



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**ZLEPŠENÍ TOKU HMOTY OBILNÉ ŽACÍ LIŠTY
TYPU POWER FLOW**

CROP FLOW IMPROVEMENTS AT THE POWER FLOW HEADER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michael Štelcl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

BRNO 2017



Master's Thesis Assignment

Institut: Institute of Automotive Engineering
Student: **Bc. Michael Štelcl**
Degree program: Mechanical Engineering
Branch: Automotive and Material Handling Engineering
Supervisor: **Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.**
Academic year: 2016/17

As provided for by the Act No. 111/98 Coll. on higher education institutions and the BUT Study and Examination Regulations, the director of the Institute hereby assigns the following topic of Master's Thesis:

Crop flow improvements at the Power Flow header

Brief description:

To determine factors having impact on the Power Flow header, and the consequent design changes necessary to improve it.

Master's Thesis goals:

Critical review of the competitor's headers.

Comparison between the Power Flow and competitor's headers.

Define the factors affecting the crop flow.

Design changes which are based on these factors and are then necessary to improve the crop flow.

Define the speed and overall dimensions of each transmission component.

Bibliography:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

BANKS, Jerry. Discrete-event system simulation. 5th ed., International version. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Education, 2009. ISBN 9780138150372.

Students are required to submit the thesis within the deadlines stated in the schedule of the academic year 2016/17.

In Brno, 16. 12. 2016



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Director of the Institute

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
FME dean



ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem rozsahu optimálních pracovních rychlostí pásového dopravníku a průběžného šneku žací lišty typu Power Flow. Pro tyto účely autor diplomové práce vytvořil vlastní výpočtovou teorii, zahrnující geometrické vlastnosti sklizeného materiálu. Zároveň je zde provedena rešerše pracovních orgánů žacích lišt konkurenčních výrobců a proveden důkladný rozbor toku materiálu (transportu sklizené plodiny) žací lištou. Diplomová práce zahrnuje také podrobný popis některých typů sklizených plodin, s orientací na 4 hlavní druhy obilovin.

KLÍČOVÁ SLOVA

žací lišta, Power Flow, pásový dopravník, šnekový dopravník, průběžný šnek, sklízecí mlátička, obiloviny

ABSTRACT

The master's thesis is focused on a design of optimal working speed of auger and belt transporter which are parts of Power Flow header for standard type of combine harvester. In the master's thesis author suggest a new simplified theory of crop flow inside the Power Flow header. The thesis contain the factors which can affect the crop flow and comparison between the Power Flow and competitor's header. The thesis also contain geometrical characteristics of crop for four types of cereal.

KEYWORDS

header, Power Flow, belt transporter, auger, combine harvester, cereal, wheat



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠTELCL, M. *Zlepšení toku hmoty obilné žací lišty typu Power Flow*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 89 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Kašpárka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2017

.....

Michael Štelcl



PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D., za poskytnutí cenných rad a námětů. Zároveň musím velice poděkovat lidem z italského vývojového oddělení Laverda (Agco Spa.) za jejich čas a pomoc při mé práci, respektive vedoucímu vývoje lišty Power Flow Davidu De Bacco, jenž mi poskytl materiály, bez kterých by tato diplomová práce nemohla vzniknout. Taktéž musím poděkovat všem lidem, kteří mi poskytli informace při vytváření řešerše: Václav Koryčanský – New Holland, Jiří Ptáčník – Strom Praha, Richard Pavka – Agrall Bantice a taktéž zemědělcům kteří mi zpřístupnili své stroje. Moje největší poděkování však patří mé budoucí manželce, která mi po celou dobu poskytovala kvalitní a klidné zázemí.



OBSAH

Úvod	10
1 Žací lišta	11
1.1 Funkce žací lišty	11
1.2 Konstrukční rozdělení obilných žacích lišt.....	13
1.2.1 Žací lišta s průběžným šnekem.....	13
1.2.2 Žací lišta s pásovým dopravníkem	16
1.2.3 Žací lišta s průběžným šnekem a pásovým dopravníkem	17
1.2.4 Možnosti přepravy žacích lišt.....	18
1.3 Následující vývoj žacích lišt	21
1.3.1 Snižování hmotnosti	21
1.3.2 Pohony a regulace.....	22
2 Některé významné konstrukční prvky žacích lišt.....	23
2.1 Žlab průběžného šneku	23
2.2 Vliv toku sklizeného materiálu na činnost mlácení a čistění	24
2.3 Srovnávací řešerše	25
2.3.1 Přiháněč a kosa	25
2.3.2 Šnek	26
2.3.3 Pásový dopravník	27
3 Dopravovaný materiál	28
3.1 Obiloviny	28
3.2 Charakteristiky obilovin.....	29
3.2.1 Obecné charakteristiky obilovin.....	29
3.2.2 Rozměrová charakteristika obilovin.....	33
4 Modelování toku sklizeného materiálu.....	36
4.1 Základní teorie pásové a šnekové dopravy	37
4.1.1 Pásový dopravník	38
4.1.2 Průběžný šnek.....	41
4.2 Praktická aplikace základní teorie	45
4.2.1 Stanovení výšky vrstvy materiálu na pásových dopravnících.....	46
4.2.2 Rozložení hmotnostního toku ve žlabu šneku	48
4.2.3 Výpočet optimálních otáček šneku dle hmotnostního toku.....	49
4.2.4 Zhodnocení vypočtených hodnot.....	51
4.3 Teorie dopravy materiálu konečných rozměrů	52
4.3.1 Materiálový model.....	52
4.3.2 Ideální model dopravy materiálu	53



4.3.3	Kinematický index pásového dopravníku	54
4.3.4	Výška vrstvy materiálu na pásových dopravnících – odvození	55
4.3.5	Hmotnostní průtok materiálu konečných rozměru	57
4.3.6	Aktuální objemová hmotnost na pásových dopravnících.....	57
4.3.7	Teoretické otáčky průběžného šneku	58
4.4	Praktická aplikace teorie konečných rozměrů	59
4.4.1	Výška vrstvy na pásovém dopravníku.....	59
4.4.2	Objemová hmotnost.....	60
4.4.3	Teoretické otáčky šneku	61
5	Žací lišta PF 40	63
5.1	Analýza toku hmoty	63
5.1.1	Určení výšky vrstvy materiálu na pásovém dopravníku	63
5.1.2	Určení objemové hmotnosti materiálu na pásových dopravnících.....	63
5.1.3	Rozložení hmotnostního toku ve žlabu šneku	63
5.1.4	Teoretická rychlost hřídele průběžného šneku	64
5.2	Návrh pohonu pásového dopravníku a průběžného šneku	65
5.2.1	Výpočet převodového poměru.....	66
5.2.2	Návrh převodového poměru mezi pásovým a šnekovým dopravníkem.....	67
5.2.3	Převodový poměr mezi pohonem šnekového dopravníku a zdrojem otáčení	68
	Závěr	69
	Seznam použitých zkratk a symbolů	76
	Seznam příloh	78



Úvod

Žací lišta je nedílnou součástí každé sklízecí mlátičky, což je zemědělský stroj pro sklizeň zrn. Právě konstrukční provedení žací lišty určuje rozsah plodin, které je možné sklízecí mlátičkou zpracovávat. Jelikož je každá žací lišta konstrukčně navržena jako vyměnitelný adaptér, lze sklízecí mlátičku přizpůsobit podmínkám sklizně dané plodiny rychle a efektivně. Díky těmto možnostem stoupl počet plodin, zpracovatelných sklízecí mlátičkou, téměř na 30. To ze sklízecích mlátiček dělá nezastupitelný zemědělský stroj, který je hojně používán po celém světě v rostlinné výrobě ať už soukromými zemědělci, nebo v rozsáhlých zemědělských provozech.

Tato diplomová práce se primárně zabývá žací lištou typu Power Flow, která je určena pro sklizeň obilnin, luštěnin a travin. Hlavními rysy konstrukčního provedení této lišty je použití pásového dopravníku a průběžného šneku k dopravě hmoty do sklízecí mlátičky. Právě vzájemná součinnost těchto dvou elementů je zde zkoumána. Výsledkem je návrh výpočtového modelu, založeného na teorii dopravy kusového materiálu konečných rozměrů. S pomocí tohoto modelu je stanovena vzájemná matematická závislost mezi rychlostí pásového dopravníku a průběžného šneku, při zohlednění geometrických vlastností dopravovaného materiálu. Praktickou aplikací je pak určení optimálních pracovních rychlostí a rozsahu otáček těchto dvou elementů a návrh jejich pohonů u prototypu připravované žací lišty typu Power Flow, PF 40.

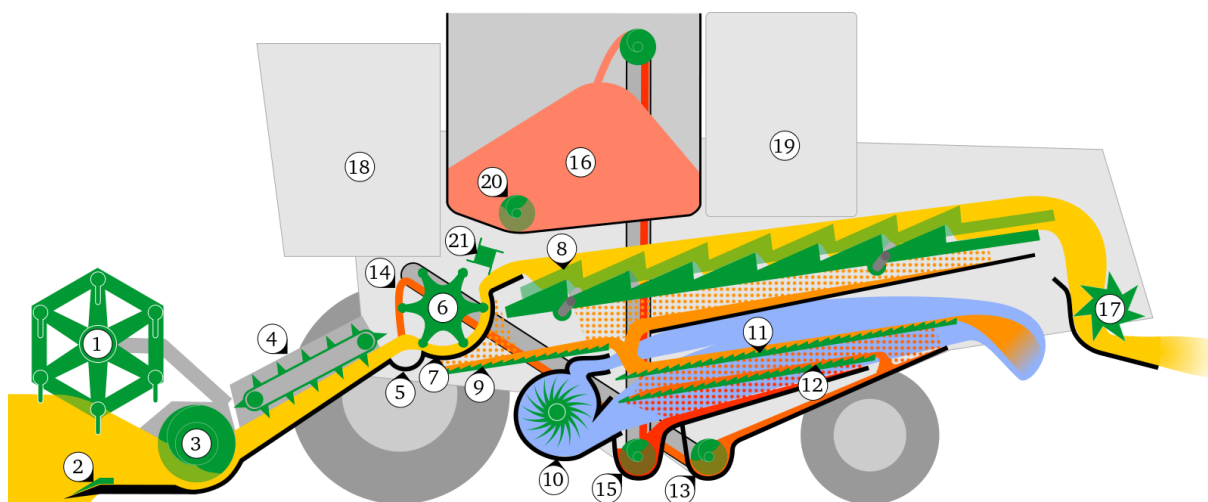
1 ŽACÍ LIŠTA

Žací lišta je vyměnitelný, čelně nesený adaptér, primárně určený pro sklizňové stroje. Sklízňovými stroji jsou obecně myšleny ty stroje, které pracují v zemědělství při sklizni biologického materiálu. Žací lišta primárně slouží ke sběru a shromažďování materiálu, který je dále zpracováván daným typem stroje. Jde například o travní sekačky, žací mačkače, žací řádkovače, řezačky a sklízecí mlátičky.

Z historického hlediska má název „žací lišta“ dva významy. Původně jim bylo označováno zařízení, sloužící pouze k sekání plodin (Obr. 1 a Obr. 2 č. 2). Pro toto ústrojí se také vžil název „kosa“, jenž je v této diplomové práci užíván z důvodu správného rozlišení pojmů. Pojmem „žací lišta“ je totiž označován přímo také celý vyměnitelný adaptér, viz. Obr. 1 a 2, obecně složen z kosy, přiháněče a průběžného šneku. Diplomová práce je zaměřena právě na tento typ vyměnitelného adaptéru, který se obvykle připojuje k šikmému dopravníku (Obr. 1 č. 4).

1.1 FUNKCE ŽACÍ LIŠTY

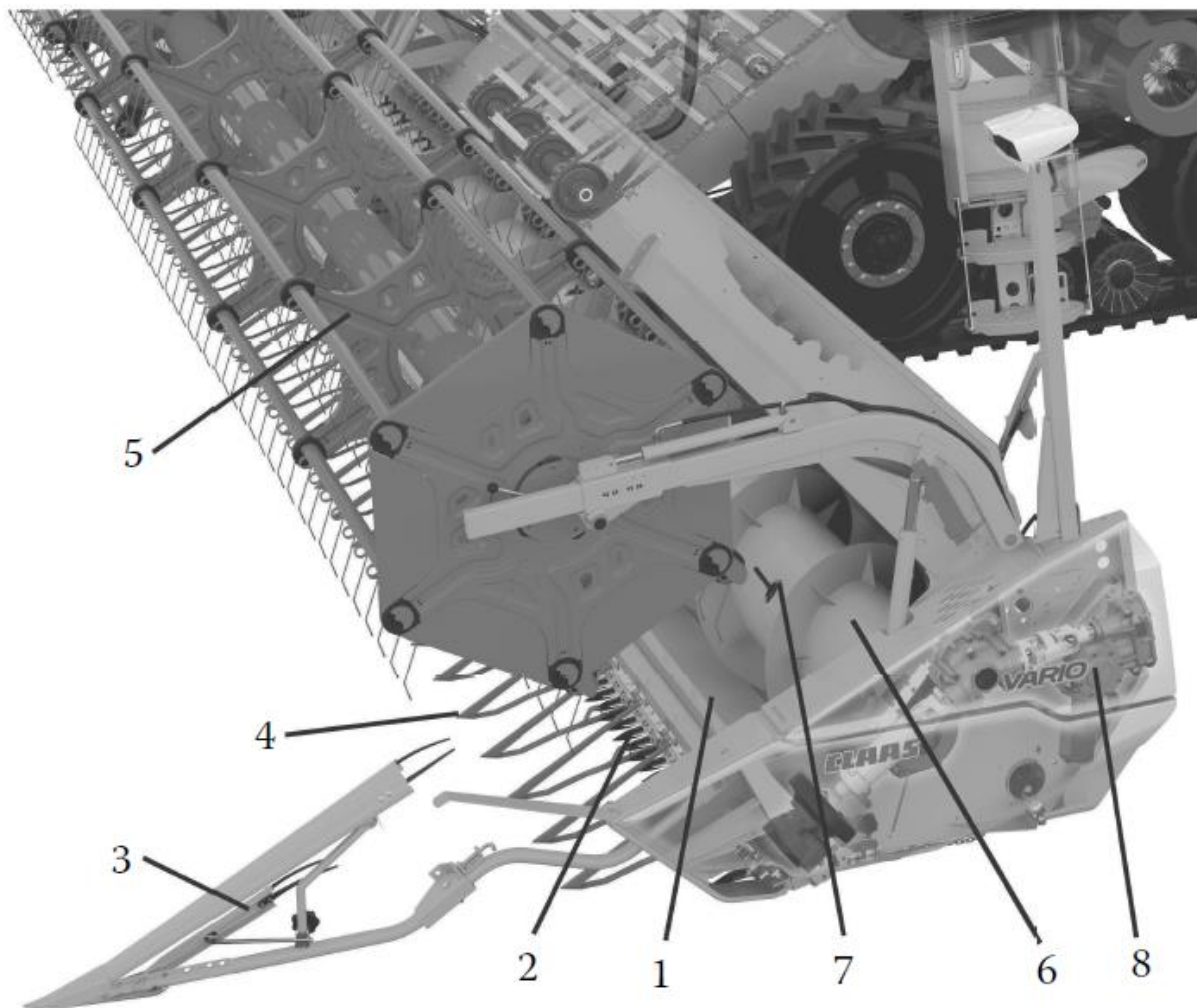
Jak bylo uvedeno výše, následující text bude zaměřen na obecný popis žacích listů, primárně určený pro použití na sklízecích mlátičkách.



Obr. 1 Schéma sklízecí mlátičky s tangenciálním uspořádáním [47]

Úkolem žací lišty a šikmého dopravníku je oddělení plodiny od její kořenové části, neboli zbytku rostliny, shromáždění doprostřed žací lišty a její dopravení k mláticímu ústrojí. Plodina je od zbytku kořenové části oddělena kosou (Obr. 1 a Obr. 2, č. 2) a přikloněna pomocí přiháněče (Obr. 1 č. 1 a Obr. 2 č. 5) na žací vál obsahující průběžný šnek (Obr. 1 č. 3 a Obr. 2 č. 6). Dno žacího válu je prostor mezi kosou a průběžným šnekem (Obr. 2 č. 1). Průběžný šnek má za úkol shromáždění posečené plodiny doprostřed žacího válu (žlabu šneku) a její dopravení do šikmého dopravníku (Obr. 1 č. 4). Pro tyto účely je průběžný šnek po stranách opatřen levou a pravou šroubovicí, které od každého kraje žací lišty zasahují až po začátek vysouvacích prstů (Obr. 2 č. 7). Ty se nachází hlavně uprostřed průběžného šneku, po celé šíři shodné s šířkou šikmého dopravníku, neboli šířkou celého mláticího systému. Vysouvací prsty mají za úkol vtahovat shromážděnou plodinu na začátek šikmého

dopravníku, kde je dále dopravním řetězem odebírána a dopravována vnitřní částí komory až k mláticímu bubnu. Taktéž se v malém počtu nachází po stranách v levé a pravé šroubovici, kde pomáhají vtahovat materiál do žlabu šneku. Součástí šikmé komory je i lapač kamenů (Obr. 1 č. 5), tvořený malým žlábkem před mláticím bubnem, do kterého se zachytávají veškeré předměty, které prošly šikmým dopravníkem a mohly by poškodit mláticí buben, popřípadě zbytek mláticího systému. Lapač kamenů je ze spodní části otevíratelný.



Obr. 2 Uspořádání žací lišty [29]

Žací lišty dnešních sklízecích mlátiček jsou v naprosté většině konstruovány pro kopírování povrchu pole. Toho je dosaženo kopírovacími plazy, které jsou přichyceny na vnější straně žacího válu. Tyto plazy jsou buď pevné, tudíž směřují žací lištu pouze po příčných překážkách, nebo jsou pohyblivé a doplněné elektromechanickými čidly, které, po napojení na elektromechanický hydraulický rozvaděč, dokážou kopírovat povrch pole jak v podélném, tak příčném směru. Pro tyto účely musí být vhodně konstruována přední část šikmého dopravníku, aby tzv. věnec, držící žací lištu, byl výkyvný. Někdy bývá součástí přední části šikmého dopravníku pomocný podávací buben, který je umístěn před dopravním řetězem a výrazně zlepšuje jeho plnění. Toto řešení se používá především u svahových sklízecích mlátiček, kde výkyv žací lišty v podélném směru je dosti značný. Na kosu lišty lze



montovat zvedače klasů (Obr. 2 č. 4), pokud je sečený porost značně polehlý. Rovněž boční dělič (Obr. 2. č. 3) je vyměnitelný.

1.2 KONSTRUKČNÍ ROZDĚLENÍ OBILNÍCH ŽACÍCH LIŠT

Obilní žací lišty, primárně určené pro sklízecí mlátičky, můžeme v zásadě rozdělit do 3 skupin dle způsobu dopravy materiálu. A to žací lišty:

- s průběžným šnekem,
- s pásovým dopravníkem,
- s průběžným šnekem a pásovým dopravníkem.

Dále je možné žací lišty dělit dle typu žacího válu (dna) na:

- pevné,
- s nastavitelnou délkou dna žacího válu (variabilní),
- flexibilní (pružné),

a také dle možností přepravy na žací lišty:

- přepravované na přívěsném podvozku,
- složitelné.

Obecně je používána v evropských podmínkách sklizně pevná žací lišta s průběžným šnekem, v posledních cca 15 letech často s nastavitelnou délkou dna žacího válu (variabilní). Žací lišty s pásovým dopravníkem jsou doménou zejména v oblastech, jako je Austrálie, Severní Amerika a Jižní Amerika, nebo Rusko. Žací lišta s průběžným šnekem a pásovým dopravníkem je nejrozšířenější hlavně v evropském zemědělství. Flexibilní, neboli žací lišta s pružným dnem, je speciální provedení klasické lišty s průběžným šnekem či lišty s pásovým dopravníkem, kde je dno žacího válu elastické. To dovoluje kopírovat povrch sklizeného pozemku mnohem přesněji, než dokáže pevné dno žacího válu. Tyto lišty se používají hlavně v těch zemědělských provozech, kde jsou pěstovány plodiny, rostoucí velmi nízko zemského povrchu. Například fazole či sójové boby.

Převážná většina používaných žacích lišt je přepravována na přívěsném podvozku, jenž je tažen sklízecí mlátičkou. U složitelných žacích lišt tato nutnost odpadá. Jsou navrženy, aby po skončení sklizně bylo možné upravit konstrukční šířku lišty na šířku, odpovídající konstrukční šířce sklízecí mlátičky. Lišta se nemusí odpojovat od šikmého dopravního sklízecí mlátičky a je možné ji přepřavit po veřejných komunikacích.

1.2.1 ŽACÍ LIŠTA S PRŮBĚŽNÝM ŠNEKEM

Je nejčastější provedení žací lišty pro sklízecí mlátičky. Taktéž se dají použít v kombinaci se samojízdnou sklízecí řezačkou pro sklizeň obilnin v tzv. voskové zralosti. Šířka konstrukčního záběru je zpravidla 3 až 12 m. Pohon lišty je, dnes výhradně, obstaráván pomocí kardanové hřídele, spojené s hlavní řemenicí šikmého dopravníku.



Obr. 3 Pevná žací lišta s průběžným šnekem [42]

Žací lišta s průběžným šnekem obsahuje následující části, číslováno dle Obr. 2:

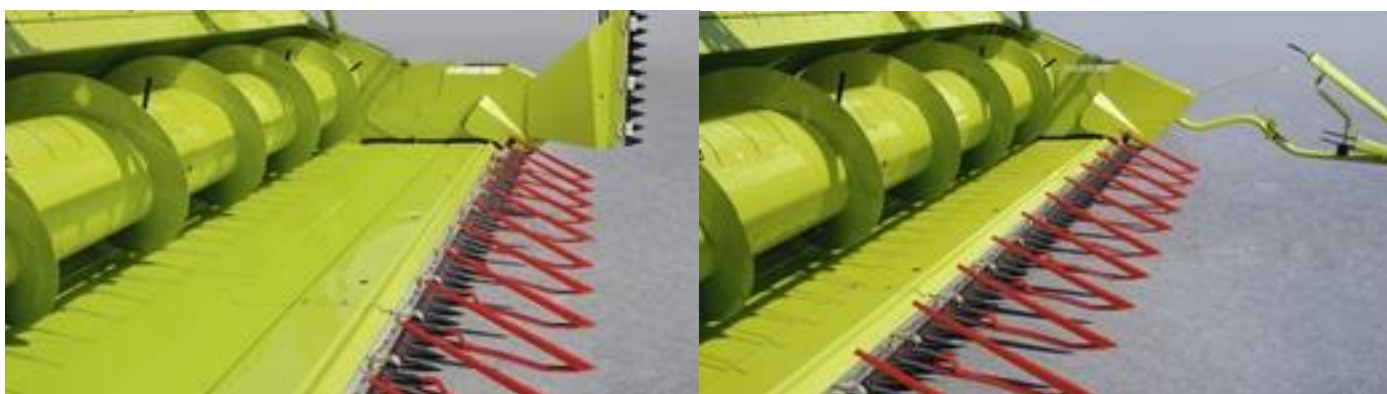
- přihránek (5),
- kosa (2),
- průběžný šnek s vysouvacími prsty (6),
- dno žacího válu (1),
- pohony – zpravidla soustředěny na levé straně lišty, s pohledu řidiče (8),
- boční děliče – umístěny po stranách lišty, na obou koncích kosa (3),
- boční kosa – speciální typ kosa, montované po stranách místo bočních děličů. Uspodňuje sečení vysoko stébelnatých porostů, například řepky. Dodatečné vybavení. (Obr. 4),
- stírací lišty průběžného šneku – umístěny na stěně za průběžným šnekem, zabraňují zpětnému namotávání dopravovaného materiálu na šnek (viz následující kapitola),
- speciální nástavec na prodloužení žacího válu – dodatečné vybavení. Slouží k prodloužení délky žacích lišt s pevným válem pro sklizeň vysoko stébelnatých porostů, například řepky (Obr. 4),
- senzory pro regulaci výšky strniště – nachází se na spodní straně žací lišty, která se dostává do styku s podložím (sečeným polem).



Obr. 4 Nástavec na prodloužení žacího válu s bočními kosami společnosti BISO [37]

Na Obr. 4 je znázorněn nástavec na prodloužení žacího válu, vybaven bočními kosami. Nástavec je určen pro pevné žací lišty. Značnou nevýhodou je pracná montáž nástavce.

Snahou eliminovat časy potřebné na přestavbu lišty pro vysoko stébelnaté rostliny vedla ke konstrukci žací lišty s nastavitelnou délkou dna žacího válu. Ten je posuvně uložen. Žací vál je ovládán pomocí přímočarého hydromotoru nebo elektrickým servomotorem, z kabiny sklízecí mlátičky. To umožňuje obsluze okamžitě reagovat na změny délky sklizeného porostu a tím docílit lepšího využití výkonu stroje. Hlavní výhodou je však značné zkrácení času, potřebného pro přestavbu lišty např. pro sklizeň řepky. Samotná přestavba již spočívá pouze v montáži boční kosy.



Obr. 5 Žací lišta VARIO společnosti Claas s nastavitelným dnem žacího válu [39]

Jak bylo výše řečeno, žací lišta s průběžným šnekem je nejčastějším provedením obilní žací lišty sklízecí mlátičky a v Evropě si mezi zemědělci drží dominantní postavení. Tento typ lišty nabízí všichni výrobci sklízecích mlátiček jak v Evropě, Severní a Jižní Americe, taky i Asii. Mezi nejvýznamnější světové producenty lze zmínit společnosti Claas, John Deere,

Massey Ferguson, New Holland nebo Rostselmash. Taktéž výrobci specializováni na příslušenství sklízecích mlátiček: Biso, Capello, Cressoni.

1.2.2 ŽACÍ LIŠTA S PÁSOVÝM DOPRAVNÍKEM

U tohoto typu žací lišty byl průběžný šnek nahrazen soustavou dvou perforovaných pryžových pásů, umístěných po stranách lišty. Posečená hmota je pokládána na žací vál, který je celý pokryt těmito rozměrnými pryžovým pásy, dopravující hmotu od krajů lišty směrem ke středu. Tam se nachází další pásový dopravník, vykonávající pohyb kolmý k oběma předešlým, ve směru pohybu stroje. Slouží ke vtahování materiálu do ústí šikmého dopravníku a jeho konec je vybaven bubnem s výsuvnými palci. Ten bývá zpravidla stejné konstrukce jako střední část průběžného šneku.



Obr. 6 Žací lišta s pásovým dopravníkem John Deere 635D [41]

Žací lišta s pásovým dopravníkem byla historicky prvním provedením lišty pro samohybnou sklízecí mlátičku tzv. podélně přímotokého typu T a to od roku 1938, kdy byla na trh uvedena koncepčně zcela nová samohýbná sklízecí mlátička Massey Harris No. 20. Přibližně od roku 1948 se začala v konstrukci sklízecích mlátiček prosazovat výše popsaná konstrukce s průběžným šnekem, typy Massey Harris No. 21A nebo Massey Harris 222. Nicméně od 70. let 20. století došlo ke znovuzrození této konstrukce, která se prosadila hlavně na americkém kontinentě. Obecně v místech s nižšími hektarovými výnosy. Například na australském a kanadském trhu má žací lišta s pásovým dopravníkem výhradní zastoupení. Značné jsou i konstrukční záběry, které se v dnešní době pohybují mezi 7 až 18 m. Dokonce existuje i prototyp lišty John Deere o záběru 20 m, která se používá na aktuálně vyvíjeném prototypu axiální sklízecí mlátičky John Deere. Posledních cca 16 let pronikají žací lišty s pásovým dopravníkem i na evropský trh. Zvláště významně se zde prosadila kanadská společnost



McDon. Další výrobci např. Midwest nebo HoneyBee jsou doménou především regionálního kanadského a australského trhu. Nicméně zájem evropských farmářů způsobil vznik produkce těchto lišt i na evropském kontinentě, např. Rostselmash (Rusko), Claas (Německo) nebo Geringhoff (Německo).

