

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Hydraulický briketovací lis

Hydraulic Briquette Press

Student:

Bc. Roman Hejný

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Roman Hejný**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: **Hydraulický briketovací lis**
Hydraulic Briquette Press
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V teoretické části proveďte technologii zpracování biomasy ve formě tuhých paliv včetně rešerše briketovacích lisů. Proveďte analýzu dané problematiky. V rámci diplomové práce navrhnete hydraulický briketovací lis s lisovacím výkonem 400 kg/hod. V praktické části proveďte podrobný konstrukční návrh včetně hydraulických a mechanických pohonů. Proveďte kinematické, pevnostní výpočty a konstrukční návrh podložte technickou dokumentací. Bližší specifikace provozních podmínek a dalších relevantních parametrů určí zadavatel – firma Biomac, Ing. Černý s.r.o

Seznam doporučené odborné literatury:

VOŠTOVÁ, V. *Zpracování pevných odpadů II*. Vyd. 1. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2006, 95 s. ISBN 80-01-03488-7
VOŠTOVÁ, V. – FRIES, J. *Zpracování pevných odpadů*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 157 s. ISBN 80-01-02672-8
ZEGZULKA, J. *Mechanika sypkých hmot*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 186 s. ISBN 80-248-0699-1
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zprac. tex. editory*. Praha: ČNI, srpen 1997. 36 s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: ČNI, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015
Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě
16.5.2016

.....
Hejný


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne.....

16.5.2016



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Roman Hejný

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Šumvald 38, 783 85, Šumvald

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HEJNÝ, R. *Hydraulický briketovací lis: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2016, 65s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem hydraulického briketovacího lisu, který je určen pro zpracovávání dřevěných pilin nebo hoblin. Hodinový lisovací výkon je 400 kg/hod a výsledné brikety jsou kvádrového tvaru. Teoretická část se zabývá zpracováním biomasy ve formě tuhých paliv s přehledem briketovacích lisů. Praktická část se zabývá podrobným konstrukčním návrhem včetně mechanických a hydraulických pohonů a jejich výpočtů.

ANOTATION OF DIPLOMA THESIS

HEJNÝ, R. *Hydraulic Briquette Press: Diploma thesis*. Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2016, 65p. Diploma thesis supervisor: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

The diploma thesis deals with the construction proposal for hydraulic briquetting press machine which is intended for processing of wood sawdust or shavings. Hour pressing capacity is 400 kg per hour and the resulting briquettes are cuboid in shape. The theoretical part deals with the processing of biomass as solid fuel with an overview of briquetting presses. The practical part deals with the detailed construction design including mechanical and hydraulic drives and their calculations.

Obsah

Seznam použitých značek	7
Úvod	10
1 Biomasa	11
1.1 Výlisky z biomasy	11
1.2 Charakteristické ukazatele kvality výlisků	12
1.2.1 Chemicko-termické ukazatele	12
1.2.2 Fyzikálně-mechanické ukazatele	13
1.3 Zpracování biomasy na tuhá paliva	14
1.3.1 Briketování	15
1.3.2 Peletování	15
1.4 Technologie briketování	16
1.4.1 Konstrukční parametry v procesu zhutňování	16
1.4.2 Význam a vliv geometrie lisovací komory a součinitel tření	17
1.4.3 Vliv délky ochlazovacího kanálu (hubice) na kvalitu výlisků	17
1.4.4 Vliv druhu lisovacího nástroje na kvalitu výlisků	17
1.4.5 Vliv lisovací komory na kvalitu výlisků	20
1.5 Briketovací lisy	20
1.5.1 Šnekové lisy	20
1.5.2 Hydraulické lisy	21
1.5.3 Mechanické (klikové) lisy	21
2 Technická a vývojová analýza	23
3 Výpočet základních parametrů lisu	24
3.1 Zadané parametry	24
3.2 Návrh hydraulických přímočarých motorů	24
3.2.1 Návrh hlavního hydraulického válce	24
3.2.2 Návrh předlisovacího hydraulického válce zhutňovací komory	26
3.2.3 Návrh hydraulického válce lisovací formy	27
3.3 Návrh a volba hydrogenerátoru	29
3.4 Návrh hydraulické nádrže	33
3.5 Návrh potrubí hydraulického obvodu	33
3.6 Návrh hydraulického obvodu	35
3.7 Návrh a výpočet šnekového dopravníku	36
3.8 Návrh a výpočet kypřicího zařízení	40

3.9 Pevnostní kontrola hřídelového šroubu	42
3.10 Pevnostní kontrola namáhaných součástí pomocí MKP	46
3.10.1 Kontrola nosného členu lisovací formy	46
3.10.2 Kontrola razníku	47
4 Konstrukční návrh lisu	49
4.1 Konstrukční řešení lisu	49
4.2 Princip činnosti hydraulického lisu	50
4.3 Popis jednotlivých uzlů lisu.....	51
4.3.1 Konstrukce rámu	51
4.3.2 Zhutňovač	51
4.3.3 Kypřicí nádoba se šnekovým dopravníkem.....	52
4.3.4 Uzavřená lisovací forma	53
4.3.5 Razník s vyrážecem	54
4.3.6 Zarážec vylisků	55
4.3.7 Nádrž hydraulického agregátu	56
4.3.8 Elektrická rozvodná skříň s nosným rámem	56
4.3.9 Indukční snímače	57
5 Závěr.....	59
Seznam použité literatury.....	60
Seznam obrázků	62
Seznam tabulek.....	63
Seznam příloh	65

Seznam použitých značek

Symbol	Význam	Jednotka
σ_d	průměrná hodnota meze pevnosti dřeva	[MPa]
σ_l	lisovací tlak	[MPa]
p	pracovní tlak	[MPa]
σ_z	předlisovací tlak zhutňovacího pístu	[MPa]
σ_t	napětí v tahu	[MPa]
τ	smykové napětí	[MPa]
R_e	minimální dovolené napětí v kluzu	[MPa]
ρ_d	průměrná hustota dřeva	[kg/m ³]
ρ_b	potřebná hustota dřeva (briket)	[kg/m ³]
ρ_b	objem brikety	[kg/m ³]
Q	hodinový výkon lisu	[kg/hod]
m_b	hmotnost brikety	[kg]
V_z	potřebný objem HM zhutnovače pro jeden pracovní cyklus	[dm ³]
V_k	potřebný objem HM lisovací formy pro jeden pracovní cyklus	[dm ³]
V_l	potřebný objem lisovacího HM pro jeden pracovní cyklus	[dm ³]
V_c	celkový objem oleje pro jeden pracovní cyklus	[dm ³]
V_b	objem brikety	[m ³]
$d_{p-OSKUT}$	skutečný jmenovitý průměr odpadního potrubí	[m]
D	průměr šnekovnice	[m]
d	průměr hřídele šnekovnice	[m]
s	stoupání šnekovnice	[m]
R_s	účinný poloměr šneku	[m]
L	délka šnekového dopravníku	[m]
b_l	šířka lopatky	[m]
r_l	poloměr lopatky	[m]
S_b	plocha brikety	[mm ²]
S_z	plocha zhutňovacího pístu	[mm ²]
a	šířka brikety	[mm]
b	výška brikety	[mm]

D_1	průměr pístu lisovacího válce	[mm]
a_z	šířka zhutňovacího pístu	[mm]
b_z	délka zhutňovacího pístu	[mm]
D_z	průměr pístu hydraulického válce zhutňovače	[mm]
D_f	průměr pístu válce lisovací formy	[mm]
d_z	půměr pístnice hydraulického válce zhutňovače	[mm]
z	potřebný zdvih hydraulického válce	[mm]
D_k	půměr pístu hydraulického válce lisovací komory	[mm]
d_k	půměr pístnice hydraulického válce lisovací komory	[mm]
D_l	půměr pístu lisovacího hydraulického válce	[mm]
d_l	půměr pístnice lisovacího hydraulického válce	[mm]
c	délka brikety	[mm]
a_k	délka komory	[mm]
b_k	šířka komory	[mm]
c_k	výška komory	[mm]
d_2	střední půměr závitu	[mm]
P	stoupání závitu	[mm]
s_K	šířka hlavy matice	[mm]
d_D	vnitřní průměr podložky	[mm]
d_3	malý průměr závitu	[mm]
F_{tl}	teoretická lisovací síla	[N]
F_z	předlisovací síla zhutňovače	[N]
G	zatížení od lisovací formy	[N]
F_{tl}	síla válce lisovací formy	[N]
F_0	předpětí jednoho hřídelového šroubu	[N]
F_p	síla působící na jeden hřídelový šroub	[N]
F_{t0}	maximální síla působící na jeden hřídelový šroub	[N]
μ	součinitel tření	[–]
η_g	účinnost čerpadla	[–]
λ	součinitel sklonu dopravníku	[–]
w	součinitel odporu	[–]
f	součinitel tření mezi dřevem a ocelí	[–]
$k_{\varphi k}$	součinitel plnění kypřiče	[–]
η_c	celková účinnost pohonu	[–]

f_z	součinitel smykového tření mazaný olejem	[–]
f_m	tření mezi maticí a podložkou	[–]
k_s	statická bezpečnost	[–]
v_{p-t}	rychlost kapaliny v tlakovém potrubí	[m/s]
v_{p-o}	rychlost kapaliny v odpadním potrubí	[m/s]
v_{p-s}	rychlost kapaliny v sacím potrubí	[m/s]
Q_{g-s}	skutečný průtok čerpadla	[m ³ /s]
Q_{g-t}	teoretický průtok čerpadla	[l/min]
Q_{g-s}	skutečný průtok čerpadla	[l/min]
$P_{Kš}$	výkon na hřídeli šnekového dopravníku	[kW]
P_k	příkon hřídele kypřiče	[kW]
M_{tz}	třecí moment v závitě	[N/mm]
M_{tm}	třecí moment v dosedací ploše hřídelového šroubu	[N/mm]
α	úhel stoupání šneku	[rad]
δ	třecí úhel mezi materiálem a šnekovnicí	[rad]
α	úhel profilu závitu	[°]
ψ	úhel stoupání závitu	[°]
φ'	třecí redukovaný úhel	[°]
ε	úhel sklonu dopravníku	[°]
x_b	počet briket za hodinu	[ks]
x_l	počet lopatek kypřiče	[ks]
n_s	otáčky šnekovnice	[ot/s]
n_k	otáčky kypřiče	[ot/s]
n_m	otáčky elektromotoru	[ot/min]
M_l	Kroutící moment pro otočení jedné lopatky	[N/m]
k_r	měrný koeficient odporu proti pohybu lopatek	[N/m ²]
ρ_s	sypná hmotnost materiálu	[t/m ³]
v_{g-s}	skutečný geometrický objem	[cm ³ /ot]
Q	dopravní množství	[t/hod]
t_b	čas na výrobu jedné brikety	[s]
P_s	příkon motoru šnekového dopravníku	[W]

Úvod

S rostoucí populací roste i spotřeba energie, kterou lidé potřebují ke každodennímu životu ve formě tepla, světla nebo jiné podobě. Svět trpí v dnešní době rychlým poklesem fosilních paliv a stále více se využívá obnovitelných zdrojů energie. Velice úspěšným obnovitelným zdrojem je právě biomasa, ve které se ukládá sluneční energie, která se pak přemění na energii ve formě tepla, pohonných hmot či elektřiny.

Slisováním biomasy získáme tuhé palivo ve formě briket nebo pelet o větší výhřevnosti, delší doby hoření a v neposlední řadě lepší skladovatelnosti. K výrobě dřevěných briket slouží právě briketovací lisy, které stlačí materiál na požadovanou pevnost. Existuje mnoho typů lisů pro slisování biomasy. V našem případě se zde budeme zabývat návrhem hydraulického lisu

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem hydraulického briketovacího lisu pro zpracování dřevěného odpadu, jako jsou piliny, hobliny či stromová kůra. Lisovací výkon lisu je stanoven na 400 kg/hod a výsledné brikety, které opouští lis, jsou kvádrového tvaru.





1 Biomasa

Biomasa je definována jako organická hmota rostlinného původu, která je biologicky rozložitelná a může být využita pro spalování či jiných přeměn s energetickým využitím. Hlavní výhodou využití biomasy v energetice je její nevyčerpatelnost (obnovitelnost) jako zdroje energie. Biomasu můžeme rozdělit na dvě složky. Jde o rostlinnou biomasu, kterou tvoří dendromasa (dřeviny), fytomasa (jednoroční rostliny) a živočišnou biomasu (zoomasa), do které patří exkrementy hospodářských zvířat.

1.1 Výlisky z biomasy

Kvalita výlisků z biomasy jako alternativního biopaliva stanovují normy. V současnosti ještě není jednotná evropská norma pro tuhá biopaliva. Z tohoto důvodu pro stanovení kvality výlisků z biomasy používají evropské krajiny svoje normy. Nejvýznamnější a neúplnější normy jsou pro porovnání uvedené v tabulce 1.

Tab. 1 Porovnání některých parametrů výlisku vymezených normami evropských krajín

PARAMETER	DIN 51 731 	Ö-Norm M 7135 	Certifikácia DINplus 	SS 18 71 20 
Priemer	Od 4 do 10 mm	Od 4 do 10 mm	Nie je určený	< 25 mm
Dĺžka	< 50 mm	< 5 x d	< 5 x d	< 5 x d
Hustota	> 1,0-1,4 kg/dm ³	> 1,12 kg/dm ³	> 1,12 kg/dm ³	Nie je určená
Vlhkosť	< 12 %	< 10%	< 10%	< 10 %
Sypaná hustota	Nie je určená	Nie je určená	Nie je určená	> 500 kg/m ³
Oter	Nie je určený	< 2,3 %	< 2,3 %	Nie je určený
Obsah popola	< 1,5 %	< 0,5 %	< 0,5 %	< 1,5 %
Výhrevnosť	17,5 - 19,5 MJ/kg	> 18 MJ / kg	> 18 MJ / kg	> 16,9 MJ / kg
Obsah síry	< 0,08 %	< 0,04 %	< 0,04 %	< 0,08 %
Obsah dusíka	< 0,3 %	< 0,3 %	< 0,3 %	Nie je určený
Obsah chlóru	< 0,03 %	< 0,02 %	< 0,02 %	< 0,03%
Obsah arzénu	< 0,8 mg / kg	Nie je určený	< 0,8 mg / kg	Nie je určený
Obsah olova	< 10 mg / kg	Nie je určený	< 10 mg / kg	Nie je určený
Obsah kadmia	< 0,5 mg / kg	Nie je určený	< 0,5 mg / kg	Nie je určený
Obsah chrómu	< 8 mg / kg	Nie je určený	< 8 mg / kg	Nie je určený
Obsah medi	< 5 mg / kg	Nie je určený	< 5 mg / kg	Nie je určený
Obsah striebra	< 0,05 mg / kg	Nie je určený	< 0,05 mg / kg	Nie je určený
Obsah zinku	< 100 mg / kg	Nie je určený	< 100 mg / kg	Nie je určený

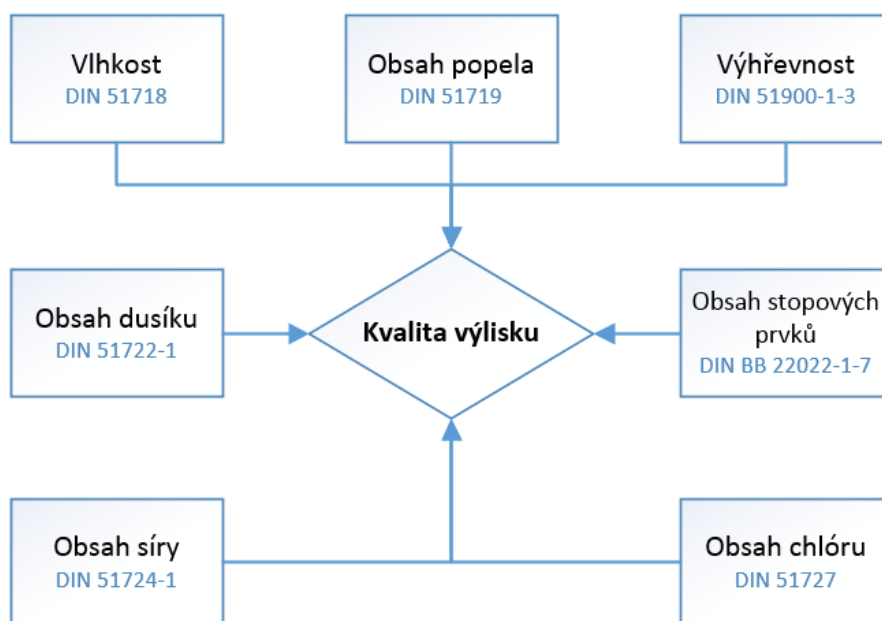
Uvedené normy určující jednotlivé vlastnosti kvality výlisků z biomasy jsou poměrně přísné a s nimi stanovené limity je možné dosáhnout v převážné míře jen lisováním čisté dřevěné hmoty. [1]

