



Analýza porúch lisovacích nástrojov pri briketovaní biomasy

*Miloš MATUŠ^{*1}, Peter Križan¹, Jozef Bábics¹*

¹ Slovenská technická univerzita v Bratislave, Strojnícka fakulta, Námestie slobody 17, 81231 Bratislava, Slovenská republika

* **Email:** milos.matus@stuba.sk

Biomasa ako zdroj energie je dôležitou súčasťou energetického mixu a celosvetové nároky na využívanie obnoviteľných zdrojov energie vedú k masívnemu rozvoju technológií na jej úpravu do formy tuhých ušľachtilých biopalív. Príspevok sa venuje technológii briketovania biomasy so zameraním na lisovacie nástroje briketovacích strojov. Lisovacie nástroje zhutňovacích strojov sú výkonným jadrom celej technologickej linky na produkciu tuhých biopalív. Cieľom príspevku je podrobná analýza najčastejších príčin porúch briketovacích nástrojov. Poruchy môžu byť príčinou nekvalitnej produkcie, ale aj nezvratnou haváriou celého zhutňovacieho stroja a výrobnéj linky. Skúmanie príčin opotrebenia či poruchy nástroja a zlepšovanie podmienok prevádzky má zásadný vplyv na výkon a kvalitu výroby, a zároveň na zníženie spotreby energie a výrobných nákladov. Publikované informácie majú veľký praktický význam pre rozvoj technológie briketovania a pre posun pri konštrukčnom návrhu lisovacích nástrojov.

Kľúčové slová: biomasa, briketovanie, lisovacie nástroje, briketovacie nástroje, opotrebenie, poruchy nástrojov

1 Úvod

V dobe hľadania nových energetických zdrojov vo svete sa nastoľuje otázka možností a metód efektívneho využívania biomasy ako najvýznamnejšieho obnoviteľného zdroja energie. Využívanie biomasy by mohlo byť odpoveďou na túto otázku, avšak sofistikovanejšie riešenie ponúka transformácia odpadu z biomasy do ušľachtilých foriem biopalív s vyššou energetickou hustotou, vyšším komfortom využívania, prepravy a manipulácie. Biomasa predstavuje najperspektívnejší obnoviteľný zdroj energie s najefektívnejšími možnosťami skladovania tejto energie.

Tuhé ušľachtilé biopalivá môžu byť konkurencieschopné fosílnym palivám iba za predpokladu, že sú vysokokvalitné a produkované s nízkymi prevádzkovými nákladmi. Existujúce technológie zhutňovania biomasy do formy tuhých biopalív umožňujú produkciu vysokej kvality, avšak znižovanie prevádzkových nákladov je omnoho zložitejšie.

Konštrukcia zhutňovacieho stroja musí zaručiť požadované optimálne prevádzkové parametre, čomu predchádza výskum. Autori vo vedeckých prácach [1,2,3,4] uvádzajú výsledky rozsiahleho výskumu konštrukcie lisovacej komory briketovacieho stroja. Štúdie [5,6] sa venujú teórii návrhu efektívnej geometrie závitoviek v briketovacom lise. Výskumu a vývoju efektívnych konštrukcií briketovacích strojov sa venujú práce [7,8,9,10,11]. Podrobne opisujú



jednotlivé konštrukcie strojov, venujú sa experimentom lisovania a optimalizácii konštrukčných parametrov.

Lisovacie nástroje zhutňovacích strojov sú výkonným jadrom celej technologickej linky na produkciu tuhých biopalív. Od ich konštrukcie, materiálu, geometrie, povrchovej úpravy či chemicko-tepelného spracovania, správnosti a presnosti montáže, a v neposlednom rade aj odolnosti proti opotrebeniu závisí nielen samotná funkčnosť zhutňovacích strojov, ale predovšetkým kvality produkcie a ekonomika celej technológie. Jeden nesprávne zvolený parameter lisovacích nástrojov môže byť príčinou nekvalitnej produkcie, ale aj nezvratnou haváriou celého zhutňovacieho stroja. Preto je nevyhnutné k návrhom lisovacích nástrojov a ich jednotlivým parametrom pristupovať s maximálnou zodpovednosťou, čoho predpokladom musí byť znalosť celého procesu lisovania biomasy a vplyv každého parametra lisovacích nástrojov.

Briketovacie lisovacie nástroje sú vystavené podobným prevádzkovým podmienkam: vysoký lisovací tlak, relatívne vysoká teplota, vysoký stupeň abrázie lisovaným materiálom, priamy vplyv vlhkosti a väčší či menší vplyv rázov (v závislosti od princípu práce zhutňovacieho stroja).