Tato lišta se také vyznačuje velkou výhodou ve snadnosti přestavby na sklizeň vysoko stébelnatých rostlin. Spočívá pouze v montáži boční kosa a přídatného šneku nad dopravní pás. Další funkční uzly jakožto kosa a přiháněč, jsou totožné s výše popsaným provedením žacích lišt s průběžným šnekem.

1.2.3 ŽACÍ LIŠTA S PRŮBĚŽNÝM ŠNEKEM A PÁSOVÝM DOPRAVNÍKEM

Vyvinuta americkou společností Massey Ferguson v roce 1977. Původně byla určena pro sklizeň rýže. Od začátku 80. let byla však standardně nabízena pro veškeré sklízecí mlátičky Massey Ferguson jak francouzské tak kanadské produkce, pod názvem Power Flow. Vývoj a výrobu následně převzala dánská společnost Dronningborg díky tomu, že byla na začátku 90. let pohlcena právě společností Massey Ferguson. Tento typ žací lišty je dnes vyráběn a dále vyvíjen v italském výrobním závodě Laverda pro sklízecí mlátičky značek Fendt, Laverda a Massey Ferguson, jelikož všechny tyto značky spadají pod společný koncern Agco.



Obr. 7 Žací lišta s průběžným šnekem a pásovým dopravníkem Power Flow, původně vyvinuta společností Massey Ferguson – fotoarchív Laverda



Žací lišta Power Flow se vyznačuje kombinací pryžového pásového dopravníku s plastovými příčkami, dopravující materiál k průběžnému šneku, ve směru jízdy stroje. Kosa a přiháněč jsou totožné konstrukce, jako u žacích lišt s průběžným šnekem. Pás je umístěn po celé šířce dna žacího válu, jak je patrné z Obr. 7. Uvnitř pásu jsou dva podporové válečky, umístěné v krajních konzolách. Váleček blíže průběžného šneku je hnací. Pohon je vyveden z levé části lišty (ve směru pohledu z kabiny stroje).

Lišta typu Power Flow je zvláštní případ klasické žací lišty s průběžným šnekem, jelikož posečený materiál je přiváděn do žlabu průběžného šneku konstantní rychlostí. Jak bude dále ukázáno, změnou pojezdové rychlosti stroje se mění výška a koncentrace sečeného materiálu na pásu. Výpočet výšky a koncentrace (objemové hmotnosti) je jeden z hlavních cílů této diplomové práce, kde výsledkem je návrh optimálního rozsahu otáček jak pásového dopravníku, tak i průběžného šneku, v závislosti na typu sečené plodiny.

Dlouhou dobu byla společnost Massey Ferguson, dnes koncern Agco, jediným výrobcem žací lišty s průběžným šnekem a pásovým dopravníkem. Nicméně před více jak 10 lety německá společnost Zurn v malých sériích zavedla do výroby žací lištu totožné koncepce. Zurn je společnost vyrábějící žací lišty pro sklízecí mlátičky, příslušenství pro ně, lišty pro samojízdné sklízecí řezačky a také speciální parcelní sklízecí mlátičky. I když společnost nabízí příslušenství i pro jiné výrobce sklízecích mlátiček, hlavní produkce žacích lišt je určena pouze pro stroje společnosti John Deere. Takto přišly v minulých letech na trh typy žacích lišt 618PF-635PF a nejnověji 640PF, určené sklízecím mlátičkám John Deere řad W, T a S. I když je koncepce naprosto totožná, došlo zde k několika významným inovacím:

- možnost regulace otáček pásu – u typů 618PF-635PF variátorem na dvě různé obvodové rychlosti. U typu 640PF plynule,
- jednotlivé segmenty pásů jsou výklopné. To zajišťuje dobrou přístupnost k čištění žacího válu.

Lišty PowerFlow toto neumožňují.

1.2.4 MOŽNOSTI PŘEPRAVY ŽACÍCH LIŠT

Žací lišta je obecně přepravována na speciálním vozíku, taženého sklízecí mlátičkou. Vozík je opatřen výstražným osvětlením, dle pravidel pro provoz po silničních komunikacích.

TYPY VOZÍKŮ

Pro silniční přepravu žacích lišt se používají 4 typy tažených vozíků, které se od sebe liší počtem náprav. Požadavky na provedení vozíku jsou dány velikostí konstrukčního záběru žací lišty a její vahou. U žacích lišt s konstrukčním záběrem až 12 m dosahuje hmotnost celé lišty i více jak 5000 kg. Důležité je provedení úchytných bodů pro zajištění žací lišty. U výrobců, kteří produkují příslušenství pro více výrobců sklízecích mlátiček (např. Biso), převládá posuvné uchycení kotevních úchytných žací lišty. Zvyšuje se tím možnost využití vozíku pro žací lišty více výrobců.

Obecně lze vozíky pro přepravu žacích lišt dělit do dvou skupin:

- jednonápravové,
- dvounápravové.



Jednonápravové vozíky jsou určeny pro žací lišty konstrukčního záběru často do 7,3 m a maximální hmotnosti 3100kg. To odpovídá sklízecím mlátičkám středních výkonností.



Obr. 8 Jednonápravový vozík BISO [37]

Na Obr. 8 je vidět jednonápravový vozík s podpěrným kolečkem. Nápravy i podpěry jsou volně přemístitelné dle rozměrů přepravované žací lišty. Rozměry žacích lišt si často vyžadají umístění nápravy přímo doprostřed mezi oba podpěrné body žací lišty. Kolo na straně umístění lišty často tvoří určitou překážku při pokládání lišty na vozík. To vyžaduje zručné ovládání ze strany obsluhy stroje, jelikož se šikmý dopravník může lehce dostat do kontaktu s pneumatikou a dojde k jejímu poškození.



Obr. 9 Dvounápravový vozík BISO [37]

Dvounápravové vozíky jsou určeny pro žací lišty až do šířky konstrukčního záběru 16 m a maximální hmotnosti 6000 kg. To odpovídá nejvyšším výkonnostem sklízecích mlátiček na trhu. Např. John Deere S, Claas Lexion 780 nebo New Holland CR 10.90.



Přední náprava je zpravidla řiditelná. Rozchod kol přední nápravy může být užší než rozchod zadní nápravy anebo totožný. Vozíky pro žací lišty záběrů až 16 m jsou mnohdy vybaveny i zadní řiditelnou nápravou zlepšující manévrovatelnost v úzkých uličkách a na kruhových objezdech.

Všechny vozíky jsou běžně vybaveny osvětlením pro provoz na veřejných komunikacích a ruční brzdou, ovládající lanky bubnové brzdy v kolech. Dvounápravové vozíky jsou zpravidla vybaveny též nájezdovou brzdou, která pomáhá brzdit vozík během zpomalení. Jako dodatečné vybavení se na vozíky umísťují plechové skříně pro nářadí. Maximální povolená rychlost činí 25 km/h.

SKLÁDACÍ ŽACÍ LIŠTA

Je speciální provedení žacích lišt s průběžným šnekem, u kterého je možné změnit požadovanou šířku celého žacího ústrojí tak, aby lištu bylo možné převážet po veřejných komunikacích bez nutnosti odpojení od šikmého dopravníku. Zpravidla se jedná o žací lišty s konstrukčním záběrem do 4,5 m nebo i 6 m. Základní provedení žacího válu je dvojdielné. Takto je řešen i průběžný šnek, přiháněč a kosa. Z tohoto důvodu jsou pohony pro všechny důležité uzly vyvedeny na obou stranách žací lišty.



Obr. 10 Skládací žací lišta společnosti Claas [39]

Provedení skládacích žacích lišt lze nalézt u sklízecích mlátiček malé a střední výkonnosti. Je to dáno maximálním konstrukčním záběrem, který, v závislosti na provedení skládacího mechanismu, nelze uspokojivě zvyšovat nad 6 m bez zvýšení přepravní šířky složené soupravy.

FLEXIBILNÍ ŽACÍ LIŠTA S PÁSOVÝM DOPRAVNÍKEM

Je nejmodernější řešení žací lišty s pásovým dopravníkem. Používá se k účelu, jaký byl popsán výše, tedy ke sklizni porostu nízko u země. Tento typ žacích lišt také bývá často v provedení konstrukčního záběru až 12 m a nachází své uplatnění při sklizni v evropských podmínkách. Důvodem je její konstrukce, dovolující kopírování reliéfu půdního profilu mnohem lépe, než některé jiné konvenční žací lišty, např. s průběžným šnekem.



Obr. 11 Flexibilní žací lišta s pásovým dopravníkem Geringhoff Truflex Razor [32]

Na Obr.11 je znázorněna flexibilní žací lišta s pásovým dopravníkem německého výrobce Geringhoff. Je složena ze třech celků, které dovolují naklonění vůči sobě. To dovoluje velice přesné kopírování půdního profilu, což zajišťuje nízké ztráty zrna výdolem.

1.3 NÁSLEDUJÍCÍ VÝVOJ ŽACÍCH LIŠT

Principy jednotlivých uzlů obilních žacích lišt jsou po desetiletí stále stejné. Avšak aktuální světový vývoj se ubírá směrem ke snižování hmotnosti a zlepšení regulace jednotlivých uzlů lišty.

1.3.1 SNIŽOVÁNÍ HMOTNOSTI

Veškeré snahy o snížení hmotnosti vyvstaly z potřeby a poptávky po žacích lištách s konstrukčním záběrem větším jak 9 m. Na evropském trhu jsou dnes běžně dostupné žací lišty šířky až 12,2m. To sebou nese zvýšení hmotnosti, přesahující 5000 kg. Není to jen problém pro hydraulický závěs šikmého dopravníku, ale také pro nadměrné utužení půdy. Výrobci na to všeobecně reagovaly zaváděním pásových podvozků na přední hnané nápravy sklízecích mlátiček, mimo jiné vedle zhoršujících se podmínek sklizně. Nicméně nadměrné utužení půdy je v dnešním zemědělství významný problém. Výsledkem těchto snah bylo použití kompozitních materiálů nebo slitin hliníku. Například výše popsaná žací lišta PF 640, primárně určena pro stroje značky John Deere S, má použity kompozitní prvky v konstrukci rámu. Ještě dále je konstrukce žací lišty Biso Ultralight 800, jenž může dosahovat až 16 m konstrukčního záběru. Základem této lišty je rám, tvořen z hliníku, vysoko pevnostní a nerezové oceli.

1.3.2 POHONY A REGULACE

Pohony jednotlivých uzlů klasických žacích lišt byly, a mnohdy ještě jsou, pomocí řetězových a řemenových převodů. To se začalo pomalu měnit náhradou řemenových či řetězových spojů hydromotory. Prvně tak byl nahrazován řemenový či řetězový náhon s variátorem ovládající přiřáněč. Výsledkem byla přesnější a pohodlnější regulace otáček přiřáněče. Pohony žacích lišt jsou obvykle umístěny po levé straně lišty, z pohledu řidiče. Jak bylo výše uvedeno, jedná se o spoje řemenových či řetězových kol. V poslední době se však uplatňuje nový druh mechanického spojení a to pomocí kardanové hřídele a převodovek. Toto řešení je již aplikováno na žacích lištách Vario společnosti Claas a na lištách 640PF a 640X společnosti John Deere (dodavatel Zurn).



Obr. 12 Hnací ústrojí žací lišty Claas Vario. Klasické řetězové či řemenové soukolí je zde nahrazeno kardanovými hřídeli s využitím úhlových převodovek – fotoarchív autor

Ve výzkumné fázi jsou nyní žací lišty hnané kombinací elektromotoru, hydrostatického pohonu a mechanického spoje (kardanovým hřídelem od šikmého dopravníku).



2 NĚKTERÉ VÝZNAMNÉ KONSTRUKČNÍ PRVKY ŽACÍCH LIŠŤ

V podkapitole 1.1 byl uveden obecný popis práce žací lišty. K úplnému popisu je však nutné také uvést funkci stíracích lišt žlabu průběžného šneku a vlivy toku hmoty, mezi žací lištou a mláticím mechanismem. Tyto vlivy můžou za určitých podmínek významně ovlivnit kvalitu výmlatu a čištění u tangenciálních sklízecích mlátiček a tím i celou průchodnost sklízecí mlátičky. V závěru této kapitoly je uvedena rešerše, provedena autorem diplomové práce na 6 žacích lištách, k získání přehledu o jednotlivých konstrukčních rysech dnešních žacích lišt.

2.1 ŽLAB PRŮBĚŽNÉHO ŠNEKU

Je prostor, nacházející se pod a za průběžným šnekem. Uzpůsoben k tomu, aby zde byl dopravován sklizený materiál. K usměrnění a zamezení namotávání slamnatého materiálu na šnek je žlab opatřen stíracími lištami jak je patrné z Obr. 13.



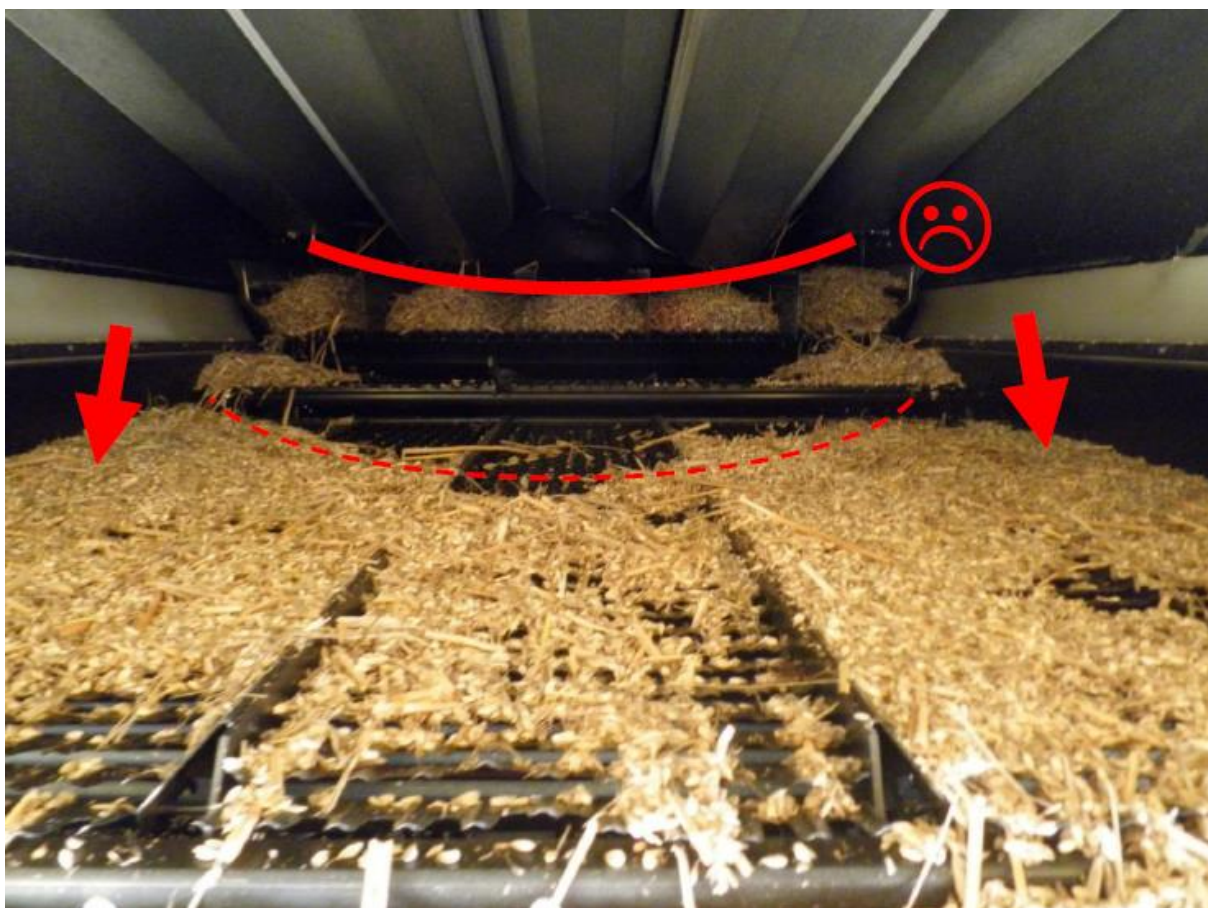
Obr. 13 Žlab šneku žací lišty BISO VX 750. Stírací lišty černé barvy jsou zde až za průběžným šnekem - fotoarchiv autor

Žlab žacích lišt obsahuje průměrně 2 až 3 stírací lišty. Zpravidla bývá první stírací lišta umístěna přímo na dně žlabu a další dvě až za šnekem. Obecně je to tyč obdélníkového průřezu, skládající se ze dvou částí. Obě části jsou odnímatelné, uchycené šrouby. První část je přichycena přímo na těle žlabu, viz Obr. 13. Jak v první, tak i druhé části jsou vyvrtány otvory pro šroub kolmo ke stěně lišty. Tam je přichycena druhá část, lišta totožného obdélníkového průřezu. Druhá (vrchní) část lze, po uvolnění příslušných šroubů, posouvat a tím lze vymezovat vůli mezi šnekovicí a stírací lištou. Každá žací lišta má možnost posouvat osu průběžného šneku ve vertikálním směru v rozsahu cca. 10 mm. Např. pro řepku se šnek posouvá vertikálně vzhůru, naopak pro ječmen se posouvá co nejblíže ke dnu žlabu. Z tohoto důvodu je nutnost přenastavit i mezeru mezi šnekovicí a stírací lištou. Optimální mezera je

cca 2 mm, liší se dle výrobce. Chybné seřízení mezery má za následek namotávání materiálu na šnek a hrozí i jeho ucpání až zastavení, což je možné díky zátěžové spojce na hřídeli šneku.

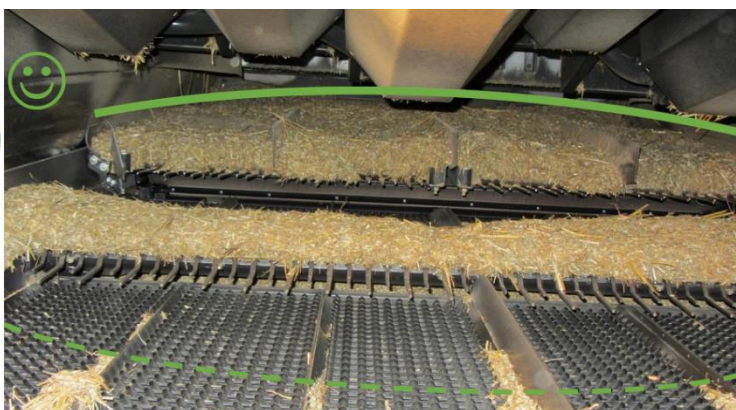
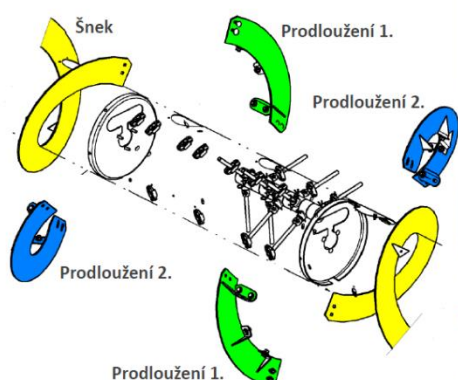
2.2 VLIV TOKU SKLÍZENÉHO MATERIÁLU NA ČINNOST MLÁCENÍ A ČISTĚNÍ

Tangenciální mláticí ústrojí, vyobrazené na Obr. 1, je do jisté míry citlivé na správném plnění žací lištou neboli šikmým dopravníkem. To je dáno tím, jak stoupá hmotnostní průtok ve žlabu šneku symetricky z obou stran. Následkem je, že materiál vstupující do šikmého dopravníku prostředkem průběžného šneku, tzn. válcovou částí bez šnekovice vybavenou velkým počtem vysouvacích prstů, nemá všude stejné rozložení hmotnostního průtoku (koncentrace). Ve skutečnosti hmotnostní průtok materiálu stoupá symetricky od středu šikmého dopravníku (středové části průběžného šneku) až po jeho okraje. To je dáno tím, že materiál vstupující po krajích šikmého dopravníku obsahuje naakumulovaný materiál ze žlabu šneku téměř celé jedné poloviny žací lišty. Výsledkem je nerovnoměrná distribuce sklizeného materiálu mezi mláticím bubnem a košem a také na sítích sklízecí mlátičky, jak je ukázáno na Obr. 14.



Obr. 14 Nevýhovující distribuce mláceného materiálu na vynášecí desce a sítích sklízecí mlátičky New Holland CX 5080. Obrázek, včetně značení převzat z [22]

Řešením je prodloužení šnekovice blíže ke středu šikmého dopravníku. Tato jednoduchá úprava způsobí změnu plnění a materiál dosahuje největší koncentrace od středu šikmého dopravníku, tak jak je požadováno. Prodloužení se dosáhne vyměnitelnými segmenty šnekovice, které se připevní na střed průběžného šneku, tak jak je na Obr. 15.



Obr. 15 Vlevo - vyměnitelné segmenty prodloužení šnekovice, vpravo - správná distribuce materiálu na vynášecí desce, na obrázku sklízecí mlátička New Holland CX 8.85. Převzato z [22]

Provedení vyměnitelných segmentů se liší podle výrobce. Vedle usměrnění toku se tím řeší také unifikace rozměrů tzv. věnce, držící žací lištu na šikmém dopravníku. To dovoluje vyrábět celkovou šířku věnce a šikmého dopravníku stejných rozměrů pro různé šířky mláticího systému.

2.3 SROVNÁVACÍ REŠERŠE

Primární zaměření této diplomové práce je žací lišta Power Flow. Pro tu byla provedena srovnávací rešerše, obsahující 5 vybraných žacích lišt, aktuálně dostupných na trhu. Celkem bylo zkoumáno 14 parametrů, týkající se přiháněče, kosy a průběžného šneku. V případě lišty PF 635 zahrnuty i parametry pásových dopravníků (celkem 18 parametrů), jelikož je konstrukčně shodná s koncepcí lišty Power Flow. Snahou bylo provést rešerši na lištách nových, nebo málo opotřebovaných. Součástí rešerše je i rozsáhlá fotodokumentace. Kompletní soupis hodnot je v tabulkách P1 – P3 v příloze A.

Posuzovány byly žací lišty těchto výrobců:

- VARIFEED 760CG – New Holland,
- VARIO 770 – Claas,
- PF 635 – Zurn (John Deere),
- VX 750 – Biso,
- X 640 – John Deere a
- lišta Power Flow PF30/35 – Agco, na kterou je zaměřena tato diplomová práce.

2.3.1 PŘIHÁNĚČ A KOSA

Z Tab. P1 plyne, že počet ramen přiháněče a počet drátů ramene (vztaženo na 1 m délky) je totožný pro všechny uvedené typy. V případě celkového průměru přiháněče má lišta Power Flow (PF 30/35) však o 13 % menší průměr, než je obvyklé. Maximální rychlost otáčení je buď 60 min^{-1} nebo cca $42 - 44 \text{ min}^{-1}$. Minimální otáčky jsou dány možnostmi nastavení hydrostatického pohonu. Nastavení přiháněče na maximální provozní otáčky se obvykle při sklizni obilovin nepoužívá, jelikož napomáhá výdrolu zrna. Značně závisí na podmínkách sklizené plodiny.



Počet zdvihů kosy (rychlost kosy) se liší v rámci 20 % a do určité míry určuje maximální možnou pracovní rychlost. Ta se však může značně lišit v závislosti na hustotě porostu a odolnosti stébla dané plodiny.

2.3.2 ŠNEK

Z hlediska toku hmoty sklizené plodiny žací lištou patří technické parametry průběžného šneku mezi nejdůležitější. U všech žacích lišt je používán tzv. obvodový šnek, kde se rozlišuje malý a velký průměr šneku, jehož rozdíl udává samotnou výšku šnekovice. Ta je velice důležitá pro příčnou dopravu hmoty žlabem šneku a, včetně jeho otáček a stoupání, nám udává teoretickou průchodnost (hmotnostní výkonnost) šneku. Dle Tab. P2 je patrné, že rozdíl ve výšce šnekovice je průměrně 21,3 %, bez započítání lišty Power Flow. Ta nicméně vyniká nárůstem výšky šnekovice téměř o 36,6 %, ve srovnání s žací lištou VARIFEED 760CG společnosti New Holland. Rovněž stoupání šnekovice u lišty Power Flow dosahuje výrazně vyšší hodnoty a to o 25,2 % více, než šnek žací lišty VARIO 770 společnosti Claas.

I když to v Tab. P2 není uvedeno, do přehledu charakteristik průběžných šneků (koeficient plnění) bylo zahrnuto nové provedení šneku lišty PF640, společnosti John Deere, pro rok 2017. U té došlo k nárůstu velkého průměru na 760 mm. Při zachování malého průměru stoupla výška šnekovice na 175 mm, téměř shodné s lištou Power Flow. Stoupání zůstalo zachováno.

Nejvyšších pracovních otáček dosahuje šnek lišty VARIO 770 a jak je z tabulky patrné, lze nastavit 2 pomalejší pracovní rychlosti, dle výrobce, pro speciální plodiny. Nicméně změnou ozubeného kola hnacího ústrojí (Obr. 12), jelikož neobsahuje variátor nebo jiný regulační prvek.

Průměr vysouvacích prstů je totožný pro šneky všech lišt. Jejich vzdálenost od dna žlabu však závisí na konkrétní geometrii žlabu a liší se podle výrobce. Uspořádání prstů na středové části se liší také dle výrobce, nicméně nelze jednoznačně říct, které rozmístění prstů je nejlepší. V době psaní této diplomové práce nebyl autorovi znám žádný druh výzkumu, ukazující, které pořadí rozmístění (vzor) vysouvacích prstů na středové části průběžného šneku nejpříznivěji ovlivňuje přesun hmoty do šikmého dopravníku.

Vzdálenost mezi kosou a malým průměrem šneku je závislá na tom, zda je žací lišta vybavena dnem s nastavitelnou délkou tzv. variabilním žacím válem, viz podkapitola 1.2. Snahou výrobců je navrhovat žací lištu pro široké spektrum plodin. Lépe řečeno pro široký rozsah délek stébel protože pro sklízecí mlátičku je, z hlediska plnění mláticího mechanismu, nejlepší, pokud stéblo tzv. „lehne“ na žací vál a je dopraveno do průběžného šneku klasem napřed.



2.3.3 PÁSOVÝ DOPRAVNÍK

Do přehledu v Tab. P3 zahrnut u žací lišty PF 635, společnosti John Deere, jelikož jde o kopii lišty Power Flow. Šířka pásu je dána podle celkového počtu pásových jednotek umístěných na dně žací lišty. Výška pásu se liší minimálně, nebo je totožná. Zatím co k určení výšky pásu lišty PF 30/35 bylo použito odměření v 3D modelu, výšku pásu PF 635 autor měřil svinovacím metrem. Tudíž se mohl dopustit jisté nepřesnosti v měření. To samé platí i pro vzdálenosti mezi šnekem a pásem a mezi kosou a pásem. Rozsahy pracovních rychlostí pásového dopravníku se pro lištu PF 635 nepodařilo dohledat.



