

VPLYV ZMENY DĹŽKY LISOVACEJ KOMORY NA TLAKOVÉ POMERY V LISOVACEJ KOMORE A VÝSLEDNÚ KVALITU VÝLISKOV

Peter Križan, Miloš Matúš

Príspevok pojednáva o zhutňovaní materiálu, hlavne biomasy, čo je jedna z možností ako zhodnotiť tento odpad.

Cieľom tohto príspevku je prezentovať ako sú dôležité aj niektoré konštrukčné parametre lisovacej komory briketovacieho stroja v procese zhutňovania. Okrem známych a dokázaných vplyvov technologických parametrov, teda je nutné venovať pozornosť aj konštrukčným parametrom lisovacej komory. V tomto príspevku sa autori zamerali na vplyv zmeny dĺžky lisovacej komory na tlakové pomery v lisovacej komore, ktoré výrazne ovplyvňujú výslednú pevnosť výlisku a teda aj jeho kvalitu. Informácie publikované v tomto príspevku boli získané z vykonaných teoretických analýz, experimentov a skúseností z oblasti zhutňovania biomasy.

Kľúčové slová: biomasa, zhutňovanie, hustota brikety, dĺžka lisovacej komory, konštrukčné parametre lisovacej komory

ÚVOD

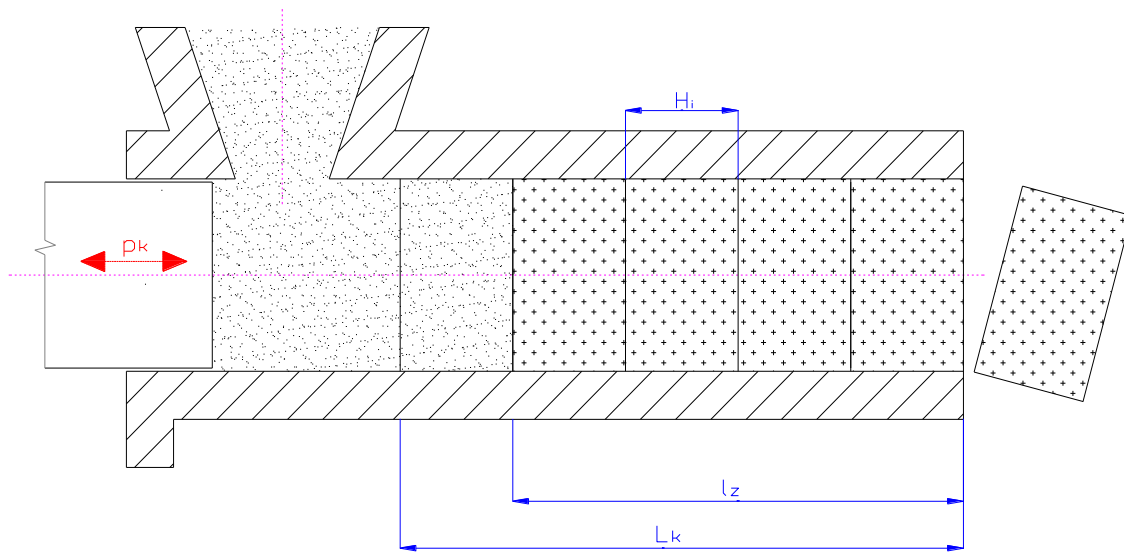
Proces zhutňovania je veľmi zaujímavý proces spracovania biomasy. Zhutňovanie resp. lisovanie je však zároveň aj komplikovaný proces, ktorý vyžaduje dokonalé porozumenie konfliktným vlastnostiam materiálu a problémom, ku ktorým môže dochádzať pri tomto procese. Pri procese lisovania dochádza k zhutňovaniu lisovaného materiálu pôsobením tlaku, čím narastá jeho merná hustota a znižuje sa merný objem. Proces zhutňovania je definovaný a posudzovaný výslednou kvalitou výlisku. Ukazovateľmi kvality výliskov sú hlavne hustota výliskov, pevnosť výliskov a oter. Tieto parametre sú dôležité z pohľadu manipulácie, dopravy, skladovania a spaľovania. Vývoj a výskum v tejto oblasti sa zameriava na optimalizáciu procesu lisovania. Súvisí to so znižovaním nákladov na prevádzku zhutňovacích strojov, výrobných nákladov strojov a taktiež výrobných nákladov výliskov. Na základe vykonaných meraní a experimentov bolo dokázané, že okrem technologických parametrov (lisovací tlak, teplota lisovania, vlhkosť materiálu a veľkosť vstupnej frakcie materiálu), ktoré výrazne ovplyvňujú výslednú kvalitu výliskov, majú na konečnú kvalitu výlisku významný vplyv aj konštrukčné parametre (dĺžka lisovacej komory, jej priemer, kužeľovitost' stien lisovacej komory, trenie medzi lisovaným materiálom a povrchom komory, atď.) Vhodnou kombináciou spomínaných faktorov sa dá zhutňovací proces významným spôsobom optimalizovať a nájsť najvýhodnejšie podmienky procesu lisovania.

