

ANALÝZA PARAMETROV VPLYVAJÚCICH NA OPTIMALIZÁCIU TVARU A ROZMERU VÝLISKOV**Peter Krízan, Miloš Matúš**

Ústav výrobných systémov, environmentálnej techniky a manažmentu kvality, Strojnícka fakulta STU
Bratislava; Nám. Slobody 17, 81231 Bratislava; peter.krizan@stuba.sk

Cieľom príspevku je poukázať na parametre, ktoré musia byť uvažované pri optimalizácii tvaru a rozmeru tuhých ušľachtilých biopalív (TÚBP). Určité tvary a rozmery TÚBP sú všeobecne známe a dané. Avšak nie každý tvar a rozmer výlisku je vhodné pre konkrétne spôsoby energetického zhodnocovania. Na výsledný tvar a rozmer výliskov je nutné sa pozerať z pohľadu konštrukcie zhuťňovacích strojov, konštrukcie spaľovacích zariadení, automatizácie spaľovacieho procesu, dimenzovania podávacích zariadení, skladovania a prepravy výliskov. Prezentovaná analýza parametrov, zohľadňuje vyššie menované pohľady a preto bude možné vykonať optimalizáciu tvaru a rozmeru TÚBP.

Kľúčové slová: výlisk, tuhé biopalivo, tvar výlisku, spaľovací proces, pomer povrchu k objemu, opotrebovanie zhuťňovacích nástrojov, automatizácia spaľovacieho procesu, skladovanie

TYPY PRODUKOVANÝCH VÝLISKOV V SÚČASNOSTI

V súčasnom období sa na spracovanie biomasy v prevažnej miere využívajú 2 základné spôsoby zhuťňovania, a to peletovanie a briketovanie. V každom z týchto spôsobov sa využíva zhuťňovací proces, pri ktorom dochádza k redukcii objemu lisovacieho materiálu 6 až 19 násobne (19 násobne u bavlneného materiálu). Na základe tohto poznáme 2 druhy výliskov – pelety a brikety.

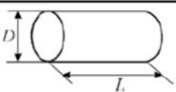
Pelety sú výlisky rôznych materiálov, zhuťnených pomocou technológie peletovania na peletovacích zhuťňovacích strojoch. Pelety sa vyrábajú zväčša valcového tvaru (viď. Obr. 1). Rozmery peliet sú definované v technických normách. V nasledujúcej tabuľke 1 môžeme vidieť rozmery peliet zadefinované niektorými národnými technickými normami (v dnešnej dobe už neplatnými). Výhodou peliet je možnosť automatizácie procesu spaľovania v kotloch, dobrá skladovateľnosť, pomerne rýchle vzplanutie, dobrá homogenita a iné. Medzi nevýhody môžeme zaradiť nižšiu mernú hmotnosť, ktorá sa prejavuje nižšou výdržou horenia, pri spaľovaní v domácich kotloch určených na kusové drevo je nutná technická úprava kotla čo môže byť finančne náročné. Brikety ako produkt briketovania sa vyrábajú v rôznych tvaroch a veľkostiach. V tabuľke 1 sú vypísané normy, ktoré priamo definujú rozmery brikiet. Poznáme valcové brikety, brikety tvaru n-uholníkového a tvaru kvádrového (viď. Obr. 1). Valcové a n-uholníkové brikety sa vyrábajú aj s dierou. Medzi výhody brikiet môžeme zaradiť dĺžku horenia, možnosť spaľovania bez úprav v akýchkoľvek otvorených systémoch. Sú vhodné pre spaľovanie v sporákoch, v kachliach, v ústredných kúreniach, v kozuboch a pod. Medzi nevýhody zaraďujeme skutočnosť, že sú nevhodné pre malé a stredné automatizované spaľovacie zariadenia.



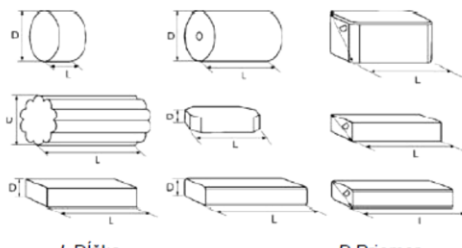
Obr.1 Štandardne vyrábané tvary brikiet a peliet v dnešnej dobe Tab.1 Rozmery peliet a brikiet definované národnými technickými normami [1], [2], [3], [4], [5], [6];

| Číslo normy | Krajina | Skupina (označenie) | Priemer D [mm] | Dĺžka [mm] | Typ biopaliva | Materiál |
|--------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|
| Ö-Norm M7135 | Rakúsko | HP 1 | od 4 do 10 | do 5 x D | pelety | drevo |
| | | HP 2 | od 10 do 40 | do 4 x D | - | drevo |
| | | HP 3 | od 40 do 120 | do 400 | brikety | kôra |
| | | RP 1 | od 4 do 10 | do 5 x D | pelety | - |
| | | RP 2 | od 10 do 40 | do 4 x D | - | kôra |
| | | RP 3 | od 40 do 120 | do 400 | brikety | drevo |
| DIN 51731 | Nemecko | HP 1 | do 100 | do 300 | brikety | drevo |
| | | HP 2 | od 60 do 100 | od 150 do 300 | brikety | drevo |
| | | HP 3 | od 30 do 70 | od 100 do 150 | brikety | drevo |
| | | HP 4 | od 10 do 40 | do 100 | pelety | drevo |
| | | HP 5 | od 4 do 10 | do 50 | pelety | drevo |
| DIN Plus | Nemecko | - | od 4 do 10 | do 5 x D | pelety | drevo |
| SS 187120 | Švédsko | 1 | do 4 | neudáva | pelety | drevo |
| | | 2 | do 5 | neudáva | pelety | drevo |
| | | 3 | do 6 | neudáva | pelety | drevo |
| SN 16000 | Švajčiarsko | - | od 4 do 10 | do 50 | pelety | drevo |
| CTI - R 04/5 | Taliansko | A | 6 alebo 8 | neudáva | pelety | - |
| | | B | 6 alebo 8 | neudáva | pelety | - |
| | | C | 6 alebo 8 | neudáva | pelety | - |
| | | D | od 10 do 25 | neudáva | pelety | - |
| British BioGen | Veľká Británia | Premium | od 4 do 20 | neudáva | pelety | - |
| | | Regenerované | od 10 do 20 | neudáva | pelety | - |
| Smernica č.55/2008 | Česká Republika | - | do 25 | neudáva | pelety | bylinná biomasa |