Predkladaný príspevok sa venuje problematike briketovania biomasy a podrobne analyzuje príčiny a dopady porúch jednotlivých typov briketovacích nástrojov. Uvedené poznatky vychádzajú z osobných skúseností autorov ako konštruktérov briketovacích strojov a nástrojov.

2 Briketovanie biomasy

Briketovanie je najrozšírenejšia technológia zhutňovania odpadov. Vplyvom vysokotlakového lisovania sa materiály zhutňujú do kompaktných tvarov (brikiet) bez pridávania spojiva. Pri briketovaní biomasy sa pôsobením tlaku a teploty uvoľňuje z bunkových štruktúr materiálu lignín, ktorý spojí sypký materiál do kompaktného celku.

Pri technológii briketovania v jednom časovom okamihu vzniká jediný výlisok - briketa rôzneho tvaru (valec, hranol, s dierou, bez diery, atď). Tvar brikiet súvisí s použitým princípom briketovacieho stroja. Nekonečná valcová briketa býva zväčša produktom lisovania na kľukových alebo kolenopákových lisoch. Briketa sa po výstupe z chladiaceho kanála delí na požadovanú dĺžku. Závitkové briketovacie lisy produkujú nekonečnú briketu, spravidla kruhového alebo n-uholníkového prierezu. N-uholníkový prierez zamedzuje otáčaniu sa vznikajúcej brikety v lisovacej hubici spolu s lisovacou závitkou. Tvary výliskov pri hydraulických lisoch sú prevažne kváder alebo valec.

Brikety z biomasy, ako forma tuhého biopaliva, nie sú vhodné vzhľadom na ich rozmernosť pre systémy automatizovaného spaľovania v malých spaľovacích zariadeniach. Z pohľadu paliva však majú brikety viaceré prednosti. Pomerne ľahko zahorievajú a spomedzi všetkých produktov zhutňovania horia najpomalšie, ustáleným a plynulým plameňom. Brikety v porovnaní s peletami majú nízky pomer povrchu k objemu, preto je aj opotrebovanie funkčných častí produkčného stroja vzťahované na jednotku produkcie nižšie. Pri briketovaní existuje najdlhšia fáza výdrže výlisku pod tlakom, čo priaznivo vplýva na dosahovanú hustotu výliskov z organických odpadov. Táto technológia zhutňovania je menej náročná na úpravu vstupnej suroviny. Charakterizuje ju tiež najnižšia investičná a energetická náročnosť na jednotkové množstvo zhutneného materiálu.



3 Analýza porúch briketovacích nástrojov

3.1 Požiadavky na lisovacie nástroje vychádzajúce z mechanizmu zhutňovania

Lisovacie nástroje sú vystavené podobným prevádzkovým podmienkam: vysoký lisovací tlak, relatívne vysoká teplota, vysoký stupeň abrázie lisovaným materiálom, priamy vplyv vlhkosti a väčší či menší vplyv rázov (v závislosti od princípu práce zhutňovacieho stroja). Preto je nevyhnutné zohľadniť všetky parametre procesu a tiež geometrické požiadavky pri ich návrhu.

V procese zhutňovania dochádza k lisovaniu organických a anorganických materiálov pomocou mechanizmu zhutňovania a pretláčania materiálov v lisovacom priestore stroja. To znamená, že lisovací nástroj prichádza do kontaktu s lisovaným materiálom, ale aj s niektorými časťami lisovacieho priestoru.

V praxi procesu zhutňovania do kompaktných celkov sa stretávame s požiadavkou zhutňovať rôzne druhy materiálov. Podľa typu vzájomného pohybu sústavy „nástroj – lisovaný materiál“ sa väčšinou v procese uplatňuje klzné trenie, ktoré je výsledkom vzájomného posuvu dvoch povrchov. Svojimi účinkami sa prejavuje vo forme trecej sily, treceho momentu a mechanickej trecej energie. Spotrebovaná energia sa pri trecom procese transformuje do tepla, deformačných procesov, opotrebenia (tvorby nových povrchov), štruktúrnych zmien, chemických reakcií a emisií produktov opotrebenia. Je známe, že procesy trenia a opotrebovania povrchov trecích dvojíc môžu byť účinne eliminované ich oddelením vrstvou maziva s vhodnými šmykovými vlastnosťami, ktorá bráni ich vzájomnému kontaktu počas ich klzného pohybu. Avšak pri procese zhutňovania biologicky čistých materiálov primárne využívaných na energetické zhodnocovanie, nie je povolené používať štandardné priemyselné mazadlá. Pre zmiernenie trecích podmienok môžu byť do procesu pridávané len určité typy biologických aditív (napr. škrob). Keďže množstvo aditív je limitované normami pre tuhé biopalivá, je potrebné zaoberať sa otázkou zmiernenia trecích podmienok výberom vhodného materiálu lisovacích nástrojov vzhľadom na vlastnosti lisovaného materiálu.

