



Konštrukcia dvojkomorového závitovkového lisu pre produkciu brikiet z biomasy

Miloš MATÚŠ^{,1}, Peter KRIŽAN¹, Juraj BENIAK¹*

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

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

The goal of this paper is to present a new patented design of screw press, which satisfies all requirements for modularity and control of parameters. It allows optimizing this process for different types of raw materials and achieving high quality production. Results of experimental research of densification process then allow the engineering design of the production machine tailor-made to the customer, while being able to minimize investment, energy and operating costs. The developed design of screw press is unique in its modularity and high reliability.

Kľúčová slova: biomass, screw press, briquetting press, densification, briquette

1 Úvod

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. Riešeniu tejto problematiky sa venuje predkladaný príspevok. Výskum je realizovaný komplexne, od štúdie elementárnych častíc biomasy až po návrh a výrobu novej konštrukcie briketovacieho stroja a jeho nástrojov.

Cieľom výskumu je navrhnúť a verifikovať prototyp novej progresívnej konštrukcie briketovacieho stroja a vyvinúť vysoko produktívne zhutňovacie nástroje za splnenia nasledovných rámcových požiadaviek:

- zabezpečenie najvyššej kvality produkcie,
- zníženie prevádzkových nákladov v porovnaní s existujúcimi produkčnými strojmi,
- dosiahnutie vysokej produktivity,
- univerzálnosť pre rôzne druhy vstupnej suroviny,
- regulácia všetkých parametrov ovplyvňujúcich proces lisovania biomasy,

a ďalšie.

2 Vývoj konštrukcie briketovacieho lisu

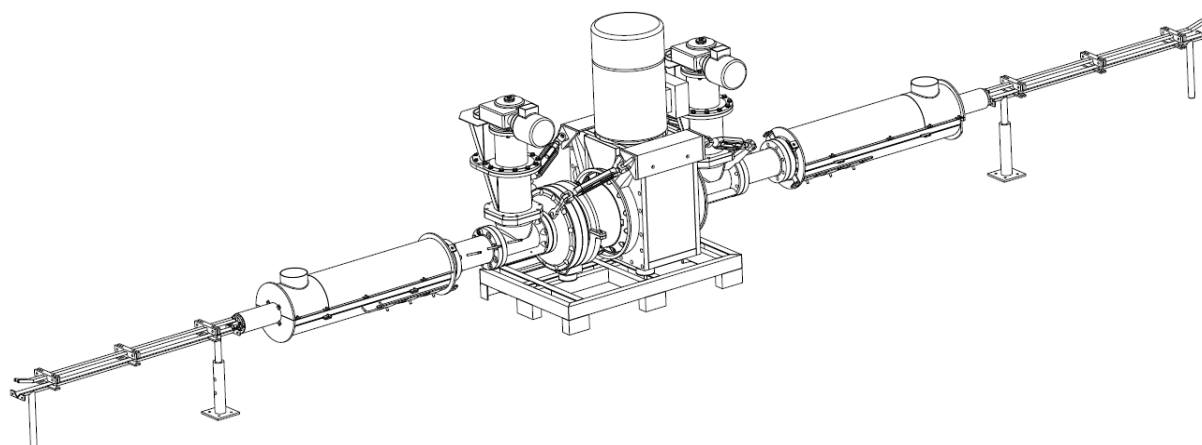
Pri vývoji nového experimentálneho zhutňovacieho zariadenia – novej konštrukcie závitovkového lisu boli aplikované výsledky výskumu jednotlivých parametrov



ovplyvňujúcich proces zhutňovania biomasy. Vyvinutá konštrukcia umožňuje riadenie jednotlivých technologických a konštrukčných parametrov procesu zhutňovania tak, aby bolo možné dosiahnuť vysokú kvalitu produkcie pri rôznych vstupných faktoroch. Napriek tomu, že sa zatiaľ jedná o prototyp, navrhnutá konštrukcia umožňuje porovnateľnú produkciu biopalív ako produkčné stroje, čo do výkonu, tak aj do tvaru a veľkosti výliskov. Preto následné experimenty a optimalizácie, ktoré sa budú na tomto stroji realizovať, budú reálne odzrkadľovať technológiu zhutňovania v praxi. Oblasť vývoja je zameraná na princíp závitkových lisov z dôvodu dosahovania najvyššej kvality produkcie práve týmto princípom. Avšak ich širšiemu uplatneniu v praxi bránia predovšetkým vysoké prevádzkové náklady spojené s nízkou životnosťou ložísk a pracovného nástroja (lisovacej závitovky) spôsobenou vysokým axiálnym zaťažením. Stanovené požiadavky pri vývoji samotnej konštrukcie boli nasledovné:

- eliminácia axiálneho zaťaženia ložísk, a tým zvýšenie ich životnosti,
- optimalizácia nástrojov z hľadiska tvaru a materiálových vlastností na zvýšenie efektívnosti procesu zhutňovania a zvýšenie ich životnosti,
- vysoká modularita stroja,
- možnosť riadenia a regulácie všetkých významných parametrov procesu zhutňovania,
- produkcia výliskov reálnej veľkosti a tvaru v porovnaní s praxou,
- možnosť rýchlej výmeny nástrojov - závitoviek a lisovacích hubíc,
- a ďalšie.

Na obrázku 1 je zobrazená celá konštrukcia nového závitkového lisu. Jedná sa o dvojkomorovú obojstrannú konštrukciu umožňujúcu kvalitnú produkciu výliskov z rôznych materiálov, v dôsledku možnosti riadenia každého významného parametra procesu lisovania. Konštrukcia je tiež osadená snímačmi, ktoré zabezpečujú spätnú väzbu. Stroj pozostáva z jedného spoločného hlavného pohonu, uzol uloženia vretena zabezpečujúceho zachytávanie pracovného zaťaženia a vymedzujúceho presnú polohu lisovacej závitovky v lisovacej komore, dvoch totožných lisovacích komôr s nástrojmi, dvoch plniacich systémov a dvoch chladiacich kanálov.

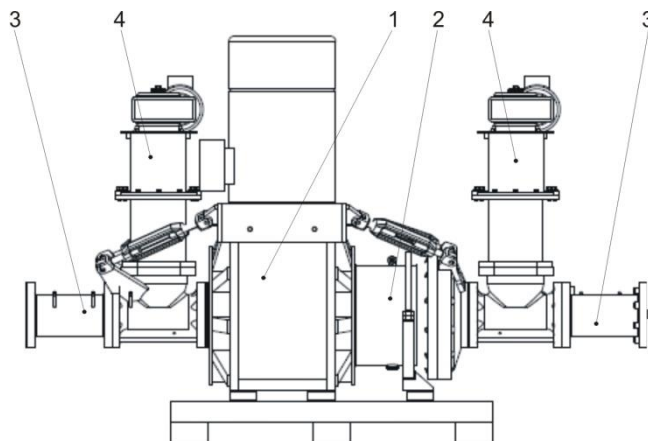


Obr. 1 Vyvinutá konštrukcia závitkového lisu

Samotné jadro stroja bez chladiacich kanálov je veľmi kompaktné (obr. 2) a umiestnené na ráme rozmerov europalety pre jednoduchú manipuláciu. Konštrukcia vyvinutého stroja nie je výnimočná len vo svojej kompatibilite, ale aj mobilite, kedy sú jednotlivé uzly veľmi rýchlo demontovateľné na rozmery vyhovujúce prevozu. Následná montáž je opäť veľmi rýchla bez potreby nastavovania, či ustavovania z dôvodu častejšieho prevozu stroja do reálnej výroby na dlhodobšie prevádzkové skúšky a následne späť do laboratórií na vyhodnotenie. Samotný



stroj nie je potrebné pri prevádzke kotviť, rám neprenáša žiadne pracovné zaťaženie ani vibrácie.



Obr. 2 Základné časti závitovkového lisu

(1 - pohon stroja, 2 - uzol uloženia vretena, 3 - lisovacia komora, 4 - plniaci systém)

Modularita navrhnutého zariadenia umožňuje z dvojkomorového stroja vytvoriť jednodukomorový veľmi jednoduchou a rýchlou demontážou jednej časti lisu - celej strany od pohonu lisu, bez ďalších úprav. Takáto jednodukomorová konštrukcia bude využívaná predovšetkým pri experimentoch a meraniach nakoľko umožňuje merať celé prevádzkové zaťaženie.