Technickou normalizáciou pre tuhé biopalivá sa v rámci Európskeho výboru pre normalizáciu zaoberá technická komisia CEN/TC 335. Táto sa snažila všetky existujúce národné technické normy zjednotiť a rozšíriť ich o aj o rôzne iné druhy materiálov. Európska komisia pre štandardizáciu CEN pripravila doteraz prostredníctvom Technickej komisie pre tuhé biopalivá (CEN-TC 335) 38 publikovaných štandardov, z toho 35 je technických noriem EN, dve špecifikácie CEN/TS a jedna technická správa CEN/TR. Na nasledujúcich obrázkoch 2 a 3, vidíme výťahy z aktuálne platných EN noriem pre tuhé biopalivá, týkajúcich sa rozmerov brikiet a peliet. V zásade platí, že výlisky s priemerom $D < \varnothing 25$ mm sa nazývajú pelety a výlisky s priemerom $D > \varnothing 25$ mm sa nazývajú brikety. Ďalšie rozmery a tvary výliskov sú definované v súbore noriem EN 14961. Výťahy uvedené v nasledujúcich obrázkoch sú zo súborov noriem STN EN 14961: Tuhé biopalivá, Špecifikácia a triedy palív, pozostávajúca zo 6 častí.

| | | |
|--|-----------------------------------|--|
| Pôvod: Podľa čl. 6.1 a tabuľky 1 | | Drevná biomasa (1) Bylinná biomasa (2) Ovocná biomasa (3) Definované a nedefinované zmesi (4) |
| Obchodná forma (pozri tabuľku 2) | | Pelety |
| L Dĺžka D Priemer | |  |
| Obrázok 3 – Rozmery (mm) | | |
| Rozmery (mm) | | |
| Priemer (D) a dĺžka (L) ^{a)} | | |
| D 06 | 6 mm ± 1,0 mm a 3,15 ≤ L ≤ 40 mm | |
| D 08 | 8 mm ± 1,0 mm a 3,15 ≤ L ≤ 40 mm | |
| D 10 | 10 mm ± 1,0 mm a 3,15 ≤ L ≤ 40 mm | |
| D 12 | 12 mm ± 1,0 mm a 3,15 ≤ L ≤ 50 mm | |
| D 25 | 25 mm ± 1,0 mm a 10 ≤ L ≤ 50 mm | |

Obr.2 Špecifikácia vlastností pre pelety – výťah zo súboru noriem STN EN 14961:2010 [7]

| | | |
|--|--|--|
| Pôvod: Podľa čl. 6.1 a tabuľky 1 | | Drevná biomasa (1) Bylinná biomasa (2) Ovocná biomasa (3) Definované a nedefinované zmesi (4) |
| Obchodná forma (pozri tabuľku 2) | | Briketa |
| Rozmery (mm) | | |
| Priemer (D) alebo ekvivalent (diagonálny alebo priečny rez), mm | | |
| D 40 | $25 \leq D \leq 40$ |  |
| D 50 | ≤ 50 | |
| D 60 | ≤ 60 | |
| D 80 | ≤ 80 | |
| D 100 | ≤ 100 | |
| D 125 | ≤ 125 | |
| D 125+ | > 125 (má sa uviesť maximálna hodnota) | |
| Dĺžka (L), mm | | <p style="text-align: center;">Obrázok 2 – Prikklady brikiet</p> |
| L 50 | ≤ 50 | |
| L 100 | ≤ 100 | |
| L 200 | ≤ 200 | |
| L 300 | ≤ 300 | |
| L 400 | ≤ 400 | |
| L 400+ | > 400 (má sa uviesť maximálna hodnota) | |

Obr.3 Špecifikácia vlastností pre brikety – výťah zo súboru noriem STN EN 14961:2010 [7]

ANALÝZA PARAMETROV VPLYVAJÚCICH NA OPTIMALIZÁCIU TVARU A ROZMERU VÝLISKOV

Na našom pracovisku sa venujeme konštrukcii zhutňovacích strojov a preto je nutné venovať sa aj analýze tvarov a rozmerov výliskov. Logickým výsledkom spracovania informácií z vykonanej analýzy je rozhodnutie pokúsiť sa optimalizovať tvar a rozmer výlisku – paliva. Dôležitým krokom je stanoviť si parametre vplyvajúce na optimalizáciu a vykonať analýzu stanovených parametrov.

Parametre, ktoré vplyvajú na optimalizáciu tvaru a rozmeru výliskov sú nasledovné [12]:

- kvalita paliva – hustota a pevnosť (druh lisovaného materiálu a technológie úpravy);
- spôsob horenia paliva (rozdiel medzi spôsobom horenia peliet a brikiet, medzerovitosť výliskov);
- opotrebovanie zariadenia (opotrebovanie funkčných častí zhutňovacích zariadení – nástrojov);
- automatizácia procesu spaľovania (pri spaľovaní peliet a pri spaľovaní brikiet);
- skladovanie a transport paliva (zaplnenie priestoru);
- príkon a výkon zariadenia pre výrobu výliskov;

Na základe vedomostí z praxe, poznatkov získaných z vedeckých prác a skúseností získaných na katedre, sme zostavili hodnoty váhových faktorov. Najvyššiu prioritu sme zvolili pre horenie, keďže výlisk je palivo. Do horenia patria tri dôležité časti: doba horenia, pomer povrchu k objemu a súčiniteľ medzerovitosti. Nižšiu prioritu sme priradili faktorom opotrebovania zariadenia, ako aj automatizácii procesu spaľovania výlisku. Najnižšiu prioritu sme určili pre skladovanie a prepravu výliskov.