1.2 Charakteristické ukazatele kvality výlisků

Ukazatele kvality výlisků shrnuté v tabulce 1 možno rozdělit na chemicko-termické a fyzikálně-mechanické. [1]

1.2.1 Chemicko-termické ukazatele

Chemicko-termické ukazatele (obr. 1) stanovují obsah jednotlivých chemických prvků ve výliscích, obsah popela, vlhkost a výhřevnost výlisků. Chemicko-termické ukazatele kvality výlisků jsou dané vlastnostmi lisovaného materiálu. Je možné snižovat vlhkost na úkor zvýšení kvality, ale ostatní parametry jsou pevně vázané na lisovaný materiál. [1]



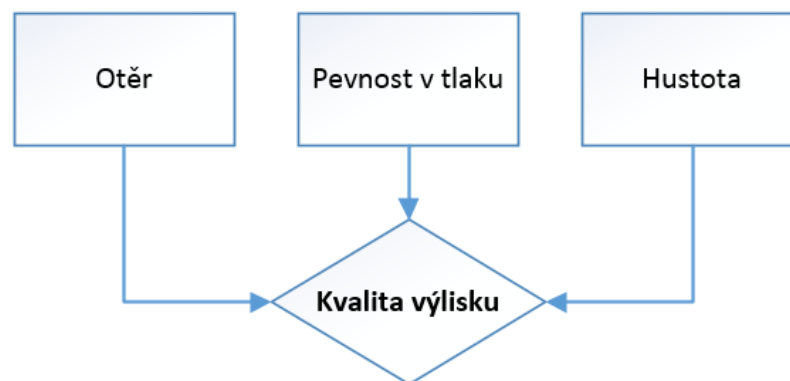
Obr. 1 - Chemicko-termické ukazatele kvality výlisků [1]

- **Vlhkost** - je jedna z nejdůležitějších vlastností, která má bezprostřední vliv na výhřevnost a celkový spalovací proces. Palivo v dřevozpracujícím průmyslu má obvykle vyšší vlhkost než palivo v průmyslu zemědělském. U čerstvě pokácených stromů může hodnota vlhkosti přesahovat i 60%, při takovémto obsahu vody už výhřevnost nestačí ani pro spalovací proces. Pro dokonalý spalovací proces musí obsahovat palivo co nejnižší obsah vody. [20]

- **Výhřevnost** - při spalovacích procesech se uvolňuje teplo, které se vztahuje k hmotnosti tuhého paliva a vyjadřuje se v MJ/kg. Uvolněné teplo se vyjadřuje buďto jako spalné teplo nebo výhřevnost paliva. Spalné teplo je definováno jako množství tepla, které se uvolí při dokonalém spálení paliva (1 kg nebo m^3) při ochlazení spalin do původní teploty paliva ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$), kdy veškerá pára ve spalinách zkondenzovala, neboli odevzdala veškeré své teplo. Výhřevnost je množství tepla uvolněného z paliva, přičemž vlhkost paliva zůstane ve spalinách spolu s tepelnou energií, použitou na přeměnu vody ve vodní páru. [20]
- **Obsah popela** - v kůře stromu je obsah popela vyšší než samotném dřevě. Toto je dáno zřejmě znečištěnou zeminou, jak v průběhu růstu, tak při kácení a následném stahování na požadované místo. Obsah popela ve dřevě je nižší než ostatních tuhých paliv. Čisté dřevo bez kůry obsahuje 0,25-0,5% popela, stromová kůra pak podle znečištění při těžbě může obsahovat 2,5-8,0 % popela. Popel po spálení dříví obsahuje množství živin do půdy (fosfor, draslík) a stopových prvků. Popel se může využít jako navrácení živin do půdy, které vyčerpal strom během jeho růstu. [20]

1.2.2 Fyzikálně-mechanické ukazatele

I fyzikálně-mechanické ukazatele vyplívají z vlastností lisovaného materiálu (pevnost materiálu), ale tyto ukazatele můžeme použitou technologií ovlivňovat. Nejvýznamnějšími fyzikálně-mechanickými ukazateli kvality, které můžeme pozitivně ovlivňovat vhodnou volbou technologie, je hustota a otěr. [1]



Obr. 2 - Fyzikálně-mechanické ukazatele kvality výlisků [1]

- **Hustota** výlisků jako biopaliva je nejdůležitějším ukazatelem kvality. Je důležitá z hlediska manipulace. Výlisky musí být soudržné, aby nevznikali trhliny a neoddělovali se jemné částice. Se zvyšováním hustoty výlisků z dřevěné hmoty se úměrně zvyšuje i jejich pevnost. Výlisky s vyšší hustotou mají delší dobu hoření, což je vzhledem na jejich primární úlohu jako paliva nejvýznamnější vlastnost. Vyšší hustota příznivě ovlivňuje také dlouhotrvající objemovou a tvarovou stálost výlisku i snižuje schopnost výlisku absorbovat vlhkost ze vzduchu. [1]
- **Otěr** se běžně stanovuje jen pro pelety, tj. pro nejmenší rozměrovou skupinu. Ten souvisí s požadavkem zamezit vzniku prachových částic, v procesu automatizované dopravy tohoto paliva. [1]
- **Pevnost**
Má významný vliv na trvanlivost výlisků, protože s nárůstem pevnosti klesá náchylnost nasávání atmosférické vlhkosti při delším skladování. [1]

1.3 Zpracování biomasy na tuhá paliva

Před samotným zhutňováním biomasy do formy biopaliva je nevyhnutelná její úprava-třídění, drcení sušení. Pro vytvoření kvalitního výlisku z biomasy je potřebné ze suroviny tříděním odstranit všechny nečistoty (kamení, kovy, cizí předměty, ...). K úpravě velikosti slouží štěpkovačky, drtiče a další rozmělnovače. Drcením je potřebné dosáhnout požadovanou velikost výsledné frakce vstupující do procesu lisování. Čím je jemnější a homogennější frakce, tím je výlisek kvalitnější, soudržnější a má vyšší pevnost. Pro snížení vlhkosti jsou určeny různé druhy sušících zařízení (bubnové, pásové sušárny). Dále se surovina s vyhovující frakcí a vlhkostí zhutňuje vysokým lisovacím tlakem. Slisováním dostaneme tuhé palivo ve formě pelet nebo briket s vysokou výhřevností, nízkým obsahem popelovin, malým objemem a dlouhou dobou hoření. Následné spalování probíhá s minimální negativními účinky na ekologii. Proto jsou tyto paliva považovány za paliva budoucnosti. [20]

1.3.1 Briketování

Jednou z nejširších využití biomasy je výroba briket. Výchozím materiálem pro výrobu briket může být zrnitý dřevní odpad, jako jsou dřevěné piliny, třísky, stromová kůra či lesní štěpka o vlhkosti 10-12 %. Při vyšší vlhkosti se briketa může rozpadat. Brikety jsou většinou válcové o průměru 60 mm a délky 150-250 mm (mechanické briketovací lisy) nebo kvádrové (hydraulické briketovací lisy). Výhřevnost briket je v rozmezí 16-18,5 MJ/kg dle vlhkosti usušeného materiálu. Základním zařízením je briketovací lis, který lisuje dřevní hmotu pod vysokým tlakem za zvýšené teploty bez jakéhokoliv paliva. [20]



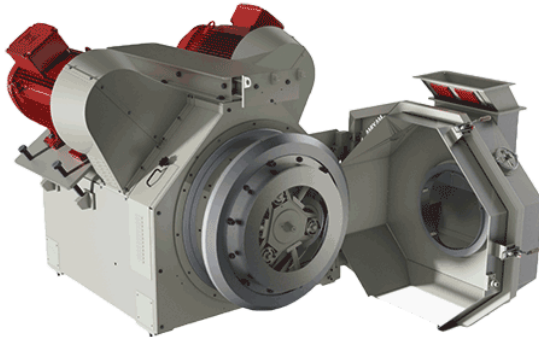
Obr. 3 – Sortiment výrobků BIOMAC [2]



Obr. 4 – Hydraulický lis BrikStar [3]

1.3.2 Peletování

Jedná se zpravidla o granule pruhového průřezu o průměru 6-14 mm a délce 10-15 mm, které jsou vyrobeny především z dřevní hmoty - suchých pilin o vlhkosti 12-13 %. Pelety se lisují za vysokého tlaku a vysokých teplot na protlačovacích matricových lisech. Pelety mohou být světlé z čisté biomasy bez kůry vykazující popelnatost do 0,7 % nebo pelety z tmavé biomasy s podílem stromové kůry vykazující pak vyšší popelnatost 0,7-3 %. Pelety se vyrábí bez chemických přísad, jelikož dřevní hmota obsahuje lignin, který při zvýšené teplotě měkne a stává se lepivým. Po vychladnutí mají pelety vysokou pevnost a soudržnost. Pelety patří mezi nejušlechtlejší dřevní palivo s nízkým obsahem popelovin a jejich výhřevnost se pohybuje okolo 16-18,5 MJ/kg. [20]



Obr. 5 – Peletovací lis Salmatec [4]



Obr. 6 – Peletovací lis [5]

1.4 Technologie briketování

1.4.1 Konstrukční parametry v procesu zhutňování [1]

Na základě průzkumu parametrů ovlivňujících kvalitu výsledného výlisku můžeme tyto parametry rozdělit na tři skupiny:

- a) Materiálové parametry
- b) Technologické parametry
- c) Konstrukční parametry

Mezi hlavní konstrukční parametry ovlivňující kvalitu výlisků patří:

- a) Průměr (šířka, výška) lisovací komory
- b) Délka lisovací komory
- c) Materiál lisovacích nástrojů a jejich drsnost (součinitel tření mezi nástroji a lisovaným materiálem)
- d) Kuželovitost stěn lisovací komory (kruhové brikety)
- e) Typ lisovacího nástroje
- f) Délka ochlazovacího kanálu

1.4.2 Význam a vliv geometrie lisovací komory a součinitel tření

Na základě teorie jednoosého lisování v uzavřené lisovací komoře můžeme analyzovat vliv změny délky lisovací komory a vliv změny součinitele tření mezi lisovaným materiálem a lisovací komorou. Tento součinitel tření závisí od materiálu a jeho stavu (vlhkost, teplota, atd.). Průměr (šířka, výška) lisovací komory má v součinnosti s její délkou významný vliv jak na samotné vlastnosti výlisku jako paliva, tak i na opotřebení nástrojů. Pro výlisky platí, že pro pomalé vyhoření, což je u paliva žádoucí vlastností, musí být poměr povrchu k objemu co možno nejmenší. Stejně tak i pro lisovací nástroje (matrice, hubice, píst, šnekovnice,...) je předpoklad, že čím je menší poměr povrchu k objemu, tím je opotřebení nástrojů menší. [1]

1.4.3 Vliv délky ochlazovacího kanálu (hubice) na kvalitu výlisků

Délka ochlazovacího kanálu má vliv na výslednou kvalitu výlisků z biomasy. Podstata vychází ze samotných procesů lisování biomasy, kde za vysokého tlaku a poměrně vysoké teploty je tento materiál lisovaný a přetlačovaný přes lisovací komoru.

Při působení tlaku a teploty ligninová složka obsažená v biomase plastifikuje, je vytlačována z buněčných struktur, obaluje pevné částice a tvoří mezi nimi pojivo. Po protlačení výlisků z lisovací komory je výlisek horký, plastický a ligninová složka je neztuhnutá. Je nevyhnutelné vytvořit podmínky na její vychladnutí a ztuhnutí pod tlakem, aby nedošlo k rozpadu výlisku.

Při konstrukci briketovacích lisů tuto funkci přebírá ochlazovací kanál (briketovací hubice), kde slisovaná biomasa chladne pod tlakem vytvořeným třením v prodloužené hubici nebo v chladícím kanále (mechanické lisy), anebo je tlak v během fáze výdrže tvořený protitlakem od zátky (hydraulické briketovací lisy). Jen takto je možné dosáhnout kvalitního výlisku. [1]

1.4.4 Vliv druhu lisovacího nástroje na kvalitu výlisků

V případě zhutňování biomasy pro energetické účely je možné rozdělit technologie na briketování a peletování. V případě peletování je princip téměř totožný pro různé typy peletovacích strojů. Materiál se vždy protlačuje přes otvory v matici prostřednictvím po

matrici se odvalujícím nástrojem. Vzhledem na malé rozměry pelet je zbytečné rozebírat jejich vnitřní poruchy v závislosti od typu paletovacího stroje.

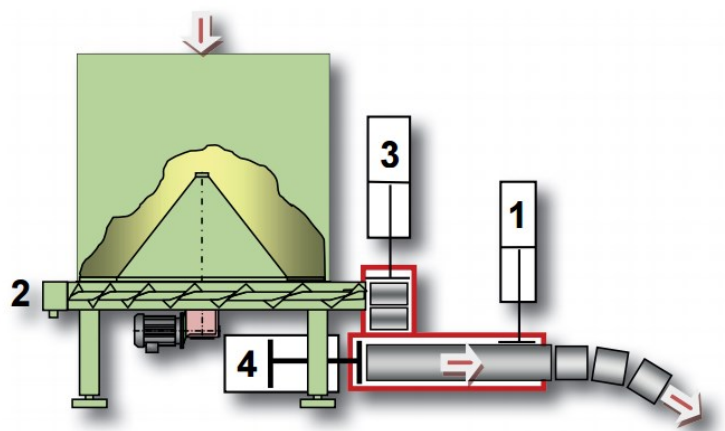
V případě briketovací technologie je situace odlišná. Výlisky jsou větší, a tedy jejich vnitřní poruchy jsou výraznější a značně ovlivňují kvalitu, tj. pevnost a mechanické vlastnosti těchto výlisků. Při briketování můžeme princip lisování rozdělit na tři skupiny, přičemž každý princip má svůj specifický lisovací nástroj a jiný vliv na kvalitu výlisků.[1]

Lisovací píst hydraulického lisu

Při briketování biomasy na hydraulickém lise dochází k lisování v uzavřené komoře celého objemu materiálu potřebného na vytvoření jednoho výlisku naráz – na jeden zdvih pístu. Při tomto princip briketování je možné vytvářet různé tvary výlisků. Se zvětšováním délky výlisků přestává být materiál homogenně zhutněný v celém objemu a vznikají poruchy ve struktuře výlisku, což nepříznivě působí na jeho kvalitu. Vznikají ve výlisku trhliny a není dosažutý vysoký stupeň zhutnění v celém objemu, a nejen hustota, ale především mechanická pevnost výlisku se výrazně zhoršuje. [1]



Obr. 7 – Brikety z hydraulického lisu [1]

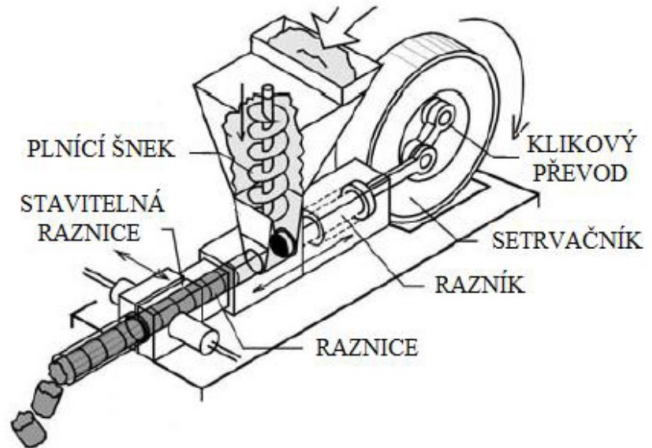


Obr. 8 – Hydraulický briketovací lis[6]

Lisovací píst mechanického lisu

Tvorba výlisků na mechanických lisech s lisovacím pístem probíhá v otevřené lisovací komoře, kde je materiál lisovaný a protlačovaný přes lisovací hubici prostřednictvím lisovacího pístu. Tímto principem je biomasa zhutňovaná do plného válcového nekonečného výlisku, který je následně dělený na požadovanou délku. Výlisek je tvořený lisováním materiálu prostřednictvím přímočarého vratného pohybu pístu, čímž je při

každém zdvihu pístu vytvořená tenká část výlisku – jeden plát. Soudržnost jednotlivých částí zabezpečuje speciálně tvarovaný konec pístu, který proráží jednotlivé části a vytváří tak mezi následujícími částmi výlisku spoj tvarovým stykem. Když výlisek vzniká spojováním jednotlivých částí, vznikají poruchy soudržnosti (trhliny) právě na rozhraní jednotlivých částí výlisku, což snižuje jeho kvalitu. [1]

