaging microscopy. *Biotechnol. Biofuels* 6, 43. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-43>.
- de Lima Mesquita, A., Barrero, N.G., Fiorelli, J., Christoforo, A.L., De Faria, L.J.G., Lahr, F.A.R., 2018. Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. *Ind. Crops Prod.* 112, 644–651. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.074>.
- Donaldson, L.A., Radotić, K., 2013. Fluorescence lifetime imaging of lignin

- autofluorescence in normal and compression wood. *J. Microsc.* 251, 178–187. <https://doi.org/10.1111/jmi.12059>.
- Dukarska, D., Czarnecki, R., Dziurka, D., Mirski, R., 2017. Construction particleboards made from rapeseed straw glued with hybrid pMDI/PF resin. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 75, 175–184. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1143-x>.
- EN 319, 1993. Particleboards and Fibreboards. Determination of Tensile Strength Perpendicular to the Plane of the Board. Eur. Comm. for Stand., Brussels, Belgium.
- EN 323, 1993. Wood-based Panels. Determination of Density. Eur. Comm. for Stand., Brussels, Belgium.
- EN 798, 2004. Timber Structures. Test Methods. Determination of Mechanical Properties of Wood Based Panels. Eur. Comm. for Stand., Brussels, Belgium.
- Foullk, J.A., Akin, D.E., Dodd, R.B., 2008. Influence of Pectinolytic Enzymes on Retting Effectiveness and Resultant Fiber Properties.
- Gajdačová, P., Hýšek, Š., Jarský, V., 2018. Utilisation of Winter Rapeseed in Wood-based Materials as a Solution of Wood Shortage and Forest Protection. *BioResources* 13 <https://doi.org/10.15376/biores.13.2.2546-2561>. 2546–2561–2561.
- Haag, K., Padovani, J., Fita, S., Trouvé, J.-P., Pineau, C., Hawkins, S., De Jong, H., Deyholos, M.K., Chabbert, B., Müssig, J., Beaugrand, J., 2017. Influence of flax fibre variety and year-to-year variability on composite properties. *Ind. Crops Prod.* 98, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.028>.
- Haltrich, D., Nidetzky, B., Kulbe, K.D., Steiner, W., Župančič, S., 1996. Production of fungal xylanases. *Bioresour. Technol.* 58, 137–161. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00094-6).
- Hoondal, G.S., Tiwari, R.P., Tewari, R., Dahiya, N., Beg, Q.K., 2002. Microbial alkaline pectinases and their industrial applications: a review. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 59, 409–418. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1061-1>.
- Hýšek, Š., Podlena, M., Bartsch, H., Wenderdel, C., Böhm, M., 2018a. Effect of wheat husk surface pre-treatment on the properties of husk-based composite materials. *Ind. Crops Prod.* 125, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.035>.
- Hýšek, Š., Podlena, M., Böhm, M., Bartsch, H., Wenderdel, C., 2018b. Effect of cold plasma surface pre-treatment of wheat straw particles on straw board properties. *BioResources* 13, 5065–5079–5079. <https://doi.org/10.15376/biores.13.3.5065-5079>.
- Khan, M.Z., Srivastava, S.K., Gupta, M., 2018. Tensile and flexural properties of natural fiber reinforced polymer composites: a review. *J. Reinf. Plast. Compos.* 37, 1435–1455. <https://doi.org/10.1177/0731684418799528>.
- Klímeček, P., Wimmer, R., Meinschmidt, P., Kúdela, J., 2018. Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. *Ind. Crops Prod.* 111, 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.032>.
- Lee, S.H., Ashaari, Z., Ang, A.F., Halip, J.A., Lum, W.Ch., Dahali, R., Halis, R., 2018. Effects of two-step post heat-treatment in palm oil on the properties of oil palm trunk particleboard. *Ind. Crops Prod.* 116, 249–258. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.050>.
- Li, Y., Pickering, K.L., 2008. Hemp fibre reinforced composites using chelator and enzyme treatments. *Compos. Sci. Technol.* 68, 3293–3298. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.08.022>.
- Liu, M., Thygesen, A., Summerscales, J., Meyer, A.S., 2017. Targeted pre-treatment of hemp bast fibres for optimal performance in biocomposite materials: A review. *Ind. Crops Prod.* 108, 660–683. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.07.027>.
- Liu, X., Kokare, C., 2017. Microbial enzymes of use in industry. *Biotechnology of Microbial Enzymes*. Elsevier, pp. 267–298. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803725-6.00011-X>.
- Mahieu, A., Alix, S., Leblanc, N., 2019. Properties of particleboards made of agricultural by products with a classical binder or self-bound. *Ind. Crops Prod.* 130, 371–379. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.094>.
- Mamun, A.A., Bledzki, A.K., 2014. Enzyme Modification of Grain By-products and Their Biocomposites: Characterization, Mechanical and Thermal Properties: *Macromol. Mater. Eng.* 299, 248–256. <https://doi.org/10.1002/mame.201300140>.
- Mantau, U., Saal, U., Streierer, F., Linder, M., Verkerk, H., Eggers, J., Leek, N., Oldeburger, J., Asikainen, A., Perttu, A., Prints, K., 2010. Final Report. Real Potential for Changes in Growth and Use of EU Forests. EUwood, Hamburg/Germany.
- Mesquita, A.L., Barrero, N.G., Fiorelli, J., Christoforo, A.L., Faria, L.J.G., Lahr, F.A.R., 2018. Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. *Ind. Crops Prod.* 112, 644–651. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.074>.
- Mohanty, A.K., Misra, M., Drzal, L.T., 2001. Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: an overview. *Compos. Interfaces* 8, 313–343. <https://doi.org/10.1163/156855401753255422>.
- Naghmouchi, I., Espinach, F.X., Mutjé, P., Boufi, S., 2015. Polypropylene composites based on lignocellulosic fillers: how the filler morphology affects the composite properties. *Mater. Des.* 1980–2015 (65), 454–461. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.09.047>.
- Onat, S.M., Kloeser, L., Mai, C., 2014. An amino-alkyl siloxane oligomer as hydrophobation agent for particleboards used under high humidity conditions. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 72, 643–649. <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0829-1>.
- Perlack, R., Eaton, L., Turhollow, A., Langholtz, M., Brandt, C., Downing, M., Graham, R., Wright, L., Kavkewitz, J., Shamey, A., Nelson, R., Stokes, B., Rooney, W., Muth, D., Hess, J.R., Abodeely, J., Hellwinckel, C., Ugarte, D.D.L.T., Yoder, D., Lyon, J., Rials, T., Volk, T., Buchholz, T., Abrahamson, L., Anex, R., Voigt, T., Berguson, W., Riemenschneider, D., Karlen, D., Johnson, J., Mitchell, R., Vogel, K., Richard, E., Tatarko, J., Wagner, L., Skog, K., Lebow, P., Dykstra, D., Buford, M., Miles, P., Scott, D.A., Perdue, J., Rummer, R., Barbour, J., Stanturf, J., McKeever, D., Zalesny, R., Gee, E., Cassidy, P.D., Lightle, D., 2011. U.S. Billion-ton Update: Biomass Supply for a Bioenergy and Bioproducts Industry. *Agric. Biosyst. Eng. Tech. Rep. White Pap.*
- Saleem, Z., Rennebaum, H., Pudiel, F., Grimm, E., 2008. Treating bast fibres with pectinase improves mechanical characteristics of reinforced thermoplastic composites. *Compos. Sci. Technol.* 68, 471–476. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.06.005>.
- Tofanica, B.M., Cappelletto, E., Gavrilescu, D., Mueller, K., 2011. Properties of rapeseed (*Brassica napus*) stalks fibers. *J. Nat. Fibers* 8, 241–262. <https://doi.org/10.1080/15440478.2011.626189>.
- Tran, T.P.T., Bénétet, J.-C., Bergeret, A., 2014. Rice and Einkorn wheat husks reinforced poly(lactic acid) (PLA) biocomposites: Effects of alkaline and silane surface treatments of husks. *Ind. Crops Prod.* 58, 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.012>.
- Vardhini, V.K.J., Murugan, R., 2017. Effect of laccase and xylanase enzyme treatment on chemical and mechanical properties of banana Fiber. *J. Nat. Fibers* 14, 217–227. <https://doi.org/10.1080/15440478.2016.1193086>.
- Walia, A., Guleria, S., Mehta, P., Chauhan, A., Parkash, J., 2017. Microbial xylanases and their industrial application in pulp and paper biobleaching: a review. *3 Biotech* 7. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0584-6>.
- Wang, D., Sun, X.S., 2002. Low density particleboard from wheat straw and corn pith. *Ind. Crops Prod.* 15, 43–50. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(01\)00094-2](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(01)00094-2).
- Wei, K.L., Chen, M., Zhou, X., Dai, Z., Shen, D., 2015. Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing. *Energy Build.* 87, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.026>.
- Wu, G., Qu, P., Sun, E., Chang, Z., Xu, Y., Huang, H., 2014. Physical, chemical, and rheological properties of rice husks treated by composting process. *BioResources* 10 <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.227-239>. 227–239–239.
- Yasina, M., Bhuttob, A.W., Bazmia, A.A., Karim, S., 2010. Efficient utilization of rice-wheat straw to produce value-added composite products. *Int. J. Chem. Environ. Eng.* 1.
- Yu, G., Yano, S., Inoue, H., Inoue, S., Wang, J., Endo, T., 2014. Structural insights into Rice Straw Pretreated by hot-compressed water in relation to enzymatic hydrolysis. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 174, 2278–2294. <https://doi.org/10.1007/s12010-014-1199-1>.
- Zhang, H., 2014. Effect of a novel coupling agent, alkyl ketene dimer, on the mechanical properties of wood-plastic composites. *Mater. Des.* 59, 130–134. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.048>.
- Zhang, Y., Chen, S., Wu, J., Chen, J., 2012. Enzymatic surface modification of cellulose acetate fibre by cutinase-CBM (carbohydrate-binding module) fusion proteins. *Biotreat. Biotransform.* 30, 184–189. <https://doi.org/10.3109/10242422.2011.638713>.

2. **HÝSKOVÁ, P.**, GAFF, M., HILDAGO-CORDERO, J.F., a HÝSEK, Š. 2020, Composite materials from totora (*Schoenoplectus californicus*. C.A. Mey, Sojak): Is it worth it?, *Composite Structures*, č. 232, 111572.



# Composite materials from totora (*Schoenoplectus californicus*. C.A. Mey, Sojak): Is it worth it?

Petra Hýšková<sup>a</sup>, Milan Gaff<sup>a</sup>, Juan Fernando Hidalgo-Cordero<sup>b</sup>, Štěpán Hýšek<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 1176, 165 21 Prague 6, Suchbát, Czech Republic

<sup>b</sup> Technical School of Building and Construction, Universidad Politécnica de Madrid, Av. Juan de Herrera, 6, 28040 Madrid, Spain

## ARTICLE INFO

### Keywords:

Composite material  
Prediction  
Raw material  
Totora

## ABSTRACT

Totora (*Schoenoplectus californicus*. C.A. Mey, Sojak) is an annual-cycled macrophyte from the Cyperaceae family that has been used by indigenous people of the Americas for more than 500 years to produce a wide range of objects from handicrafts to boats and huts. In this study, the hot-pressing process was applied to produce boards from totora particles without added adhesives. First, the physical and mechanical properties of totora binder-free boards are described. Secondly, several factors that influence the properties of totora boards are taken into account. However, is it worth it to produce such boards? In this paper, the reasonability of potential production of these boards is considered from a complex point of view. Although totora shows several benefits such as its fast-growth rate, high dry matter productivity, and potential environmental benefits; the water uptake (92–341%), thickness swelling (75–227%) and internal bonding (18–85 kPa) of the binderless boards made with the parameters described in this study could not comply with current standards. Further research on treatments or different production parameters can lead to better properties.

## 1. Introduction

Increasing demand for biomass-based products and limit supply of wood have led researchers to focus on non-conventional resources such as agricultural wastes or non-wood-forest products that may help diversify the sources of raw materials applicable in the industry, which may generate sustainable and economic benefits.

Among these alternative biomass sources is totora (*Schoenoplectus californicus* (C. A. Mey) Soják), which is a sedge that grows in lakes and marshes in the Americas from California to Chile and some of the Pacific Islands (Fig. 1) [1]. This plant has been used for long time by several traditional communities, some of them continue to use it today, such as the communities nearby Lake San Pablo in Ecuador or the Uros in Lake Titicaca, who use this plant to make mats, huts, boats, and even floating islands [2]. Studies have identified the potential environmental benefits of this plant such as its fast-growth rate that can produce up to 56 t/ha/year of dry matter in rich substrates [3], its short renovation time which makes it possible to be harvested twice a year, its water cleaning capacities [4], among others. These characteristics makes it an interesting material to be studied for its applicability in the contemporary construction sector [5].

Studies about the anatomy of totora stems have described two main tissues: an internal pith made of air chambers and stellar cells known as

aerenchyma, and an external rind with a more compact structure that performs different anatomical functions and has different chemical characteristics [6].

Additionally, studies of similar species have demonstrated the potential of these kinds of plants to achieve self-bonding under certain hot-pressing conditions [7–9]. The self-bonding capability can lead to the production of binder-free boards that do not contain any added adhesives. Binder-free boards may be interesting alternatives considering the increasing rigorousness of regulations on some of the conventional glues used in many of the wood-based boards available in the current market [10]. Some studies have shown the feasibility of producing binder-free boards with different tissues of totora stems; however, the mechanisms through which ligno-cellulosic materials achieve self-bonding and their relation to board properties have not been completely elucidated and vary depending on the feedstock and hot pressing parameters used in the production process [11].

Additionally, in order to define the applicability of these materials, mechanical properties are one of the key factors to analyze. Flexural characteristics in the plastic range are an important mechanical property to consider. Most research deals with the elastic range of the diagram up to the limit of proportionality, while only a small amount of research deals with deformations in the plastic range, from the limit of proportionality to the yield point where plastic deformation occurs

\* Corresponding author.

E-mail address: [hyseks@fd.czu.cz](mailto:hyseks@fd.czu.cz) (Š. Hýšek).

<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111572>

Received 23 July 2019; Received in revised form 10 September 2019; Accepted 11 October 2019

Available online 14 October 2019

0263-8223/ © 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved.





Fig. 1. Totora stand in Lake San Pablo-Ecuador.

**Table 1**  
Description of produced totora boards.

Code	Pressing temperature	Part of the stem	Density (kg/m <sup>3</sup> )	
TP	180	180 °C	Pith	891 (12.9)
TP	200	200 °C	Pith	1051 (3.2)
TR	180	180 °C	Rind	929 (8.9)
TR	200	200 °C	Rind	1061 (3.9)
WTS	180	180 °C	Whole totora stem	964 (5.5)
WTS	200	200 °C	Whole totora stem	1043 (8.0)

using a universal testing machine. Pre-pressed fiber mat was placed into a hot press and preheated for 4 min. Two pressing temperatures were selected: 180 °C and 200 °C. Pressing time was 10 min. A description of the different parameters used for producing each board is shown in Table 1.

[12].

The aim of this paper is to evaluate the reasonability of potential production of totora boards from a complex point of view. Not only mechanical and physical properties of these boards are taken into account, but we are also considering totora productive potential, the price of the raw material or prediction of totora availability on the market.

**2. Material and methods**

For the board production, totora plant (*Schoenoplectus californicus*. C.A. Mey, Sojak) was used. Dry totora stems from Ecuador were supplied. The board production scheme is shown in the Fig. 2. The stems were disintegrated using a laboratory shredder, and three types of tissue were separated – pith, rind and whole totora stems (mixture of pith and rind). Fiber mat was manually layered and then pre-pressed

*2.1. Values in brackets represent coefficient of variation*

Internal bonding strength and 2-hour thickness swelling were selected to evaluate the properties of the developed boards. Internal bonding was measured in accordance with standard EN 319 [13], thickness swelling and water uptake were measured in accordance with standard EN 317 [14]. The measured properties were compared with commercially produced boards; namely type 3 oriented strand board (OSB) and type P2 particleboard (PB).

A state-of-the-art literature review was done on totora plant and raw material. The entire analysis covers aspects such as availability of totora stems with respect to market prices and volumes, totora board developments, and material selection criteria [15]. Both primary and secondary data were processed using economic-mathematical methods. In order to comprehensively evaluate the possibility of using totora stems for the production of composite materials, the methods of description,

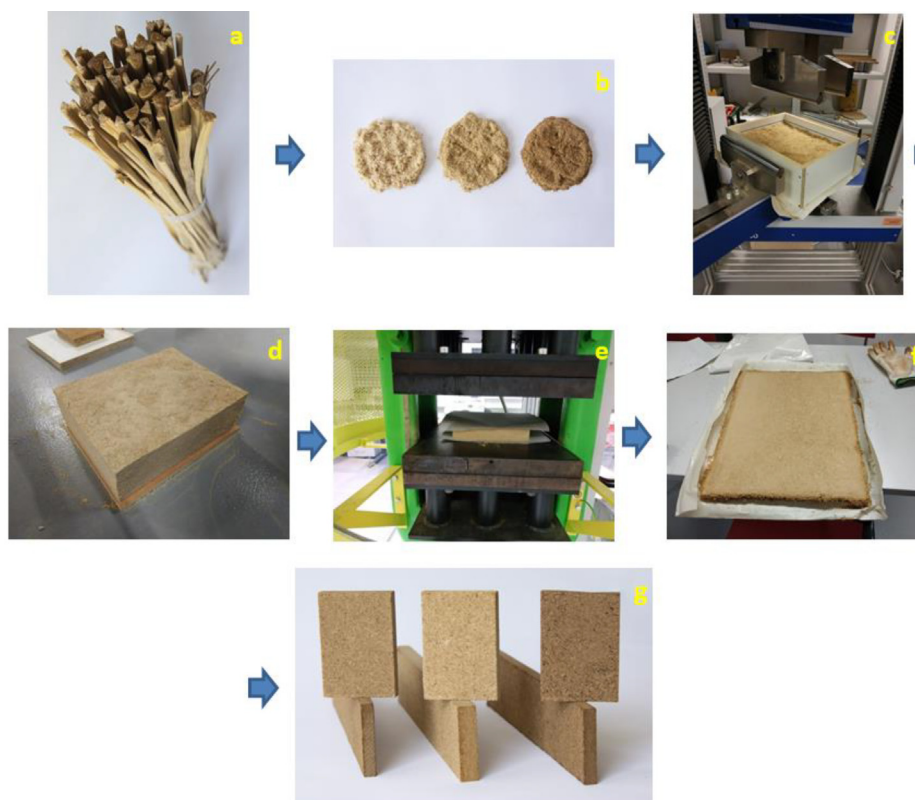


Fig. 2. The board production scheme. (a) dried totora stems, (b) disintegrated totora tissue, (c) pre-pressing, (d) pre-pressed totora mat, (e) pre-pressed mat in the hot press, (f) pressed board, (g) cut samples.

analysis, synthesis and comparison were used in the discussion part.

### 3. Results

#### 3.1. *Totora productive potential*

Since totora is an annual cycled macrophyte, many of the emerging stems of the plant die naturally after the flourishing stage and new shoots are grown every year. Therefore, a well-managed harvesting process should not generate a big impact on the natural cycle of the plant. Additionally, the mowing activities help with cleaning the senescent and dead matter from the plant, limiting the methane production of the wetland and encouraging the regrowth of new shoots, which increase the plants density. For example, a natural totora stand may have a density of around 200 stems/m<sup>2</sup>, while a totora stand which is being constantly mowed can have a density of around 320 stems/m<sup>2</sup>, hence a higher productivity per unit area [16]. The totora plant can remain productive for more than 25 years as long as the root system is not destroyed and correct management and care of the plant is done [17]. On the other hand, a lack of management and overuse can lead to the degradation of the totora stand [1,18,19].