Koeficienty váhových faktorov:

- proces horenia výlisku 1,3
- automatizácia procesu spaľovania výlisku 0,9
- opotrebovanie zariadenia 0,9
- skladovanie a preprava výlisku 0,3

-
- súčtový váhový koeficient 3,4

Kritériá ako proces horenia, skladovanie a doprava výlisku, automatizácia procesu výroby a dodávanie paliva do spaľovacieho zariadenia, sú kritériá podľa ktorých je vhodné posudzovať teleso - teda tvar a rozmer paliva.

1.) Proces horenia paliva – spôsob horenia paliva

Pre potreby analýzy sme si zvolili známe geometrické telesá, ktoré predstavujú tvar paliva (vid. Tab. 2). Niektoré geometrické telesá reprezentujú tvary výliskov, ktoré sa produkujú v súčasnej dobe. Nájdeme tu však aj telesá, ktoré sme si zvolili z dôvodu obsiahnutia širšieho záberu rôznych tvarov palív. Veľmi dôležitým parametrom pri procese horenia paliva je pomer povrchu k objemu paliva. Pre stanovenie tohto pomeru sme použili tzv. jednotkovú metódu a softvér vyvinutý na našom pracovisku Optimalizácia V4.0. Pri metóde jednotkového objemu sme objem telesa zvolili rovný jednej (jednotkový objem), všetky rozmery telesa až na jeden sme zvolili tiež rovné jednej. Hľadaný rozmer vyjadríme z objemu. Vypočítaný rozmer a jednotkové rozmery sme dosadili do vzorca pre povrch daného telesa. Pre softvér Optimalizácia V4.0 sú vstupnými hodnotami vzorca objemu a povrchu. Softvér určí počet premenných a vypíše premenné do operačného poľa. Pre premenné sa určia intervaly, krok a určí sa či bude výpočet pre konkrétny alebo ľubovoľný objem. Po zadaní hodnôt prebehne výpočet. Program dosadzuje všetky kombinácie hľadaných premenných s obmedzeným krokom. Premenné sú zapisované do virtuálnej tabuľky, kde porovnávaním hodnôt program vyhľadáva maximá a minimá pomeru povrchu k objemu. Výstupom je stanovenie maximálneho a minimálneho pomeru povrchu k objemu, určenie povrchu, objemu a určenie rozmerov pre maximálny a minimálny pomer povrchu k objemu.

Ak porovnáваме tvar „brikety a pelety“ z hľadiska rýchlosti horenia, zistíme že tieto tvary sa pohybujú v dvoch extrémoch. Ak má „n“ výliskov rovnaký objem a rôzny povrch, platí že objekt s najmenším povrchom zhorí podstatne neskôr ako objekt s najväčším povrchom. Guľa má najmenší povrch k jednotkovému objemu. Druhým extrémom je nekonečná doska, s hrúbkou, ktorá sa blíži k nule, priestorová vložka s nekonečným množstvom hrán, prípadne „ježko“ s jadrom veľkosti blížiacaj sa k nule. Z hľadiska spaľovania by teda malo platiť, že guľa (pomalé vyhorenie) je najvhodnejšia pre spaľovanie v krbe a tenučká platňa v aglomeračnom kotly (rýchle vyhorenie). Nás bude zaujímať minimálny pomer povrchu k objemu telesa.



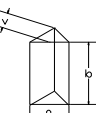
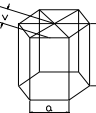
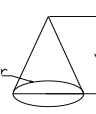
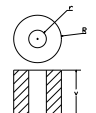

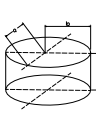

Úlohou analýzy bolo porovnať rôzne geometrické objekty a navrhnúť vhodný objekt, ktorý má optimálny pomer povrchu k objemu a vhodne vyplňuje skladovací priestor. Výsledkom vykonanej analýzy je poznanie, že z hľadiska pomeru povrchu k objemu je optimálnym telesom guľa a najnevýhodnejší je kužeľ. Vhodné objekty sú valec, valec s dierou a valec s podstavou elipsy. Z hľadiska použitých matematických metód je vhodnejšia metóda iteračná (softvér), lebo hľadá najvhodnejšie riešenie strán pre daný výlisok pri danom objeme. Samozrejme vyhodnotenie musí byť urobené aj s ohľadom na postup a technológiu výroby daného tvaru. Z programu sme získali nielen porovnanie povrchu k objemu všetkých vybraných objektov, ale aj pomer strán pre jednotkový objem a povrch. Výpočet prebehol pre krok 0,01 s obmedzením intervalom od 0,1 do 10 pre rozmery popisujúce objekt.