VPLYV DĹŽKY LISOVACEJ KOMORY

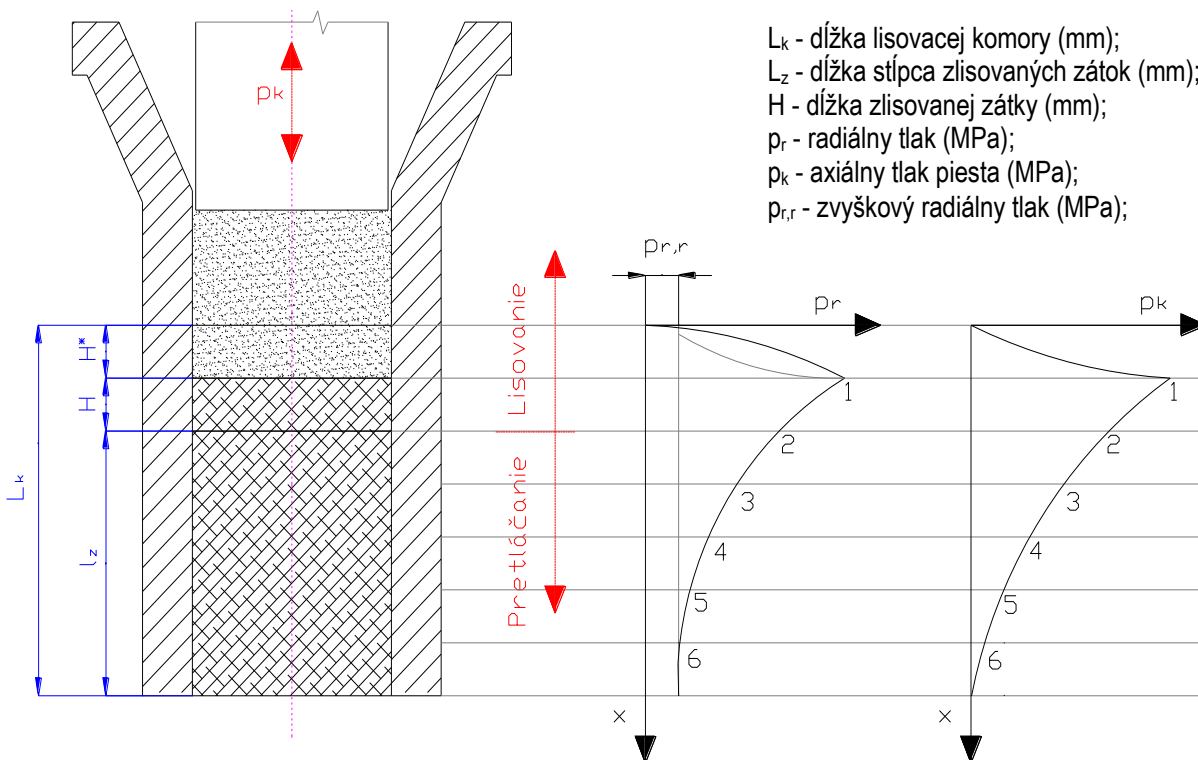
Dĺžka lisovacej komory sa výrazne podieľa na rozložení pôsobiacich tlakov v uzavretej lisovacej komore pri jednoosovom lisovaní na vertikálnom aj na horizontálnom lise. Je nutné ju poznať ak chceme určiť vzťah medzi axiálnym tlakom lisovacieho piesta p_k a protitlakom pôsobiacim na lisovaný materiál p_G . Tento vzťah je potom možné využiť pri lisovaní v otvorenej lisovacej komore, kde protitlak je tvorený statickým trecím odporom medzi už zlisovaným materiálom pretláčaným cez lisovaciu komoru a stenami tejto komory. Z tohto vzťahu možno ďalej vychádzať pri určovaní veľkosti potrebného protitlaku na lisovaciu operáciu a určenie statického trecieho odporu pretláčaného stĺpca, ktorý už bol zlisovaný. Skúsenosti ukazujú, že po lisovaní je potrebný ešte určitý tlak na pretlačenie už zlisovanej zátky (viď. Obr. 2).