#### 3.2. *Dry matter productivity of totora stands*

Data about the productivity of totora is scarce and scattered. Studies have shown that totora dry matter production can be up to 58 t/ha/year in nutrient-enriched substrates such as constructed wetlands for wastewater treatment [3]. However, in normal conditions, the maximum reported dry matter production is around 37 t/ha/year, with an average of 20 t/ha/year depending on different factors such as location, rain patterns, substrate and the plant age, among others [1,20]. The maximum yield values in enriched substrates of totora are similar to the values reported for other macrophyte species that have been used in phytoremediation wetlands, and higher than the yield reported for some agricultural wastes in terms of t/ha/year, as can be seen in Fig. 3.

In Lake Titicaca, totora has been considered one of the main resources for the local people because of its different uses and applications. The dry matter yield of totora has been studied by several authors who have reported different data. A study conducted by Galiano [22] indicated an average productivity of totora of about 311.02 t/ha of green matter, considering 12% content of dry matter, a dry matter yield of 37.66 t/ha was calculated in the Puno bay of the Peruvian part of the lake. Another study conducted by the Binational Project of Lake Titicaca (PELT) studied the productivity of approximately 40,000 ha of totora, of which 62% where in the Peruvian part and 38% in the Bolivian part of the lake. It was shown that the average green matter yield was between 130 and 280 t/ha in the Peruvian part and 150–290 t/ha

in the Bolivian part with a total production of 10,955,000 t of green matter [23].

In the lakes of the northern parts of the Andean region of Ecuador, distributed in a radius of 100 km, approximately 400 ha of natural totora stands have been identified [17,24]. A study about the productivity of totora in Lake San Pablo-Ecuador was conducted and 80 ha of totora were identified. It was reported that a cultivated plot of 1,682 m<sup>2</sup> was able to produce 2,562 kg of dry matter per mow. Considering that a cultivated plot is usually mowed twice a year, it is possible to estimate a dry matter yield of approximately 30 t/ha/year in this case [25].

#### 3.3. *Analysis of the totora production chain*

In order to analyze the raw totora productive cycle, data available from studies conducted in Ecuador and Peru were considered. From the available data from Ecuador, it could be observed that manual mowing was the least efficient part of the production process. It accounted for almost 50% of the raw material value. Harvesting time varied a lot depending on the depth of the marshland, the type of stand, and the expertise of the mower. In Lake San Pablo-Ecuador, one person could harvest approximately 50 m<sup>2</sup> in 50 min, whereas in Yaguarcocha lake-Ecuador, approximately 900 m<sup>2</sup> were harvested by 6–7 people in 12 days [17]. Simbaña [25] studied the costs of planting and harvesting a totora plot of 1,682 m<sup>2</sup> in Lake San Pablo. Although the initial investment includes plating costs, once the plant is established and is correctly managed, it can remain productive for more than 25 years. The costs percentages of each part of the process were reported as follows: seedlings 1%, terrain preparation 8%, planting 5%, maintenance 10%, transport 16%, equipment 10%, and mowing 49%. On the other hand, in the studies conducted by PELT and ADESU in Lake Titicaca in 2003 on the economic validation of totora productive cycle, the costs estimations were performed using surveys. The percentages each part represents were reported as follows: seedlings 25%, terrain preparation 5%, planting 5%, maintenance 6%, transport 20%, equipment 14%, and mowing 25% [26].

As can be seen in Table 2, the seedlings costs represent a much higher percentage in the case of Lake Titicaca. This might be because in the case of Lake San Pablo in Ecuador, the studied plot area was much smaller; therefore, the planters could have been able to obtain the seedlings from previously existing plants or nearby plants by themselves, whereas in Lake Titicaca, the area was almost 10 times bigger, and the seedlings may have to be bought from a nursery. However, other activities are much more efficient when planting larger areas, such as the mowing activities which accounts for only 25% of the cost in Lake Titicaca compared to almost 50% of the cost in Lake San Pablo. Both of the analyzed studies were conducted in 2003. We can see that the production price of one kg of dry totora stems in Lake Titicaca was

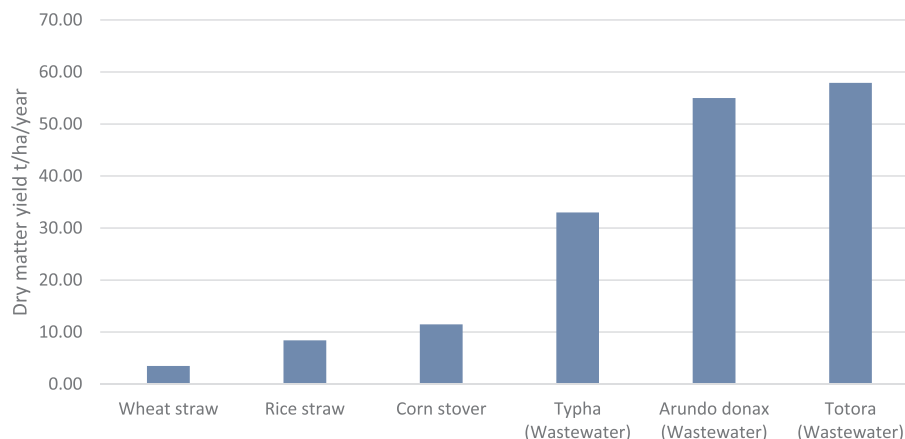


Fig. 3. Dry matter yield of different biomass sources. Figure made with data obtained from FAOSTAT, [3,21].

**Table 2**  
Comparison of costs and item percentages of planting and harvesting one hectare of totora in Lake San Pablo and Lake Titicaca.

	Lake San Pablo-Ecuador		Lake Titicaca-Peru/Bolivia	
	Cost (USD)	Percentage (%)	Cost (USD)	Percentage (%)
Seedlings	4	1.10	150	25.08
Terrain preparation	28	7.68	30	5.02
Planting	20	5.49	30	5.02
Maintenance	36	9.87	33	5.52
Transport	60	16.46	120	20.07
Equipment	36.6	10.04	85	14.21
Harvesting	180	49.37	150	25.08
Total	364.6	100.00	598	100.00

almost the half of that reported in Ecuador, which is thought to be due to the greater planting area in Lake Titicaca, which can optimize most of the processes. The reported market price for one kg of dry totora was about 0.25 USD in Lake Titicaca. The market price of totora stems in Ecuador was not reported in that study.

Currently, the market price of one kg of dry totora stems sold in Lake San Pablo-Ecuador is around 0.35 USD, which could be reduced for wholesale orders depending on the transaction conditions. Considering that the planting and harvesting processes are still performed mainly by hand, the efficiency of totora production can be significantly improved by employing new harvesting technologies. For instance, some harvesting machines used for mowing common reed (*Phragmites australis*) in northern Europe are able to mow between 1 and 1.5 ha/hour [27]. This could increase the harvesting efficiency and reduce raw totora prices, thereby making it more competitive against other biomass sources.

#### 4. Constructed wetlands for phytodepuration as potential raw material source

Constructed wetlands planted with macrophyte species have shown to have several benefits in addition to water quality improvement, such as their low operational costs [28], bioenergy source [29], and CO<sub>2</sub> capturing [30]. Additionally, stricter regulations on wastewater quality and water management have encouraged research on increasing the efficiency of existing treatment plants by incorporating alternative systems, such as constructed wetlands to comply with the requirements at low initial and operational costs [31]. Several authors have studied totora in constructed wetlands that showed high resistance to different pH levels (from 3 to 11), and high heavy metal removal capacities [4,32–34]. Additionally, a study conducted in Chile about greenhouse gas emissions and energy consumption of a horizontal subsurface flow constructed wetland (HSSF), planted with totora and *Phragmites australis* intended for serving a 700-people equivalent population, reached the conclusion that the HSSF wetland emitted almost a third of GHG emissions (12–22 kgCO<sub>2</sub>eq/p.e/yr vs. 67.9 kgCO<sub>2</sub>eq/p.e/yr) and consumed approximately a third of primary energy (24–27 MJ/m<sup>3</sup> vs. 96 MJ/m<sup>3</sup>) compared to a conventional wastewater treatment plant [30]. The feasibility of totora to be used as a phytoremediation species in constructed wetlands may indicate the possibility of achieving synergy by pairing the water-quality improvement with the raw material supply chain. For instance, in the Imperial Valley-California constructed wetlands planted with totora were studied for treating agricultural drain water [35]. In that study it was concluded that a system of approximately 4 ha of wetlands can treat 18 cm/day of water flow, removing 41% of the total phosphorus, 25% of the total nitrogen, and 40% of the total suspended solids. In the Imperial Valley area the authors identified more than 80 potential treatment sites with more than 1500 ha for constructed wetland treatment plants [35], which could produce around 10,000 t of dry matter every year if the system is paired

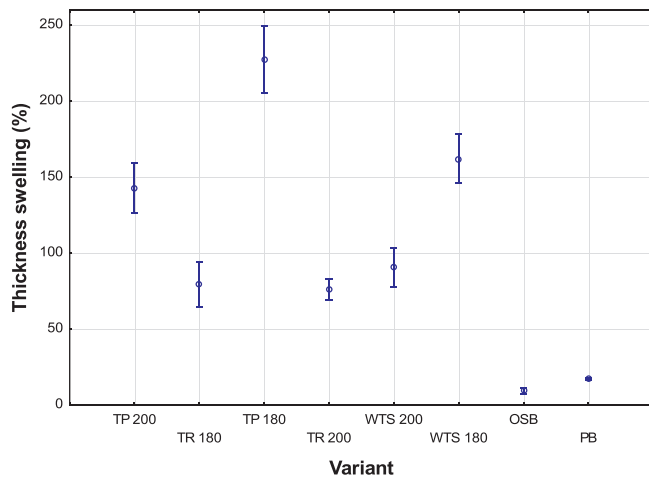
with the reeds management plan as part of the productive cycle of the system. Another study conducted by the Environment, Mining and Industry Foundation (MEDMIN) in a rural area in Bolivia showed that a constructed wetland of 2500 m<sup>2</sup> planted with totora could work as a prior step for increasing the efficiency of the conventional purification plant intended for a population of 500 people [36]. Other studies have pointed out the importance of treating wastewater generated in industrial parks, where centralized treatment systems, including constructed wetlands, could be planned to address the removal of different kinds of contaminants [37]. Therefore, it could be possible to achieve synergy between the water cleaning service that the plant provides, and at the same time providing raw material that can be used in the industrial sector.

However, it is important to know what kind of contaminants the water contains to define the best strategy for managing the wetland, and whether it is convenient or not to cut the totora stems or allow for detritus accretion to prevent toxic levels of contaminants accumulated in the sediment layers. For example, Murray-Gulde, Huddleston, Garber, & Rodgers [38] have reported that in South Carolina, 3.2 ha of constructed wetlands were used to reduce the copper concentration of water discharges that did not comply with some of the requirements recently introduced on wastewater quality standards. In this case it was not recommendable to cut the stems, for it was stated that since the biomass production of totora surpassed the detritus decomposition rate, it was a good species to sustain a system of sediment accumulation, where the senescent stems acted as carbon sources for bacteria that helped digest some of the contaminants, and at the same time, sediments accretion favored by senescent stems provided binding zones for reducing the bio-availability of the heavy metal that remained trapped in the progressive deposits of sediments layers preventing the risk of the wetland to achieve toxic levels of contaminants. Considering that water quality and protection of water sources has become one of the main concerns of our day, and that regulations on wastewater treatment are becoming stricter [38], constructed wetlands are one of the interesting solutions that comply with these requirements in situations such as in rural areas, agricultural irrigation systems, industrial wastewater treatment plants, and urban wastewater treatment plants [39].

##### 4.1. Wetlands for environmental restoration as raw material source

Natural wetlands have been identified as important carbon storage places and biodiversity promoters [40]. Several projects for recovering marshlands and wetlands use totora as one of their main species; for instance, the wetland restoration project of the San Francisco Bay Estuary in the U.S., where more than 24,000 ha are planned to be restored along the coastal marshes [41]. This wetland could be periodically managed to remove mature plants and limit the methane production from senescent aerial stems, which can become an important raw material source at the same time. Another restoration project is taking place at Lake Titicaca in Peru and Bolivia, where more than 30,000 ha are planned to be restored along the lake shores aimed at recovering their environmental characteristics and encourage the management of the totora plant by the local people. This could also generate income sources for local communities that can use totora to develop local industries or handicraft making. The situation is different in Ecuador. While in the lakes where the communities that know how to work with totora and see it as a valuable resource, such as in Lake San Pablo (140 ha), and Yaguarcocha lake (90 ha), people keep the lake well managed to encourage the totora regrowth and increase the stems density; there are other cases for example in Colta lake (80 ha), where people do not regard totora as a valuable resource anymore and the lake has become overgrown with totora plants. Therefore, the local administration started a project in 2010 to “clean” the lake with an investment of nearly 1,000,000 USD, aimed at removing approximately 70 ha of totora plants to keep the shores open and gain free water surface, which could facilitate tourist activities at the lake [42,43]. In cases like



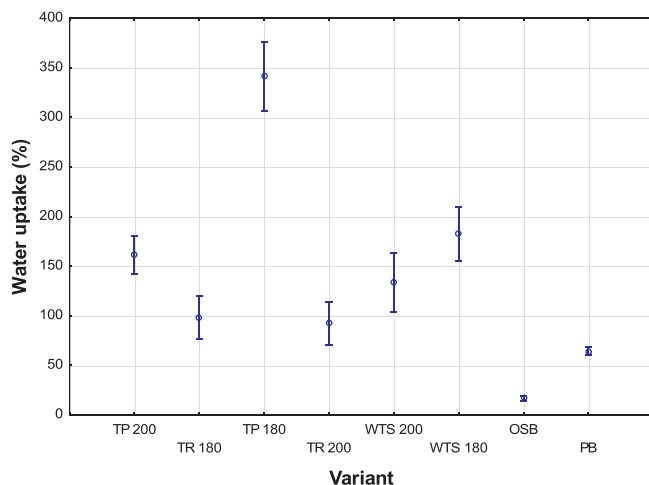


**Fig. 4.** Influence of board type on 2 h thickness swelling TR 180 – board from rind, pressing temperature 180 °C, TR 200 – board from rind, pressing temperature 200 °C, TP 180 – board from pith, pressing temperature 180 °C, TP 200 – board from pith, pressing temperature 200 °C, WTS 180 – board from pith and rind, pressing temperature 180 °C, WTS 200 – board from pith and rind, pressing temperature 200 °C, OSB – oriented strand board, PB – particleboard.

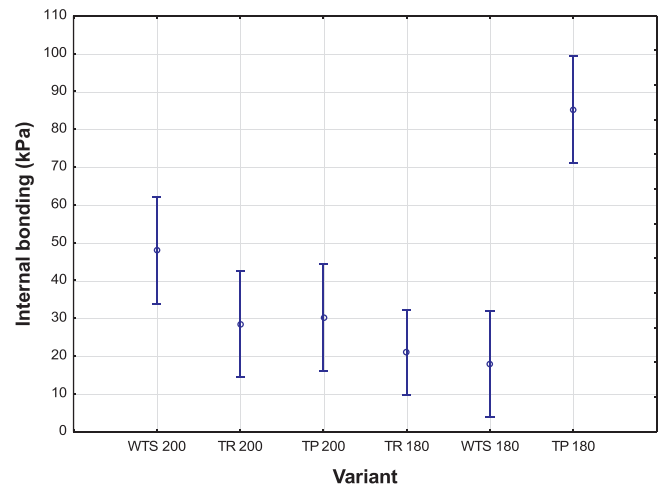
this, it could be possible that the same industry carries out the totora extraction as a public service, and thereby the raw material acquisition may become an income source instead of an expense in the productive cycle.

4.2. Comparison of thickness swelling, water uptake and internal bonding

From the thickness swelling and water uptake charts, it can be seen that the absorbent capacity of totora boards is very high (Fig. 4). The Totora stem is built from cellulose and hemicelluloses tissues that are hydrophilic and almost in all variants of totora board, the 2-hour water uptake was more than 100% of dry board mass. Since no adhesive is used, and self-bonding effect is based on sugars and the thickness swelling is also high. The highest thickness swelling was achieved by boards made from totora pith (Fig. 5). However, post treatments could be studied to limit the water uptake of the boards. Internal bonding values were extremely low, and these values do not fulfil standards and



**Fig. 5.** Influence of board type on 2 h water uptake TR 180 – board from rind, pressing temperature 180 °C, TR 200 – board from rind, pressing temperature 200 °C, TP 180 – board from pith, pressing temperature 180 °C, TP 200 – board from pith, pressing temperature 200 °C, WTS 180 – board from pith and rind, pressing temperature 180 °C, WTS 200 – board from pith and rind, pressing temperature 200 °C, OSB – oriented strand board, PB – particleboard.



**Fig. 6.** Influence of board type on internal bonding TR 180 – board from rind, pressing temperature 180 °C, TR 200 – board from rind, pressing temperature 200 °C, TP 180 – board from pith, pressing temperature 180 °C, TP 200 – board from pith, pressing temperature 200 °C, WTS 180 – board from pith and rind, pressing temperature 180 °C, WTS 200 – board from pith and rind, pressing temperature 200 °C, OSB – oriented strand board, PB – particleboard.

are much lower than the internal bonding values of commercially sold boards (Fig. 6). However, pre-treatments can be studied to improve the mechanical properties of totora binderless boards and identify potential applications.

5. Conclusions

Although totora is not currently a crop of industrial importance, through the adequate management of the already existing sources, in addition to the potential material production that may result from other uses such as constructed or natural wetlands, it may be possible to create several sources for raw material supply that can become feedstock to other industrial developments.

The totora binderless boards produced using the parameters described in this study did not generate satisfactory outcomes in terms of water uptake and internal bonding strength properties. However, post treatments such as wax addition could improve the water resistance of these boards, and the study of different properties, such as their thermal and acoustic insulation capacity, could help identify potential applications in other fields. Further research is needed to study the influence of different hot-pressing parameters, and possible strategies to improve the boards’ mechanical properties.

Acknowledgments

The authors are grateful for the support of the Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences, Grant No. IGA\_B\_19\_06 and the support of “Advanced research supporting the forestry and wood-processing sector’s adaptation to global change and the 4th industrial revolution”, OP RDE (Grant No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000803).

Data statement

The raw data required to reproduce these findings cannot be shared at this time as the data also forms part of an ongoing study. The processed data required to reproduce these findings cannot be shared at this time as the data also forms part of an ongoing study.

## Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111572>.

