



Stanovenie vzájomného vplyvu lisovacej teploty a materiálových vlastností (vlhkosť a veľkosť frakcie) lisovaného materiálu na hustotu výliskov s využitím plochy ozvy

Michal SVÁTEK^{1,}, Peter KRIŽAN¹*

1 Strojnícka fakulta STU v Bratislave, Ústav výrobných systémov, environmentálnej techniky a manažmentu kvalitu, Námestie Slobody 17, 81231 Bratislava, Slovensko

* **Email:** svamichal@gmail.com

Cieľom príspevku je prezentovať výsledky výskumu – vplyv a vzájomnú interakciu vybraných parametrov zhutňovacieho procesu dubových pilín s využitím plochy ozvy. Hustota výliskov reprezentuje merateľný ukazovateľ kvality výliskov. Vo viacerých prípadoch (analýzach) je výsledná hustota posudzovaná číselnými hodnotami, ktoré sú predmetom skúmania podľa rôznych kritérií. Plocha ozvy vytvára samostatnú časť a možnosti jej hodnotenia. Trojdimenzionálne grafy vytvárajú plochu ozvy výslednej hustoty výliskov, ktorých body sú jednotlivé hodnoty hustôt pri určitých nastaveniach vybraných parametrov zhutňovacieho procesu. Prienikom jednotlivých plôch oziev s vybranými parametrami je možné optimalizovať tieto parametre s cieľom zvýšiť kvalitu výliskov. Zámerom tohto príspevku je prezentovať možnosť aplikácie tejto metódy pre optimalizáciu a analýzy vzájomných interakcií zhutňovacieho procesu.

Kľúčové slová: biomasa, briketovanie, zhutňovanie, vzájomná interakcia, hustota výlisku, vyhodnotenie údajov, plocha ozvy

1 Úvod

Na našom pracovisku sa už dlhšiu dobu venujeme výskumu vplyvu rôznych druhov parametrov na výslednú hustotu výliskov. Snažíme sa kvantifikovať a definovať vzájomné vzťahy jednotlivých ovplyvňujúcich parametrov, aby sme získali ucelený prehľad o správaní sa parametrov v procese zhutňovania. Všetky experimenty prebiehali v laboratórnych podmienkach a pri experimentoch bol použitý experimentálny lisovací stend. Sú známe viaceré metodiky a postupy pre vyhodnocovanie a spracovanie nameraných údajov, vzhľadom na typ výstupu ktorý chceme dosiahnuť.

Cieľom príspevku je ukázať spôsob analýzy vzájomného pôsobenia a vplyvu lisovacej teploty a vlhkosti lisovaného materiálu v procese zhutňovania na výslednú hustotu výlisku, pričom zhutňovaným materiálom je v tomto prípade dub. Pre potreby tejto analýzy sme použili matematický model, prostredníctvom ktorého sme získali vypočítanú hodnotu hustoty. Súbor jednotlivých hustôt pri kombinácii jednotlivých nastavení a iteračných krokov tvorí plochu ozvy. Plocha ozvy tvorí samostatnú kategóriu spôsobu posúdenia správania sa výstupnej hodnoty v jednotlivých bodoch. V našom prípade tvorí plochu ozvy množina hustôt v jednotlivých bodoch nastavení reprezentovaná trojrozmerným grafom. Prostredníctvom



tohto grafu a jeho tvaru je možné sledovať zakrivenia tejto plochy a analyzovať jej minimá, resp. maximá. Rovnako sa prostredníctvom tejto plochy analyzuje smer nárastu výstupnej hodnoty - v našom prípade hustoty výlisku, resp. správanie sa v uvedenom rozsahu vstupných hodnôt.

2 Výber analyzovaných parametrov procesu zhutňovania

Pri výbere parametrov sme uvažovali s nasledujúcimi parametrami v procese zhutňovania – lisovacia teplota, lisovací tlak, veľkosť frakcie a vlhkosť lisovaného materiálu.

Lisovacia teplota – na teplote pri lisovaní je dôležité zamerať sa na efektívnosť použitej teploty. Dôvodom je plastifikácia a prchanie lignínu, ktorý je spojivom pri jednotlivých lisovaných časticách. Na základe toho dochádza následne k zníženiu silových väzieb medzi časticami, čo znižuje súdržnosť výlisku.