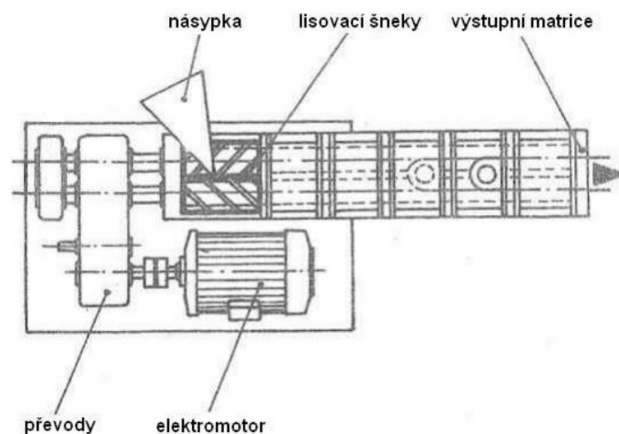


Obr. 9 – Brikety z mechanického lisu [1]

Obr. 10 – Schéma mechanického lisu [7]

Lisovací šnek

Briketováním biomasy prostřednictvím lisovacího šneku se dosahuje nejlepší kvality výlisků. Je možné vytvářet různé tvary výlisků, od válcových přes n-úhelníkové, s dírou nebo bez díry. Materiál není zhutňovaný po částech, ale kontinuálně, proto nevznikají poruchy ve struktuře výlisků. Výlisek vzniká jako nekonečný, který se následně dělí na požadované délky. Kontinuální lisování materiálu zabezpečuje vysoký stupeň zhutnění a vysokou úroveň mechanických ukazatelů kvality výlisků. [1]



Obr. 11 – Brikety ze šnekového lisu [1]

Obr. 12 – Schéma šnekového lisu [7]

1.4.5 Vliv lisovací komory na kvalitu výlisků

Uzavřená komora

Princip briketování v uzavřené lisovací komoře je odvozený od pakování kartonového, dřevěného a kovového odpadu v průmyslových podnicích. Realizuje se stlačením materiálu z více stran. Výsledná hodnota brikety při tomto způsobu výrazně nepřekročí hodnotu 1 kg/dm^3 . Výkon lisování je možný zvýšit prodloužením délky brikety, která se odvíjí od dávkování šnekového dopravníku. S narůstající délkou klesá hustota i kvalita brikety. [8]

Otevřená komora

Briketování v otevřené briketovací komoře probíhá tak, že z jedné strany komory působí přes nástroj lisovací síla a z druhé, otevřené strany, působí odporová síla, která brzdí pohyb zpracovaného materiálu. [8]

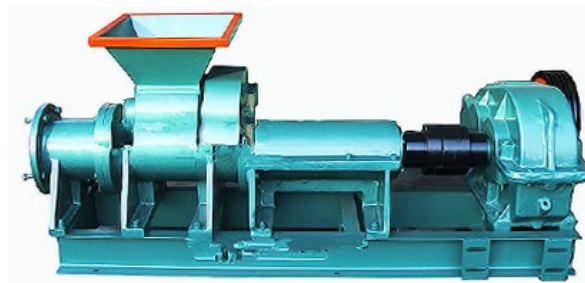
1.5 Briketovací lisy

1.5.1 Šnekové lisy

Nejnámějšími byli rakouské šnekové lisy PINIKEY. V principu zde silný motor s robustní převodovkou pohání „šnekový masomlýnek“, do kterého je ze zásobníku suché biomasy šnekem regulovaně dávkována suchá surovina. Šnek lisu vtlačuje surovinu do trvale vyhřívané lisovací komory o teplotě $250 \text{ }^\circ\text{C}$. Průchodem přes kuželové lisovací šestihrané pouzdro vychází z lisu nekonečná šesti-hranatá dřevěná briketa o rozměru $60 \times 60 \text{ mm}$ s dírou uprostřed prolisovaná na měrnou hmotnost až 1250 kg/m^3 . [9]



Obr. 13 – Šnekový lis KINGMAN [10]



Obr. 14 – Šnekový lis PINIKEY [11]

1.5.2 Hydraulické lisy

Jediným tuzemským výrobcem, který vyrábí hydraulické lisy je firma BRIKLIS s.r.o. Vyrábí lisy, které mají kruhový i hranatý průřez brikety. Tyto lisy jsou konstruovány s otevřenou lisovací formou a lisovací výkon se pohybuje od 250kg/hod do 500 kg/hod. Hydraulické lisy s uzavřenou lisovací formou jsou vyráběny pouze v zahraničí a nejnámější jsou německé lisy RUF s průřezem brikety 155 x 65 mm a proměnnou délkou od 80 do 120 mm. Lisovací výkon je v rozmezí od 60 kg/hod do 1500 kg/hod. Dalším výrobcem lisů s uzavřenou lisovací formou je německý výrobce WEIMA, který je svou konstrukcí podobný lisům RUF. Lisovací výkon se u těchto lisů pohybuje od 400 kg/hod do 6 t/hod. Posledním německým lisem, který bude zmíněn je lis MUP, jedná se o velice obdobnou konstrukci lisů RUF. Lisovací výkon od 350 kg/hod do 450 kg/hod. [9]



Obr. 15 – Hydraulický lis WEIMA [12]

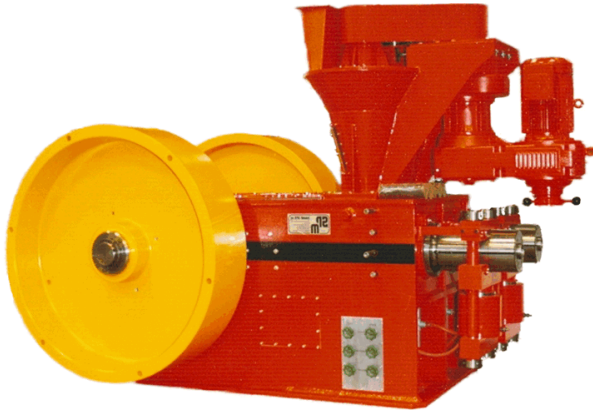


Obr. 16 – Hydraulický lis RUF [13]

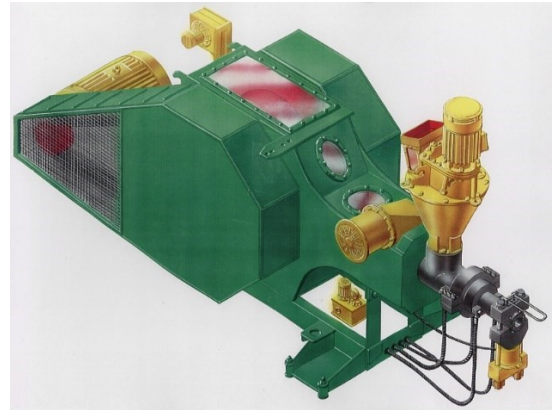
1.5.3 Mechanické (klikové) lisy

Nejnámější jsou švýcarské lisy PAWERT-SPM produkující kulaté brikety o průměru 90 mm plného průřezu nebo s dírou uprostřed už od roku 1926. Jediným českým výrobcem klikových lisů je BIOMAC, který vyrábí dvě velikosti lisů. První produkuje 600 kg/hodinu při plné briketě o průměru 75 mm a druhý má výkon 1.200 kg/hod při plném průřezu brikety o průměr 90 mm a 1.000 kg/hodinu při briketě s dírou. Princip mechanických klikových lisů je dán vodorovným klikovým mechanismem se dvěma setrvačníky, kdy píst vtlačuje 4 krát za sekundu dávku suché biomasy do lisovacího kuželového pouzdra a z lisu vychází 70 – 90 °C horká, nekonečná briketa. Díky silnému úderu pístu v krátkém čase se biomasa v kuželovém pouzdra prolisuje tlakem až 1800 Atm., čímž briketa dosahuje měrné hmotnosti až 1250 kg/m³ a tím i dlouhé doby hoření. Usušená biomasa musí být ze zásobníku za sušárnou do lisu přesně dávkována nejlépe uzavřeným šnekovým

dopravníkem s měnitelnými otáčkami, čímž se reguluje výkon lisu. Z ústí lisu postupuje dřevěná briketa desetimetrovým vychlazovacím vedením briket, kde postupně vychládne a tvrdne. Na konci chladicí dráhy je automatickou dělicí pilou přesně nakrácena na dvou kilogramové dřevěné brikety. [9]



Obr. 17 – Mechanický lis Pawert [14]



Obr. 18 – Mechanický lis BIOMAC [9]

2 Technická a vývojová analýza

Jelikož se firma Biomac s.r.o. neustále rozvíjí a investuje do výstaveb nových výrobních linek, tak by bylo výhodné vlastnit a vyrábět, co nejvíce strojů a zařízení určené ke zpracování biomasy ve formě tuhých paliv, aby náklady za výstavbu nových linek byly co nejmenší. Proto by chtěla firma vlastnit svůj hydraulický briketovací lis, protože ceny těchto lisů jsou na trhu poměrně vysoké.

Před samotným návrhem konstrukce je nutné prozkoumat konkurenčně vyráběné lisy. Jedná se o lisy, které se s takto velkým lisovacím výkonem uplatňují především ve velkovýrobě. Konstrukce lisovacích forem je u těchto lisů s hranatým průřezem briket převážně uzavřená. Z těchto podkladů bude následně vytvořena optimální varianta, která bude podrobně rozpracována, a nejvíce namáhané části lisu budou pevnostně zkontrolovány.

3 Výpočet základních parametrů lisu

3.1 Zadané parametry

-hodinový výkon lisu: $Q=400 \text{ kg/hod}$

-lisovaný materiál: dřevěné piliny, hobliny, stromová kůra

-výsledná hustota výlisku: 1100 kg/m^3

-rozměry briket: Šířka: $a=150\text{mm}$

Výška: $b=60\text{mm}$

Délka: $c=90\text{mm}$

3.2 Návrh hydraulických přímočarých motorů

Nejdůležitějším parametrem hydraulického lisu je velikost lisovací síly a hustota výsledného výlisku. Dle normy DIN 51731 se požaduje hustota briket v rozmezí 1000 až 1400 kg/m^3 viz Tab. 1. Pro určení teoretické lisovací síly, je potřeba znát mez pevnosti v tlaku. Průměrná hodnota meze pevnosti pro dřevo o vlhkosti 12% je okolo 50 MPa při hustotě 720 kg/m^3 .

3.2.1 Návrh hlavního hydraulického válce

Lisovací tlak

(3.2.1.1)

$$\sigma_l = \sigma_d \cdot \frac{\rho_b}{\rho_d} = 50 \cdot \frac{1100}{720} = 76,4 \text{ MPa} \approx 76 \text{ MPa}$$

kde: $\sigma_d [\text{MPa}]$ – průměrná hodnota meze pevnosti dřeva

$\rho_d [\text{kg/m}^3]$ – průměrná hustota dřeva

$\rho_b [\text{kg/m}^3]$ – potřebná hustota dřeva (briket)

Po přepočtu na hustotu 1100 kg/m^3 je potřeba vyvinout lisovací tlak cca 76 MPa.

Plocha brikety

(3.2.1.2)

$$S_b = a \cdot b = 150 \cdot 60 = 9000 \text{ mm}^2$$

kde: $a [\text{mm}]$ – šířka brikety

$b [\text{mm}]$ – výška brikety

Určení teoretické lisovací síly

(3.2.1.3)

$$F_{tl} = S_b \cdot \sigma_l = 9000 \cdot 76 = 684000 \text{ N} = 684 \text{ kN} \approx 700 \text{ kN}$$

kde: $S_b [\text{mm}^2]$ – plocha brikety
 $\sigma_l [\text{MPa}]$ – lisovací tlak

Pro lisování brikety rozměrů 150x60 mm je potřeba vyvinout sílu hlavního lisovacího válce $F_{tl} = 700 \text{ kN}$. Vlhkost lisovaného materiálu by neměla překročit mezi 12%. Při lisování materiálu, který má vlhkost větší jak 12% se briketa může rozpadat.

Výpočet průměru pístu lisovacího hydraulického válce

(3.2.1.4)

$$D_l = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{tl}}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 700000}{\pi \cdot 16}} = 236 \text{ mm} \rightarrow 250 \text{ mm}$$

kde: $F_{tl} [\text{N}]$ – teoretická lisovací síla
 $p [\text{MPa}]$ – pracovní tlak

Výpočet maximální lisovací síly hydraulického válce

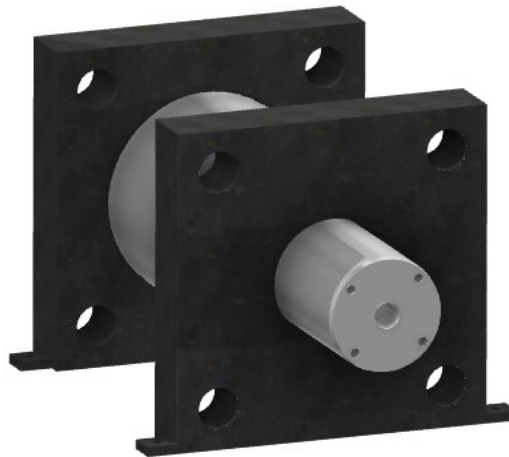
(3.2.1.5)

$$F_{lmax} = p \cdot \frac{\pi \cdot D_l^2}{4} = 16 \cdot \frac{\pi \cdot 250^2}{4} = 785398 \text{ N} = 785,4 \text{ kN}$$

kde: $p [\text{MPa}]$ – pracovní tlak
 $D_l [\text{mm}]$ – průměr pístu lisovacího válce

Hlavní přímočarý motor má zároveň konat dvě funkce. První funkcí je vykonávání hlavní lisovací síly a druhou funkcí je vytlačit hotový výlisek z briketovací formy. Z tohoto důvodu byl zvolen větší pracovní průměr, aby válec pracoval s dostatečnou rezervou. Maximální lisovací síla je o 13% větší než teoretická lisovací síla. Do válce bude umístěn tlakový snímač, který po dosažení určitého tlaku ukončí lisovací proces.

Byl zvolen potřebný pracovní průměr hlavního přímočarého motoru $D_l = 250 \text{ mm}$, který bude vyrábět firma Hydraulics s.r.o. Firma je schopna dodat atypický přímočarý motor podle vzoru a specifických parametrů.

Přímočarý hydromotor ZH1 250/180 x 290

Obr. 19 - Přímočarý hydromotor ZH1 250/180 x 290

3.2.2 Návrh předlisovacího hydraulického válce zhutňovací komory

Předlisovací válec zhutňovací komory slouží k nahrnutí lisovaného materiálu do lisovací komory. Hydraulický válec bude opatřen lineárním snímačem polohy, který zastaví píst v určité poloze, protože kdyby došlo k překročení daného zdvihu, tak by byl zhutňovací píst vsunut do lisovací komory a při lisování výlisku by razník do něj narazil a došlo by k poškození stroje. Lineární snímače polohy pracují s přesností 0,01mm.

Lisovací tlak ve zhutňovací komoře volím $\sigma_1 = 1$ [MPa] z důvodu velkých rozměrů zhutňovacího pístu.

Plocha zhutňovacího pístu (3.2.2.1)

$$S_z = a_z \cdot b_z = 150 \cdot 200 = 30000 \text{ mm}^2$$

kde: a_z [mm] – šířka zhutňovacího pístu
 b_z [mm] – délka zhutňovacího pístu

Určení předlisovací síly zhutňovacího pístu (3.2.2.2)

$$F_z = S_z \cdot \sigma_z = 30000 \cdot 1 = 30000 \text{ N} = 30 \text{ kN}$$

kde: S_z [mm²] – plocha zhutňovacího pístu
 σ_z [MPa] – předlisovací tlak zhutňovacího pístu

Výpočet průměru hydraulického válce zhutňovače

(3.2.2.3)

$$D_z = \sqrt{\frac{4 \cdot F_z}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 30000}{\pi \cdot 16}} = 48,9 \text{ mm} \rightarrow 50 \text{ mm}$$

kde: $F_z [N]$ – předlisovací síla zhutňovače

$p [MPa]$ – pracovní tlak

Výpočet maximální síly hydraulického válce zhutňovače

(3.2.2.4)

$$F_{zmax} = p \cdot \frac{\pi \cdot D_z^2}{4} = 16 \cdot \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 31416 \text{ N} = 31,4 \text{ kN}$$

kde: $p [MPa]$ – pracovní tlak

$D_z [mm]$ – průměr pístu válce zhutňovače

Byl zvolen potřebný pracovní průměr předlisovacího válce zhutňovací komory $D_z = 50 \text{ mm}$.