3 DOPRAVOVANÝ MATERIÁL

Jak je uvedeno na začátku 1. kapitoly, materiál, zpracováváný žacími lištami, je biologické povahy. V naprosté většině případů se jedná o plodiny, pro potravinářské nebo průmyslové zpracování, sklizené z pole tzv. přímou sklizní. Mezi tyto plodiny lze řadit např. obiloviny, luskoviny nebo traviny. Následující text bude věnován obecnému popisu pouze obilovin a detailnímu popisu pšenice. Obiloviny byly zvoleny proto, jelikož tvoří majoritní zastoupení ve sklizni sklízecími mlátičkami. Ze stejného důvodu byla zvolena pšenice, protože taktéž tvoří majoritní podíl ve sklizni obilovin ve světě.

3.1 OBILOVINY

Obiloviny jsou rostliny dle [44] z čeledi lipnicovité, využívané, šlechtěné a pěstované především pro svá semena (zrna či obilky). Obilí, obiloviny, neboli cereálie slouží především k lidské výživě. Zrna se užívají buďto celá (rýže, žito, ječmen, oves), broušená, tj. částečně nebo úplně zbavená obalu zrna (kroupy, bílá rýže), anebo rozemletá (celozrnná mouka – rozemleté celé zrno, vločky (nejen ovesné), krupky, bílá mouka nebo krupice). Zrno obsahuje zejména škrob, minerály, vitamíny, oleje a vlákniny. Zrna se také zkrmují přímo, např. hospodářským zvířectvem.

Celé rostliny se využívají jako zelená píce. Nadzemní část se silážuje (kukuřice setá), zpracovává jako sláma (pšenice, ječmen, žito, oves) nebo se z ní vyrábějí rohože, košíky a kartáče (čirok). Celosvětový podíl obilovin na lidské výživě je odhadován na 60 – 70 %. Světová produkce obilnin (bez rýže) v sezóně 2009/2010 byla dle [44] téměř 1800 milionů tun, z toho bylo 34 % použito na výrobu jídla, 42 % na výrobu krmiva, 16 % na průmyslové využití (např. výroba biopaliv) a zbytek uskladněn.

Obiloviny se dle morfologických (dle vnější stavby organismu) a fyziologických (dle vnitřní stavby organismu) vlastností rozdělují do dvou skupin:

1. skupina - pšenice, žito, ječmen, oves a kříženci (tritikále – žitovec)
2. skupina – kukuřice, proso, čirok, rýže, bér.

Až na kukuřici, lze ostatní obiloviny sklízet všemi výše uvedenými typy žacích lišt. Kukuřice se sklízí žací lištou odlišné konstrukce, která má za úkol nejen oddělit rostlinu od její kořenové části, ale také oddělit kukuřičný klas od zbytku rostliny. Do sklízecí mlátičky tedy vstupují jen kukuřičné klasy. Konstrukce kukuřičného typu žacího adaptéru je tedy značně odlišná, jelikož obsahuje jednotku na odlamování kukuřičných palic a není předmětem této diplomové práce. Proto byl její detailní popis z pochopitelných důvodů vynechán.



3.2 CHARAKTERISTIKY OBILOVIN

V porostu každé obiloviny lze rozlišovat určité znaky, kterými se od sebe liší jak jednotlivé druhy obilovin, tak i jejich odrůdy. Tyto znaky více či méně ovlivňují tok hmoty sklizeného porostu žací lištou a taktéž mají významný vliv na průchodnost sklízecí mlátičky. Ta je obecně definována jako podíl určité hmotnosti plodiny, kterou je daná sklízecí mlátička schopna sklídit za určitý čas, při dodržení přípustných ztrát zrna. Dle [34] bylo při tzv. polně-laboratorních testech sklízecích mlátiček bráno 1,5 % jako limitní hodnota, zahrnující v sobě plošné ztráty zrn jak žací lišty, tak hlavně mlátícího, separačního a čistícího mechanismu sklízecí mlátičky. A právě charakteristika sklizené plodiny, její konkrétní znaky, významně ovlivňují plošné ztráty, které za sebou daná sklízecí mlátička zanechává. V praxi na to obsluha sklízecí mlátičky reaguje změnou (snížením) pojezdové rychlosti stroje nebo změnou nastavení mlátících, separačních a čistících mechanismů.

Tyto charakteristiky lze rozdělit na tzv.:

- Obecné - výnos, podíl zrna ke slámě, počet produktivních klasů na m^2
- Rozměrové - délka, šířka a tloušťka zrna, průměr a délka stébla, objemová hmotnost

3.2.1 OBECNÉ CHARAKTERISTIKY OBILOVIN

Udávají základní charakteristiky porostu jako celku, který se nachází na poli. Jsou obecně závislé na odrůdě a povětrnostních podmínkách, ve kterých daná plodina vyrůstala. Do těchto podmínek je nutné zahrnout taktéž péči o porost ve formě různých druhů hnojení, zavlažování nebo typ půdy, ve které plodina roste.

VÝNOS

Výnos, někdy značeno jako úrodnost nebo plošná hmotnost, udává hmotnostní výtěžek plodiny vzhledem k ploše, kde byla plodina sklizena. Jak bylo výše popsáno, každá plodina se skládá zpravidla ze zrna, které je cílem sklizně, a slamnaté části, za kterou lze považovat vše, co zrnem není. Výnos se běžně udává v $t \cdot ha^{-1}$ zrna (někdy též v $kg \cdot ha^{-1}$), v zemědělské praxi často užívaná hodnota. Pro potřeby výpočtů, uvedených níže, je však nutné zahrnout i výnos slamnatých částí rostliny, jelikož žací lišta pracuje se sklizeným porostem jako celkem. Kvůli dodržení návaznosti jednotek soustavy SI, jsou veškerá vstupní data převáděna na $kg \cdot m^{-2}$. Jestliže označíme celkový výnos U_T , platí:

$$U_T = m_g + m_s \quad [kg \cdot m^{-2}] \quad (3.1)$$

kde: m_g je výnos zrna ($kg \cdot m^{-2}$);
 m_s je výnos slámy ($kg \cdot m^{-2}$).



PRŮCHODNOST

Průchodnost, taktéž hmotnostní průtok, vyjadřuje v podstatě výkonnostní limit určité sklízecí mlátičky, který je posuzován vzhledem k celkovým ztrátám zrna. I když není průchodnost vyloženě charakteristika určitého porostu, je na ní ve velké míře závislá. Lze definovat následovně:

$$q_T = q_g + q_s \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (3.2)$$

kde: q_g je průchodnost, neboli hmotnostní průtok zrna sklízecí mlátičkou (kg.s^{-1});
 q_s je průchodnost, neboli hmotnostní průtok slámy sklízecí mlátičkou (kg.s^{-1}).

Průchodnost lze také zapsat dle [30], [6] a [34]:

$$q_T = k_z * a_h * v_c * U_T \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (3.3)$$

kde: k_z je součinitel využití záběru žací lištou (-), $k_z = 0,95 - 1$;
 a_h je konstrukční záběr žací lišty (m);
 v_c je pracovní rychlost sklízecí mlátičky (m.s^{-1});
 U_T je celkový výnos (kg.m^{-2}), viz rovnice (2.1).

Ve všech následující výpočtech je součinitel $k_z = 1$, tedy pro maximální záběr. Vzorec (3.3) přechází na tvar:

$$q_T = a_h * v_c * U_T \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (3.4)$$

který se taktéž shoduje se vzorcem (4.81) v [29], akorát s jiným značením proměnných.

POMĚR ZRNA KE SLÁMĚ

Je bezrozměrný koeficient charakterizující sklizený porost. Má výrazný vliv na kvalitu výmlatu. Dle [30], [6] a [34] platí:

$$k_{GS} = \frac{m_g}{m_s} = \frac{q_g}{q_s} \quad [-] \quad (3.5).$$

Ve státech Západní Evropy a USA je naopak běžné používat tzv. MOG-grain poměr [34]. Zkratka MOG vychází z anglického Material Other than Grain – materiál jiný než zrna. V podstatě je to převrácená hodnota k_{GS} a lze tedy psát:

$$k_{MG} = \frac{m_s}{m_g} = \frac{1}{k_{GS}} \quad [-] \quad (3.6)$$



POČET PRODUKTIVNÍCH KLASŮ

Pro účely diplomové práce přiřazena proměnná P_{LP} . Udává počet klasů nesoucích zrno na vymezené ploše - $[ks.m^{-2}] = [m^{-2}]$.

Počet klasů nezávisí na počtu vysetých zrn, ani na počtu vzejitých rostlin. Z jednoho zrna může vzejít i více rostlin, na kterých pak vzniknou klasy, nesoucí zrno. Naopak některá zrna nemusí vzejít vůbec. U dlouho stébelnatých odrůd se ani nerovná počet rostlin a klasů. Počty produktivních klasů ovlivňují výnos. Závislost však není přímo úměrná. Je běžné mít při menším počtu produktivních klasů výnos vyšší a naopak, protože do vzájemné závislosti vstupují i parametry samotného klasu – počet zrn v klasu, který může být rozdílný. Z těchto důvodů jsou v následujících výpočtech parametry počtu produktivních klasů a výnosu brány jako nezávislé proměnné. Jak bude dále uvedeno, jeden z navrhovaných výpočtů této diplomové práce umožňuje nalezení vzájemné závislosti mezi těmito dvěma charakteristikami ve formě objemové hmotnosti.

Tab. 1 Obecná charakteristika 4 hlavních obilovin, převzato z [29], přeloženo

Typ plodiny	Pšenice	Ječmen	Žito	Oves
Výnos zrna m_g [kg.ha ⁻¹]	4705 - 5915	3335 - 4415	3140 - 8500	2690 - 5100
Obvyklá vlhkost zrna během sklizně [%]	12 - 18	11 - 15	13 - 18	14 - 18
Obvyklá vlhkost slámy během sklizně [%]	7 - 13	8 - 13	11 - 16	8 - 12
Počet rostlin [m ⁻²]	180 - 290	180 - 290	194 - 237	130 - 240

Obecné hodnoty uvedené v Tab. 1 přesně neodpovídají podmínkám Střední a Západní Evropy, kde je dosahováno v průměru vyšších výnosů a počtu rostlin na 1 m². Přesnější hodnoty pro Střední Evropu (Českou republiku) jsou v následující tabulce.



Tab. 2 Výnos a počet produktivních klasů 4 hlavních obilovin - průměrné hodnoty pro ČR, sestaveno na základě [48]- [53]

Typ plodiny	Pšenice	Ječmen	Žito	Oves
Výnos zrna m_g [kg.ha ⁻¹]	6170 - 7200 ^{a)} 4050 - 5030 ^{b)}	5840 - 7030 ^{a)} 4990 - 6090 ^{b)}	4700 - 5630	3420 - 3590
Počet produktivních klasů P_{LP} [m ⁻²]	430 - 600 ^{c)} 600 - 700 ^{d)}	750 - 950 850 - 960 ^{e)}	420 - 600 520 - 550 ^{f)}	329 - 374 ^{g)} 450 - 600 ^{h)}

- a) ozimá odrůda
- b) jarní odrůda
- c) dlouho stébelnaté
- d) krátko stébelnaté
- e) optimální porost ječmene, dle [46]
- f) optimální porost žita, dle [54]
- g) hodnoty z 15 let trvajících pozorování, dle [45]
- h) optimální porost ovsa, dle [45]

Jak je patrné z Tab. 2, jsou počty produktivních klasů vyšší pro krátko stébelnaté odrůdy. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty z polních pokusů různých oblastí České republiky, které provádí Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). Hodnoty z Tab. 3 reprezentují naopak maximální hodnoty, kterých je dosaženo v tzv. „ideálních“ podmínkách zkušebních polních parcel.

Tab. 3 Obecná charakteristika 4 hlavních obilovin - výsledky z polních pokusů, dle [10]- [14] a [17]- [20]

Typ plodiny	Pšenice	Ječmen	Žito	Oves
Výnos zrna m_g [kg.ha ⁻¹]	9030 - 10810 ^{a)} 7440 - 8340 ^{b)}	7600 - 8600 ^{a)} 6420 - 8170 ^{b)}	3680 - 7860	6910 - 9550 ^{c)} 5230 - 6010 ^{d)}
Počet produktivních klasů P_{LP} [m ⁻²]	581 - 729 ^{a)} 527 - 589 ^{b)}	573 - 1007 ^{a)} 757 - 868 ^{b)}	596 - 763	546 - 655 ^{c)} 410 - 468 ^{d)}
Výška celé rostliny h_{pt} [m]	0,84 - 1,16 ^{a)} 0,80 - 0,99 ^{b)}	0,87 - 1,17 ^{a)} 0,67 - 0,79 ^{b)}	0,87 - 0,97	1,50 - 1,76 ^{c)} 1,01 - 1,13 ^{d)}

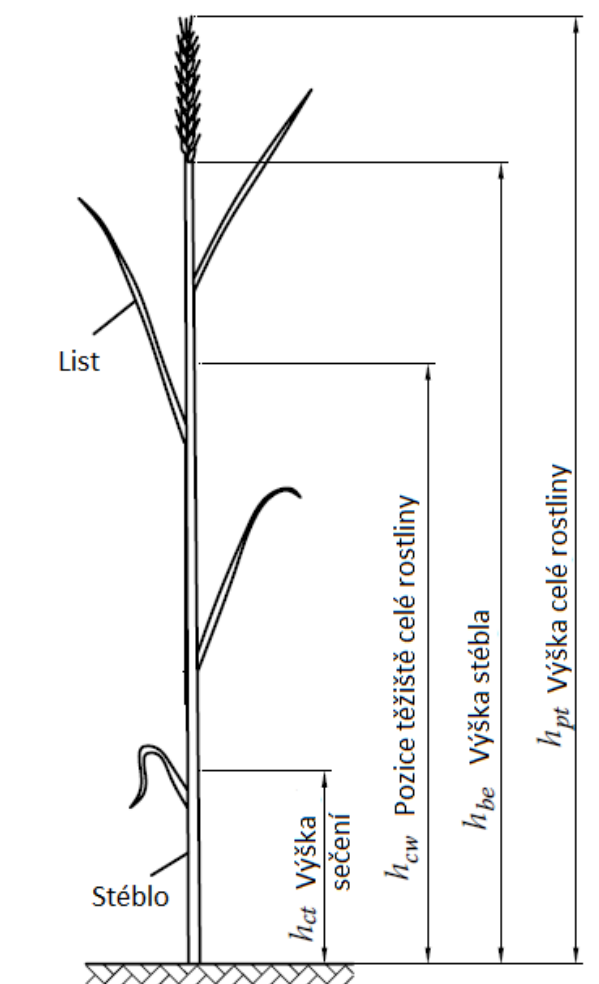
- a) ozimá odrůda
- b) jarní odrůda
- c) oves nahý
- d) oves pluchatý



Jak je patrné z Tab. 3, počty produktivních klasů a výnosy dosahují vyšších hodnot než v praxi. To však platí pro region Střední Evropy. Například v některých oblastech Severní Evropy je těchto výnosů dosahováno běžně. Potvrzují to i zkušenosti autora diplomové práce, z Dánska. Tam měl možnost vidět zemědělskou farmu, kde průměrný sezónní výnos ozimé pšenice dosahoval kolem $10\,000\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Proto je vhodné zahrnout do výpočtů i některé hodnoty dle Tab. 3.

3.2.2 ROZMĚROVÁ CHARAKTERISTIKA OBILOVIN

Udává rozměry jednotlivých částí rostliny, které jsou důležité z hlediska vlastního toku materiálu. Zjednodušený náčrt rostliny pšenice je uveden na Obr. 16.



Obr. 16 Zjednodušený náčrt rostliny obiloviny (pšenice), převzato z [29], upraveno

V následující tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty jednotlivých rozměrů celé rostliny. Průměrné hodnoty výšky celé rostliny h_{pt} v Tab. 4 lze porovnat s hodnotami vysoko výnosných obilnin ze zkušebních parcel dle Tab. 3.



Tab. 4 Délková charakteristika 4 hlavních obilnin, převzato z [29], přeloženo

Typ plodiny	Pšenice	Ječmen	Žito	Oves
Výška celé rostliny h_{pt} [m]	0,76 - 1,05	0,68 - 1,10	1,00 - 1,70	0,60 - 1,74
Začátek klasu h_{be} (výška klasu) [m]	0,67 - 0,93 (0,09 - 0,12)	0,56 - 0,96 (0,12 - 0,14)	0,90 - 1,55 (0,10 - 0,15)	0,52 - 1,50 (0,08 - 0,24)
Pozice těžiště celé rostliny h_{cw} [m]	0,38 - 0,52	0,30 - 0,55	0,51 - 0,92	0,31 - 0,90
Průměr stébla d_s (střední hodnota) [mm]	2,95 - 4,75 (4,20)	2,90 - 5,10 (4,50)	2,90 - 4,50 (3,60)	2,10 - 5,70 (3,80)

Rozsahy hodnot jsou téměř shodné pro pšenici a ječmen a praxe to potvrzuje. Všeobecně je trend šlechtit např. ozimé pšenice s nižší délkou celé rostliny ale s mohutnějším klasem. Orientace na vyšší hektarové výnosy zrna a z toho plyne vzrůstající k_{GS} , resp. klesající k_{MG} . Taktéž se tím zabraňuje předčasného polehání porostu na zem. Žito, sklizené v praxi, bývá často delší, než je uvedeno v Tab. 3. U žita se často dává přednost vysokému hektarovému výnosu slámy nad výnosem zrna. Z toho plyne klesající k_{GS} , resp. vzrůstající k_{MG} .

PRŮMĚR STÉBLA

V [29] byla publikována studie, ve které, na základě rozsáhlého měření, byla navržena matematická závislost vnějšího průměru stébla na základě výšky h_{be} , pro pšenici a ječmen:

$$d_s = a * (1 + h_{be}) * e^{-b * h_{be}^2} \quad [\text{mm}] \quad (3.7)$$

kde koeficienty a a b nabývají hodnot:

- pro pšenici: $a = 3,6481 \text{ mm}$ a $b = 1,7637 \text{ mm}^{-1}$ ($R^2 = 0,995$);
- pro ječmen: $a = 3,8077 \text{ mm}$ a $b = 1,962 \text{ mm}^{-1}$ ($R^2 = 0,96$).

Průměry stébel dle Tab. 4 odpovídají hodnotám praxe, což potvrzuje i výzkum [9]. Nicméně existují i stébla s průměrem více jak 5 mm, jak vyplývá z výzkumu [1], kde je uváděno stéblo průměru 6,26 mm. Všeobecně vyšší průměr stébla zvyšuje odolnost proti polehání prorostu na povrch pole, v důsledku špatných povětrnostních podmínek.



ROZMĚRY ZRNA

Jsou silně závislé na výživě rostliny – druh půdy, rozsah hnojení, povětrnostní podmínky, a také na odrůdě obiloviny. Průměrné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 5 Rozměrová charakteristika zrn 4 hlavních obilnin, převzato z [29], přeloženo. Rozsahy objemových hmotností upřesněny dle [43],[20]

Typ plodiny	Pšenice	Ječmen	Žito	Oves
Délka zrna g_l (střední hodnota) [mm]	6,40 - 7,86 (7,10)	6,40 - 10,7 (8,45)	6,10 - 8,00 (7,11)	7,90 - 11,30 (10,10)
Šířka zrna g_d (střední hodnota) [mm]	3,45 - 3,66 (3,52)	2,62 - 4,73 (3,60)	3,8 - 5,15 (4,65)	2,45 - 3,21 (2,85)
Tloušťka zrna g_t (střední hodnota) [mm]	2,72 - 3,37 (3,05)	1,57 - 3,68 (2,65)	2,1 - 3,4 (3,18)	2,13 - 2,33 (2,21)
Objemová hmotnost zrn ρ_g [kg.m ⁻³]	720 - 850	600 – 750	630 – 760	400 - 530

OBJEMOVÁ HMOTNOST ZRN

Veličina silně závislá na podmínkách výživy rostliny (zrna) a na momentální vlhkosti zrna. Udává, dle [4], poměr váhy určitého množství zrna a objemu, které dané množství zrna zaujímá. V případě výše citovaného výzkumu se jedná o množství, které je sypáno z výšky 15 cm do nádoby o objemu 1000 ml. Po naplnění nádoby až po okraj, je vše zváženo.

Proces stanovování objemové hmotnosti obilovin v České republice upravuje norma ČSN EN ISO 7971-1 Obiloviny – stanovení objemové hmotnosti zvané „hektolitrová váha“ – Část 1: Referenční metoda

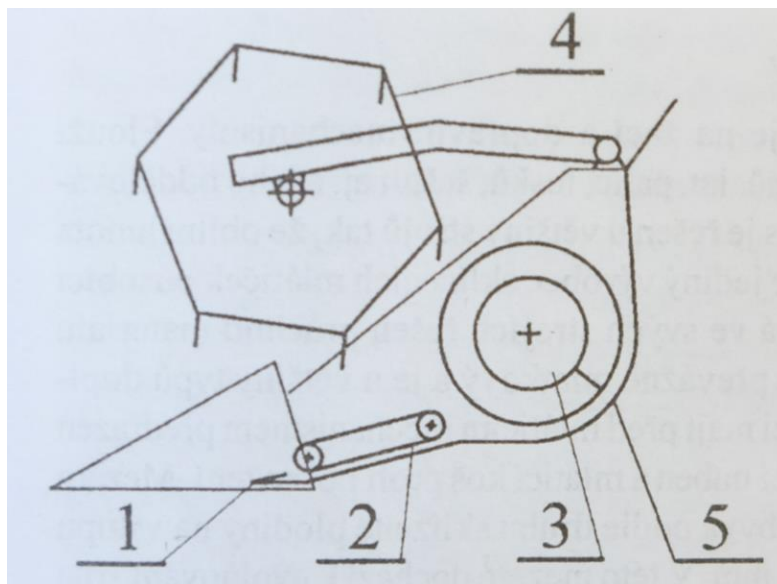
a způsob měření a vyhodnocování výsledků pak

ČSN EN ISO 7971-2 Obiloviny – stanovení objemové hmotnosti zvané „hektolitrová váha“ – Část 2: Metody návaznosti měřících přístrojů přes referenční k mezinárodnímu etalonu.

V těchto normách je objemová hmotnost měřena v kg.hl⁻¹.

4 MODELOVÁNÍ TOKU SKLÍZENÉHO MATERIÁLU

Žací lišta typu Power Flow se skládá ze 4 pohyblivých částí, které ovlivňují vlastní tok sklizeného materiálu. Dle číslování z Obr. 17 je to kosa (1), pásový dopravník (2), průběžný šnek (3) a přiřádný (4). K průběžnému šneku náleží žlab (5).



Obr. 17 Zjednodušený náčrtek žací lišty Power Flow, převzato z [16]

Každý z uvedených mechanismů se podílí na ustáleném toku hmoty. Pro efektivní návrh celkových rozměrů a pracovních rychlostí těchto mechanismů je potřeba znát jejich přímé působení na sklizený materiál. Tato znalost nám poskytne faktory, které lze nebo nelze ovlivnit.

Podle veřejně dostupných studií a výzkumů je nejlépe zmapován přiřádný. Interakce přiřádného a sklizeného porostu byla rozsáhle zkoumána již od 70. let ruskými a americkými autory. Výsledkem je teorie detailně popisující trajektorii ramene přiřádného, včetně jeho působení na porost sklizené plodiny a soubor faktorů, které ovlivňují správnou nebo naopak nedostatečnou provozní činnost přiřádného.

Již před více jak 45 lety byla zpracována teorie kinematiky kosa. Ta se týkala popisu tzv. přímovratného pohybu, trajektorie relativního pohybu kosa (kombinace pohybu nože a celé kosa), ovládacího mechanismu a někteří autoři uváděli i způsoby dynamického vyvážení celé soustavy. V [29] je uveden výpočet teoretické pracovní rychlosti celé kosa (myšlena rychlost celého sklízňového stroje), dle úhlové rychlosti hnací hřídele a geometrie nože. Stále však není dořešeno správné určení příkonu, jelikož odolnost stébel se značně liší podle stavu a odrůdy sklizené plodiny. Experimentálním určením potřebného příkonu, síly a kroutícího momentu hnacího mechanismu kosa, se zabývala studie [36] Technické university v Drážďanech, ve které je cílem návrh hybridního pohonného systému pro žací lištu Zurn PF 640.

Dle domluvy s vývojovým oddělením společnosti Agco Spa. (Laverda) není v diplomové práci přiřádný a kosa řešen. S těmito mechanismy nejsou z dlouhodobého hlediska problémy,



navíc jejich problematika značně přesahuje rámec diplomové práce. Veškerá následující pozornost bude věnována pásovému dopravníku a průběžnému šneku.

Jakmile konkurenční společnost Zurn (John Deere) uvedla na trh žací lišty řady PF, umožňující měnit pracovní rychlost pásového dopravníku, začalo italské vývojové oddělení koncernu Agco připravovat novou žací lištu PF40 (pracovní záběr 12 m), opatřenou variátorem na hnací hřídeli pásového dopravníku. Záhy se ukázala naprostá absence základních informací, podle kterých by se dal navrhnout optimální rozsah pracovních otáček jak pásového dopravníku, tak i samotného průběžného šneku. Dle dostupných pramenů autorovi, ani neexistuje výzkum na toto téma, kde by byla do vzájemné souvislosti dána geometrie pracovních orgánů, jejich optimální pracovní rychlost a vlastnosti materiálu sklizeného přímo z pole. Což je do jisté míry paradox dnešního vývoje sklízecích mlátiček. Jejich nároky na průchodnost neustále stoupají a to sebou nese zvyšující se nároky také na žací lištu. Nicméně geometrie hlavních pracovních orgánů každé, např. šnekové, žací lišty jsou stále stejné po mnoho let. Až v poslední době se ve velice omezené míře začíná řešit možná změna provozních otáček pracovních orgánů žací lišty, dle stavu a podmínek sklizeného porostu. Podle interních informací, dostupných autorovi, se i společnost Claas zabývá vývojem žací lišty, kde je hnací hřídel průběžného šneku opatřena variátorem.

Veškerá zde uvedená teorie se bude týkat pouze pásového dopravníku a průběžného šneku, které se, dle autora, podílí na dopravě sklizeného materiálu nejvyšší mírou. Zároveň je zde předkládána teorie, zohledňující fyzické rozměry sklizeného porostu (průměr klasu), se kterou je možné optimalizovat vzájemnou součinnost pásového dopravníku a průběžného šneku.

Výpočty a grafy byly naprogramovány skriptovacím jazykem Python, verze 2.7.6. Pro tyto účely užíváno programovací prostředí Anaconda a grafy vykreslovány pomocí knihovny `matplotlib.pyplot`. Všechny programy jsou uvedeny v příloze B.

4.1 ZÁKLADNÍ TEORIE PÁSOVÉ A ŠNEKOVÉ DOPRAVY

Jak pásový, tak i šnekový dopravník mají propracovanou teorii dopravy tzv. partikulárního materiálu. Partikulární materiál je složen, dle [55], ze vzájemně dotýkajících se částic pevné fáze (tuhé až plastické tzv. hrubodisperzní fáze) a z tekuté fáze (kapalné, plynné až vakua, tzv. kontinuální fáze), vyplňující volné objemy včetně pórů a dutin. V případě pásové dopravy můžeme mluvit o transportu sypkých nebo kusových materiálů. Lze uvést např. písek, různé druhy granulátů nebo drceného materiálu. V případě kusové dopravy je to např. přeprava krabic na poštách nebo doprava zavazadel na letištích. Přeprava může být v horizontální nebo šikmé pozici. Rovněž existuje druh tzv. hadicového pásového dopravníku, kde je pás během dopravní cesty postupně skružen vhodně umístěnými válečky do tvaru hadice. To umožňuje dopravu sypkého materiálu teoreticky kolmo vzhůru. Šnekové dopravníky jsou obecně vhodné pro dopravu zrnitých sypkých hmot, vláknitých i vlhkých látek ve vodorovné, šikmé nebo vertikální pozici. Jsou nevhodné pro abrazivní a hrubozrnné materiály. Jejich provedení může být vodotěsné, prachotěsné nebo vzduchotěsné a ve speciálním provedení umožňují dopravu jedovatých a výbušných látek.