Lisovací tlak – veľkosť lisovacieho tlaku je dôležitý nielen pre finálnu kvalitu samotného výlisku, ale aj z dôvodu, že od veľkosti lisovacieho tlaku sa odvíja aj druh použitého lisovacieho zariadenia. Toto má v konečnom dôsledku dopad aj na ekonomickú stránku lisovania a následne výrobnú cenu samotného výlisku.

Vlhkosť lisovaného materiálu – pri lisovaní nemá vysoká vlhkosť opodstatnenie, nakoľko nedochádza k dostatočnému sceleniu výlisku dôsledkom unikajúcej pary. Rovnako pri použití príliš nízkej vlhkosti lisovaného materiálu môže dôjsť k spekaniu výlisku a jeho prílišnej krehkosti, čo má za následok vplyv na jeho ďalšie použitie.

Veľkosť frakcie lisovaného materiálu – rovnako pri uvažovaní veľkosti frakcie lisovaného materiálu je vyššia veľkosť frakcie prakticky nepoužiteľná. Nakoľko vzhľadom na veľkosť frakcií dochádza k slabšej súdržnosti výlisku dôsledkom znížených silových väzieb. Dôsledkom menšej frakcie očakávame zvýšenie silových väzieb medzi časticami.

3 Matematický model procesu zhutňovania pre dubové piliny

Nutnou podmienkou pre využitie metódy plochy ozvy je matematický model. Pre návrh matematického modelu procesu zhutňovania dubových pilín bolo nutné vykonať experimentálny výskum. Výsledkom experimentu je navrhnutý matematický model, ktorý popisuje vplyv lisovacieho tlaku, lisovacej teplota, veľkosť a vlhkosti lisovanej frakcie na hustotu výliskov.

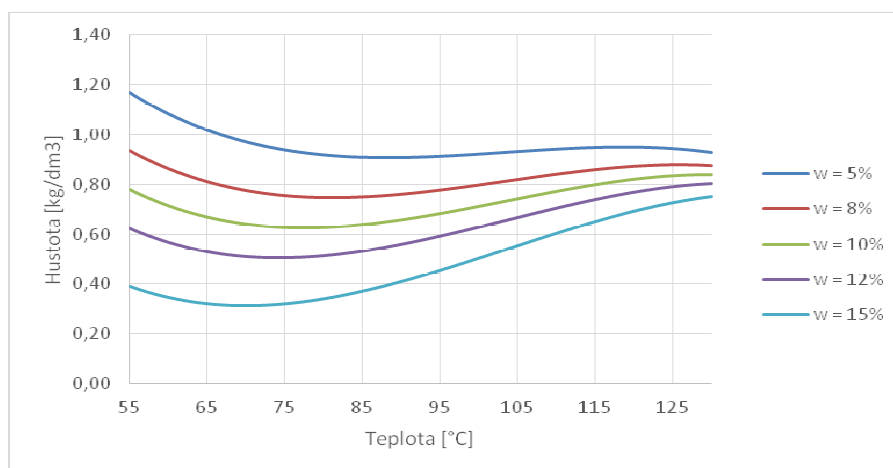
$$\rho = 0,141992 + 0,001122 * p + 0,005961 * T - 0,039024 * w + 0,000947 * (T - 103,5) * (w - 9,83333) + 0,157317 * L - 0,000004 * (p - 130,2) * (T - 103,5) * (w - 9,83333) * (L - 2,03333) - 0,000003 * (T - 103,5) * (T - 103,5) * (T - 103,5) + 0,028938 * (L - 2,03333) * (L - 2,03333) - 0,063987 * (L - 2,03333) * (L - 2,03333) * (L - 2,03333) \quad [\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}] \quad (1)$$

Plocha ozvy je výborný a užitočný nástroj, pre znázornenie prebiehu v maximálnych rozsahoch jednotlivých parametrov. Ako je vidieť pri závislostiach Obr.1 a Obr.2 je obmedzujúce znázorňovať závislosti pri fixácii viacerých parametrov. Pomocou plochy ozvy dostávame prehľadné znázornenie priebehu v danom rozsahu prostredníctvom plôch. Tieto reprezentujú stanovené úrovne.

