

# Efektivní postupy extruze obilovin a olejnin



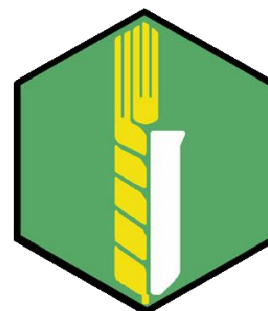
## Uplatněná certifikovaná metodika

**Farmet**

**Autoři:**  
Michal Kaválek



**Autoři:**  
Vladimír Plachý  
Boris Hučko



**Autoři:**  
Václav Dvořáček  
Lenka Štěrbová

2018

## **Efektivní postupy extruze obilovin a olejnin**

Metodika je zaměřena na aplikaci technologie extruze pro zpracování obilnin a olejnin s finálním využitím ve výživě hospodářských zvířat a chemicky čistou produkci oleje. Úvodní kapitoly metodiky shrnují principy extruze, typy extrudérů a možnosti nastavení extruzního procesu včetně základních dopadů na chemicko-technologické, nutriční i hygienické změny takto zpracovaných komodit. Dále je zde komentována aktuální problematika využití extruze obilovin ve výživě monogastrů včetně doporučení vhodných extruzních linek. Vlastní metodologická část této publikace představuje optimalizované postupy extruze obilovin (pšenice) a vybraných olejnin (řepka, sója) s využitím technologie firmy Famet a.s. Vedle základních informací o požadovaných vstupních parametrech plodin pro extruzi, jsou zde v případě pšenice uvedeny konkrétní příklady změn majoritních komponent při zvoleném nastavení extruze včetně efektivit tohoto procesu ve výživě brojlerů. Rovněž v případě olejnin je dále popsán efekt extruzní teploty na nárůst požadovaných B2 a B3 bílkovinných frakcí ve výkrmu polygastrů.

### **Effective extrusion procedures of cereals and oilseeds**

The methodology focuses on application of extrusion procedures in cereals and oilseeds with final application for livestock feeding and chemical-free oil production. The introductory chapters summarize extrusion principles, types of extrusion devices and option possibilities of extrusion procedures. The methodology further describes effect of extrusion on chemical and technological, nutritional as well as hygienic changes in above mentioned crops, extrusion effect on feeding value for monogastric including recommendation for suitable extrusion line. The own methodical part introduces optimized extrusion procedures of cereals (wheat) and selected oilseeds (rapeseed/canola and soya) based on the technology of the company Famet a.s. Except basic information about demanded input parameters of extruded crops, there are presented particular examples of major component differences in dependence on extrusion properties in case of wheat as well as the impact of extruded wheat on broiler fattening. Also in case of oilseeds, the effect of extrusion temperature on increasing of desirable B2 and B3 protein fractions for ruminants is further discussed.

© Famet a.s. Česká Skalice 2017

© Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha 6 – Suchbátka, 2017

©Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha 6 - Ruzyně, 2017

ISBN: 978-80-7427-270-7

**Poděkování:**

Metodika vznikla za finanční podpory MZe ČR a je výstupem řešení projektu NAZV QJ1510163: „Stanovení klíčových nutričních parametrů pšeničného zrna, vývoj nových donorů kvality a zlepšení parametrů krmiv pro efektivní výkrm monogastrů“.

**Oponenti:** Doc. Ing. Jiří Fryč, CSc.

Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně

Ing. Jaromír Kvaček,

Oddělení kontroly zemědělských vstupů, ÚKZÚZ, Havlíčkův Brod

Metodika je především určena pracovníkům v oblasti zpracování krmiv a výživy hospodářských zvířat, jakož i pracovníkům ze šlechtitelské praxe či vědeckým pracovníkům ve výzkumných organizacích a na univerzitách.

Metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství ČR – odborem rostlinných komodit pod č.j. ....

Ministerstvo zemědělství doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

## Obsah

1	Cíl metodiky.....	5
2	Úvod.....	5
2.1	Výživa hospodářských zvířat.....	7
2.1.1	Kuřecí brojleři.....	7
2.1.2	Výkrm prasat.....	7
2.1.3	Výživa přežvýkavců.....	7
2.2	Princip extruze a typy extrudérů.....	8
2.3	Popis procesu extruze u jednošnekového extrudéru.....	10
2.4	Faktory ovlivňující efektivitu extruze u jednošnekového extrudéru.....	11
2.5	Dosažená positiva při optimalizovaném postupu extruze.....	12
2.6	Efekt extruze na nutričně významné komponenty zrna resp. krmné směsi.....	14
2.7	Principy technologie extruze krmiv na jednošnekových extrudérech dle zpracovávané suroviny a doporučení pro konfiguraci linky.....	15
2.7.1	Extruze olejnin.....	15
2.7.2	Extruze sóji.....	15
2.7.3	Extruze obilnin a luštěnin.....	16
2.7.4	Extruze krmných směsí.....	17
2.8	Požadavky extruze na vstupní materiál.....	20
3	Vlastní popis metodiky.....	21
3.1	Technické vybavení a optimalizace procesu extruze pšeničného zrna s využitím technologie firmy Farmet a.s. ....	21
3.2	Požadavky na příjem, skladování a úpravu pšeničného zrna před extruzí.....	21
3.3.	Postupy nastavení extrudéru a optimalizace procesu extruze pšenice.....	22
3.4.	Chemicko-technologické změny pšeničného zrna po extruzi.....	22
3.5.	Postup zpracování extrudátu do krmné směsi pro drůbež.....	24
3.6.	Efekt extrudované pšenice na přírůstek kuřecích brojlerů.....	25
3.8.	Kvalita vstupní suroviny a optimalizace procesu extruze a lisování olejnin ..	27
3.8.1.	Ovlivnění procesní teploty.....	28
3.9.	Chemicko-technologické změny olejnin.....	28
4.	Srovnání novosti postupů.....	29
5.	Popis uplatnění.....	29
6.	Ekonomické aspekty.....	30
7.	Seznam použité související literatury.....	32
8.	Seznam publikací, které předcházely metodice.....	32

## 1 Cíl metodiky

Metodika se snaží objektivním způsobem vyhodnotit možnosti využití extruze při primárním zemědělském zpracování obilovin a olejnin jako komponentů krmných dávek či krmných směsí. Podchycuje současné moderní trendy a metodické postupy extruze u výše zmíněných komodit. Je tak určena široké odborné veřejnosti v oblasti zemědělství a návazném zpracovatelském průmyslu s akcentem na využití této práce pro krmivářský i olejářský průmysl. Pracovníkům v zemědělské praxi by naše metodika mohla napomoci ke snazší orientaci v možnostech využití extruze i při případném výběru vhodného typu zařízení. Budoucím i stávajícím uživatelům extruzních linek dále poskytne praktické rady pro ošetření semen obilnin a olejnin před vlastní extruzí, pro nastavení a obsluhu extruzní linky včetně krmivářských informací o zjištěné efektivitě připraveného extrudátu ve výživě monogastrů a částečně i polygastrů.

## 2 Úvod

V současnosti je na půdě řadou celosvětových či evropských organizací (FAO, WHO, FEFAC aj.) diskutována a řešena problematika zajištění bezpečnosti, dostatečného množství a kvality potravin či krmiv. Rovněž v rámci společné zemědělské politiky jednotlivých členských států EU je primárním posláním potravinová bezpečnost a snaha o širokou divergenci produktů v souladu s požadavky konzumentů.

Jako pozitivní efekt pro producenty potravin se předpokládá trvalý růst životní úrovně, což v kontextu s předpokládaným nárůstem celosvětové populace (9,5 miliard lidí v roce 2050) povede k nutnosti trvalého zvyšování potravinářské produkce. Na druhé straně jsou zde však i hrozby v podobě potenciálních klimatických změn a s nimi spojené ztráty úrodné zemědělské půdy, a tedy i nižší primární produkce. Zajištění bezpečných potravin (krmiv) v dostatečném množství, kvalitě a za cenově přijatelných podmínek tak bude nutně vyžadovat širokou mezioborovou součinnost. Ta bude zahrnovat úzkou spolupráci se šlechtiteli, odborníky v oblasti pěstitelských či chovatelských technologií, odborníky pro výživu zvířat, jakož i spolupráci se zpracovateli zemědělských produktů zajišťujících vedle bezpečných a kvalitních potravin a krmiv i jejich dostatečné množství.

V rámci širokého spektra např. mechanických úprav vstupních surovin (např. obrušování, drcení, mletí apod.) se ve zpracovatelské praxi často uplatňuje i termická úprava. Ta má za cíl zlepšit nutriční, hygienické či fyzikálně-chemické vlastnosti vstupních surovin. Základní diference jednotlivých termických metod, jejich efektivita a samozřejmě i dopad na ošetřovanou surovinu především souvisí s dosaženou teplotou a dobou její expozice na zpracovaný materiál. Nicméně nelze zanedbat ani další faktory jakými jsou úroveň hydratace, působení tlaku a smykových sil. Během této tzv. extruzní úpravy dochází ke strukturním a chemickým změnám vstupního materiálu. Dochází k denaturaci bílkovin, čímž se zlepši jejich stravitelnost. Tvoří se komplexy mezi škrobem a lipidy a mezi bílkovinami a lipidy. Extruze je doprovázena inaktivací přírodních enzymů obsažených v krmivu, rozkladem některých přírodních toxinů, snížením obsahu mikroorganismů ve výrobku, ale i ztrátou některých nutričních látek (např. lyzinu, beta-karotenu). Jak naznačuje tabulka (Tab. 1), vhodně zvolená kombinace termických faktorů může pozitivně zvýšit stravitelnost významných složek zrna, zjemnit strukturu a destruovat jak nežádoucí mikrobiální aktivitu, tak antinutriční či toxické látky. Na druhé straně může docházet i po optimálně zvoleném termickém ošetření k obsahovým ztrátám části vitamínů, esenciálních aminokyselin či inaktivaci žádoucích enzymů (viz rovněž Tab. 1).

Tab. 1 - Příklady pozitivních a negativních dopadů termické úpravy potravin a krmiv

<b>Pozitivní efekt</b>	<b>Negativní efekt</b>
<b><i>Vyšší stravitelnost:</i></b>	<b><i>Snížení obsahu termolabilních složek:</i></b>
škrobu	Vitámín A
bílkovin	Vitámín C
celulózy	Vitámín B 1
<b><i>Destrukce antinutričních složek:</i></b>	Ztráta pigmentace
Inhibitory trypsinu	<b><i>Snížení aktivity endogenních enzymů</i></b>
Lektiny	Amylázy
<b><i>Inaktivace nežádoucích enzymů:</i></b>	Fytázy
Ureázy	<b><i>Částečná destrukce esenciálních aminokyselin (AK)</i></b>
Peroxidázy	Lyzin
Lipoxigenázy	Metionin
Mirosinázy	Cystein
<b><i>Destrukce toxických komponent</i></b>	<b><i>Nežádoucí chemické reakce</i></b>
Glukosinoláty	Maillardova reakce (reakce cukrů s AK)
Gossypol	Reakce škrobů s tuky (nežádoucí snížení stravitelnosti v případě krmiv)
<b><i>Destrukce mikroorganismů:</i></b>	
Baktérie (např. salmonela),	
Kvasinky	
<b><i>Požadované změny textury, tvaru a chuti</i></b>	
Např. křehké chleby	
Např. rybí krmiva aj.	

V potravinářské či krmivářské praxi je v současnosti využívána řada způsobů termické nebo termo-mechanické úpravy surovin (potravin). Patří sem například jak klasické vaření nebo pečení, tak i další specifitější termické úpravy jakými jsou popování, napařování, nebo v krmivářství často používané systémy tepelného kondicionování s navázanou granulací. Dalším typickým příkladem využití termomechanické úpravy je zpracování olejnin s využitím extruze. Zde je cílem efektivní získání oleje a návazných pokrutin bez využití především pro životní prostředí zatěžujících organických rozpouštědel (např. n-hexan). Masivní uplatnění extruze je v současnosti možné též zmínit ve výrobě krmiv pro tzv. domácí mazlíčky a například na trhu v USA tvoří podíl těchto typů krmiv až 95 %.