3 Riadenie parametrov procesu zhutňovania

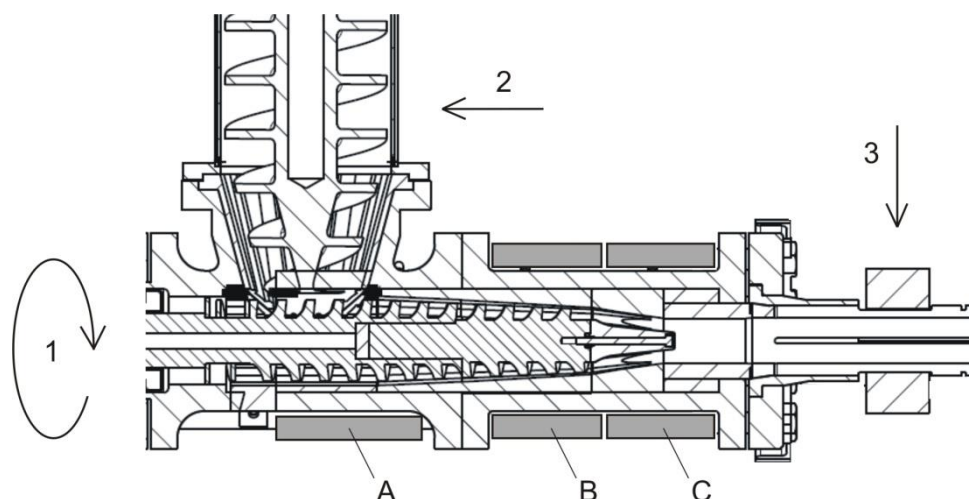
Pri vývoji zariadenia bol kladený veľmi silný dôraz na možnosť riadenia jednotlivých technologických a konštrukčných parametrov procesu zhutňovania, čo v súčasnosti produkčné stroje neumožňujú. Riadením týchto parametrov bude možné realizovať presné merania a optimalizovať celý zhutňovací proces pre ľubovoľný druh zhutňovaného materiálu (organického), a teda navrhnuť optimalizovanú konštrukciu stroja šitú na mieru pre každého zákazníka v závislosti od jeho požiadaviek. Optimalizácia umožní nastaviť také parametre procesu, aby dosahovaná kvalita produkcie spĺňala normou stanovené limity pri najnižších prevádzkových a investičných nákladoch.

Teplotu a vlhkosť vstupujúceho lisovaného materiálu bude možné regulovať prostredníctvom riadeného predohrevu umiestneného v plniacom systéme, resp. v súčasnosti prebieha výskum možnosti uplatnenia mikrovlnného ohrevu materiálu ešte pred vstupom do plniaceho systému. Ak by sa ukázal mikrovlnný ohrev ako efektívnejší spôsob riadenia teploty a vlhkosti materiálu, bude potrebné v rámci ďalšieho výskumu riešiť kontinuitnosť takéhoto ohrevu.

Najdôležitejším technologickým parametrom ovplyvňujúcim kvalitu výliskov je lisovací tlak. Ten je na lisovaný materiál vyvodzovaný nástrojom (lisovacou závitovkou). Je veľmi dôležité vedieť riadiť veľkosť tlaku. Vyvinutý závitokový lis umožňuje niekoľko spôsobov riadenia lisovacieho tlaku. Primárne riadenie tlaku je dosahované riadenými výkonnosťnými charakteristikami pohonu, predovšetkým riadením veľkosti krútiaceho momentu a otáčok závitovky. Na to, aby lisovací tlak vzrástol, je však potrebné efektívne zaplniť materiálom priestor medzi závitmi nástroja. Táto požiadavka je realizovaná preplňovaním lisovacieho priestoru vďaka kuželovej konštrukcii plniaceho systému a frekvenčného riadenia jeho pohonu. Avšak ani tieto spôsoby regulácie nemusia vždy viesť k zvyšovaniu lisovacieho tlaku na požadovanú úroveň. Ako tretí spôsob regulácie slúži klieština umiestnená za lisovacou