4 Plocha ozvy hustoty výliskov pri rôznych hodnotách vlhkosti frakcie

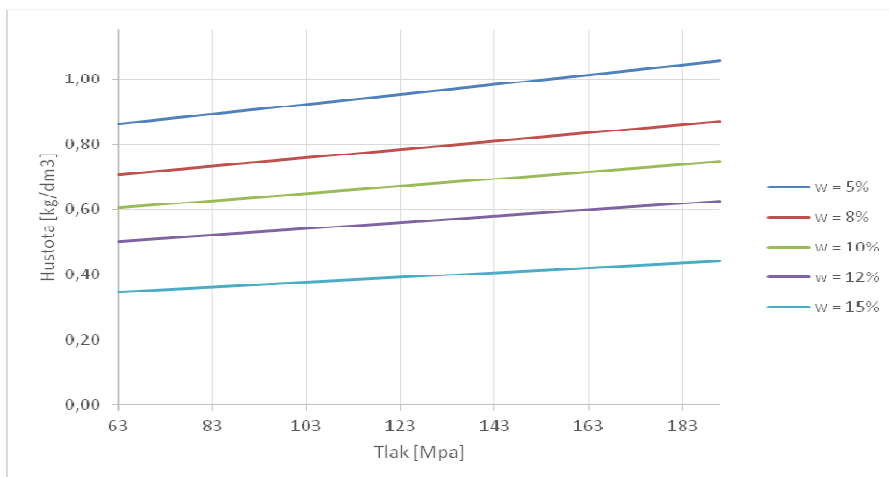


V tejto časti sme sa bližšie venovali analýze výslednej hustoty výlisku použitím fixovania lisovacieho tlaku a veľkosti frakcie lisovaného materiálu. Na obr.1 je uvedené dvojrozmerné zobrazenie závislosti, resp. vplyvu lisovacej teploty na hustotu výlisku. Ako ukazuje uvedený graf, vplyv bol sledovaný pri rôznych hodnotách vlhkosti lisovaného materiálu, pričom veľkosť frakcie bol fixovaný parameter - hodnota 1mm a rovnako lisovací tlak – hodnota 95 MPa. Tieto parametre boli zvolené na základe skúseností. Ako vidno na tomto grafe pri zvýšenej vlhkosti vstupného lisovaného materiálu je časť teploty pri lisovaní použitá v prvej fáze na vysušenie tohto materiálu na potrebnú vlhkosť potrebnú pre kvalitné spojenie jednotlivých častíc a následne prichádza k lisovaniu výlisku do požadovanej hustoty. Pri vyšších hodnotách vlhkosti nedochádza k pevnému previazaniu štruktúr lisovaného materiálu, preto výlisok nedosahuje dostatočnú hustotu. Naopak, pri najnižšej vlhkosti dochádza k presušeniu materiálu a tým sa znižuje kvalita spojenia častíc, čoho dôsledkom je mierny pokles hustoty výlisku nárastom lisovacej teploty. V závislosti od nárastom lisovacej teploty je vidieť pozitívne účinky na hustotu výliskov. Porovnaním jednotlivých úrovní vlhkosti lisovaného materiálu je zrejmé, že vlhkosť je dôležitý parameter pri lisovaní.