Z rozkladu pôsobiacich síl v lisovacom priestore zhutňovacieho stroja je zrejmé, že trecia sila resp. súčiniteľ väzbového trenia medzi lisovacím nástrojom a lisovaným materiálom sú parametre, ktoré výrazne ovplyvňujú opotrebovanie lisovacích nástrojov a tiež ich možné poškodenie. Rozdielny súčiniteľ väzbového trenia môže byť v procese zhutňovania spôsobený jednak rozdielnou štruktúrou opracovaných plôch, ale aj opotrebovaných plôch lisovacieho nástroja, ako aj lisovaným druhom materiálu a jeho štruktúrou.

Aj na základe výsledkov experimentov publikovaných v [12,13,14,15] platí, že čím je vyššia hodnota súčiniteľa šmykového trenia, tým je vyšší aj axiálny tlak pôsobiaci na zlisovanú zátku. Tiež sa výrazne menia aj silové účinky na lisovacie nástroje, vplyvom súčiniteľa trenia a tlakovými pomermi v lisovacej komore. Zväčšovaním súčiniteľa trenia rastie nelineárne aj axiálny tlak na zátku, ktorý priamo súvisí s výslednou kvalitou výliskov. Kvalita je zväčša hodnotená hustotou a mechanickou odolnosťou výliskov. Teoretické analýzy potvrdili, že závislosť axiálneho tlaku na zátku od súčiniteľa väzbového trenia má exponenciálny charakter a preto je potrebné zaoberať sa vplyvom tohto parametra na proces lisovania.

Aby sa minimalizovalo opotrebovanie, a tým aj možnosť deštrukcie lisovacích nástrojov, je nutné návrh materiálu lisovacieho nástroja vykonať aj s ohľadom na vlastnosti materiálu, ktorý sa bude v lisovacej komore zhutňovať. V opačnom prípade môže dôjsť k zrýchlenej degradácii úžitkových vlastností lisovacích nástrojov vplyvom pôsobiacich trecích podmienok.



3.2 Příčiny vzniku porúch briketovacích nástrojov

Dôležitým predpokladom pre konštrukciu a optimalizáciu lisovacích nástrojov z pohľadu opotrebovania a porúch je analýza ich príčin. Poruchy lisovacích nástrojov môžu byť rôzneho charakteru a ich vznik môže mať rôzne príčiny [15]:

1. príčiny porúch vyplývajúce z konštrukčného riešenia,
2. príčiny porúch vyplývajúce z výrobného a montážneho procesu,
3. príčiny porúch vyplývajúce z technológie zhutňovania a prevádzky technológie.

Poruchám nástrojov vyplývajúcich z konštrukčného riešenia možno predchádzať správnym dimenzovaním funkčných častí, návrhom správnej geometrie lisovacích nástrojov, voľbou vhodných materiálov nástrojov a ich správnym tepelným, chemicko-tepelným spracovaním, či povlakovaním. To je však možné len za predpokladu, že konštruktér dokonale pozná deje pôsobiace na nástroje v procese lisovania biomasy.

Častokrát je možné sa stretnúť v prevádzke s problémami spôsobenými opotrebovanými lisovacími nástrojmi resp. ich deštrukciou vplyvom nesprávne dimenzovaných konštrukčných uzlov a samotných nástrojov. Nie je ničím neobvyklým nesprávne zvolený rozmer lisovacích nástrojov alebo iných súčiastok zhutňovacieho stroja. Výsledná kontrola chybu neodhalí, súčiastka sa vyrobí, stroj sa zmontuje, ale až počas prevádzky lisu môže nastať problém. Často sa problém výrazne preukáže až po niekoľkodňovej prevádzke, kde vplyvom cyklického dynamického zaťažovania stroja a neodhalenej chyby pri návrhu dochádza k opotrebovaniu nástroja a následnej postupnej deštrukcii alebo k rýchlej deštrukcii. Chyby pri konštrukčných návrhoch sa môžu týkať aj súčiastok, ktoré sa priamo nepodieľajú na zhutňovaní materiálu. Napríklad nesprávne navrhnuté žliabky, na súčiastke, ktorá vedie lisovací nástroj, nesprávne navrhnuté technologické zápichy na kľukovom hriadeľi briketovacieho lisu, atď.