Trvale rostoucí ceny tradičních krmných obilovin (pšenice) a sóji na jedné straně a stagnující výkupní ceny drůbežího a vepřového masa na straně druhé, tlačí producenty ke snížení výrobních nákladů, v nichž je efektivita výkrmu významnou položkou. V současné době je hledána řada cest, jak toho dosáhnout. Možné přístupy výběru a využívání nejkvalitnějších pšeničných odrůd pro přípravu krmných směsí, u nichž šlechtitelé deklarují vysokou krmnou jakost, však naráží na dosud nedefinované parametry krmné jakosti pšeničného zrna a tím i na současný systém výkupu pšenic. Ten v ČR vychází z ČSN normy 46 1100-2, v nichž jsou deklarovány minimální požadavky na potravinářskou (pekařskou resp. pečivářskou) jakost. Pokud pšeničné zrno, byť jen v jednom z parametrů nedosáhne minimální hodnotový ukazatel, je zařazeno do nepotravinářské kategorie a využito ke krmným účelům. Výsledkem tak je, že pro přípravu krmných směsí pro monogastry je využívána z velké míry směs odrůd původně šlechtěných na potravinářské využití, jejíž krmná hodnota nebude optimální. V podstatě

obdobná je situace i u ječmene, kde současná krmivářská praxe využívá sladovnickou část produkce sladovnických odrůd ječmene (65 - 75%), které se ve sladovnictví nespotřebují.

Další cesty jsou tak zařazování méně tradičních krmných obilovin (např. tritikale), nebo využívání vedlejších produktů získaných např. při mletí obilovin, výroby bioethanolu či lisování olejnin.

Z obou výše uvedených příkladů vyplývá, že zařazení méně vhodných či tzv. „alternativních“ krmných plodin do krmných směsí monogastrů přináší nutnost jejich optimalizace z hlediska vnesené energie a aminokyselinové skladby. Navíc mohou mít tyto typy krmiv také vysoký obsah alespoň jednoho antinutričního faktoru (vysoký obsah vlákniny, taninů, glukosinolátů či termolabilních inhibitorů trypsinu). Uplatnění extruze vedle řady dalších běžně využívaných operací (např. obrušování, suplementace enzymů aj.) se tak v těchto případech jeví velmi perspektivně.

## **2.1 Výživa hospodářských zvířat**

### **2.1.1 Kuřecí brojleři**

Při chovu hospodářských zvířat je prioritně sledována produkce a její ekonomika. Ovlivnění produkce je multifaktoriální záležitost, kde se vedle genetických předpokladů významně uplatňuje výživa, zdravotní stav, welfare aj. Produkce je tvořena z živin a energie přijímaných živin a energie komponentů krmných dávek či krmných směsí. Tyto musí být přijaty a v organismu zvířete metabolicky přeměněny na využitelný produkt. Důležité tedy je přijímání a využívání živin krmiva s optimálním obsahem a vzájemným poměrem přijímaných živin. To je ovlivněno nejen nutriční hodnotou krmiva, ale i jeho fyzickým složením. Zde tak mají svoji účast i technologické úpravy jednotlivých komponentů krmných dávek či směsí. Tato skutečnost má prvořadý význam u intenzivních chovů zvířat, především výkrmu drůbežích brojlerů a prasat.

Výkrm kuřecích brojlerů začíná po jejich vylíhnutí. V tomto období mají kuřata k dispozici velmi kvalitní bílkovinu žloutkového vajíčka, a aby tato bílkovina byla využita pro stavbu jejich rostoucího těla, je třeba přítomnost kvalitního a využitelného zdroje energie. Zde se může uplatnit technologická úprava zrna pšenice. Ideální je technologická úprava extruzí, kdy se mazovatením škrobu upraví podíl snadno a rychle rozpustného škrobu, který je rychle tráven. Takto se pro brojlera dostává rychle, snadno a dobře využitelný zdroj pro tvorbu jejich svalové hmoty zároveň s dostatkem energie pro uskutečnění této nutné aktivity.

### **2.1.2 Výkrm prasat**

U výkrmu prasat je to podobné. Výkrm sice začíná po odstavu, kdy už prase funguje jako všežravec. Ale pro intenzivní tvorbu svalové hmoty potřebuje jak zdroj dusíku, tak i zdroj energie pro uskutečnění přeměn vedoucích k tvorbě produktu. Také zde se uplatní extruze, při které dochází nejen k potencionálnímu zlepšení využití v krmivu obsažených proteinů, jako zdroje pro tvorbu produktu, ale i škrobu jako zdroje energie pro uskutečnění této aktivity. Dostatečný obsah obou faktorů a jejich vzájemný poměr, to je základ pro intenzivní produkci.

### **2.1.3 Výživa přežvýkavců**

Použití extruze jako technologické úpravy pro zlepšení využití v krmivu obsažených proteinů je výhodné také u býložravých přežvýkavců, zvláště u dojnic. Víme, že u dojnic jsou zdrojem proteinů pro tvorbu mléka rostlinné proteiny. Zároveň však víme, že tyto rostlinné proteiny jsou v batoru dojnice tráveny přítomnými mikroorganismy až na amoniak, který je zdrojem dusíku pro jejich život a množení. A víme, že tyto mikroorganismy – batorová mikroflóra, jsou zdrojem proteinu pro dojnici, která je tráví v tenkém střevě, kam se tyto dostanou při postupu trávení v celém trávicím traktu. Kvalita přijímaného rostlinného

proteinu a kvalita dojnící skutečně tráveného mikrobiálního proteinu je rozdílná, přičemž biologická hodnota mikrobiální bílkoviny je několikanásobně vyšší než kvalita rostlinného proteinu.

Pro umožnění přeměny proteinů na skutečně dojnící využívané mikrobiální proteiny bachorové mikroorganismy potřebují volnou, rychle dostupnou energii. Tuto získávají trávením a následným zkvašením v rostlinách obsažených polysacharidů. Vzniklou volnou energii využívají bachorové mikroorganismy a terminální produkt bachorového kvašení – mastné kyseliny, ty jsou pro dojnice po resorpci využívány jako zdroj energie a z části i jako zdroj mléčných složek. Z toho je vidět, že produkce dojnic je závislá na bachorovém metabolismu. Je známo, že aktivitu a intenzitu bachorového metabolismu je možno ovlivnit technologií úprav surovin, které dojnice přijímá. Tyto úpravy mají za cíl nejen upravit zdroje dusíku a energie, ale také sladit pro bachorové mikroorganismy okamžitý poměr mezi zdrojem dusíku a volnou energií, na tom bude záviset intenzita bachorového metabolismu, potažmo dostatek zdrojů dusíku a dostatek energie pro tvorbu produktu. Extruze toto potencionálně dokáže.

## 2.2 Princip extruze a typy extrudérů

Pojmem EXTRUZE neboli šnekové protlačování je běžně využívána již více než 50 let. Jedná se o procesy zahrnující mechanické rozmělnění, prohnětení, zahřátí materiálu za zvýšeného tlaku a následné protlačování materiálu šterbinou s cílem dosáhnout mechanické a tepelné úpravy materiálu včetně možného tvarování. Extruze se často označuje jako metoda „HTST“ (High Temperature Short Time), protože se jedná o krátkodobé působení vysoké teploty (až 200 °C) na zpracovávaný materiál. Přes až takto vysoké teploty je vzhledem ke krátkodobému působení šetrné k nutričně cenným látkám a při správné optimalizaci procesu tak nedochází k jejich významnému poklesu.

Technologické parametry extruzního procesu jsou závislé na konstrukčním řešení extrudéru, použitých surovinách, typu vyráběného krmiva atd. Obvykle se setkáváme s extruzní teplotou 120 – 180 °C, extruzním tlakem 3 - 12 MPa, extruzní dobou (doba průchodu materiálu extrudérem) 10 – 90 sekund, extruzní vlhkostí 12 - 30 %, u některých typů extrudérů i s možnostmi regulace otáček šnekového systému od 30 do 500 ot / min.

Surovinovou základnu pro extrudéry tvoří nejrůznější kombinace veškerých obilovin (ve formě celých zrn, krmných mouk, otrub, mlýnských prachů), dále luštěnin, olejnin (sója, řepka, mák), travních, zeleninových a ovocných úsušků, odpadních produktů při zpracování ryb, drůbeže, ovoce, sýrů atd.

Extrudéry tedy mohou zpracovávat nejrůznějších surovin roslinného i živočišného původu, a to jednotlivě nebo v recepturách od 2 až po několik desítek komponent. Tak, jak existují nejrůznější možnosti použití extruze, existuje i celá řada více či méně renomovaných výrobců extrudérů, jejichž počet je celosvětově odhadován na cca 20 významnějších firem. Extrudéry se liší nejenom svými výkony (kapacity od 50 do 12 000 kg / h), ale i svým konstrukčním uspořádáním. Obecně můžeme extrudéry rozdělit podle řady kritérií:

1. podle konstrukce se dělí na jednošnekové a dvoušnekové
2. podle extruzní teploty – tvarovací (nízké teploty), varné (vysoké teploty)
3. podle extruzního tlaku – nízkotlaké, střednětlaké a vysokotlaké
4. podle extruzní vlhkosti pracují extrudéry v režimu suché nebo mokré technologie

Další příklad konstrukčního členění systémů se šnekovým protlačováním na tzv. expandery, expellery a dvoušnekové extrudéry ukazuje obrázek (Obr. 1).



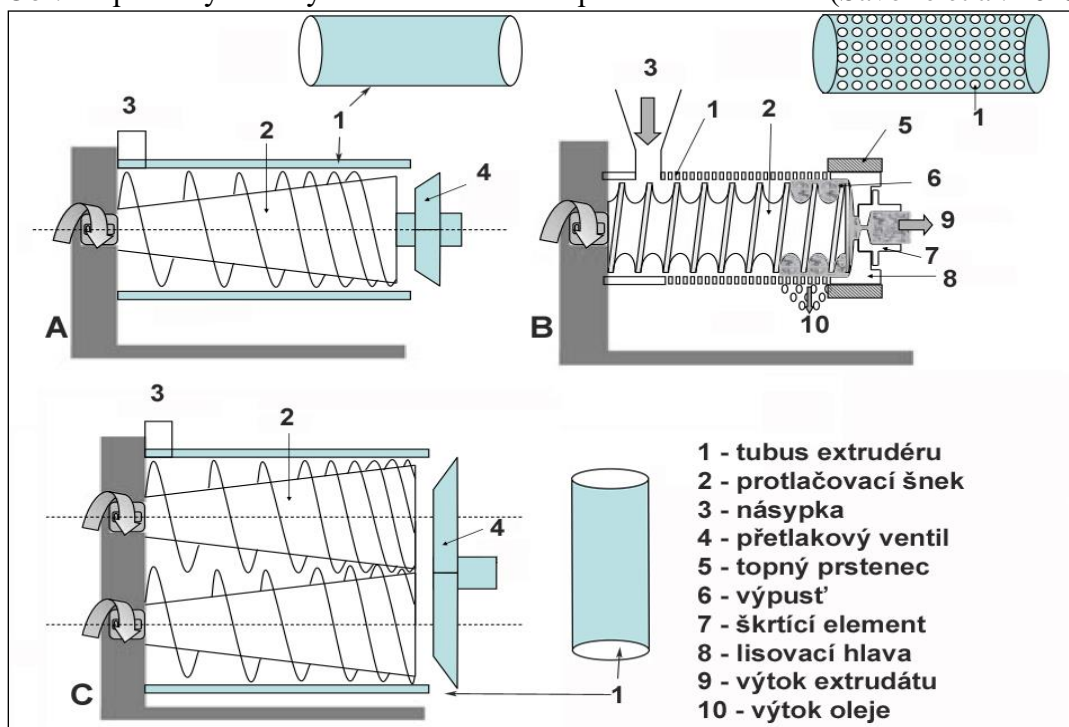
Expellery jsou nejčastěji se vyskytujícími šnekovými lisami pro získávání oleje. Jsou složeny z horizontálně rotujícího šneku uloženého v perforovaném válci s otvory od 0,1 - 0,5 mm, jimiž při stlačování suroviny odtéká lisovaný olej.