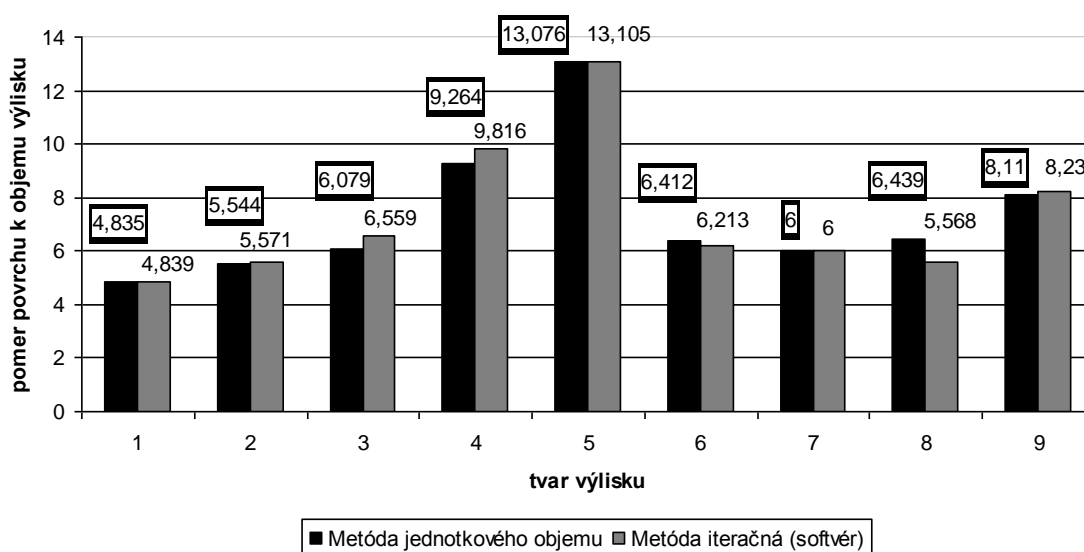
Pre rýchle vyhorenie objektu musí byť pomer povrchu k objemu čo možno najväčší, a pre pomalé vyhorenie objektu čo najmenší. Vhodný je teda tvar gule s určitou drsnosťou povrchu, prípadne tvar kvázi guľový s ostrými hranami. Drsnosť povrchu prípadne ostré hrany pomáhajú pri rýchlejšom zapálení výlisku, malý pomer povrchu k objemu zaručuje dlhé rovnomerné horenie. Taktiež sa osvedčil novo navrhnutý tvar telesa v podobe prieniku dvoch valcov.

Spaľovanie brikiet a peliet v domácich kotloch prebieha pyrolytickou reakciou. Vychádzame z faktu, že okrem biomasy neexistuje iná surovina, ktorá sa pri spaľovaní správa úplne ekologicky. Brikety a pelety majú pri spaľovaní rovnaký tvar, vlhkosť a hustotu. Zlisovaný odpad má často lepšie mechanické vlastnosti ako pôvodný materiál (hustota výlisku z dreveného odpadu je $\rho = 1000$ až $1400 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$, pričom hustota dreva smreku je približne $\rho = 400 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$). Brikety a pelety horia plynulo, ustáleným plameňom vzhľadom k takmer homogénnemu zloženiu materiálu. Doba horenia závisí od tvaru, veľkosti a druhu materiálu. Po vyhorení brikety alebo pelety sa popol používa ako biologické hnojivo. Porovnávacie štúdie dokázali, že pri valcových briketách o veľkých priemeroch sú v prvých minútach horenia nižšie straty vlhkosti ako pri briketách s menším priemerom. Bolo zistené, že tvar a veľkosť priemeru brikiet má vplyv na rýchlosť horenia. Ďalej nám výsledky laboratórnych testov ukázali, že brikety a pelety štvorcovej a obdĺžnikovej podstavy majú principiálne väčší úbytok vlhkosti, čo podmieňuje rýchlejší začiatok horenia v rohoch a na hranách. Takže valcová briketa horí pomalšie. Brikety o väčšom priemere majú tendenciu horieť pomalšie, a tým pádom dlhšie dodávajú teplo.

Pelety a brikety je možné optimalizovať z hľadiska našich zvolených parametrov. Dôležitými parametrami pre sledovanie by potom mali byť čas horenia, pomer povrchu k objemu výlisku a veľkosť medzery pre dokonalý prístup vzduchu pri horení. Celková doba spaľovania brikiet a peliet sa skladá z doby ohreву, zapálenia, odparovania vody, doba odplyňovania. Celkový čas sa pritom nemôže brať ako obyčajný súčet týchto časov. Napr. doba vyhorenia tuhej horľaviny začína už pri dohorievaní prchavej horľaviny. Stanovíť dobu vyhorenia brikiet a peliet je možné vykonať na základe aproximácie empirického vzorca pre vyhorenie uhoľného paliva, tzv. Nusseltovo kritérium. Toto kritérium zohľadňuje podmienky spaľovacieho priestoru a veľkosť objektu.

Tab.2 Tvary výliskov navrhnuté pre analýzu [12]

| P.č. | Výlisok - navrhovaný tvar | Objem – vzorec | Povrch – vzorec | Obrázok a rozmery |
|------|------------------------------|--|---|---|
| 1 | Guľa | $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ | $S = 4\pi r^2$ |  r |
| 2 | Valec | $V = \pi r^2 v$ | $S = 2\pi(r+v)$ |  r v |
| 3 | Päťsten | $V = \frac{a^2\sqrt{3}}{4}v$ | $S = \frac{a^2\sqrt{3}}{2} + 3 \cdot a \cdot v$ |  a v |
| 4 | Osemsten | $V = \frac{3\sqrt{3} \cdot a^2 \cdot v}{2}$ | $S = 3\sqrt{3} \cdot a^3 + 6 \cdot a \cdot v$ |  a b v |
| 5 | Kužel | $V = \frac{1}{3}r^2v$ | $S = \pi r(r+s)$ kde $s = \sqrt{v^2 + r^2}$ |  r v |
| 6 | Valec s dierou | $V = \pi(R^2 - r^2)v$ | $S = 2\pi(R^2 - r^2 + Rv + rv)$ |  r R v |
| 7 | Kocka | $V = a^3$ | $S = 6a^2$ |  a |
| 8 | Valec s eliptickou podstavou | $V = \sqrt{a^2 \cdot b^2} \cdot \pi \cdot v$ | $S = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot b +$ $\pi \cdot \left(\frac{3}{2}(a+b) \cdot \sqrt{a \cdot b}\right) \cdot v$ |  a b v |
| 9 | Prienik dvoch valcov | $V = 2,323r^3$ | $S = 10,752r^2$ |  r |