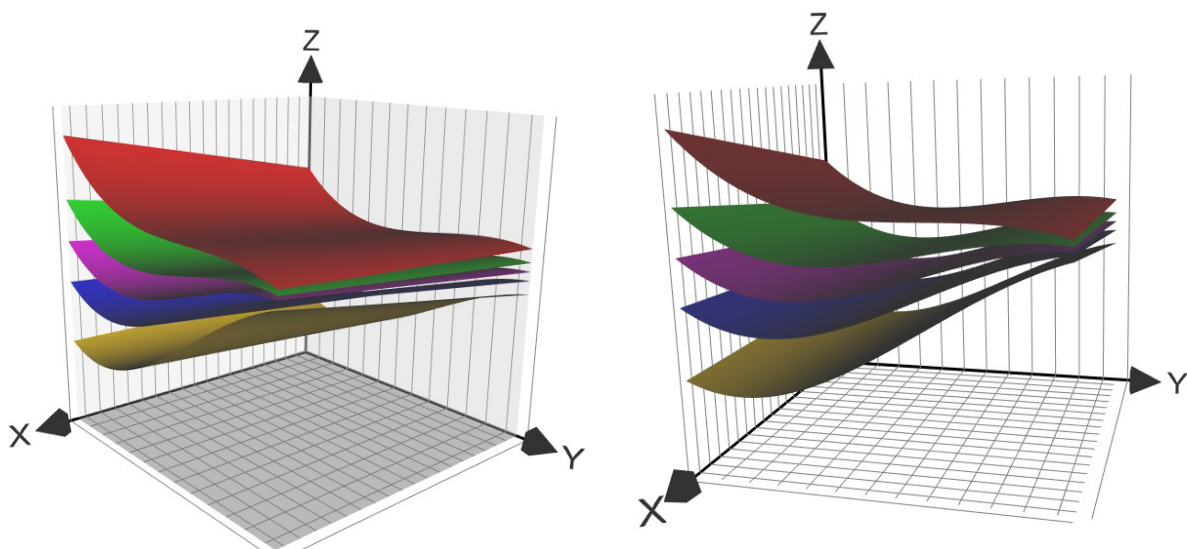


Obr.1 Závislosť hustoty výliskov od lisovacej teploty pri rôznych úrovniach vlhkosti frakcie

Rovnakým spôsobom sme následne spravili analýzu výslednej hustoty použitím fixácie ďalších dvoch parametrov – lisovacej teploty a veľkosti frakcie lisovaného materiálu. Aj tu sme sa bližšie venovali analýze výslednej hustoty výlisku. Na obr.2 je uvedené dvojrozmerné zobrazenie závislosti, resp. vplyvu lisovacieho tlaku na hustotu výlisku. Ako ukazuje uvedený graf, vplyv bol sledovaný pri rôznych hodnotách vlhkosti lisovaného materiálu, pričom veľkosť frakcie bol fixovaný parameter - hodnota 1mm a rovnako lisovacia teplota – hodnota 85 °C. Ako vidno na tomto grafe v porovnaní s vplyvom lisovacej teploty v prechádzajúcej časti, nie je nárast výslednej hustoty výlisku zvyšovaním lisovacieho tlaku taký významný a jeho priebeh je skôr lineárny. Rovnako sa nám v tomto prípade potvrdilo, že pri použití lisovacej teploty 85°C sa pri vyšších hodnotách vlhkosti spotrebuje teplota v prvej časti najprv na odparenie prebytočnej vlhkosti – obsahu vody v lisovanom materiáli, čo potvrdzuje dôležitosť lisovacej teploty.



Obr.2 Závislosť hustoty výliskov od lisovacieho tlaku pri rôznych úrovniach vlhkosti frakcie



Označenie osí: os X → lisovací tlak [MPa]; os Y → lisovacia teplota [°C]; os Z → hustota výlisku [kg{dm³}

Legenda farieb → úrovne vlhkosti materiálu:

červená = 5%; zelená = 8%; fialová = 10%; modrá = 12%; žltá = 15%

Obr. 3 Plocha ozvy pri konštantnej hodnote veľkosti frakcie

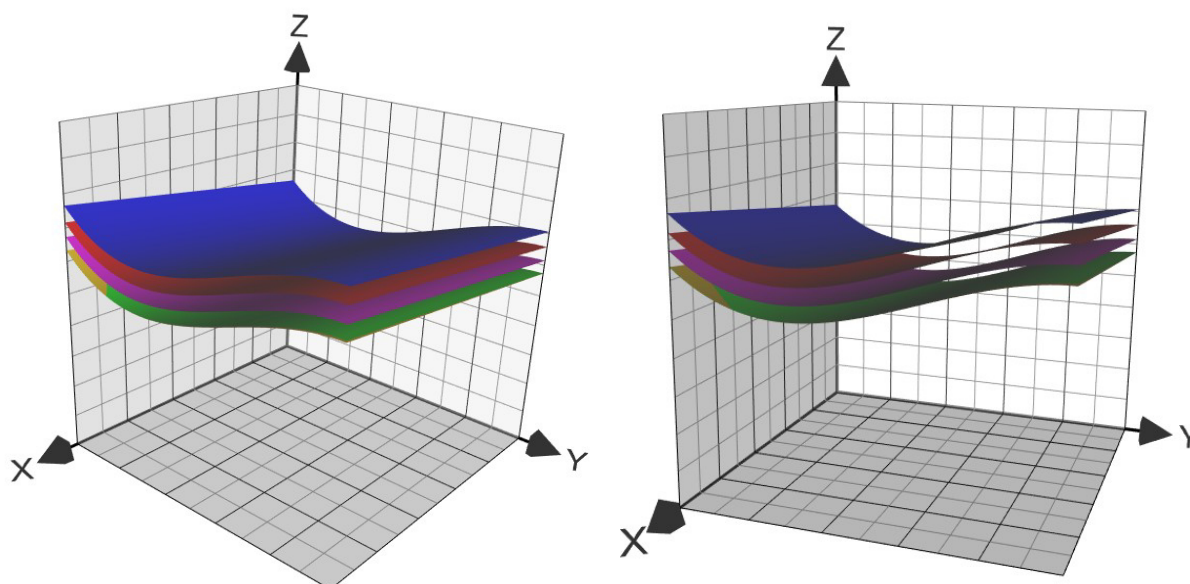
Na obr.3 je vidieť charakter plochy ozvy výslednej hustoty výliskov. Na grafoch je zobrazený priebeh hustoty výliskov (os z) pri náraste lisovacieho tlaku (os x) a lisovacej teploty (os y) pri rôznych úrovniach vlhkosti lisovaného materiálu. Uvedené plochy ozvy sú zobrazované pri konštantnej hodnote veľkosti frakcie 1mm a viacerých hodnotách vlhkosti lisovaného materiálu (5%, 8%, 10%, 12% a 15%). Počiatočnou hodnotou (nultým bodom osovej súradnice) je v tomto prípade pre lisovací tlak hodnota 63MPa a pre lisovaciú teplotu je to 55°C. Ako vidieť, pri nižších vlhkostiach sa s narastajúcim lisovacím tlakom zvyšuje výsledná hustota výlisku. Pri vyšších vlhkostiach, kedy sa lisovacia teplota v prvej časti procesu lisovania spotrebuje na odparenie prebytočnej vlhkosti, sa zvyšovaním tlaku rovnako zvyšuje výsledná hodnota hustota výlisku. Môžeme si všimnúť, že pozitívnejší vplyv na nárast hustoty výliskov má zvyšovanie lisovacej teplota ako lisovacieho tlaku. Tento graf



plochy ozvy potvrdzuje úvahy o použití správnej teploty pri lisovaní a zároveň vhodnej počiatkovej vlhkosti lisovaného materiálu. Takéto grafické znázornenia poskytujú ucelený náhľad na vzájomnú interakciu vybraných parametrov v procese zhutňovania a vplyv na výslednú hustotu výliskov. Na základe vypočítaného a navrhnutého matematického modelu je možné získať konkrétne hodnoty pre každý sledovaný parameter, v ktoromkoľvek mieste na znázornených plochách. Toto poskytuje veľmi jednoduchý nástroj pre predikciu hustoty výliskov pre konkrétne nastavenie.

5 Plocha ozvy hustoty výliskov pri rôznych hodnotách veľkosti frakcie

V druhej časti sme sa venovali analýze hustoty pomocou plochy ozvy pri konštantnej hodnote vlhkosti materiálu a rôznych úrovniach veľkosti frakcie. Zobrazené plochy ozvy (Obr. 4) sú vypočítané pri konštantnej hodnote vlhkosti 10% a viacerých hodnotách veľkosti frakcie lisovaného materiálu (0,5 mm, 1 mm, 2mm, 4 mm). Charakter plochy ozvy výslednej hustoty výliskov je vidieť na obr. 4, ako priebeh hustoty výliskov (os z) pri náraste lisovacieho tlaku (os x) a lisovacej teploty (os y) pri rôznych úrovniach veľkosti frakcie lisovaného materiálu.