Dĺžka lisovacej komory ovplyvňuje výslednú pevnosť a hustotu výliskov. Ak je komora príliš krátka, výlisok nedosiahne dostatočnú pevnosť a zvyškové radiálne napätia ho roztrhnú ihneď po opustení lisovacej komory. Ak je komora príliš dlhá, môže dôjsť k enormnému nárastu pôsobiaceho protitlaku tvoreného dĺžkou zlisovaného stĺpca a tým k zapečovaniu stroja a následnej deštrukcii. Preto je veľmi dôležité nájsť optimálny vzťah medzi lisovacím tlakom a dĺžkou lisovacej komory L_k (Obr.1), resp. nájsť vzťah ktorý určuje dĺžku lisovacej komory v závislosti od lisovacieho tlaku, dĺžku lisovacej komory po vylisovaní z ktorej sa už výlisok neroztrhá. Pri lisovaní sypkých materiálov sa väčšinou vychádza z anizotropie tlaku (vyššie tlaky sú v smere kolmom). Po vytlačení zátky sa väčším hlavným napätím stáva radiálne napätie. To znamená, že zmena smeru väčšieho hlavného napätia musí nastať počas nezaťaženej fázy – pri vytlačení zátky. Preto musí nevyhnutne existovať stav, keď sa radiálne aj axiálne napätie rovnajú, tzv. hydrostatický stav napätia. Po dosiahnutí tohto stavu budú radiálne

napätia väčšie ako axiálne až kým pri úplnom uvoľnení tlaku, pôsobí na materiál len zvyškové radiálne napätie $\sigma_{r,r}$. Výlisok je nutné vytlačiť z lisovacej komory až vo fáze keď pevnosť výlisoku f_c je väčšia ako zvyškové radiálne napätie $\sigma_{r,r}$, resp. $p_{r,r}$. Ak je splnená táto podmienka, je možné výlisok vytlačiť z kalibračnej časti lisovacej komory.



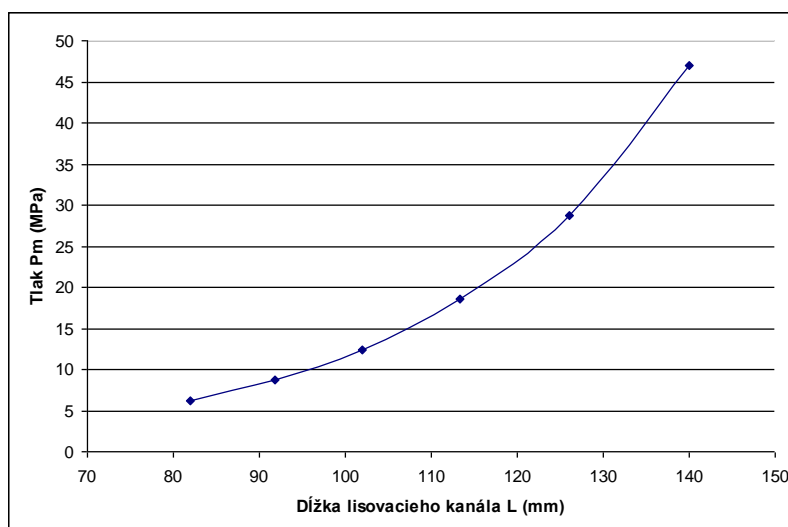
Obr.1 Lisovacia komora so zlisovanými jednotlivými zátkami [1]



Obr.2 Správanie sa radiálneho a axiálneho tlaku počas pretláčania v lisovacej komore [1], [2]

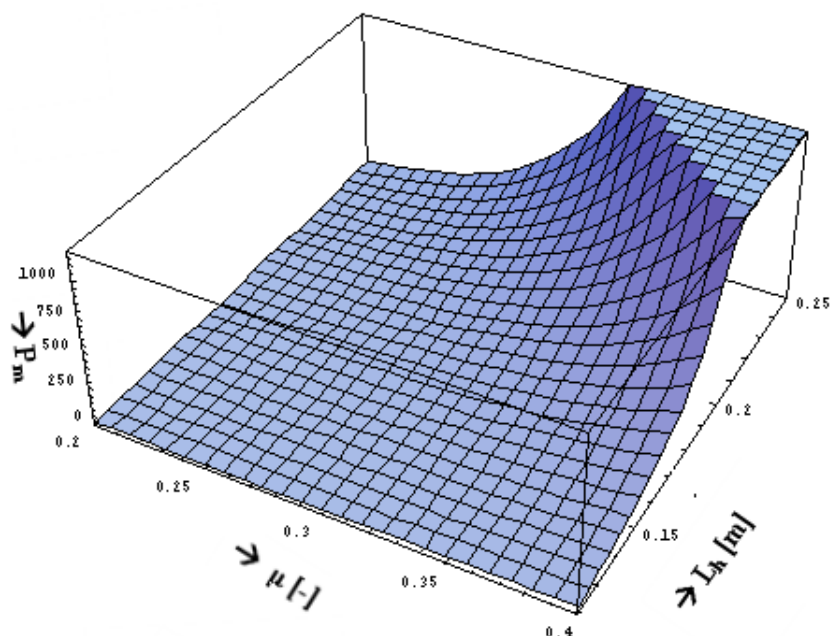
Vplyv dĺžky lisovacej komory na lisovacie tlaky je zrejmy už aj na základe matematických analýz [2]. Tento predpoklad sme chceli overiť experimentom na experimentálnom lisovacom stende, kedy bude pri postupnom znižovaní dĺžky komory skúmaný vplyv na axiálny tlak na zátku p_m . Pred experimentom sme však vplyv dĺžky lisovacej komory overili teoretickou analýzou. Pri analýze vplyvu zmeny dĺžky lisovacej komory bola zvolená za východiskovú hodnotu dĺžka 140 mm – maximálna dĺžka lisovacej komory na experimentálnom

stende. Táto hodnota bola znižovaná o 10%. Zvyšné parametre boli zvolené podľa skutočného, vyrobeného experimentálneho stendu. Sledovali sme správanie sa axiálneho tlaku na zátku p_m vplyvom zmeny dĺžky lisovacej komory, pretože axiálny tlak na zátku ovplyvňuje výslednú pevnosť výliskov.