Pásový i šnekový dopravník žací lišty je v podstatě speciální případ použití těchto dvou typů dopravníků, především z hlediska typu dopravovaného materiálu. Ten je ve své podstatě také partikulární, protože např. pšenice, nebo jiná obilovina, je kombinací pevné fáze (klas, zrno, listy, slupky kolem zrn) a tekuté fáze (plynné prostředí Země, tedy ovzduší). Nicméně je to také kombinace pevného a vláknitého materiálu. Pevným materiálem je zde myšleno zrno a



vláknitým materiálem sláma (stéblo). Jak bude dále uvedeno, tyto vlastnosti činí potíže ve stanovení objemové hmotnosti ve výpočtech hmotnostního průtoku jak pásového, tak i šnekového dopravníku.

Hlavním prvkem matematického modelu dopravy sklizeného materiálu žací lištou je hmotnostní průtok, dle [27] nazýván též hmotnostní výkonnost, která je ve všech částech lišty (kosa, pásy, šnek) stejná. Na základě tohoto předpokladu budou navrhovány optimální pracovní otáčky dopravních pásů a šneku. Tento předpoklad nám také pomůže stanovit objemovou hmotnost na dopravních páslech, která může vzrůstat nebo klesat dle měnících se podmínek sklizně nebo pracovní rychlosti sklízecí mlátičky. Objemová hmotnost je taktéž důležitá pro výpočty optimálních pracovních otáček šnekového dopravníku.

4.1.1 PÁSOVÝ DOPRAVNÍK

Obecné teorie pásových dopravníků, uvedené v [27], [8], [15] předpokládá tento druh dopravníku jako stacionární zařízení, skládající se z:

- dopravního pásu
- hnacího a hnaného válečku
- podporových válečků
- podporových (čisticích) válečků vratné větve
- násypky
- přepadu materiálu – vhodně tvarovaný konec pásového dopravníku k odvodu materiálu
- rám stroje – zahrnuje i kotevní šrouby.

Výpočet hmotnostního průtoku, dle výše uvedených publikací, je následovně:

$$Q_P = S_P * v_P * \rho_T \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (4.1)$$

kde: S_P je průřez (plocha) dopravovaného materiálu kolmá k vektoru rychlosti dopravy (m^2);
 v_P je rychlost dopravovaného materiálu (m.s^{-1});
 ρ_T je objemová hmotnost přepravovaného materiálu – respektuje mezery mezi zrny, póry i dutiny (kg.m^{-3}).

Rychlost dopravovaného materiálu odpovídá rychlosti pásu a ta je závislá na obvodové rychlosti hnacího válečku:

$$v_P = 2 * \pi * R * n_P \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (4.2)$$

kde: n_P jsou otáčky hřídele hnacího válečku (s^{-1});
 R je poloměr hnacího válečku včetně tloušťky pásu (m), odměřeno z 3D modelu.

Na základě vzorce (4.2) dostáváme hmotnostní průtok ve tvaru:

$$Q_P = S_P * 2 * \pi * R * n_P * \rho_T \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (4.3).$$



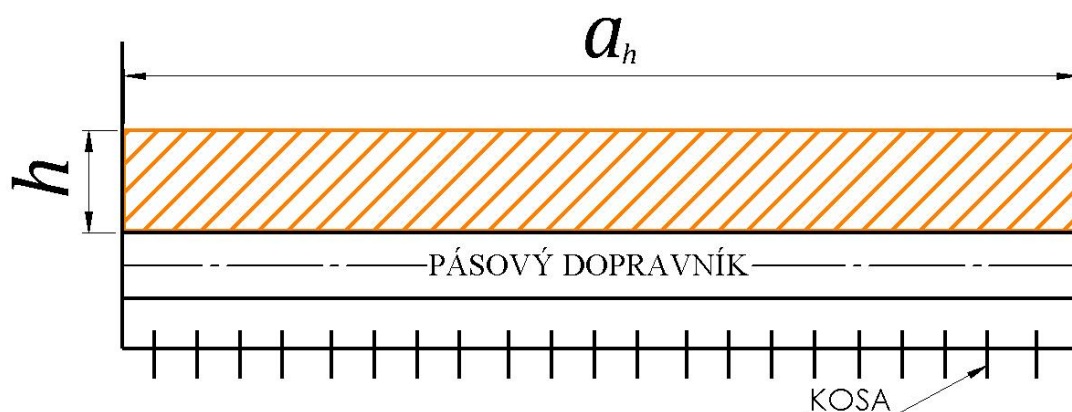
PRŮŘEZ DOPRAVOVANÝM MATERIÁLEM PÁSOVÉHO DOPRAVNÍKU

Je důležitým parametrem, kterým lze ovlivňovat velikost výkonnosti pásového dopravníku. Skutečný průřez dopravovaným materiálem je ovlivněn vlastnostmi materiálu (mezerovitostí, konzistencí), geometrií povrchu pásu a dalšími parametry, jako je rychlost pásu, sklon trasy, klimatické podmínky a také technologickými podmínkami (způsob nakládky). V publikaci [8] je uvedeno 5 tvarů průřezu na základě rozmístění podporových válečků pásu a 3 tvary (sedlový, parabolický, kruhový) volného povrchu dopravovaného materiálu.

V případě žací lišty Power Flow je situace odlišná. Pásový dopravník neobsahuje podporové válečky, pouze hnací a hnaný váleček na obou koncích. Dále neobsahuje násypku, protože začátek dopravníku je umístěn téměř hned za kosou, viz Obr. 7. Dle zkušeností autora můžou nastat 3 různé situace toho, jak je dopravovaný materiál umístěn na pás:

- jednotlivá stébla porostu tzv. „lehnou“ na pás – poloha stébel se změní z vertikální na horizontální, charakteristické pro obiloviny, závislé na délce celé rostliny
- stébla, nebo stonky, nezmění svoji polohu, pouze se opřou svými sečenými konci o pás – charakteristické pro řepku, má hustě rozvětvenou vrchní část obsahující zrna, které jsou do sebe zapletené
- kombinace výše uvedených stavů – např. hustý a dlouhý porost obilovin.

Pro veškeré následující výpočty je uvažována situace první.



Obr. 18 Čelní pohled na zjednodušený náčrtek žací lišty Power Flow

Tvar průřezu byl zvolen obdélníkový, jak je znázorněno na Obr. 18 a díky tomu můžeme plochu průřezu definovat následovně:

$$S_p = a_h * h \quad [\text{m}^2] \quad (4.4)$$

kde: a_h je konstrukční šířka záběru žací lišty (m);
 h je výška vrstvy, kterou dosahuje dopravovaný materiál aktuálně sklizené plodiny.



OBJEMOVÁ HMOTNOST

V podkapitole 3.2.2 byla definována Objemová hmotnost zrn. Její metodika měření je přesně definována technickou normou. Pro účely výpočtů hmotnostního průtoku žací lištou je ale potřeba zahrnout objemovou hmotnost celé rostliny. Tu lze definovat následovně:

$$\rho_T = \rho_g + \rho_s \quad [\text{kg.m}^{-3}] \quad (4.5)$$

kde: ρ_g je objemová hmotnost zrn (kg.m^{-3});
 ρ_s je objemová hmotnost slámy (kg.m^{-3}).

Objemová hmotnost slámy plodiny jako celku (včetně zrna), není běžně měřena. Určitý náhled může poskytnout následující tabulka.

Tab. 6 Objemová hmotnost slámy dle uskladnění, převzato z [43]

Typ uskladnění	Objemová hmotnost ρ_s [kg.m^{-3}]
Sláma ve sběracím návěsu	30 - 80
Sláma suchá řezaná	20 - 40
Sláma vlhká řezaná	50 - 80
Sláma ve skladu (stohu)	40 - 100
Sláma lisovaná nízkotlakým lisem	80 - 90
Sláma lisovaná vysokotlakým lisem	110 - 200
Sláma po uložení	40 - 50
Sláma slehlá	60 - 100
Sláma suchá v řádku	8 - 15
Sláma vlhká v řádku	15 - 20
Sláma vlhká pořezaná ve velkoobjemovém návěsu	50 - 80
Sláma suchá pořezaná ve velkoobjemovém návěsu	20 - 40

K hodnotám, uvedeným v Tab. 6, neexistují doplňkové informace o způsobu měření. Všechna data platí pro vymláčenou slámu, tzn. slámu bez zrn, která již prošla sklízecí mlátičkou. Navíc z praxe je známo, že volně ložená sláma, zpracovaná tangenciální sklízecí mlátičkou, má v řádku vyšší objemovou hmotnost, nežli ta, která byla zpracována axiální (rotorovou) sklízecí mlátičkou. Objemová hmotnost slámy je také silně závislá na vlhkosti a na délce jednotlivých částic slámy, jak je patrné z Tab. 6. Proto je vhodné výše uvedená data brát pouze jako orientační.

Z těchto důvodů byl autorem navržen výpočet objemové hmotnosti slámy na základě poměru zrna ke slámě k_{GS} , resp. MOG-grain poměru k_{MG} .

Poměr k_{GS} nebo k_{MG} se s úspěchem používá pro dopočet výnosu slámy. Tyto poměry se zjišťují polně-laboratorními zkouškami, kde je zvykem uvádět hektarový výnos zrna a k tomu



příslušný poměr, jako určitou charakteristiku porostu. To znamená, že i když je výpočet příslušného poměru k_{GS} nebo k_{MG} proveden z reálně naměřených hodnot hmotnostního průtoku slámy, nebo její celkové váhy, do finální charakteristiky porostu se v testovacích zprávách často neuvádí. Poměr zrna ke slámě můžeme s využitím objemových hmotností přepsat následovně:

$$k_{GS} = \frac{\rho_g}{\rho_s} \quad [-] \quad (4.6)$$

a poměr MOG-grain:

$$k_{MG} = \frac{\rho_s}{\rho_g} = \frac{1}{k_{GS}} \quad [-] \quad (4.7).$$

Po vyjádření ρ_s ze vzorců (4.6), resp. (4.7) a dosazením do vzorce (4.5) dostáváme následující vztah celkové objemové hmotnosti:

$$\rho_T = \rho_g + k_{MG} * \rho_g = \rho_g + \frac{\rho_g}{k_{GS}} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (4.8).$$

Dosazením vzorců (4.4) a (4.8) do vzorce (4.3) dostáváme finální tvar hmotnostního průtoku na pásovém dopravníku s využitím poměru zrna ke slámě nebo MOG-grain poměru:

$$Q_P = a_h * h * 2 * \pi * R * n_P * (\rho_g + k_{MG}\rho_g) = a_h * h * 2 * \pi * R * n_P * \left(\rho_g + \frac{\rho_g}{k_{GS}}\right) \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.9).$$

4.1.2 PRŮBĚŽNÝ ŠNEK

Obecná teorie šnekového dopravníku, uvedená [28], [8], [15] popisuje toto zařízení jako stacionární, skládající se z:

- transportního šneku
- uzavřeného žlabu
- vstupní a výstupní příruby
- hnacího mechanismu (elektromotor, převodovka, spojka).

Výpočet hmotnostního průtoku je podobný jako u pásového dopravníku, můžeme psát:

$$Q_A = S_{mat} * v_A * \rho_T * c_H \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.10)$$

kde: S_{mat} je průřez (plocha) dopravovaného materiálu kolmá k vektoru rychlosti dopravy (m^2);
 v_A je rychlost posuvu materiálu ve žlabu ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);
 ρ_T je objemová hmotnost přepravovaného materiálu – respektuje mezery mezi zrny, póry i dutiny ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);
 c_H je korekční součinitel (-), závislý na úhlu sklonu dopravníku – pro průběžný šnek, umístěn vždy horizontálně je $c_H = 1$.



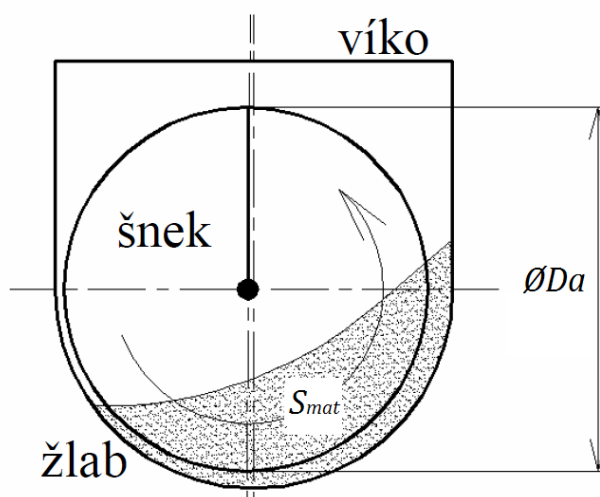
Průběžný šnek žacíh lišty je speciální případ šnekového dopravníku. Největším rozdílem, vedle dopravovaného materiálu, je geometrie žlabu. Ta je značně odlišná. Šnek není uzavřen jako v případě klasického provedení a neobsahuje vstupní a výstupní přírubu.

PRŮŘEZ DOPRAVOVANÉHO MATERIÁLU PRŮBĚŽNÉHO ŠNEKU

Je definován následovně, viz. Obr. 19:

$$S_{mat} = S_A * \psi \quad [m^2] \quad (4.11)$$

kde: S_A je obsah pracovní plochy šnekovice dopravující materiál (m^2), v případě průběžných šneků se používá obvodová šnekovice;
 ψ je součinitel zaplnění průřezu žlabu (-).



Obr. 19 Zjednodušený náčrtek klasického šnekového dopravníku s uzavřeným žlabem, převzato z [28], upraveno

Obsah pracovní plochy obvodové šnekovice se určí:

$$S_A = \frac{\pi * (D_A^2 - d_A^2)}{4} \quad [m^2] \quad (4.12)$$

kde: D_A je velký průměr šneku (m);
 d_A je malý průměr šneku (m).

Součinitel zaplnění průřezu žlabu je, dle [8], definován:

$$\psi = \frac{S_{mat}}{S_A} \quad [-] \quad (4.13)$$

a vyjadřuje stupeň naplnění žlabu. Určuje se experimentálně, často na základě zkušeností z provozu. Pro klasický šnekový dopravník, dle [28], nabývá ψ hodnot: 0,45 pro neabrazivní, lehký, práškovitý nebo zrnitý materiál; 0,30 pro neabrazivní zrnitý a práškovitý zrnitý materiál a 0,15 pro velmi abrazivní, hrubě kusovitý a lepkavý materiál.

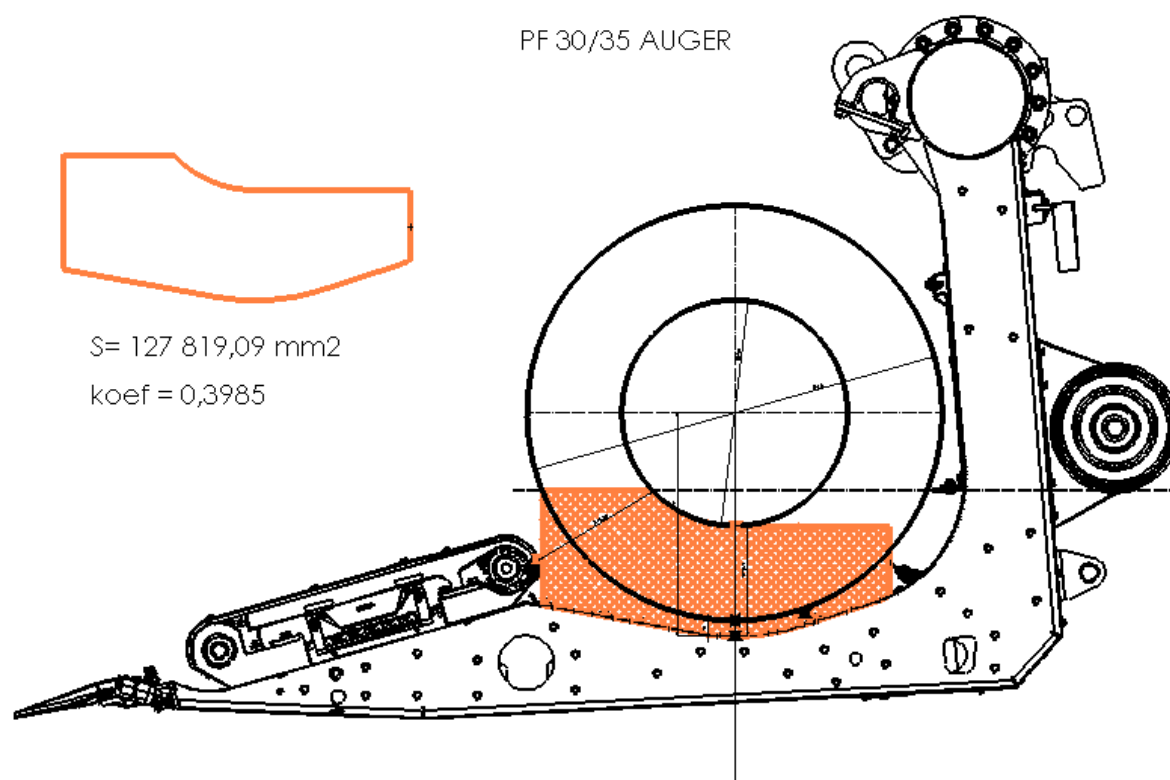


V případě průběžného šneku je situace složitější, jelikož žlab je otevřený. Hodnota ψ uváděna pro tyto případy je, dle [30], 0,30 pro píce a obilniny a dle [29] 0,05 – 0,35 bez bližšího upřesnění.

STANOVENÍ SOUČiniteLE ZAPLNĚNÍ PRŮŘEZU

Jak bylo uvedeno, tento součinitel je závislý na vlastnostech materiálu. Nicméně také závisí na geometrii žlabu. Kromě výše uvedených hodnot neexistují jiné informace, týkající se stanovení tohoto součinitele pro otevřený žlab průběžného šneku. Navíc zde autor předpokládá, že hodnoty ze zdrojů [30] a [29] jsou uvedeny pro klasické běžné šnekové lišty s pevným typem žacího válu, nicméně bez bližší specifikace geometrie žlabů těchto lišt. S těchto důvodu bylo přistoupeno k vlastnímu stanovení tohoto součinitele.

Pro odměření a výpočet potřebné plochy, kterou zaujímá materiál dopravovaný žlabem šneku, byl použit 3D model lišty Power Flow, typ PF30/35. Tento model byl poskytnut italským oddělením vývoje sklízecích mlátiček Laverda koncernu Agco. Jelikož nebylo zcela zřejmé přesné umístění hřídele průběžného šneku vzhledem k žací liště, byla vytvořena autorem sada pravidel pro přesnou lokalizaci průběžného šneku vůči dnu (žlabu) žací lišty a taktéž pro charakteristický průřez dopravovaného materiálu S_{mat} . Podle těchto pravidel byl součinitel průřezu stanoven pro všechny typy průběžných šneků, z provedené rešerše, které byly vkresleny na předem stanovenou pozici vůči žlabu lišty PF 30/35. Takto autor obešel neznalost přesné geometrie dna konkurenčních žacích lišt.



Obr. 20 Pohled v řezu na žací lištu Power Flow, typ PF 30/35. Vykreslený šnek a znázornění průřezu dopravovaným materiálem odpovídá sériovému provedení

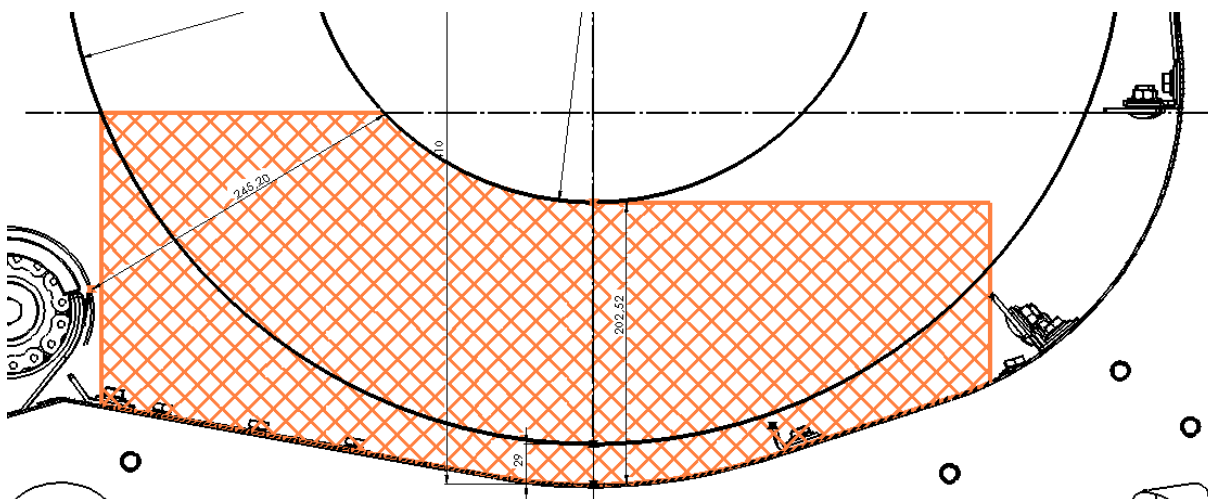


Pozice šneku:

- horizontální pozice středu šneku 816,76 mm od posledního bodu 3D modelu z pravé strany (prachovka kardanového hřídele) – odpovídá přesné pozici nejnižšího bodu dna žlabu
- vertikální pozice je pro každý šnek 29 mm mezi nejnižším bodem dna žací lišty a nejbližším bodem šnekovice.

Charakteristiky průřezu, viz Obr. 21:

- dno obsahuje celkem 3 stírací lišty, ze strany zadní stěny šneku je materiál blokován (v pořadí od nejnižšího bodu dna) druhou stírací lištou
- maximální výška materiálu před šnekem (ze strany pásových dopravníků) je omezena vertikální pozicí třetí stírací lišty, umístěné přímo na zadní stěně z šnekem .



Obr. 21 Detail průřezu dopravovaného materiálu

Pomocí CAD software SolidWorks byly stanoveny obsahy výsledných obrazců průřezu (oranžové šrafování). Tímto jsme získaly hodnoty S_{mat} a pomocí vzorce (4.13) výsledné hodnoty ψ , viz Tab. 7.

Tab. 7 Stanovené součinitele zaplnění průřezu ψ

Typ lišty	Zaplnění průřezu [-]
PF30/35	0,3985
VARIO 770	0,4699
PF 640	0,3996
VARIFEED 760CG	0,4667
X 640	0,4676
PF 635	0,4676



TEORETICKÁ RYCHLOST POSUVU MATERIÁLU ŽLABEM

Se určí:

$$v_A = s_A * n_A \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (4.14)$$

kde: s_A je stoupání šneku (m);
 n_A jsou otáčky hřídele šneku (s^{-1}).

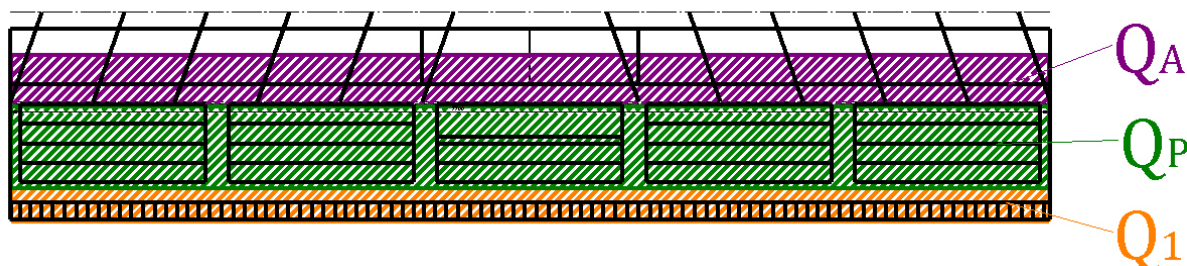
Po dosazení vzorců (4.11), (4.12) a (4.14) do vzorce (4.10) a za předpokladu že c_H je vždy rovna 1, dostáváme finální tvar hmotnostního průtoku průběžného šneku:

$$Q_A = \frac{\pi * (D_A^2 - d_A^2)}{4} * \psi * s_A * n_A * \rho_T \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (4.15).$$

Tvar (4.15) se shoduje se vzorcem (XI-69) v [29] a (4.70) v [30], akorát s odlišným značením některých veličin.

4.2 PRAKTICKÁ APLIKACE ZÁKLADNÍ TEORIE

Následující praktické aplikace budou vycházet z předpokladu, že hmotnostní tok materiálu je na všech úsecích lišty stejný, tzn. hmotnostní tok se shoduje pro materiál procházející kosou Q_1 , pásovými dopravníky Q_P a průběžným šnekem Q_A .



Obr. 22 Zjednodušený pohled na žací lištu Power Flow z vrchu, barevně vyšrafovány jednotlivé úseky hmotnostního průtoku

Dle Obr. 22 můžeme napsat podmínku:

$$Q_1 = Q_P = Q_A \quad (4.16)$$

kde: $Q_1 = q_T = a_h * v_c * U_T$ – rovnice (3.4).



4.2.1 STANOVENÍ VÝŠKY VRSTVY MATERIÁLU NA PÁSOVÝCH DOPRAVNÍCÍCH

Vycházíme z rovnosti

$$Q_P = Q_1 \quad (4.17)$$

po rozepsání ze vztahu (4.9) a (3.4) dostáváme:

$$a_h * h * 2 * \pi * R * n_p * (\rho_g + k_{MG} * \rho_g) = a_h * v_c * U_T$$

a po vykrácení a_h a jednoduché úpravě:

$$h = \frac{v_c * U_T}{2 * \pi * R * n_p * (\rho_g + k_{MG} * \rho_g)}.$$

Člen U_T je možné rozepsat stejně jako objemovou hmotnost, tzn. podle rovnice (3.6). Dostáváme pak výsledný tvar pro stanovení výšky vrstvy materiálu:

$$h = \frac{v_c * (m_g + k_{MG} * m_g)}{2 * \pi * R * n_p * (\rho_g + k_{MG} * \rho_g)} \quad [\text{m}] \quad (4.18).$$

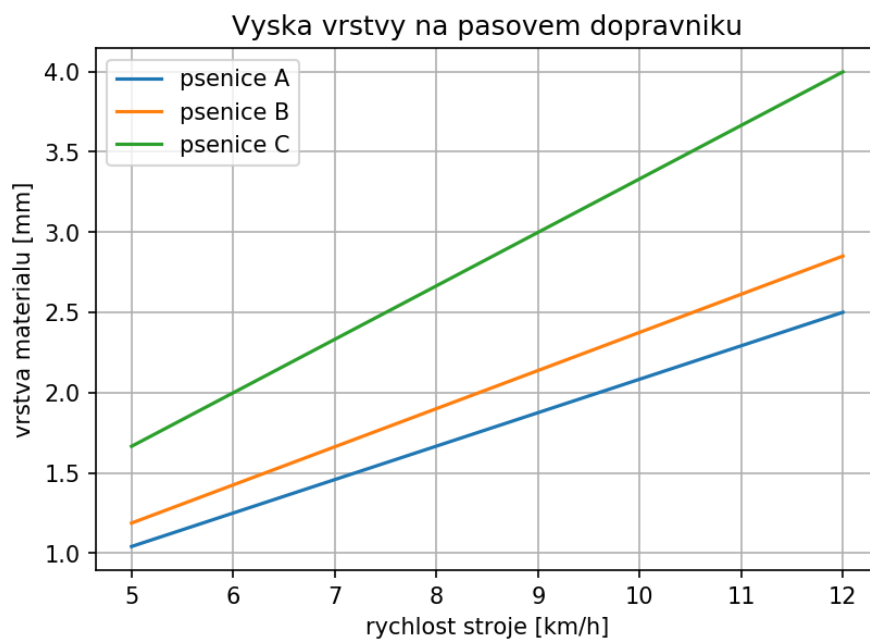
Pro tento a následující případy v podkapitole 4.2 existuje jen jediná možnost jak vypočítat celkovou objemovou hmotnost sklizeného porostu. Pro využití poměru zrna ke slámě nebo MOG-grain poměru, potřebujeme znát objemovou hmotnost ρ_g . Ta se během polně-laboratorních testů běžně nezjišťuje, proto ji musíme zvolit.