komorou. Riadením veľkosti prierezu klieštiny, cez ktorý vychádza výlisok z lisovacej komory, je možné riadiť veľkosť protitlaku v lisovacej komore, a tým dosiahnuť požadovanú hodnotu lisovacieho tlaku. Výsledky výskumu ukázali, že lisovací tlak a vyvodzovaný protitlak sú v priamej závislosti. Preto riadenie lisovacieho tlaku je riešené synergiou všetkých troch spôsobov (obr. 3). Tieto spôsoby riadenia veľkosti lisovacieho tlaku, resp. potrebnej axiálnej lisovacej sily vyvodzujúcej tento tlak, nezabezpečujú spätnú väzbu vo forme merania veľkosti a priebehu lisovacieho tlaku, resp. lisovacej sily pri zmene jednotlivých faktorov. Z tohto dôvodu je navrhnutý zabudovaný systém priameho merania lisovacej sily. Systém obsahuje dva piezokryštalické snímače sily umiestnené v uzle uloženia vretena a snímajú lisovaciu axiálnu silu priamo na vonkajšom krúžku ložiska. Oba sú umiestnené na jednom ložisku v 180° rozstupe. Súčet nameraných a vyhodnotených zložiek axiálnej sily pôsobiacej na snímače zodpovedá výslednej lisovacej sile vyvodzujúcej lisovací tlak nástroja na lisovaný materiál. Snímače sú schopné merať dynamický priebeh zaťaženia, čo umožňuje dosahovanie presnejších a relevantnejších výsledkov meraní.



Obr. 3 Rez lisovacou komorou - spôsoby riadenia lisovacieho tlaku a lisovacej teploty (1 - riadenie otáčok nástroja a krútiaceho momentu, 2 - preplňovanie lisovacieho priestoru riadením otáčok plniaceho systému, 3 - riadenie protitlaku zmenou prierezu klieštiny, A,B,C – riadené okruhy ohrevu lisovacej komory)

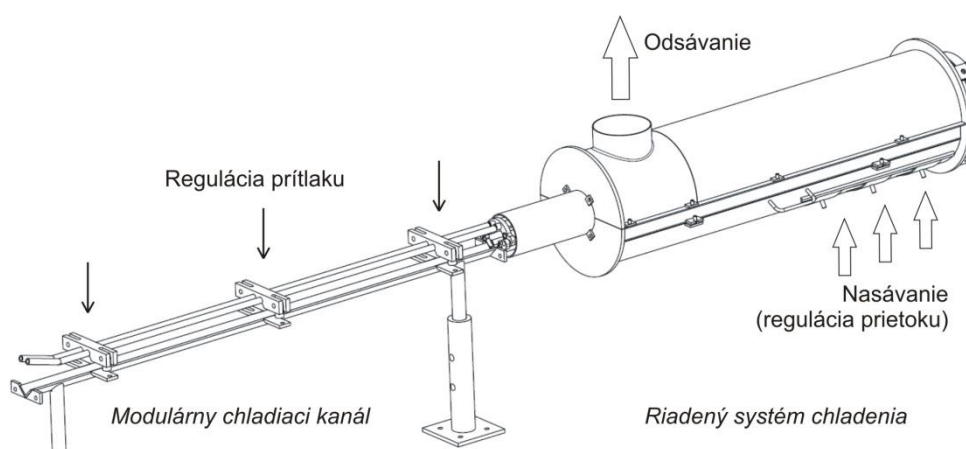
Lisovacia teplota je nezastupiteľný technologický parameter, ktorý je nevyhnutné riadiť a regulovať. Navrhnutá konštrukcia lisu je doplnená o výhrevné zariadenie lisovacej komory pozostávajúce z troch samostatne riadených okruhov (obr. 3). Jedná sa o elektrický ohrev komory riadený regulačnou jednotkou a kontrolovaný troma snímačmi teploty zapustenými priamo do lisovacej komory do hĺbky 1 mm od vnútornej steny lisovacej hubice, čo umožňuje snímať veľmi presne lisovaciu teplotu priamo vo vnútri komory.