Obr. 3 Závislosť axiálneho tlaku na zátku od dĺžky lisovacej komory [3]

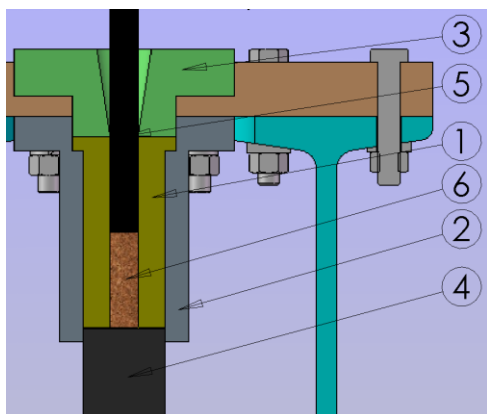
Analýzou bolo overené že zväčšovaním dĺžky lisovacej komory, začal rásť aj axiálny tlak na zátku p_m . Ďalej sme softvér Mathematica použili pre predikovanie vzájomného správania sa axiálneho tlaku na zátku, dĺžky lisovacej komory a koeficientu väzbového trenia, pomocou prepisu matematického modelu publikovaného v [2] do počítačovej transkripcie. Umožnilo nám to získať predpokladané hodnoty pre nami zvolené parametre experimentu. Je zjavné, že oblasť skúmania bude ohraničená možnosťami experimentálneho lisovacieho zariadenia, a preto je vhodné vychádzať práve z týchto dispozícií. Zrejme je taktiež, že je potrebné experiment delimitovať podmienkami potrebnými pre efektívny spôsob lisovania. Sem patrí najmä obmedzenie minimálnej dĺžky lisovacieho kanála, ktorá je nevyhnutnou podmienkou pre výdrž tlaku a plastifikáciu lignínu v bunkových štruktúrach látky. Zahnutím všetkých ohraničení sme vytvorili graf (Obr. 4) umožňujúci lepšie sledovať jednotlivé závislosti.



Obr. 4 Závislosť axiálneho tlaku na zátku pri konštantnom priemere lisovacej komory od dĺžky lisovacej komory a koeficientu väzbového trenia [4]

EXPERIMENT A VYHODNOTENIE

Experiment prebiehal na experimentálnom lisovacom stende (Obr. 5) s rôznymi veľkosťami lisovacích komôr (Obr. 6). Pre získanie smerodajných, hodnoverných a relevantných údajov je potrebné vyhotoviť lisovacie hubice s minimálne 4-mi rôznymi dĺžkami lisovacích komôr. Okrem už spomínanej dĺžky 140 mm, sme použili komory s dĺžkami 120, 100 a 80 mm. Navrhované rozmery hubíc reflektujú na rozmerové možnosti a obmedzenia lisovacieho stendu. Taktiež je tu limitácia maximálnej a minimálnej dĺžky z technologických poznatkov o lisovaní. Minimálna dĺžka kanálu je ohraničená potrebou výdrže na nevyhnutnú plastifikáciu lignínu a na druhej strane, zväčšovaním dĺžky nad určitú hodnotu by podľa predpokladov došlo k neúmernému narastaniu veľkosti tlakov a hrozilo by poškodenie celého zariadenia.

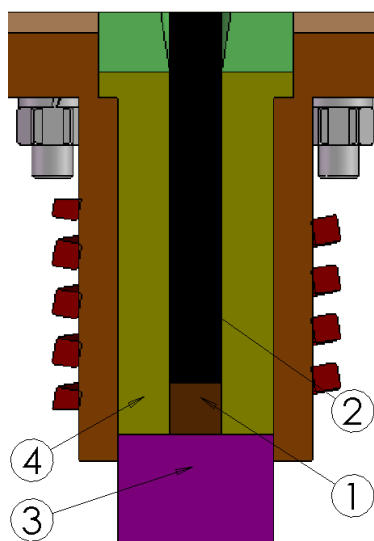


Obr. 5 Rez modelom experimentálneho lisovacieho stendu (1-lisovacia komora, 2-príruha, 3-plniaca hubica, 4-protitlaková zátku, 5-lisovací piest, 6-lisovaný materiál)