## References

- [1] Hidalgo-Cordero JF, García-Navarro J. Totorá (Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Soják) and its potential as a construction material. *Ind Crops Prod* 2018;112:467–80. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029>.
- [2] Heiser C. The Totorá (Scirpus Californicus) in Ecuador and Peru. *Econ Bot* 1978;32:222–36. <https://doi.org/10.1007/BF02864698>.
- [3] de Lange PJ, Gardner RO, Champion PD, Tanner CC. Schoenoplectus californicus (Cyperaceae) in New Zealand. *New Zeal J Bot* 2008;36:319–27. <https://doi.org/10.1080/0028825X.1998.9512573>.
- [4] Blanco J. Suitability of totora (Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Soják) for its use in constructed wetlands in areas polluted with heavy metals. *Sustainability* 2018;19:11. <https://doi.org/10.3390/su1010019>.
- [5] Hidalgo-Castro P, Hidalgo-Cordero J, García-Navarro J. Estudio del comportamiento físico-mecánico de rollos de totora amarrados: influencia de la tensión de amarre, diámetro y longitud. *DAYA Diseño, Arte y Arquitect* 2019;1:53–84. <https://doi.org/10.33324/daya.vi6.219>.
- [6] Hidalgo-Cordero JF, Revilla E, García-Navarro J. Comparative chemical analysis of the rind and pith of totora (Schoenoplectus californicus) stems. *J Nat Fibers* 2018. <https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1541773>.
- [7] Manso M, Costa M, Carvalho ML. From papyrus to paper: Elemental characterization by X-ray fluorescence spectrometry. *Nucl Instruments Methods Phys Res Sect A Accel Spectrometers, Detect Assoc Equip* 2007;580:732–4. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2007.05.136>.
- [8] Okuda N, Sato M. Manufacture and mechanical properties of binderless boards from kenaf core. *J Wood Sci* 2004;50:53–61. <https://doi.org/10.1007/s10086-003-0528-8>.
- [9] Wuzella G, Mahendran AR, Bätge T, Jury S, Kandelbauer A. Novel, binder-free fiber reinforced composites based on a renewable resource from the reed-like plant Typha sp. *Ind Crops Prod* 2011;33:683–9. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.01.008>.
- [10] Arévalo R, Peijs T. Binderless all-cellulose fibreboard from microfibrillated lignocellulosic natural fibres. *Compos Part A Appl Sci Manuf* 2016;83:38–46. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.11.027>.
- [11] Cristescu C, Carlsson O. Changes in content of furfurals and phenols in self-bonded laminated boards. *BioResources* 2013;8:4056–71.
- [12] Sikora A, Gaff M, Hysek Š, Babiak M. The plasticity of composite material based on winter rapeseed as a function of selected factors. *Compos Struct* 2018;202:783–92. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.04.019>.
- [13] European Committee for Standardization. EN 319:1993. Particleboards and fibreboards. Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board; 1993.
- [14] European Committee for Standardization. EN 317:1993. Particleboards and fibreboards. Determination of swelling in thickness after immersion in water; 1993.
- [15] Klímek P, Wimmer R. Alternative raw materials for bio-based composites. *Int. Conf. Wood Sci. Eng. Third Millenn., Brasov*: 2017.
- [16] PELT. 21.02 Evaluación de la totora en el Perú (Ámbito Peruano del sistema TDPS) Parte 1. Puno; 2000.
- [17] Macía MJ, Balslev H. Use and management of Totora (Schoenoplectus Californicus, Cyperaceae) in Ecuador. *Econ Bot* 2000;54:82–9. <https://doi.org/10.1007/BF02866602>.
- [18] ADESU. 21.03 Técnicas de reimplante de totora ámbito Boliviano. La Paz; 2001.
- [19] PELT. 21.03 Validación de las técnicas de plantación, corte y cosecha de totora. Puno; 2002.
- [20] Noriega G. Los totorales del Lago Titicaca, estado tecnología y potencial. Puno; 1993.
- [21] Humeník FJ, Szogi AA, Hunt PG, Broome S, Rice M. Wastewater utilization: a place for managed wetlands – review. *Asian-Australasian J Anim Sci* 1999;12:629–32. <https://doi.org/10.5713/ajas.1999.629>.
- [22] Galiano L. Productividad primaria de la totora (Scirpus totora Kunt) sector peruano (Bachelor's thesis). UNAP; 1977.
- [23] PELT. Los totorales del Lago Titicaca, estado, tecnología y potencial. Puno; 1993.
- [24] Mardorf MC. Artesanía y ecología de la totora (Scirpus sp.) en la provincia de Imbabura, Ecuador. *Sarance Rev Del Inst Otavaleño Antropol* 1985;10:11–78.
- [25] Simbaña A. Hacia el aprovechamiento sustentable de la totora (Schoenoplectus californicus), en el Imbakucha provincia de Imbabura (Master's thesis). Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Sede Ibarra; 2003.
- [26] PELT, ADESU. 21.04 Plantación de totora en comunidades; 2003.
- [27] van der Sluis T, Poppens R, Kraivsivnii P, Rii O, Lesschen JP, Galyska M, et al. Harvesting from wetlands for bioenergy. Wageningen 2013. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- [28] Leiva AM, Núñez R, Gómez G, López D, Vidal G. Performance of ornamental plants in monoculture and polyculture horizontal subsurface flow constructed wetlands for treating wastewater. *Ecol Eng* 2018;120:116–25. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.023>.
- [29] Avellán T, Gremillion P. Constructed wetlands for resource recovery in developing countries. *Renew Sustain Energy Rev* 2019;99:42–57. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.024>.
- [30] Casas Ledón Y, Rivas A, López D, Vidal G. Life-cycle greenhouse gas emissions assessment and extended exergy accounting of a horizontal-flow constructed wetland for municipal wastewater treatment: a case study in Chile. *Ecol Indic* 2017;74:130–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.014>.
- [31] Kiedrzyńska E, Urbaniak M, Kiedrzyński M, Józwick A, Bednarek A, Gaęala I, et al. The use of a hybrid Sequential Biofiltration System for the improvement of nutrient removal and PCB control in municipal wastewater. *Sci Rep* 2017;7:1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05555-y>.
- [32] Knox AS, Nelson EA, Halverson NV, Gladden JB. Long-term performance of a constructed wetland for metal removal. *Soil Sediment Contam An Int J* 2010;19:667–85. <https://doi.org/10.1080/15320383.2010.515628>.
- [33] Rearte TA, Bozzano PB, Andrade ML, Fabrizio de Iorio A. Biosorption of Cr(III) and Pb(II) by Schoenoplectus californicus and insights into the binding mechanism. *ISRN Chem Eng* 2013:1–13. <https://doi.org/10.1155/2013/851602>.
- [34] Arreghini S, de Cabo L, Serafini R, de Iorio AF. Effect of the combined addition of Zn and Pb on partitioning in sediments and their accumulation by the emergent macrophyte Schoenoplectus californicus. *Environ Sci Pollut Res* 2017;24:8098–107. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8478-7>.
- [35] Kadlec RH, Roy SB, Munson RK, Charlton S, Brownlie W. Water quality performance of treatment wetlands in the Imperial Valle, California. *Ecol Eng* 2010;36:1093–107. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.028>.
- [36] MEDMIN. 21.06 Uso de totorales para la descontaminación en Bolivia. La Paz; 2003.
- [37] Yu Y, Wu B, Jiang L, Zhang X-X, Ren H-Q, Li M. Comparative analysis of toxicity reduction of wastewater in twelve industrial park wastewater treatment plants based on battery of toxicity assays. *Sci Rep* 2019;9:3751. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40154-z>.
- [38] Murray-Gulde CL, Huddleston GM, Garber KV, Rodgers JH. Contributions of Schoenoplectus californicus in a constructed wetland system receiving copper contaminated wastewater. *Water Air Soil Pollut* 2005;163:355–78. <https://doi.org/10.1007/s11270-005-1297-3>.
- [39] Noyola A, Padilla-Rivera A, Morgan-Sagastume JM, Güereca LP, Hernández-Padilla F. Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. *CLEAN – Soil, Air, Water* 2012;40:926–32. <https://doi.org/10.1002/clean.201100707>.
- [40] Shiau YJ, Burchell MR, Krauss KW, Broome SW, Birgand F. Carbon storage potential in a recently created brackish marsh in eastern North Carolina, USA. *Ecol Eng* 2018;127:579–88. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.09.007>.
- [41] Hester MW, Willis JM, Sloey TM. Field assessment of environmental factors constraining the development and expansion of Schoenoplectus californicus marsh at a California tidal freshwater restoration site. *Wetl Ecol Manag* 2016;24:33–44. <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9448-9>.
- [42] Chimera C. TAXON : Schoenoplectus californicus (C.A. Mey) Sojak 2016:1–18.
- [43] El Telégrafo. 70 hectáreas de totora son removidas de laguna de Colta. *El Telégrafo* 2018. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/70-hectareas-de-totora-son-removidas-de-laguna-de-colta> (accessed March 14, 2019).

3. **GAJDAČOVÁ, P., HÝSEK, Š., a JARSKÝ V.** 2018, Utilisation of winter rapeseed in wood-based materials as a solution of wood shortage and forest protection, *BioResources*, roč. 13, č. 2, s. 2546-2561.

# Utilisation of Winter Rapeseed in Wood-based Materials as a Solution of Wood Shortage and Forest Protection

Petra Gajdačová,<sup>a</sup> Štěpán Hýsek,<sup>a\*</sup> and Vilém Jarský<sup>a</sup>

Due to various factors, there is evidence that there will be a future lack of wood materials in the woodworking and energy sectors, as well as other sectors. This has been confirmed definitively through the most recent developments. Possible solutions include the partial replacement of wood in composite materials by post-harvest remnants of agricultural crops. Unlike wood matter, however, these stems need surface pre-treatment before they can be used to produce composite materials. In this study the effects were compared for two pre-treatments of stems (alkaline and hydrothermal) of rapeseed (*Brassica napus* L.), maize (*Zea mays* L.), and wheat (*Triticum aestivum* L.). The effects were compared using the contact angle between water and the surfaces of the stems. Hydrothermal modification yielded a statistically significant reduction in the contact angle between water and the stem surfaces of winter rapeseed and maize; likewise, alkaline modification yielded a statistically significant reduction in the contact angle between water and the stem surface of maize. The possibility of using winter rape to produce composite materials was further evaluated and comprehensively assessed using SWOT analysis.

*Keywords:* Rapeseed; Wheat; Maize; Straw; Wood; Forest; Surface modification

*Contact information:* a: Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 1176, 165 21 Prague 6 – Suchbát, Czech Republic; \*Corresponding author: hyseks@fld.czu.cz

## INTRODUCTION

Forests are a source not only of goods but also of ecological services and socio-cultural benefits (Stenger *et al.* 2009; Šišák *et al.* 2016). The increased demand for wood, however, can pose a threat to the performance of these non-production functions of forests (Balest *et al.* *In Press*). Locally and globally, the demand for wood material is increasing, with the greatest needs for its supply, in terms of volume, coming from not only various wood and energy sectors but also from the paper, chemical, and other sectors of national economies (Seintsch 2011; Lauri *et al.* 2012). For example in the Czech Republic, where the production potential of forests is well known (Pulkrab *et al.* 2015), wood-processing companies are facing a shortage of logs even now, with their economic performance declining (Sujová *et al.* 2017). Unfortunately, the growth figures for wood matter are not large enough to meet the ever-increasing demand for its supply (Bostedt *et al.* 2016). It is estimated that by 2030 there will be an increase of 73% in the demand for wood (compared with 2010), with a shortfall of 316 million m<sup>3</sup> (Mantau *et al.* 2010). To avert the threat of a shortage of wood for industrial use, other actions need to be implemented in cooperation with silvicultural actions, strategies, and measures (Mburu *et al.* 2007; Ye *et al.* 2007; Dieter and Seintsch 2012; Temperli 2017). Legal regulation for the protection of forests appears to be an evident and necessary instrument for coordinating the expected situation.

Comprehensive legislation does not exist within the European Union, even though forest cover accounts for 38% of the surface area of the region. The main reasons for this are the distinct types of geoclimatic diversity and the circumstance that only six member states occupy some two thirds of the total area. This would make any compact European legislation quite extensive or even confusing and, in most member states, impossible to apply in practice. Therefore, member states stipulate the conditions for the protection of forests at the national legislative level (European Parliament 2017). In the Czech Republic, Czech Parliament Act No. 289/1995 (1995) is the main piece of legislation and is further supplemented, in particular, by decrees issued by the Ministry of Agriculture. The main task of the Forest Act is, according to the provisions of its Section 1, to specify the prerequisites for the preservation, management, and regeneration of forests as a national resource while still allowing permanent economic activities in the area; such activities are possible in forests, whether national or private, but compliance with all the conditions for the sustainable development of forests is required.

In the future, demand for wood will continue to increase because of the need to reduce CO<sub>2</sub> emissions and, in particular, to replace energy-consuming materials such as concrete and steel. Another driver of demand will be the goal to eliminate fossil raw materials in both the energy and processing industries, motivated not only by the need to reduce CO<sub>2</sub> emissions but also because deposits of fossil raw materials will gradually become exhausted in the long term (Lauri *et al.* 2012; Temperli *et al.* 2017). This implies that, in addition to forestry and legal measures, which alone cannot fully protect the performance of the non-production functions of forests in the long term, it will be necessary to look for other natural sources of cellulose and lignin. This involves annual and biennial plants because their stems, which also consist of cellulose and lignin, can be utilised for the manufacture of materials (Halvarsson *et al.* 2010; Marinho *et al.* 2013; Hýsek *et al.* 2016) as well as for energy purposes (Haq *et al.* 2016; Taha *et al.* 2016). Post-harvest remnants of agricultural crops appear to be promising materials (Guler *et al.* 2006; Belini *et al.* 2012; El-Kassas and Mourad 2013; Částková *et al.* 2018). Unlike with wood matter. However, the production of composite materials from the stems of agricultural crops typically requires that the surfaces of these stems be pre-treated, in order to disrupt the waxy layer that inhibits high-quality bonding between the particle and the adhesive (Bekhta *et al.* 2013; Částková *et al.* 2018).

Pre-treatment of rapeseed particles by both boiling in water or soaking in NaOH solution led to morphological changes of the particle surface and statistical significant decrease of some elements (Ca, K, Mg, and S) in the particle mass (Částková *et al.* 2018). Bekhta *et al.* 2013 reported that soaking in acetic anhydride solution, as well as boiling in soapy solution or in water enhanced the adhesion between wheat straw particle and urea formaldehyde adhesive, which consequently led to increase of mechanical properties.

This aim of this report is to determine the effects of different types of stem pre-treatment on the surface properties of the stems of rape, maize, and wheat modified in this way. Furthermore, the report seeks to evaluate more comprehensively the possibility of using stems of winter rapeseed for the production of composite materials.

## EXPERIMENTAL

### Materials

In order to compare the effect of modification on contact angle between stalk surface and water, three kinds of stalks were used: rapeseed (*Brassica napus* L.), maize (*Zea mays* L.), and wheat (*Triticum aestivum* L.). All plants were grown in the Czech Republic in the Central Bohemian Region.

### Methods

Two kinds of surface pre-treatment (modification) were tested: hydrothermal modification and alkaline modification. A third group was left untreated as a control. The hydrothermal treatment was carried out by boiling in water for 45 min. In the chemical treatment, the particles were soaked in 2% sodium hydroxide (NaOH) solution at 20 °C for 45 min. After both modifications, particles were carefully flushed with water and then oven dried to 6% moisture content (Částková *et al.* 2018).

To determine the wettability of treated and untreated surface of stalks, the contact angle of the water and stalk surface was measured using a DSA 30E goniometer (Krüss GmbH, Hamburg, Germany). The contact angle was measured only on the exterior surface of stalks. Thirty (30) measurements of static contact angle were made for each straw modification. The volume of each distilled water droplet was 5 µL, with the measurement taken 5 s after the application. Contact angle was measured using image analysis software (Částková *et al.* 2018).

The morphological changes of surface of stalks were observed with a MIRA 3 scanning electron microscope (Tescan Orsay Holding, Brno, Czech Republic) with a secondary electron detector operated at 15 kV acceleration voltage.

To evaluate measured data, descriptive statistics (arithmetic mean, minimum, maximum, standard deviation, and coefficient of variation) were calculated. A two-way analysis of variance was used to determine whether any of the pairwise differences among the various arithmetic means were significant. The Tukey post hoc test was employed to determine the significant differences between group means. Computations were carried out using Statistica 12 software (StatSoft, Tulsa, OK, USA). A significance level of  $\alpha = 0.05$  was selected.

An analysis of strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT analysis) was made for boards based on oilseed rape stems in order to evaluate the possibilities of using winter oilseed rape for the production of composite materials; it is presented in the Results and Discussion section.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Surface Modification

Table 1 lists the arithmetical averages, minimum and maximum figures, standard deviations, and coefficients of variation for the data sets of measured contact angles between water and the surfaces of three types of plant stems for three surface treatment variants. In accordance with theoretical assumptions, the greatest contact angles between water and the straw surfaces were achieved in untreated stems in all three species of plants. The highest figures were reached for maize; however, the differences between plants were not statistically significant. Both types of modification caused the desired

effect, a reduced contact angle between water and the surfaces of the stems. The lowest figures were recorded for maize stems modified in an alkaline environment.

**Table 1.** Descriptive Statistics of Measured Contact Angle Values

Straw	Modification	Mean (°)	Minimum (°)	Maximum (°)	Standard Deviation (°)	Coefficient of Variation (%)
Rapeseed	Hydrothermal	82.7	68.85	112.70	10.4	12.6
	Alkaline	91.1	79.01	100.90	6.3	6.9
	Untreated	94.1	70.70	109.90	9.6	10.2
Maize	Hydrothermal	83.9	71.59	98.15	6.9	8.2
	Alkaline	76.8	53.39	97.09	8.6	11.2
	Untreated	94.8	79.13	104.82	5.6	5.9
Wheat	Hydrothermal	89.6	70.73	108.50	11.4	12.8
	Alkaline	85.0	69.42	98.41	7.7	9.1
	Untreated	91.3	62.40	107.05	10.8	11.8

The two-factor analysis of variance shown in Fig. 1 depicts the relationship between the contact angle and the type of stem or surface treatment; Table 2 shows the statistical significance for pairwise differences. The results show that the hydrothermal modification significantly reduced the contact angle between the water and the surfaces of the maize and rape stems. Alkaline modification, in contrast, yielded a statistically significant reduction in contact angle in maize stems only. Using a 0.05 level of significance, alkaline modification of wheat stems did not have a statistically significant effect on the contact angle. Modification by sodium hydroxide solution did reduce the contact angle between water and rape stems, but this difference was not statistically significant either. For rape straw, hydrothermal modification seems to be a suitable type of surface treatment, based on these results. For maize stems, alkaline modification can be used in addition to the hydrothermal variant; however, if a cheaper variant is preferred, hydrothermal modification would be sufficient. From the results obtained, the selected types of modification seem to be inappropriate for modification of the surface of wheat straw.

The contact angle generally presents a high variability among plant materials (Oberhofnerová and Pánek 2016), and increased variability is also evident from the results obtained in this work. The considerable variability of the measured data, unfortunately, caused some of the rather large differences to be statistically insignificant. For example, no statistically significant difference between hydrothermal and alkaline modifications was demonstrated for maize stems, and no influence of modification at all was demonstrated for the contact angle of wheat straw.