Přímočarý hydraulický válec Bosh Rexroth **CST3ME5/50/28/450Z2X/B11HKUMTV**



Obr. 20 - Přímočarý hydraulický válec zhutňovače

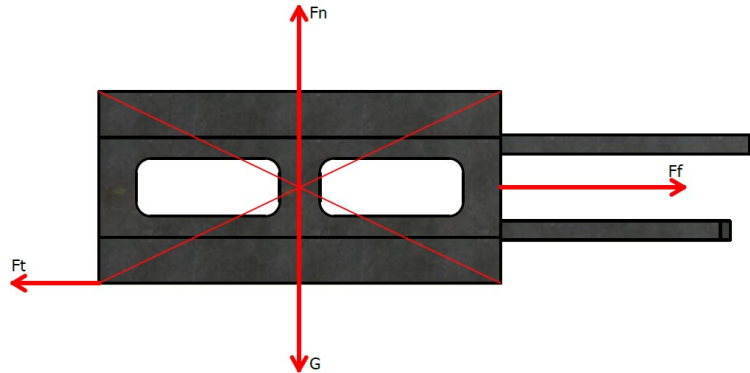
3.2.3 Návrh hydraulického válce lisovací formy

Hydraulický válec lisovací formy slouží k výměně polohy otvorů. Lisovací forma je opatřena dvěma otvory, ve kterých se lisuje materiál do finálního výrobku. Po návratu hlavního hydraulického lisovacího válce lisovací forma vymění polohu tak, že vylisovaný výrobek je v pozici vyústění briket a druhý otvor je nachystán na další cyklus lisování a celý proces se takto opakuje.

Hydraulický válec má tedy za úkol pouze přesun lisovací formy a musí být taktéž opatřen lineárním snímačem polohy, protože by mohlo dojít k nárazu razníku do lisovací formy.

Výpočet potřebné síly k výměně polohy formy

(3.2.3.1)



Obr. 21 – Průběhy sil lisovací formy

$$F_t = \mu \cdot F_n$$

$$F_f = F_t = \mu \cdot F_n = \mu \cdot G = 0,78 \cdot 600 = 468 \text{ N}$$

kde: μ [-] – součinitel tření pro ocel – ocel

G [N] – zatížení od lisovací formy

Výpočet průměru hydraulického válce lisovací formy

(3.2.3.2)

$$D_f = \sqrt{\frac{4 \cdot F_f}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 468}{\pi \cdot 16}} = 6,1 \text{ mm} \rightarrow 40 \text{ mm}$$

kde: F_{tl} [N] – síla válce lisovací formy

p [MPa] – pracovní tlak

Výpočet maximální síly hydraulického válce lisovací formy

(3.2.3.3)

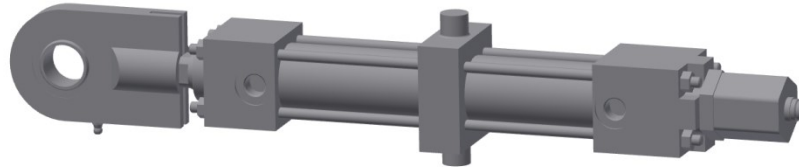
$$F_{fmax} = p \cdot \frac{\pi \cdot D_f^2}{4} = 16 \cdot \frac{\pi \cdot 40^2}{4} = 20106 \text{ N} = 20,1 \text{ kN}$$

kde: p [MPa] – pracovní tlak

D_f [mm] – průměr pístu válce lisovací formy

Byl zvolen nejmenší průměr válce $D_f = 40$ mm, který je pro posun lisovací formy s rezervou dostačující.

Přímočarý hydraulický válec Bosh Rexroth **CST3MT4/40/28/192Z2X/B11HKUMTV XV**
= **200 mm**



Obr. 22 - Přímočarý hydraulický válec lisovací formy

3.3 Návrh a volba hydrogenerátoru

Výpočet množství hydraulické kapaliny pro jeden pracovní cyklus přímočarých hydromotorů

Hydromotor zhutňovače (3.3.1)

$$V_z = \frac{\pi \cdot D_z^2}{4} \cdot z + \left(\frac{\pi \cdot D_z^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_z^2}{4} \right) \cdot z = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} \cdot 450 + \left(\frac{\pi \cdot 50^2}{4} - \frac{\pi \cdot 28^2}{4} \right) \cdot 450$$

$$V_z = 1,49 \text{ dm}^3$$

kde: D_z [mm] – průměr pístu hydraulického válce zhutňovače

d_z [mm] – průměr pístnice hydraulického válce zhutňovače

z [mm] – potřebný zdvih hydraulického válce

Potřebný objem oleje pro jeden pracovní cyklus HM zhutňovače $V_z = 1,49 \text{ dm}^3$

Hydromotor lisovací komory (3.3.2)

$$V_k = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot z + \left(\frac{\pi \cdot D_k^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_k^2}{4} \right) \cdot z = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} \cdot 192 + \left(\frac{\pi \cdot 40^2}{4} - \frac{\pi \cdot 25^2}{4} \right) \cdot 192$$

$$V_k = 0,39 \text{ dm}^3$$

kde: $D_k[mm]$ – průměr pístu hydraulického válce lisovací komory
 $d_k[mm]$ – průměr pístnice hydraulického válce lisovací komory
 $z[mm]$ – potřebný zdvih hydraulického válce

Potřebný objem oleje pro jeden pracovní cyklus HM lisovací komory $V_k = 0,39 m^3$

Hydromotor lisovacího pístu (3.3.3)

$$V_k = \frac{\pi \cdot D_l^2}{4} \cdot z + \left(\frac{\pi \cdot D_l^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_l^2}{4} \right) \cdot z = \frac{\pi \cdot 250^2}{4} \cdot 290 + \left(\frac{\pi \cdot 250^2}{4} - \frac{\pi \cdot 180^2}{4} \right) \cdot 290$$

$$V_l = 14,26 dm^3$$

kde: $D_l[mm]$ – průměr pístu lisovacího hydraulického válce
 $d_l[mm]$ – průměr pístnice lisovacího hydraulického válce
 $z[mm]$ – potřebný zdvih hydraulického válce

Potřebný objem oleje pro jeden pracovní cyklus HM lisovací pístu $V_l = 14,26 dm^3$

Celkový objem oleje potřebný pro jeden pracovní cyklus (3.3.4)

$$V_c = V_z + V_k + V_l = 1,49 + 0,39 + 14,26 = 16,1 dm^3$$

kde: $V_z[dm^3]$ – potřebný objem HM zhutnovače pro jeden pracovní cyklus
 $V_k[dm^3]$ – potřebný objem HM lisovací formy pro jeden pracovní cyklus
 $V_l[dm^3]$ – potřebný objem lisovacího HM pro jeden pracovní cyklus

Výpočet teoretického průtoku hydraulického čerpadla (3.3.5)

$$Q_{g-t} = \frac{V_c}{\frac{t_b}{60}} = \frac{16,1 \cdot 60}{8} = 120,8 l/min$$

kde: $V_c[dm^3]$ – celkový objem oleje pro jeden pracovní cyklus
 $t_b[s]$ – čas na výrobu jedné brikety

Objem brikety (3.3.6)

$$V_b = a \cdot b \cdot c = 150 \cdot 60 \cdot 90 = 810\,000 \text{ mm}^3 = 0,00081 \text{ m}^3$$

kde: $a[\text{mm}]$ – šířka brikety
 $b[\text{mm}]$ – výška brikety
 $c[\text{mm}]$ – délka brikety

Hmotnost brikety (3.3.7)

$$m_b = V_b \cdot \rho_b = 0,00081 \cdot 1100 = 0,89 \text{ kg}$$

kde: $V_b[\text{m}^3]$ – objem brikety
 $\rho_b[\text{kg/m}^3]$ – objem brikety

Počet briket za hodinu (3.3.8)

$$x_b = \frac{Q}{m_b} = \frac{400}{0,89} = 449,4 \rightarrow 449 \text{ briket}$$

kde: $Q[\text{kg/hod}]$ – hodinový výkon lisu
 $m_b[\text{kg}]$ – hmotnost brikety

Při zadaném výkonu $Q=400 \text{ kg/hod}$ bude vylisováno 449 briket.

Předpokládaný pracovní čas jednoho cyklu na výrobu jedné brikety (3.3.9)

$$t_b = \frac{3600 \text{ s}}{x_b} = \frac{3600 \text{ s}}{449} = 8,02 \text{ s} \rightarrow 8 \text{ s}$$

kde: $x_b[\text{ks}]$ – počet briket za hodinu

Výpočet teoretického geometrického objemu čerpadla (3.3.10)

$$v_{g-t} = \frac{Q_{g-t} \cdot 1000}{n_m \cdot \eta_g} = \frac{120,8 \cdot 1000}{1500 \cdot 0,95} = 87,7 \text{ cm}^3/\text{ot}$$

kde: $Q_{g-t}[\text{l/min}]$ – teoretický průtok čerpadla
 $n_m[\text{ot/min}]$ – otáčky elektromotoru
 $\eta_g[-]$ – účinnost čerpadla

Dle otáčkového průtoku bylo v konfigurátoru od firmy Bosh Rexroth zvoleno hydraulické objemové čerpadlo s vnitřním ozubením o velikosti 100 cm³/ot, které je dodávané spolu s elektrickým motorem o jmenovitém výkonu 37kW, spojkou a nosným členem čerpadla.

Skutečné parametry objemového čerpadla a elektrického elektromotoru

Skutečný průtok čerpadla: $Q_{g-s} = 150$ l/min

Pracovní tlak: $p_g = 17,1$ MPa

Typ čerpadla: Objemové čerpadlo s vnitřním ozubením

Velikost čerpadla: PGH 100

Skutečný geometrický objem: $v_{g-s} = 100$ cm³/ot

Výrobce motoru: Siemens

Velikost motoru: 225S

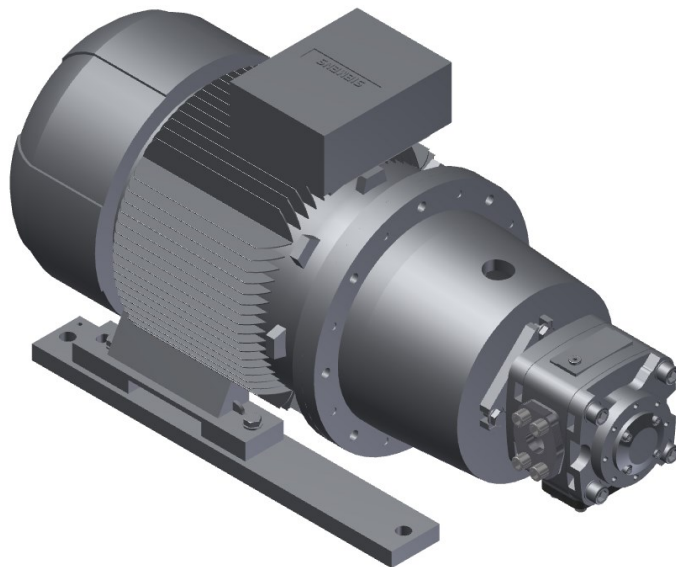
Otáčky elektromotoru: $n_m = 1500$ ot/min

Výkon elektromotoru: $P_m = 37$ kW

Síťová frekvence: 50 Hz

Elektrická účinnost motoru: IE2

ABAPG-PGH5-100RE11VE4 /37,0CB4523/SE SIE



Obr. 23 – Elektrický motor se zubovým čerpadlem [15]

Skutečný průtok hydraulického čerpadla (3.3.11)

$$Q_{g-s} = v_{g-s} \cdot n_m = 100 \cdot 1500 = 150000 \text{ cm}^3/\text{min} = 150 \text{ l/min}$$

kde: $n_m [\text{min}^{-1}]$ – otáčky elektromotoru

$v_{g-s} [\text{cm}^3/\text{ot}]$ – skutečný geometrický objem

3.4 Návrh hydraulické nádrže

Velikost hydraulické nádrže by měla být v rozmezí 2-4 násobku minutového průtoku čerpadla. [17]

Objem nádrže (3.4.1)

$$V_N = Q_{g-s} \cdot 2 = 150 \cdot 2 = 300 \text{ l}$$

kde: $Q_{g-s} [\text{l/min}]$ – skutečný průtok čerpadla

3.5 Návrh potrubí hydraulického obvodu**a) tlakové potrubí** (3.5.1)

$$v_{p-t} = (4 \div 10) \text{ m/s} \rightarrow 6 \text{ m/s}$$

$$Q_{g-s} = S_{p-t} \cdot v_{p-t} = \frac{\pi \cdot d_{p-t}^2}{4} \cdot v_{p-t} \rightarrow d_{p-t}$$

$$d_{p-t} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{g-s}}{\pi \cdot v_{p-t}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 6}} = 0,023 \text{ m} = 23 \text{ mm} \rightarrow d_{p-tSKUT} = 25,4 \text{ mm}$$

kde: $Q_{g-s} [\text{m}^3/\text{s}]$ – skutečný průtok čerpadla

$v_{p-t} [\text{m/s}]$ – rychlost kapaliny v tlakovém potrubí

Výpočet skutečné rychlosti kapaliny v tlakovém potrubí (3.5.2)

$$v_{p-tSKUT} = \frac{4 \cdot Q_{g-s}}{\pi \cdot d_{p-tSKUT}^2} = \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,0254^2} = 4,9 \text{ m/s}$$

kde: $Q_{g-s} [m^3/s]$ – skutečný průtok čerpadla

$d_{p-tSKUT} [m]$ – skutečný jmenovitý průměr tlakového potrubí

HADICE - STRONGFLEX G4SP-06 EN 856 4SP 1" (DN25,4) WP 28MPA

b) odpadní potrubí (3.5.3)

$$v_{p-o} = \langle 1,5 \div 4 \rangle m/s \rightarrow 3 m/s$$

$$d_{p-o} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{g-s}}{\pi \cdot v_{p-o}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 3}} = 0,033 m = 33 mm \rightarrow d_{p-oSKUT} = 38,1 mm$$

kde: $Q_{g-s} [m^3/s]$ – skutečný průtok čerpadla

$v_{p-o} [m/s]$ – rychlost kapaliny v odpadním potrubí

Výpočet skutečné rychlosti kapaliny v odpadním potrubí (3.5.4)

$$v_{p-oSKUT} = \frac{4 \cdot Q_{g-s}}{\pi \cdot d_{p-oSKUT}^2} = \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,0381^2} = 2,2 m/s$$

kde: $Q_{g-s} [m^3/s]$ – skutečný průtok čerpadla

$d_{p-oSKUT} [m]$ – skutečný jmenovitý průměr odpadního potrubí

HADICE - STRONGFLEX G4SP - 06 EN 856 4SP 1-1/4" (DN31,8) WP 21MPA

c) sací potrubí (3.5.5)

$$v_{p-s} = \langle 0,5 \div 1 \rangle m/s \rightarrow 1 m/s$$

$$d_{p-s} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{g-s}}{\pi \cdot v_{p-s}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 1}} = 0,056 m = 56 mm \rightarrow d_{p-sSKUT} = 60,5 mm$$

kde: $Q_{g-s} [m^3/s]$ – skutečný průtok čerpadla

$v_{p-s} [m/s]$ – rychlost kapaliny v sacím potrubí

Výpočet skutečné rychlosti kapaliny v sacím potrubí (3.5.6)

$$v_{p-sSKUT} = \frac{4 \cdot Q_{g-s}}{\pi \cdot d_{p-sSKUT}^2} = \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,0605^2} = 0,9 m/s$$

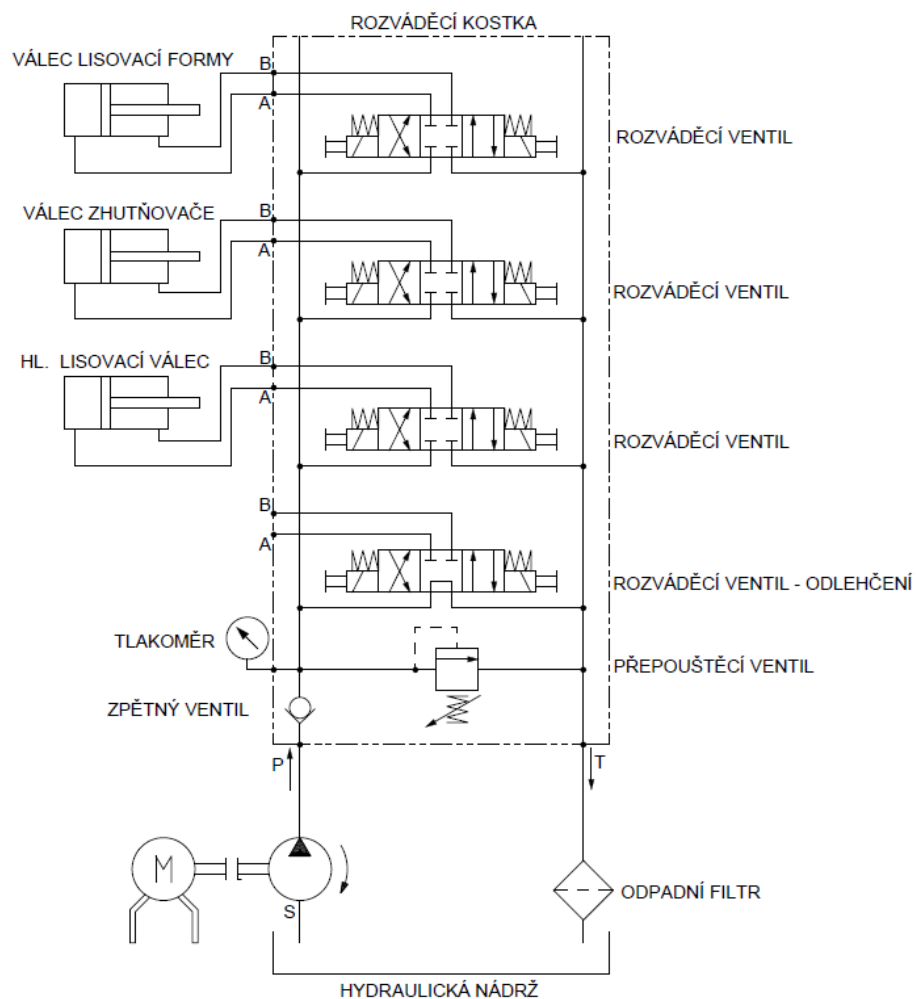
kde: $Q_{g-s}[m^3/s]$ – skutečný průtok čerpadla

$d_{p-SSKUT}[m]$ – skutečný jmenovitý průměr odpadního potrubí

HADICE - STRONGFLEX GR5 - SAE 100R5 - 2-3/8 "(DN 60,5) WP 16,5MPA

3.6 Návrh hydraulického obvodu

Hydraulický obvod zajišťuje přenos tlakové energie pomocí hydraulické kapaliny na jednotlivé hydraulické válce. Hydraulický obvod je sestaven ze zdroje tlakové kapaliny – čerpadla, které je poháněno přes elektromotor. Jeho součástí je hydraulická nádrž, na které je umístěna rozváděcí kostka, která rozvádí tlakovou energii do jednotlivých ventilů. Proti přetížení tlaku v hydraulickém obvodu slouží přepouštěcí ventil, na kterém je nastaven pracovní tlak 16 MPa. Dále je v obvodu umístěn tlakoměr a zpětný ventil. Propojení jednotlivých hydraulických válců je řešeno pomocí ohebných hydraulických hadic. Rozváděcí ventil – odlehčení, je volen z důvodu rozběhu elektromotoru.