Rýchlosť lisovania je veľmi dôležitý parameter pre optimalizáciu procesu lisovania pri rôznych druhoch lisovaného materiálu. Na jej reguláciu je navrhnuté frekvenčné programovateľné riadenie pohonu stroja.

Z technologického pohľadu je vysoká rýchlosť chladnutia výlisokov vychádzajúcich z lisu veľmi žiaduca. Čím je dosahovaná vyššia rýchlosť chladnutia výlisokov, tým sa zvyšujú ich mechanické ukazovatele kvality a môže vplývať aj na zvýšenie produktivity. Do novej konštrukcie bola zapracovaná táto požiadavka vo forme núteného chladenia vzduchom, ktorého intenzita je regulovaná zmenou prietoku vzduchu. Systém chladenia je umiestnený ihneď za lisovacou komorou (obr. 4) a obopína klieštinu a časť chladiaceho kanála. Vytvára



uzavretú oblasť, cez ktorú prechádza vytvorený výlisok, ktorý je súpradne chladený prechádzajúcim vzduchom prostredníctvom priemyselného sacieho ventilátora. Intenzita ochladzovania je daná prietokom vzduchu, ktorý je riadený posuvným regulačným vekom pokrývajúcimi vstupné otvory do telesa chladiaceho systému. Takýto systém má aj kumulovaný význam v odsávaní vzniknutých pár a plynov po zlisovaní, príp. prachových častíc. Po výstupe z riadeného chladiaceho systému postupuje výlisok ďalej v chladiacom kanáli, kde prebieha ďalšie prípadné chladnutie na vzduchu v okolitom priestore. Taktiež je regulovateľná dĺžka tohto chladiaceho kanála podľa potreby, nakoľko sa skladá z modulárnych stupňov. Chladiaci kanál má tiež význam pri sekundárnom vytváraní protitlaku a udržiavaní hotového výlisoku pod axiálnym tlakom počas jeho chladnutia. Okrem možnosti zmeny dĺžky kanála je možné riadiť aj radiálny prítlak kanála po obvodu výlisoku, čo bráni jeho dilatácii počas chladnutia. Nakoľko je chladiaci kanál delený na niekoľko stupňov, prítlak (a tým aj protitlak) je možné riadiť na každom stupni nezávisle.



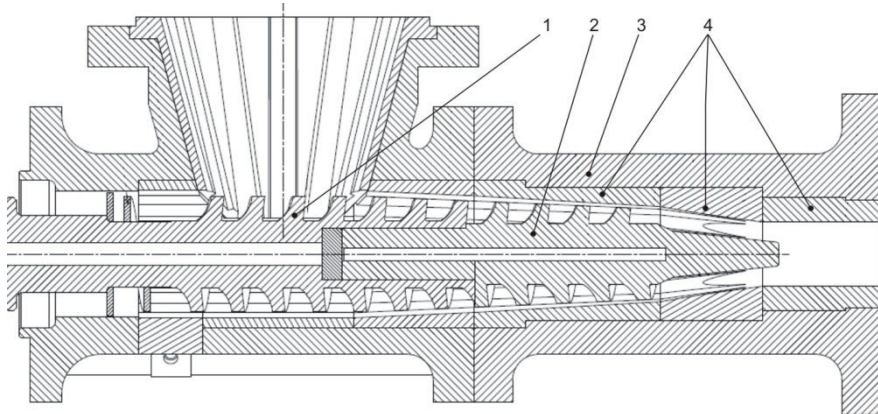
Obr. 4 Systém riadeného chladenia výlisokov

Aby bolo možné optimalizovať a regulovať konštrukčné parametre, bolo navrhnutých a bude vyrobených niekoľko sád lisovacích nástrojov (lisovacia závitovka, lisovacie hubice) s rôznym tvarom a rozmerom. Ich jednoduchou a rýchlou výmenou bude možné meniť v procese optimalizácie lisovania tvar a veľkosť výlisoku, vnútorný priemer lisovacej komory, dĺžku lisovacej komory, kombináciu materiálov lisovacích nástrojov, kužeľovitost' stien lisovacej komory atď. Zmena týchto parametrov zahŕňa rýchlu výmenu lisovacej závitovky a jednotlivých lisovacích hubíc (obr. 5). Prostredníctvom experimentov je možné optimalizovať konštrukčné parametre lisovacích nástrojov, a tak celý proces lisovania rôznych materiálov.