Naproti tomu expandery jsou uzavřené systémy, kde je zrno drceno a postupně šnekem protlačováno bez separace oleje a s možností využití injektáže vody nebo páry. Na konci extrudéru (expanderu) je umístěna perforovaná matrice přes níž je materiál postupně protlačován a vlivem výrazných tlakových změn extrudované hmoty před a za matricí u něj dochází k menší či větší expanzi. Z tohoto důvodu jsou tyto systémy využívány spíše pro nízkoolejnaté plodiny (sója, bavlník). Nicméně i některé tyto systémy mají na konci šnekového hřídele extrakční zónu umožňující separaci olejů. Některá další členění popisují expandery jako standardní extrudéry (expellery), které pouze pracují s výrazně nižšími tlaky a sřížnými silami v porovnání s klasickými extrudéry.

Dvoušnekové extrudéry obsahují uvnitř pracovní jednotky dva šneky, které se otáčejí souběžně, nebo proti sobě. Tato zařízení nalézají uplatnění především v produkci potravin, krmiv pro ryby a domácí mazlíčky a při výrobě léčiv, tedy všude tam, kde je potřeba produkovat dokonale homogenní a tvarově přesný produkt. Výhoda, oproti jednošnekovým extrudérům, spočívá ve větší univerzálnosti zařízení, rovnoměrnějším tepelnému zpracování a schopnosti zpracovat materiál o vyšší vstupní vlhkosti. Nevýhoda spočívá ve složitosti zařízení, vyšších pořizovacích nákladech, složitější a nákladnější údržbě a složitějším nastavení procesních parametrů.

Přestože by se mohlo zdát, že jednošnekové extrudéry budou postupně nahrazeny konstrukčně důmyslnějšími dvoušnekovými, není tomu tak. Naopak, jednošnekové extrudéry mají své nezastupitelné místo v mnoha krmivářských a potravinářských aplikacích a díky své jednodušší konstrukci, snadnější údržbě, nastavení a především nižší pořizovací ceně budou i do budoucna koexistovat vedle dvoušnekovnicových, především v těch aplikacích produkce potravin a krmiv ve kterých jsou dvoušnekovnicové extrudéry zbytečně složité.

Obr. 1 - příklady odlišných konstrukčních uspořádání extrudéru (Savoire et al. 2013)



A. Expander, B. expeller, C. dvoušnekový extrudér

### 2.3 Popis procesu extruze u jednošnekového extrudéru

Nejdůležitější částí extruderu je extruzní těleso, což je drážkovaný tubus ze slitin tvrdých kovů či nerezové oceli, ve kterém je uložen šnekový systém. Vlastní extruzní těleso lze rozdělit na tři části z hlediska jejich funkce – plnicí, kompresní a varná část (viz Obr. 2).

1. Plnicí sekce s vysokou transportní kapacitou danou širším vynutím (stoupavostí) šneku zabezpečuje snadný příjem surovin a jejich promísení.
2. Kompresní sekce, kde se materiál vlivem tlaku, teploty a střižných sil plastifikuje. To znamená, že v této oblasti dochází k mazovatění škrobů a denaturaci bílkovin. Speciální hnětací místa vytváří taková úprava šneků, která vlastně ztěžuje průchod extrudovaného materiálu extruderem a kde dochází k výraznému stlačování a tření materiálu. Těmito oblastem říkáme plastifikační zóny.
3. Varná nebo těž extruzní sekce, kde se dále zvyšuje stupeň plastifikace a provaření extrudovaného materiálu a tyto procesy jsou ukončeny průchodem přes otvory v matici. Při výstupu z trysky do atmosféry materiál zpravidla prudce expanduje. Tím ztrácí cca 8 – 15 % vlhkosti. Výsledný produkt získává křehkou, vysoce porézní strukturu. Podle požadavku na velikost získaných částic je materiál krájen za extruderem na odpovídající granule nebo další tvary. Granule menších rozměrů jsou zpravidla krájeny na výstupu z tubusu extruderu hned za tryskou. Delší výrobky jsou krájeny zpravidla v přídatném zařízení, které následuje za vlastním extruderem.

Stoupání závitů šneku, jejich hloubka, počet a vůle mezi šnekem a tubusem jsou parametry, které ovlivňují charakter procesů a jejich intenzitu v extrudéru podle technologických požadavků. Otáčky šneku jsou hlavním faktorem ovlivňující výkonnost extrudéru. Mají vliv na dobu průchodu materiálu extrudérem, množství tepla vzniklého třením a rychlost jeho přenosu na materiál. Komprese je dosaženo hlavně zpětným tlakem vytvořeným maticí zvětšením průměr u šnekové hřídele nebo pomoci zúžení tubusu spolu s konstantní případně zmenšenou hloubkou závitů.

Podle charakteru finálního výrobku a zpracovaných surovin se parametry extruzního procesu pohybují, resp. mohou být obsluhou ovlivňovány, v následujících rozmezech:

Otáčky v rozsahu: 370 až 750 ot·min<sup>-1</sup>

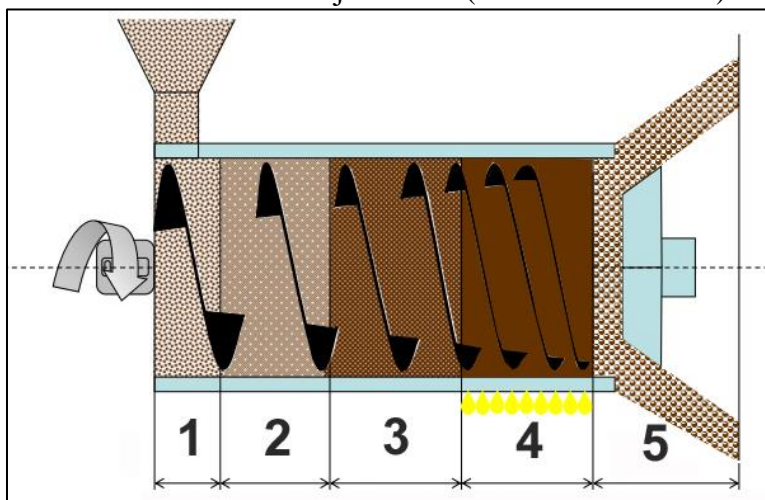
Teplota: 90 – 160 °C

Tlak: 2 – 5 MPa

Vlhkost 6 – 25 %

Doba zdržení materiálu v extruderu 3 – 15 sec

Obr. 2 - Extruzní těleso a jeho části (Savoire et al. 2013)



1. Dávkovací zóna, 2. transportní zóna, 3. kompresní zóna, 4. separační zóna, 5. expanzní zóna

## 2.4 Faktory ovlivňující efektivitu extruze u jednošnekového extrudéru

Základním předpokladem pro efektivní proces extruze, včetně získání požadovaného extrudátu s dlouhodobě stabilní požadovanou kvalitou, je zajištění stabilizovaného toku materiálu v extruzní komoře a výstupu z ní. Úroveň rychlosti výstupu extrudátu je především závislá na rychlosti otáček šneku, plastifikaci materiálů, jeho obtékání, úrovni vytvořeného extruzního tlaku a v souvislosti s ním i vytvořené úrovni smykových sil. Za předpokladu stabilního přísunu materiálu a při zanedbání zpětného obtékání extrudovaného materiálu je vztah mezi výkonností extrudéru a výše uvedenými faktory následující:

$$Q = \frac{(k_1 \cdot N - k_2 \cdot P)}{\mu}$$

Kde:

$k_1$  = konstanta charakterizující geometrii posledního segmentu šneku [-]

$N$  = rychlost otáček [ $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

$k_2$  = konstanta charakterizující separační zónu [-]

$P$  = tlak při měknutí (plastifikaci) suroviny na vrcholu šneku [Pa]

$\mu$  = viskozita zplastifikované suroviny [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Z této rovnice tak vyplývá, že výstup hmoty z extrudéru se zvyšuje s rychlostí otáček šneku, ale současně klesá s rostoucím tlakem a s viskozitou extrudované suroviny. Nejefektivnější nástroj řízení extruzního procesu u jednošnekového extrudéru je tedy regulace otáček šneku extrudéru a množství dávkované vstupní suroviny.

Vlivem vyššího plnění šneku extrudéru při jeho konstantních otáčkách stoupá dopravní účinnost, klesá množství specifické mechanické energie. Klesá také teplota zpracovávaného těsta a důsledkem těchto změn je nižší expanze extrudované suroviny. Naopak, zvýšení otáček šneku extrudéru při konstantním dávkování vstupních surovin se projeví opačně. Zvyšuje se množství specifické mechanické energie a teplota těsta s důsledkem zvýšení expanze.

Při rostoucím tlaku v extrudéru významně ovlivněném výstupní maticí ovšem rostou i smykové síly vznikající především vzájemným třením extrudovaného materiálu o šnek a stěnu extrudéru. Největší tření je vytvářeno stříhem produktu přes vrchol závitu způsobené zpětným tlakem. Množství tepla vzniklého v extrudéru ovlivňuje rozsah mazování škrobu a denaturaci bílkovin. To má vliv jak na viskozitu a elasticitu těsta v extruderu tak na rozsah expanze extrudátu. Tyto skutečnosti lze velmi názorně matematicky vyjádřit pomocí následujících rovnic pro výpočet specifické mechanické energie (SME) a její vztah k nárůstu teploty extrudovaného materiálu:

$$SME = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{N \cdot M}{V} \quad [\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}]$$

$$\Delta t = \frac{100 \cdot SME}{(m_s \cdot c_s) + (m_w + m_{wa}) \cdot c_w} \cdot \frac{3600}{1000} \quad [\text{K}]$$

Další energii lze do extrudéru dodat přímým ohřevem materiálu, nejčastěji parou například přímou injektáží do pracovní jednotky extrudéru, specifickou tepelnou energii (STE) lze vyjádřit následující rovnicí:

$$STE = \frac{\Delta t \cdot ((m_s \cdot c_s) + ((m_w + m_{wa}) \cdot c_w))}{100} \cdot \frac{1000}{3600} \quad [\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}]$$

N Otáčky šneku [ $1 \cdot \text{min}^{-1}$ ]  
M Točivý moment [kNm]  
V Výkonost [ $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ ]  
 $m_s$  Hmotnost sušiny [kg]  
 $c_s$  Specifická tepelná kapacita suroviny [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]  
 $c_w$  Specifická tepelná kapacita vody [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]  
 $\Delta t$  Rozdíl teplot před a po kondicionování/extruzi [K]  
 $m_w$  Obsah vody vstupní suroviny [kg]  
 $m_{wa}$  Množství přidané vody [kg]

Právě úroveň SME a její stabilizace v průběhu extruze je tak klíčová nejen pro vlastní kvalitu a výkonost extruze, ale také významně ovlivňuje její energetickou náročnost či opotřebení (obrušování) šneku a stěny extrudéru.

V průběhu extruze a změn (nárůstu) tlaku extrudovaná surovina (směs) neputuje jen v dopředném horizontálním směru k matici, ale dochází i k různému obtékání a cirkulaci extrudátu, což může mít za následek inkonzistentní velikost částic či nehomogenní želatizaci extrudátu na výstupu. Významné snížení těchto nežádoucích posunů extrudátu je především řešeno vhodnou geometrií šneku s minimalizací prostoru mezi šnekem a stěnou extrudéru a vhodnou segmentací šneku. Poměr délky (L) a průměru (D) šneku ovlivňuje variabilitu extruzního procesu. Vyšší hodnota L / D umožňuje delší dobu zádrže materiálu v extrudéru, nebo vyšší výkonost při stejné době zádrže materiálu. V průběhu extruzního procesu je vstupní surovina zpracovávána několika různými způsoby, které jsou ovlivněny především tvarem jednotlivých šnekových elementů extruzního šneku a jejich vzájemnou konfigurací. Jsou to především: distribuční míchání, které zajišťuje dobré šíření částic materiálu v celém objemu tubusu extrudéru a disperzní míchání, při kterém je snižována velikost soudržných částic jako struktury pevných materiálů nebo kapénky tekutých látek. Dále doprava materiálu, pro kterou se používá vysoké stoupání závitu s menším průměrem šnekové hřídele. Zvýšení tlaku, kterého se dosahuje menším stoupáním závitu a větším průměrem šnekové hřídele, případně řazením škrťících elementů mezi šnekové elementy (Lichnovský 2012; Farmet 2017).