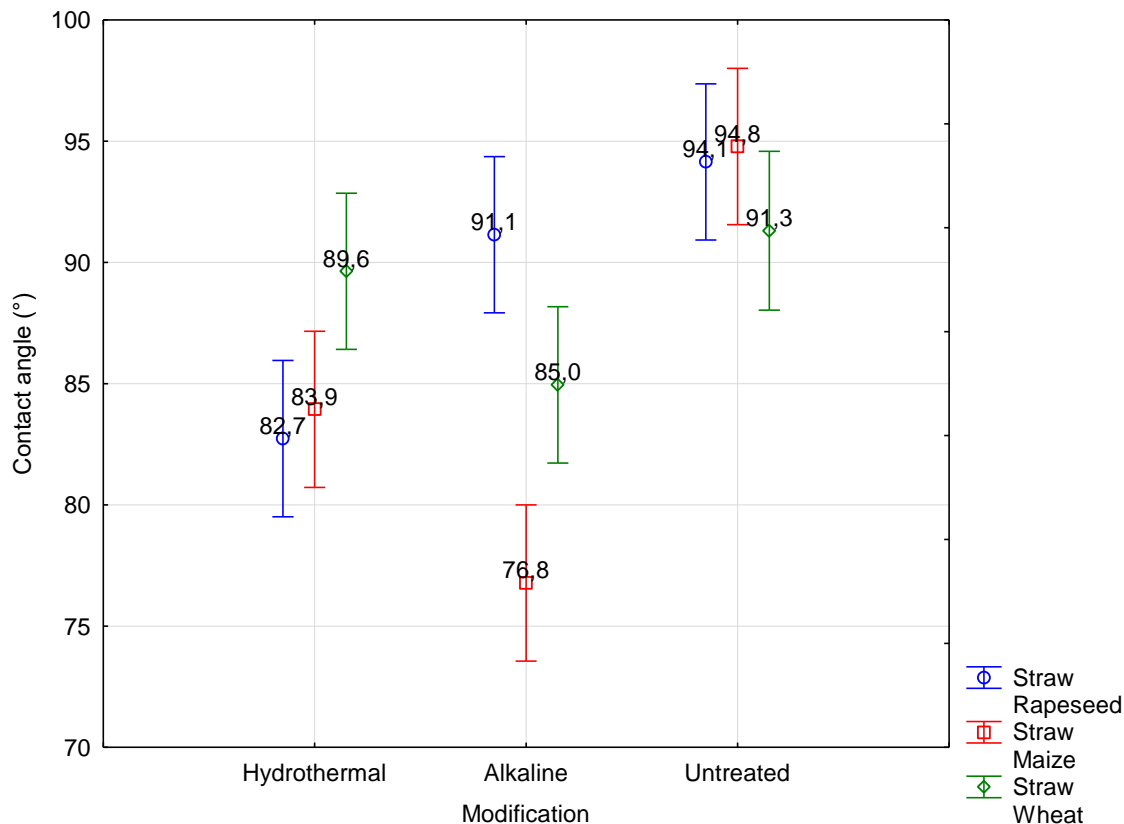


Fig. 1. ANOVA – effect of straw and modification on contact angle (Note: vertical bars depict 95% confidence intervals)

Table 2. Appropriate Statistical Significances of Differences in Fig. 1

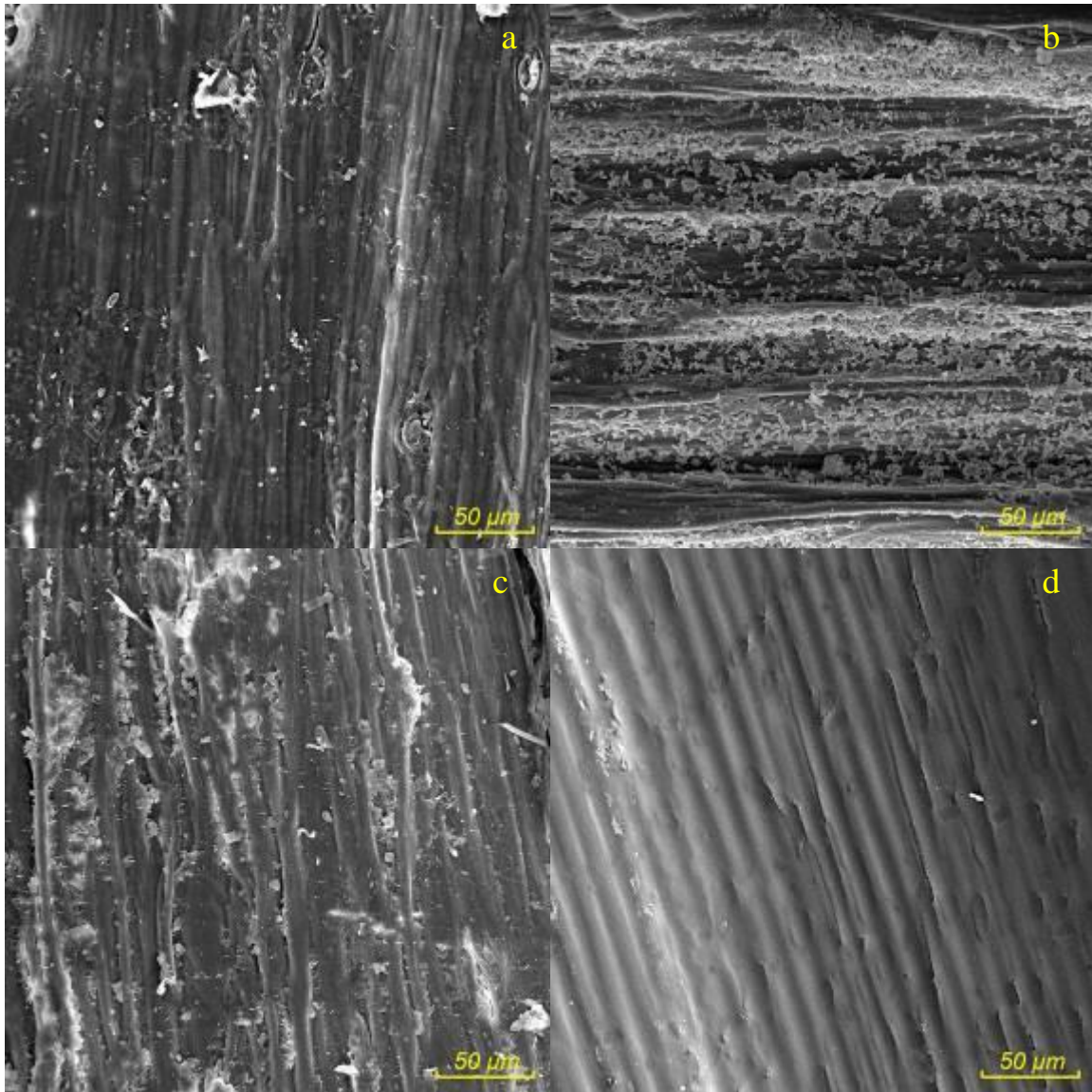
	Straw	R	R	R	M	M	M	W	W	W
Straw	Modification	H	A	U	H	A	U	H	A	U
R	H		s.	s.	n.s.	n.s.	s.	n.s.	n.s.	s.
R	A	s.		n.s.	s.	s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
R	U	s.	n.s.		s.	s.	n.s.	n.s.	s.	n.s.
M	H	n.s.	s.	s.		n.s.	s.	n.s.	n.s.	s.
M	A	n.s.	s.	s.	n.s.		s.	s.	s.	s.
M	U	s.	n.s.	n.s.	s.	s.		n.s.	s.	n.s.
W	H	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	s.	n.s.		n.s.	n.s.
W	A	n.s.	n.s.	s.	n.s.	s.	s.	n.s.		n.s.
W	U	s.	n.s.	n.s.	s.	s.	n.s.	n.s.	n.s.	

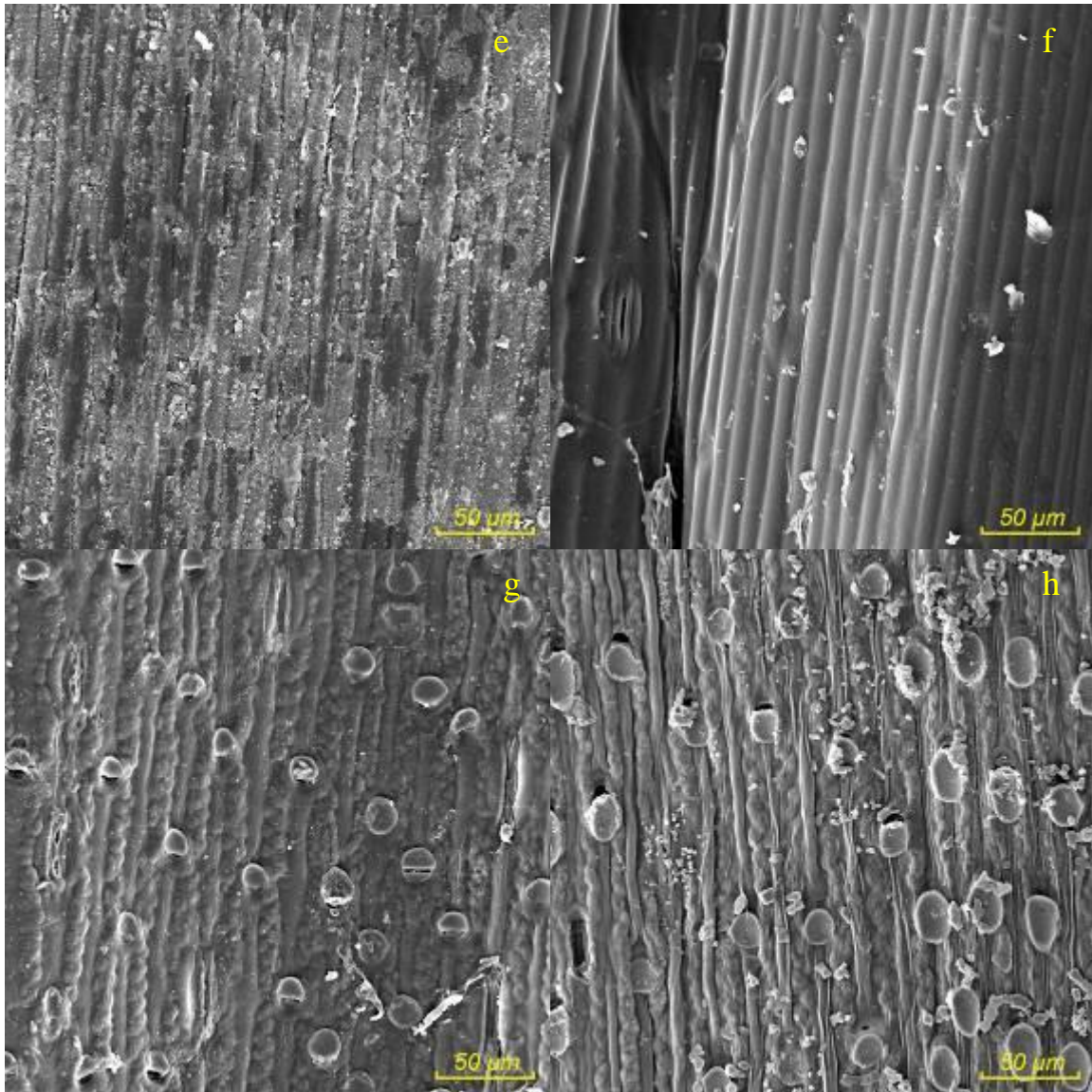
Note: R = Rapeseed, M = Maize, W = Wheat; H = Hydrothermal, A = Alkaline, U = Untreated; s. = significant, n.s. = not significant

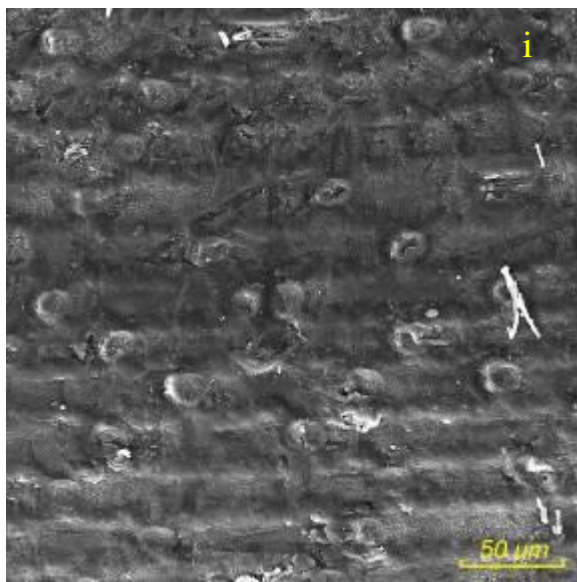
In Fig. 2a-i are depicted morphological changes of rapeseed, maize and wheat stalks after different modifications. It can be seen that both hydrothermal and alkaline modification caused visible changes in the surface structure of stems. In Figs. 2g-h one can observe loss of the top layer (epidermis) of the wheat stem surface. Pores of untreated stems are sunk in the top layer, whereas pores of modified stems are protruding, because the top layer is missing. Maize stalks exhibited visual changes of stem surface only after



alkaline treatment. The damage of maize stem surface by hydrothermal treatment was not visible, despite the fact that the decrease of water contact angle was significant. It can be assumed that boiling water did not cause any morphological changes of the maize surface, but only washed the stems and thus the water contact angle was lower. Also any damage of rapeseed stem surface was caused by hydrothermal treatment. Rapeseed stems evidenced changes of surface only after alkaline modification. On the rapeseed, maize and wheat stems were deposited crystals of Ca after alkaline treatment. These crystals were precipitated by sodium hydroxide (Částková *et al.* 2018).







**Fig. 2.** Electron micrographs of rape, maize and wheat straw surfaces (magnification 1000x). (a) Hydrothermal modified rape stalk, (b) alkaline modified rape stalk, (c) untreated rape stalk, (d) hydrothermal modified maize stalk, (e) alkaline modified maize stalk, (f) untreated maize stalk, (g) hydrothermal modified wheat stalk, (h) alkaline modified wheat stalk, and (i) untreated wheat stalk

Scientific reports that evaluate the possibility of using post-harvest remnants of crops have focused mainly on the characteristics of the material produced. If, however, the present results are to be commercialised, then the issue of producing composite materials from these crops needs a more comprehensive assessment. Therefore, the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of the production of particle board from rape stems were analysed. Stems of winter rapeseed were selected as a promising material, with their production amounting to about 42 million tonnes per annum in the European Union (Eurostat 2016); unlike stems of wheat and maize, however, they have not yet found any considerable application. In the European Union, 29.1 million m<sup>3</sup> of particle board was produced in 2015 (EPF 2017). Therefore, the current rape stem production already has the potential to replace almost two times the wood used in particle boards in the EU (ca. 0.75 tonnes of raw materials are required to produce 1 m<sup>3</sup> of particleboards). The possibility of successful replacement of wood in wood-based materials by rapeseed stems has already been demonstrated (Dziurka *et al.* 2015; Dukarska *et al.* 2017), and the effect of rapeseed particle pre-treatment by hydrothermal and alkaline treatment on the disrupting of the surface layer has also already been estimated and reported (Částková *et al.* 2018).

## SWOT Analysis of Making Particle Board from Rape

### Strengths

- **Low purchasing costs (waste not used):** Rape stems are currently not used; they are turned to chips during harvest and left on the field or used for energy purposes at the most (Karaosmanoğlu *et al.* 1999; Zabaniotou *et al.* 2008; Díaz *et al.* 2009). As this involves unused harvest remnants, low purchasing costs can be assumed.
- **Widespread availability:** In 2017, there was in The Czech Republic a total of 407 thousand hectares of land sowed with rape, which represents 16.5% of the total

sowing area of this country (CSO 2017). For stems, yield per hectare in Europe is 3 to 10 t/ha, meaning that in 2014 the European Union produced around 42 million tonnes of stems (Eurostat 2016). Widespread availability and huge produced amounts of rape stems are reported from all over the world, as from China (Huang *et al.* 2016), Poland (Dukarska *et al.* 2017), Iran (Yousefi 2009), Canada and United States (Oh and Jamaludin 2015).

- **Renewable resource:** It is a renewable resource that can be harvested annually to source lignin and cellulose (Karaosmanoğlu 1999).
- **Policies of the EU and the Czech Republic:** European Union policy supports sowing large areas of winter oilseed rape, meaning that the crop is highly financially advantageous for farmers. The European Union has set itself an objective (European Parliament (EP) Directive 2009/28/EC 2009) to reduce greenhouse gas emissions by 20% compared with the values in 1990. In addition, a directive was adopted (European Parliament (EP) Directive 98/70/EC 1998) concerning fuel quality that tasks fuel suppliers to reduce, by 2020, the intensity of greenhouse gas emissions in fuel mixtures by 6% in comparison with 2010; this provides an incentive for more extensive use of low-carbon fuels in transportation. Because most of this 6% consists largely of rape, there is an assumption of high consumption of rape (European Commission (EC) Report COM(2017) 284 2017). This issue is also elaborated at the national level; the mandatory content of mineral oil is governed by Czech Parliament Act No. 353/2003 (2003), where it is established that a mixture of medium oils and heavy gas oils shall contain at least 30% methyl ester of rapeseed oil (§ 45(2)(c)). Despite the fact that in the European Union 2<sup>nd</sup> generation biofuels are regarded as having better prospects, in the Czech Republic biofuels 1<sup>st</sup> generation from rapeseed are highly supported, the financial concession can be found in the excise taxes (Act No. 353/2003 (2003)).
- **Good mechanical and physical properties:** The chemical composition of stems and the dimensions of rape fibres are similar to those of the wood of broad-leaf trees (Adapa *et al.* 2009; Tofanica *et al.* 2011). The characteristics of composite materials made of this raw material are comparable with commercially available products based on wood (Huang *et al.* 2016; Nikvash *et al.* 2012; Dziurka *et al.* 2015; Dukarska *et al.* 2017).
- **The existing technology of particle and fibre boards can be leveraged:** Given the similarities in the composition of rape fibres and particles and those of wood, existing board production technology could presumably be utilised after modifications.
- **Stems can be compressed for storage:** Stems of annual and biennial plants contain pulp, allowing compression of the straw into bales for transportation, handling, and storage.
- **Annual cycle of rape cultivation:** The annual cycle of the cultivation of winter oilseed rape (Su *et al.* 2014), and the consequent production of straw, is an important benefit permitting rapid response to changes in the market.
- **Low energy intensity of production:** The bulk density of rape straw is around 270 kg/m<sup>3</sup> for 10% moisture content; the particle density is 1,550 kg/m<sup>3</sup> (Adapa *et al.* 2009). Compared with wood, which has a significantly higher density, the stems are easier and require less energy to disintegrate (Zhu and Pan 2010).



- **CO<sub>2</sub> emissions reduction:** Unlike burning stems in solid form or using them for biofuel production, making boards binds CO<sub>2</sub> in the product for several decades (Schlamadinger and Marland 1996).

#### *Weaknesses*

- **Variability of the properties:** The properties of natural materials exhibit higher variability compared with artificial materials (Anandjiwala and Blouw 2007; Das *et al.* 2012; Hýsek *et al.* 2016).
- **Soaking and moistening capacity:** With free hydroxyl groups contained in the cellulose fibres, rape fibres can absorb molecules of water from both the air and liquid water (Hofstetter *et al.* 2006), which in turn influences the properties of soaking and moistening of materials produced from these fibres. In composite materials, however, soaking and moistening capacity can be substantially reduced by appropriate adhesives and additives (Dukarska *et al.* 2017).
- **The technology of collecting straw from fields is not fully developed:** Currently, winter oilseed rape stems are being turned into chips when harvested and left lying in the fields. For collecting stems, it would be appropriate to use collecting and packaging units that are already being used for collecting post-harvest remnants of other crops (Carvalho *et al.* 2017; Tang *et al.* 2017).
- **Production technology is not fully developed:** Boards made of rape particles are not yet commercially produced, though research is currently underway, with objectives including the development of board production technology. In the case of water-assisted particle pre-treatment, waste water management could raise costs of this production.
- **Demand for environmentally friendly products still low:** Demand for environmentally friendly products is rising, yet only a quarter (26%) of the EU population “often buy environmentally-friendly products” (Flash Eurobarometer 2013).
- **Drawing nutrients from the soil:** Compared with ploughing stems into the soil, nutrients are removed from the soil, with the subsequent need for fertilising using inorganic fertilisers (Su *et al.* 2014). However, the straw still needs to be ploughed into the soil for the nutrients to be absorbed. Through the widely used practice of shallow ploughing, instead of deep ploughing, the quantity of nutrients absorbed is significantly reduced (Su *et al.* 2015; Zhu *et al.* 2016).
- **Bulkiness of the raw material:** Pulp represents a substantial portion of the stem. Due to the pulp, the density of the stems is 270 kg/m<sup>3</sup> for approximately 10% humidity, and bulkiness is greater in comparison with wood (Adapa *et al.* 2009).
- **Degradation by biotic factors:** Stems of rape can degrade through the action of biotic factors when stored improperly, as can any other natural lignin-cellulose material (Anandjiwala and Blouw 2007; Das *et al.* 2012).
- **Seasonal nature of the harvest:** Given the seasonality of the harvest (Tofanica *et al.* 2011), it is necessary to put the material into storage in large quantities, with an associated cost.

#### *Opportunities*

- **An extensive market of large-area composite materials for construction and furniture-making applications:** In the European Union, 53.8 million m<sup>3</sup> of wood-based, large-area composite materials were produced in 2015 (EPF 2017).
- **Improved economic situation of farmers:** Using straw as a by-product from the production of winter rape provides a significant monetary income to farmers.
- **Addressing the situation of the wood raw materials shortage:** The partial replacement of wood in lignin- and cellulose-based composite materials by winter rape can significantly contribute to addressing the lack of wood in various wood-processing and energy sectors (Ye *et al.* 2007; Dziurka *et al.* 2015). This contributes to protecting the equally important non-production functions of forests as a very important positive externality.
- **Legislative support for environmentally-friendly products:** Support from national governments for environmentally-friendly solutions is assumed in the future and can enhance their propagation in relation to products from non-renewable resources.
- **Low energy consumption in production:** Energy demands for the production of final products made of wood-based composites is significantly lower than for products made from concrete, steel, or glass. It is assumed that the production of boards from rape will use even less energy than production from wood.
- **Expansion into sectors other than just the furniture-making and construction industries:** While the furniture-making and construction sectors are assumed to be the major industries in which products made of rape stems could find applications (in the form of large-area materials), composite materials made of rape stems, such as composites from fibres and shaped moulded pieces, could find applications in automotive, shipbuilding, and other industries.
- **Utilising the stems of plants other than rape:** There could be more than just winter oilseed rape fibres or particles present in the composite materials produced; they could be combined with other natural fibres or particles according to the purpose (Nikvash *et al.* 2012; Oh and Jamaludin 2015).