Označenie osí: os X → lisovací tlak [MPa]; os Y → lisovacia teplota [°C]; os Z → hustota výlisku [$\text{kg}\{\text{dm}^3\}$]

Legenda farieb → úrovne veľkosti materiálu:

modrá = 0,5 mm; červená = 1 mm; fialová = 2 mm; zelená = 4 mm;

Obr. 4 Plocha ozvy pri konštantnej hodnote vlhkosti frakcie

Uvedené plochy ozvy sú zobrazované pri konštantnej hodnote vlhkosti 10% a viacerých hodnotách veľkosti frakcie lisovaného materiálu (0,5 mm, 1 mm, 2mm, 4 mm). Počiatkovou hodnotou (nultým bodom osovej súradnice) je v tomto prípade pre lisovací tlak hodnota 63 MPa a pre lisovaciu teplotu je to 55°C, rovnako ako v predchádzajúcom prípade. Z oboch pohľadov je zrejmé, že s narastajúcim lisovacím tlakom sa zvyšuje výsledná hustota výlisku. Avšak pôsobením teploty pri lisovaní, jej zvyšovaním, sa výsledná hustota výlisku ešte viac zvyšuje a to pri všetkých veľkostiach frakcie. Tento graf plochy ozvy nám opäť potvrdzuje, že použitie lisovacej teploty pri lisovaní v kombinácii s optimálnym nastavením vlhkosti



lisovaného materiálu a veľkosti frakcie, predstavujú dôležité parametre, ktoré vplyvajú na výslednú hustotu výlisku.

6 Záver

V predložennom príspevku sme chceli prezentovať výsledky výskumu realizovaného na našom pracovisku, ktorých cieľom bolo definovať vplyv vzájomnej interakcie vybraných parametrov procesu zhutňovania na výslednú kvalitu dubových výliskov. Snažili sme sa tiež ukázať akú významnú úlohu môže zohrávať plocha ozvy pri analýze výstupnej veličiny – v našom prípade výslednú hustotu výlisku. Vďaka trojrozmernému priestorovému zobrazeniu výstupu je možné lepšie určiť charakteristiku analyzovanej veličiny a predvídať jej ďalší vývoj a smerovanie. Do budúcnosti plánujeme pracovať s plochou ozvy prostredníctvom prieniku plôch jednotlivých oziev lisovaných materiálov a optimalizáciou rôznych zmesí zhutňovaného materiálu. Veríme, že uvedený spôsob bude prínosom a bude využiteľný pri zvýšení kvality výliskov.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol realizáciou projektu “Výskum a kvantifikácia vplyvu technologických a konštrukčných parametrov počas lisovania rôznych druhov biomasy” (Projekt VÝLISOK) v rámci Programu na podporu mladých výskumných pracovníkov financovaný Slovenskou Technickou Univerzitou v Bratislave.

Použitá literatúra

- [1] KRIŽAN, P.; SVÁTEK, M.; MATÚŠ, M.: Analysis of the significance of technological parameters at briquetting of selected types of hardwood and softwood. In: Aplimat 2011. Proceedings. - Bratislava : FX s.r.o., 2011. - ISBN 978-80-89313-51-8. - pp. 395-404
- [2] SVÁTEK, M.; KRIŽAN, P.: Experimental plan and evaluation methodology for research of densification process of different types of material mixtures. In: Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of engineering.- ISSN 1584-2665.- Vol. 12, No. 2 (2014)
- [3] KRIŽAN, P.; ŠOOŠ, L.; MATÚŠ, M.; SVÁTEK, M.; VUKELIČ, Dj.: Evaluation of measured data from research of parameters impact on final briquettes density. In: Aplimat - Journal of Applied Mathematics. - ISSN 1337-6365. - Vol. 3, No. 3 (2010), pp. 68-76
- [4] KRIŽAN, P.; MATÚŠ, M.; BENIAK, J.; KOVÁČOVÁ, M.: Stabilization time as an important parameter after densification of solid biofuels. In: Acta Polytechnica. - ISSN 1210-2709. - Vol. 54, No. 1 (2014), pp. 35-41