Obr. 24 – Hydraulický obvod

3.7 Návrh a výpočet šnekového dopravníku

Průměr šneku: $D = 180 \text{ mm}$

Stoupání šnekovnice: $s = 180 \text{ mm}$

Průměr hřídele šneku: $d = 45 \text{ mm}$

Rozměr zhutňovací komory: $200 \times 150 \times 510$

Objem zhutňovací komory (3.7.1)

$$V_{zk} = a_k \cdot b_k \cdot c_k = 150 \cdot 200 \cdot 510 = 15,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

kde: $a_k [\text{mm}]$ – délka komory

$b_k [\text{mm}]$ – šířka komory

$c_k [\text{mm}]$ – výška komory

Výpočet kritických otáček šnekovnice (3.7.2)

Základní podmínkou dopravy je, aby odstředivá síla byla menší nebo rovna tíze dopravovaného materiálu. Tuto podmínku limitují kritické otáčky šnekovnice.

$$n_{kr} = \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\frac{g}{0,5 \cdot D} \right)^{0,5} = \frac{1}{2\pi} \cdot \left(\frac{9,81}{0,5 \cdot 0,180} \right)^{0,5} = 1,7 \text{ s}^{-1} = 99,7 \text{ ot/min}$$

Při překročení kritických otáček by šnekovnice přestala unášet dopravovaný materiál.

Výpočet dopravního množství (3.7.3)

Průměr šnekovnice je volen s ohledem na šířku stěny zhutňovací komory, ke které bude přišroubován. Maximální šířka žlabu dopravníku může být tedy $b_k = 200 [\text{mm}]$. Sypná hmotnost lisovaného materiálu se pohybuje v rozmezí $\rho_s = \langle 0,15 \div 0,2 \rangle [\text{t}/\text{m}^3]$. Pro výpočet dopravníku bude uvažována největší sypná hmotnost a to $\rho_s = 0,2 [\text{t}/\text{m}^3]$. Jelikož je šnekový dopravník umístěn pod kypřicí nádobou, která bude převážně plná, bude se pro výpočet uvažovat součinitel plnění $k_\varphi = 1 [-]$. Dopravník bude umístěn ve vodorovné poloze, proto je součinitel sklonu dopravníku volen $\lambda = 1 [-]$.

$$Q = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot s \cdot n_{\text{š}} \cdot \rho_s \cdot k_{\varphi} \cdot \lambda$$

$$Q = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot (0,18^2 - 0,045^2)}{4} \cdot 0,18 \cdot \frac{69}{60} \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 1 = 3,5 \text{ t/hod} = 17,5 \text{ m}^3/\text{hod}$$

kde: $D[m]$ – průměr šnekovnice

$d[m]$ – průměr hřídele šnekovnice

$s[m]$ – stoupání šnekovnice

$n_{\text{š}}[\text{ot/s}]$ – otáčky šnekovnice

$\rho_s[\text{t/m}^3]$ – sypná hmotnost materiálu, $\in (0,15 \div 0,2) \rightarrow 0,2$

$k_{\varphi}[-]$ – součinitel plnění

$\lambda[-]$ – součinitel sklonu dopravníku

Tab. 2 – Součinitel sklonu dopravníku

$\varepsilon [\text{deg}]$	0	5	10	15	20
$\lambda [-]$	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Rychlost pohybu materiálové vrstvy (3.7.4)

$$v = s \cdot n_{\text{š}} = 0,180 \cdot \frac{69}{60} = 0,2 \text{ m/s}$$

kde: $s[m]$ – stoupání šnekovnice

$n_{\text{š}}[\text{ot/s}]$ – otáčky šnekovnice

Výkon na hřídeli šnekového dopravníku (3.7.5)

$$P_{K\text{š}} = \frac{Q \cdot L}{3600} \cdot (w \cdot \cos\varepsilon + \sin\varepsilon) \cdot g = \frac{3,5 \cdot 1,1}{3600} \cdot (2,5 \cdot 1 + 0) \cdot 9,81 = 0,3 \text{ kW}$$

kde: $L[m]$ – délka šnekového dopravníku

$Q[\text{t/hod}]$ – dopravní množství

$w[-]$ – součinitel odporu

$\varepsilon[\text{deg}]$ – úhel sklonu dopravníku

Tab. 3 – Součinitel odporu

Dopravovaný materiál	Součinitel odporu w
Prach, jemné zrno	2,5
Písek, cement	3,2
Škvára, hlína, popel	4
Ruda	5

Příkon motoru (3.7.6)

$$P_{\xi} = (1,15 \div 1,20) \cdot P_{K\xi} = 1,15 \cdot 0,3 = 0,35 \text{ kW}$$

kde: $P_{K\xi}[\text{kW}]$ – výkon na hřídeli šnekového dopravníku

Celkový příkon motoru násypky (3.7.7)

$$P_{cn} = \frac{P_{\xi} + P_k}{\eta_c} = \frac{0,35 + 0,2}{0,9} = 0,61 \text{ kW}$$

kde: $P_{\xi}[\text{kW}]$ – příkon motoru šnekového dopravníku

$P_k[\text{kW}]$ – příkon hřídele kypřiče; viz. kapitola 2.7

$\eta_c[-]$ – celková účinnost pohonu



Obr. 25 – Elektrický motor s plochou převodovkou [16]

Byl zvolen elektrický motor s plochou převodovkou NORD SK0282NB-80L/4 o příkonu 0,75 kW.

Tab. 4 – Parametry motoru [16]

Typ	Pn [kW]	n2 [min-1]	Ma [Nm]	fB	i	FQN [kN]	FAN [kN]	FQVL [kN]	FAVL [kN]	Váha ca (kg)
SK0182NB-80L/4	0,75	73	98	1	18,79	3,2	5,1	5	8,4	13
SK0282NB-80L/4	0,75	64	112	1,3	21,57	3,4	5	7,2	5	17
SK0282NB-80L/4	0,75	69	104	1,2	19,95	3,4	5	7,2	5	17
SK1282-80L/4	0,75	67	107	2,1	20,57	3,9	7,2	9,6	7,2	23

Točivý moment na hřídeli šneku (3.7.8)

$$M_k = \frac{P_s}{2\pi \cdot n_s} = \frac{750}{2\pi \cdot \frac{69}{60}} = 104 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

kde: n_s [ot/s] – otáčky šnekovnice

P_s [W] – příkon motoru šnekového dopravníku

Axiální síla v ložisku (3.7.9)

$$F_A = \frac{M_K}{R_S \cdot \text{tg}(\alpha + \delta)} = \frac{104}{0,068 \cdot \text{tg}(17,7 + 21,8)} = 1855,3 \text{ N}$$

kde: R_S [m] – účinný poloměr šneku

M_K [N/m] – točivý moment na hřídeli šneku

α [°] – úhel stoupání šneku

δ [°] – třecí úhel mezi materiálem a šnekovnicí

Účinný poloměr šneku (3.7.10)

$$R_S = 0,75 \cdot \frac{D}{2} = 0,75 \cdot \frac{0,18}{2} = 0,068 \text{ m}$$

kde: D [m] – průměr šnekovnice

R_S [m] – účinný poloměr šneku, $\in (0,7 \div 0,8) \cdot \frac{D}{2}$

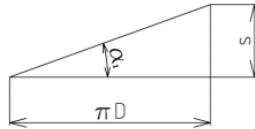
Úhel stoupání šneku

(3.7.11)

$$\operatorname{tg} \alpha = \left(\frac{s}{\pi \cdot D} \right) = \left(\frac{0,18}{\pi \cdot 0,18} \right) = 0,318 \rightarrow \alpha = 17,7^\circ$$

kde: $D[m]$ – průměr šnekovnice

$s[m]$ – stoupání šnekovnice



Obr. 26 – Stoupání šnekovnice

Třecí úhel mezi materiálem a šnekovnicí

(3.7.12)

$$\delta = \operatorname{arctg}(f) = \operatorname{arctg}0,4 = 21,8^\circ$$

kde: $f[-]$ – součinitel tření mezi dřevem a ocelí, $\in \langle 0,2 - 0,6 \rangle$

Radiální síla v ložisku

(3.7.13)

$$F_R = \frac{m_\xi \cdot g}{i_l} = \frac{19,96 \cdot 9,81}{1} = 195,8 \text{ N}$$

kde: $m_\xi[kg]$ – hmotnost hřídele šnekovnice

$i_l[ks]$ – počet ložisek (podpor)

3.8 Návrh a výpočet kypřicího zařízení

Rotační kypřicí zařízení, které je umístěné v násypce, slouží k prokypření lisovaného materiálu. Může se stát, že do násypky bude přiveden splený kus materiálu, který by měl nežádoucí vliv na celý proces lisování a mohl by tak ovlivnit výslednou kvalitu výlisku. Dále by kypřicí zařízení mohlo fungovat jako mixér, který by zvlhčoval přesušený materiál na požadovanou lisovací vlhkost.

Kroutící moment pro otočení jedné lopatky

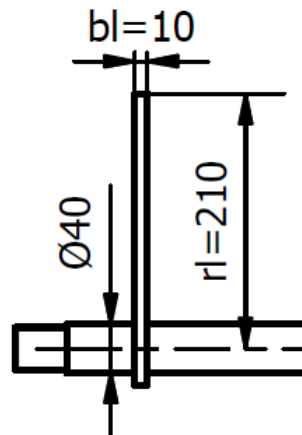
(3.8.1)

$$M_l = \frac{k_r \cdot b_l \cdot r_l^2}{2} = \frac{15000 \cdot 0,01 \cdot 0,21^2}{2} = 3,2 \text{ N/m}$$

kde: $b_l[m]$ – šířka lopatky

$r_l[m]$ – poloměr lopatky

$k_r[N/m^2]$ – měrný koeficient odporu proti pohybu lopatek



Obr. 27 – Rozměry lopatky

Příkon hřídele kypříče

(3.8.2)

$$P_k = \frac{M_l \cdot x_l \cdot 2\pi \cdot n_k \cdot k_{\varphi k}}{1000} = \frac{3,2 \cdot 6 \cdot 2\pi \cdot \frac{17,3}{60} \cdot 0,6}{1000} = 0,2 \text{ kW}$$

kde: $n_k[ot/s]$ – otáčky kypříče

$k_{\varphi k}[-]$ – součinitel plnění kypříče, $\in (0,5 \div 0,6) \rightarrow 0,6$

$x_l[ks]$ – počet lopatek kypříče

$M_l[N/m]$ – Kroutící moment pro otočení jedné lopatky

Výpočet otáček kypříče

(3.8.3)

Kypřicí zařízení bude napojeno na šnekový hřídel pomocí řetězových kol. Bude tedy potřeba jen jednoho hnacího elementu, který bude hnát šnekovnici i kypřicí zařízení. Pro stanovení otáček kypřicího zařízení, je třeba znát převodový poměr a otáčky šnekového dopravníku.

$$n_k = n_s \cdot i = 69 \cdot 0,25 = 17,3 \text{ ot/min}$$

kde: $n_s[ot/s]$ – otáčky šnekovnice

$i[-]$ – převodový poměr

Převodový poměr

(3.8.4)

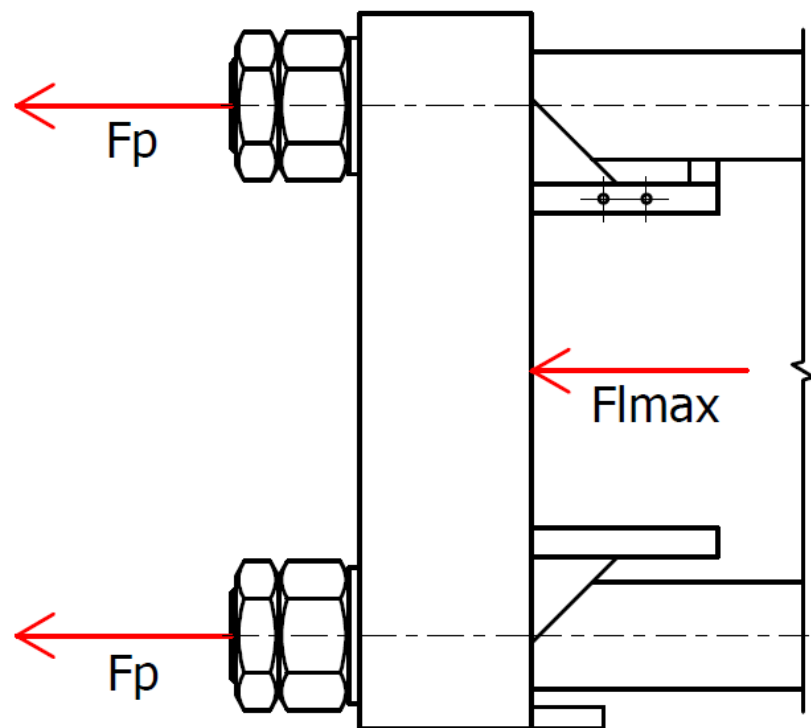
$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{9}{36} = 0,25[-]$$

kde: $z_1[-]$ – počet zubů hnacího kola

$z_2[-]$ – počet zubů hnaného kola

3.9 Pevnostní kontrola hřídelového šroubu**Kontrola šroubového spoje uchycení lisovací formy od síly lisovacího pístu**

Po průzkumu hydraulických lisů, které lisují kvádrové brikety větších rozměrů, se většinou konstruuje tak, že hlavní lisovací válec je spojen pomocí čtyř hřídelů (svorníků) spolu s lisovací formou. Jedná se o předepjatý šroubový spoj, který je zatěžován maximální tahovou silou 785,4 kN.



Obr. 28 – Působení sil na hřídelový šroub

Výpočet síly působící na jeden hřídelový šroub

(3.9.1)

$$F_p = \frac{F_{lmax}}{4} = \frac{785400}{4} = 196350 \text{ N} = 196,35 \text{ kN}$$

$$\sigma_t \leq \sigma_{Dt}$$

$$\frac{F_p}{\pi \cdot \left(\frac{d_3^2}{4}\right)} \leq \frac{R_e}{k_s}$$

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_p \cdot k_s}{\pi \cdot R_e}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 196350 \cdot 2}{\pi \cdot 355}} \geq 37,5 \text{ mm}$$

$$d_3 = 53,546 \text{ mm} \rightarrow \text{závit M56x2}$$

Byl zvolen závit M56x2 z důvodu velkého předpětí. U předepjatých spojů se doporučuje velikost statické bezpečnosti $k_s = 2 \div 3$. Byl zvolen závit s jemnou roztečí z důvodů větší samosvornosti spoje. Dle sortimentu czferrosteel.cz byla zvolena konstrukční ocel 11 523, která zaručuje minimální mez pevnosti v kluzu $R_e = 355 \text{ MPa}$ a pevnost v tahu $R_m = 510 \div 680 \text{ MPa}$.