### Threats

- **Competition from composite materials made of other renewable raw materials:** Research is underway, focusing on the use of other renewable raw materials. Possible examples for potential use include bamboo (Marinho *et al.* 2013), sugar cane (Belini *et al.* 2012), reeds (Han *et al.* 2001), flax, hemp, and kenaf (Aisyah *et al.* 2013; Papadopoulou *et al.* 2014).
- **Concrete lobby:** The lobbying activities of conventional construction companies could significantly hamper the propagation of materials based on wood and other natural resources; this currently involves legislative disadvantages and the limits applied to wood structures.
- **Low consumer awareness:** In general, any further growth in production using renewable raw materials in Europe might be prevented through low consumer awareness. In Eastern European countries especially, consumers still prevail who prefer cheaper variants using non-renewable resources to those involving renewable resources.
- **Pests:** As with any other monoculture, fields of rape are at risk of being damaged by pests. As the area of monoculture grows, this threat is increasing, making it necessary

to take agronomic measures. In the case of winter oilseed rape, this involves selective breeding, proper agronomic practices, treatment of crops against pests, and other measures (Zegada-Lizarazu and Monti 2010).

- **Competition from biofuel production:** Producing biofuels provides an alternative to using post-harvest remnants of agricultural crops to produce composite materials; this primarily involves bioethanol production. Raw materials for producing biofuels are also not subject to quality requirements of such a high level as are materials intended for the production of composite materials (Haq *et al.* 2016; Taha *et al.* 2016).
- **Reduced rape production volume:** Any reduced production of winter rape, whether from a change in the policy that currently results in a higher volume of rape production compared with other raw materials or from other factors such as decreased demand for rapeseed oil, poses a significant threat. According to Directive 98/70/EC (1998) on the quality of fuels, the European Commission does not propose extending the reduction of emissions of greenhouse gases through fuels after 2020 (European Commission (EC) Report COM(2017) 284 2017).

## CONCLUSIONS

1. Hydrothermal and alkaline modification of the surface of plant stems has an effect on the contact angle between the stem surface and water.
2. Specifically, hydrothermal modification yielded a statistically significant reduction in the contact angle between water and the stem surfaces of winter oilseed rape and maize; likewise, alkaline modification yielded a reduction in the contact angle between water and the stem surface of maize.
3. SWOT analysis suggests that winter rape stems are a very promising material for the production of composites.
4. Partial replacement of wood in wood-based composites with winter rape stems brings positive externalities, one of the most important being a contribution to the protection of the non-production functions of forests.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful for the support of the Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences, Grant No. IGA (A09/17).

## REFERENCES CITED

- Adapa, P., Tabil, L., and Schoenau, G. (2009). "Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw," *Biosystems Engineering* 104(3), 335-344. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.06.022
- Aisyah, H. A., Paridah, M. T., Sahri, M. H., Anwar, U. M. K., and Astimar, A. A. (2013). "Properties of medium density fibreboard (MDF) from kenaf (*Hibiscus cannabinus*

- L.) core as function of refining conditions,” *Composites Part B* 44(1), 592-596. DOI: 10.1016/j.compositesb.2012.02.029
- Anandjiwala, R. D., and Blouw, S. (2007). “Composites from bast fibres – Prospects and potential in the changing market environment,” *Journal of Natural Fibers* 4(2), 91-109. DOI: 10.1300/J395v04n02\_07
- Balest, J., Hrib, M., Dobšinská, Z., and Paletto, A. (In Press). “The formulation of the National Forest Programme in the Czech Republic: A qualitative survey,” *Forest Policy and Economics*. DOI: 10.1016/j.forpol.2017.02.002
- Bekhta, P., Korkut, S., and Hiziroglu, S. (2013). “Effect of pretreatment of raw material on properties of particleboard panels made from wheat straw,” *BioResources* 8(3), 4766-4774. DOI: 10.15376/biores.8.3.4766-4774
- Belini, U. L., Tomazello Filho, M., Louzada, J. L. P. C., Rodrigues, J., and Astolphi, J. R. S. (2012). “Pilot study for MDF manufacture from sugarcane bagasse and eucalyptus fibers,” *European Journal of Wood and Wood Products* 70(4), 537-539. DOI: 10.1007/s00107-011-0577-4
- Bostedt, G., Mustonen, M., and Gong, P. (2016). “Increasing forest biomass supply in northern Europe – Countrywide estimates and economic perspectives,” *Scandinavian Journal of Forest Research* 31(3), 314-322. DOI: 10.1080/02827581.2015.1089930
- Carvalho, D. J., Veiga, J. P. S., and Bizzo, W. A. (2017). “Analysis of energy consumption in three systems for collecting sugarcane straw for use in power generation,” *Energy* 119, 178-187. DOI: 10.1016/j.energy.2016.12.067
- Částková, T., Hýsek, Š., Sikora, A., Schönfelder, O., and Böhm, M. (2018). “Chemical and physical parameters of different modification of rape straw (*Brassica napus* L.),” *BioResources* 13(1), 104-114. DOI: 10.15376/biores.13.1.104-114
- CSO. (2017). “Zemědělství - časové řady [Agriculture – time series],” *Czech Statistical Office (CSO)*, ([https://www.czso.cz/csu/czso/zem\\_cr](https://www.czso.cz/csu/czso/zem_cr)), accessed 2 May 2017.
- Czech Parliament Act No. 289/1995. (1995). “Act on forests and amendments to some acts (the forest act),” Prague, Czech Republic.
- Czech Parliament Act No. 353/2003 (2003). “Act No. 353/2003 concerning excise taxes,” Prague, Czech Republic.
- Das, D., Pradhan, A. K., Chattopadhyay, R., and Singh, S. N. (2012). “Composite nonwovens,” *Textile Progress* 44(1), 1-84. DOI: 10.1080/00405167.2012.670014
- Díaz, M. J., Cara, C., Ruiz, E., Romero, I., Moya, M., and Castro, E. (2009). “Hydrothermal pre-treatment of rapeseed straw,” *Bioresource Technology* 101(7), 2428-2435. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.10.085
- Dieter, M., and Seintsch, B. (2012). “Changes in the competitiveness of the German wood and paper industries due to increasing shortage of coniferous roundwood,” *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 183(5-6), 116-128.
- Dukarska, D., Czarnecki, R., Dziurka, D., and Mirski, R. (2017). “Construction particleboards made from rapeseed straw glued with hybrid pMDI/PF resin,” *European Journal of Wood and Wood Products* 75(2), 175-184. DOI: 10.1007/s00107-016-1143-x
- Dziurka, D., Mirski, R., Dukarska, D., and Derkowski, A. (2015). “Possibility of using the expanded polystyrene and rape straw to the manufacture of lightweight particleboards,” *Maderas. Ciencia y tecnología* 17(3), 647-656. DOI: 10.4067/S0718-221X2015005000057



- El-Kassas, A. M., and Mourad, A.-H. I. (2013). “Novel fibers preparation technique for manufacturing of rice straw based fiberboards and their characterization,” *Materials & Design* 50, 757-765. DOI: 10.1016/j.matdes.2013.03.057
- EPF. (2017). “Market information,” *European Panel Federation*, (<http://europanel.org/facts--figures/market-information>), accessed 19 Sep 2017.
- European Commission (EC) Report COM(2017) 284. (2017). “Report from the Commission to the European Parliament and the Council in accordance with Article 9 of Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels,” European Union, Brussels, Belgium.
- European Parliament. (2017). “Fact sheets on the European Union: The European Union and forests,” *European Parliament at Your Service*, ([http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/en/displayFtu.html?ftuId=FTU\\_5.2.11.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/en/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.2.11.html)), accessed 17 Sep 2017.
- European Parliament (EP) Directive 2009/28/EC. (2009). “Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC,” European Union, Brussels, Belgium.
- European Parliament (EP) Directive 98/70/EC. (1998). “Directive 98/70/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 1998 relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Council Directive 93/12/EEC,” European Union, Brussels, Belgium.
- Eurostat. (2016). *Agriculture, Forestry and Fishery Statistics: 2015 Edition*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Flash Eurobarometer. (2013). *Flash Eurobarometer 367: Attitudes of Europeans Towards Building the Single Market for Green Products*. TNS Political & Social.
- Guler, C., Bektas, I., and Kalaycıoğlu, H. (2006). “The experimental particleboard manufacture from sunflower stalks (*Helianthus annuus* L.) and Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.),” *Forest Products Journal* 56(4), 56-60.
- Halvarsson, S., Edlund, H., and Norgren, M. (2010). “Wheat straw as raw material for manufacture of medium density fiberboard (MDF),” *BioResources* 5(2), 1215-1231. DOI: 10.15376/biores.5.2.1215-1231
- Han, G., Kawai, S., Umemura, K., Zhang, M., and Honda, T. (2001). “Development of high-performance UF-bonded reed and wheat straw medium-density fiberboard,” *Journal of Wood Science* 47(5), 350-355. DOI: 10.1007/BF00766784
- Haq, F., Ali, H., Shuaib, M., Badshah, M., Hassan, S. W., Munis, M. F. H., and Chaudhary, H. J. (2016). “Recent progress in bioethanol production from lignocellulosic materials: A review,” *International Journal of Green Energy* 13(14), 1413-1441. DOI: 10.1080/15435075.2015.1088855
- Hofstetter, K., Hinterstoisser, B., and Salmén, L. (2006). “Moisture uptake in native cellulose – The roles of different hydrogen bonds: A dynamic FT-IR study using Deuterium exchange,” *Cellulose* 13(2), 131-145. DOI: 10.1007/s10570-006-9055-2
- Huang, L., Xia, P., Liu, Y., Fu, Y., Jiang, Y., Liu, S., and Wang, X. (2016). “Production of biodegradable board using rape straw and analysis of mechanical properties,” *BioResources* 11(1), 772-785. DOI: 10.15376/biores.11.1.772-785
- Hýsek, Š., Wimmer, R., and Böhm, M. (2016). “Optimal processing of flax and hemp fibre nonwovens,” *BioResources* 11(4), 8522-8534. DOI: 10.15376/biores.11.4.8522-8534

- Karaosmanoğlu, F., Tetik, E., and Göllü, E. (1999). "Biofuel production using slow pyrolysis of the straw and stalk of the rapeseed plant," *Fuel Processing Technology* 59(1), 1-12. DOI: 10.1016/s0378-3820(99)00004-1
- Lauri, P., Kallio, A. M. I., and Schneider, U. A. (2012). "Price of CO<sub>2</sub> emissions and use of wood in Europe," *Forest Policy and Economics* 15, 123-131. DOI: 10.1016/j.forpol.2011.10.003
- Mantau, U., Saal, U., Prins, K., Steierer, F., Lindner, M., Verkerk, H., Eggers, J., Leek, N., Oldenburger, J., Asikainen, A., et al. (2010). *Final Report: Real Potential for Changes in Growth and Use of EU Forests*, EUwood, Hamburg, Germany.
- Marinho, N. P., Nascimento, E. M. d., Nisgoski, S., and Valarelli, I. d. D. (2013). "Some physical and mechanical properties of medium-density fiberboard made from giant bamboo," *Materials Research* 16(6), 1387-1392. DOI: 10.1590/S1516-14392013005000127
- Mburu, F., Dumarçay, S., Huber, F., Petrissans, M., and Gérardin, P. (2007). "Evaluation of thermally modified *Grevillea robusta* heartwood as an alternative to shortage of wood resource in Kenya: Characterisation of physicochemical properties and improvement of bio-resistance," *Bioresource Technology* 98, 3478-3486. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.11.006
- Nikvash, N., Kharazipour, A., and Euring, M. (2012). "Effects of wheat protein as a biological binder in the manufacture of particleboards using a mixture of canola, hemp, bagasse, and commercial wood," *Forest Products Journal* 62(1), 49-57. DOI: 10.13073/FPJ-D-11-00102.1
- Oberhofnerová, E., and Pánek, M. (2016). "Surface wetting of selected wood species by water during initial stages of weathering," *Wood Research* 61(4), 545-552.
- Oh, Y.-S., and Jamaludin, M. A. (2015). "Evaluation of rapeseed stalk particleboard bonded with laboratory-made urea-formaldehyde resin," *Ciência Florestal* 25(2), 515-521.
- Papadopoulou, E., Bikiaris, D., Chrysafis, K., Wladyka-Przybylak, M., Wesolek, D., Mankowski, J., Kolodziej, J., Baraniecki, P., Bujnowicz, K., and Gronberg, V. (2014). "Value-added industrial products from bast fiber crops," *Industrial Crops and Products* 68, 116-125. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.10.028
- Pulkrab, K., Sloup, R., and Podrázský, V. (2015). "Production potential of the forests in the Czech Republic," *BioResources* 10(3), 4711-4725. DOI: 10.15376/biores.10.3.4711-4725
- Schlamadinger, B., and Marland, G. (1996). "The role of forest and bioenergy strategies in the global carbon cycle," *Biomass and Bioenergy* 10(5-6), 275-300. DOI:10.1016/0961-9534(95)00113-1
- Seintsch, B. (2011). *Stellung der Holzrohstoffe in der Kostenstruktur des Holz- und Papiergewerbes in Deutschland* (Nr. 03/2011), Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, University of Hamburg, Hamburg, Germany.
- Šišák, L., Riedl, M., and Dudík, R. (2016). "Non-market non-timber forest products in the Czech Republic — Their socio-economic effects and trends in forest land use," *Land Use Policy* 50, 390-398. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.10.006
- Stenger, A., Harou, P., and Navrud, S. (2009). "Valuing environmental goods and services derived from the forests," *Journal of Forest Economics* 15(1), 1-14. DOI: 10.1016/j.jfe.2008.03.001
- Su, W., Liu, B., Liu, X., Li, X., Ren, T., Cong, R., and Lu, J. (2015). "Effect of depth of fertilizer banded-placement on growth, nutrient uptake and yield of oilseed rape

- (*Brassica napus* L.),” *European Journal of Agronomy* 62, 38-45. DOI: 10.1016/j.eja.2014.09.002
- Su, W., Lu, J., Wang, W., Li, X., Ren, T., and Cong, R. (2014). “Influence of rice straw mulching on seed yield and nitrogen use efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) in intensive rice–oilseed rape cropping system,” *Field Crops Research* 159, 53-61. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.01.007
- Sujová, A., Michal, J., Kupčák, V., and Dudík, R. (2017). “The impact of international trade of raw wood to the economic growth of forest-based sectors in the Czech and Slovak Republics,” *BioResources* 12(1), 1102-1111. DOI: 10.15376/biores.12.1.1102-1111
- Taha, M., Foda, M., Shahsavari, E., Aburto-Medina, A., Adetutu, E., and Ball, A. (2016). “Commercial feasibility of lignocellulose biodegradation: Possibilities and challenges,” *Current Opinion in Biotechnology* 38, 190-197. DOI: 10.1016/j.copbio.2016.02.012
- Tang, Z., Li, Y., and Cheng, C. (2017). “Development of multi-functional combine harvester with grain harvesting and straw baling,” *Spanish Journal of Agricultural Research* 15(1), e0202. DOI: 10.5424/sjar/2017151-10175
- Temperli, C., Stadelmann, G., Thürig, E., and Brang, P. (2017). “Silvicultural strategies for increased timber harvesting in a Central European mountain landscape,” *European Journal of Forest Research* 136(3), 493-509. DOI: 10.1007/s10342-017-1048-1
- Tofanica, B. M., Cappelletto, E., Gavrilesco, D., and Mueller, K. (2011). “Properties of rapeseed (*Brassica napus*) stalks fibers,” *Journal of Natural Fibers* 8(4), 241-262. DOI: 10.1080/15440478.2011.626189
- Ye, X. P., Julson, J., Kuo, M., Womac, A., and Myers, D. (2007). “Properties of medium density fiberboards made from renewable biomass,” *Bioresource Technology* 98(5), 1077-1084. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.04.022
- Yousefi, H. (2009). “Canola straw as a bio-waste resource for medium density fiberboard (MDF) manufacture,” *Waste Management* 29(10), 2644-2648. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.06.018
- Zabaniotou, A., Ioannidou, O., and Skoulou, V. (2008). “Rapeseed residues utilization for energy and 2nd generation biofuels,” *Fuel* 87(8-9), 1492-1502. DOI: 10.1016/j.fuel.2007.09.003
- Zegada-Lizarazu, W., and Monti, A. (2011). “Energy crops in rotation. A review,” *Biomass and Bioenergy* 35(1), 12-25. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.08.001
- Zhu, H., Tao, J., Yan, X., Zhou, B., and Mwangi, J. K. (2016). “Short-term effects of straw application on carbon recycle in a rice-rapeseed rotation system,” *Aerosol and Air Quality Research* 16, 3358-3363. DOI: 10.4209/aaqr.2016.10.0431
- Zhu, J. Y., and Pan, X. J. (2010). “Woody biomass pretreatment for cellulosic ethanol production: Technology and energy consumption evaluation,” *Bioresource Technology* 101(13), 4992-5002. DOI:10.1016/j.biortech.2009.11.007

Article submitted: September 25, 2017; Peer review completed: December 4, 2017;

Revisions accepted: February 12, 2018; Published: February 14, 2018.

DOI: 10.15376/biores.13.2.2546-2561

4. **HÝSKOVÁ, P.**, HÝSEK, Š., a JARSKÝ, V. 2020, The Utilization of Crop Residues as Forest Protection: Predicting the Production of Wheat and Rapeseed Residues, *Sustainability*, roč. 12, č. 14, 5828.

Article

# The Utilization of Crop Residues as Forest Protection: Predicting the Production of Wheat and Rapeseed Residues

Petra Hýsková, Štěpán Hýsek \*  and Vilém Jarský 

Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýčká 129, 6-Suchdol, 165 00 Praha, Czech Republic; gajdacova@fld.czu.cz (P.H.); jarsky@fld.czu.cz (V.J.)

\* Correspondence: hyseks@fld.czu.cz

Received: 22 June 2020; Accepted: 17 July 2020; Published: 20 July 2020



**Abstract:** Deforestation is a global threat in the form of the reduction of all of the ecosystem services provided to humans by forest ecosystems. For this reason, this article deals with the protection of forest ecosystem services by searching for a substitute for wood biomass. In recent years, the post-harvest residues of agricultural crops have been used mainly for energy and material uses. If this raw material is to be used industrially in the long term, we must have an idea of its future production. In most studies, predictions of future post-harvest residue productions are resolved in terms of the availability for energy sectors. This paper deals with the total amount of produced post-harvest residues that can be taken from the field; the post-harvest residue production for selected sectors is not subtracted from the overall prediction. Post-harvest residue production was estimated using the residue to product ratio (RPR), wherein the RPR coefficient was calculated for the monitored crops in each year, and the post-harvest residue production was subsequently calculated in each year according to the conversion rate characteristic for each year. The production of two widespread agricultural crops—wheat and rapeseed—was predicted. Linear regression models were used for the estimations. Based on these models, we predict the production of 58.3 million tonnes of post-harvest wheat residues and 22.4 million tonnes of post-harvest rapeseed residues in 2030 in the European Union. In the Czech Republic, we predict the production of 1.8 million tonnes of post-harvest wheat residues and 1.3 million tonnes of post-harvest rapeseed residues. The presented results can be used as the basis for further considerations of the material use of post-harvest residues and for the substitution of wood with these residues.

**Keywords:** crop residues; wheat; rapeseed; prediction; straw

## 1. Introduction

Deforestation is the most important factor causing the global loss of biodiversity, reducing the ability of soil to capture rainfall, and generally reducing all ecosystem services that forest ecosystems provide to humans [1]. Deforestation is prevented in most western countries. For example, the Czech Republic imposes an obligation on forest owners to reforest felled forests, and the clear-cut areas on forest plots must be afforested within two years and have forest stands established on them within seven years [2]. In Bavaria, for example, felled forests must be reforested within three years [3]. However, even in western countries where deforestation is very effectively restricted, the enforceability of these instruments is very limited. In the Czech Republic, for example, these obligations are met for the time being mainly due to the ownership structure of forests, where most of the forests are owned by the state or self-governing units. Of course, even state forest ownership or state control does not guarantee that deforestation will always be avoided, either legally or factually [4].