Obr.4 Porovnanie pomerov povrchu k objemu pre výlisoky: 1 – guľa; 2 – valec; 3 – päťsten; 4 – osemsten; 5 – kužel; 6 – valec s dierou; 7 – kocka; 8 – valec s eliptickou podstavou; 9 – prienik dvoch valcov

Pri horení je dôležitý prístup kyslíka a preto je dôležitá medzerovitosť daných výliskov. Optimálny objekt z hľadiska medzerovitosti sa javí guľa (viď. nižšie). Súčiniteľ medzerovitosti pre guľu je 0,427. Najnevhodnejším objektom je kocka, jej súčiniteľ medzerovitosti je rovný nule. To znamená pre kocku, že prístup vzduchu je nulový (viď. nižšie).

2.) Automatizácia procesu spaľovania výliskov

Pri analýze tvarov a rozmerov výliskov a pri následnom optimalizovaní tvarov výliskov je nutné vziať do úvahy aj automatizáciu spaľovania. V našej analýze sme sa zamerali hlavne na oblasť automatizácie procesu spaľovania výliskov v obytných domov.

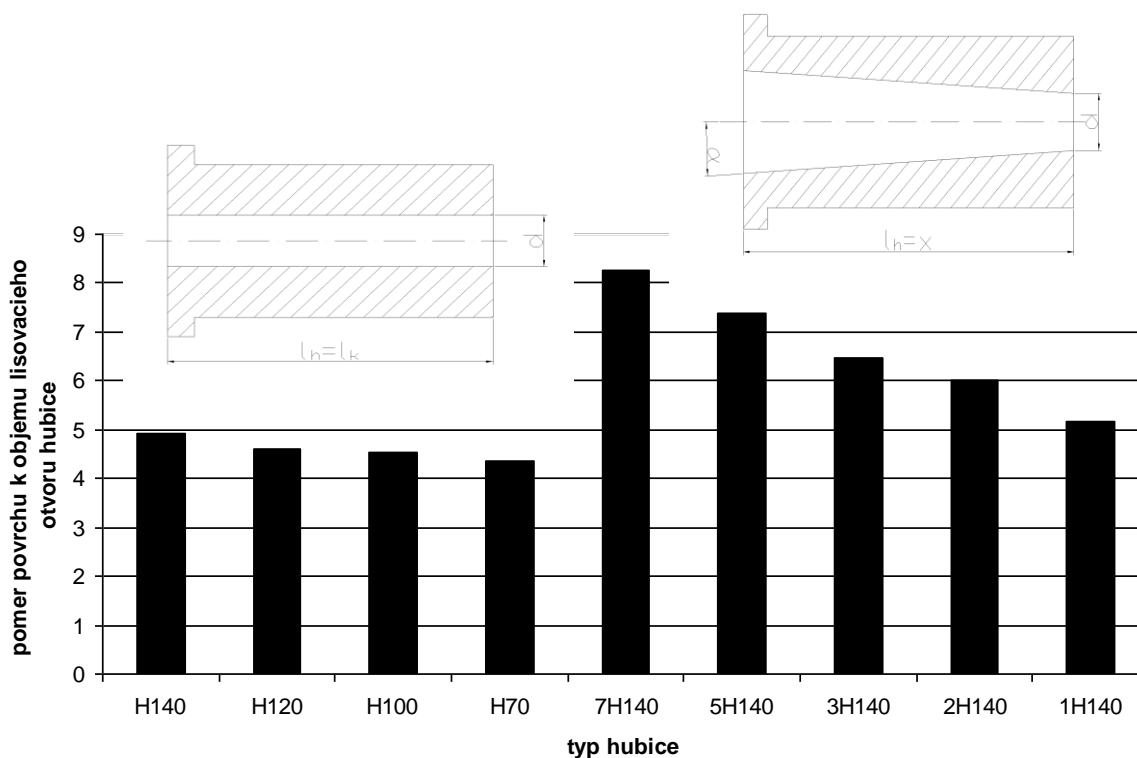
Vieme, že aj brikety sa spaľujú v domácich (drevo splyňujúcich) kotloch, prípadne v krbe. Ide o kotle (s výkonom 20 až 100 kW) pre rodinné domy a menšie budovy s charakteristickým prevedením horného zásobníka – splyňovača paliva. Splyňovacia komora je plnená kusovým palivom (briketami), zásoba vydrží 4 – 10 hodín trvalej prevádzky. V podstate tu nie je možné uplatniť žiadny stupeň automatizácie. Opačným prípadom sú veľkoodberatelia – kotolne, ktoré dokážu brikety zakomponovať do automatického režimu spaľovania výliskov, od zásobníka paliva až po jeho spálenie. Dávkovanie do spaľovacích zariadení je primerane nastavené podľa druhu a typu spaľovaného paliva a je možné ho riešiť použitím závitkového dopravníka alebo nastavením rovnomernej vrstvy na pásovom rošte. Taktiež sú často pri vykurovaní výrobných, sociálnych objektov, ohrev úžitkovej vody, využívané aj roštové podávače, hrabličkové dopravníky a turnikety. Pelety sú svojím tvarom a rozmermi vhodné hlavne pre spaľovanie v menších kotloch na pelety využívané v rodinných domoch, alebo menších objektoch. Pre tieto aplikácie sa v dnešnej dobe už zväčša tieto zariadenia dodávajú ako komplexný automatizovaný systém pozostávajúci zo zásobníka pre pelety, automatizované dávkovacie a dopravné systémy a samotný peletovací kotol. Množstvo svetových výrobcov preferuje dávkovače na pelety v intervale od \varnothing 4 až do \varnothing 25 mm. Norma STN ISO 1050 udáva parametre a hlavné rozmery pre závitkové dopravníky. Norma stanovuje, že najväčší rozmer dopravovaného materiálu nesmie presahovať $\frac{1}{4}$ priemeru závitovky.