Chemické zloženie materiálu lisovacieho nástroja, ako aj jeho tvrdosť sú dôležité faktory pre životnosť lisovacieho nástroja. Príliš vysoká tvrdosť však zvyšuje narušovanie celistvosti povrchu nástroja. Nebezpečenstvo vydrolovania, vyštipovania a praskania nástroja si preto vyžaduje aj určitú ťažnosť a húževnatosť. Rovnako aj nesprávna voľba postupov tepelného, či chemicko-tepelného spracovania môže mať za následok deštrukciu dôležitých strojných súčiastok a lisovacích nástrojov zhutňovacích strojov.

Na základe vlastných vykonaných analýz autora, vlastných skúseností autora a skúseností prevádzkovateľov technológií zhutňovania, možno príčiny porúch nástrojov vyplývajúce z ich konštrukcie rozdeliť do niekoľkých skupín, avšak väčšinou nastáva porucha kombináciou niekoľkých príčin súčasne alebo následne:

1. nesprávne zvolená geometria lisovacích nástrojov vzhľadom na druh zhutňovaného materiálu a silové a trecie pomery pri jeho lisovaní,
2. nesprávne zvolený materiál nástrojov vzhľadom na druh a vlastnosti zhutňovaného materiálu,
3. nesprávne zvolené tepelné spracovanie nástrojov (piesty, roľne, hubice, matrice, kľuky, atď.); nesprávne zvolené postupy chemicko-tepelného spracovania (cementovanie, nitridovanie, atď.) alebo nanášania vrstiev na povrch nástroja - povlakovanie (naváranie, nástreky, metódy PVD a CVD, elektrolytické vylúčené povlaky a pod.).
4. kombinácia viacerých príčin.



Na obrázkoch 1 a 2 je zobrazený výsledok deformačného poškodenie peletovacej vložky vloženej do briketovacej hubice. Poškodenie nastalo vplyvom nevhodne zvolenej geometrie štíhleho hrotu v kombinácii s použitým materiálom a jeho nevhodným tepelným spracovaním.



Obr. 1 Peletovacej vložka do briketovacej hubice



Obr. 2 Deformačné poškodenie peletovacej vložky vloženej do briketovacej hubice

Na obrázku 3 je evidentné rýchle opotrebenie a zdeformovanie prvého závitov lisovacej závitovky a niekoľkonásobné odlomenie a opätovné navarenie hrotu. Tieto poškodenia vyplývajú z voľby nesprávnej geometrie závitov, čo ovplyvňuje rozklad lisovacích síl pôsobiacich na závitov ako aj z poddimenzovania a nesprávnej geometrie hrotu a voľby použitého materiálu.



Obr. 3 Opatrebenie závitov lisovacej závitovky

Na obrázku 4 je uvedená pracovná časť lisovacieho piesta kľukového briketovacieho lisu - korunka spolu s trňom. V hornej časti je uvedená nová korunka s trňom, v spodnej deštrukcia tohto nástroja. Z analýzy poruchy je zjavné, že príčinou deformácie a lomu hrotu sú mechanické vlastnosti zvoleného materiálu. Porucha korunky nastala pôsobením napätia preneseného z ohybu hrotu a v dôsledku nesprávneho postupu tepelného spracovania jej materiálu, kedy došlo k prekaleniu v celom priereze. Podobné poruchy v dôsledku tepelného spracovania sú viditeľné aj na obrázku 5 a obrázku 6.



Obr. 4 Porucha korunky a trňa piesta kľukového briketovacieho lisu



Obrázok 5: Porucha korunky piesta –únavový lom



Obrázok 6: Porucha korunky piesta – krehký lom

Abrazívne opotrebenie monolitných lisovacích piestov kľukového briketovacieho lisu možno pozorovať na obrázku 7. Príčina tohto rýchleho priebehu opotrebenia je opäť v kombinácii nesprávne zvoleného materiálu a tepelného spracovania povrchu, resp. absencií povlakovania. Na obrázku 8 je uvedené porovnanie kritickej miery abrazívneho opotrebenia korunky skladaného lisovacieho piesta kľukového lisu, kedy je už nevyhnutná jej výmena z dôvodu zastavenia produkcie a nárastu lisovacej sily.