Zhutňovanie biomasy je pomerne zložitý proces. Preto návrh správnej geometrie lisovacieho nástroja je základnou podmienkou úspechu technológie. Počas realizácie výskumného projektu bola venovaná značná pozornosť výskumu geometrie lisovacieho nástroja, v tomto prípade lisovacej závitovky. V rámci matematickej analýzy bolo uvažované s rôznou geometriou nástrojov, predovšetkým s rôznym profilom závitov. Pre návrh vhodnej geometrie závitovky ako lisovacieho nástroja bola využitá matematická teória návrhu geometrie lisovacej závitovky. Každá geometria závitovky má svoje výhody aj nevýhody a je nutné ju analyzovať z rôznych hľadísk. Po vykonaní matematickej analýzy však nemožno definitívne konštatovať, že ten-ktorý profil závitovky je optimálny zo všetkých hľadísk, čo posúva výskum do ďalšej fázy optimalizácie, kde sú nevyhnutné reálne skúšky lisovania. Z tohto dôvodu bolo pre experimenty na vyvinutom lise navrhnutých a bude vyrobených



niekoľko sád lisovacích závitoviek. Líšia sa nielen v geometrii závitov, ale aj v geometrii a konštrukcii hrotov (rôzny tvar hrotov, monolitná závitovka s hrotom, bez hrotu, vymeniteľná závitovka so skladaným hrotom atď.).



Obr. 5 Nástroje závitkového briketovacieho lisu

1 – podávacia závitovka, 2 – lisovacia závitovka, 3 – lisovacia komora, 4 - hubice

4 Záver

Cieľom príspevku je poukázať na výsledky výskumu zhutňovania biomasy do formy tuhých biopalív a ich zhodnotenie pri návrhu novej konštrukcie závitkového lisu (Obr. 6), ktorá umožňuje riadiť všetky významné parametre procesu lisovania, a tým optimalizovať tento proces pre rôzne druhy zhutňovaných materiálov. Variabilita riadenia týchto parametrov umožňuje realizovať skúšky lisovania a optimalizáciu procesu lisovania pre širokú škálu materiálov, a to nielen z biomasy. Výsledky experimentálneho výskumu lisovania následne umožnia konštrukčný návrh produkčného stroja šitého na mieru zákazníkovi, pričom bude možné minimalizovať investičné, energetické a prevádzkové náklady.



Obr. 6 Výsledok výskumu a vývoja - dvojkomorový závitkový briketovací lis



Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol v rámci realizácie projektu “Výskum a vývoj progresívneho kompozitného paliva na báze odpadovej fytohmoty a návrh technológie na jeho priemyselnú produkciu (FILIP)” podporeného prostredníctvom Grantovej schémy v rámci Programu na podporu tímových projektov mladých výskumníkov v podmienkach Strojníckej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.

Použitá literatúra

- [1] MATÚŠ, Miloš, KRIŽAN, Peter: Influence of structural parameters in compacting process on quality of biomass pressing. In *Aplimat - Journal of Applied Mathematics*. ISSN 1337-6365. Vol. 3, No. 3 (2010), s. 87-96.
- [2] MATÚŠ, M., KRIŽAN, P., ONDRUŠKA, J., ŠOOŠ, Ľ. Analysis of tool geometry for screw extrusion machines. In *Aplimat - Journal of Applied Mathematics*. ISSN 1337-6365. Vol. 4, No. 4 (2011).
- [3] Pietsch W. Agglomeration processes – phenomena, technologies, equipment. Weinheim: Wiley-VCH; 2002.
- [4] Kaliyan N, Morey RV. *Densification of Biomass: Mechanisms, Models, and Experiments on Briquetting and Pelleting of Biomass*. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller; 2008.