Pro závit M56x2

$$d_3 = 53,546 \text{ mm}$$

$$d_2 = 54,701 \text{ mm}$$

$$P = 2 \text{ mm}$$

Úhel stoupání závitu

(3.9.2)

$$\psi = \arctg\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right) = \arctg\left(\frac{2}{\pi \cdot 54,701}\right) = 0,66^\circ$$

kde: $d_2[\text{mm}]$ – střední průměr závitu

$P[\text{mm}]$ – stoupání závitu

Třecí redukovaný úhel (3.9.3)

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \operatorname{arctg} \frac{0,18}{\cos \frac{60}{2}} = 11,7^\circ$$

kde: $f_z[-]$ – součinitel smykového tření mazaný olejem, $\in (0,16 \div 0,24)$
 $\alpha[^\circ]$ – úhel profilu závitu

Předpětí jednoho hřídelového šroubu (3.9.4)

$$F_0 = 0,75 \cdot F_p = 0,75 \cdot 196350 = 147262,5 \text{ N}$$

kde: $F_p[\text{N}]$ – síla působící na jeden hřídelový šroub

Pro dočasné spoje se volí velikost předpětí $0,75F_p$.

Třecí moment v závitu (3.9.5)

$$M_{tz} = F_0 \cdot \operatorname{tg}(\psi + \varphi') \cdot \frac{d_2}{2} = 147262,5 \cdot \operatorname{tg}(0,66 + 11,7) \cdot \frac{54,701}{2} = 882600 \text{ N/mm}$$

kde: $F_0[\text{N}]$ – předpětí jednoho hřídelového šroubu
 $\psi[^\circ]$ – úhel stoupání závitu
 $\varphi'[^\circ]$ – třecí redukovaný úhel
 $d_2[\text{mm}]$ – střední průměr závitu

Třecí moment v dosedací ploše hřídelového šroubu (3.9.6)

$$M_{tm} = F_0 \cdot f_m \cdot \frac{s_K + d_D}{4} = 147262,5 \cdot 0,17 \cdot \frac{85 + 58}{4} = 894988 \text{ N/mm}$$

kde: $F_0[\text{N}]$ – předpětí jednoho hřídelového šroubu
 $f_m[-]$ – tření mezi maticí a podložkou
 $s_K[\text{mm}]$ – šířka hlavy matice
 $d_D[\text{mm}]$ – vnitřní průměr podložky

Utahovací moment (3.9.7)

$$M_u = M_{tz} + M_{tm} = 882600 + 894988 = 1777588 \text{ N/mm} = 1777,6 \text{ N/m}$$

kde: M_{tz} [N/mm] – třecí moment v závitu

M_{tm} [N/mm] – třecí moment v dosedací ploše hřídelového šroubu

Smykové napětí (3.9.8)

$$\tau = \frac{M_{tz}}{W_k} = \frac{M_{tz}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{882600}{\frac{\pi \cdot 53,546^3}{16}} = 29,3 \text{ MPa}$$

kde: M_{tz} [N/mm] – třecí moment v závitu

d_3 [mm] – malý průměr závitu

Napětí v tahu (3.9.9)

$$\sigma_t = \frac{F_{t0}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{343612,5}{\frac{\pi \cdot 53,546^2}{4}} = 152,6 \text{ MPa}$$

kde: F_{t0} [N] – maximální síla působící na jeden hřídelový šroub

d_3 [mm] – malý průměr závitu

Maximální síla působící na jeden hřídelový šroub (3.9.10)

$$F_{t0} = F_0 + F_p = 147262,5 + 196350 = 343621,5 \text{ N}$$

kde: F_0 [N] – předpětí jednoho hřídelového šroubu

F_p [N] – síla působící na jeden hřídelový šroub

Maximální síla působící na hřídelový šroub F_{t0} je rovna součtu základního předpětí šroubu a maximálního provozního zatížení šroubu.

Redukované napětí (3.9.11)

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{152,6^2 + 4 \cdot 29,3^2} = 163,5 \text{ MPa}$$

kde: σ_t [MPa] – napětí v tahu

τ [MPa] – smykové napětí

Dovolené napětí v tahu

(3.9.12)

$$\sigma_{Dt} = \frac{R_e}{k_s} = \frac{355}{2} = 177,5 \text{ MPa}$$

kde: $R_e[\text{MPa}]$ – minimální dovolené napětí v kluzu

$k_s[-]$ – statická bezpečnost

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{Dt}$$

$$163,5 \leq 177,5 \text{ MPa}$$

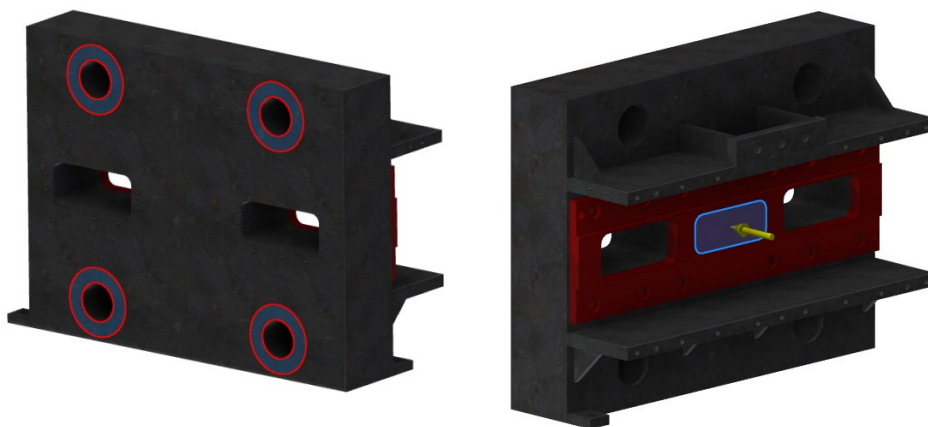
Redukované napětí v jednom hřídelovém šroubu vychází na $\sigma_{red} = 163,5 \text{ MPa}$ a splňuje podmínku dovoleného napětí.

3.10 Pevnostní kontrola namáhaných součástí pomocí MKP

MKP analýza byla provedena v programu Autodesk Inventor 2015. Mechanické vlastnosti u všech testovaných součástí byly nastaveny na hodnotu $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ a Poissonova konstanta 0,3. Nejvíce namáhaná součást briketovacího lisu je razník a nosný člen lisovací formy, na který působí maximální lisovací síla $F_{\text{max}} = 785398 \text{ N}$.

3.10.1 Kontrola nosného členu lisovací formy**Okrajové podmínky**

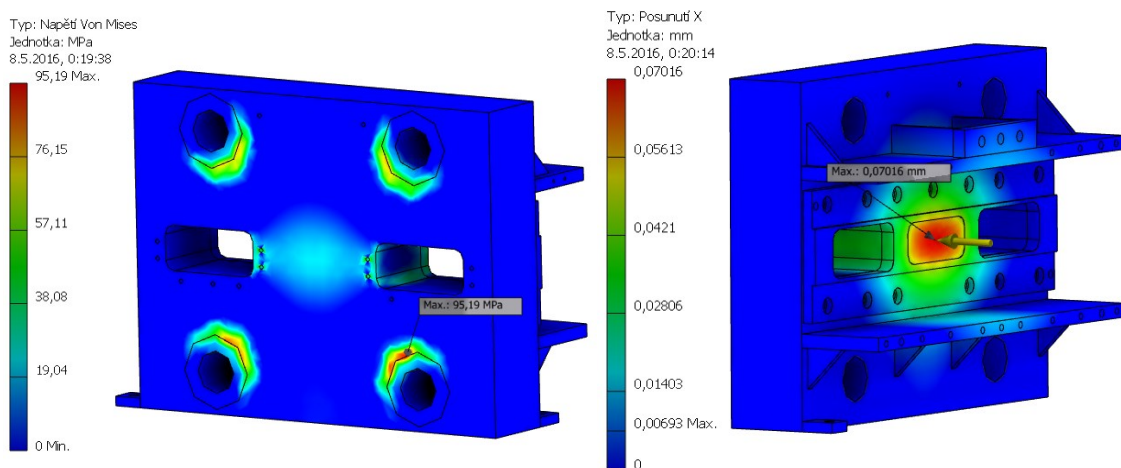
U nosného členu lisovací formy byly nastavené okrajové podmínky ve formě pevných a ideálních vazeb. Pevné vazby byly nastaveny na plochy podložek nosných hřídelů a ideální vazba na spodní plochu, která leží na nosném rámu. Síla byla umístěna na plochu, ve které je tvořen protitlak od lisovacího razníku.



Obr. 29 – Okrajové podmínky lisovací formy

Výsledky

Pro výsledky bylo použito hlavní napětí Von Mises, které nabývalo maximální hodnoty 95,19 MPa v místě pod podložkou. Tuto hodnotu můžeme brát s rezervou, neboť její velikost je pouze zanedbatelná. Pro materiál 11500, který udává dle materiálových charakteristik dovolenou mez pevnosti v kluzu pro míjivé zatížení v tahu $Re = (90-135)$ MPa, jsou tyto výsledky přijatelné. Velikost posunutí dosáhlo maximální hodnoty 0,07 mm.



Obr. 30 – Výsledky simulace lisovací formy

3.10.2 Kontrola razníku

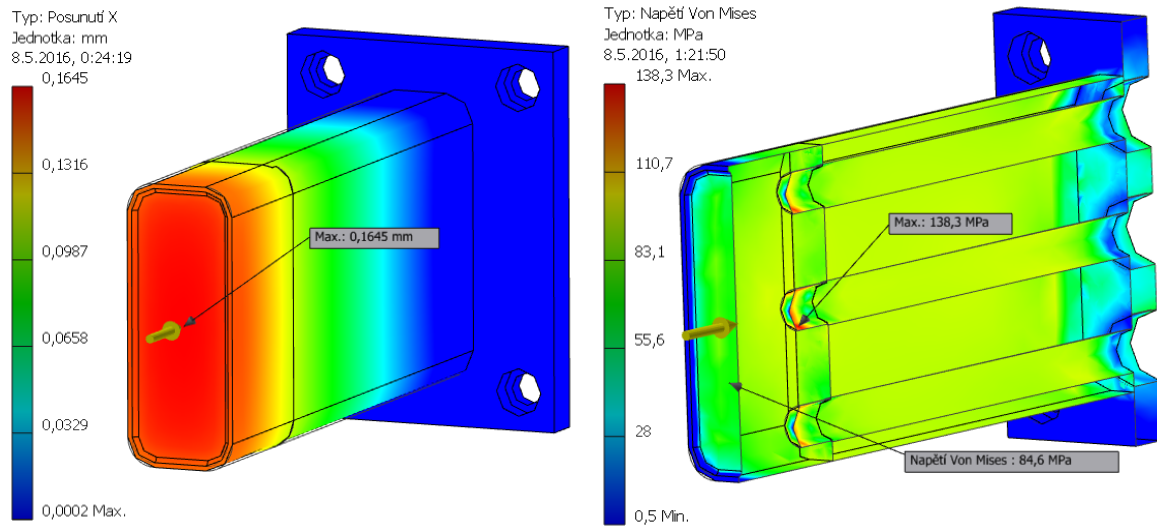
Okrajové podmínky

Další nejvíce namáhanou součástí je lisovací razník. Okrajové podmínky byly nastaveny ve formě pevné vazby na zadní plochu razníku, která bude připevněna pomocí šroubů na nosný člen a ten na lisovací pístnici. Síla, která působí na lisovací plochu razníku je rovná maximální lisovací síle, kterou vytvoří hydraulický válec a nabývá hodnoty $F_{lmax} = 785398N$.

Výsledky

Pro výsledky bylo použito hlavní napětí Von Mises, které nabývalo maximální hodnoty 138,3 MPa v díře pro šroub. Tuto hodnotu můžeme opět brát s rezervou, neboť její velikost je pouze zanedbatelná. Razník bude taktéž vyroben z materiálu 11500, který

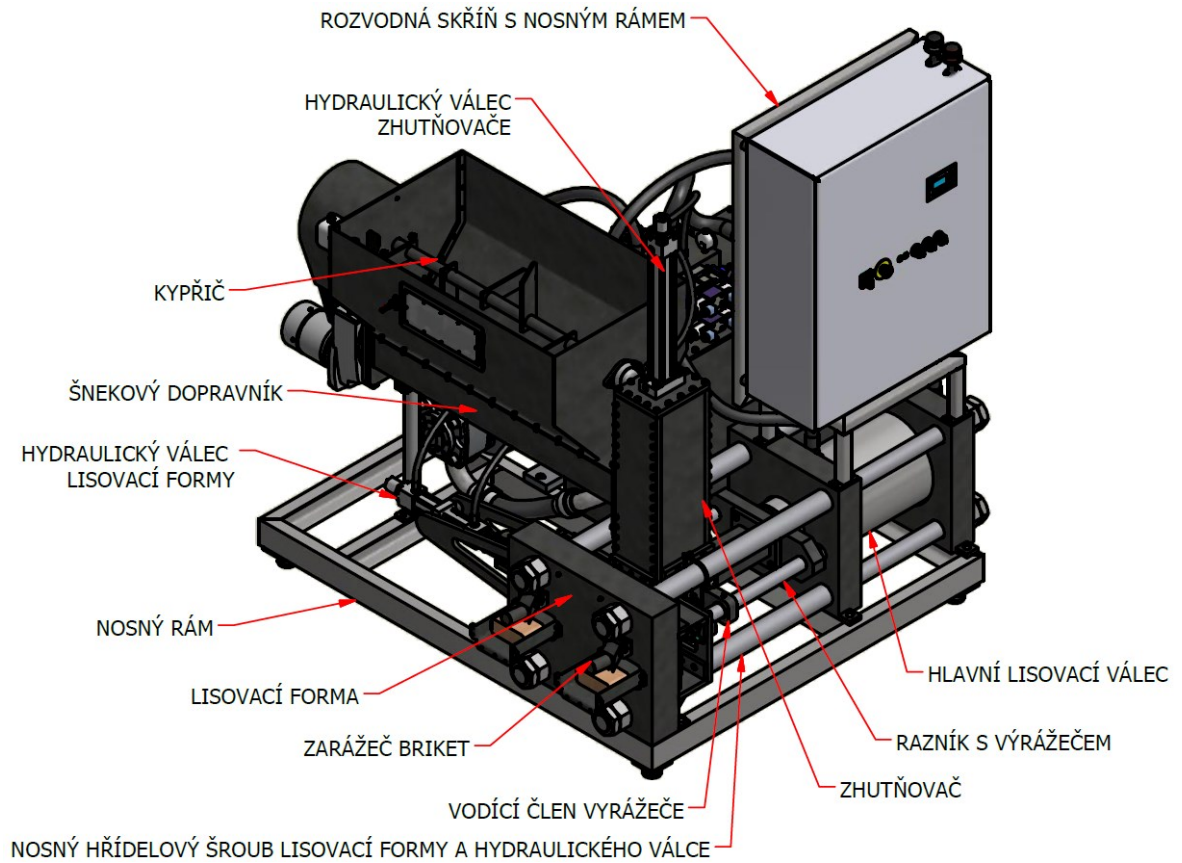
udává dle materiálových charakteristik dovolenou mez pevnosti v kluzu pro mívivé zatížení v tahu $R_e = (90-135)$ MPa a hodnoty výsledků jsou přijatelné. Velikost posunutí dosáhlo maximální hodnoty 0,16 mm.