Z dalších vlastností ovlivňující efektivitu extruze a finální vlastnosti extrudátu (textura, objemové změny, barva aj.) jsou primární fyzikálně-chemické vlastnosti vstupní suroviny. V tomto ohledu lze především zdůraznit velikost částic, vlhkost, obsah škrobu, bílkovin a tuku.

## **2.5 Dosažená positiva při optimalizovaném postupu extruze**

### Mechanické rozmělnění

Materiál je v pracovní jednotce vystavován značným smykovým silám a mechanicky se rozmělnuje.

### Přeměna (denaturace) bílkovin

Krátkodobé zahřátí nad  $100\text{ }^\circ\text{C}$  za současného působení tlaku uvnitř extrudéru způsobí velmi efektivní přeměnu (uvaření, denuraci) bílkovin a tím se potencionálně zvýší jejich stravitelnost.

### Radikální snížení obsahu antinutričních látek a přírodních toxinů

Extruze velmi účinně odbourává celou řadu antinutričních látek. Například při extruzi sóji se radikálně snižují hodnoty aktivity ureázy. Pro výživu monogastrů je velmi pozitivní redukce obsahu inhibitoru trypsinu. Komplexní přehled antinutričních složek v jednotlivých druzích zrnin naznačuje tabulka (Tab. 2).

### Sterilaci

Teplota a tlak v extrudéru zahubí bakterie, plísně a jiné nežádoucí organizmy a škůdce. Tvorba plísní a následná produkce mykotoxinů se zastaví a tím se získá delší doba skladovatelnosti.

### Zmazování (želatinizace) škrobů

Škrob je častou a důležitou složkou krmiv. Během extruze se rozkládají složité škroby a cukry na jednoduché, což zlepšuje stravitelnost krmiva a rychlost dostupnosti škrobu.

### Homogenizace

V extrudéru dojde k vytvoření homogenní struktury ze všech složek krmiva.

### Možnost tvarování

Protlačováním přes tvarovou matici (koncový stupeň extrudéru) lze krmivo tvarovat do různých tvarů (využití např. u krmiva pro psy a jiné domácí mazlíčky – Pet Food). Podmínkou pro rozmanité tvarování a zachování tvaru granule je složení extrudované směsi s dostatečným obsahem pojivých látek (nejčastěji škrob).

### Expanze

Díky rychlému poklesu tlaku po opuštění extrudéru dochází k intenzivnímu odparu a tím i narušení buněčných struktur. Materiál nabývá na objemu, snižuje se jeho hustota a vzniká pórovitá struktura (větší plocha), která je snadno dostupná pro enzymatický rozklad v trávicím traktu. Extrudované krmivo tak získává vyšší stravitelnost. V některých případech (např. u krmiv pro psy, kočky a ryby) je extrudovaný materiál vhodnější i z hlediska mechanických vlastností.

Z dalších výhod extruze lze zmínit i to, že pro dosažení dokonalé tepelné úpravy surovin vyžaduje podstatně méně elektrické energie ve srovnání s klasickým tepelným zpracováním. Poskytuje možnosti výroby širokého sortimentu výrobků na jednom typu extrudéru a rychlý přechod na jinou recepturu. Možnosti simulace extruzních procesů na počítačích, včetně projektování variant šneků i matic s tvarovacími otvory se odrazily i ve tvorbě speciálních typů extrudérů, které jsou navrženy pro daný typ výrobku: zpracování olejnin, texturace rostlinných bílkovin, expandované granule, krmiva pro ryby s definovaným stupněm vznášení ve vodě, zpracování mokřých odpadů z potravinářského průmyslu aj.

Tab. 2 - Příklady výskytu antinutričních faktorů u vybraných plodin a uváděná úroveň jejich eliminace pomocí extruze

Plodina	Antinutriční faktory	Redukce (%)	Pozn.
<b>obiloviny (otruby)</b>	Fytáty	54,5	Nejvyšší redukce antinutričních faktorů byla pozorována při vstupní vlhkosti 20 % teplotě extruze 140 °C
	Polyfenoly	73,4	
	Oxaláty	36,8	
	Inhibitory trypsinu	72,4	
<b>Luskoviny (fazol)</b>	Inhibitory trypsinu	Úplná degradace	Teploty 150, 154, 164, 174 a 178 °C, vstupní vlhkost: 12,3; 14; 18; 22 a 23,7 %, otáčky: 414 1. min <sup>-1</sup>
	Alfa amylázy	Úplná degradace	
	Hemaglutininy	Úplná degradace	
<b>Luskoviny (hrách)</b>	Taniny	Částečná redukce	Extruzní teplota 145 °C, vstupní vlhkost 25 %, otáčky: 100 1.min <sup>-1</sup>
	Lectiny	Úplná degradace	
	Fytáty	Minim. redukce	
	Inhibitory trypsinu	Úplná degradace	
<b>Lněné semeno</b>	Taniny	61 %	Maximální redukce při otáčkách 96,8 1.min <sup>-1</sup> teplota bubnu 80 °C a vstupní olejnatosti 40 %.

## 2.6 Efekt extruze na nutričně významné komponenty zrna resp. krmné směsi

Jak již bylo uvedeno výše, na vlastnosti extrudovaných výrobků charakterizované specifickým tvarem, texturou, objemovou hmotností a výživovou hodnotou má rozhodující vliv také obsah a vzájemný poměr chemických látek ve vstupní surovině.

### Škrob

Extruzní vaření je unikátní v tom, že dochází k mazovatění již při vlhkosti 12 až 22 % na rozdíl od jiných potravinářských aplikací. Při dosažení teploty mazovatění, dochází k transformaci obou složek škrobu – amorfní amylosy i krystalického amylopektinu. Mazovatění je zvyšováno působením tepla, tlaku a smykových sil. Škrob se dělí podle úrovně stravitelnosti do tří kategorií: rychle stravitelný škrob (rapidly digestible starch – RDS), pomalu stravitelný škrob (slowly digestible starch – SDS) nebo rezistentní škrob (resistant starch – RS). Tyto škroby se liší rychlostí trávení v trávicím traktu. Ovlivňuje to také přítomnost dalších látek zejména bílkovin, tuků, cukrů, soli a vlákniny. Během mazovatění dochází ke snížení molekulové hmotnosti amylosy a amylopektinu, přičemž výraznější je snížení molekulové hmotnosti u amylopektinu. Stupeň mazovatění, obsah bílkovin a tuku ve vzájemné interakci ovlivňují elasticitu i viskozitu extrudátu a tím objemovou hmotnost, texturu a tvar hotového výrobku. Stupeň mazovatění škrobu je možné ovlivňovat konfigurací segmentů šneku extrudéru. Extruzní proces, vedle vlivu na škrob, výrazně redukuje obsah oligosacharidů stachiosy a rafinosy v luštěninových produktech.

### Bílkoviny

Bílkoviny jsou rovnoměrně rozptýleny v kontinuální škrobové polymerové matici extrudovaného zrna. Rozpustné a nerozpustné bílkoviny ovlivňují distribuci vody v matici, její makromolekulární strukturu, konformaci a následně ovlivňují viskozitu extrudátu. Při vysokých teplotách a se zvyšujícím se podílem bílkovin tvoří intermolekulární sulfidické vazby, elektrostatické a hydrofobní interakce. Krátkodobé zahřátí nad 100 °C za současného působení tlaku uvnitř extrudéru způsobí velmi efektivní přeměnu (uvaření, denaturaci) bílkovin. Extruzní proces tak na jedné straně zvyšuje stravitelnost bílkovin jejich denaturací, na straně druhé dochází k určitým ztrátám v obsahu aminokyselin především ve vodě dobře rozpustného termolabilního lysinu.

### Tuky

Obecně se pro výrobu přímo expandovaných produktů nepoužívají suroviny s obsahem tuku vyšším než 10 %, protože zvyšují skluz tubusu extrudéru a komplikují extruzi. Obsah tuku do 2,5 % snižuje viskozitu těsta, čímž se zvyšuje expanze extrudátu. Olej působí jako mazivo mezi částicemi suroviny, šnekem a tubusem extrudéru. Drobné kapky oleje pod 1,5 μm jsou rozptýlené v kontinuální fázi škrobu a snižují vnitřní tření mezi částicemi suroviny. Extruze může být také cíleně využívána jako proces zpomalující oxidaci olejů obsažených v semenech olejnin. Jako příklad je možné uvést úpravu lněného semínka používanou u krmiv určených pro koně.

### Vláknina

Vliv neškrobových polysacharidů je dán především velikostí a množstvím jejich částic. Drobné částice otrub se podílí na vzniku bublinek – nukleaci při expanzi. Větší množství a větší granulace otrub snižuje elasticitu těsta a tlumí expanzi. Z nutričního hlediska především zvyšuje podíl tzv. rozpustné vlákniny.

## Vitamíny

Ztráty vitamínů závisí především na podmínkách extruze. Z lipofilních vitamínů jsou nejcitlivější vitamíny A a D. Z hydrofilních jsou to vitamíny C a thiamin B1, jehož ztráta může být až 30 %. U ostatních vitamínů skupiny B jsou ztráty do 10 %.

### **2.7 Principy technologie extruze krmiv na jednošnekových extrudérech dle zpracovávané suroviny a doporučení pro konfiguraci linky**

Proces extruze je vhodný pro celou řadu biologických materiálů jak rostlinného, tak živočišného původu, ale vždy je nutné nastavení procesu přizpůsobit dle složení konkrétního materiálu, především v závislosti na obsahu škrobu, bílkovin, vlákniny, tuku a vlhkosti. Na základě složení těchto komponent je potom nutné vybrat vhodnou technologii pro předpřípravu vstupního materiálu, komponenty extrudéru a zařízení pro úpravu extrudátu. Dle konfigurace extrudéru a doporučené sestavy linky je dělení technologie extruze na technologie extruze komponent krmiv: extruze olejnin, sóji, obilnin a luštěnin, kde finálním produktem extruze je krmná komponenta a technologie extruze kompletních krmných směsí, kde výstupem z extrudéru (technologie extruze) je kompletní krmná směs, nejčastěji ve formě granule.

#### **2.7.1 Extruze olejnin**

Na jednošnekových extrudérech je možné extrudovat všechny olejnin, které mají součet vlhkosti a olejnatosti 25 % a méně. Při vyšších hodnotách dochází k tzv. zaolejování pracovní jednotky, tzn. materiál začne rotovat na místě a neposouvá se pracovní jednotkou směrem k výstupu. Olejnin, které mají v součtu olejnatost a vlhkost nad 25 % je možné částečně odlisovat před extruzí na šnekových lisech olejnin. Extrudát je možné pro další snížení obsahu oleje lisovat.

Extruze napomáhá výtěžnosti oleje pro lisování, díky tomu, že dochází k zahřátí materiálu a rozbití buněk, což umožňuje snadnější oddělení oleje ve šnekovém lisu. Technologie lisování s extruzí dosahuje podobných parametrů výtěžnosti oleje, jako při lisování oleje za tepla. Typickou vlastností olejnin je nízký obsah škrobu a vysoký obsah bílkovin a tuku. Díky nízkému obsahu škrobu se extrudát neformuje do podoby granulí.

#### **2.7.2 Extruze sóji**

Sója (sójové boby) jsou z krmivářského hlediska cenným materiálem především z hlediska vysokého obsahu bílkovin. Z důvodu vysokého obsahu antinutričních látek je nutné sóju pro zkrmování upravit termicky. Zpracování pomocí extruze tuto podmínku dokonale splňuje, navíc je šetrné k dalším biologicky cenným látkám.