Změna tloušťky materiálu na dopravních pásech je demonstrována pro 3 různé porosty pšenice v rozmezí pracovní rychlosti sklízecí mlátičky $v_c = 5 \div 12 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 1,39 \div 3,333 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Níže uvedené charakteristiky porostů A a B jsou z reálných podmínek, porost C pro ilustraci. Poměry k_{MG} všech pšenic vycházejí z praxe. Pracovní otáčky hnacího válečku, dle Tab. P3 (příloha A), $n_p = 313 \text{ min}^{-1} = 5,217 \text{ s}^{-1}$. Hodnota ρ_g volena $750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Parametry pšenice:

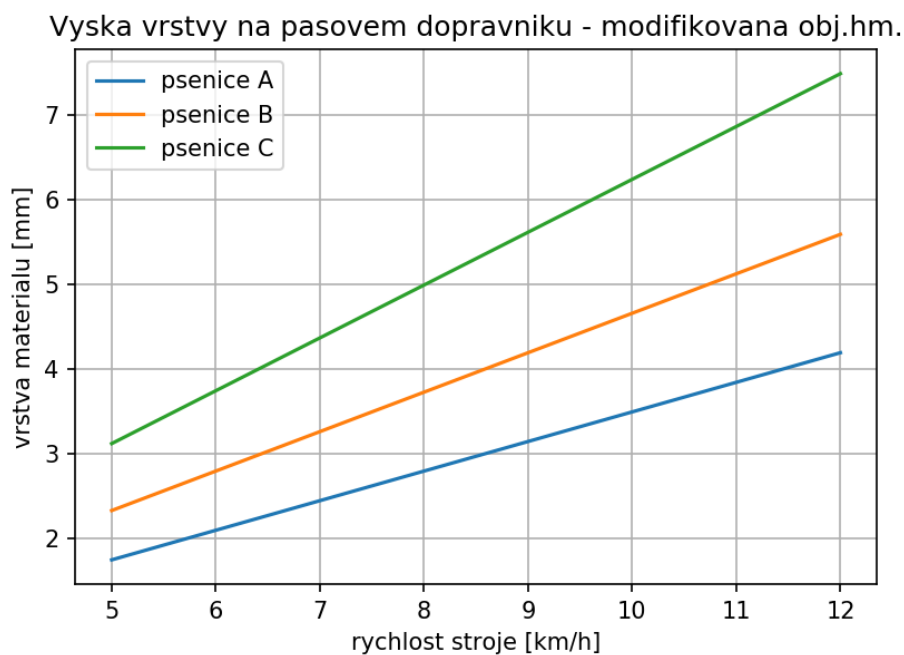
Pšenice A	$k_{MG} = 0,71$	$m_g = 7,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$
Pšenice B	$k_{MG} = 1$	$m_g = 8,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$
Pšenice C	$k_{MG} = 0,91$	$m_g = 11,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$

Generováno programem `tlmat.py`, viz. příloha B. Pro názornost jsou veličiny m_g v $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a vrstva na pásech je vynášena v milimetrech.



Obr. 23 Závislost mezi pracovní rychlostí sklízecí mlátičky a výškou vrstvy, která vznikne na pásovém dopravniku

Program byl následně modifikován změnou objemové hmotnosti slámy. Dle Tab. 6 bylo zvoleno $\rho_s = 15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ – suchá sláma v řádku, viz. Obr. 24.



Obr. 24 Závislost mezi pracovní rychlostí sklízecí mlátičky a výškou vrstvy, modifikovaná objemová hmotnost $\rho_T = 765 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$



Pokud porovnáme oba grafy s průměry stébel v Tab. 4, je patrné, že naprosto neodpovídají praxi. I po změně objemové hmotnosti dle Tab. 6 hodnoty výšky vrstvy stále neodpovídají praxi. Jsou příliš malé, dle zkušeností autora, naprosto nereálné. Tento způsob výpočtu **není vhodný**.

4.2.2 ROZLOŽENÍ HMOTNOSTNÍHO TOKU VE ŽLABU ŠNEKU

V kapitole 2.2 byl zmíněn efekt nerovnoměrného plnění mláticích a čistících mechanismů sklízecí mlátičky, pokud činná plocha šnekovice končí hned na začátku šikmého dopravníku. Příčinou je vzrůst hmotnostního toku ve žlabu šneku, od krajů (bočních děličů) žací lišty. Výpočet a znázornění hmotnostního toku lze provést na základě vzorce (3.4) pro teoretickou průchodnost. Při použití MOG-grain poměru dostáváme:

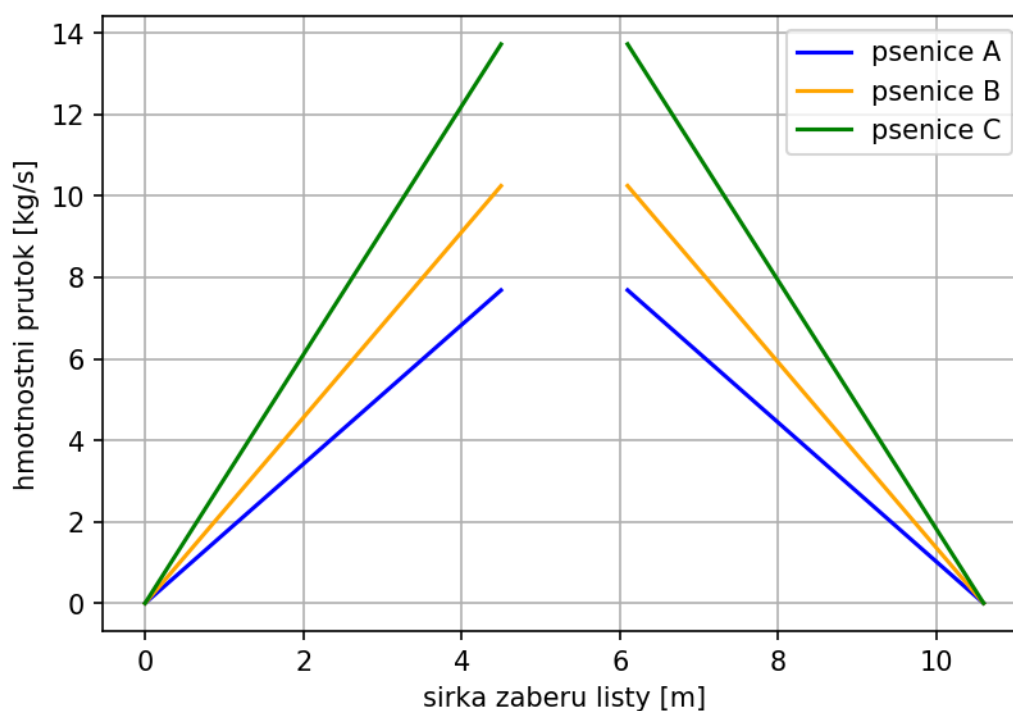
$$q_T = a_h * v_c * (m_g + k_{MG} * m_g) \quad [\text{kg.s}^{-1}]$$

kde: a_h nabývá pouze délky jedné šnekovice, jelikož průběžný šnek je symetrický. Výpočet je předveden pro sériovou žací lištu PF 35 konstrukčního záběru 10,6 m a konstantní pracovní rychlosti $v_c = 5 \text{ km.h}^{-1} = 1,39 \text{ m.s}^{-1}$. Lišta je konstruována pro šikmý dopravník (mláticí mechanismus) šířky 1,6 m, to znamená 4,5 m délky žlabu od každého kraje žací lišty. Následující graf je generován programem `rozl-hmot.py`, viz. příloha B.

Parametry pšenice:

Pšenice A	$k_{MG} = 0,71$	$m_g = 7,2 \text{ t.ha}^{-1}$
Pšenice B	$k_{MG} = 1$	$m_g = 8,2 \text{ t.ha}^{-1}$
Pšenice C	$k_{MG} = 0,91$	$m_g = 11,5 \text{ t.ha}^{-1}$

Graf na Obr. 25 odpovídá rovnoměrnému zatížení žací lišty po celé její šířce. V praxi to například je situace, kdy obsluha sklízecí mlátičky provádí tzv. průsek, při kterém využije celý konstrukční záběr žací lišty.



Obr. 25 Rozložení hmotnostního toku ve žlabu šneku

4.2.3 VÝPOČET OPTIMÁLNÍCH OTÁČEK ŠNEKU DLE HMOTNOSTNÍHO TOKU

Určíme za podmínky:

$$Q_A = Q_1 \quad (4.19).$$

Dostáváme:

$$\frac{\pi * (D_A^2 - d_A^2)}{4} * \psi * s_A * n_A * \rho_T = a_h * v_c * U_T$$

Po provedení nezbytných úprav dostáváme finální tvar pro výpočet optimálních otáček na základě aktuálního hmotnostního průtoku:

$$n_A = \frac{a_h * v_c * U_T * 4}{\pi * (D_A^2 - d_A^2) * \psi * s_A * \rho_T} \quad [\text{s}^{-1}] \quad (4.20).$$

Členy U_T a ρ_T můžeme opět rozepsat na základě MOG-grain poměru a dostáváme:

$$n_A = \frac{a_h * v_c * (m_g + k_{MG} * m_g) * 4}{\pi * (D_A^2 - d_A^2) * \psi * s_A * (\rho_g + k_{MG} * \rho_g)} \quad [\text{s}^{-1}] \quad (4.21).$$

Hodnota ρ_g volena 750 kg.m^{-3} .

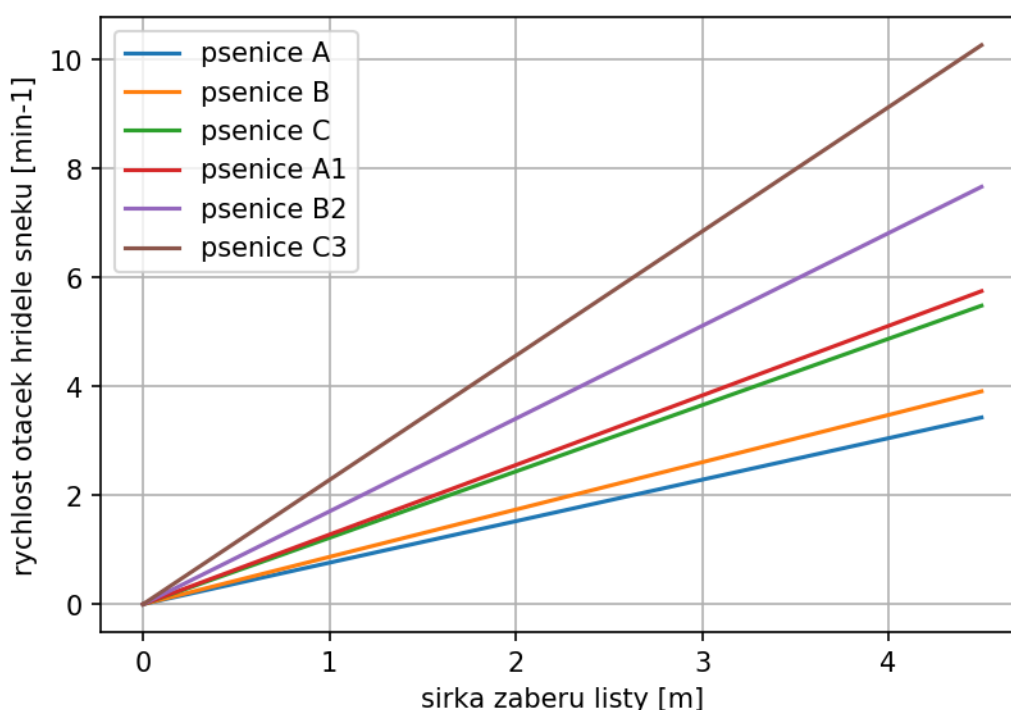


Parametry pšenice:

Pšenice A	$k_{MG} = 0,71$	$m_g = 7,2 \text{ t.ha}^{-1}$
Pšenice B	$k_{MG} = 1$	$m_g = 8,2 \text{ t.ha}^{-1}$
Pšenice C	$k_{MG} = 0,91$	$m_g = 11,5 \text{ t.ha}^{-1}$

Graf vygenerován programem `ot-hridel.py`, viz. příloha B.

Výpočet je předveden pro sériovou žací lištu PF 35 konstrukčního záběru 10,6 m a konstantní pracovní rychlosti $v_c = 5 \text{ km.h}^{-1} = 1,39 \text{ m.s}^{-1}$. Lišta je konstruována pro šikmý dopravník (mláticí mechanismus) šířky 1,6 m, to znamená 4,5 m délky žlabu od každého kraje žací lišty – hodnota $a_h = 0 \div 4,5 \text{ m}$. Hodnoty A1, B2, C3 jsou pro objemovou hmotnost slámy $\rho_s = 15 \text{ kg.m}^{-3}$, dle Tab. 6. Pro lepší znázornění jsou hodnoty otáček uváděny v min^{-1} .



Obr. 26 Teoretická rychlost otáčení hřídele šneku podle aktuálního hmotnostního průtoku ve žlabu

I přes použití modifikované objemové hmotnosti slámy dle Tab. 6 jsou vypočtené hodnoty neúměrně malé, než jak je obvyklé v praxi. Maximální vypočtená hodnota v grafu na Obr. 26 je $n_A = 10,27 \text{ min}^{-1}$, přitom pracovní otáčky průběžného šneku lišty PF30/35 dosahují 145 min^{-1} . Tento druh výpočtu tedy **není vhodný**.

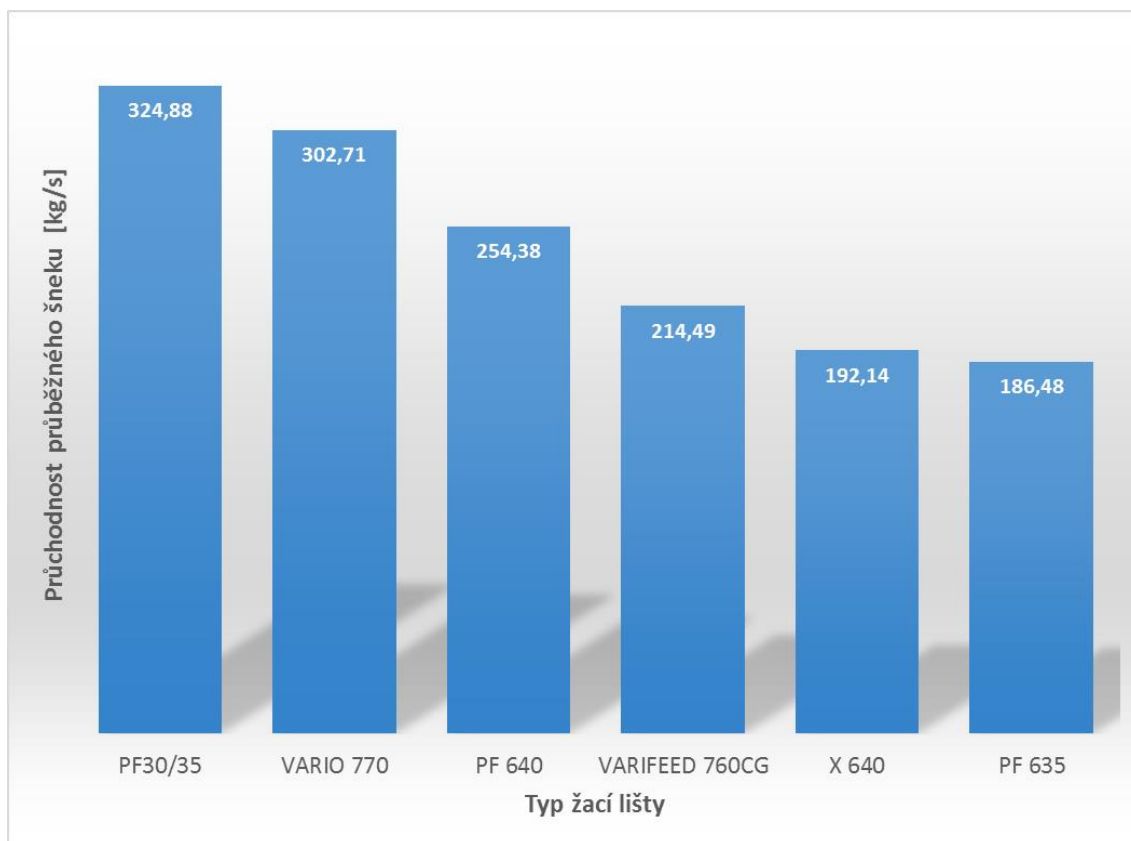


SROVNÁNÍ OBJEMOVÝCH PRŮCHODNOSTÍ OSTATNÍCH PRŮBĚŽNÝCH ŠNEKŮ

Počítáno dle vzorce (4.15). Člen ρ_T rozepsán opět podle MOG-grain poměru, dostáváme $(\rho_g + k_{MG}\rho_g)$. Hodnota ρ_g volena 750 kg.m^{-3} . Hodnoty součinitele ψ dle Tab. 7. Provozní otáčky šneku dle tabulky P2. viz. příloha A.

Parametry pšenice:

Pšenice A	$k_{MG} = 0,71$	$m_g = 7,2 \text{ t.ha}^{-1}$
-----------	-----------------	-------------------------------



Obr. 27 Teoretická průchodnost průběžných šneků žacích lišt z provedené rešerše

4.2.4 ZHODNOCENÍ VYPOČTENÝCH HODNOT

Při výpočtu vrstvy dopravovaného materiálu byly dosaženy hodnoty v praxi nereálné. Při výpočtu teoretických otáček průběžného šneku dle rozložení hmotnostního toku ve žlabu bylo dosaženo taktéž výsledků, které neodpovídají tomu, jaké otáčky šneku jsou v praxi používány. Naopak uvedený způsob výpočtu nárůstu hmotnostního toku ve žlabu je zcela regulérní. Důvodem je výpočet objemové hmotnosti slámy (či zrna), z poměru zrna ke slámě nebo MOG-grain poměru. Objemová hmotnost sypkých látek obecně respektuje mezery mezi zrny, póry i dutiny, které sypký materiál obsahuje v momentě stanovení ρ . V případě objemové hmotnosti zrn to jsou takové dutiny nebo mezery mezi zrny, které se vytvoří při nasypání vzorku zrn do skleněné, nebo jiné, nádoby definovaného objemu. A ty jsou velice malé. Když použijeme poměr k_{GS} nebo k_{MG} pro stanovení objemové hmotnosti slámy, pomocí již známé hodnoty objemové hmotnosti zrna, automaticky tím přejímáme



charakteristiky dutin a mezer mezi jednotlivými stébly a klasy podle dutin a mezer mezi zrny, které byly nasypané v nádobě. To, vzhledem k materiálu jakým sláma, včetně klasu obsahující zrna, je, nemůže odpovídat skutečnosti. Z ilustračních důvodů byl do přehledu zařazen i graf na Obr. 27, jenž znázorňuje teoretickou průchodnost žlabem materiálu, jehož objemová hmotnost dopravovaného materiálu je počítána právě na základě poměrů a průchodnost je tedy výrazně vyšší než v praxi, viz. graf na Obr. 25, pšenice A. Řešením je najít jiný způsob výpočtu objemové hmotnosti dopravovaného materiálu, který by jej zohledňoval jako celek (kombinace zrna a slámy).

4.3 TEORIE DOPRAVY MATERIÁLU KONEČNÝCH ROZMĚRŮ

Z předchozí kapitoly vyplynula potřeba lépe popsat dopravovaný materiál, resp. jeho objemovou hmotnost. Zároveň je potřeba určit vzájemnou součinnost pásového a šnekového dopravníku, popř. součinnost mezi rychlostí pásového dopravníku a celé sklízecí mlátičky. Na to výše uvedená teorie neposkytuje odpověď.

Autor se na následujících stránkách pokusil vytvořit vlastní teorii, opírající se o jeho osobní zkušenosti se sklízecími mlátičkami a některými výše uvedenými fyzikálními principy. Snahou bylo především zpřesnění výpočtu výšky vrstvy materiálu na pásových dopravnících a najít způsob, jak lépe popsat vzájemnou spolupráci mezi pásovým a šnekovým dopravníkem. Ve všech případech je materiál, zpracováváný žací lištou, modelován jako diskrétní.

4.3.1 MATERIÁLOVÝ MODEL

V mnoha technických vědách je běžné užívat zjednodušené fyzikální modely, které mají za úkol s určitou přesností popsat reálný děj (materiál, pohyb, chemická reakce, proudění). Obecnou snahou zjednodušeného modelu je vyjádření těch nejdůležitějších vlastností, aby s nimi bylo možné dál pracovat a poskytovaly uspokojivé informace o zkoumaném problému (jevu). S těmito požadavky je nutné přistupovat i k popisu materiálu, který je zpracováván žací lištou.

Veškeré výpočty v předchozí podkapitole ukázaly, že obecná charakteristika pomocí celkového výnosu U_T a zkráceně určované objemové hmotnosti ρ_T , je nedostatečná. Proto byl autorem vytvořen model, zaměřený na popis geometrie pšenice, nebo jiné obiloviny, kde je vrchní část rostliny tvořena klasem. V kapitole 3 byl podán podrobný popis 4 nejčastěji používaných obilovin a na Obr. 16 je vidět zjednodušený náčrt pšenice. Jak je z něho patrné, rostlina pšenice obsahuje 2 hlavní části, stéblo a klas. Stéblo je stlačitelné, ale klas není. Zatím co průměr stébly vyšší než 5 mm je vzácností, klas běžně dosahuje 10 mm a více. Geometrie samotného klasu se liší podle typu obiloviny (pšenice, ječmen, žito) a jednotlivé typy obilovin se mezi sebou liší svými odrůdami. Průměr klasu je závislý na počtu zrn které nese a na jejich geometrii – odklonu osy zrna od osy stébly. Počet zrn v klasu je ovlivněn také povětrnostními podmínkami a výživou rostliny po celou dobu pěstování.

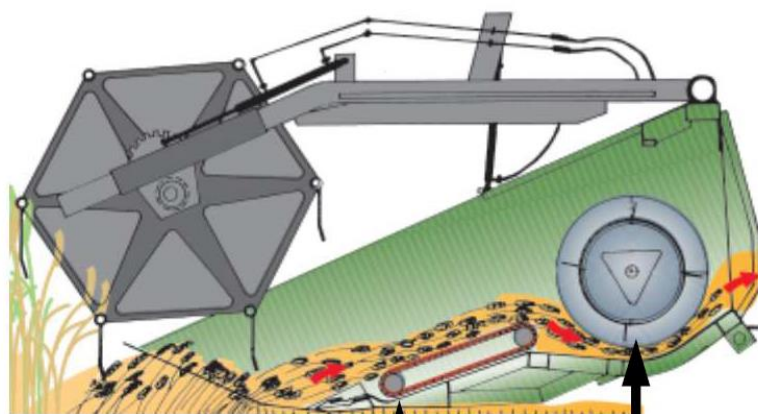
Materiál, zpracováváný žací lištou, má ve své podstatě diskrétní povahu. Nedá se na něj nahlížet jako na kontinuum. Proto byla autorem navržena zjednodušující charakteristika každé rostliny zvlášť. Jednotlivá rostlina je zde aproximována jako plná **tyč**, kde její průměr je určen **průměrem klasu**. Konečným rozměrem, který plně charakterizuje každou sklizenou rostlinu



zvlášť, je zde pouze její průměr klasu, vztažený na celou délku rostliny. To nám do celkové charakteristiky zpracovávaného materiálu umožňuje zahrnout další aspekt, počet produktivních klasů P_{LP} .

4.3.2 IDEÁLNÍ MODEL DOPROVANÉHO MATERIÁLU

Další podmínkou je vytvořit idealizovanou představu přestupu materiálu z pole na pásový dopravník a dopravu materiálu pásovým dopravníkem do průběžného šneku.



Obr. 28 Pohled v řezu na dopravu (tok) materiálu žací lištou typu Power Flow, převzato z [36]

Na Obr. 28 je znázorněno, jak přibližně vypadá doprava rostlin, které byly odděleny kosou od jejich kořenové části. Zároveň je patrné, že pásový dopravník svírá určitý úhel s horizontální rovinou. Ten byl a bude zanedbán. Ve všech výpočtech se tedy jedná o pásový dopravník, jehož poloha je v horizontální rovině.

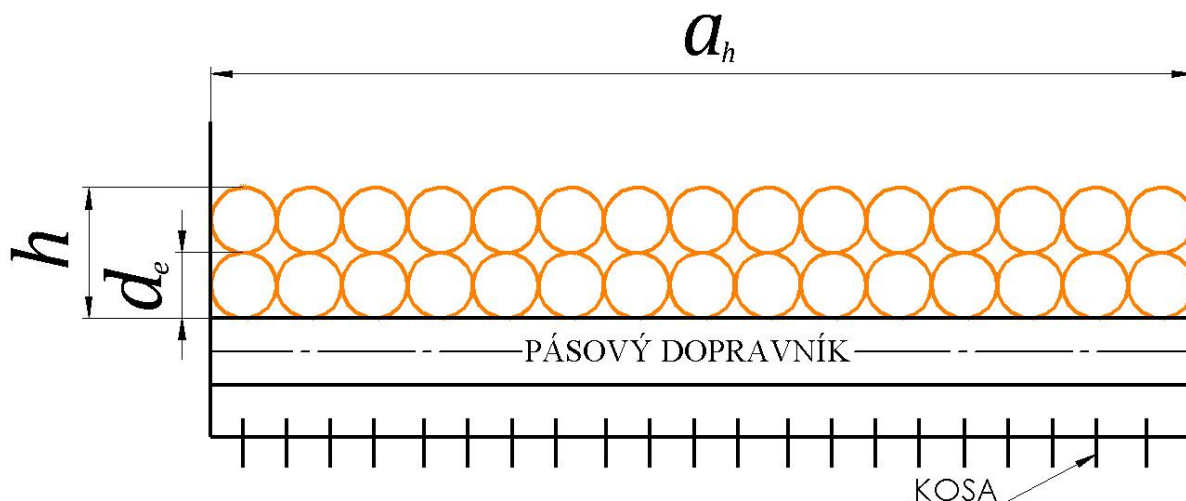
Jestliže prohlásíme vzdálenost mezi kosou a malým průměrem šneku jako a_{CA} , můžeme definovat idealizující podmínky přestupu stébla (klasu) plodiny na dopravní pás a z něho do žlabu průběžného šneku:

1. $(h_{pt} - h_{ct}) < a_{CA}$ - vyhovuje pro většinu porostů pšenic, ječmenů a některé krátko stébelnaté porosty žita, viz. Tab. 3 a 4,
2. stébla (klasy) celé rostliny jsou pokládány na pás tak, jak je znázorněno a na Obr. 28, tzn. že „lehnou“ – jejich vertikální poloha se změní na horizontální, kopírující povrch dopravního pásu,
3. osa dopravovaných stébel (klasů) je rovnoběžná se směrem dopravy materiálu (jízdou sklízecí mlátičky) a je kolmá na osu průběžného šneku (hnacího a hnaného válečku pásového dopravníku),
4. jednotlivé průměry klasů jsou na sebe skládány způsobem, jako je znázorněno na Obr. 29. Má zásadní vliv na použitelnost celé metody, navrhované autorem.