Existuje niekoľko spôsobov dávkovania paliva. Jedná sa vo všeobecnosti o závitkové dopravníky a piestové podávače (domáce kotolne). Pre spaľovanie peliet v kotloch s malým výkonom sa používajú výhradne závitkové dopravníky, hlavne z dôvodu jednoduchého ovládania podávacej závitovky. Palivo by malo byť optimalizované aj s ohľadom na systémy dávkovacích zariadení, používajúcich dávkovače s predpísanými rozmermi paliva. Pre veľké spaľovacie systémy (kotolne) je využívanie peliet neefektívne a neodporúča sa. Spaľovanie paliva prebieha na rošte, pričom proces plnenia je plne automatizovaný pomocou závitkových dopravníkov, piestových dávkovačov, alebo pomocou roštových podávačov a ich kombináciou. Tieto zariadenia sú dimenzované na väčšie rozmery palív.

3.) Opatrebovanie funkčných častí zariadenia – lisovacích nástrojov

Opatrebovanie stroja a jeho funkčných častí je veľmi dôležité z ekonomického hľadiska. Preto je dôležité, aby sa opotrebovaniu zabraňovalo už pri návrhu výlisku (veľkosť a tvar) a ostatných kritériách. Čím väčšie je opotrebovanie, tým sú väčšie náklady na opravu a naopak. Pri analýze tohto parametra je možné tiež využiť pomer povrchu k objemu výlisku. Predpokladáme že čím menší dosiahneme pomer povrchu k objemu, tým je opotrebovanie menšie. Teda to znamená menší pomer opotrebovania zhutňovacej komory, matrice pre peletovanie a hubice pre briketovanie – teda lisovacieho nástroja. Z hľadiska tohto predpokladu a na základe vypočítaných hodnôt pomerov (viď. Obr. 4) sa dá povedať, že z pohľadu opotrebovania funkčných častí stroja je najvhodnejšia guľa. Opatrebovaniu zariadenia sme dali ten istý váhový faktor ako automatizácii spaľovania.

Pre názorné vysvetlenie prikkladáme nasledujúci obrázok 5. Vidíme tu grafické porovnanie pomeru povrchu k objemu rôznych tvarov lisovacích otvorov v briketovacej hubici (nástroj). Treba si uvedomiť, že výsledný tvar výliskov je priamo závislý od lisovacích nástrojov. Preto je možné cez tvar lisovacieho nástroja a jeho mieru opotrebovania vyjadrenú pomerom povrchu k objemu lisovacích otvorov, analyzovať a následne optimalizovať tvar výliskov. Hubice označené H140, H120, H100 a H70 reprezentujú hubice s valcovým otvorom \varnothing 20 mm, ktorých dĺžky sú 70, 100, 120 a 140 mm. Hubice 7H140, 5H140, 3H140, 2H140 a 1H140 sú hubice s kužeľovým otvorom, priemerom na vstupe \varnothing 20 mm a meniacim sa stupňom kužeľovitosti 1° , 3° , 5° a 7° . Na základe vypočítanej hodnoty pomeru povrchu k objemu lisovacieho otvoru pre každú z uvedených hubíc, môžeme konštatovať že z pohľadu najmenšieho opotrebovania nástroja – lisovacej hubice ja najvhodnejšia hubica H70 (viď. Obr. 5). Takýmto postupom je možné zanalyzovať rôzne tvary lisovacích nástrojov a tým získať pohľad na mieru opotrebovania lisovacieho nástroja v závislosti od tvaru výliskov.

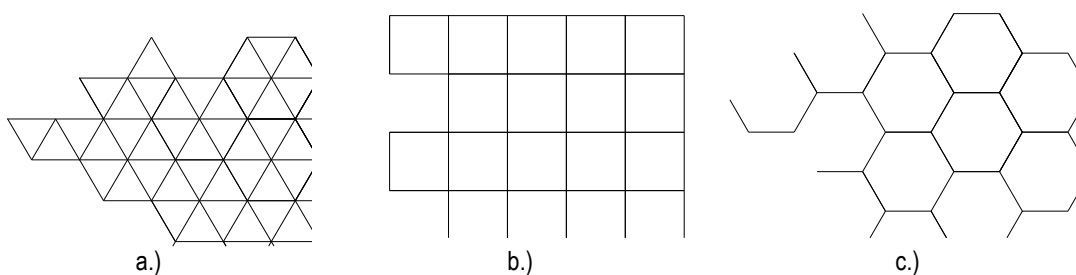


Obr.5 Porovnanie pomerov povrchu k objemu lisovacích otvorov briketovacích hubíc rôznych modifikácií

4.) Skladovanie a preprava výliskov

Skladovanie, preprava a manipulácia závisí od tvaru výliskov. Je jedno o aký tvar výlisku sa jedná, avšak pre každý konkrétny je nutné navrhnuť spôsob skladovania a prepravy. Výstupom briketovacej linky sú brikety uložené na palete a obalené fóliou alebo zabalené v papierových vreciach. Vo výstupnej časti peletovacej linky sú pelety balené zväčša do igelitových vriec s hmotnosťou 15 kg. Baliť brikety a pelety do vriec s vyššou hmotnosťou ako 20 kg nemá pre obytné domy význam, pretože pre použitie v domácnostiach sú takéto vrecia veľmi ťažké a zle sa s nimi manipuluje. Taktiež je možné pelety baliť do tzv. Big-bagov (textilné vrecia) s hmotnosťou maximálne 1000 kg. Avšak takáto forma balenia je vhodná pre väčšie prevádzky. Pelety je však možné odberateľovi dopravovať aj v cisternách. Cisterna nákladného automobilu je naplnená peletami priamo vo výrobní linke a na objednávku sa dopraví k spotrebiteľovi. Zásobník spotrebiteľa sa zaplní pomocou pneumatického systému, čo umožňuje plne automatický spôsob zásobovania.