However, the situation in developing countries is even worse. Unsustainable logging activities in developing countries are mainly motivated by logging for material use, the logging of firewood and logging for charcoal production. The intensity of these unsustainable activities has a direct negative impact on the climate, the water cycle, soil erosion and biodiversity [5]. There are various strategies to prevent deforestation. Most countries try to solve this problem via government protection, e.g., by establishing large-scale protected areas [5,6]. Although there are various programs for the reclamation or reforestation of areas for harvested tropical rain forests, the ecosystem services provided by the restored ecosystems are lower than the original ecosystems. This is mainly due to lower biodiversity and poorer soil quality in the newly established stands on degraded soil [7]. Deforestation is most prevalent in tropical rain forests in developing countries, where post-harvest crop residues are also burned in the field [8,9]. Using the post-harvest biomasses of agricultural crops instead of mining biomass from tropical rainforests at the same location is therefore a logical option that is environmentally friendly. The material uses of post-harvest agricultural crop residues in developing countries can make a significant contribution to the protection of non-productive forest functions and carbon dioxide binding in materials for a longer period.

In recent years, post-harvest crop residues have had a wide variety of uses; in particular, the energy and material uses of this raw material are receiving scientific attention [10,11]. The material utilization of post-harvest residues is a very rational utilization, mainly due to carbon dioxide binding in products for a longer period of time [12,13]. Of course, those crops that are the most cultivated on a global scale are very interesting, as they produce a large amount of biomass which can be removed from the field after harvest and then utilized. Composite materials have already been produced successfully, for example from rice straw [14], rice husk [15], wheat straw [16], wheat husk [17], rapeseed straw [18], or the post-harvest residues of other crops [19].

The technology for producing composite materials from post-harvest agricultural crop residues is well mapped in the above-mentioned and many other studies. However, the future availability of lignocellulose raw material for the production of these composites is not as well described [20]. Several studies have already looked at the estimation of the future availability of post-harvest residues, particularly for energy use [21–23]. Given that the post-harvest residue production of agricultural crops is not systematically monitored, it is necessary to estimate this production.

Data concerning the expanses of the crop areas of agricultural crops and the production of individual crops are systematically monitored. This data is very well available in time series both at the national and transnational levels. However, the amount of post-harvest agricultural crop residues produced is not systematically monitored. This is because, until recently, post-harvest residues have not received much attention. They were used, for example, for ploughing and enriching the soil with the necessary organic substances, or as bedding for reared animals. As seed yield production is the main bearer of profit from crop agricultural production, these values are monitored. The worldwide increase in interest in post-harvest residues is very closely related to the increase in second-generation biofuels. The amount of post-harvest residues produced is judged on the basis of a calculation using the residue to product ratio (RPR) conversion rates, defined as the proportion of residues to agricultural production [24,25].

Many different models predicting crop production have been published, including models based on time series analysis, such as the linear regression model [26–28], the quadratic model [26,27], the Holt–Winter model [26] and the dynamic linear model [29]. If the future production of different crops is known, then the expected production of post-harvest residues can be easily calculated, as is presented, for example, in the studies of (BNEF) Bloomberg New Energy [30], Ericsson and Nilsson [21], and Searle and Malins [28]. However, the question is whether this procedure is appropriate. The weight fraction of the seeds and vegetative part of the plant depends on many factors, from climate, weather and soil conditions, through to the agronomic plan, and the variety of the crop. In addition, RPR declines with increasing hectare yield. However, the tightness of this dependence is not high, for the above reasons [25]. Furthermore, the inaccuracy of the conversion is due to the fact that farmers only

maximize seed yield, which is influenced by the same factors as the seed weight ratio and post-harvest residues [31]. In addition to predicting the production of post-harvest residues using time series analysis, studies have been published that consider complex factors affecting future production and identify the main drivers of post-harvest residue production [32,33].

This present paper aims to estimate the future production of post-harvest wheat and rapeseed residues in the European Union and in the Czech Republic, using a different methodology for estimating post-harvest residue production than in the case of previously published research. These methodological differences are described in the paper, and the reasons are discussed. The proposed method was applied in this study to the prediction of the post-harvest residues of wheat and rapeseed in the European Union and in the Czech Republic. This methodology can also be applied to the prediction of these post-harvest residues in other regions if sufficient data are available.

## 2. Methods

Data on the production and crop areas of wheat and rapeseed from the Czech Statistical Office [34] and the Food and Agriculture Organization [35] were used for the prediction. When looking at post-harvest residues as a raw material for the production of composite materials, it makes sense to only consider dry matter. Absolute crop production values reported at normal moisture values were converted to zero humidity [36]. All the presented values on crop production and post-harvest residues are given in this text after conversion to zero humidity, i.e., only dry matter is used.

Given that the yield per hectare of crops varies from year to year, a solution was used in this work where the RPR was calculated for the monitored crops in each year, and subsequently the post-harvest residue production was calculated in each year according to coefficient characteristic for each year.

The RPR for the monitored crops was calculated according to the equations given in Scarlat et al. [25]:

The calculation for wheat:

$$RPR = -0.3629 \cdot \ln(x) + 1.6057 \quad (1)$$

The calculation for rapeseed:

$$RPR = -0.452 \cdot \ln(x) + 2.0475 \quad (2)$$

where  $x$  is hectare yield of the crop (t/ha).

The post-harvest residue production in individual years was then calculated as the product of RPR and the production of individual crops.

The data prepared in this way was used to predict post-harvest residue production. Future developments were assessed based on historical data. Therefore, the stable parameters affecting the given time series are assumed. A regression model was created using the Statistica12 program. Since the dependence of both wheat and rapeseed production on time has a linear nature in the monitored period, a linear regression model was used. Time series from 1993 to 2017 were used to predict post-harvest residue production in the European Union (EU-28), as both older and newer data are not available for the whole EU-28. As the development up to 2030 is predicted, longer time series were used to predict post-harvest residue production in the Czech Republic, from 1980 to 2018. Using the linear regression model created, it is possible to estimate the production of post-harvest residues. However, the amount of post-harvest residues available will certainly be lower, mainly because of sustainable agriculture, where a certain percentage of post-harvest biomass must be left in the field. The proportion of post-harvest residues that should be left in the field (the sustainable removal rate) depends on many factors, such as soil type, erosion, terrain slope, crop rotation and local conditions, etc. In their study, Searle and Malins [28] count the proportion of post-harvest residues left in the field as one third, irrespective of the crop. Similarly, de Wit and Faaij [37] expect a flat-rate of 50% of the post-harvest residues to be left in the field. Scarlat et al. [25] distinguish this percentage

according to crops and, based on extensive research, state that only 40% of post-harvest wheat residues and 50% of rapeseed residues can be removed from the field in sustainable farming. The proposed coefficients in the Scarlat et al. [25] study were also used in the model in this work. A certain proportion of post-harvest residues are also consumed in the primary agricultural production itself, i.e., for the needs of livestock production.

It is therefore clear that not all of the predicted post-harvest residue production will be available for other processing sectors. In this study, however, unlike other authors [28,38], this part of the post-harvest residue is not subtracted from the overall prediction. We predict the total quantity of post-harvest residues produced that can be taken from the field under sustainable agricultural practices, regardless of the purpose. Of course, there are already currently consumers of post-harvest residues (livestock production, energy use, material use, mushroom cultivation, etc.), but there is no reason why we should subtract this consumption from total production. The consumption of post-harvest agricultural crop residues also changes over time, and therefore the subtraction of the post-harvest residue consumption in selected sectors by the coefficient alone only adds another inaccuracy to the model.

The goodness of fit to past data was evaluated by the root mean square error (RMSE) [29]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{t=1}^M (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \quad (3)$$

where  $Y_t$  is post-harvest residue production (tonnes),  $\hat{Y}_t$  is the calculated post-harvest residue production based on the model used (tonnes) and  $M$  is number of observations (24 for European Union data, 38 for Czech Republic data).

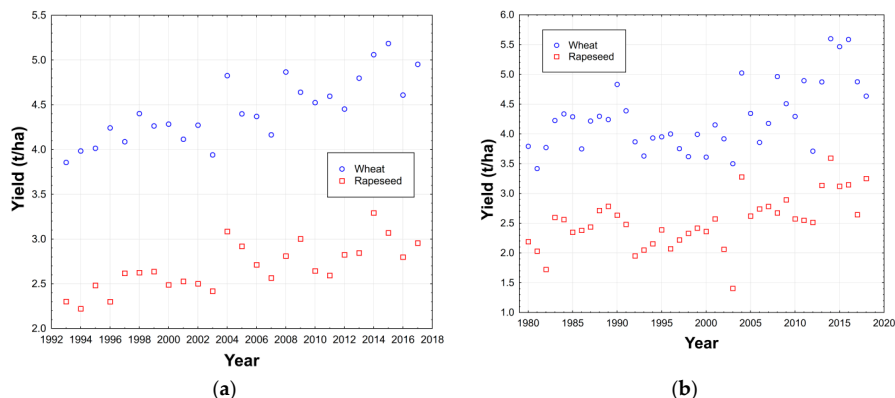
In order to evaluate the predictive capabilities of the model, predictions of post-harvest residue production in the last known year (2017 for the EU and 2018 for the Czech Republic) were made using parameters calculated on the basis of a shortened time series of  $k$ . The value of  $k$  was set to 1 and 10 in order to evaluate the short-term and long-term prediction accuracy. The difference between the post-harvest residue production  $Y_t$  and the calculated post-harvest residue production based on shortened time series  $\hat{Y}_t$  was expressed relative to the post-harvest residue production in the last known year:

$$\Delta_k = \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t} \cdot 100\% \quad (4)$$

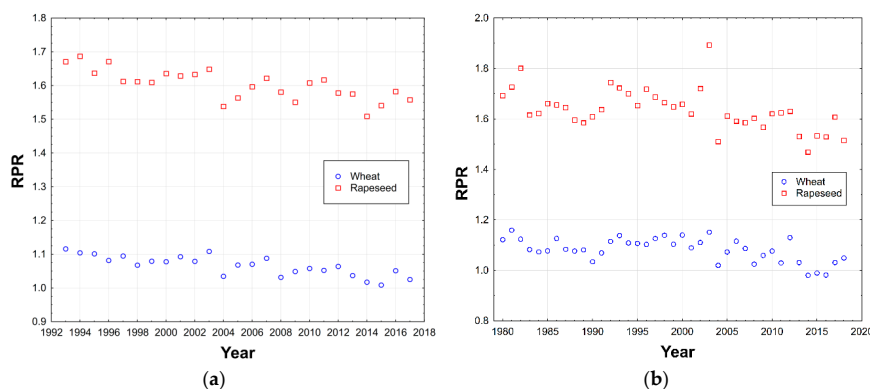
### 3. Results and Discussion

Figure 1 illustrates the variability of the wheat and rapeseed hectare yield in the monitored period in the European Union and the Czech Republic. This variability is, of course, also transferred to the calculated RPR coefficients, as shown in Figure 2. The RPR of wheat ranges from 0.98 to 1.22, and the RPR of rapeseed ranges from 1.47 to 1.92. The appropriateness of the calculation method, where the RPR that best describes a given year is used for each year, is therefore obvious. However, the use of a unique RPR for each year to estimate the post-harvest residue production is not common [21,28]. The decreasing trend of the RPR for both of the monitored crops fully corresponds to the predicted increasing hectare yield of wheat and rapeseed in the EU [31].



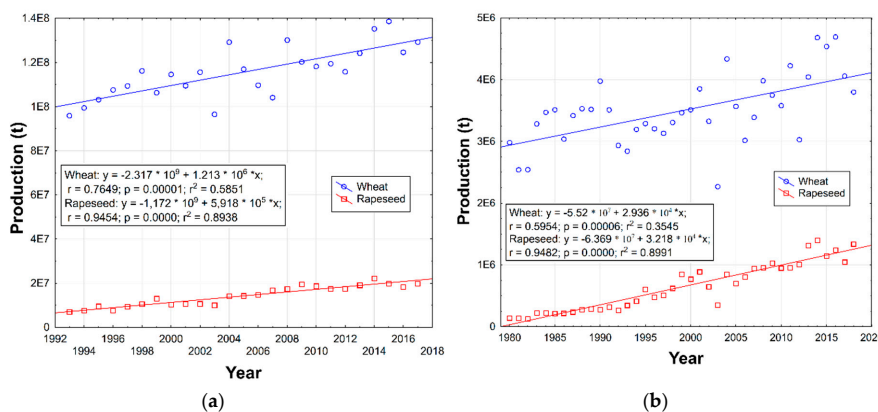


**Figure 1.** Hectare yield of wheat and rapeseed in the EU (a); hectare yield of wheat and rapeseed in the Czech Republic (b).



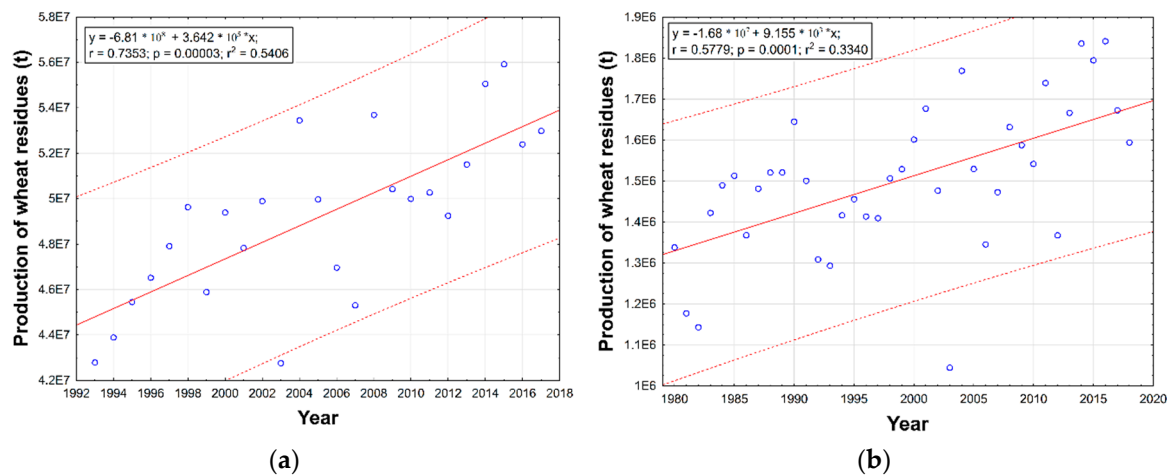
**Figure 2.** Residue to product ratio (RPR) of wheat and rapeseed in the EU (a); residue to product ratio (RPR) of wheat and rapeseed in the Czech Republic (b).

The production of both of the monitored crops has been increasing over the long term in the entire European Union and in the Czech Republic. In 2017, 129 million tonnes of wheat and 20 million tonnes of rapeseed [35] were produced in the EU. In the Czech Republic, 4.7 million tonnes of wheat and 1 million tonnes of rapeseed [39] were produced in 2017 (all of the data is recalculated to dry matter). Figure 3 depicts the linear nature of the dependence of the production of wheat and rapeseed on time over the monitoring period. The estimated parameters of all linear regression equations are statistically significant at the significance level of 0.05; therefore, the use of linear regression for the prediction of future production is justified. The estimated correlation coefficients show that the tightness of the relationship between rapeseed production and time is higher than that of wheat production.



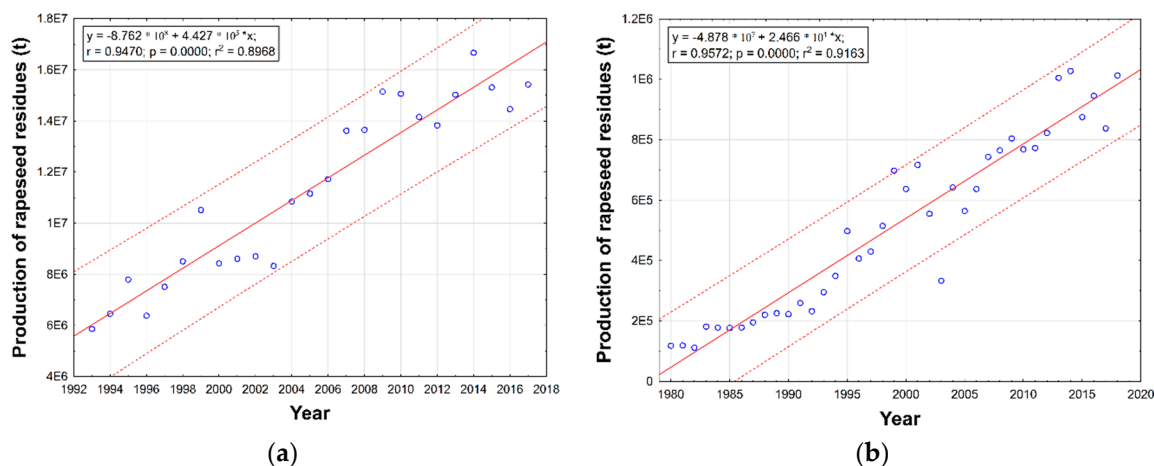
**Figure 3.** Development of wheat and rapeseed production in the European Union (a); the development of wheat and rapeseed production in the Czech Republic (b).

The estimated models of post-harvest wheat residue production (straw and husk) are shown graphically in Figure 4. The bars shown around the regression line represent the 95% confidence interval of the prediction in the displayed area. Post-harvest wheat residue production has long been increasing throughout the EU and in the Czech Republic.



**Figure 4.** Model of post-harvest wheat residue production (specified in dry matter) in the European Union (a) and in the Czech Republic (b).

The estimated models of post-harvest rapeseed residue production are shown graphically in Figure 5. The bars shown around the regression line represent the 95% confidence interval of the prediction in the displayed area. The graph shows that the increase in post-harvest rapeseed residue production is steeper in both the EU and in the Czech Republic than the development of the post-harvest wheat residues.



**Figure 5.** Model of the post-harvest rapeseed residue production (specified in dry matter) in the European Union (a) and in the Czech Republic (b).

Table 1 shows the predicted values of the total amount of post-harvest residues produced in 2030 that can be taken from the field under sustainable agricultural practices. In 2030, we predict the production of 58.3 million tonnes of post-harvest wheat residues and 22.4 million tonnes of post-harvest rapeseed residues in the European Union. The total amount of 80 million tonnes of post-harvest wheat and rapeseed residues corresponds, for example, to four times the annual consumption of wood in the European Union for the production of particleboards [19]. In the Czech Republic, we predict the production of 1.8 million tonnes of post-harvest wheat residues and 1.3 million tonnes of post-harvest rapeseed residues. In a previously published prediction, Searle and Malins [28] estimated that, by 2030,

109 million tonnes of post-harvest wheat residues will be produced in the EU that can be taken from the field. However, according to this study, only 54 million tonnes will be available on the market. These are significantly higher predicted values than in our model. For rapeseed, on the other hand, the figures in the Searle and Malins [28] predictions are lower than in our study, wherein they predict the total production for removal from fields at 15 million tonnes for 2030, and they estimate that a quantity of 7 million tonnes will be available on the market. The difference in these predicted values is due to a different methodology. Searle and Malins [28] used different RPRs for both of the observed crops (0.94 for wheat and 1.08 for rapeseed, with both coefficients being constant over time), subtracted post-harvest residue consumption from some sectors (one-third for both crops), recalculated the moisture differently, and also considered post-harvest residues—which need to be left in the field under sustainable agricultural practices (one-third for both crops)—with a different proportion for both crops.

**Table 1.** Estimation of post-harvest wheat and rapeseed residue production (dry matter) in the EU and in the Czech Republic in 2030.