Obr. 7 Abrazívne opotrebenie povrchu monolitných lisovacích piestov

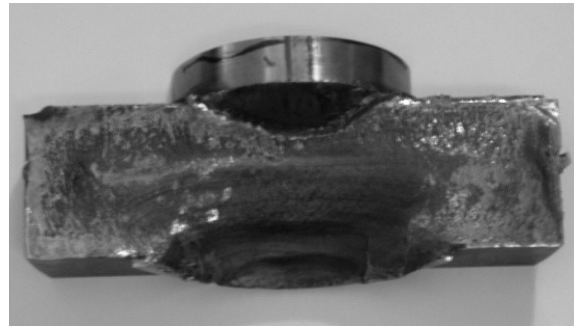


Obr. 8 Porovnanie miery abrazívneho opotrebenia na korunke lisovacieho piesta

Na obrázku 9 a obrázku 10 je znázornený kľukový hriadeľ briketovacieho lisu, ktorý sa zlomil počas prevádzky. K lomu došlo v mieste technologického zápichu, kde bol prierez kľukového hriadeľa vplyvom zápichu ako vrubu oslabený.



Obr. 9 Kľukový hriadel' briketovacieho lisu –
a) nové vyrobené kusy; b) ukážka lomu



Obr. 10 Lom kľukového hriadel'a

Pomerne rýchle opotrebenie funkčných plôch lisovacej hubice závitkového briketovacieho lisu na obrázku 11 bolo spôsobené nesprávnym tepelným, chemicko-tepelným resp. chemickým spracovaním povrchu nástroja.



Obr. 11 Opotrebovaná hubica závitkového briketovacieho lisu

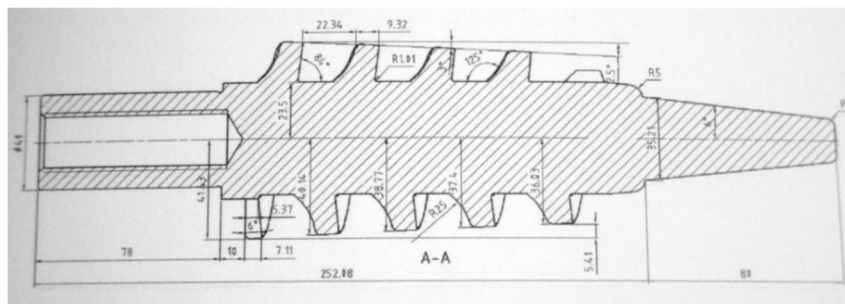
Na poslednom závite lisovacej závitovky (obr. 12) možno pozorovať zmenu geometrie pri kritickom opotrebení. Tento koniec závitovky bol repasovaný tvrdonávarom a na obrázku je uvedené opotrebenie už tvrdonávarovej vrstvy. Napriek kľudnému režimu lisovania bez rázov došlo na povrchu závitovky k popraskaniu návarovej vrstvy a v niektorých miestach až k vylamovaniu návaru. Príčinou je nevhodne zvolený druh tvrdonávaru a jeho spracovanie na odstránenie vnútorných napätí. Správnou voľbou, prevedením a spracovaním tvrdonávarov je možné niekoľkonásobne výrazne predĺžovať životnosť nástroja.



Obr. 12 Opotrebovaný povrch závitovky briketovacieho lisu



Na obrázku 13 je zobrazený výrobný výkres lisovacej závitovky a na obrázku 14 reálny koniec poškodenej závitovky. Vplyvom veľkého trenia trňa v otvore brikety došlo k vysokému namáhaniu trňa na krut. Na výkrese závitovky je viditeľné kritické odľahčené miesto prechodu jadra závitovky do trňa. Pri namáhaní na krut v tomto konštrukčnom mieste došlo ku kritickým hodnotám napätia a následnej deštrukcii nástroja. Z pohľadu na činnú plochu posledného závitu a jeho ostrú hranu možno konštatovať, že voľba materiálu nástroja ako aj jeho tepelného spracovania bola správna. Príčinou poruchy je konštrukčné riešenie.