Mezi antinutriční látky obsažené v sóje, které lze odbourat pomocí extruze, patří zejména inhibitory proteáz (trypsin inhibitor, chymotrypsin inhibitor), lektiny, saponiny a ureáza.

Jako indikátor stupně tepelného zpracování se používá tzv. „ureázový test“. Jedná se o jednoduchou laboratorní metodu, pomocí které lze s dostatečnou přesností určit stupeň tepelného zpracování, a tím i obsah ostatních antinutričních látek v sóji. Tato hodnota je rovněž normována, např. dle normy:

Nařízení komise (EU) č.68/2013 – aktivita ureázy nejvýše 0,4 mg N.g<sup>-1</sup> . min<sup>-1</sup>

NOPA (USA) Doporučení pro sójové šroty – aktivita ureázy v rozsahu změn alkality 0,3-0,02 pH

GOST 27149-95 Výlisky sójové, stanovuje parametr „aktivita ureázy“, požadavek 0,3 – 0,1 pH

Hodnota aktivity ureázy vyšší než 0,3 pH (0,4 mg N .g<sup>-1</sup> .min<sup>-1</sup>) signalizuje nedostatečnou tepelnou úpravu (nízké teploty zpracování), nedostatečně tepelně upravený extrudát obsahuje vysoké koncentrace i ostatních antinutričních látek (např. trypsin inhibitor). Pokud je naopak hodnota aktivity ureázy nižší, než 0,05 mg N .g<sup>-1</sup> .min<sup>-1</sup>, signalizuje to poškození bílkovin vlivem vysokých teplot zpracování.

Mimo snížení obsahu antinutričních látek dochází k mechanickému narušení semen, denaturaci bílkovin a celkovému zvýšení stravitelnosti a chutnosti. Současně dochází ke zničení případných choroboplodných zárodků vlivem vysokých tlaků a střižných sil uvnitř pracovní jednotky (sterilace). Při obvyklém obsahu tuku a vlhkosti (vlhkost 9 – 12 %, olejnatost semen 17 – 22 %) lze semeno sóji zpracovávat bez dalšího přídavku vlhkosti.

Sójový extrudát je sypký, nesoudržný a netvoří granule. Obsah tuku se při samotné extruzi nemění. V případě požadavku na odlisování části oleje lze za extrudér zařadit šnekový lis olejnin, tím dojde ke snížení obsahu oleje na 6 – 7 % tuku v pokrutinách. Pro snížení obsahu vlákniny v extrudátu a pokrutinách je vhodné zařadit před extruzi technologii loupání sójových semínek.

#### Doporučená sestava extruzní linky

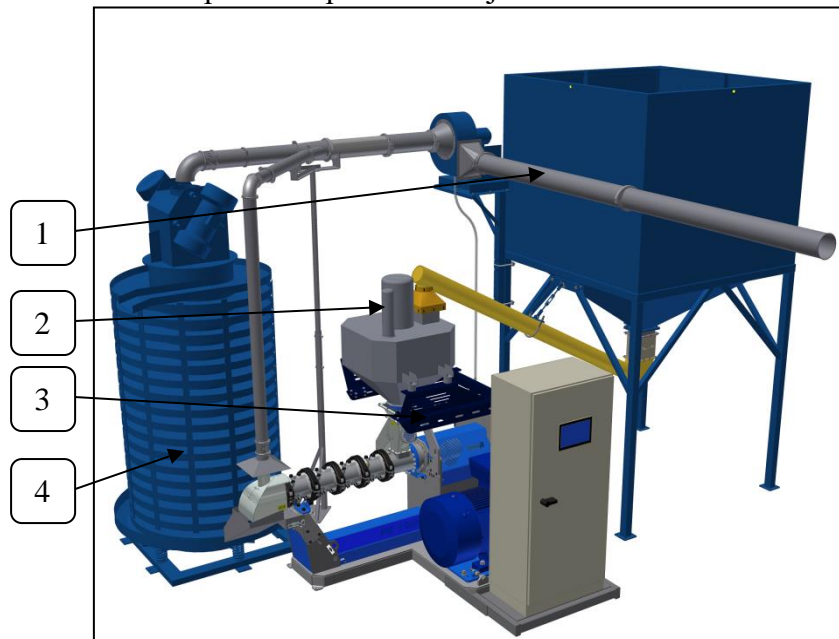
Pro úpravu vstupního materiálu je vhodné zařadit šrotování vstupního materiálu, případně loupání vstupních semen pro odstranění slupek. Touto úpravou dojde k mechanickému rozmělnění materiálu. Tím se zajistí lepší kvalita extrudátu (homogenita) a současně se zvýší výkonnost extrudéru a životnost jeho pracovních částí.

Pro extruzi sóji je extrudér osazen speciální sójovou geometrií, která je optimalizována pro tento materiál.

Pro snížení obsahu tuku v extrudátu je možné zařadit za extrudér lis.

Pro snížení teploty extrudátu na skladovací teplotu je nutné extrudát, nebo výlisky chladit v chladiči.

Obr. 3 - Extruzní linka na produkci plnotučné sóji



1 – zásobník, 2 – šrotovník, 3 – extrudér, 4 – chladič

#### **2.7.3 Extruze obilnin a luštěnin**

Typickými zástupci těchto materiálů jsou obilniny a jejich šroty (kukuřice, pšenice, ječmen, žito, oves) a některé luštěniny (hrách, fazole, bob) a jejich směsi. Typickou vlastností těchto materiálů je vysoký obsah škrobu, díky tomu je materiál na výstupu z extrudéru soudržný a je nutné jej, pomocí řezací hlavy, dělit na granule. Extruzí se snadno vytváří pórovitá struktura granule, díky které mají granule nízkou objemovou hmotnost ( $150 - 280 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ). Tuto



vlastnost je nutné zohlednit při návrhu dopravních cest a skladovacích kapacit (popřípadě je vhodné granule pro zvýšení hustoty šrotovat – to platí především pro obilniny).

Extrudér je vždy vybaven systémem injektáže vody. V této technologii voda neplní funkci pouze „mazání“ materiálu, aby byl zajištěn průchod pracovní jednotkou, ale je důležitá pro přeměnu škrobu. Škrob obsažený v materiálu se za pomoci vody, zvýšené teploty a tlaku tzv. „zmazovává“. Zmazováním se výrazně zvýší jeho stravitelnost v trávicím traktu zvířat. Pro správnou přeměnu škrobu (zmazovávání) je nutné zajistit velikost částic do 3 mm (např. šrotováním). V opačném případě mohou být v extrudátu patrné zbytky celých nenarušených, a tedy nezmazovaných zrn.

Přidávat vodu do procesu je možné těmito způsoby:

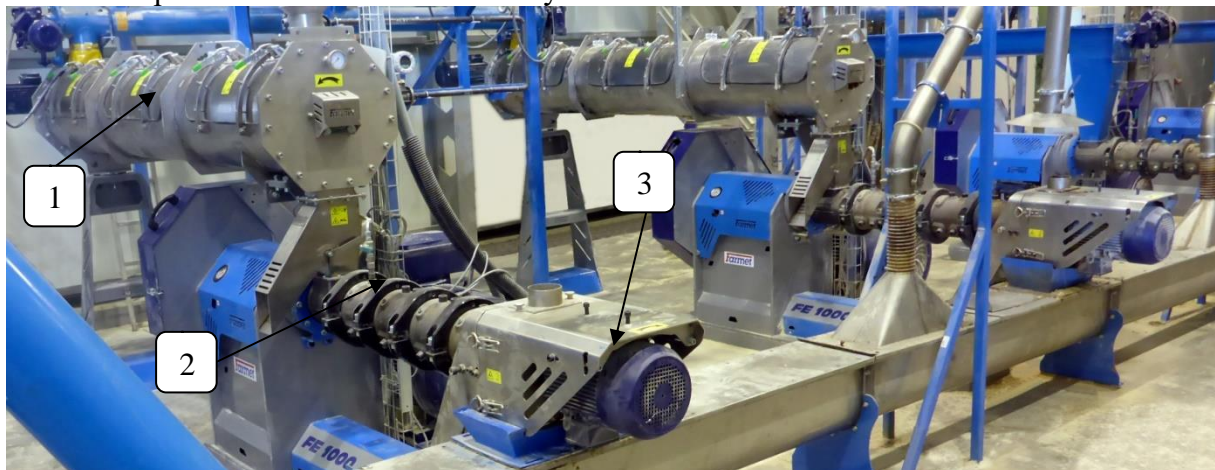
1. injektáž vody přímo do komor extrudéru
2. zvlhčení materiálu bezprostředně před extruzí propařením parou (přímá injektáž) v kondicionéru.

Pro úpravu vstupního materiálu je nutné zařadit šrotování vstupního materiálu, pomocí kterého dojde k mechanickému rozmělnění materiálu. Tím se zajistí průchodnost zpracovávaného materiálu pracovní jednotkou, lepší kvalita extrudátu (homogenita a rovnoměrné zmazovávání škrobů) a současně klesá opotřebení pracovních částí zařízení extrudéru.

Pro předúpravu drceného materiálu před extruzí je vhodné zařadit parní kondicionér s přímou injektáží páry do vstupní suroviny, dojde tím k ohřátí materiálu až na 90 °C a zvýšení vlhkosti, zvýší se výkonnost extrudéru a stabilita procesu extruze (viz Obr. 4).

Pro extruzi těchto materiálů je extrudér osazen speciálně tvarovanými šneky, které jsou optimalizovány pro tyto materiály. Pro snížení teploty extrudátu na skladovací teplotu je nutné extrudát chladit v chladiči a pro snížení hustoty extrudátu pro následnou dopravu, zpracování a skladování je vhodné extrudát šrotovat v kladívkovém šrotovníku.

Obr. 4 - Doporučená sestava extruzní linky



1 – parní kondicionér, 2 – extrudér, 3 – řezací hlava extrudátu

#### 2.7.4 Extruze krmných směsí

Vstupní materiál je charakteristický vyšším obsahem bílkovin oproti obilným šrotům a dle receptury také tuku. Typickými zástupci těchto materiálů jsou kompletní krmné směsi pro zvířata hospodářská (zejména prasata a drůbež), zájmová (pet food) a ryby (fish feed). Tyto směsi mohou obsahovat tuky a bílkoviny rostlinného i živočišného původu, obilné šroty, vitamíny, minerály, prebiotika, barviva, enzymy, termostabilní medikamenty a další

komponenty. Jednotlivé komponenty krmné směsi spolu tvoří homogenní komplex formovaný do podoby granule. Díky požadavku na injektáž většího množství vody do procesu je nutné granule před skladováním sušit a chladit. Hustota granule primárně závisí na nastavení extrudéru (vnitřní tlaky a teploty), dále hustotu ovlivňuje množství škrobu v receptuře, množství injektované vody nebo páry do pracovní jednotky extrudéru, páry do kondicionéru.

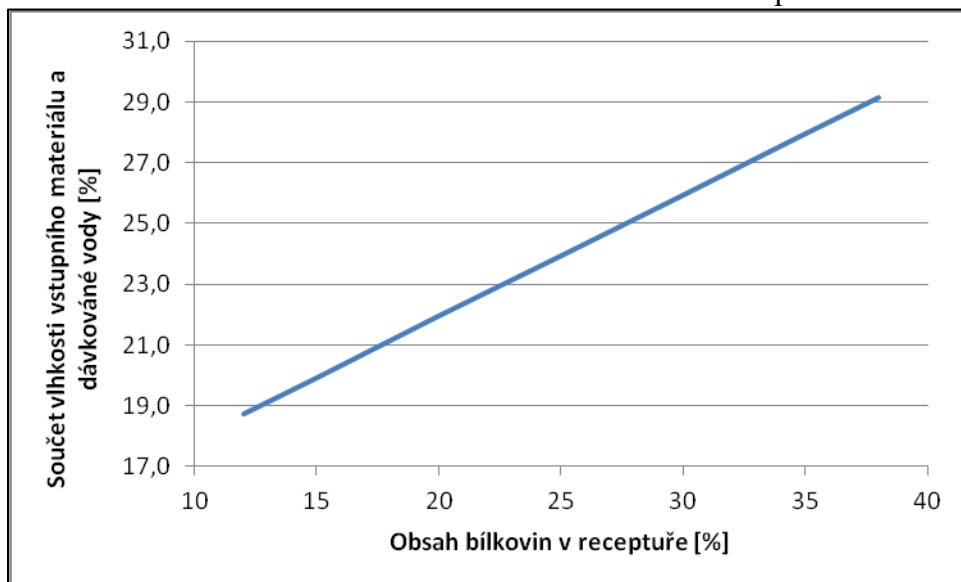
Tato technologie je vhodná pro směsi, které obsahují živočišné nebo rostlinné bílkoviny a alespoň 18 % škrobu. Základem je extrudér, který je vybaven komponenty pracovní jednotky, které umožňují zpracovávat tyto materiály. Standardně je pracovní jednotka vybavena injektáží vody do extrudéru. Na výstupu z extrudéru je umístěna matrice a řezací hlava extrudátu.