	Linear Regression Model of Post-Harvest Wheat Production	Estimate of Post-Harvest Wheat Production in 2030	Linear Regression Model of Post-Harvest Rapeseed Production	Estimate of Post-Harvest Rapeseed Production in 2030
European Union	$y = -6.099 \times 10^8 + 3.6417 \times 10^5 \times x$	58.3 million tonnes	$y = -8.7624 \times 10^8 + 4.4268 \times 10^5 \times x$	22.4 million tonnes
Czech Republic	$y = -1.6798 \times 10^7 + 9.1554 \times 10^3 \times x$	1.8 million tonnes	$y = -4.8783 \times 10^7 + 2.4661 \times 10^4 \times x$	1.3 million tonnes

The characteristics of the goodness of fit and prediction accuracy of the models used are listed in Table 2. Although Michel and Makowski [29] reported the relatively poorer performance of using linear regression for wheat yield time series analysis, several authors [40–43] have already successfully used this regression for crop yield analysis. If a linear regression model is used, which assumes a constant increase in production, its limitations must be kept in mind. The use of a linear regression model for the prediction of future production presupposes a constant action of exogenous parameters. However, some phenomena, such as land use change or annual weather variations, are very difficult to predict [32]. The sustainable removal rate is also an important factor for sustainable agriculture. It is not excluded that future agronomic practices will adjust this rate [44], but in this study, it is considered constant over time. On the other hand, the methodology used in this study removes the limitation emphasized by Wietschel et al. [32]. Wietschel et al. [32] considered a constant RPR in their study, while in the present article a unique RPR for each year is used, and its development is estimated on the basis of past values.

**Table 2.** Goodness of fit and prediction accuracy.

	RMSE (Tonnes)		$\Delta_1(\%)$		$\Delta_{10}(\%)$	
	Wheat	Rapeseed	Wheat	Rapeseed	Wheat	Rapeseed
European Union	2,474,848	1,191,631	1.2	9.2	2.9	0.9
Czech Republic	147,680	87,271	5.8	3.3	0.1	6.5

The motive of most of the research estimating post-harvest residue production is to quantify this production to determine the availability of biomass for energy purposes [21,37,45,46]. However, estimates from these studies are not comparable to the results we predict because they are not sufficiently generalized and focus only on biomass production for energy purposes. A certain part of the research then aims to quantify the production of post-harvest biomass in the past period, without predicting the future [25,33,47]. The highly detailed, multi-factor models published in the study by García-Condado et al. [33] and Scarlet et al. [48] estimate the production of post-harvest residues in the

EU in the past. It would be useful to apply these models to the predicted data and use this methodology to estimate production for the future.

#### 4. Conclusions

If post-harvest crop residues are to be used industrially in the long term, it is necessary to know their future production. The study published in this article deals with post-harvest wheat and rapeseed residues, where the future production of this biomass was estimated using a linear regression model. Several characteristic elements were used in the created models that distinguish them from the predictions of other authors. In particular, the residue to product ratio coefficient was calculated separately each year for the monitored crops, and subsequently the post-harvest residue production was calculated in each year according to the conversion rate characteristic for each year. Furthermore, the estimates deal with the total amount of post-harvest residues produced, which can be taken from the field within the framework of sustainable agriculture. We do not subtract any part of the post-harvest residue production for the selected sectors from the overall prediction. The output of this study is an estimate of the production of wheat and rapeseed post-harvest residues in the EU and the Czech Republic in 2030; these data can be used as input data in further decision making and planning concepts for the material use of post-harvest residues. The results show that, in 2030, 58.3 million tonnes of post-harvest wheat residues and 22.4 million tonnes of post-harvest rapeseed residues can be harvested from the field in the European Union. In the Czech Republic, 1.8 million tonnes of post-harvest wheat residues and 1.3 million tonnes of rapeseed residues can be harvested from the field. If we consider post-harvest crop residues as a substitute for wood biomass, the increase in the material use of post-harvest residues can reduce deforestation worldwide and thus prevent the degradation of forest ecosystem services.

**Author Contributions:** Conceptualization, P.H.; Data curation, P.H.; Investigation, P.H.; Methodology, P.H. and Š.H.; Supervision, V.J.; Validation, Š.H.; Writing—original draft, P.H. and Š.H.; Writing—review and editing, V.J. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research was funded by ‘Advanced research supporting the forestry and wood-processing sector’s adaptation to global change and the 4th industrial revolution’, OP RDE (Grant No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000803) and the APC was funded by the Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences.

**Acknowledgments:** The authors are grateful for the support of ‘Advanced research supporting the forestry and wood-processing sector’s adaptation to global change and the 4th industrial revolution’, OP RDE (Grant No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16\_019/0000803).

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

#### References

1. Fugère, V.; Nyboer, E.A.; Bleecker, J.C.; Chapman, L.J. Impacts of forest loss on inland waters: Identifying critical research zones based on deforestation rates, aquatic ecosystem services, and past research effort. *Biol. Conserv.* **2016**, *201*, 277–283. [CrossRef]
2. Forestry Act, no. 289/1995 Coll. Zákon o lesích a o změně některých zákonů (lesní zákon) [Act on Forests and Amendments to some Acts (the Forest Act)]. Available online: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-289> (accessed on 23 March 2020).
3. Art. 15 Bavarian forest Act. (GVBl S. 313) BayRS 7902-1-L Art. 15 Bayerisches Waldgesetz (BayWaldG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Juli 2005 (GVBl. S. 313, BayRS 7902-1-L), das Zuletzt Durch § 3 Abs. 2 des Gesetzes vom 27. April 2020 (GVBl. S. 236) geändert worden ist. Available online: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayWaldG-15> (accessed on 23 March 2020).
4. Le Tourneau, F.-M. Is Brazil now in control of deforestation in the Amazon? *Cybergeogeo* **2016**, *10*, 769. [CrossRef]
5. Eguiguren, P.; Fischer, R.; Günter, S. Degradation of Ecosystem Services and Deforestation in Landscapes With and Without Incentive-Based Forest Conservation in the Ecuadorian Amazon. *Forests* **2019**, *10*, 442. [CrossRef]

6. Tan-Soo, J.-S.; Adnan, N.; Ahmad, I.; Pattanayak, S.K.; Vincent, J.R. Econometric Evidence on Forest Ecosystem Services: Deforestation and Flooding in Malaysia. *Environ. Resour. Econ.* **2016**, *63*, 25–44. [[CrossRef](#)]
7. Chazdon, R.L. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science* **2008**, *320*, 1458–1460. [[CrossRef](#)]
8. Srinivasarao, C.; Lal, R.; Kundu, S.; Babu, M.B.B.P.; Venkateswarlu, B.; Singh, A.K. Soil carbon sequestration in rainfed production systems in the semiarid tropics of India. *Sci. Total Environ.* **2014**, *487*, 587–603. [[CrossRef](#)]
9. Ziegler, A.D.; Phelps, J.; Yuen, J.Q.; Webb, E.L.; Lawrence, D.; Fox, J.M.; Bruun, T.B.; Leisz, S.J.; Ryan, C.M.; Dressler, W.; et al. Carbon outcomes of major land-cover transitions in SE Asia: Great uncertainties and REDD+ policy implications. *Global Change Biol.* **2012**, *18*, 3087–3099. [[CrossRef](#)]
10. Jiang, D.; Zhuang, D.; Fu, J.; Huang, Y.; Wen, K. Bioenergy potential from crop residues in China: Availability and distribution. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2012**, *16*, 1377–1382. [[CrossRef](#)]
11. Kalia, S.; Dufresne, A.; Cherian, B.M.; Kaith, B.S.; Avérous, L.; Njuguna, J.; Nassiopoulos, E. Cellulose-Based Bio- and Nanocomposites: A Review. *Int. J. Polym. Sci.* **2011**, *2011*, 1–35. [[CrossRef](#)]
12. Hýsek, Š.; Podlena, M.; Böhm, M.; Bartsch, H.; Wenderdel, C. Effect of Cold Plasma Surface Pre-treatment of Wheat Straw Particles on Straw Board Properties. *BioResources* **2018**, *13*, 5065–5079. [[CrossRef](#)]
13. Ramamoorthy, S.K.; Skrifvars, M.; Persson, A. A Review of Natural Fibers Used in Biocomposites: Plant, Animal and Regenerated Cellulose Fibers. *Polym. Rev.* **2015**, *55*, 107–162. [[CrossRef](#)]
14. Xia, T.; Huang, H.; Wu, G.; Sun, E.; Jin, X.; Tang, W. The characteristic changes of rice straw fibers in anaerobic digestion and its effect on rice straw-reinforced composites. *Ind. Crops Prod.* **2018**, *121*, 73–79. [[CrossRef](#)]
15. Muthuraj, R.; Lacoste, C.; Lacroix, P.; Bergeret, A. Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. *Ind. Crops Prod.* **2019**, *135*, 238–245. [[CrossRef](#)]
16. Sitz, E.D.; Bajwa, D.S. The mechanical properties of soybean straw and wheat straw blended medium density fiberboards made with methylene diphenyl diisocyanate binder. *Ind. Crops Prod.* **2015**, *75*, 200–205. [[CrossRef](#)]
17. Hýsek, Š.; Podlena, M.; Bartsch, H.; Wenderdel, C.; Böhm, M. Effect of wheat husk surface pre-treatment on the properties of husk-based composite materials. *Ind. Crops Prod.* **2018**, *125*, 105–113. [[CrossRef](#)]
18. Hýsková, P.; Hýsek, Š.; Schönfelder, O.; Šedivka, P.; Lexa, M.; Jarský, V. Utilization of agricultural rests: Straw-based composite panels made from enzymatic modified wheat and rapeseed straw. *Ind. Crops Prod.* **2020**, *144*, 112067. [[CrossRef](#)]
19. Klímeč, P.; Wimmer, R. *Alternative Raw Materials for Bio-Based Composites*; Bioresources: Brasov, Romania, 2017.
20. Gajdačová, P.; Hýsek, Š.; Jarský, V. Utilisation of Winter Rapeseed in Wood-based Materials as a Solution of Wood Shortage and Forest Protection. *BioResources* **2018**, *13*, 2546–2561. [[CrossRef](#)]
21. Ericsson, K.; Nilsson, L.J. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach. *Biomass Bioenergy* **2006**, *30*, 1–15. [[CrossRef](#)]
22. Graham, R.L.; Nelson, R.; Sheehan, J.; Perlack, R.D.; Wright, L.L. Current and Potential U.S. Corn Stover Supplies. *Agron. J.* **2007**, *99*, 1–11. [[CrossRef](#)]
23. Kluts, I.; Wicke, B.; Leemans, R.; Faaij, A. Sustainability constraints in determining European bioenergy potential: A review of existing studies and steps forward. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, *69*, 719–734. [[CrossRef](#)]
24. Bentsen, N.S.; Felby, C.; Thorsen, B.J. Agricultural residue production and potentials for energy and materials services. *Prog. Energy Combust. Sci.* **2014**, *40*, 59–73. [[CrossRef](#)]
25. Scarlat, N.; Martinov, M.; Dallemand, J.-F. Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use. *Waste Manag.* **2010**, *30*, 1889–1897. [[CrossRef](#)]
26. Boken, V.K. Forecasting Spring Wheat Yield Using Time Series Analysis: A Case Study for the Canadian Prairies. *Agron. J.* **2000**, *92*, 1047–1053. [[CrossRef](#)]
27. Kumar, V.; Haque, C.E. Forecasting wheat yield in the Canadian Prairies using climatic and satellite data. *Prairie Perspect.* **1998**, *1*, 81–92.
28. Searle, S.; Malins, C. *Availability of Cellulosic Residues and Wastes in the EU 2013*; The International Council On Clean Transportation: San Francisco, CA, USA, 2013.
29. Michel, L.; Makowski, D. Comparison of Statistical Models for Analyzing Wheat Yield Time Series. *PLoS ONE* **2013**, *8*, e78615. [[CrossRef](#)]



30. (BNEF) Bloomberg New Energy Moving Towards A Next-Generation Ethanol Economy: Final Study 2012. Available online: <https://about.bnef.com/blog/moving-towards-a-next-generation-ethanol-economy-report/> (accessed on 23 March 2020).
31. EC EU agricultural outlook for markets and income, 2018–2030. Available online: [https://ec.europa.eu/info/news/eu-agricultural-outlook-2018-2030-changing-consumer-choices-shaping-agricultural-markets-2018-dec-06\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/eu-agricultural-outlook-2018-2030-changing-consumer-choices-shaping-agricultural-markets-2018-dec-06_en) (accessed on 23 March 2020).
32. Wietschel, L.; Thorenz, A.; Tuma, A. Spatially explicit forecast of feedstock potentials for second generation bioconversion industry from the EU agricultural sector until the year 2030. *J. Clean. Prod.* **2019**, *209*, 1533–1544. [[CrossRef](#)]
33. García-Condado, S.; López-Lozano, R.; Panarello, L.; Cerrani, I.; Nisini, L.; Zucchini, A.; Van der Velde, M.; Baruth, B. Assessing lignocellulosic biomass production from crop residues in the European Union: Modelling, analysis of the current scenario and drivers of interannual variability. *GCB Bioenergy* **2019**, *11*, 809–831. [[CrossRef](#)]
34. CSO Zemědělství—Časové Řady [Agriculture—Time Series]. Available online: [https://www.czso.cz/csu/czso/zem\\_cr](https://www.czso.cz/csu/czso/zem_cr) (accessed on 23 March 2020).
35. FAOSTAT Crops—Data. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed on 23 March 2020).
36. EUROSTAT. *Annual Crop Statistics Handbook 2019*; Edition 2019; EUROSTAT: Luxembourg, 2019.
37. de Wit, M.; Faaij, A. European biomass resource potential and costs. *Biomass Bioenergy* **2010**, *34*, 188–202. [[CrossRef](#)]
38. Bakker, R.R.C.; Elbersen, H.W.; Poppens, R.P.; Lesschen, J.P. *Rice Straw and Wheat Straw—Potential Feedstocks for the Biobased Economy*; NL Agency: Utrecht, The Netherlands, 2013.
39. CSO Statistická Ročenka České Republiky—2018 [Statistical Yearbook of the Czech Republic 2018]. Available online: <https://www.czso.cz/csu/czso/statistical-yearbook-of-the-czech-republic-2018> (accessed on 23 March 2020).
40. Hafner, S. Trends in maize, rice, and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: A prevalence of linear growth. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2003**, *97*, 275–283. [[CrossRef](#)]
41. Finger, R. Evidence of slowing yield growth—The example of Swiss cereal yields. *Food Policy* **2010**, *35*, 175–182. [[CrossRef](#)]
42. Lin, M.; Huybers, P. Reckoning wheat yield trends. *Environ. Res. Lett.* **2012**, *7*, 024016. [[CrossRef](#)]
43. Rondanini, D.P.; Gomez, N.V.; Agosti, M.B.; Miralles, D.J. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. *Eur. J. Agron.* **2012**, *37*, 56–65. [[CrossRef](#)]
44. VDLUFA. *Humus Balancing: A Method for the Analysis and Assessment of the Humus Provision of Cultivated Farmland (in German)*; VDLUFA: Speyer, Germany, 2014.
45. Monforti, F.; Bódis, K.; Scarlat, N.; Dallemand, J.-F. The possible contribution of agricultural crop residues to renewable energy targets in Europe: A spatially explicit study. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2013**, *19*, 666–677. [[CrossRef](#)]
46. van Dam, J.; Faaij, A.P.C.; Lewandowski, I.; Fischer, G. Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios. *Biomass Bioenergy* **2007**, *31*, 345–366. [[CrossRef](#)]
47. Kim, S.; Dale, B.E. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass Bioenergy* **2004**, *26*, 361–375. [[CrossRef](#)]
48. Scarlat, N.; Fahl, F.; Lugato, E.; Monforti-Ferrario, F.; Dallemand, J.F. Integrated and spatially explicit assessment of sustainable crop residues potential in Europe. *Biomass Bioenergy* **2019**, *122*, 257–269. [[CrossRef](#)]



5. HÝSEK, Š., **HÝSKOVÁ, P.**, a HABÁN, R. 2020, Materiálové využití recyklovaného dřeva v České republice, Odpadové fórum, roč. 38, č. 1, s. 38-39.

# Materiálové využití recyklovaného dřeva v České republice

| Štěpán Hýsek, Petra Hýsková, Fakulta lesnická a dřevařská, ČZU v Praze;  
Rostislav Habán, Xylo Engineering CZ, s.r.o.

Recyklace dřeva, zejména pak v podobě vícestupňového kaskádového využívání dřeva, může významně napomoci řešení nemilosrdného odhadu, podle něhož bude v roce 2030 chybět v Evropské unii přes 300 milionů m<sup>3</sup> dřeva. Tak vysoký deficit bude způsoben zejména díky rostoucímu využívání surového dřeva pro energetické účely.

**T**ento článek si klade za cíl čtenáři představit poměrně jednoduché řešení, které je v některých evropských zemích již v praxi využíváno. V České republice je pak prozatím pouze ve fázi snahy několika jednotlivých subjektů je aplikovat, bez širšího povědomí společnosti.

Ideální, ale zároveň i reálně proveditelná kaskáda, může být čtyřstupňová (obrázek 1), kdy surové dřevo není ihned spalováno, ale je použito nejprve pro výrobu konstrukcí z masivního dřeva, např. krovů, nábytku či palet. Po skončení základní životnosti výrobků z masivního dřeva jsou tyto výrobky dezintegrovány a jsou z nich vyrobeny třískové desky (dřevotřískové desky, OSB desky). Z těchto třískových desek mohou být následně dále vyrobeny hodnotné chemické produkty (papír nebo celulóza). Až jako poslední, tedy čtvrtý stupeň, lze zařadit energetické využití vysloužilých produktů. Přičemž samozřejmě i popel z tohoto spalování lze také využít, a to jako přísadu do stavebních materiálů.

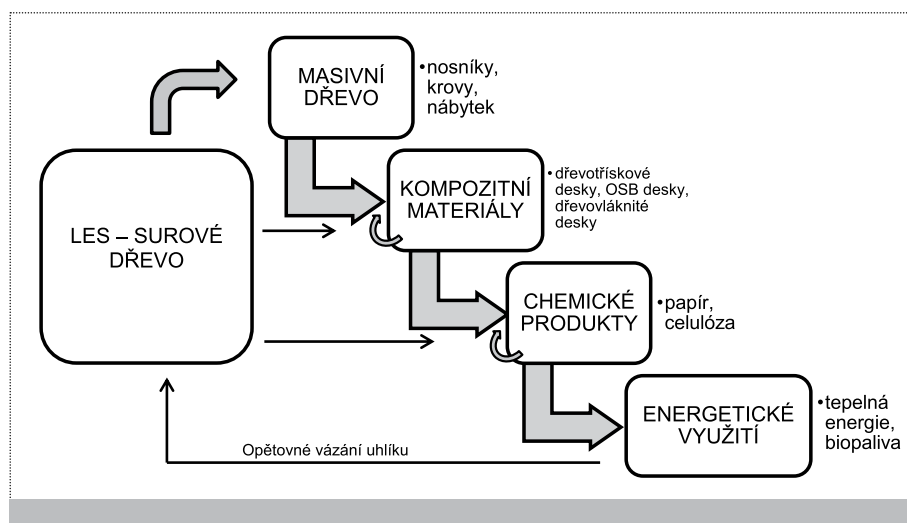
V celé kaskádě existuje i několik přemostění směřujících tok surového dřeva přímo na druhý nebo třetí stupeň kaskády. Z důvodu nedostatečného disponibilního množství recyklovaného dřeva nebo pro zajištění kvality výrobků na druhém a třetím stupni (výroba třískových desek a výroba chemických produktů) je možné částečně uspokojovat poptávku po surovině přímo surovým dřevem. Rozhodně však není nutné tok surového dřeva vést přímo k energetickému využití, bez předchozího využití ve vyšších stupních kaskády.

Druhým typem přemostění je využití vedlejších produktů z pilařského zpracování surového dřeva na prvním stupni kaskády (štěpka, piliny) přímo při výrobě materiálů na bázi dřeva nebo chemických produktů (papír, celulóza). Na obrázku 1 můžeme rovněž identifikovat existenci zpětnovazebných smyček. Tyto smyčky se uplatňují na druhém a třetím stupni, kdy lze úspěšně recyklovat a k výrobě toho samého produktu použít již vysloužilé produkty z těchto stupňů (kompozitní materiály na bázi dřeva, papír).