So skladovaním, prepravou, procesom horenia a automatizáciou procesu spaľovania súvisí a veľký význam má tzv. zaplnenie (vyplnenie) priestoru. Aproximácia problému na rovinu bude vyzeráť nasledovne. Rovnostranný trojuholník a štvorec sú plošné útvary, ktoré zaplnia rovinu tak, že dôjde k vyplneniu roviny bezo zvyšku (viď. Obr. 6). Pravidelné päťuholníky sa môžu stretnúť v jednom vrchole, do úvahy teda nepripadajú. Pravidelný šesťuholník s rovnakými hranami, ktorého susedné hrany zvierajú uhol 120° a tri páry hrán dajú dohromady 360° , je vhodnejší. Šesťuholník je tiež rovinný útvar, ktorý bezo zvyšku zaplní rovinný priestor.



Obr.6 Zaplnenie roviny rovinnými útvarmi: a.) trojuholník; b.) štvorec; c.) šesťuholník

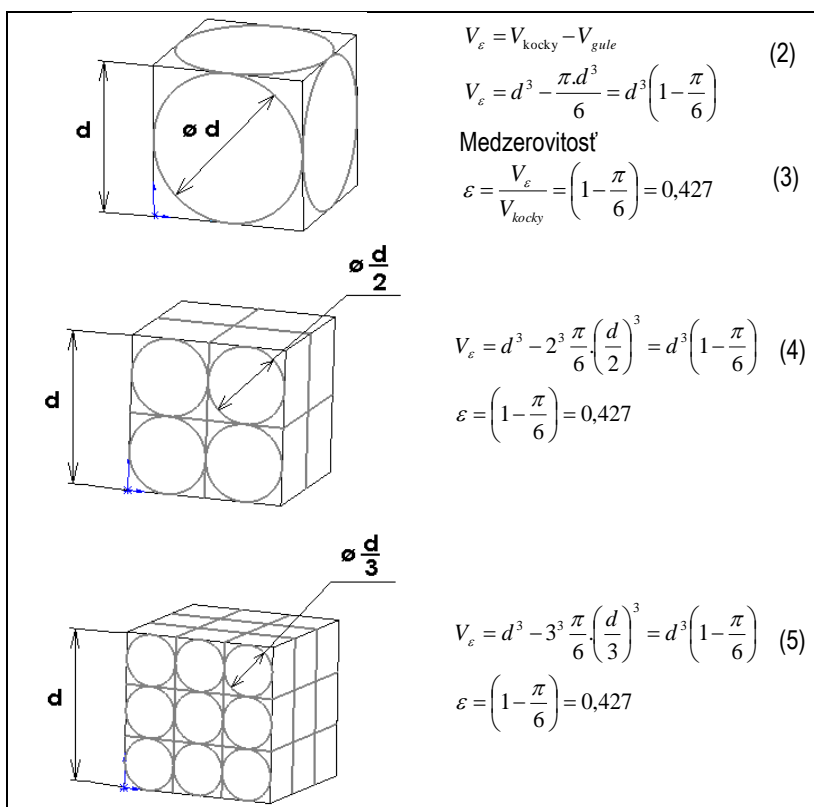
Ako je to v priestore? V prvom rade je nutné zohľadniť vyrobiteľnosť výlisku. Najvýhodnejšie je optimalizovať tvar výlisku tak, aby mal podstavu určitého tvaru „vytiahnutú“ do priestoru. Taktó vyrobený výlisk drží tvar, má vysoký stupeň zhutnenia, profil je takmer ľubovoľný a kvalita výlisku je vysoká. Druhou možnosťou je využitie kompakтовania, pričom výsledný produkt je granula požadovaného tvaru. Zaplnenie priestoru je výhodné pre skladovanie, nie však pre horenie. Pri horení je nutná existencia medzery pre prúdenie okysličovadla. Z hľadiska prúdenia vzduchu a optimálnej medzerovitosti má optimálnu medzerovitost' guľa, ako sme už uviedli aj vyššie.

Efektívne skladovanie, balenie, prepravu a manipuláciu s výliskami ovplyvňuje faktor priestorového vyplnenia výlisku, tzv. medzerovitost'. Samozrejme, rôzne tvary výliskov majú rôznu medzerovitost'. Medzerovitost' ovplyvňuje:

- *Tvar častíc* – napr. pri usporiadaní kociek je medzerovitost' $\varepsilon = 0$, pričom pri guľovom výlisku nikdy nedosiahneme nulovú medzerovitost'.
- *Frakčné zloženie* – pre výlisky je monodisperzné, t.j. rovnaká veľkosť, a identický tvar. Medzerovitost' je väčšia ako u polydisperzných látok, kde dochádza k zapĺňaniu medzier prachom.
- *Spôsob usporiadania častíc* – guľové častice identického priemeru majú 6 spôsobov usporiadania a 6 rôznych hodnôt ε . Medzerovitost' závisí aj od počtu kontaktov medzi časticami. U steny je medzerovitost' najvyššia.
- *Blízkosť steny nádoby, resp. skladu*

Výpočet medzerovitosti môžeme vykonať podľa nasledujúcej rovnice 1, kde V_ε [mm³] je objem medzier a V_t [mm³] je objem výlisku:

$$\varepsilon = \frac{V_\varepsilon}{V_\varepsilon + V_t} \quad (1)$$



Obr.7 Usporiadanie a výpočet medzerovitosti guľového výlisku rôzneho priemeru v identickom priestore