Pro předúpravu materiálu před extruzí je vhodné zařadit parní kondicionér s přímou injektáží páry do extrudéru, zvýší se tím výkonnost extrudéru a stabilita procesu extruze.

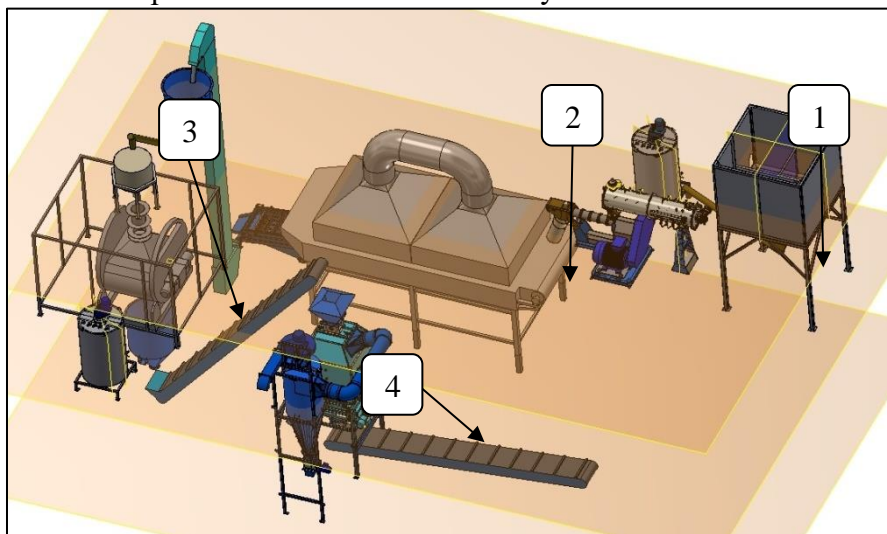
Při extruzi krmných směsí je velmi často potřebné pro průběh extruze a optimální přeměnu jednotlivých komponent krmiva zvýšit vlhkost zpracovaného materiálu. Na výstupu z extrudéru dojde vlivem expanze páry ke značnému odparu, ale často je výsledná vlhkost vyšší než vlhkost vhodná pro skladování (do 14 %). Proto je nutno extrudát sušit. Na trhu je k dispozici velké množství sušáren vhodných pro granulované směsi. Množství dávkované vody (a tedy i potřeba sušení) je přímo úměrné obsahu tepelně zpracovaných bílkovin (viz Obr. 5). Protože se v krmných směsích používají již tepelně zpracované bílkoviny (extrahované šroty, masokostní, rybí moučky, proteinové extrakty aj.) působí další tepelné zpracování negativně na jejich nutriční vlastnosti, injektovaná voda (nebo pára) působí jako ochrana bílkovin proti degradaci vlivem tepla. Další význam injektáže vody má na povrchové vlastnosti granule. Zvýšením dávkování vody lze docílit hladkého povrchu a tvarové stálosti granule. Obecně lze říci, že při obsahu bílkovin nad cca 15 % je nutné výstupní produkt sušit, ale vše závisí na vlastnostech a kvalitě vstupního materiálu, extruzních parametrech a požadavcích na kvalitu a vlastnosti produktů extruze.

Po usušení granule na skladovací vlhkost (nejčastěji pod 10 %) je nutné granule chladit na skladovací hodnotu v chladiči granulí (viz schéma na Obr. 6).

Obr. 5 - Závislost extruzní vlhkosti a obsahu bílkovin v receptuře



Obr. 6 - Doporučená sestava extruzní linky



1 – Extrudér s parním kondicionérem; 2 – Sušení; 3 – Vakuové povlakování; 4 - Chlazení

#### Aplikace tuku před, během a po extruzi krmné směsi

Během procesu výroby kompletního granulovaného krmiva vyrobeného procesem extruze je několik možností kde dodat tuk do krmné směsi (popřípadě i jiné tekutiny). Část tuku je obsažena již jako přirozená součást jednotlivých komponent krmné směsi (olejnatá semena, výlisky, klíčky atd.). Část tuku lze dodat do míchačky při výrobě krmných směsí. Před extruzí doporučujeme, aby celkový obsah tuku v extrudované směsi nebyl vyšší než 6 %. Vyšší obsah způsobuje zalepování dopravních cest a klenbování směsi v násypkách, zásobnících a působí potíže i při míchání směsi.

Další tuk lze dodat injektáží do pracovní jednotky extrudéru (OPCE injektáž oleje do pracovní jednotky extrudéru). Tuk ovšem od určitého množství působí negativně na expanzi krmné směsi a může mít vliv i na nižší stravitelnost škrobů. Obecně lze říci, že obsah tuku ve směsi do 6 % nemá velký vliv na extruzi, pouze snižuje tření v pracovní jednotce a je třeba jiné osazení pracovní jednotky pro dosažení stejné teploty jako u směsi bez tuku. Množství tuku od 6 - 12 % zvyšuje hustotu, ale nemá vliv na mechanickou odolnost granulí, mezi 12-17 % granule postupně ztrácí soudržnost a nad 17 % tuku jsou granule nesoudržné.

Další tuk lze aplikovat atmosférickým nástřikem, nebo vakuovým povlakováním na povrch granule po extruzi, a to na horký povrch po sušení, nebo na vychlazené granule po chlazení. Množství tuku, které je schopna granule pojmout závisí na množství pórů vytvořených v granuli (objemové hmotnosti), to je odvislé od extruzních parametrů (extruzní teplota, dávkování vody/páry), množství, kvality škrobu, který je obsažen ve směsi a množství tuku ve směsi, který je dodán před a během extruze. Vliv mají také další komponenty krmiv (vláknina, bílkoviny, atd.).

K dispozici jsou dva systémy pro nástřik tuku a jiných tekutin:

##### 1. OPCE atmosférický nástřik granulí.

Proces nástřiku tekutin probíhá kontinuálně, je možné aplikovat maximálně 4-8 % oleje (v závislosti na vlastnostech granule). Kromě oleje je tímto způsobem možné aplikovat i termolabilní látky (např. vitaminy) a probiotické preparáty.

##### 2. OPCE vakuové povlakování granulí.

Nástřik ve vakuu (vacuum coating) probíhá šaržovým způsobem v uzavřené nádobě, kde se vytvoří vakuum. Granule díky „vysátí“ vzduchu z pórů lépe přijímají nástřikované tekutiny a je proto možné aplikovat maximálně 16-21 % tuku (v závislosti na vlastnostech granule).

Nástřikem / Povlakováním lze podobně jako při atmosferickém nástřiku aplikovat na granule termolabilní komponenty krmiva, které by byly částečně eliminovány v průběhu extruze (některé termolabilní vitamíny, barviva, medikamenty, enzymy).

## 2.8 Požadavky extruze na vstupní materiál

### Nečistoty

Jejich podíl nesmí překročit max. 0,05%. Ve zpracovávaném materiálu se dále nesmějí vyskytovat tvrdé a abrazivní částice (kov, sklo, beton, kámen, písek). Způsobovaly by větší nechtěnou abrazi opotřebitelných dílců, klesala by životnost pracovních částí zařízení.

### Granulometrie vstupního materiálu

Z pohledu kvality finálního produktu a životnosti opotřebitelných dílců je výhodná u některých materiálů nevyhnutelná předúprava materiálu šrotováním. Další doporučení je uvedeno v následující tabulce (Tab. 3).

V případě používání horizontálních kladívkových šrotovníků je jemnost materiálu větší ve srovnání s vertikálními při použití síta se stejně velkými otvory.

Vlhkost a obsah tuků ve vstupní surovině působí jako „mazivo a stabilizátor“ procesu. Vlhkost spolu s tukem obsaženým v semeni či směsi, je zcela zásadní pro extruzi naprosté většiny krmiv. Zjednodušeně se dá říci, že obsah „maziva“ tj. tuku a vlhkosti by neměl v součtu být nižší než cca 25 %. Je-li například obsah tuku v materiálu pouze 6 % a vlhkost 11 %, mělo by se správně doplnit celkem 8 % vlhkosti do požadovaných 25 %. Toho lze dosáhnout injektáží vody nebo páry do vstupujícího materiálu v pracovní jednotce nebo prostřednictvím přímé injektáže syté páry v kondicionéru.

Tab. 3 - Granulometrie vstupního materiálu

Vstupní materiál	Předúprava	Potřebnost	Velikost sít (vertikální šrotovník)	Navýšení výkonnosti
Sója	mačkání	vhodné	-	10%
	šrotování	vhodné	6-8 mm	20%
Obilniny, luštěniny	šrotování	nutné pro proces	2-4 mm	0%
Výlisky olejnin	šrotování	nutné pro proces	6-8 mm	0%
Extrahované šroty	-	-	-	-
Krmné směsi	šrotování	nutné pro proces	0,5-1,5 mm	0%

### Teplota vstupního materiálu

Sledování teploty vstupního materiálu souvisí s dopadem na celkovou energetickou spotřebu procesu extruze. Všechny údaje v této technické informaci předpokládají teplotu materiálu přiváděného ke zpracování minimálně 15 °C. Je-li teplota materiálu nižší, je nutno počítat se zvětšenými nároky na energii pro ohřátí, což vede ke snížení výkonnosti technologie. Pokud se předpokládá provoz v zimním období, kde teplota semene může klesnout pod 15 °C, doporučujeme zvolit zařízení teplotní stabilizace vstupního materiálu.

### 3 Vlastní popis metodiky

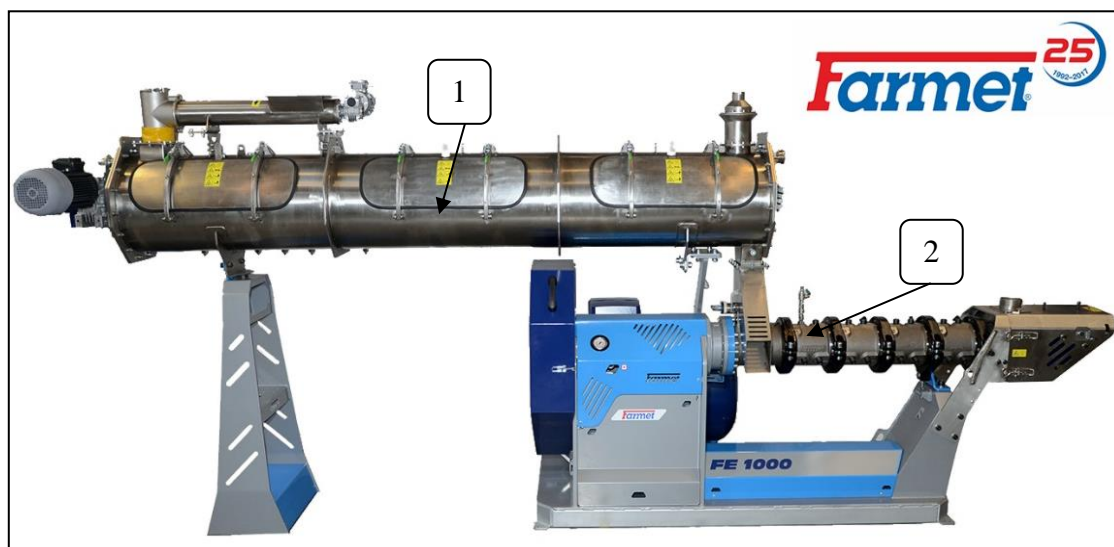
#### 3.1 Technické vybavení a optimalizace procesu extruze pšeničného zrna s využitím technologie firmy Farnet a.s.