Navrhovaná výpočetní metoda nelze použít např. pro porosty řepky, její fyzická stavba nedovoluje splnit bod 2 a např. pro porost ovsa, jelikož jeho vrchní část (lata) je fyzicky



odlišná od stavby klasu (Obr. 16). Zároveň je použití této metody diskutabilní v případě sklizně porostů travin pro výmlat semene.



Obr. 29 Čelní pohled na zjednodušený náčrtek žací lišty Power Flow s položenými stébly (klasy). Velikost průměru stébla (klasu) je ilustrační

Na Obr. 29 je znázorněna podmínka bodu 4. Průměry stébel jsou zde aproximovány průměry celých klasů a celá rostlina zjednodušena na tvar tyče.

4.3.3 KINEMATICKÝ INDEX PÁSOVÉHO DOPRAVNÍKU

Kinematický index λ je obecně poměr rotačního a translačního pohybu. Obecně se používá u mechanismů, kde změna velikosti jednoho z typů pohybu povede ke změně pohybového obrazce jako celku, což má dopad na provozní charakteristiku daného mechanismu. V praxi se kinematický index používá např. k popisu cykloidy, kterou koná rameno přiháněče viz. [30] a [29], nebo k popisu rotačních žacích strojů (bubnová sekačka), praktická aplikace zde [21].

Aplikaci na pásový dopravník provedl autor opačně, než je zvykem. Vzhledem k následujícím tvarům výpočtů, navrhl autor kinematický index následovně:

$$\lambda_p = \frac{v_c}{v_p} = \frac{v_c}{2 * \pi * R * n_p} \quad [-] \quad (4.21)$$

kde nastávají 3 možnosti: $\lambda_p > 1$, $\lambda_p < 1$ a $\lambda_p = 1$, bude rozvedeno níže.



4.3.4 VÝŠKA VRSTVY MATERIÁLU NA PÁSOVÝCH DOPRAVNÍCÍCH – ODVOZENÍ

Pokud budeme přistupovat k určení výšky vrstvy na základě materiálu, chápaného jako diskretní a po zahrnutí charakteristiky porostu P_{LP} včetně pracovní rychlosti sklízecí mlátičky v_c a obvodové rychlosti dopravního pásu v_p , dostáváme zcela nové možnosti.

Z definice P_{LP} plyne, že se vztahuje na plochu 1 m^2 . Označme tuto plochu S_F , platí:

$$S_F = a_h * b_F \quad [\text{m}^2] \quad (4.22)$$

kde: a_h je konstrukční šířka záběru sklízecí mlátičky (m);
 b_F je dráha (m), kterou je nutné ujet sklízecí mlátičkou k posekání všech klasů na ploše $S_F = 1 \text{ m}^2$.

Mezitím sklízecí mlátička sklízí pracovní rychlostí v_c a za určitou dobu ujede dráhu:

$$s_c = v_c * t_c \quad [\text{m}] \quad (4.23)$$

kde: v_c je pracovní rychlost sklízecí mlátičky ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 t_c čas po který pracuje sklízecí mlátička (s).

Poměr ujeté dráhy a délky, nutné pro 1 m^2 , vyjádříme jako:

$$x_F = \frac{s_c}{b_F}$$

a po vyjádření b_F z rovnice (4.22) a rozepsání, dostáváme:

$$x_F = \frac{v_c * t_c}{\frac{S_F}{a_h}} = \frac{v_c * t_c * a_h}{S_F} \quad [-] \quad (4.24).$$

Abychom dostaly celkový počet posečených klasů Q_{ZR} , je nutné zavést charakteristiku porostu následovně:

$$Q_{ZR} = x_F * P_{LP} = \frac{v_c * t_c * a_h}{S_F} * P_{LP}.$$

Jelikož se vše děje v rámci $S_F = 1 \text{ m}^2$, rovnice přechází na tvar:

$$Q_{ZR} = v_c * t_c * a_h * P_{LP} \quad [-] \quad (4.25).$$

Mezitím je nutné určit počet klasů, které je možné naskládat na pás dopravníku žací lišty tak, aby se netvořily vrstvy, tzn. klasy jsou umístěny pouze vedle sebe. Definujme tento počet jako:

$$d_R = \frac{a_h}{d_e} \quad [-] \quad (4.26)$$

kde: d_e je průměr jednoho klasu.



Počet vrstev Q_L spočítáme:

$$Q_L = \frac{Q_{ZR}}{d_R} = \frac{v_c * t_c * a_h * P_{LP}}{\frac{a_h}{d_e}}$$

a po vykrácení a_h a úpravě dostáváme:

$$Q_L = v_c * t_c * P_{LP} * d_e \quad [-] \quad (4.27).$$

Konečnou výšku materiálu na pásovém dopravníku, dle Obr. 29, dostáváme následovně:

$$h = Q_L * d_e = v_c * t_c * P_{LP} * d_e * d_e$$

kde po roznásobení dostáváme základní tvar:

$$h = v_c * t_c * P_{LP} * d_e^2 \quad [m] \quad (4.28).$$

Rovnice (4.28) počítá s nepohyblivým pásem. Rovnici (4.2), pro obvodovou rychlost hnacího válečku pásu, můžeme rozepsat takto:

$$\frac{s_P}{t_P} = 2 * \pi * R * n_P.$$

Po úpravě zlomku dostáváme:

$$t_P = \frac{s_P}{2 * \pi * R * n_P} \quad [s] \quad (4.29)$$

kde: s_P je délka pásu dopravníku (m);
 t_P je doba běhu pásového dopravníku.

Za podmínky $t_c = t_P$ a po dosazení do rovnice (4.28), přechází na finální tvar:

$$h_a = \frac{v_c * s_P * P_{LP} * d_e^2}{2 * \pi * R * n_P} \quad [m] \quad (4.30).$$

Rovnice (4.30) je konečným navrhovaným tvarem pro výpočet výšky dopravovaného materiálu, zahrnující zároveň rychlost pohybu pásového dopravníku.

Po zohlednění kinematického indexu λ_P můžeme rozlišit 3 stavy:

$\lambda_P > 1$ dojde ke zvýšení výšky dopravovaného materiálu na pásech - platí rovnice (4.30);

$\lambda_P < 1$ dojde ke snížení výšky dopravovaného materiálu na pásech - platí rovnice (4.30);

$\lambda_P = 1$ rychlost sklízecí mlátičky je v rovnováze s obvodovou rychlostí hnacího válečku pásového dopravníku, výška materiálu na pásech je dána jeho geometrickou charakteristikou a rovnice (4.30) přechází na tvar:

$$h_b = s_P * P_{LP} * d_e^2 \quad [m] \quad (4.31).$$



4.3.5 HMO TNOSTNÍ PRŮTOK MATERIÁLU KONEČNÝCH ROZMĚRU

Struktura odvození až po finální rovnici (4.30) je podána tak, že v sobě zahrnuje vliv posuvu materiálu páso vým dopravníkem. Základní obecná rovnice hmotnostního průtoku pásového dopravníku (4.1) v sobě přirozeně taktéž obsahuje vliv posuvu materiálu. Proto je nutné pro všechna následná odvození hmotnostního průtoku použít rovnici (4.31). Jak bude následně ukázáno, tento přístup je v pořádku. Ze vzájemné rovnosti hmotnostních průtoků plyne, podmínka (4.16), že změna objemové hmotnosti materiálu na pásech, se mění se změnou obvodové rychlosti pásového dopravníku, nebo se změnou pracovní rychlosti celé žací lišty (sklízecí mlátičky). Po dosazení rovnice (4.31) do (4.1) dostáváme:

$$Q_{Pa} = a_h * v_p * s_p * P_{LP} * d_e^2 * \rho_{Pa}.$$

Po rozepsání v_p dostáváme:

$$Q_{Pa} = a_h * 2 * \pi * R * n_p * s_p * P_{LP} * d_e^2 * \rho_{Pa} \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (4.32)$$

pro $\lambda_p \leq 1$ a

$$Q_{Pb} = a_h * v_c * s_p * P_{LP} * d_e^2 * \rho_{Pb} \quad [\text{kg.s}^{-1}] \quad (4.33)$$

pro $\lambda_p = 1$.

4.3.6 AKTUÁLNÍ OBJEMOVÁ HMO TNOST NA PÁSOVÝCH DOPRAVNÍCÍCH

Vycházíme z rovnosti (4.17), kterou můžeme, s pomocí rovnice (4.32), přepsat následovně:

$$Q_{Pa} = Q_1 \quad (4.34).$$

Rozepsáním dostáváme:

$$a_h * v_p * s_p * P_{LP} * d_e^2 * \rho_{Pa} = a_h * v_c * U_T.$$

Po vykrácení a_h a jednoduché úpravě:

$$\rho_{Pa} = \frac{v_c * U_T}{v_p * s_p * P_{LP} * d_e^2}$$

kde po rozepsání členu v_p dostáváme finální tvar objemové hmotností pro $\lambda_p \leq 1$:

$$\rho_{Pa} = \frac{v_c * U_T}{2 * \pi * R * n_p * s_p * P_{LP} * d_e^2} \quad [\text{kg.m}^{-3}] \quad (4.34).$$

Pro $\lambda_p = 1$ se rovnice zjednoduší na:

$$\rho_{Pb} = \frac{U_T}{s_p * P_{LP} * d_e^2} \quad [\text{kg.m}^{-3}] \quad (4.35).$$



Rovnice (4.34) a (4.35) umožní přiřadit ideálnímu modelu materiálu reálnou charakteristiku, výnos U_T . Propojují, jinak matematicky nezávislé, hodnoty výnosu U_T , počet produktivních klasů na ploše 1 m^2 , P_{LP} a průměr stébla d_e . Jak bude vidět níže, právě toto nám pomůže výrazně zpřesnit výpočet teoretických otáček průběžného šneku.

4.3.7 TEORETICKÉ OTÁČKY PRŮBĚŽNÉHO ŠNEKU

Dle podmínky (4.16) máme 2 možnosti:

$$Q_{Aa} = Q_1 \quad (4.36),$$

$$Q_{Aa} = Q_{Pa} \quad (4.37).$$

Odvození bude provedeno pro $\lambda_p \leq 1$, pro $\lambda_p = 1$ je stejné. Objemová hmotnost, vstupující do žlabu šneku, je taková, která vznikla na dopravních pásech. Její změna, na základě rozdílů rychlosti v_c a v_p viz rovnice (4.34), zajišťuje stejný hmotnostní průtok žlabem šneku, jako je na pásovéch dopravnících a v oblasti kosy (průtok Q_1).

PRVNÍ MOŽNOST

Po rozepsání podmínky (4.36) dostáváme:

$$\frac{\pi * (D_A^2 - d_A^2)}{4} * \psi * s_A * n_A * \rho_{Pa} = a_h * v_c * U_T$$

a doplněním objemové hmotnosti:

$$\frac{\pi * (D_A^2 - d_A^2)}{4} * \psi * s_A * n_A * \frac{v_c * U_T}{2 * \pi * R * n_p * s_p * P_{LP} * d_e^2} = a_h * v_c * U_T.$$

Po vykrácení U_T a v_c a úpravě zlomku dostáváme:

$$n_A = \frac{a_h * 8 * \pi * R * n_p * s_p * P_{LP} * d_e^2}{\pi * (D_A^2 - d_A^2) * \psi * s_A} \quad [s^{-1}] \quad (4.38).$$

DRUHÁ MOŽNOST

Založena na podmínce (4.37):

$$\frac{\pi * (D_A^2 - d_A^2)}{4} * \psi * s_A * n_A * \rho_{Pa} = a_h * 2 * \pi * R * n_p * s_p * P_{LP} * d_e^2 * \rho_{Pa}$$

a doplněním objemových hmotností na obou stranách:



$$\frac{\pi * (D_A^2 - d_A^2)}{4} * \psi * s_A * n_A * \frac{v_c * U_T}{2 * \pi * R * n_P * s_P * P_{LP} * d_e^2}$$

$$= a_h * 2 * \pi * R * n_P * s_P * P_{LP} * d_e^2 * \frac{v_c * U_T}{2 * \pi * R * n_P * s_P * P_{LP} * d_e^2}.$$

Po vykrácení ρ_{Pa} a úpravou zlomku dostáváme opět stejný výraz:

$$n_A = \frac{a_h * 8 * \pi * R * n_P * s_P * P_{LP} * d_e^2}{\pi * (D_A^2 - d_A^2) * \psi * s_A} \quad [s^{-1}] \quad (4.38).$$

Tvar (4.38) je odvozen pro $\lambda_P \leq 1$. Pro $\lambda_P = 1$ rovnice přechází na tvar:

$$n_A = \frac{a_h * 4 * v_c * s_P * P_{LP} * d_e^2}{\pi * (D_A^2 - d_A^2) * \psi * s_A} \quad [s^{-1}] \quad (4.39),$$

odvození je stejné.

Idealizovaný model, aplikován na průběžný šnek, nám říká, že otáčky šneku přímo nezávisí na hmotnostním výnosu z pole U_T , ani na objemové hmotnosti. Naopak jsou přímo závislé na průměru klasu a jeho koncentraci v rámci 1 m^2 . To znamená, že otáčky šneku jsou přímo závislé na geometrických vlastnostech jednotlivých rostlin.

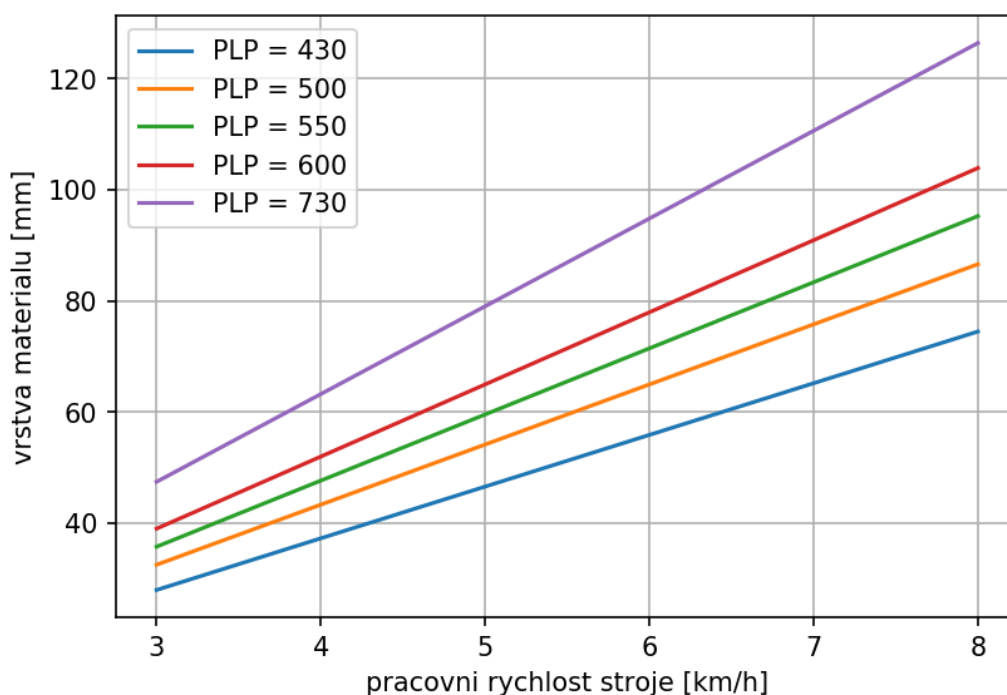
4.4 PRAKTICKÁ APLIKACE TEORIE KONEČNÝCH ROZMĚRŮ

Praktická aplikace výše uvedené teorie je provedena na sériové žací liště PF 35. Pracovní otáčky hnacího válečku, dle Tab. P3 (příloha A), $n_P = 313 \text{ min}^{-1} = 5,217 \text{ s}^{-1}$. Délka pásového dopravníku $s_P = 0,628 \text{ m}$, dle Tab. P3 (příloha A). Celková rychlost žací lišty (sklízecí mlátičky) $v_c = 3 \div 8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 0,833 \div 2,222 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Průměr klasu $d_e = 12,59 \text{ mm}$ (dle fyzické předlohy).

4.4.1 VÝŠKA VRSTVY NA PÁSOVÉM DOPRAVNÍKŮ

Aplikace vzorce (4.30). Hodnoty vypočteny pro 5 druhů porostu: $P_{LP} = 420, 500, 550, 600$ a 730 . Graf na Obr. 30 byl generován programem `tlmat-n.py`, viz příloha B.

Vrstva materiálu, počítaná podle nové teorie, je podstatně vyšší než v předchozím případě, Obr. 23 a 24. Je těžké odpovědět, do jaké míry se přesně shoduje s reálnými podmínkami, nicméně výsledky se, dle zkušeností autora, blíží reálným podmínkám více, než v předchozím případě. Ověřování výše uvedeného modelu bude provedeno v letošní sklizňové sezóně, při testech prototypu PF 40.



Obr. 30 Změna výšky vrstvy dopravovaného materiálu podle nové teorie

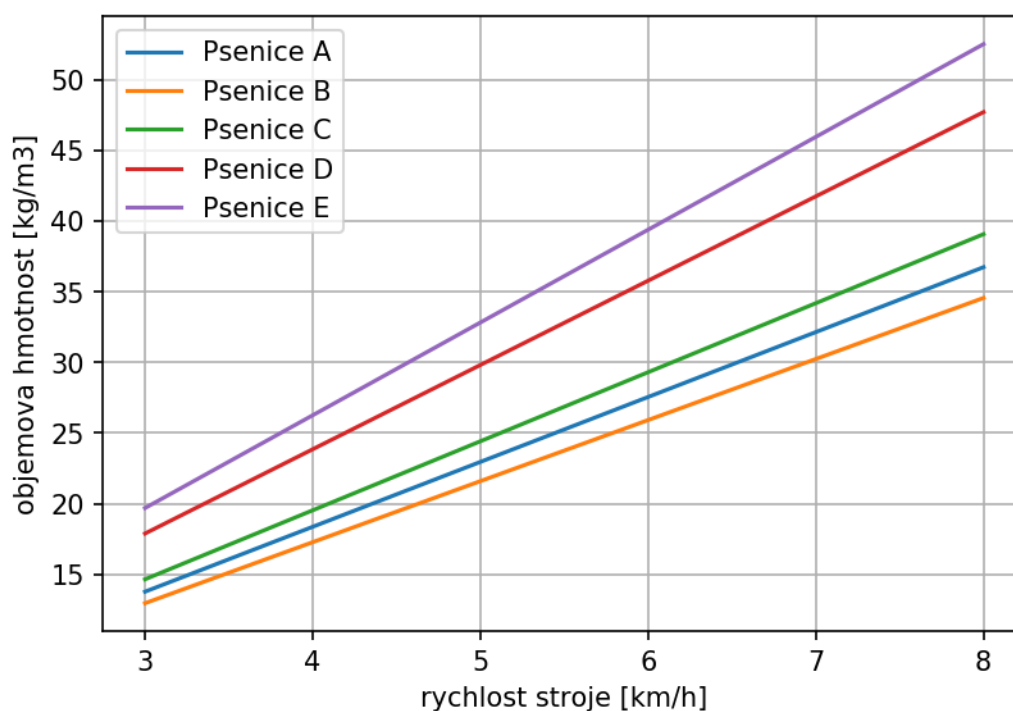
4.4.2 OBJEMOVÁ HMOTNOST

Praktická aplikace rovnice (4.34), pro kterou byla vytvořena sada 5 charakteristik plodin. Graf vygenerován programem `obj-hmot.py`, viz. příloha B.

Tab. 8 Charakteristika 5 plodin pšenice, založených na reálném podkladě

Pšenice A	$P_{LP} = 430$	$k_{MG} = 0,81$	$m_g = 5 \text{ t.ha}^{-1}$
Pšenice B	$P_{LP} = 500$	$k_{MG} = 1,2$	$m_g = 4,5 \text{ t.ha}^{-1}$
Pšenice C	$P_{LP} = 550$	$k_{MG} = 0,71$	$m_g = 7,2 \text{ t.ha}^{-1}$
Pšenice D	$P_{LP} = 600$	$k_{MG} = 1$	$m_g = 8,2 \text{ t.ha}^{-1}$
Pšenice E	$P_{LP} = 730$	$k_{MG} = 0,91$	$m_g = 11,5 \text{ t.ha}^{-1}$

Dosažené hodnoty v grafu na Obr. 31 jsou opravdu zajímavé. Pokud vypočtené hodnoty porovnáme s naměřenými dle Tab. 6, zjistíme, že se pohybují v rozsahu naměřených hodnot: sláma suchá v řádku, sláma vlhká v řádku, sláma suchá pořezaná ve velkoobjemovém návěsu, sláma po uložení, sláma suchá řezaná a částečně, sláma ve sběracím návěsu.

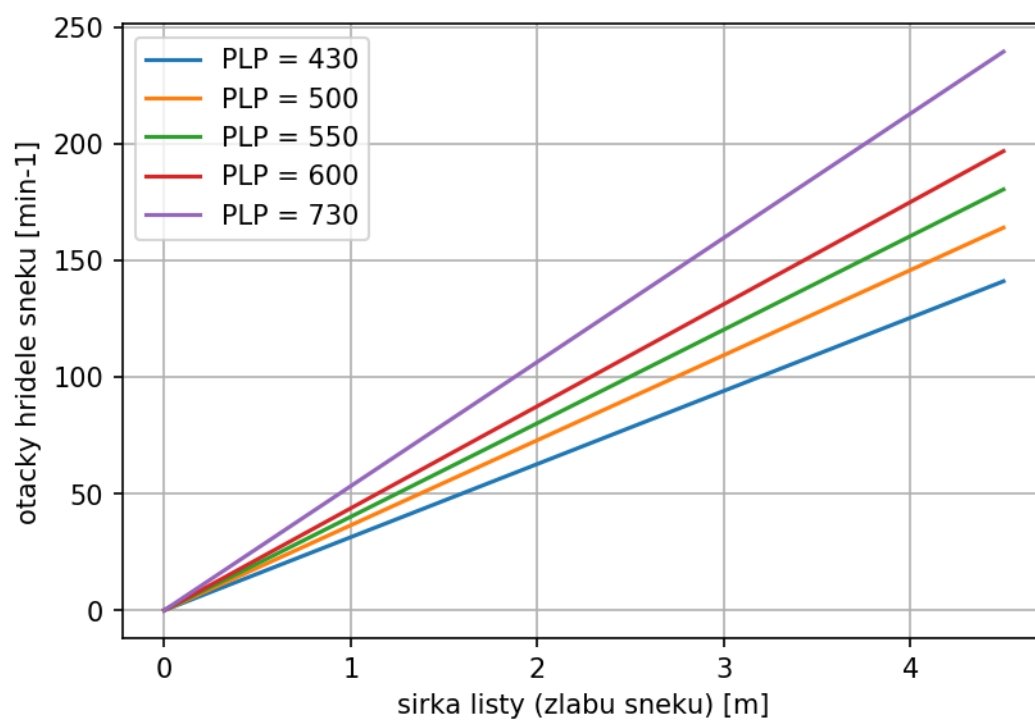


Obr. 31 Teoretická objemová hmotnost, dosahovaná na pásovém dopravníku žací lišty PF 35 v 5 různých sklizňových podmínkách

4.4.3 TEORETICKÉ OTÁČKY ŠNEKU

Praktická aplikace rovnice (4.38). Lišta je konstruována pro šikmý dopravník (mláticí mechanismus) šířky 1,6 m, to znamená 4,5 m délky žlabu od každého kraje žací lišty – hodnota $a_h = 0 \div 4,5$ m. Koeficient zaplnění průřezu $\psi = 0,3985$, stoupání šneku $s_A = 0,82$ m. Rozsah P_{LP} je stejný, jako v předchozím případě. Graf vygenerován programem `ot.hridel-n.py`, viz příloha B.

Na výsledcích grafu na Obr. 32 je vidět největší přínos navrhované teorie. Při porovnání výsledků rešerše v Tab. P2 (příloha A) a vypočtených hodnot, pokrývá rozsah maximálních otáček (na šířce 4,5 m) rozmezí hodnot, zjištěných v praxi.



Obr. 32 Teoretický vzrůst otáček hřídele průběžného šneku, podle přírůstku hmotnostního průtoku ve žlabu šneku. Pro lepší ilustraci, otáčky vynášeny v $[min^{-1}]$



5 ŽACÍ LIŠTA PF 40

Typ PF 40 je prototyp žací lišty typu Power Flow o záběru 12 m, vyvíjen od roku 2016. Konstrukčně je shodná s typy PF 30 a PF 35. Oproti nim má však dělený průběžný šnek a přiháněč. Tento konstrukční rys je obvyklý i pro ostatní výrobce žacích lišt, kde konstrukční záběr přesahuje 9 m. Důvodem je zachování tuhosti, která by v opačném případě vyžadovala masivní konstrukci a neúměrně by mohla navýšit váhu těchto mechanismů (průběžný šnek, přiháněč). Podstatné je, že geometrie pásového a šnekového dopravníku, včetně žlabu šneku, jsou shodné. Což umožňuje aplikovat výše uvedenou teorii k počáteční analýze dopravy (proudění) sklizených plodin.

5.1 ANALÝZA TOKU HMOTY

Pro zjištění základních charakteristik dopravy hmoty můžeme s úspěchem využít výše uvedenou teorii, týkající se výšky vrstvy na pásech, hmotnostního toku a teoretické rychlosti hřídele průběžného šneku.

5.1.1 URČENÍ VÝŠKY VRSTVY MATERIÁLU NA PÁSOVÉM DOPRAVNÍKU

Aktuální výška vrstvy materiálu závisí, vedle charakteristiky porostu, na momentální obvodové rychlosti pásového dopravníku a rychlosti celé žací lišty (sklízecí mlátičky). Nicméně jak je z rovnice (4.30) patrné, je nezávislá na konstrukčním záběru žací lišty. Vzrůst hladiny dopravovaného materiálu se proto bude řídit dle Obr. 30.

5.1.2 URČENÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI MATERIÁLU NA PÁSOVÝCH DOPRAVNÍCÍCH

Objemová hmotnost materiálu, který prochází pásovými dopravníky, má silnou závislost na celkovém výnosu plodiny z pole, U_T . Vedle toho také na geometrických vlastnostech sklizené plodiny a pracovních rychlostech pásového dopravníku a celého stroje. Jak ale plyne z rovnice (4.34), objemová hmotnost není závislá na konstrukční šířce žací lišty. Vzrůst nebo pokles objemové hmotnosti se bude řídit dle Obr. 31.