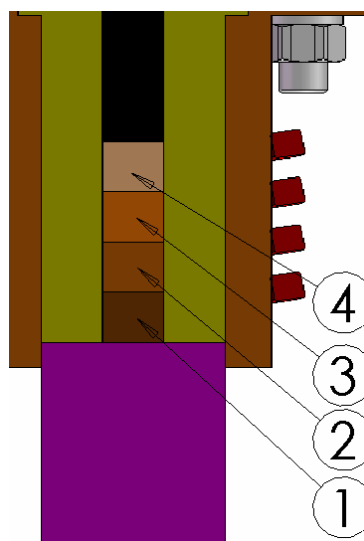
Obr. 6 Lisovacie komory s rôznymi dĺžkami (zľava do prava – 120mm, 100 mm, 80 mm)

Do lisovacích komôr boli vyvŕtané otvory pre uloženie snímača teploty na reguláciu výhrevnej špirály, ktorá je na stende osadená z dôvodu zmeny lisovacej teploty. Taktiež boli k týmto komorám pripravené aj zodpovedajúce dĺžky protitlakových zátek.

Lisovanie prebiehalo v dvoch modifikáciách – lisovanie na jedno naplnenie (Obr. 7), tu bol testovaný vždy iba 1 výlisok a lisovanie na štyri naplnenia (Obr. 8), tu boli testované 4 výlisoky. V každej modifikácii prebiehalo lisovanie postupne v štyroch lisovacích komorách (dĺžky 140, 120, 100 a 80 mm). V každej lisovacej komore lisovanie prebiehalo pri troch teplotných hladinách (20, 85 a 120 °C) a pri troch tlakových hladinách (95, 127 a 159 MPa).

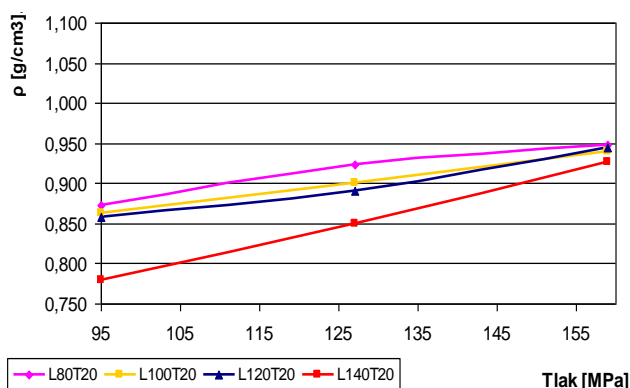


Obr. 7 Lisovanie jedného výlisoku (na jedno naplnenie) [4]

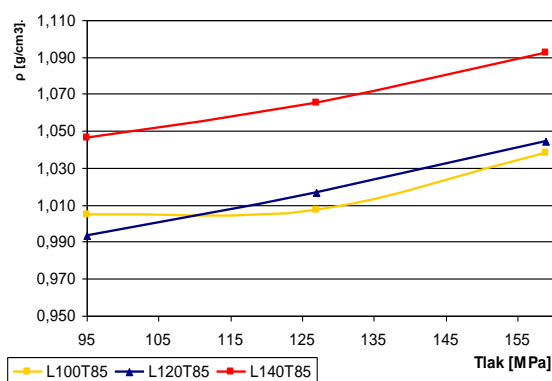


Obr. 8 Lisovanie štyroch výlisokov (na štyri naplnenia) [4]

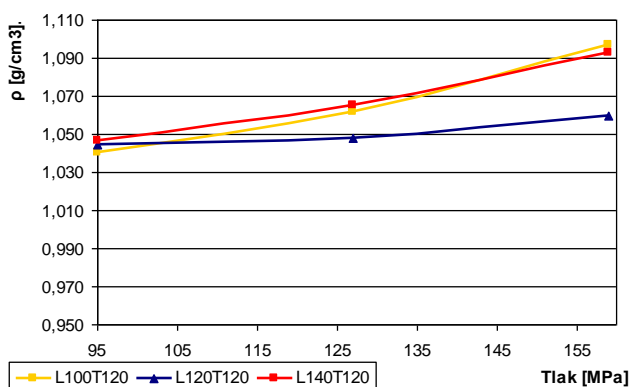
Výlisky získané pri týchto podmienkach boli zmerané a odvážené, bola vypočítaná ich hustota, boli podrobené stabilizácii, následné opakované zistenie hustoty a priemerné hodnoty hustôt boli vynesené do grafických závislostí. Grafické závislosti sú znázornené na nasledujúcich obrázkoch.