Základem je extrudér určený pro extruzi obilnin, který je vybavený komponentami pracovní jednotky, které umožňují zpracovávat tyto materiály (obr. 7). Extrudér je vybaven speciálně tvarovanými šneky, které jsou uzpůsobeny pro zpracování těchto surovin. Pohon extrudéru je vybaven frekvenčním měničem hlavního pohonu, aby bylo možné měnit otáčky šnekovnice a tím optimalizovat proces extruze. Standardně je pracovní jednotka také vybavena jednotkou pro injektáž vody do extrudéru. Voda působí jako „mazivo“ a je uvnitř pracovní jednotky postupně s materiálem zahřívána a homogenizována. Škrob obsažený v materiálu se pomocí vody, zvýšené teploty a tlaku tzv. „zmazovává“ a tím se stává stravitelnější. Škrob zároveň působí jako pojivo, díky tomu je výsledný produkt formován do podoby granule. Na výstupu z extrudéru je umístěna matrice a rezačí hlava extrudátu.

Pro předúpravu materiálu před extruzí je vhodné zařadit parní kondicionér s přímou injektáží páry do pracovní jednotky kondicionéru, zvýší se výkonnost extrudéru a stabilita procesu extruze. Pro snížení teploty extrudátu na skladovací teplotu je nutné extrudát chladit.

Pro snížení objemové hmotnosti extrudátu pro následnou dopravu, zpracování a skladování je vhodné zařadit šrotování extrudátu.

Obr. 7 - Extrudér s kondicionérem



1 – parní kondicionér; 2 - extrudér

#### 3.2 Požadavky na příjem, skladování a úpravu pšeničného zrna před extruzí

Materiály určené k extruzi by měly být suché (max. 14 % vody), bez přítomnosti plísní a dalších organických i anorganických nečistot. Na výsledný produkt má vliv i míra vyčištění obilovin, kdy vyšší obsah vlákniny z obilných plev může zhoršovat proces extruze.

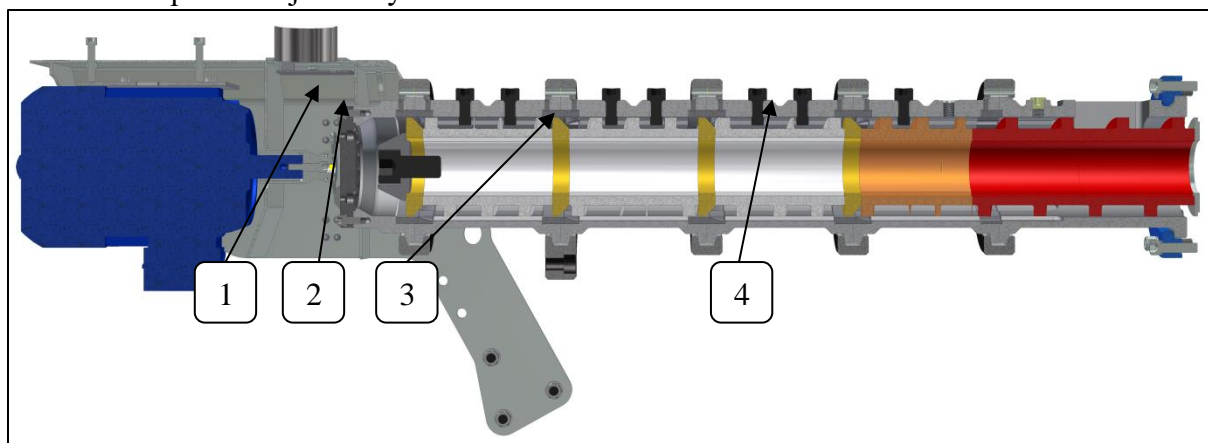
Z hlediska úpravy je nutné materiály šrotovat na potřebnou velikost částic. Tím se zajistí lepší kvalita extrudátu (homogenita a rovnoměrné zmazování škrobů) a současně klesá opotřebení pracovních částí zařízení extrudéru.

Ke šrotování mohou být použity všechny druhy šrotovníků a v případě kladívkových šrotovníků platí, že mletí na horizontálním šrotovníku poskytuje jemnější částice na stejném sítu ve srovnání se šrotovníky horizontálními. Maximální velikost částic musí být o velikosti 1/3 průměru otvoru v matici.

### 3.3. Postupy nastavení extrudéru a optimalizace procesu extruze pšenice

Výsledný produkt extruze lze v technologii Farnet ovlivnit několika extruzními parametry. Základní nastavení extrudéru se provádí volbou sestavy škrťících elementů a šnekových segmentů, která je umístěna na hřídeli extrudéru. Tato sestava je dodávaná v doporučené konfiguraci již z výroby (viz Obr. 8). V případě potřeby, je možné měnit konfiguraci škrťících elementů změnou jejich průměru. Omezením toku materiálu pracovní jednotkou změnou průměru škrťícího elementu má za následek nárůst tlaku a teploty uvnitř pracovní jednotky. To způsobuje větší expanzi extrudátu po opuštění pracovní jednotky. Další možnost, jak ovlivnit tlak uvnitř pracovní jednotky a tím i extruzní teplotu je zaslepení (případně otevření) otvoru v matici na výstupu z extrudéru. Oba tyto kroky není možné provádět během provozu extrudéru, extrudér je nutné odstavit.

Obr. 8 - Řez pracovní jednotky extrudéru



1 – řezací hlava, 2 – matrice, 3 – škrťící element, 4 – šnekový element

Parametry, které lze měnit během provozu jsou dávkování vody a otáčky hlavního pohonu. Zvýšením otáček pohonu extrudéru se sníží extruzní teplota a naopak. Množství dávkované vody (případně páry) je klíčový parametr, jak lze ovlivnit kvalitu výstupního produktu. Jeho množství závisí na vlhkosti vstupní suroviny a množství vlákniny v semeni, obvyklé hodnoty dávkované vody se pohybují od 6 do 10 %. Parametr kvality extruze pšenice, který je okamžitě vidět je expanzní koeficient, což je poměr průměru granule k průměru trysky. Z našich zjištění by hodnota měla být v rozsahu 2,5 - 3. V případě dávkování nedostatečného množství přestane materiál procházet pracovní jednotkou a extrudér se zastaví (zadře se). V případě dávkování nadměrného množství klesá expanzní koeficient a klesá i procesní teplota, což má za následek nedostatečné zmazování škrobu. Optimální extruzní teplota pšenice se pohybuje mezi 115 - 130 °C.

### 3.4. Chemicko-technologické změny pšeničného zrna po extruzi

Vedle pozitivního působení extruze v oblasti hygienické kvality zrna či potlačení některých antinutričních faktorů (viz kap. 2. 5.) dochází v pšeničném zrně i k významné změně u některých makro-komponent pšeničného zrna.

Především je zřejmý dopad extruze na změny podílu rychle stravitelného škrobu ( $G_{20}$ ). Z našich výsledků vyplynulo, že zatímco podíl  $G_{20}$  u neextrudovaných odrůd byl zhruba na

23 – 25 %, po extruzi kolísal jeho podíl v rozmezí 54 – 60 %. To znamená, že po extruzi byl na rychle stravitelný škrob přeměněn téměř veškerý škrob zrna.

Další detekovanou změnou byl po extruzi snížený obsah hrubé (CF) a neutrodetergentní vlákniny (NDF) a to zhruba o 25% oproti nativnímu zrnu. Naopak obsahy hrubých bílkovin či případné změny v obsahu esenciálních aminokyselin nebyly po extruzi prokázány.

Dalším významným faktorem pro získání kvalitního extrudátu je i nutričně kvalitní vstupní surovina. Z celkového statistického srovnání uvedeného v tabulce 4 jednak vyplývají výše uvedené skutečnosti vysokého dopadu extruze (95%) na změnu obsahu G<sub>20</sub>, zároveň však úroveň všech komponent významně ovlivnila i odrůda.

Z technologického hlediska pak dále odrůda v kombinaci s dávkováním vody a růstem teploty extruze zásadně ovlivňuje schopnost expanze extrudátu, což velmi dobře dokládá graf objemové hmotnosti extrudátu (Obr. 9) u 3 testovaných odrůd pšenice (Cimrmanova raná, Elixer, Bodyček)

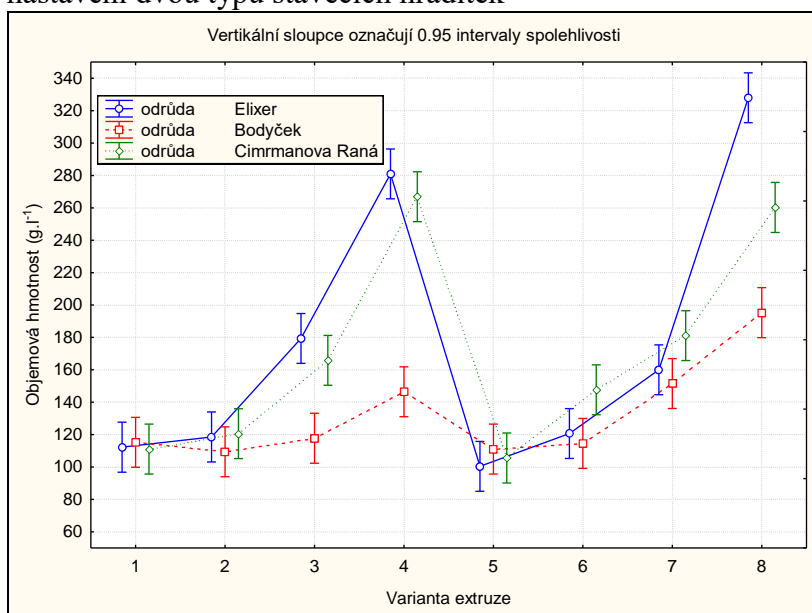
Je tedy zřejmé, že nevhodná kvalita vstupní komodity se odrazí i na výsledné kvalitě extrudátu.

Tab. 4 - Procentický vliv faktoru odrůdy a procesu extruze na proměnlivosti

Faktor		G <sub>20</sub> (mg.g <sup>-1</sup> )	ST (%)	CP (%)	CF (%)	NDF (%)	ADF (%)
Procentický vliv faktoru	Extruze (%)	<b>95,0**</b>	<b>30,0*</b>	1,3 <sup>ns</sup>	<b>44,8**</b>	<b>27,7**</b>	8,8 <sup>ns</sup>
	Odrůda (%)	<b>0,9*</b>	<b>38,1*</b>	<b>76,1**</b>	<b>39,3**</b>	<b>26,7**</b>	<b>53,0**</b>
	Interakce (%)	0,8 <sup>ns</sup>	<b>31,7*</b>	2,9 <sup>ns</sup>	<b>9,9**</b>	<b>37,8**</b>	<b>21,7*</b>

\* Statisticky průkazné pro  $p \leq 0,05$ ; \*\* Statisticky průkazné pro  $p \leq 0,01$

Obr. 9 - Charakteristika objemové hmotnosti extrudátů v závislosti na odrůdě, nástřiku vody a nastavení dvou typů stavěcích hradítek



Pozn. Var.1 – 4: stavěcí hradítko 80,5mm s postupným přidavkem vody 6, 8, 10, 12 l . 100 kg<sup>-1</sup> zrna  
 Var 5 – 8: stavěcí hradítko 82,5mm s postupným přidavkem vody 6, 8, 10, 12 l . 100 kg<sup>-1</sup> zrna

### 3.5. Postup zpracování extrudátu do krmné směsi pro drůbež

Existují dvě možnosti, jak využít extruzi při výrobě krmných směsí. První možností je extruze kompletní krmné směsi, která zajistí homogenitu krmiva a z hlediska sestavení krmné linky jde o jednodušší a levnější řešení. Tímto způsobem se ale může stát, že některé komponenty budou tepelně upravené dvakrát (sója a výrobky ze sóji). Další nevýhodou může být různorodost receptur pro jednotlivé kategorie a díky tomu i potřeba upravovat proces extruze. Kroky zahrnující tento postup výroby jsou následující: šrotování jednotlivých komponent směsi, jejich míchání, extruze, sušení, chlazení a expedice výsledných granulí.