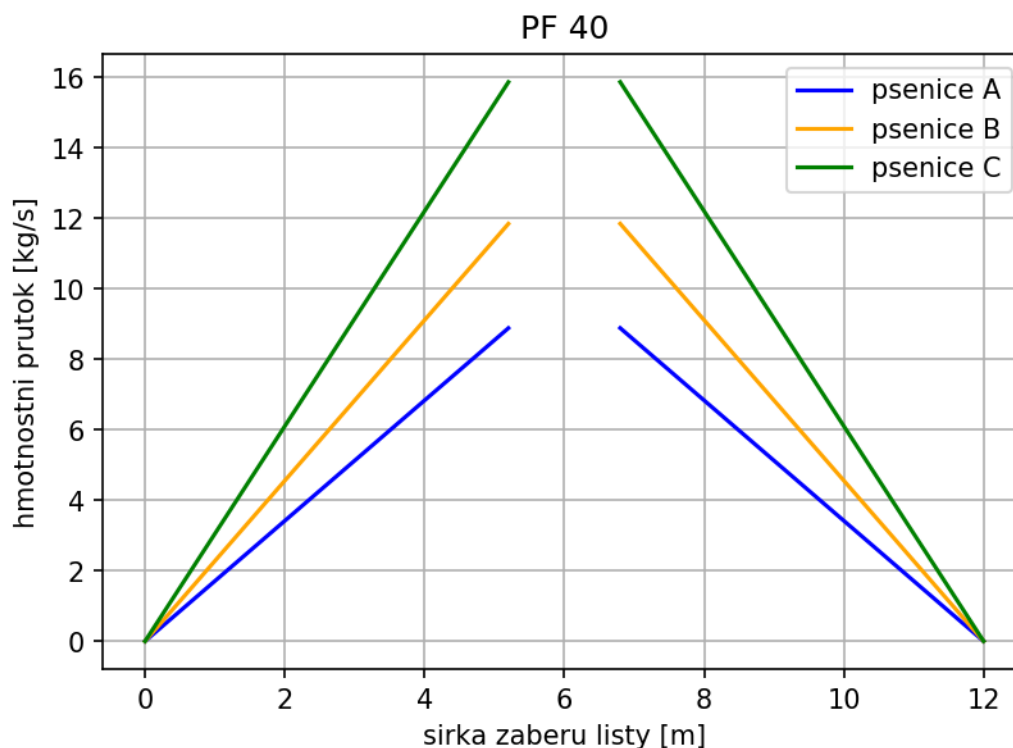
5.1.3 ROZLOŽENÍ HMOTNOSTNÍHO TOKU VE ŽLABU ŠNEKU

Provedeno programem `rozl-hmot.py`, viz. příloha B, což je praktická aplikace vzorce (3.4) ve formě, v jaké byl použit v kapitole 4.2.2. Jelikož je typ PF 40 konstruován pro šikmý dopravník šířky 1,6 m, znamená to 5,2 m délky žlabu od každého kraje žací lišty. Člen a_h tedy nabývá pouze délky jedné šnekovice, tzn. rozmezí $0 \div 5,2$ m. Výpočty provedeny pro konstantní pracovní rychlost $v_c = 5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 1,39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Výsledky v grafu na Obr. 33.



Parametry pšenice:

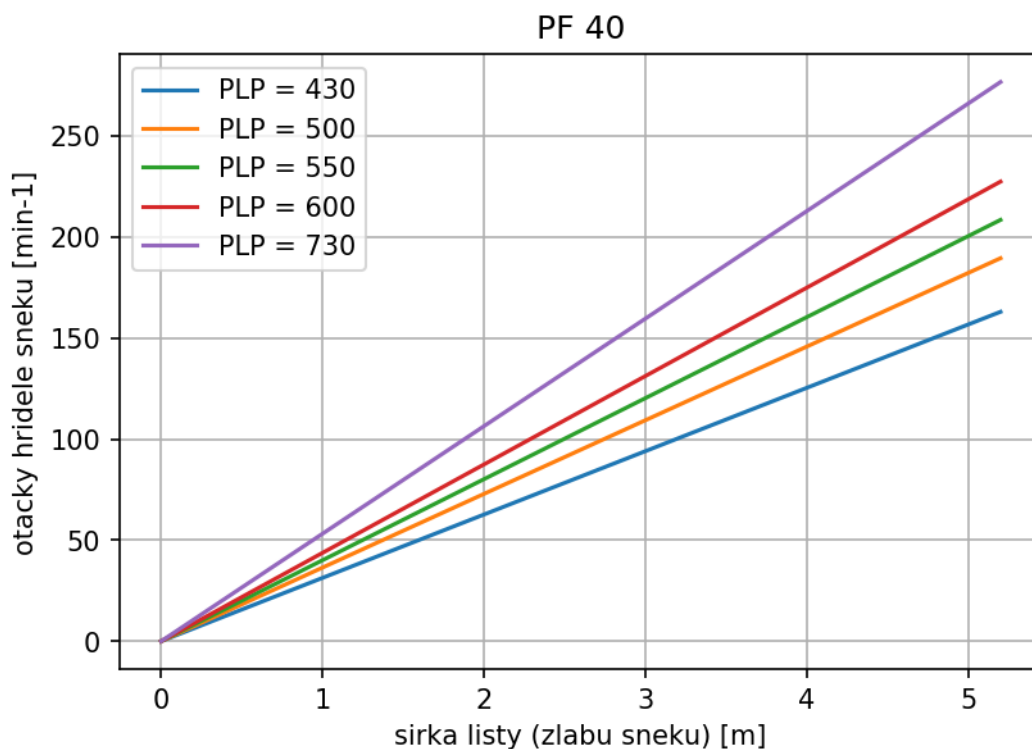
Pšenice A	$k_{MG} = 0,71$	$m_g = 7,2 \text{ t.ha}^{-1}$
Pšenice B	$k_{MG} = 1$	$m_g = 8,2 \text{ t.ha}^{-1}$
Pšenice C	$k_{MG} = 0,91$	$m_g = 11,5 \text{ t.ha}^{-1}$



Obr. 33 Rozložení hmotnostního průtok ve žlabu průběžného šneku, prototypu žací lišty PF 40

5.1.4 TEORETICKÁ RYCHLOST HŘÍDELE PRŮBĚŽNÉHO ŠNEKU

Praktická aplikace rovnice (4.38). Lišta je konstruována pro šikmý dopravník (mlátící mechanismus) šířky 1,6 m, to znamená 5,2 m délky žlabu od každého kraje žací lišty – hodnota $a_h = 0 \div 5,2$ m. Koeficient zaplnění průřezu $\psi = 0,3985$ a stoupání šneku $s_A = 0,82$ m je stejné, jako u sériového provedení PF30/35. Rozsah P_{LP} je stejný, jako v předchozím případě kapitoly 4.4.3. Graf vygenerován programem `ot.hridel-n.py`, viz příloha B, s modifikovanou proměnnou a_h . Výsledky v grafu na Obr. 34.



Obr. 34 Teoretický vzrůst otáček hřídele šneku prototypu žací lišty PF 40

Jednoduchou úpravou programu `ot.hridel-n.py`, dostáváme maximální a minimální teoretické otáčky hřídele šneku, tzn. $n_{Amax} = 276,67 \text{ min}^{-1}$ pro $P_{LP} = 730$ a $n_{Amin} = 162,97 \text{ min}^{-1}$ pro $P_{LP} = 430$.

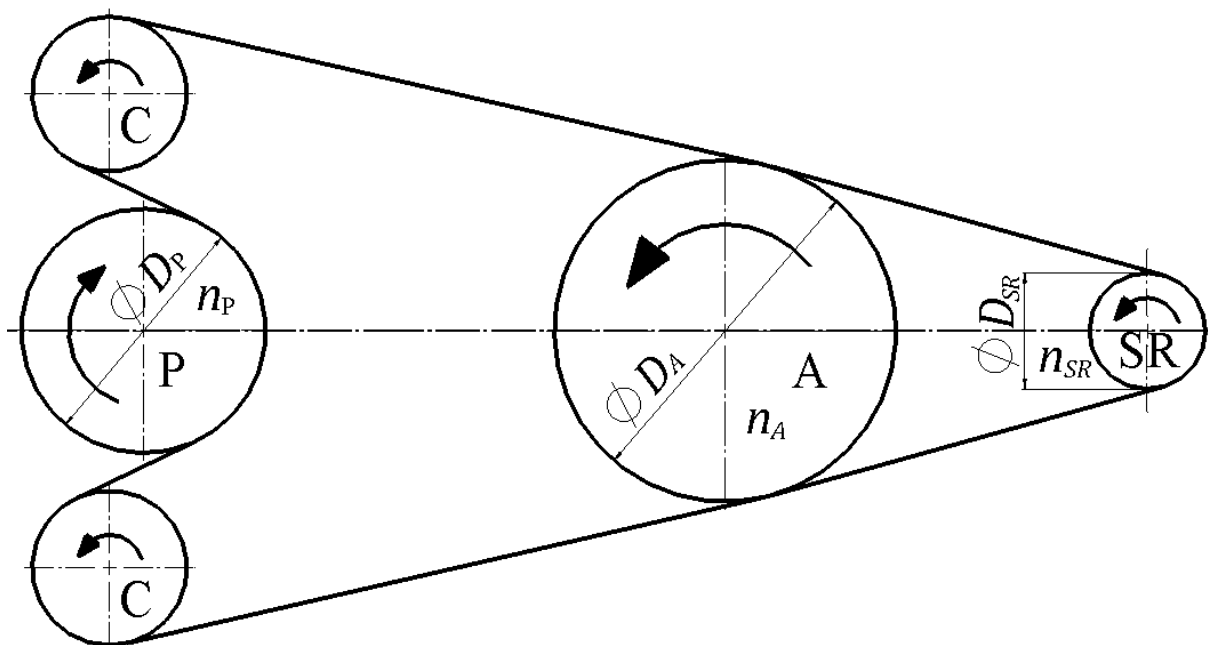
5.2 NÁVRH POHONU PÁSOVÉHO DOPRAVNÍKU A PRŮBĚŽNÉHO ŠNEKU

Pro návrh odpovídajícího rozmezí pracovních rychlostí pásového dopravníku a průběžného šneku máme v podstatě 3 možnosti, které se od sebe liší volbou konstant. Ve všech rovnicích je velice důležitý součin P_{LP} a d_e , jakožto základní charakteristika sklizeného porostu. Dále můžeme volit tyto konstanty:

- konstantní výška dopravovaného porostu na pásech h_a – úpravou rovnice (4.30) dostáváme závislost rychlosti pásového dopravníku na rychlosti celé žací lišty (sklízecí mlátičky),
- konstantní objemová hmotnost na pásech ρ_{Pa} – úpravou rovnice (4.34) dostáváme závislost rychlosti pásového dopravníku na rychlosti celé žací lišty (sklízecí mlátičky) a také výnosu porostu U_T ,
- konstantní rychlost průběžného šneku n_A – úpravou rovnice (4.38) dostáváme vzájemnou závislost rychlosti šneku a pásového dopravníku

Zvolen přístup c) jelikož průběžný šnek je v podstatě úzkým hrdlem celé žací lišty a na jeho rychlosti a geometrii velice závisí plynulý tok sklizené hmoty. Tento přístup nám také umožní stanovit dokonce optimální poměr pracovních rychlostí mezi šnekem a pásovým dopravníkem v závislosti na parametrech sklizené plodiny.

Na základě přístupu c) můžeme s úspěchem navrhnout teoretické geometrické rozměry pohonných mechanismů, jak bude ukázáno níže. Vše je ale závislé na typu pohonného ústrojí celé žací lišty. Pohonné ústrojí je zde řešeno pouze teoreticky, praktické řešení na liště PF 40 se může lišit. Autor tak reaguje na situaci, kdy ještě není úplně jasné přesné složení transmisních převodů a jejich vzájemné polohy v prototypu PF 40.



Obr. 35 Návrh řešení pohonu průběžného šneku a pásového dopravníku, pro levou stranu žací lišty (z pohledu obsluhy sklízecí mlátičky)

Teoretický návrh pohonu je na Obr. 35 a skládá se z řemenice SR, která je napojena na kardanovou hřídel sklízecí mlátičky a slouží jako zdroj otáčení. Řemenice A je hřídelí spojena s průběžným šnekem a je dvojítá. Řemenice P je spojena hřídelí s hnacím válečkem pásových dopravníků. Směr otáčení těchto válečků si vynutil zařazení napínacích kladek C, kvůli vyvození provozního tahu řemene. Finální pozice všech řemenic se může v praxi lišit, důležité je však zachovat funkčnost podpěrných kladek C a změnu otáčení řemenice P.

5.2.1 VÝPOČET PŘEVODOVÉHO POMĚRU

Vzhledem k návrhu na Obr. 35 a přístupu c) je nutné znát vstupní otáčky n_{SR} a průměr hnací řemenice D_{SR} . Vzhledem k rovnici (4.38) je taktéž nutné znát otáčky průběžného šneku n_A . Za předpokladu že řemenice A je dvojítá, můžeme dle [33] napsat celkem dva převodové poměry:

$$i_{SRA} = \frac{n_{SR}}{n_A} = \frac{D_A}{D_{SR}} \quad [-] \quad (4.40),$$

$$i_{AP} = \frac{n_A}{n_P} = \frac{D_P}{D_A} \quad [-] \quad (4.41),$$



kde: i_{SRA} značí převodový poměr mezi řemenicí kardanového hřídele sklízecí mlátičky (zdroje otáčení) a řemenicí průběžného šneku,
 n_{SR} otáčky řemenice kardanového hřídele sklízecí mlátičky (zdroje otáčení) (s^{-1}),
 n_A otáčky řemenice průběžného šneku (s^{-1}) nebo (min^{-1}),
 D_A průměr řemenice průběžného šneku (mm),
 i_{AP} značí převodový poměr mezi řemenicí průběžného šneku a hnacích válečků pásového dopravníku,
 n_P otáčky řemenice hnacích válečků pásového dopravníku, (s^{-1}) nebo (min^{-1}),
 D_P průměr řemenice hnacích válečků pásového dopravníku (mm).

Parametry vstupu: $n_{SR} = 622 \text{ min}^{-1}$ a $D_{SR} = 114,2 \text{ mm}$ – odpovídá sériovým typům PF 30/35. Vzhledem ke grafu na Obr. 34 bylo zvoleno rozmezí otáček průběžného šneku $n_A = 150 \div 250$, které je technicky realizovatelné.

5.2.2 NÁVRH PŘEVODOVÉHO POMĚRU MEZI PÁSOVÝM A ŠNEKOVÝM DOPRAVNÍKEM

Zde můžeme s úspěchem použít rovnici (4.38), která po jednoduché úpravě zlomku přechází na tvar:

$$\frac{n_A}{n_P} = \frac{a_h * 8 * \pi * R * s_P * P_{LP} * d_e^2}{\pi * (D_A^2 - d_A^2) * \psi * s_A}.$$

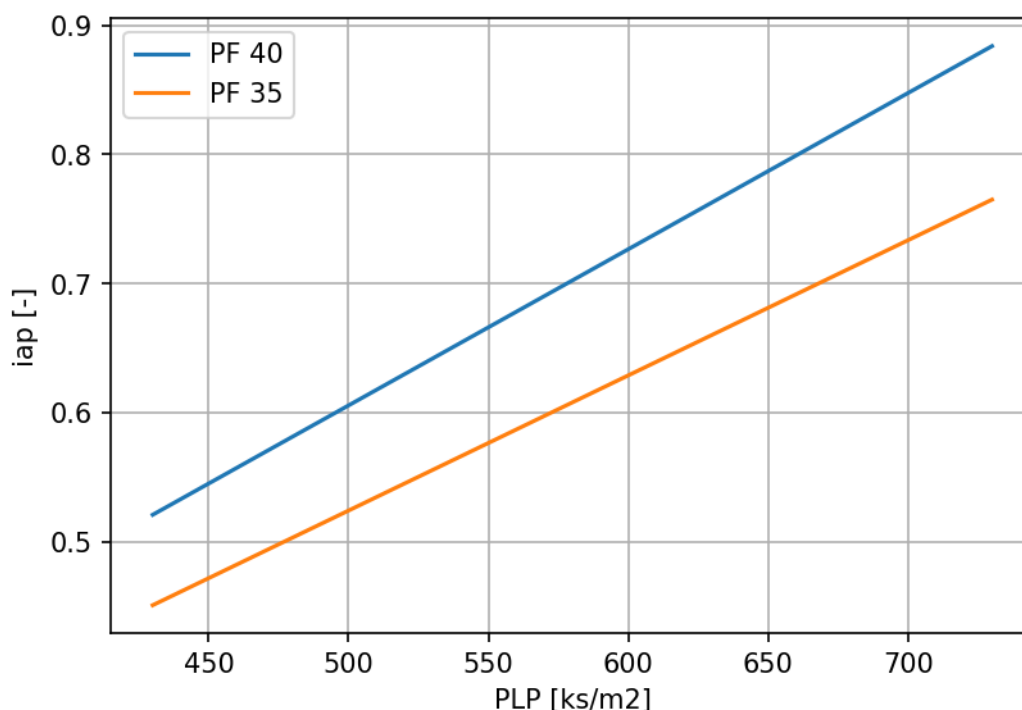
Při porovnání s rovnicí (4.41) můžeme přímo psát:

$$i_{AP} = \frac{a_h * 8 * \pi * R * s_P * P_{LP} * d_e^2}{\pi * (D_A^2 - d_A^2) * \psi * s_A} \quad [-] \quad (4.42).$$

Tím dostáváme přímou závislost převodového poměru mezi šnekovým a pásovým dopravníkem na parametrech pásu, geometrii a parametrech šneku a na geometrických vlastnostech sklízené plodiny.

Tato závislost je znázorněna v grafu na Obr. 36 programem `prev-pomer.py` (viz příloha B), jak pro prototyp PF 40, tak i pro sériové provedení PF 35 konstrukčního záběru 10,6 m. Jak je z grafu patrné, rozsah převodového poměru žací lišty PF 35 je nižší než u typu PF 40. To má za následek vyšší pracovní rychlost pásových dopravníků typu PF 35 než u typu PF 40 – vzhledem ke stejnému hmotnostnímu průtoku je zde respektováno zvýšené zatížení průběžného šneku.

Pro další výpočty voleno $P_{LP} = 600 \text{ tzn.}$ $i_{AP} = 0,726$.



Obr. 36 Závislost převodového poměru i_{AP} na počtu produktivních klasů, za předpokladu konstantního průměru klasu

5.2.3 PŘEVODOVÝ POMĚR MEZI POHONEM ŠNEKOVÉHO DOPRAVNÍKU A ZDROJEM OTÁČENÍ

Požadované změny rychlosti otáčení pásového dopravníku a průběžného šneku může být dosaženo konstrukcí kola řemenice s variabilní změnou úlové rychlosti, tzv. mechanickým variátorem. Pokud ne, je nutné navrhnout spojení mezi příslušnou hřídelí a řemenicí jako rozebíratelné a spočítat průměry řemenic, které náleží jednotlivým pracovním rychlostem (převodovým poměrům). S využitím rovnic (4.40) až (4.42) a volbou rozmezí otáček průběžného šneku ($150 \div 250 \text{ min}^{-1}$), bylo propočteno 6 provozních rychlostí a k tomu odpovídající rozměry řemenic. Vycházelo se z předpokladu, že průměr D_{SR} zdrojové řemenice je konstantní. Konečné výsledky jsou uvedeny v Tab. 9.

Tab. 9 Koncové výsledky provozních rychlostí pásového a šnekového dopravníku, včetně odpovídajících teoretických průměrů hnacích řemenic. Platí pro $P_{LP} = 600$ a $d_e = 12,59 \text{ mm}$

č.	n_A [min ⁻¹]	n_P [min ⁻¹]	i_{SRA} [-]	D_A [mm]	i_{AP} [-]	D_P [mm]
1	150	206,5	4,147	473,59	0,726	343,83
2	170	234,02	3,659	417,86	0,726	303,37
3	190	261,55	3,274	373,89	0,726	271,44
4	210	289,08	2,962	338,26	0,726	245,58
5	230	316,60	2,704	308,8	0,726	224,19
6	250	344,13	2,488	284,13	0,726	206,28



ZÁVĚR

Diplomová práce se skládá celkem z pěti kapitol. První kapitola popisuje obecnou funkci žacích lišt a je zde uvedeno jejich uspořádání podle hlavních konstrukčních rysů jednotlivých typů žací lišt.

Druhá kapitola popisuje, jak mohou faktory toku hmoty z žací lišty do šikmého dopravníku, ovlivnit vlastní výmlat a čištění materiálu sklizené plodiny. Zároveň je zde zařazena rešerše žacích lišt konkurenčních výrobců, jejichž výsledky jsou popsány na stranách 23 – 25.

Třetí kapitola blíže pojednává o dopravovaném materiálu v žacích lištách. Je zde uveden detailní geometrický popis sklizených plodin, s ohledem na 4 hlavní druhy zpracovávaných obilovin.

Čtvrtá kapitola je hlavní náplní této diplomové práce. Reaguje na hlavní požadavek zadavatele, jehož cílem měl být návrh změn, zlepšujících tok sklizené plodiny žací lištou typu Power Flow. Zároveň však ze strany zadavatele bylo jasné omezení v možnostech provádět zásadní konstrukční změny. V podstatě žádné změny povoleny nebyly. To znamená, že autor této diplomové práce se musel soustředit na tzv. optimalizaci stávajícího konstrukčního řešení, založeného na sériových typech PF 30/35. Během teoretického rozboru proudění (dopravy) sklizeného materiálu žací lištou typu Power Flow bylo dosaženo těchto zjištění:

- Stávající modely výpočtu hmotnostního průtoku (průchodnosti), aplikované na konkrétní případy pásového a šnekového dopravníku tak, jak jsou řešeny v lištách Power Flow, **jsou použitelné**, ale s nutnými úpravami, které lépe popisují dopravovaný materiál a geometrii pracovních orgánů.
- Určení objemové hmotnosti se ukázalo jako klíčové při popisu dopravovaného materiálu. Vedle existujících jednotlivých výzkumů však neexistuje konkrétní způsob, jak toto řešit početně. První navrhovaný způsob autorem, na základě poměru zrna ke slámě nebo MOG-grain poměru, se ukázal jako **nevhodný**, jelikož přejímá charakteristiky partikulárního materiálu ve formě zrna, měřeného v odběrných nádobách.

Z výše uvedených důvodů byl, ve druhé části čtvrté kapitoly, uveden teoretický návrh výpočtového modelu, který popisuje rostliny plodiny na žací liště zjednodušeně jako **tyč**, definovaného průměru. Tyto úvahy umožňují:

- Zpřesnění výpočtu objemové hmotnosti, která se aktuálně nachází na dopravních pásech a aktuálně vstupuje do žlabu průběžného šneku,
- zpřesnění výpočtu výšky, kterou dosahuje vrstva materiálu na dopravních pásech, dle geometrické charakteristiky sklizené plodiny a pracovních rychlostí pohonu pásového dopravníku a celé žací lišty (sklízecí mlátičky),
- zpřesnění výpočtu teoretických otáček průběžného šneku. Tato teorie poukázala na vysokou závislost rychlosti šneku na vlastní geometrii sklizené plodiny d_e a charakteristice porostu P_{LP} . Jak bylo ukázáno v následující kapitole, je tu zohledněn i vliv otáček pásového dopravníku.

Některé výsledky této teorie (výška vrstvy dopravovaného materiálu) budou ověřovány v praxi ve žních sezóny 2017 na prototypu lišty PF 40, v agregaci se sériovou sklízecí



mlátičkou Massey Ferguson Delta 9380 a taktéž v agregaci s druhou generací prototypů nově připravovaných sklízecích mlátiček Opus CL 9.

Pátá kapitola je pak praktickou aplikací výše uvedené teorie, při návrhu optimálních rozsahů pracovních rychlostí pásového dopravníku a průběžného šneku. S využitím této teorie, aplikované na průběžný šnek, byl ukázán také možný způsob stanovení převodového poměru mezi pracovní rychlostí průběžného šneku a hnacího válečku pásového dopravníku. Při vhodném zvolení rychlostních rozsahů otáčení průběžného šneku, dle předchozích výpočtů v kap. 5.1, byl proveden návrhový výpočet hnacích mechanismů celé soustavy: zdroj otáčení – průběžný šnek - pásový dopravník.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] AHMED, Sallam, Hamed EL-SAYED, Hashad MERVAT a Omara MOHAMED. Inheritance of stem diameter and its relationship to heat and drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.): Full Length Research Paper. *Journal of Plant Breeding and Crop Science* [online]. 2014, 6(1), 11-23 [cit. 2017-05-24]. DOI: 10.5897/JPBCS11.017. ISBN 10.5897/JPBCS11.017. ISSN 1991-637X ©2014 Academic Journals. Dostupné z: <http://academicjournals.org/journal/JPBCS/article-abstract/41F33B742432>
- [2] AMBROZOVÁ, L. Porovnání výnosové schopnosti ozimých odrůd pšenice. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská, 2014, 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Štěrbá, Ph. D.
- [3] BEYER, Hugo. Stroje pro rostlinnou výrobu: Sklizňové stroje píce, obilnin, kukuřice a lnu: Textová část. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1981, s. 91-112.
- [4] BHISE, S. R., A KAUR a M. R. MANIKANTAN. Moisture Dependent Physical Properties of Wheat Grain (PBW 621). *International Journal of Engineering Practical Research (IJEPR)* [online]. 2014, 2(3), 40-45 [cit. 2017-05-24]. DOI: 10.14355. Dostupné z: <http://www.seipub.org/ijepr/Download.aspx?ID=3867>
- [5] BRÁT, Vladimír, Václav JÁČ a Josef ROSENBERG. *Kinematika: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [6] BŘEČKA, Josef, Ivo HONZÍK a Karel NEUBAUER. *Stroje pro sklizeň píce a obilnin*. 1. vyd. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Katedra zemědělských strojů, 2001, s. 97-141. ISBN 80-213-0738-2.
- [7] ČAPEK, Josef. Doporučení k současnému stavu ozimých pšenic po přezimování. *Šlechtitelské listy Jaro 2012* [online]. Družstvo vlastníků odrůd, 2012, , 1-4 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.druvod.cz/files/aktuality/doporuzeni_tisk_2012.pdf
- [8] DRAŽAN, František. Teorie a stavba dopravníků: určeno pro stud. fak. strojní. Praha: ČVUT, 1983.
- [9] DUNCA, Juraj. Mechanical properties of cereal stem. In: *Dedicated to the 80th Anniversary of Prof. Radoš Řezníček* [online]. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2008, s. 91-96 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/01570.pdf>
- [10] DVOŘÁČKOVÁ, Olga a Milan NEČAS. *Ječmen jarní [Spring barley]: registrované odrůdy - SDO* [online]. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, národní odrůdový úřad, 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/507918/JCJ_SDO_16_VCU.pdf



- [11] DVOŘÁČKOVÁ, Olga a Milan NEČAS. *Ječmen jarní [Spring barley]: Výsledky zkoušek užitné hodnoty ze sklizně 2016* [online]. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, národní odrůdový úřad, 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/507910/JCJ_R_16_VCU.pdf
- [12] DVOŘÁČKOVÁ, Olga a Milan NEČAS. *Oves nahý [Naked oat]: Výsledky zkoušek užitné hodnoty ze sklizně 2015* [online]. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, národní odrůdový úřad, 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/439991/OvesN15_VCU.pdf
- [13] DVOŘÁČKOVÁ, Olga a Milan NEČAS. *Ječmen ozimý [Winter barley]: registrované odrůdy - SDO* [online]. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, národní odrůdový úřad, 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/507893/JCO_SDO_16_VCU.pdf
- [14] DVOŘÁČKOVÁ, Olga a Milan NEČAS. *Ječmen ozimý [Winter barley]: registrované odrůdy - SDO* [online]. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, národní odrůdový úřad, 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/507893/JCO_SDO_16_VCU.pdf
- [15] GAJDUŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. Brno: Vysoké učení technické, 1988. Učební texty vysokých škol.
- [16] HEŘMÁNEK, Petr a František KUMHÁLA. *Nové konstrukce sklízecích mlátiček: New construction of combine harvesters : (studijní zpráva)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1997, 54 s. Studijní informace. ISBN 80-861-5333-9.
- [17] HORÁKOVÁ, Vladimíra a Miroslav DURNFELDER. *Pšenice tvrdá ozimá [Durum wheat]: Výsledky zkoušek užitné hodnoty ze sklizně 2016* [online]. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, národní odrůdový úřad, 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/503255/PTO_16_VCU.pdf
- [18] HORÁKOVÁ, Vladimíra a Miroslav DURNFELDER. *Žito ozimé [Winter rye]: Výsledky zkoušek užitné hodnoty ze sklizně 2016* [online]. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, národní odrůdový úřad [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/503269/ZO_16_VCU.pdf
- [19] HORÁKOVÁ, Vladimíra a Miroslav DURNFELDER. *Pšenice ozimá [Winter wheat]: Pokusy pro SDO* [online]. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, národní odrůdový úřad, 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/503251/PO_16_VCU_SDO.pdf
- [20] HORÁKOVÁ, Vladimíra a Martin SVOBODA. *Pšenice setá jarní [Spring wheat]: Výsledky zkoušek užitné hodnoty ze sklizně 2016* [online]. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, národní odrůdový úřad, 2016 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/503257/PJ_16_VCU.pdf
- [21] KAŠPAR, V. *Matematický model strojního mechanismu*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, 2015, 66 s. Vedoucí bakalářské práce doc. RNDr. Stanislav Bartoň, CSc.