Obr. 9 Závislosť hustoty výliskov od lisovacieho tlaku pri lisovacej teplote 20 °C a pri rôznych dĺžkach lisovacích komôr [4]



Obr. 10 Závislosť hustoty výliskov od lisovacieho tlaku pri lisovacej teplote 85 °C a pri rôznych dĺžkach lisovacích komôr [4]



Obr. 11 Závislosť hustoty výliskov od lisovacieho tlaku pri lisovacej teplote 120 °C a pri rôznych dĺžkach lisovacích komôr [4]

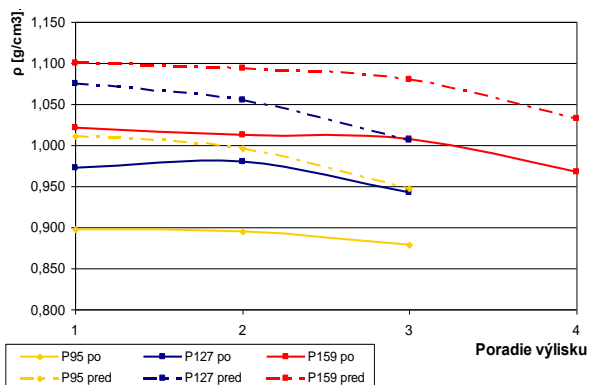


Obr. 12 Výlisky počas doby stabilizácie

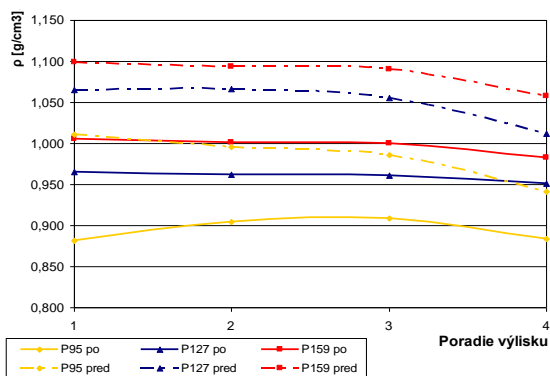
Z predchádzajúcich závislostí možno vyčítať, že vplyv dĺžky nie je natoľko významný a nevlýva na výslednú kvalitu takým výrazným vplyvom ako teplota lisovania. Aj z tohto dôvodu je vidieť najvýraznejšie vplyv dĺžky, ako konštrukčného parametra pri lisovaní bez vyhrievania stendu (Obr. 9). Z priebehov hustôt možno konštatovať, že skracovaním dĺžky lisovacieho kanálu rastie výsledná hustota. Jej hodnota sa nezvyšuje pri rozdielnych typoch hubice rovnomerne. Pri použití hubice L140 prišlo najmä po dilatačnom procese výliskov k výraznejšiemu poklesu hustoty. Tento fakt možno pripísať slabšiemu previazaniu materiálu z dôvodu poklesu hodnôt tlakov zo zvyšujúcou sa vzdialenosťou resp. hrúbkou výlisku. V každej časti lisovacej komory pôsobia na zátku iné radiálne tlaky, preto je nerovnaká dĺžka zátky ovplyvňujúcim faktorom pri tomto type experimentu a lisovania. Obr. 10 a 11 ukazujú, že pri lisovaní s teplotou je vplyv dĺžky na výslednú kvalitu skôr obrátený, ako pri lisovaní bez teploty. Toto možno zdôvodniť dlhšou dobou, ktorú strávi materiál v priestore hubice a dochádza k lepšej plastifikácii lignínu v bunkových štruktúrach látky. Pri lisovaní bez teploty má hlavný podiel na výslednej hustote hlavne lisovací tlak. Pri použití vyhrevného zariadenia preberá túto pozíciu lisovacia teplota. Zistili sme, že experiment tejto modifikácie nie je vhodný pre zistenie vplyvu dĺžky lisovacej komory na kvalitu výliskov.

Túto hypotézu potvrdzuje aj experiment, kde sme plnili hubicu štyrikrát, teda sme ju vždy po zalisovaní opakovane naplňali. Po vytlačení zlisovaného stĺpca z hubice sme oddelili jednotlivé výlisky a vyhodnocovali ich osve. Z priemerných hodnôt pre jednotlivé tlakové hladiny sme zostavili nasledujúce závislosti. Prvé tri výlisky vykazovali len mierne výkyvy v hodnotách hustôt. Možno pozorovať len veľmi mierne kolísanie. Pri výliskoch č. 4 už možno pozorovať badateľný pokles. Tento jav možno pripísať viacerým faktorom. Na výlisk č. 4 pôsobil lisovací tlak len jedenkrát, pričom na ostatné kompakty pôsobila sila opakovane podľa pozície. Druhým dôvodom

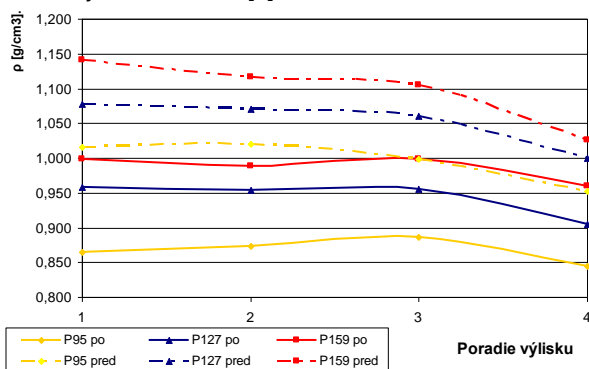
je čas, ktorý strávil materiál v komore. Posledné kusy sa nachádzali v hubici najkratšiu dobu a teda mali aj najmenej času potrebného na vyrovnanie vnútorných napätí. Z týchto obrázkov jasne vyplýva, že hustota v závislosti od poradia klesá, resp. s výškou zlisovaného stĺpca klesá. Toto nám potvrdzuje teóriu, že pre výlisok je pozitívne a nutné aj pôsobenie tlakov pri pretlačaní a posúvaní výlisokov v lisovacej komore, nielen pôsobenie samotných axiálnych lisovacích tlakov.