Ak je uskladnenie tvorené časticami rovnakého geometrického tvaru a rôzneho usporiadania, potom medzerovitost' nezávisí na veľkosti objektu (viď Obr. 7). Medzerovitost' je takmer nemožné určiť pre objekty voľne uložené napr. v kontajnery alebo v mechu. Je veľmi ťažké a prácne určiť orientáciu samotných výliskov v priestore. Úlohy je teda nutné zjednodušovať a objekty pri výpočte osádzať do kvádra, ktorého rozmery určujú

maximálne rozmery optimalizovaného výlisku. Aj na základe Obr.7 si môžeme uvedomiť, že aj veľmi nepatrná zmena rozmeru výlisku (taktiež zmena tvaru), môže výrazne ovplyvniť vyplnenie priestoru. Jedným zo základných kritérií pre optimalizáciu tvaru a rozmeru výliskov by malo byť maximálne vyplnenie priestoru aj pri neorientovanom skladovaní.

ZÁVER

Výlisky získané peletovaním a briketovaním majú každý svoje výhody aj nevýhody. Snahou je navrhnúť nový výlisok tak, aby mal všetky výhody produktov peletovania a briketovania (alebo aspoň ich väčšiu časť) prípadne aby sme v čo najväčšej miere potlačili nevýhody. Takto vznikne výsledný produkt - „ideálny výlisok“. Vykonaná analýza vypichuje parametre, ktoré je dôležité vziať do úvahy pri návrhu nových tvarov výliskov resp. optimalizácii známych tvarov a rozmerov výliskov. Na základe tejto analýzy vieme, že na návrh resp. optimalizáciu tvaru a rozmeru výliskov sa nikdy nemôžeme pozeráť iba z jedného uhľa pohľadu. Výlisok by mal mať tvar a rozmer, ktorého pomer povrchu k objemu sa bude blížiť k optimu. Tento pomer ovplyvňuje dĺžku horenia výlisku, efektívne využívanie výlisku v automatizovaných systémoch spaľovania, zaplnenie priestoru pri skladovaní a preprave a v neposlednom rade prispieva aj k miere opotrebovania lisovacieho nástroja. Výlisok by mal obsahovať hrany, čo je veľmi dôležité pre počiatkové vznietenie výlisku a efektívne spaľovanie výlisku. To všetko by malo byť v správnom a vyváženom konsenze s vyrobiteľnosťou takéhoto výlisku, pretože toto priamo súvisí s cenou zhutňovacieho stroja a s ekonomikou výroby výliskov.

POĎAKOVANIE

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] Norma DIN Plus: 2002 Certification Scheme. Wood pellets for use in small furnaces. Berlin, Germany. DIN CERTCO – Gesellschaft für Konformitätsbewertung GmbH
- [2] Ö-Norm M 7135:2000 Compressed wood or compressed bark in natural state-pellets and briquettes, requirements and test specifications. Vienna, Austria: Österreichisches Normungsinstitut
- [3] Norma DIN 51731:1996 Testing of solid fuels – compressed untreated wood, requirements and testing. Berlin, Germany: Deutsches Institut für Normung
- [4] SS 187120:1998 Biofuels and peat-fuel pellets – classification. Stockholm, Sweden: Swedish Standards Institution
- [5] SN 166000:2001 Testing of solid fuels – compressed untreated wood, requirements and testing. Winterthur, Switzerland: Schweizerische Normen-Vereinigung
- [6] ŠOOŠ, L.; KRIŽAN, P.; MATÚŠ, M.; KOLLÁTH, L.; MACKOVÝCH, D.: Spracovanie expertíznej správy s vyšpecifikovaním environmentálnych kritérií na skupinu produktov "Vykurovacie pelety z biomasy" : Výskumná správa k zmluve o dielo HZ 27/09; Bratislava: STU v Bratislave, 2010. - 19 s.
- [7] STN EN 14961:2010, Tuhé biopalivá. Špecifikácie a triedy palív.
- [8] ŠOOŠ, L.; MATÚŠ, M.; KRIŽAN, P.: Štandardizácia tuhých ušľachtilých biopalív. In: Power Engineering 2010. International Scientific Event. - Bratislava: STU v Bratislave; Tatranské Matliare, SR, 18.-20. 5. 2010. - Bratislava : STU v Bratislave, 2010. - ISBN 978-80-89402-24-3, [7]
- [9] KRIŽAN, P.; ŠOOŠ, L.; MATÚŠ, M.: Optimisation of briquetting machine pressing chamber geometry. In: Machine Design. - ISSN 1821-1259. - 2010. - , 2010, s. 19-24
- [10] KRIŽAN, P.; ŠOOŠ, L.: Analýza tvaru lisovacej komory na zhutňovanie drevnej biomasy, In.: Zborník abstraktov z medzinárodnej konferencie ERIN 2008, Bratislava, 23.-24.04.2008, ISBN 978-80-227-2849-2, str.III-3, CD-ROM
- [11] KRIŽAN, P.: Proces lisovania dreveného odpadu a koncepcia konštrukcie lisov, Dizertačná práca, Sjf STU v Bratislave, ÚSETM, Bratislava, júl 2009, s.150
- [12] ŽÁK, L.: Viacparametrová optimalizácia tvaru a rozmeru výliskov z organického paliva, DP, KVT Sjf STU Bratislava, 2001
- [13] ALTUN, E.N.; HICYLMAZ, C.; BAGCI, S.A.: Influence of coal briquette size on the combustion kinetics, 2003, Web Site: <http://sciencedirect.com>
- [14] SMITH, W.O.; FOOTE, P.D.; BUSANG, P.F.: Packing of homogeneous spheres, Physical Review 34 (1929), str. 1271 - 1274