Obr. 13 Výkres lisovacieho nástroja – lisovacej závitovky



Obr. 14 Opotrebovaný koniec lisovacej závitovky

4 Záver

Analýza najčastejších porúch nástrojov briketovacích strojov, ich príčin a následkov prináša odpovede pri návrhu nových efektívnejších konštrukcií. Skúmanie príčin opotrebenia či poruchy nástroja a zlepšovanie podmienok prevádzky má zásadný vplyv na výkon a kvalitu výroby, a zároveň na zníženie spotreby energie a výrobných nákladov. Cieľom príspevku je poukázať na požiadavky na briketovacie nástroje z pohľadu technologického, materiálového a konštrukčného, aby sa eliminoval vznik porúch. Publikované informácie majú veľký praktický význam pre rozvoj technológie briketovania a pre posun pri konštrukčnom návrhu lisovacích nástrojov.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol za podpory projektu APVV-19-0607 "Optimalizované progresívne tvary a netradičné kompozitné suroviny ušľachtilých biopalív" financovaného Agentúrou pre vedu a výskum.



Použitá literatura

- [1] Križan, P., Vukelić, D. Shape of Pressing Chamber for Wood Biomass Compacting, In *International Journal for Quality research*, Vol. 2, No. 3, 2008, pp. 193-197.
- [2] Križan, P., Matúš, M., Šooš, L. Design of pressing chamber of briquetting machine with horizontal pressing axis, 11th International Scientific Conference, Novy Sad, Serbia, 20.-21.09.2012.
- [3] Križan, P., Matúš, M., Kers, J., Vukelić, D. Change of Pressing Chamber Conicalness at Briquetting Process in Briquetting Machine Pressing Chamber. In *Acta Polytechnica*, Vol. 52, No. 3, 2012, pp. 60-65.
- [4] Križan, P., Matúš, M., Beniak, J., Bábics, J. Shape of the Briquetting Press Tool as an Important Parameter during Solid Biofuels Production. In *International Journal of Research and Scientific Innovation*, Vol. 7, Issue 12, 2020, pp. 148-155.
- [5] Matúš, M., Beniak, J., Križan, P., Šooš, L. Mathematical design theory of screw extruder used for additive manufacturing. In *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, Vol. 5, No. 3, 2020, pp. 59-68.
- [6] Matúš, M., Šooš, L., Križan, P., Beniak, J., Ondruška, J. Design Theory for screw geometry in a briquette press. In *Manufacturing Technology*, Vol. 15, No. 3, 2015, pp. 384-391.
- [7] Jha, P., Yadav, P. Design & fabrication of briquetting machine for saw dust. International Conference on Environment : University Sains Malaysia, Malaysia. 2010.
- [8] Ajieh, M. U., Igboanungo, A. C., Audu, T. O. K. Design of grass briquette machine. In *Nigerian Journal of Technology*, Vol. 35, No. 3, 2016, pp. 527-530, <http://dx.doi.org/10.4314/njt.v35i3.8>
- [9] Kowalski, A., Frankowski, P., Tychoniuk, A. Design of briquetting press – from idea to start of production. 17th International Scientific Conference - Engineering for Rural Development : Jelgava, Latvia. 23.-25.05.2018.
- [10] Stolarski, M. J. et al. Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass. In *Renewable Energy*, Vol. 57, 2013, pp. 20-26, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.01.005>
- [11] Rosin, A., Trommer, D., Schröder, H. W., Repke, J. U. Experimental investigations with a modified briquetting press as feeding system for brown coal into pressurized gasifiers. In *Fuel Processing Technology*, Vol. 132, 2015, pp. 49-54, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.12.038>
- [12] Horrihs, W., 1985. Determining the dimensions of extrusion presses with parallel-wall die channel for the compaction and conveying of bulk solids. *Journal for preparation and processing Aufbereitungs-Technik*, Vol. 12, pp. 724-732.
- [13] Matúš, M., 2015. *Lisovanie biomasy a vplyv geometrie lisovacej komory na kvalitu tuhých biopalív, Dizertačná práca. (Densification of biomass and the effect of pressing chamber geometry on quality of solid biofuels, Dissertation thesis)*, Bratislava : STU v Bratislave, pp. 171.
- [14] Matúš, M. & Kováčová, M., 2018. *Mechanizmus lisovania biomasy s ohľadom na geometriu lisovacej komory (Mechanism of biomass densification with regard to geometry of pressing chamber)*. Bratislava: DolisGOEN, s.r.o.
- [15] Križan, P., Šooš, L., Pokusová, M. & Matúš, M., 2017. *Materiály pre nástroje zhutňovacích strojov. (Materials for tools of densification machines)*. Bratislava: F.X. spol. s.r.o.