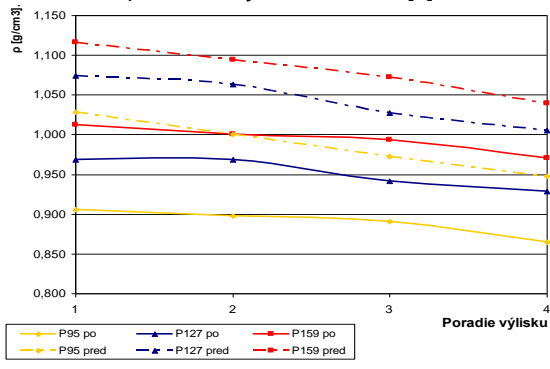
Obr. 13 Porovnanie hustôt výlisokov pred a po dilatácii pri rôznych tlakoch v závislosti od poradia zalisovania pri lisovacej komore L100 [4]



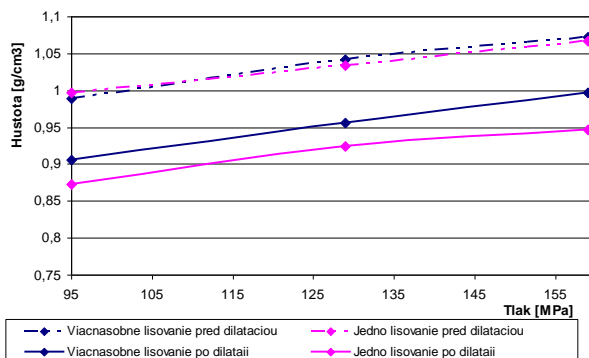
Obr. 14 Porovnanie hustôt výlisokov pred a po dilatácii pri rôznych tlakoch v závislosti od poradia zalisovania pri lisovacej komore L120 [4]



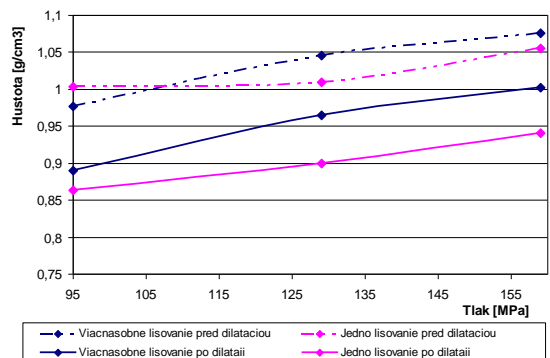
Obr. 15 Porovnanie hustôt výlisokov pred a po dilatácii pri rôznych tlakoch v závislosti od poradia zalisovania pri lisovacej komore L140 [4]



Obr. 16 Porovnanie hustôt výlisokov pred a po dilatácii pri rôznych tlakoch v závislosti od poradia zalisovania – všetky lisovacie komory spolu [4]



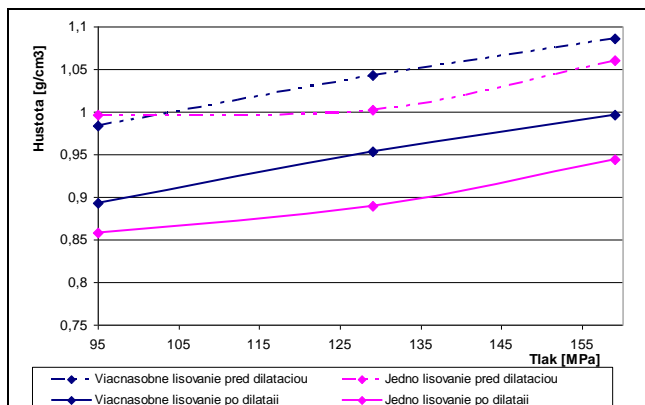
Obr. 17 Porovnanie hustôt výlisokov pri rôznych tlakoch pri viacnásobnom a jedno-násobnom zalisovaní pred a po dilatácii pre lisovaciu komoru L80 [4]