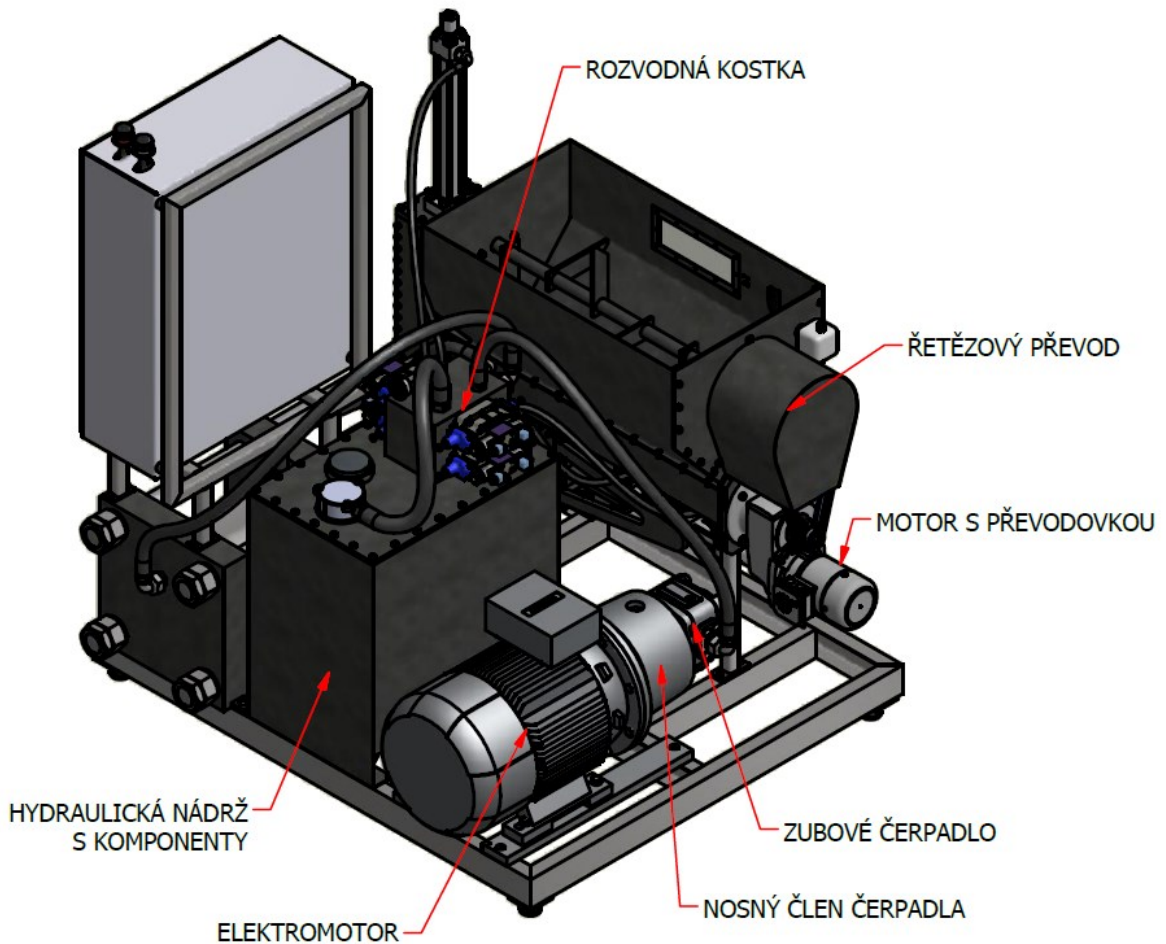
Obr. 31 – Výsledky simulace razníku

4 Konstrukční návrh lisu

4.1 Konstrukční řešení lisu



Obr. 32 – Návrh briketovacího lisu – pohled 1



Obr. 33 – Návrh briketovacího lisu – pohled 2

4.2 Princip činnosti hydraulického lisu

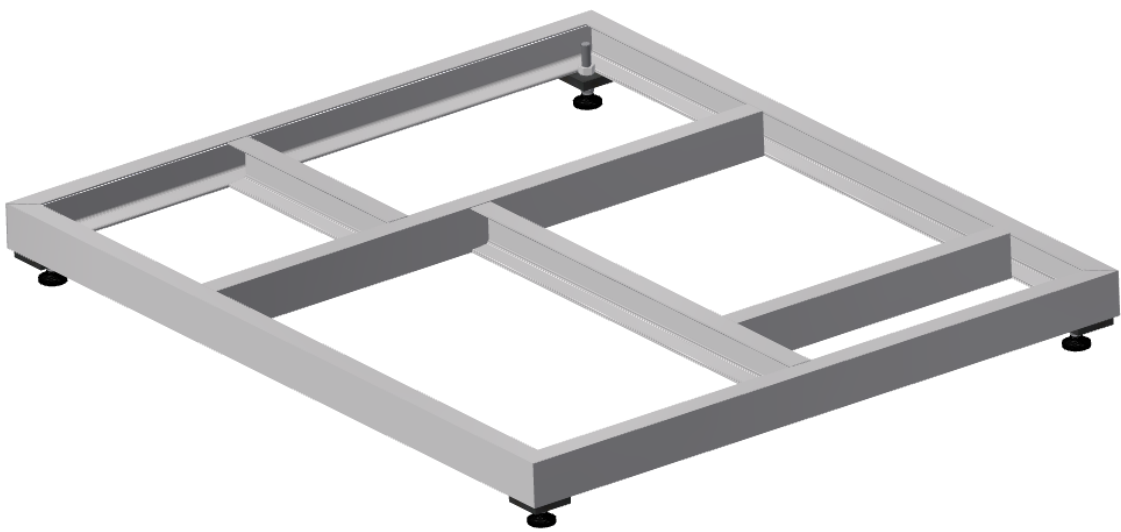
Přivedený materiál do násypky ať už z šnekového dopravníku nebo pásového dopravníku se nejprve prokypří a poté je šnekovým dopravníkem dopraven do zhutňovací komory, kde dojde k nahrnutí a částečnému slisování materiálu do lisovacího prostoru. Hlavní lisovací válec začne protlačovat materiál, skrz zhutňovací komoru do lisovací formy, která je opatřena dvěma lisovacími otvory, z nichž je jeden ve středové pozici lisování a druhý v pozici vyústění briket. Lisovací válec slisuje materiál na požadovaný tlak a zároveň vytlačí slisovanou briketu vyrážecem, která se nachází v druhém otvoru. Po slisování se vrací do původní polohy a dává znamení přes indukční snímače hydraulickému válci lisovací formy i hydraulickému válci zhutňovače. Válec formy přesune lisovací

formu, ve které je slisovaná briketa do pozice vyústění briket a ve středové pozici je nachystaná vyprázdňená forma. Takto se celý proces opakuje.

4.3 Popis jednotlivých uzlů lisu

4.3.1 Konstrukce rámu

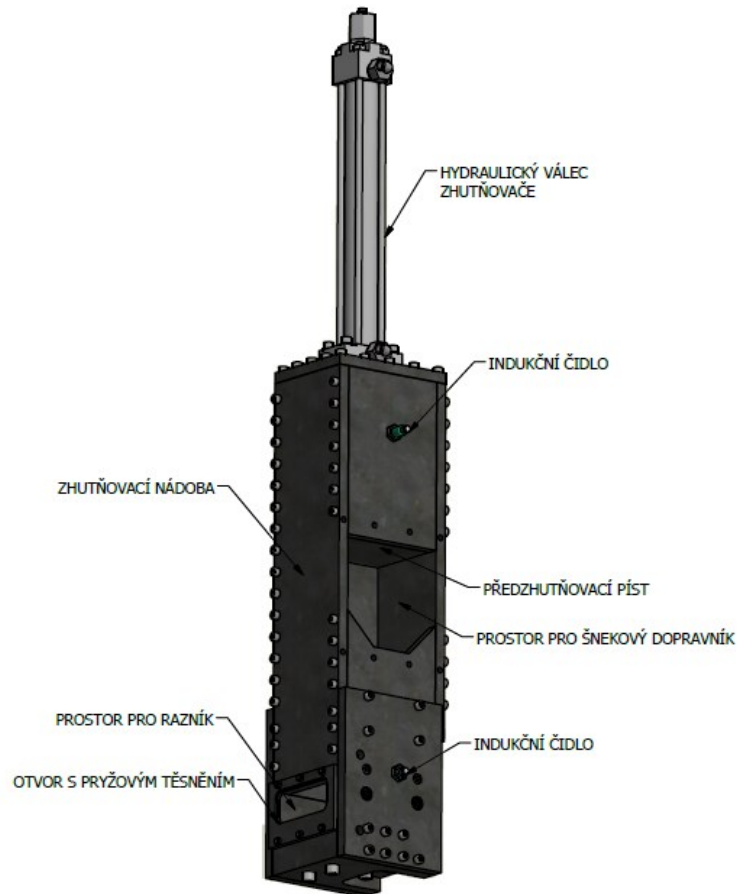
Samotný rám je koncipován jako svařovaná konstrukce, ve které jsou použity ocelové profily U100. V každém rohu rámu jsou navařeny plotny, ve kterých jsou díry se závitem, do těchto děr přijdou našroubovat stavitelné nožičky s gumovým základem, který bude přenášet chvění a vibrace lisu.



Obr. 34 – Konstrukce rámu

4.3.2 Zhutňovač

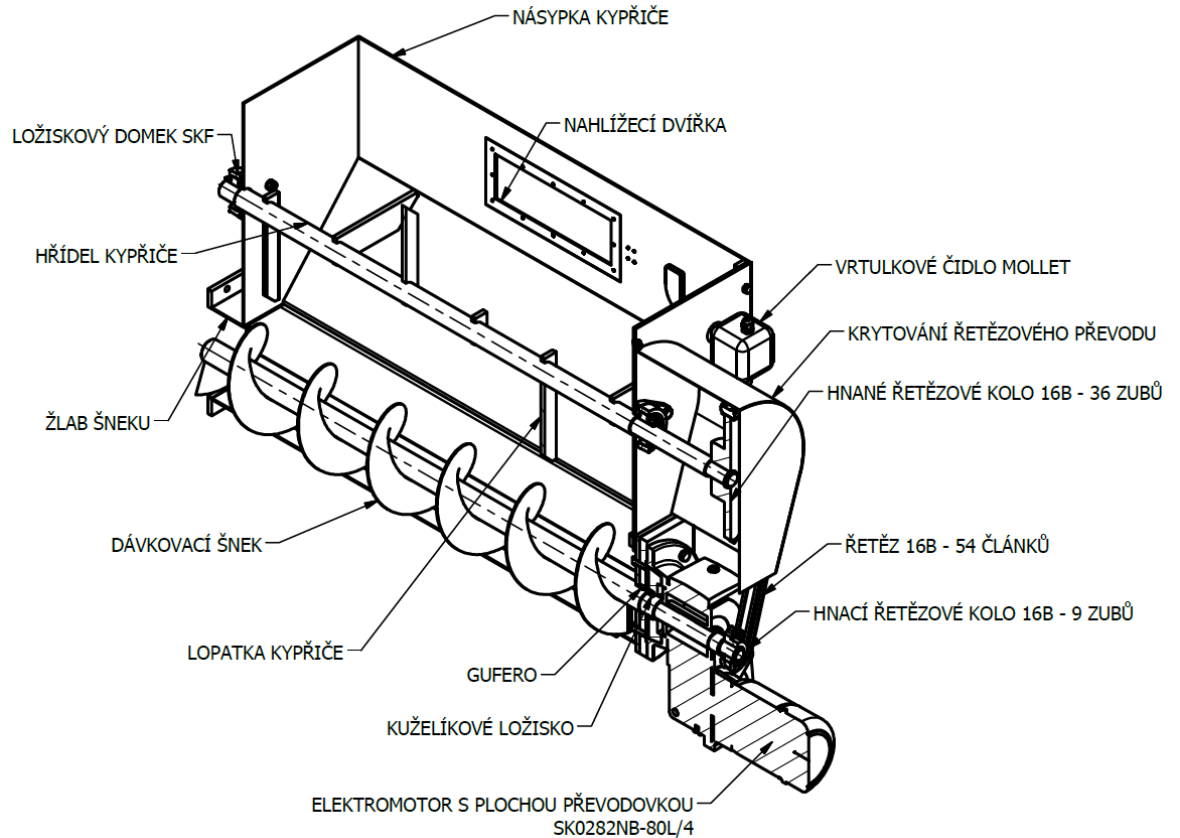
Zhutňovač slouží k nahrnutí materiálu do lisovacího prostoru. Šnekový dopravník naplní zhutňovací nádobu a poté hydraulický válec, který je spojen pomocí čepu s pístem kvádrového tvaru stlačí materiál do lisovacího prostoru. Razník tento předzhutněný materiál protlačí skrz zhutňovací komoru do lisovací formy, kde materiál stlačí na požadovaný lisovací tlak. Otvor pro razník je opatřen pryžovým těsněním, aby se zamezilo vypadávání materiálu z nádoby. Indukční čidlo zaznamenává přítomnost pístu a dává tak signál hydraulickému válci k zahájení lisovacího procesu.



Obr. 35 - Zhutňovač

4.3.3 Kypřicí nádoba se šnekovým dopravníkem

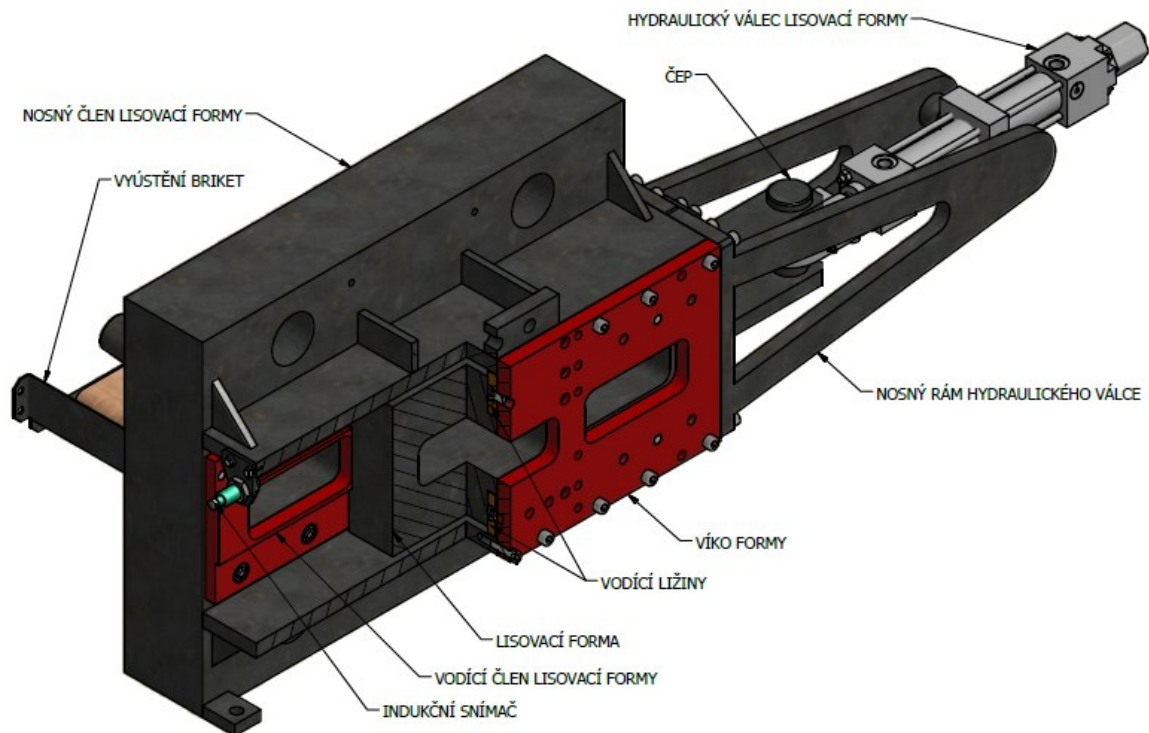
Vstupující lisovací materiál se nejprve prokypří a poté je šnekovým dopravníkem dopraven do zhutňovací komory. Kypřicí zařízení je složeno z násypky a hřídele kypřiče, který je opatřen míchacími lopatkami. Hřídel kypřiče je umístěn v ložiskových domcích. Násypka je opatřena kontrolním průzorem – nahlížecími dvířkami. K násypce je přišroubován šnekový dopravník, který se skládá ze žlabu a dávkovacího šneku. Dávkovací šnek je na jedné straně - výstupu materiálu usazen letmo a na druhé straně vsunut do převodovky a kuželíkového ložiska, které zachytává axiální a radiální sílu vytvořenou šnekem. Před kuželíkovým ložiskem je umístěn těsnicí kroužek, který zabraňuje vstupu materiálu do ložiska a samotné převodovky. Pohon šneku a kypřiče je uskutečněn elektromotorem s plochou převodovkou, který pomocí řetězových kol přenáší kroutící moment na hřídel kypřiče. Ozubená kola jsou pojištěna hřídelovými kroužky a hnané ozubené kolo je z důvodů bezpečnosti krytované. K čelu násypky je přišroubováno vrtulkové čidlo, které slouží k měření hladiny materiálu. Pokud by čidlo nezaznamenalo žádný silový odpor materiálu, zastavilo by pracovní činnost briketovacího lisu.



Obr. 36 - Kypřicí nádoba se šnekovým dopravníkem

4.3.4 Uzavřená lisovací forma

Lisovací forma je jedna z nejdůležitějších uzlů lisu. Skládá se z hlavního nosného členu, který je propojen pomocí hřídelových šroubů s hlavním hydraulickým lisovacím válcem. Samotné lisování probíhá uprostřed nosného členu v lisovací formě, kde lisovací píst stlačí materiál na požadovaný tlak a délku. Lisovací forma se skládá ze dvou lisovacích otvorů. Jeden slouží k lisování výlisků a druhý slouží k vytlačení výlisků z formy. Po sliování hydraulický válec, který je spojen s formou pomocí čepu horizontálně posouvá lisovací formu s hotovým výliskem do pozice vyústění briket a v pozici lisování je nachystaná vyprázdňená forma pro další pracovní cyklus. Takto se celý proces opakuje. Vodicí ližiny a vodící člen slouží pro vedení lisovací formy. Nosný rám hydraulického válce je složen ze 2. kusů – levé a pravé strany z důvodu montáže hydraulického válce.