- [22] KORYČANSKÝ, Václav. Konstrukce sklízecích mlátiček: Technologie výmlatu. Hustopeče: AGROTEC, 2016.
- [23] KULOVANÁ, Eliška. Správné založení porostu žita – základ úspěchu. *Úroda* [online]. 2001 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://uroda.cz/spravne-zalozeni-porostu-zita-zaklad-uspechu/>
- [24] KULOVANÁ, Eliška. Tvorba výnosu jarní pšenice. *Úroda* [online]. 2002 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://uroda.cz/tvorba-vynosu-jarni-psenice/>
- [25] LAM, P. S., X. BI, C. J. LIM, L. J. NAIMI, M. HOQUE, S. MANI a S. NARAYAN. Bulk density of wheat and dry wheat straw and withgrass particles. *Applied Engineering in Agriculture* [online]. s. 351-381 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.476.7045&rep=rep1&type=pdf>
- [26] LENAERTS, Bart, Engelbert TIJSKENS, Bart De KETELAERE, Herman RAMON a Wouter SAEYS. Simulation of Grain-Straw Separation by Discrete Element Modeling with Bendable Straw Particles. In: *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2013, s. 1-37 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/476210/1/DEM_rev.pdf
- [27] MALÁŠEK, Jiří. 8. Pásový dopravník: schéma, výpočet, konstrukční prvky, použití. 2013.
- [28] MALÁŠEK, Jiří. 11. Šnekový dopravník: schéma, výpočet, konstrukční prvky, použití. 2013.
- [29] MIU, Petre. *Combine Harvesters: Theory , Modeling, and Design*. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 978-1-4665-0512-4.
- [30] NEUBAUER, Karel. Stroje pro rostlinnou výrobu. 1. vyd. Praha: SZN, 1989, s. 422-484. Mechanizace, výstavba a meliorace. ISBN 80-209-0075-6.
- [31] POLÁČKOVÁ, J. Vliv předplodiny na výnos a kvalitu ovsa. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská, 2013, 79 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Štěrba, Ph. D.
- [32] RAINE, Michael. Razor shaves pulses, beans. *The Western Producer* [online]. 2016 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.producer.com/2016/04/razor-shaves-pulses-beans/>
- [33] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS, Jiří DVOŘÁČEK a František PROKEŠ. *Základy konstruování*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-7204-633-1.
- [34] ŠTELCL, M. Mlátičí ústrojí sklízecích mlátiček. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014, 56. s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.



- [35] ŠTELCL, Michael. Sklízecí mlátičky v Československu. STEHNO, Luboš et al. *Historie sklízecích mlátiček*. 1. vyd. Pavel Svoboda. Luboš Stehno. Praha: Profi Press s.r.o., 2014, s. 14-45. ISBN 978-80-86726-58-8.
- [36] WOBCKE, Steffen a Thomas HERLITZIUS. *Electrical drive train for combine headers: Elektrifiziertes Antriebssystem für Getreideschneidwerke* [online]. TU Dresden, Faculty of Mechanical Engineering, 2013, , 1-22 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://app.claas.com/2013/university-symposia/download/hohenheim/do_16_15h_woebcke.pdf
- [37] Biso Schrattenecker [online]. Rakousko, 2017 [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://www.biso.at>
- [38] Bulk Density Averages [online]. Key Technology [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://go.key.net/rs/key/images/Bulk%20Density%20Averages%20100630.pdf>
- [39] Claas [online]. Německo, 2017 [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://www.claas.cz/cl-pw-en/products/combindes>
- [40] Density, Specific Gravity, and Mass-Moisture Relationships of Grain for Storage. ASAE STANDARDS 1998: ANSI/ASAE D241.4 FEB93 Approved FEB 1993 by American National Standards Institute [online]. 1998, s. 492-494 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: http://www.doa.go.th/aeri/files/pht2009/documents_slide/viboon_density_spgr.pdf
- [41] John Deere [online]. 2017 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: http://www.deere.co.uk/en_GB/regional_home.page
- [42] Massey Ferguson [online]. 2017 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.masseyferguson.co.uk>
- [43] Objemové hmotnosti skladovaných a přepravovaných komodit v zemědělství a průmyslu. MM sila nádrže [online]. 2012 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.sila-nadrze.cz/objemove-hmotnosti.html>
- [44] Obilniny. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Obilniny>
- [45] Oves setý a nahý: Nezapomínejme na oves. Selgen [online]. Šibřina [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://selgen.cz/agrotechnicka-doporuceni-2/oves-sety-a-nahy>
- [46] Růst a vývoj ječmene. YARA: Knowledge grows [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.yaraagri.cz/vyziva-rostlin/plodiny/jecmen/klicova-fakta/rust-a-vyvoj/>
- [47] Sklízecí mlátička. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sklízecí_mlátička



- [48] *Tab. 8 Sklizeň pšenice ozimé v roce 2016 podle krajů: Table 8 Harvest of common winter wheat in 2016 by region* [online]. Český statistický úřad, 2017, , 1 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2016>
- [49] *Tab. 9 Sklizeň pšenice jarní v roce 2016 podle krajů: Table 9 Harvest of common spring wheat in 2016 by region* [online]. Český statistický úřad, 2017, , 1 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2016>
- [50] *Tab. 10 Sklizeň ječmene ozimého v roce 2016 podle krajů: Table 10 Harvest of winter barley in 2016 by region* [online]. Český statistický úřad, 2017, , 1 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2016>
- [51] *Tab. 11 Sklizeň ječmene jarního v roce 2016 podle krajů: Table. 11 Harvest of spring barley in 2016 by region* [online]. Český statistický úřad, 2017, , 1 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2016>
- [52] *Tab. 12 Sklizeň žita ozimého a jarního v roce 2016 podle krajů: Table 12 Harvest of winter and spring rye in 2016 by region* [online]. Český statistický úřad, 2017, , 1 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2016>
- [53] *Tab. 13 Sklizeň ovsa v roce 2016 podle krajů: Table 13 Harvest of oats in 2016 by region* [online]. Český statistický úřad, 2017, , 1 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2016>
- [54] Žito. *Zemědělské komodity: Informace o zemědělství* [online]. Dobřejovice [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.zemedelskekomodity.cz/index.php/roslinna-vyroba-menu/obilniny/zito>
- [55] MALÁŠEK, Jiří. 16. *Obecný přístup k návrhu pohonů dopravních a manipulačních zařízení*. 2013.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

h_{CW}	[m]	poloha těžiště celé rostliny
h_{be}	[m]	výška stébla
h_{ct}	[m]	výška sečení
h_{pt}	[m]	výška celé rostliny
D_A	[mm]	průměr řemenice průběžného šneku
D_A	[m]	velký průměr šneku
D_P	[mm]	průměr řemenice hnacích válečků pásového dopravníku
D_{SR}	[mm]	průměr hnací řemenice (zdroje otáčení)
P_{LP}	[m ⁻²]	počet produktivních klasů na 1 m ²
Q_1	[kg.s ⁻¹]	hmotnostní průtok oblastí kosy
Q_A	[kg.s ⁻¹]	hmotnostní průtok šnekového dopravníku
Q_L	[-]	počet vrstev na žací liště
Q_P	[kg.s ⁻¹]	hmotnostní průtok pásového dopravníku
Q_{ZR}	[-]	celkový počet posečených klasů
S_A	[m ²]	obsah pracovní plochy šnekovice dopravující materiál
S_F	[m ²]	plocha 1 m ² s určitým počtem produktivních klasů
S_P	[m ²]	průřez (plocha) dopravovaného materiálu kolmá k vektoru rychlosti dopravy
S_{mat}	[m ²]	plocha dopravovaného materiálu kolmá k vektoru rychlosti
U_T	[kg.m ⁻²]	celkový výnos plodiny
a_h	[m]	konstrukční záběr žací lišty
a_{CA}	[m]	vzdálenost mezi kosou a malým průměrem šneku
b_F	[m]	dráha nutná k ujetí $S_F = 1 \text{ m}^2$
c_H	[-]	korekční součinitel šnekového dopravníku, závislý na úhlu sklonu
d_A	[m]	malý průměr šneku
d_R	[-]	počet klasů, které jde umístit vedle sebe na žací liště
d_e	[m]	průměr klasu
d_s	[m]	průměr stébla
g_d	[mm]	šířka zrna
g_l	[mm]	délka zrna
g_t	[mm]	tloušťka zrna
i_{AP}	[-]	převodový poměr mezi řemenicí průběžného šneku a hnacích válečku
i_{SRA}	[-]	převodový poměr mezi řemenicí zdroje otáčení a řemenicí průběžného šneku



k_{GS}	[-]	poměr zrna ke slámě
k_{MG}	[-]	MOG-grain poměr
k_z	[-]	součinitel využití záběru žací lištou
m_g	[kg.m ⁻²]	výnos zrna
m_s	[kg.m ⁻²]	výnos slámy
n_A	[s ⁻¹]	otáčky hřídele šneku
n_A	[s ⁻¹]	otáčky řemenice průběžného šneku
n_P	[s ⁻¹]	otáčky hřídele hnacího válečku
n_P	[s ⁻¹]	otáčky řemenice hnacích válečků pásového dopravníku
n_{SR}	[s ⁻¹]	otáčky řemenice kardanového hřídele sklízecí mlátičky (zdroje otáčení)
q_T	[kg.s ⁻¹]	celková průchodnost neboli celkový hmotnostní průtok
q_g	[kg.s ⁻¹]	průchodnost neboli hmotnostní průtok zrna sklízecí mlátičkou
q_s	[kg.s ⁻¹]	průchodnost neboli hmotnostní průtok slámy sklízecí mlátičkou
s_A	[m]	stoupání šneku
s_P	[m]	délka pásového dopravníku
s_c	[m]	dráha, kterou ujede sklízecí mlátička při práci
t_P	[s]	doba běhu pásového dopravníku
t_c	[s]	čas, po který pracuje sklízecí mlátička během sklizně
v_A	[m.s ⁻¹]	rychlost posuvu materiálu ve žlabu
v_P	[m.s ⁻¹]	rychlost dopravovaného materiálu, obvodová rychlost pásu
v_c	[m.s ⁻¹]	pracovní rychlost sklízecí mlátičky
x_F	[-]	poměr ujeté dráhy a délky, nutné pro 1 m ²
λ_P	[-]	kinematický index pásového dopravníku
ρ_T	[kg.m ⁻³]	celková objemová hmotnost dopravovaného materiálu
ρ_g	[kg.m ⁻³]	objemová hmotnost zrn
ρ_s	[kg.m ⁻³]	objemová hmotnost slámy
h	[m]	výška vrstvy, kterou dosahuje dopravovaný materiál na pásovém dopravníku
R	[m]	poloměr hnacího válečku včetně tloušťky pásu
a	[mm]	koeficient, pro vzorec (3.7)
b	[mm ⁻¹]	koeficient, pro vzorec (3.7)
ψ	[-]	součinitel zaplnění průřezu žlabu



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – rešerše žacích lišt konkurenčních výrobců.....	79
Příloha B – výpočtové programy.....	81



Tab. P 1 Technické parametry přiháněče a kosa

		Přiháněč				Kosa
Typ lišty	Rok výroby	celkový průměr [mm]	rychlost otáčení [min ⁻¹]	počet ramen	počet drátů [m ⁻¹]	počet zdvihů kosa [min ⁻¹]
VARIFEED 760CG	2016	1070	0 – 60	6	7 (8)	1300
VARIO 770	2016	1100	8 -60	6	7	1218
PF 635	2013	1100	5 – 44	6	7	1040
Biso VX 750	2014	1070	NA	6	7	NA
X 640	2016	1100	5 – 44	6	7	1040
PF30/35	2016	960	0-42	6	7	1047/1091

Tab. P 2 Technické parametry průběžného šneku

Šnek							
Typ lišty	Rok výroby	velký průměr [mm]	pracovní rychlost [min ⁻¹]	výška šnekovice [mm]	malý průměr [mm]	stoupání šnekovice [mm]	uspořádání prstů na středové části šneku
VARIFEED 760CG	2016	660	166 (135)	127	406	609	5/6
VARIO 770	2016	660	226 (195,206) ^{a)}	120	420	655	5/6
PF 635	2013	660	152	125	410	585	5/6
Biso VX 750	2014	610	NA	100	410	585	3
X 640	2016	660	150	125	410	610	3/4/7
PF30/35	2016	762	145	173,5	415	820	4/4/4/4/4/4

a) Rychlost průběžného šneku pro speciální plodiny – dodává se na požádání zákazníka.



Tab. P2 Technické parametry průběžného šneku - pokračování

Typ lišty	Rok výroby	průměr vysouvacích prstů [mm]	vzdálenost: vysouvací prst – dno žlabu [mm]	vzdálenost: kosa – malý průměr šneku [mm]
VARIFEED 760CG	2016	16	8 -12	470 – 1145
VARIO 770	2016	16	15 (20) ^{b)} / 20 – 30 ^{c)}	493 – 1134
PF 635	2013	16	NA	1000
Biso VX 750	2014	16	12	350 – 1050
X 640	2016	16	min 16	400 – 1200
PF30/35	2016	16	min 20	965

b) pro žací lištu Varifeed konstrukčních záběrů do 9,3 m

c) typy žacích lišt Varifeed s konstrukčním záběrem 10,5 m a 12,3 m.

Tab. P 3 Technické parametry pásového dopravníku žací lišty Zurn PF 635 a Agco (Massey Ferguson) PF30/35

PF 635 – pásový dopravník (7 jednotek)		PF 30/35 – pásový dopravník (3 jednotky)	
šířka [mm]	1370	šířka [mm]	3976 (nejdelší)
výška [mm]	570	výška [mm]	628
vzdálenost mezi šnekem a pásem [mm]	150	vzdálenost mezi šnekem a pásem [mm]	249
vzdálenost mezi kosou a pásem [mm]	150	vzdálenost mezi kosou a pásem [mm]	108
		rychlost pásu (min ⁻¹)	313

**Program tlmat.py**

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

#vstupi promenne
kz=1 #koeficien vyuziti zaberu, vzdy 1
U1=1.23 #vynos z pole [kg/m2]
U2=1.64
U3=2.1965
R=0.039 #polomer hanciho valecku vcetne gummy [m]
ro1=765 #objemova hmotnot materialu [kg/m3]
ro2=765
ro3=765
n=5.217 #otacky hridele pasu [ot/s]

pozx1=[]
pozy1=[]
pozy2=[]
pozy3=[]

for v in np.arange(5.0,12.0+0.1,0.1):
    vs=(v*1000)/3600
    b1=((kz*vs*U1)/(R*2*np.pi*n*ro1))*1000
    b2=((kz*vs*U2)/(R*2*np.pi*n*ro2))*1000
    b3=((kz*vs*U3)/(R*2*np.pi*n*ro3))*1000
    #pozice pro graf
    pozx1.append(v)
    pozy1.append(b1)
    pozy2.append(b2)
    pozy3.append(b3)

print 'HOTOVO '

#vykresleni do grafu
fig=plt.figure()
axes=fig.add_axes([0.1,0.1,0.8,0.8])
axes.plot(pozx1,pozy1,label='psenice A')
axes.plot(pozx1,pozy2,label='psenice B')
axes.plot(pozx1,pozy3,label='psenice C')
axes.set_xlabel('rychlost stroje [km/h]')
axes.set_ylabel('vrstva materialu [mm]')
axes.set_title('Vyska vrstvy na pasovem dopravniku - modifikovana
obj.hm.')
axes.grid(True)
axes.legend(loc=0)
fig.savefig("graftl.png", bbox_inches='tight', dpi=150)

print 'graf vykreslen'
```

**Program rozl-hmot.py**

```
#program pro vypocet hmotnostniho pruchodu zaci listou dle pozice
zaberu
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

#vstupi promenne
vs=(5.000*1000)/3600 #rychlost stroje
U1=1.23 #vynos z pole [kg/m2]
U2=1.64
U3=2.1965

pozx1=[]
pozx11=[]
pozy1=[]
pozy2=[]
pozy3=[]
pozy4=[]
pozy5=[]
pozy6=[]

for y in np.arange(0,4.5+0.001,0.001):
    y1=4.501-y

    qpy1=U1*vs*y
    qpy2=U2*vs*y
    qpy3=U3*vs*y

    qpy4=U1*vs*y1
    qpy5=U2*vs*y1
    qpy6=U3*vs*y1

    pozx1.append(y)
    pozx11.append(y+6.1)
    pozy1.append(qpy1)
    pozy2.append(qpy2)
    pozy3.append(qpy3)

    pozy4.append(qpy4)
    pozy5.append(qpy5)
    pozy6.append(qpy6)

print 'HOTOVO'

#vykresleni do grafu
fig=plt.figure()
axes=fig.add_axes([0.1,0.1,0.8,0.8])
axes.plot(pozx1,pozy1,color='blue',label='psenice A')
axes.plot(pozx1,pozy2,color='orange',label='psenice B')
axes.plot(pozx1,pozy3,color='green',label='psenice C')
axes.plot(pozx11,pozy4,color='blue')
axes.plot(pozx11,pozy5,color='orange')
```



```
axes.plot(pozx11,pozy6,color='green')
axes.set_xlabel('sirka zaberu listy [m]')
axes.set_ylabel('hmotnostni prtok [kg/s]')
#axes.set_title('Rozlozeni hmotnostniho prtoku ve zlabu sneku')
axes.grid(True)
axes.legend(loc=0)
fig.savefig("graf-rozl.hmot.png", bbox_inches='tight', dpi=150)

print 'graf vykreslen'
```

Program ot-hridel.py

```
#program pro vypocet optimalni rychlosti sneku dle aktualniho
hmotnostního prtoku
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
#vstupni promenne
vc=(5.000*1000)/3600 #rychlost stroje
```

```
U1=1.23 #vynos z pole [kg/m2]
U2=1.64
U3=2.1965
ro1=1282.5 #objemova hmotnot materialu [kg/m3]
ro2=1500
ro3=1432.5
```

```
ro11=765 #objemova hmotnot materialu [kg/m3]
ro22=765
ro33=765
```

```
sa=0.820 #puvodni stoupani
```

```
ksi=0.3985
D=0.762
d=0.415
```

```
pozx1=[]
pozy1=[]
pozy2=[]
pozy3=[]
```

```
pozy11=[]
pozy22=[]
pozy33=[]
```

```
for y in np.arange(0,4.5+0.001,0.001):
```

```
    n1=(U1*vc*y*4)/(sa*ksi*ro1*np.pi*((D**2)-(d**2)))
    n2=(U2*vc*y*4)/(sa*ksi*ro2*np.pi*((D**2)-(d**2)))
    n3=(U3*vc*y*4)/(sa*ksi*ro3*np.pi*((D**2)-(d**2)))
```



```
n11=(U1*vc*y*4)/(sa*ksi*ro11*np.pi*((D**2)-(d**2)))
n22=(U2*vc*y*4)/(sa*ksi*ro22*np.pi*((D**2)-(d**2)))
n33=(U3*vc*y*4)/(sa*ksi*ro33*np.pi*((D**2)-(d**2)))

poz1.append(y)
pozy1.append(n1*60)
pozy2.append(n2*60)
pozy3.append(n3*60)

pozy11.append(n11*60)
pozy22.append(n22*60)
pozy33.append(n33*60)
print "HOTOVO"
print n3*60
print n33*60

#vykresleni do grafu
fig=plt.figure()
axes=fig.add_axes([0.1,0.1,0.8,0.8])
axes.plot(poz1,pozy1,label='psenice A')
axes.plot(poz1,pozy2,label='psenice B')
axes.plot(poz1,pozy3,label='psenice C')

axes.plot(poz1,pozy11,label='psenice A1')
axes.plot(poz1,pozy22,label='psenice B2')
axes.plot(poz1,pozy33,label='psenice C3')

axes.set_xlabel('sirka zaberu listy [m]')
axes.set_ylabel('rychlost otacek hridele sneku [min-1]')
#axes.set_title('Zavislost teoretickych otacek hridele sneku')
axes.grid(True)
axes.legend(loc=0)
fig.savefig("graf-otacky.snek.png", bbox_inches='tight', dpi=150)
```

**Program tlm_{at}-n.py**

```
#program pro vypocet vysky material na dopravnich pasech dle nove
teorie
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

#vstupni promenne - lista
vp=2.00*np.pi*0.039*(313.00/60)
sp=0.628

#vstupni promenne - plodina
plp1=430.00
plp2=500.00
plp3=550.00
plp4=600.00
plp5=730.00

d=0.012594

pozx1=[]
pozy1=[]
pozy2=[]
pozy3=[]
pozy4=[]
pozy5=[]

for vc in np.arange(3.0,8.0+0.1,0.1):

    vcx=(vc*1000)/3600
    h1=(vcx*sp*plp1*(d**2))/vp
    h2=(vcx*sp*plp2*(d**2))/vp
    h3=(vcx*sp*plp3*(d**2))/vp
    h4=(vcx*sp*plp4*(d**2))/vp
    h5=(vcx*sp*plp5*(d**2))/vp

    pozx1.append(vcx)
    pozy1.append(h1*1000)
    pozy2.append(h2*1000)
    pozy3.append(h3*1000)
    pozy4.append(h4*1000)
    pozy5.append(h5*1000)

print 'HOTOVO'

#vykresleni do grafu
fig=plt.figure()
axes=fig.add_axes([0.1,0.1,0.8,0.8])
axes.plot(pozx1,pozy1,label='PLP = 430')
axes.plot(pozx1,pozy2,label='PLP = 500')
axes.plot(pozx1,pozy3,label='PLP = 550')
axes.plot(pozx1,pozy4,label='PLP = 600')
```



```
axes.plot(pozx1,pozy5,label='PLP = 730')

axes.set_xlabel('rychlost stroje [km/h]')
axes.set_ylabel('vyska materialu [mm]')
axes.grid(True)
axes.legend(loc=0)
fig.savefig("tlmat-n.png", bbox_inches='tight', dpi=150)
```

Program obj-hmot.py

```
#program pro vypocet objemove hmotnosti, která by se teoreticky mela
nachazet na pasech
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

#rychlost a delka pasu
vp=2.00*np.pi*0.039*(313.00/60)
sp=0.628

#plodina
plp1=430.00
plp2=500.00
plp3=550.00
plp4=600.00
plp5=730.00

d=0.012594

#vynosy kg/m2 total
Ua=0.905
Ub=0.99
Uc=1.2312
Ud=1.64
Ue=2.1965

pozx1=[]
pozy1=[]
pozy2=[]
pozy3=[]
pozy4=[]
pozy5=[]

for vc in np.arange(3.0,8.0+0.1,0.1):

    vcx=(vc*1000)/3600
    roa=(vcx*Ua)/(vp*sp*plp1*(d**2))
    rob=(vcx*Ub)/(vp*sp*plp2*(d**2))
    roc=(vcx*Uc)/(vp*sp*plp3*(d**2))
    rod=(vcx*Ud)/(vp*sp*plp4*(d**2))
    roe=(vcx*Ue)/(vp*sp*plp5*(d**2))

    pozx1.append(vc)
```



```
    pozy1.append(roa)
    pozy2.append(rob)
    pozy3.append(roc)
    pozy4.append(rod)
    pozy5.append(roe)

print 'HOTOVO'

#vykresleni do grafu
fig=plt.figure()
axes=fig.add_axes([0.1,0.1,0.8,0.8])
axes.plot(pozx1,pozy1,label='Psenice A')
axes.plot(pozx1,pozy2,label='Psenice B')
axes.plot(pozx1,pozy3,label='Psenice C')
axes.plot(pozx1,pozy4,label='Psenice D')
axes.plot(pozx1,pozy5,label='Psenice E')

axes.set_xlabel('rychlost stroje [km/h]')
axes.set_ylabel('objemova hmotnost [kg/m3]')
axes.grid(True)
axes.legend(loc=0)
fig.savefig("obj-hmot.png", bbox_inches='tight', dpi=150)
```

Program ot.hridel-n.py

```
#program pro vypocet teoretickych otacek hridele sneku podle hmoty ve
zlabu, dle nove teorie
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

#parametry sneku
Da=0.762
da=0.415
sa=0.82
ksi=0.3985

#rychlost a delka pasu
vp=2.00*np.pi*0.039*(313.00/60)
sp=0.628

#plodina
plp1=430.00
plp2=500.00
plp3=550.00
plp4=600.00
plp5=730.00

d=0.012594

pozx1=[]
pozy1=[]
pozy2=[]
```



```
pozy3=[]
pozy4=[]
pozy5=[]

for a in np.arange(0.0,4.5+0.1,0.1):

    na1=(a*vp*4*sp*plp1*(d**2))/(np.pi*((Da**2)-(da**2))*sa*ksi)
    na2=(a*vp*4*sp*plp2*(d**2))/(np.pi*((Da**2)-(da**2))*sa*ksi)
    na3=(a*vp*4*sp*plp3*(d**2))/(np.pi*((Da**2)-(da**2))*sa*ksi)
    na4=(a*vp*4*sp*plp4*(d**2))/(np.pi*((Da**2)-(da**2))*sa*ksi)
    na5=(a*vp*4*sp*plp5*(d**2))/(np.pi*((Da**2)-(da**2))*sa*ksi)

    pozx1.append(a)
    pozy1.append(na1*60)
    pozy2.append(na2*60)
    pozy3.append(na3*60)
    pozy4.append(na4*60)
    pozy5.append(na5*60)

print 'HOTOVO'

#vykresleni do grafu
fig=plt.figure()
axes=fig.add_axes([0.1,0.1,0.8,0.8])
axes.plot(pozx1,pozy1,label='PLP = 430')
axes.plot(pozx1,pozy2,label='PLP = 500')
axes.plot(pozx1,pozy3,label='PLP = 550')
axes.plot(pozx1,pozy4,label='PLP = 600')
axes.plot(pozx1,pozy5,label='PLP = 730')

axes.set_xlabel('sirka listy (zlabu sneku) [m]')
axes.set_ylabel('otacky hridele sneku [min-1]')
#axes.set_title('PF 40 auger speed range')
axes.grid(True)
axes.legend(loc=0)
fig.savefig("ot.hridel-n.png", bbox_inches='tight', dpi=150)
```

**Program prev-pomer.py**

```
#program pro vypocet teoretickeho prevodoveho pomeru mezi snekem a
#hnacim valeckem pasu
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

#parametry sneku
Da=0.762
da=0.415
sa=0.82
ksi=0.3985

#parametry pasu
R=0.039
sp=0.628

#lista
ah=5.200
ah2=4.500

d=0.012594

pozx1=[]
pozy1=[]
pozy2=[]

for Plp in np.arange(430,730+1,1):

    iap1=(ah*8*np.pi*R*sp*Plp*(d**2))/(np.pi*((Da**2)-(da**2))*ksi*sa)
    iap2=(ah2*8*np.pi*R*sp*Plp*(d**2))/(np.pi*((Da**2)-(da**2))*ksi*sa)

    pozx1.append(Plp)
    pozy1.append(iap1)
    pozy2.append(iap2)

print 'HOTOVO'

#vykresleni do grafu
fig=plt.figure()
axes=fig.add_axes([0.1,0.1,0.8,0.8])
axes.plot(pozx1,pozy1,label='PF 40')
axes.plot(pozx1,pozy2,label='PF 35')
axes.set_xlabel('PLP [ks/m2]')
axes.set_ylabel('iap [-]')
#axes.set_title('PF 40 ')
axes.grid(True)
axes.legend(loc=0)
fig.savefig("prev-pomer.png", bbox_inches='tight', dpi=150)
```