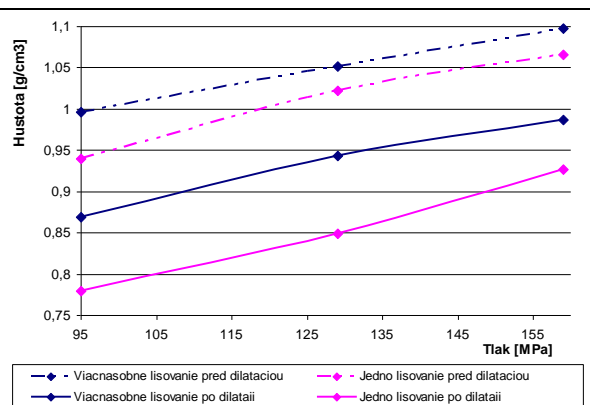
Obr. 18 Porovnanie hustôt výlisokov pri rôznych tlakoch pri viacnásobnom a jedno-násobnom zalisovaní pred a po dilatácii pre lisovaciu komoru L100 [4]

Zaujímavou analýzou je porovnanie priemerných hustôt výlisokov pri viacnásobnom lisovaní s priemernou hodnotou výlisokov pri jedno násobnom lisovaní. Pre všetky nastavené tlakové hladiny bola kvalita výlisokov porovnateľne vyššia pri viacnásobnom zlisovaní. Tieto výlisoky mali taktiež menšiu dilatačnú zmenu. Pripisujeme to práve spomínanej dobe zotrvania materiálu v priestore kanála a vyrovnávaniu vnútorných napätí. Z obr. 17 až 19 vidieť, že pri nižších tlakoch a kratších hubiciach je rozdiel medzi hustotami menší. Zvyšovaním dĺžky kanálu

tento rozdiel narastá a hustota výliskov sa v grafoch prikláňa v prospech lisovania na viac naplnení. Treba si však uvedomiť, že tieto experimenty prebiehali v podmienkach zatvorenej vertikálnej lisovacej komory. Teda dĺžka zlisovanej zátky sa po každom naplnení a zalisovaní zmenší a tým sa menia tlakové podmienky pôsobiace na zátku. V otvorených horizontálnych lisovacích komorách (zvyčajne používané v praxi) sa dĺžka zlisovanej zátky nemení a teda vždy v každom jednom mieste pôsobí na zlisovanú zátku rovnaký axiálny a radiálny tlak. Pre tieto prípady je nutné dĺžku lisovacej komory optimalizovať.



Obr. 19 Porovnanie hustôt výliskov pri rôznych tlakoch pri viacnásobnom a jedno-násobnom zalisovaní pred a po dilatácii pre lisovacu komoru L120 [4]



Obr. 20 Porovnanie hustôt výliskov pri rôznych tlakoch pri viacnásobnom a jedno-násobnom zalisovaní pred a po dilatácii pre lisovacu komoru L140 [4]

ZÁVER

Na základe prezentovaných vykonaných analýz a získaných výsledkov z experimentov je jasne dokázaný vplyv a dôležitosť dĺžky lisovacej komory. Tento parameter ovplyvňuje tlakové pomery v lisovacej komore a tým aj výslednú kvalitu (pevnosť, hustota) výliskov. Z dôvodu konštrukčných obmedzení experimentálneho lisovacieho stendu však nebolo možné stanoviť optimálnu dĺžku lisovacej komory. Je možné ju však vypočítať na základe vzťahov publikovaných v práci [2]. Bolo by vhodné a nutné vykonať experiment na zariadení, kde by bola možná zmena dĺžky vo väčšom rozmedzí ako to bolo v prípade nášho stendu. Bol dokázaný pozitívny vplyv lisovacej teploty na tlakové pomery v lisovacej komore, vplyvom plastifikácie lignínu klesá koeficient väzbového trenia medzi lisovanou zátkou a stenou lisovacej komory.

Pod'akovanie:

„Tento príspevok bol vytvorený realizáciou projektu „Vývoj progresívnej technológie zhutňovania biomasy a výroba prototypov a vysokoproduktívnych nástrojov“ (ITMS kód Projektu: 26240220017), na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] KRIŽAN, P.: Proces lisovania dreveného odpadu a koncepcia konštrukcie lisov, Dizertačná práca, SjF STU v Bratislave, ÚSETM, Bratislava, júl 2009, s.150
- [2] HERRIGHS, W.: Control of ram extruders for obtaining steady compaction pressures, Journal for preparation and processing Aufbereitungs-Technik, nr. 7/1987, Wiesbaden, 1987, ISSN 0004-783 X, p. 378-382
- [3] KRIŽAN, P.: Analýza a výskum matematických modelov zhutňovania drevenej biomasy, In.: Zborník z medzinárodnej konferencie Energetika a životní prostředí 2007, 26.-27.09.2007, Ostrava, Česká Republika, ISBN 978-80-248-1586-2, str. 155-160
- [4] KOVÁČ, P.: Výskum vplyvu konštrukčných parametrov zhutňovacieho stroja na výslednú kvalitu výliskov, Diplomová práca, ÚSETM Sjf STU v Bratislave, 2010, s.84