Obr. 37 – Lisovací komora

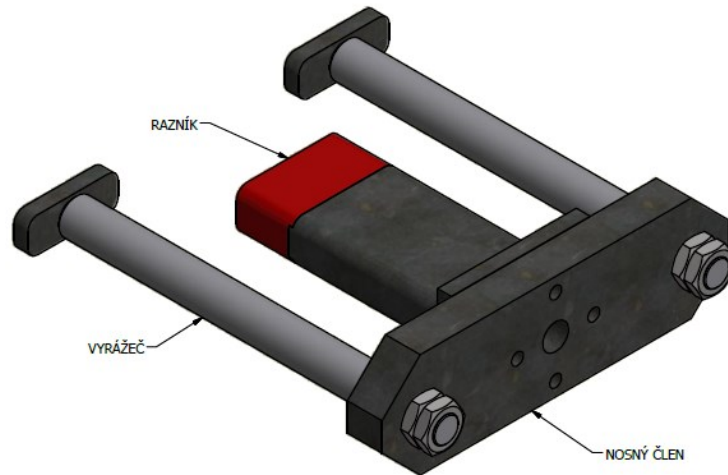


Obr. 38 – Lisovací forma

4.3.5 Razník s vyrážěčem

Samotný razník je konstruován ze dvou částí, které jsou k sobě připevněny pomocí šroubového spoje. Je to z důvodů opotřebení, aby se při rekonstrukci nemusel vyrábět celý celek nový, tak se vyrobí pouze razící část. Do razící části se může vyfrézovat například logo firmy, které se projeví ve výlisku brikety. Razník je pomocí šroubu připevněn k nosnému členu, který je taktéž připevněn pomocí šroubů k pístnici hlavního lisovacího

válce. Po stranách nosného členu jsou vyvrtány díry s drážkou pro pero, do kterých přijde umístit vyrážeč, který je určen k vytlačení výlisku z lisovací formy. Drážka pro pero slouží proti nežádoucímu pootočení vyrážeče, který by mohl při vytlačování narazit do samotné lisovací formy, a došlo by k havárii stroje.



Obr. 39 - Razník s vyrážečem

4.3.6 Zarážec výlisků

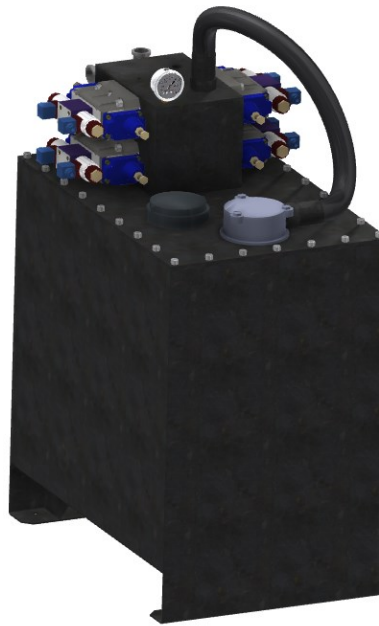
Po vytlačení vyrážečem hotového výlisku z lisovací formy se briketa obvykle dopravuje k dalšímu zpracování. Většinou se jedná o úklonnou dopravu směrem vzhůru a brikety by měli tendenci se sesouvat působením gravitační síly zpět do lisovací formy. K tomuto zpětnému chodu slouží zarážec opatřený zuby pilového charakteru, který do brikety vnikne a nedovolí jí zpětného pohybu do lisovací formy. Tyč, která je přivařena k tělu zarážece slouží jako závaží a tělo je pomocí čepu uchyceno do nosné konstrukce.



Obr. 40 - Zarážec výlisků

4.3.7 Nádrž hydraulického agregátu

Nádrž hydraulického agregátu je navržena na potřebný pracovní objem 300 litrů. Nádrž je koncipována jako svařovaná konstrukce z plechů tloušťky 3mm, ve které jsou umístěny otvory pro sací potrubí a výpustný šroub. Nádrž je ve spodní části lemována z důvodů uchycení k rámu lisu. Poklop nádrže je z plechu tloušťky 10mm a je opatřen nalévacím otvorem, který má filtr proti vniknutí nečistot při nalévání. Dále je na poklopu umístěn olejový filtr s rozvodnou kostkou, na které jsou příslušné proporcionální rozvaděče a hodinový tlakoměr.



Obr. 41 - Nádrž hydraulického agregátu

4.3.8 Elektrická rozvodná skříň s nosným rámem

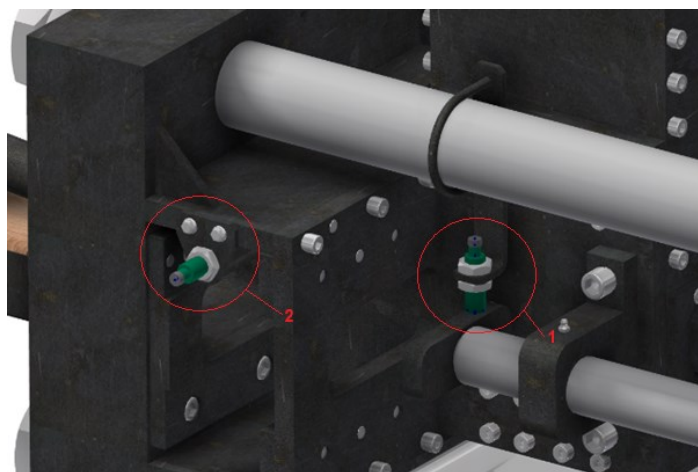
Pro plně automatizovaný chod briketovacího lisu je nutné použít rozvodnou skříň, ve které budou umístěny jističe, přepínače a PLC řídicí jednotka pro přepínání a ovládání chodu hydraulických válců a šnekového podavače s kypřičem. Rozvodná skříň bude svařena z plechu tloušťky 2mm a bude umístěna přes gumové silentbloky na nosný rám, který bude svařen z uzavřených ocelových profilů o rozměrech 40x40x3 mm. Do dvířek rozvodné skříně budou vyvrtány a vypáleny otvory, do kterých budou umístěna tlačítka, kabelové vedení, hlavní vypínač a display. Rozvodná skříň s nosným rámem bude připevněna přes šroubový spoj k hlavnímu lisovacímu válci. Silentbloky budou použity k utlumení chvění a vibrací, které budou vytvořeny od lisovacího válce.



Obr. 42 - Elektrická rozvodná skříň

4.3.9 Indukční snímače

Průmyslové indukční snímače umožňují bezkontaktně detekovat, případně měřit, přiblížení elektricky vodivých předmětů na určitou vzdálenost. Jejich výhodou je možnost pracovat v prašném nebo jinak znečištěném průmyslovém potrubí. Snímače budou u briketovacího lisu použity u každého hydraulického válce a budou mít za úkol dávat signál PLC řídicí jednotce, která předá signál proporcionálním rozvaděčům a ty v daný moment změni směr průtoku nebo zůstanou otevřené – válec bude zastaven.



Obr. 43 - Indukční snímače

Na obrázku jde vidět snímač lisovacího válce (poz.1), který je pomocí objímky a z ohnuté pásoviny uchycen ke hřídeli a visí nad vyrážedem briket. Vyrážed briket je na levé i pravé straně a je spojen s raznicí hlavního lisovacího válce. Při lisování provede hlavní válec přímočarý vratný pohyb a při dojezdu válce do koncové polohy snímač zaznamená přítomnost vyrážedce a vyšle signál přes řídicí jednotku do rozvaděče hydraulického válce lisovací formy. Válec lisovací formy vymění pozici a snímač, který je umístěn na konstrukci vedení formy (poz.2) dá opět signál přes řídicí jednotku do rozvaděče. Snímače jsou umístěny i ve zhutňovací formě pro ovládání válce zhutňovače.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce byl konstrukční návrh hydraulického briketovacího lisu, který je určen pro zpracování dřevěného odpadu – pilin, hoblin, stromové kůry. Navrhnuté řešení splňuje požadavky diplomové práce, kterými jsou hodinový lisovací výkon 400 kg/hod a výsledný výlisek kvádrového tvaru s předem danými parametry a rozměry.

Na základě výpočtů byly tyto požadavky splněny a byl navržen lisovací mechanismus spolu s hydraulickými přímočarými válci včetně hydraulického obvodu s hydrogenerátorem a elektromotorem. Dále byl navržen dávkovací mechanismus s kypřicím zařízením a mechanickým pohonem. Délka výsledného výlisku se pohybuje od je závislá na velikosti vstupujícího objemu materiálu do lisovacího prostoru, který lze měnit dávkovacím časem šnekového dopravníku. Nejvíce namáhané součásti byly zkontrolovány pomocí metody konečných prvků a nosné, svorníkové hřídele byly zkontrolovány na největší lisovací zatížení.

Pro dokončení návrhu lisu je potřeba navrhnout elektrické zapojení a naprogramovat PLC řídicí jednotku, která bude automaticky řídit chod jednotlivých válců a chod dávkovacího zařízení. Dále je potřeba opatřit hydraulický obvod briketovacího lisu vzduchovým chladičem, z důvodů přehřívání pracovní kapaliny nad povolenou teplotní hranici. Poté může být hydraulický lis instalován do velkovýroby s nepřetržitou dobou provozu.

Seznam použité literatury

- [1] Matúš, Križan, Kováčová. *Analýza konstrukčních parametrů vplývající na výslednou kvalitu výlisku*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.eu.fme.vutbr.cz/file/135_1_1/
- [2] BIOMAC SORTIMENT. *ČESKÁ PELETA*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.ceska-peleta.cz/wp-content/uploads/biomac_pelety.jpg
- [3] Briketovací lis BrikStar. *Briklis*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.briklis.cz/briketovaci-lis/200-300-400/>
- [4] Salmatec Maschinenbau. *Salmatec*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.salmatec.de/>
- [5] Pressing For Success. *Biomassmagazine*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://biomassmagazine.com/articles/10749/pressing-for-success>
- [6] Pallmann. *Briquetting Press*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.pallmann.eu/language/front_content.php?idcat=595&idart=654&change_lang=4
- [7] Výzkumný ústav zemědělské techniky. *Energetické využití pevné biomasy*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://212.71.135.254/vuzt/poraden/prirucky/p2006_07.pdf
- [8] ŠOOŠ, Ľ. *Dřevný odpad...čo s ním?* [online]. 2000. [cit. 2016-05-15]. ISBN 80-227-1686-3. Dostupné z: http://ecb.sk/fileadmin/user_upload/editors/documents/Drevny_odpad_a_co_s_nim.pdf
- [9] Výroba ekopaliv. *Biomac*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.biomac.cz/vyroba-ekopaliv/>

- [10] KINGMAN. *Wood Briquette Plant*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.woodbriquetteplant.com/uploads/allimg/151020/zbj-lx-briquette-machine.jpg>
- [11] PINIKEY. *Coal Machines*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.coal-machines.com/wp-content/uploads/102.jpg>
- [12] Brikettierpresse. *Weima*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://weima.com/produkte/brikettierpressen/th-big-serie/th1500.html>
- [13] Briketovací lisy. *RUF*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.ruf.cz/briketovaci-lisy/drevo-a-biomasa/>
- [14] PAWERT SPM. *Briquetting Machine*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.pawert-spm.ch/index.php/de/>
- [15] Power units. *Bosch Rexroth*. [online]. 15.5.2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.boschrexroth.com/>
- [16] ELEKTROPŘEVODOVKY. *NORD-Poháněcí technika, s. r. o.* [online]. 15.5.2016 [cit.2016-05-15]. Dostupné z: <https://www.nord.com>
- [17] ŠKOPÁN M., *Hydraulické pohony strojů*. Studijní text – sylabus. Ústav dopravní techniky, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2009. 166 s.
- [18] Květoslav Kaláb. *NÁVRH A VÝPOČET DYNAMICKY NAMÁHANÉHO ŠROUBU PŘÍRUBOVÉHO SPOJE* [online]. Ostrava 2013. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/347/.content/files/predmety/kal01/prirucka-dynamickysroub.pdf>
- [19] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VÁVRA, P., *Strojnické tabulky. 3 doplněné vydání* Praha: SCIENTIA. spol. s.r.o., 2006. 985 s. ISBN 80-7361-033-7
- [20] Roman Hejný. *Bakalářská práce*. Ostrava, 2014.

Seznam obrázků

- Obr. 1 Chemicko-termické ukazatele kvality výlisků
- Obr. 2 Fyzikálně-mechanické ukazatele kvality výlisků
- Obr. 3 Sortiment výrobků BIOMAC
- Obr. 4 Hydrauický lis BrikStar
- Obr. 5 Peletovací lis Salmatec
- Obr. 6 Peletovací lis
- Obr. 7 Brikety z hydraulického lisu
- Obr. 8 Hydraulický briketovací lis
- Obr. 9 Brikety z mechanického lisu
- Obr. 10 Schéma mechanického lisu
- Obr. 11 Brikety ze šnekového lisu
- Obr. 12 Schéma šnekového lisu
- Obr. 13 Šnekový lis KINGMAN
- Obr. 14 Šnekový lis PINIKEY
- Obr. 15 Hydraulický lis WEIMA
- Obr. 16 Hydraulický lis RUF
- Obr. 17 Mechanický lis Pawert – SPM
- Obr. 18 Mechanický lis BIOMAC
- Obr. 19 Přímočarý hydromotor ZH1 250/180 x 290
- Obr. 20 Přímočarý hydraulický válec zhutňovače
- Obr. 21 Průběhy sil lisovací formy
- Obr. 22 Přímočarý hydraulický válec lisovací formy
- Obr. 23 Elektrický motor se zubovým čerpadlem
- Obr. 24 Hydraulický obvod
- Obr. 25 Elektrický motor s plochou převodovkou
- Obr. 26 Stoupání šnekovnice
- Obr. 27 Rozměry lopatky
- Obr. 28 Působení sil na hřídelový šroub
- Obr. 29 Okrajové podmínky lisovací formy
- Obr. 30 Výsledky simulace lisovací formy
- Obr. 31 Výsledky simulace razníku
- Obr. 32 Návrh briketovacího lisu – pohled 1
- Obr. 33 Návrh briketovacího lisu – pohled 2
- Obr. 34 Konstrukce rámu
- Obr. 35 Zhutňovač
- Obr. 36 Kypřicí nádoba se šnekovým dopravníkem
- Obr. 37 Lisovací komora
- Obr. 38 Lisovací forma
- Obr. 39 Razník s vyrážecem
- Obr. 40 Zarážec výlisků
- Obr. 41 Nádrž hydraulického agregátu
- Obr. 42 Elektrická rozvodná skříň
- Obr. 43 Indukční snímače

Seznam tabulek

Tab. 1	Porovnání některých parametrů výlisku vymezených normami evropských krajin
Tab. 2	Součinitel sklonu dopravníku
Tab. 3	Součinitel odporu
Tab. 4	Parametry motoru

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Friesovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky a dále Ing. Černému za jeho čas a poskytnutí podkladových materiálů pro vypracování diplomové práce. Dále děkuji své rodině za vytvoření příjemných podmínek pro tvorbu a své přítelkyni za podporu během tvorby diplomové práce.

Seznam příloh

BL-00	BRIKETOVACÍ LIS
BL-01	ŠNEKOVÝ DORAVNÍK S KYPŘIČEM
BL-01-01	KYPŘÍCÍ NÁDOBA
BL-01-01-01.1	ČELO NÁDOBY
BL-01-01-01.2	PLÁŠ'T NÁDOBY
BL-01-01-01.3	PLÁŠ'T NÁDOBY S OTVOREM
BL-01-01-01.4	PŘÍRUBA ČELA
BL-01-01-01.5	ČELO NÁDOBY ŠROUBOVACÍ
BL-01-01-01	KYPŘÍCÍ NÁDOBA – SVAŘENEC
BL-01-01-02.1	RÁMEČEK DVÍŘEK
BL-01-01-02.2	RÁMEČEK-PLEXI
BL-01-01-02.3	PLEXI SKLO
BL-01-01-02.S	RÁMEČEK DVÍŘEK SVAŘENEC
BL-01-01-02	NAHLÍŽECÍ DVÍŘKA
BL-01-01-03.1	HŘÍDEL KYPŘIČE
BL-01-01-03.2	LOPATKA
BL-01-01-03	HŘÍDEL KYPŘIČE
BL-01-01-03	KYPŘÍCÍ HŘÍDEL
BL-01-02.1	ŽLAB
BL-01-02.2	PŘÍRUBA ZHUTŇOVAČE
BL-01-02.3	PŘÍRUBA ŠNEKU
BL-01-02.4	PŘÍRUBA PODPĚRY
BL-01-02	ŽLAB ŠD
BL-01-03	ŠNEKOVNICE
BL-01-04.1	ČELO KRYTU ŘP
BL-01-04.2	PLÁŠŤ KRYTU ŘP
BL-01-04	KRYT ŘP
BL-01-05	PŘÍRUBA MOTORU
BL-01-06	ROZPĚRNÝ KROUŽEK
BL-01-08	HNACÍ ŘETĚZOVÉ KOLO