Celý systém samozřejmě předpokládá důsledné třídění výrobků ze dřeva a z materiálů na bázi dřeva. Právě zde je však v České republice slabé místo. Této skutečnosti si je vědom i zákonodárce, a to jak na úrovni vnitrostátní, tak i evropské. Zásadní ustanovení, které je v této souvislosti nutno brát v potaz, je

ustanovení § 21 odst. 7 zákona o odpadech ve znění účinném od roku 2020, které mimo jiné určuje, že je zakázáno na skládky ukládat recyklovatelný a využitelný odpad. Tento ambiciózní plán byla Česká republika připravena splnit, ale vzhledem k posunu tohoto cíle v rámci celé EU (směrnici 2018/850/EU) byla účinnost tohoto zákazu posunuta až na rok 2030. Je tak zřejmé, že jakási aktivita je v souvislosti s tímto nedostatkem vyvíjena, ale její účinnost nastane nejdříve v roce 2030.

Do té doby je samozřejmě možné dřevo dále využívat tak, jak se tomu již několik let děje jak v Belgii, kde se materiálově zpracovává několikanásobně více recyklovaného dřeva, než dřeva surového, tak například v Německu, kde recyklaci dřeva upravuje speciální právní předpis. Je jistě zajímavé, že od roku



Obrázek 1: Kaskádové využití dřeva (přepřacováno dle Thonemann a Schumann 2018).



2003 se v Německu dřevní odpad neukládá na skládky. Není tak nutné čekat na stanovení zákazu novým zákonem a je možné jednat ihned. Ostatně i v České republice jsme podobné snahy již zaznamenali.

Průkopníkem ve využívání recyklovaného dřeva a největším zpracovatelem této suroviny v České republice je společnost Kronospan CR, spol. s r.o. Tento výrobce kompozitních materiálů na bázi dřeva již využívá recyklované dřevo při výrobě dřevotřískových desek, a to v hmotnostním podílu až 50%. V současné době připravuje výrobu OSB desek rovněž až s polovičním podílem dřevního recyklátu v celé desce.

Společnost tak nachází pro tento materiál uplatnění, avšak i přes maximální snahu získávat dřevo ze sběrných dvorů, není schopna svoji poptávku po recyklovaném dřevě v České republice uspokojit a je nucena v posledních letech dovážet ze zahraničí, zejména z Německa, více než 50% potřebného dřevního recyklátu. A to i přes to, že ze sběrného dvora je možné dodat jakýkoli tvar, velikost, povrchovou úpravu nebo stáří již jednou použitého produktu ze dřeva, protože společnost Kronospan CR, spol. s r.o. je schopna tento materiál zpracovat do stavu, který umožňuje další použití.

Opětovné využití dřeva, které pochází z různorodých výrobků s velmi odlišnými tvary, úpravami, ale i odlišnými příměsi či komponenty z jiných materiálů, se může zdát technologicky komplikované a náročné. Není tomu ale tak, neboť tyto technologické výzvy jsou již při výrobě kompozitních materiálů z recyklovaného dřeva zdárně vyřešeny. Ve zmiňované nové plánované výrobní lince OSB desek z recyklovaného dřeva, detailně popsané ve vypracované studii vlivu na životní prostředí (EIA), je vstupní materiál nejrůznějšího původu (obrázek 2) nejprve rozštěpkován drtičem.

Recyklátová štěpka je následně tříděna dle velikosti a vzniklá drobná frakce je využita při výrobě dřevotřískových desek. Frakce vhodná pro výrobu OSB desek je dopravována do sila, které zabezpečí rovnoměrné dávkování do třídícího zařízení. Třídící zařízení skládající se především ze separátorů magnetických a nemagnetických kovů a minerálních příměsí je v plánované lince zařazeno z důvodu nutnosti čištění recyklátové štěpky.

Magnetický separátor odloučí magne-



**Obrázek 2:** Recyklované dřevo pocházející z různorodých výrobků.

tické kovy, zejména železo, a to za použití jednoduchého principu vsazeného magnetu, díky kterému dojde k zachycení těchto nežádoucích částic. Recyklát postupuje dále do separátoru nemagnetických kovů, který pracuje na principu různého působení vířivých proudů. Kinetický separátor těžkých částic (zejména kameny a sklo) využívá principu gravitace, kdy těžší částice vypadávají na pás a lehké částice jsou unášeny proudem vzduchu. Pro vytěžení veškeré dřevní složky z recyklátu je plánována finální vodní pračka, určená pro přetřídění těžkých frakcí vytríděných v kinetickém separátoru, která zajistí, že zbytky lehké dřevní frakce vyplavou na hladinu a mohou být zachyceny.

Štěpka z recyklátového dřeva může být dále roztrískována pomocí stávajících nožových roztrískovačů speciálně upravených pro výrobu plošných třísek pro výrobu OSB desek. Získané třísky mohou být dopravovány soustavou stávajících dopravníků do stávajícího sila mokřých třísek před sušárnu plochých třísek. V tomto technologickém kroku není rozdíl mezi výrobou OSB desek ze surového dřeva a z recyklovaného dřeva. Ploché třísky budou dále dávkovány do sušáren, kde následuje proces sušení a třídění třísek.

Ploché třísky se třídí dle rozměrů. Na třísky z recyklovaného dřeva vhodné

pro využití ve středové vrstvě OSB desek je následně nanášeno lepidlo v nové válcové nanášečce lepidla. Stejný typ nanášečky je využíván při výrobě dřevotřískových desek. Je plánováno použití stejného lepidla jako v bubnových nanášečkách (polyuretanová lepidla).

Na další technologické operace při výrobě OSB desek nemá využití recyklovaného dřeva vliv. Lisování v kontinuálním lisu, zušlechťovací operace (broušení povrchu desek, profilování hran), skladování a další operace zůstávají beze změny.

Je nutné podotknout rovněž jeden důležitý fakt, který plyne z provedené studie EIA. Změnou oproti stávající výrobní lince OSB desek je skutečnost, že veškerá manipulace s recyklovaným dřevem, vyjma skladování, má probíhat v uzavřené budově. Realizací tohoto záměru tedy dojde k výraznému snížení emisí prachových částic a hluku z této části provozu.

Výzkumem a vývojem materiálového využití tohoto materiálu s vysokým potenciálem se zabývá výzkumný tým z Fakulty lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity v Praze. Laboratoře FLD v Dřevařském pavilonu a v nově postaveném High-tech pavilonu jsou vybaveny nejmodernějšími přístroji pro analýzu dřevního recyklátu, výrobu materiálů z dřevního recyklátu a pro hodnocení vlastností vyrobených kompozitních materiálů.

Jedná se o široké spektrum analýz, které může fakulta nabídnout firmám pracujícím s recyklovaným dřevem. Pracovníci fakulty jsou však aktivní i v základním výzkumu recyklovaného dřeva a výrobků z něj. V roce 2020 se mimo jiné plánuje publikace odborné monografie se zaměřením na materiálové využití recyklovaného dřeva v České republice.

V oblasti zájmu vědců z Katedry zpracování dřeva a biomateriálů zdaleka není pouze dřevo a recyklované dřevo, pracovníci katedry řeší i výzkumné projekty nebo zakázkové výzkumy týkající se využití recyklovaných anorganických materiálů, plastů či posklizňových zbytků zemědělských plodin.

Tento vývoj je samozřejmě náročný na přístrojové vybavení, ale díky široké moderní infrastruktuře ve dvou výzkumných a vývojových pavilonech FLD jsou zajištěny všechny potřebné analýzy, prováděné dle standardizovaných i dle nově vyvíjených metod. □

6. HÝSEK, Š., BÖHM, M., a **GAJDAČOVÁ, P.** 2017, Zapsaný užitný vzor: Tepelně izolační materiál a lisovaná izolační deska jej obsahující – UV 2017-34117, č. 31238

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 31 238

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

**E04B 1/80**

(2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2017-34117**  
(22) Přihlášeno: **18.09.2017**  
(47) Zapsáno: **27.11.2017**

- (73) Majitel:  
Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha 6,  
Suchdol, CZ
- (72) Původce:  
Ing. et Ing. Štěpán Hýsek, Velké Hamry, CZ  
doc. Ing. Martin Böhml, Ph.D., Praha 6, Suchdol,  
CZ  
Mgr. Petra Gajdačová, Jablonec nad Nisou, CZ
- (74) Zástupce:  
INVENTIA s.r.o., RNDr. Kateřina Hartvichová, Na  
bělidle 64/3, 150 00 Praha 5, Smíchov

- (54) Název užitého vzoru:  
**Tepelně izolační materiál a lisovaná izolační  
deska jej obsahující**

**CZ 31238 U1**

## **Tepelně izolační materiál a lisovaná izolační deska jej obsahující**

### Oblast techniky

Předkládané technické řešení se týká tepelně izolačního materiálu z plev obilovin, recyklované polyuretanové pěny a z polyuretanového lepidla. Řešení se dále týká lisované izolační desky, obsahující tento materiál. V polyuretanovém lepidle je jako plnivo využita recyklovaná polyuretanová pěna (tvrdá nebo měkká) v podobě prášku. Lisovaná izolační deska je vyrobena lisováním a je určena k využití jako tepelná izolace.

### Dosavadní stav techniky

Plevy obilovin se v současnosti využívají pro výrobu biopaliv nebo jako tuhé palivo. Tento materiál má i dobré tepelně-izolační vlastnosti a v minulosti byl používán v rodinných domech jako tepelná izolace, kterou byly vysypány stěny či stropy.

V současnosti se jako tepelná izolace ve stavebnictví používají desky z pěnových či vláknitých materiálů, jak z organických, tak anorganických látek. Využívají se i přírodní materiály jako celulóza nebo sláma, konopí či ovčí vlna. Požadavek na vlastnosti těchto izolačních desek jsou tepelně-izolační vlastnosti a soudržnost materiálu. Soudržnost materiálu, charakterizovaná především pevností v tahu kolmo k rovině desky, je důležitá při montáži desek a pro frézování drážek. Pevnost a pružnost desek je důležitá, pokud jsou izolační desky využity jako desky obkladové.

Pro tepelné izolace se již používají recyklované materiály - recyklovaný papír (foukaná izolace), pěnový polystyren obsahující recyklát, recyklované sklo, recyklovaná minerální vlna a recyklovaný textil. Desky z těchto materiálů však postrádají pružnost. Pokud desky obsahují vyšší obsah kovů či plastů, jako například v případě recyklovaných nápojových kartonů polyetylen a hliník, tak dosahují vyšší pružnosti, avšak zvyšuje se jejich hustota a snižují se tepelně izolační vlastnosti.

### Podstata technického řešení

Předkládané technické řešení se týká tepelně izolačního materiálu a lisované izolační desky z tohoto materiálu. Tepelně izolační materiál je na bázi recyklované polyuretanové pěny (ve formě částic měkké či tvrdé polyuretanové pěny), plev obilovin (tedy odpadního materiálu při čištění zrna obilí) a polyuretanového lepidla, které jako plnivo obsahuje například prach z tvrdé nebo měkké polyuretanové pěny. Recyklovaná polyuretanová pěna se využívá pro výrobu pojených polyuretanových pěn, které se využívají především jako jádra matrací. Tepelně izolační materiál podle předkládaného technického řešení je až z 85 % tvořen odpadními materiály (plevy obilovin a recyklovaná polyuretanová pěna), jeho výroba a použití je tedy velmi ekologické. Současně má materiál a z něj vyrobená lisovaná izolační deska velmi dobré izolační vlastnosti, a zároveň oproti jiným izolačním materiálům se vyznačuje vysokou pružností, soudržností a pevností. Plnivy polyuretanového lepidla lze navíc zvyšovat odolnost desky proti vysokým teplotám.

Předmětem předkládaného technického řešení je tepelně izolační materiál, který obsahuje 5 až 70 % hmotn. plev obilovin, 5 až 70 % hmotn. polyuretanové pěny a 15 až 45 % hmotn. polyuretanového lepidla, přičemž polyuretanové lepidlo obsahuje 1 až 20 % hmotn. práškového organického a/nebo anorganického plniva, přičemž organické plnivo je vybrané ze skupiny obsahující polyuretan a polymočovinu a anorganické plnivo je vybrané ze skupiny zahrnující kalcit (uhličitan vápenatý), křemík, kaolin, křídou, saze, oxid hlinitý. Velikost částic práškového plniva je s výhodou v rozmezí od 10 do 200  $\mu\text{m}$ . S výhodou je plnivem polyuretanová pěna ve formě prášku. Polyuretanovým lepidlem se rozumí jednosložková polyuretanová lepidla vytvrzující vlhkostí a/nebo dvousložková polyuretanová lepidla.

Ve výhodném provedení má polyuretanová pěna velikosti částic s průměrem v rozmezí od 2 do 15 mm, s výhodou od 4 do 9 mm.

V jednom provedení je polyuretanovou pěnou měkká nebo tvrdá polyuretanová pěna, přičemž měkká polyuretanová pěna má měrnou hmotnost v rozmezí od 7 do 35 kg.m<sup>-3</sup>, a tvrdá polyuretanová pěna má měrnou hmotnost v rozmezí od 35 do 50 kg.m<sup>-3</sup>, zejména je polyuretanovou pěnou recyklovaná polyuretanová pěna pro výrobu spojených polyuretanových pěn pro jádra matrací.

- 5 V jednom provedení tepelně izolačního materiálu podle předkládaného technického řešení jsou plevy obilovin pšeničné, žitné, ječné a/nebo ovesné plevy a/nebo plevy kříženců těchto obilovin.

Předmětem předkládaného technického řešení je rovněž lisovaná izolační deska, která je vytvořena z tepelně izolačního materiálu podle předkládaného technického řešení.

- 10 Ve výhodném provedení je měrná hmotnost lisované izolační desky podle předkládaného technického řešení v rozmezí od 40 do 240 kg.m<sup>-3</sup>.

Ve výhodném provedení je tloušťka lisované izolační desky podle předkládaného technického řešení v rozmezí od 20 do 200 mm.

#### Příklady technického řešení

- 15 Následující příklady provedení technického řešení slouží k jeho objasnění, aniž by jimi bylo technické řešení jakkoliv omezeno.

Příklad 1: Složení lisované izolační desky ve svislých obvodových konstrukcích

- |  |                   |
|--|-------------------|
| - Zastoupení recyklovaných částic polyuretanové pěny v desce | 60 % hmotnostních |
| - Zastoupení obilných plev v desce                           | 10 % hmotnostních |
| - Zastoupení polyuretanového lepidla v desce                 | 30 % hmotnostních |
| 20 - Zastoupení práškového plniva v lepidle                  | 10 % hmotnostních |

Příklad 2: Složení lisované izolační desky jako výplňové izolace ve svislých obvodových konstrukcích a ve střeších

- |  |                     |
|--|---------------------|
| - Zastoupení recyklovaných částic polyuretanové pěny v desce | 37,5 % hmotnostních |
| - Zastoupení obilných plev v desce                           | 37,5 % hmotnostních |
| 25 - Zastoupení polyuretanového lepidla v desce              | 25 % hmotnostních   |
| - Zastoupení práškového plniva v lepidle                     | 5 % hmotnostních    |

Příklad 3: Složení lisované izolační desky jako obkladové desky ve svislých obvodových konstrukcích

- |  |                   |
|--|-------------------|
| - Zastoupení recyklovaných částic polyuretanové pěny v desce | 5 % hmotnostních  |
| 30 - Zastoupení obilných plev v desce                        | 55 % hmotnostních |
| - Zastoupení polyuretanového lepidla v desce                 | 40 % hmotnostních |
| - Zastoupení práškového plniva v lepidle                     | 15 % hmotnostních |

Příklad 4: Složení lisované izolační desky pro použití jako tepelné izolace ve střepech

- |  |                   |
|--|-------------------|
| - Zastoupení recyklovaných částic polyuretanové pěny v desce | 15 % hmotnostních |
| 35 - Zastoupení obilných plev v desce                        | 70 % hmotnostních |
| - Zastoupení polyuretanového lepidla v desce                 | 15 % hmotnostních |
| - Zastoupení práškového plniva v lepidle                     | 2 % hmotnostních  |

V Příkladech 1 až 4 bylo jako práškové plnivo použito polyuretanového prachu.

Příklad 5: Příklad výroby izolačního materiálu uvedeného v Příkladu 2

- 40 Byla vyrobena izolační deska o měrné hmotnosti 140 kg.m<sup>-3</sup> a rozměrech 400x400x30 mm. Bylo odváženo 252 g recyklovaných polyuretanových částic a 277,2 g pšeničných plev naklimatizova-

ných na 10% absolutní vlhkosti, tzn., obsahovaly 252 g sušiny. Částice byly promíchány. Dále bylo připraveno lepidlo, bylo odváženo 159,6 g jednosložkového polyuretanového lepidla vytvrzujícího vlhkostí a bylo do něj vmícháno 8,4 g prášku z měkké polyuretanové pěny. Za stálého míchání byla takto připravená lepicí směs vmíchávána do částic recyklovaného polyuretanu a plev. Částice s naneseným lepidlem byly rovnoměrně navrstveny do formy a byly lisovány po dobu 60 min při tlaku 3 kPa. Plošným lisováním materiálu připraveného uvedeným postupem a dle uvedených poměrů lze vyrobit desku i větších plošných rozměrů, např. 2800x1200 mm. Naměřený součinitel tepelné vodivosti této vyrobené desky byl roven hodnotě 0,06 W/m.K, což je výrazně méně v porovnání s deskou vyrobenou z recyklovaných odpadních vrstevnatých potravinářských obalů, která rovněž disponuje vysokou pružností, avšak její součinitel tepelné vodivosti je 0,18 W/m. K. Vyrobená deska disponovala vysokou pružností, modul pružnosti v ohybu byl 217 kPa a koeficient ohýbatelnosti 0,042.

#### Průmyslová využitelnost

Předkládané technické řešení obsahuje až 85 % odpadních materiálů (plevy obilovin a recyklovaná polyuretanová pěna) a lze je využít pro izolace staveb v podobě výplňové či obkladové izolace.

## NÁROKY NA OCHRANU

1. Tepelně izolační materiál, **vyznačený tím**, že obsahuje 5 až 70 % hmotn. plev obilovin, 5 až 70 % hmotn. polyuretanové pěny a 15 až 45 % hmotn. polyuretanového lepidla, přičemž polyuretanové lepidlo obsahuje 1 až 20 % hmotn. organického a/nebo anorganického plniva, přičemž organické plnivo je vybráno ze skupiny obsahující polyuretan a polymočovinu a anorganické plnivo je vybráno ze skupiny zahrnující kalcit, křemík, kaolin, křídou, saze, oxid hlinitý.
2. Tepelně izolační materiál podle nároku 1, **vyznačený tím**, že polyuretanová pěna má velikosti částic s průměrem v rozmezí od 2 do 15 mm, s výhodou od 4 do 9 mm.
3. Tepelně izolační materiál podle nároku 1 nebo 2, **vyznačený tím**, že polyuretanovou pěnou je měkká nebo tvrdá polyuretanová pěna, přičemž měkká polyuretanová pěna má měrnou hmotnost v rozmezí od 7 do 35 kg.m<sup>-3</sup>, a tvrdá polyuretanová pěna má měrnou hmotnost v rozmezí od 35 do 50 kg.m<sup>-3</sup>, zejména je polyuretanovou pěnou recyklovaná polyuretanová pěna pro výrobu pojených polyuretanových pěn pro jádra matrací.
4. Tepelně izolační materiál podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačený tím**, že plevy obilovin jsou pšeničné, žitné, ječné a/nebo ovesné plevy a/nebo plevy kříženců těchto obilovin.
5. Lisovaná izolační deska, **vyznačená tím**, že je vytvořena z tepelně izolačního materiálu podle kteréhokoliv z předchozích nároků 1 až 4.
6. Lisovaná izolační deska podle nároku 5, **vyznačená tím**, že její měrná hmotnost je v rozmezí od 40 do 240 kg.m<sup>-3</sup>.
7. Lisovaná izolační deska podle nároku 5 nebo 6, **vyznačená tím**, že její tloušťka je v rozmezí od 20 do 200 mm.

---

Konec dokumentu

---