Jako výhodnější se jeví druhá varianta a tou je extruze konkrétních komponent krmné směsi s následným zapracováním do granulované krmné směsi. Z hlediska obsahu živin, poškození teplem a zlepšení přístupnosti zpracovávaných živin, se jako nejvhodnější pro extruzi jeví obiloviny a další komponenty s vysokým obsahem škrobu. Tato varianta počítá se šrotováním extrudovaného materiálu, jeho zamíchání do krmné směsi a následným granulováním materiálu. Je to sice varianta náročnější z hlediska složitosti a nákladů na pořízení výrobní linky, na druhou stranu má daleko více výhod z hlediska potřeby zvířat, výroby a skladování hotové směsi. V tomto případě je daleko jednodušší proces extruze materiálu, není nutné šrotovat materiál pro extruzi tak jemně, je možno do extrudéru používat matrice s větším průměrem otvorů, pro dosoušení extrudátu stačí používat studený vzduch, šrotování extrudovaného materiálu je velmi rychlé, snižuje se energetická náročnost na granulaci, není nutné používat pro granulaci parní kondicionování a snižují se nároky na objem skladovacích prostor. Kroky zahrnující postup výroby v tomto případě zahrnují šrotování komponent pro extruzi, extruzi, šrotování zbylých komponent (pokud je to nutné), míchání krmné směsi, granulaci, chlazení a expedici granulí (vzájemné srovnání viz Tab. 5).



Tab. 5 - Možnosti výroby krmných směsí s využitím extruze

Extruze kompletní krmné směsi	Extruze vybrané komponenty krmné směsi
Mletí komponent krmných směsí (čím menší velikost granule, tím jemnější)	Mletí komponent - možno využít i větší průměr síta (u horizontálních šrotovníků až 8 mm)
Míchání komponent spolu s přidavkem tuku	Extruze komponenty (možnost přidavku tuku při extruzi, využití matric s většími otvory)
Extruze materiálu (různorodost receptur vyžaduje pokaždé úpravu extrudéru)	Mletí extrudovaného komponentu
Chlazení a sušení granulí teplým vzduchem	Míchání krmné směsi
Skladování a distribuce	Granulace krmné směsi (není nutné používat parní kondicionér)
	Prosušení granulí studeným vzduchem
	Skladování a distribuce

### 3.6. Efekt extrudované pšenice na přírůstek kuřecích brojlerů

Co se týká extruze pšenice a případně i dalších obilovin, je možno tento efekt rozdělit z hlediska výroby a z hlediska samotného krmení.

Z hlediska výroby to znamená možnost zpracování vyššího množství oleje, které by při běžné granulaci znamenalo riziko zhoršení pevnosti granulí. To hrozí od 6 % přidavku oleje do kompletní krmné směsi a v případě, že do receptury nebude zařazena kukuřice, je to velmi pravděpodobné. Pokud alespoň část oleje zapracujeme do šrotu pro extruzi (do 6 %), potom je možné snížit energetickou náročnost procesu extruze, při granulování docílit právě lepší pevnosti granulí a tím zamezit ztrátám krmiva ve výkrmu a zvyšování konverze. Dalším efektem je snížení energetické náročnosti při granulaci a tím i navýšení rychlosti podávání materiálu ke granulaci.

Z hlediska samotného výkrmu kuřat je nutné připomenout nejenom efekt sterilizace, snižování obsahu případných antinutričních látek, zvyšování obsahu rozpustné vlákniny, ale hlavně výrazné navýšení obsahu rychle přijatelného škrobu a tím i obsahu rychle dostupné energie.

Co se týká jednotlivých fází výkrmu, je nutné přiznat, že do deseti dnů věku, při krmení směsí BR1 (kompletní krmná směs pro výkrm brojlerů do 10. dne věku) není efekt extruze nijak výrazný s výjimkou možného pozitivního vlivu na snížení variability živé hmotnosti. V období od deseti dnů věku je už znát pozitivní efekt extruze ve smyslu nižší konverze krmiva, který se s narůstajícím věkem dále zvyšuje.

Hlavním efektem extruze obilnin v kompletních směsích pro vykrmované brojlerky je právě rychlá dostupnost energie z rychle stravitelného škrobu, tím dochází k rychlejšímu zvýšení obsahu glukosy v krvi, a tedy příjmu menšího množství krmiva. Díky tomu dochází ke zlepšení stravitelnosti živin a v součtu i menší spotřebě energie. Vzhledem k tomu, že se množství energie na 1 kg kompletní směsi zvyšuje v závislosti na narůstajícím věku kuřat, má v tomto případě efekt extruze významnou roli ve zvýšení nutriční hodnoty předkládané krmné směsi.

Pro upřesnění informací jsou uvedeny výsledky konverze krmiva z pokusu na brojlerových kuřatech ROSS 308. Do pokusu byla zařazena kuřata ve věku 1 den a celková délka pokusu, tedy výkrmu kuřat, byla 35 dnů. Kompletní krmná směs byla vytvořena na základě požadavků krmných norem uváděných na stránkách dodavatele jednodenních kuřat (Xavergen a.s., <http://www.xaverov.com/slepice.php>), ale bylo provedeno snížení energetické hodnoty a poměrově i ostatních živin u směsi BR2 (kompletní krmná směs pro výkrm brojlerů od 10. dne věku) na 12,6 MJ na kg krmné směsi, což je celkem běžná praxe výrobců krmných směsí pro zlevnění výrobku. Tato směs byla podávána od 10. dne až do konce výkrmu, protože nebyla

přidávána kokcidiostatika (od 1. do 10. dne byla podávána směs typu BR1 vyrobená opět podle živinových doporučení dodavatele kuřat). Porážková hmotnost byla u obou skupin kolem 2 kg a z hlediska statistického vyhodnocení nebyl zjištěn významný rozdíl. Co se však týká konverze krmiv, rozdíly byly významné ve prospěch pokusné skupiny. Z výsledků uvedených v tabulce č. 6 vyplývá, že za celý výkrm byla konverze o 68 g nižší u skupiny s extrudovanou pšenicí. Do 10. dne věku byla kontrolní skupina, z hlediska konverze krmiv lepší, ale v případě intervalů od 10. do 20. a od 20. do 35. dne věku byly hodnoty konverze ve prospěch pokusné skupiny. Z tabulky č. 6 je dále vidět, že se hodnota konverze s narůstajícím věkem snižuje, což potvrzuje naši teorii o rychlém zvyšování hladiny glukosy v krvi a tím nižším příjmu krmiva a lepším využití trávených živin v případě kuřat krmených extrudovanou pšenicí.

Pokud bychom počítali dál a představili si variantu výkrmu v jedné hale s 20 000 kuřaty, znamenalo by to úsporu krmiva na jeden turnus cca 2,72 t kompletní krmné směsi. Pokud budeme uvažovat o 7 turnusech výkrmu ročně, potom by úspora na krmivech byla na této hale celkem 19 t krmiva. A pokud bychom navíc uvažovali o extruzi pšeničného a kukuřičného šrotu najednou, dá se předpokládat další zvýraznění efektu snížené konverze krmiva.

Tab. 6 - Srovnání konverze krmiva u brojlerových kuřat (kg krmiva na kg přírůstku)

Věk kuřat	do 10. dne	10 - 20 dnů	20 - 35 dnů	Celý výkrm
Konverze (s extruzí)	1,343	1,369	1,416	1,395
Kontrola (bez extruze)	1,282	1,446	1,507	1,463
Rozdíl	+ 0,061	-0,077	-0,091	-0,068

### 3.7. Technické vybavení a optimalizace procesu extruze olejin s využitím technologie firmy Farnet a.s.

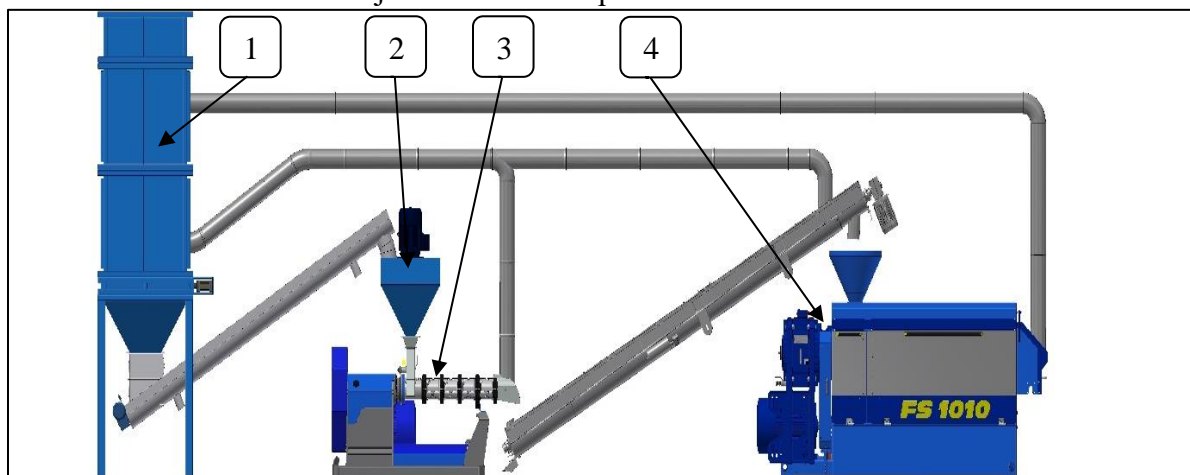
Využití extruze pro zpracování olejnatých semen se v technologii firmy Farnet používají dva základní postupy: 1) technologie lisování s extruzí a 2) technologie extruze sóji (Obr. 10).

V technologiích lisování s extruzí dochází k odlisování části oleje ve šnekových lisech. Lisování předchází extruze, která napomáhá výtěžnosti oleje – dojde k narušení buněčných struktur a k ohřátí semene před lisováním. Olejnatá semena, která mají obsah oleje nad 30 % (řepka, slunečnice) je nutné před extruzí částečně odlisovat ve šnekovém lisu olejin tak, aby se snížil obsah oleje na 20 – 22 % zbytkového tuku.

Sóju lze s výhodou zpracovávat v technologii extruze, kde je semeno sóji tepelně zpracováno v extrudéru, kde je snížen obsah antinutričních látek.

Technologie extruze i lisování s extruzí obsahuje: čištění semen, pro zpracování slunečnice a sóji může obsahovat loupání, kde se odstraní část slupek, dále technologie může obsahovat predehřev semen před lisováním (extruzí), semena sóji je výhodné před extruzí šrotovat, zvýší se tím výkonnost extrudéru, sníží se opotřebení pracovních částí zařízení a efektivněji proběhne eliminace aninutričních látek. Olejnatá semena s obsahem oleje nad 30 % jsou předlisována na 20-22 % oleje, pokrutiny z předlisu, případně nadrcená sója je extrudována v extrudéru. Extrudér je vybaven speciálně tvarovanými šneky pro extruzi těchto materiálů a podobně jako u obilných extrudérů lze měnit průměr škrťících elementů pro změnu extruzní teploty a tlaku. Výstup z extrudéru je vybaven regulovatelnou výstupní tryskou, která umožňuje regulaci teploty v rozsahu 25 °C. Extrudát vstupuje do šnekového lisu olejin (v případě produkce plnotučné extrudované sóji je tento krok vynechán). Pokrutiny z lisu je nutné před skladováním chladit. V technologii Farnet jsou použity protiproudé chladiče, které mají vysokou účinnost chlazení.

Obr. 10 - Schéma lisování sóji s extruzí a rekuperací



1 – Rekuperační zásobník, 2 – Šrotovník, 3 – Extrudér, 4 - Lis

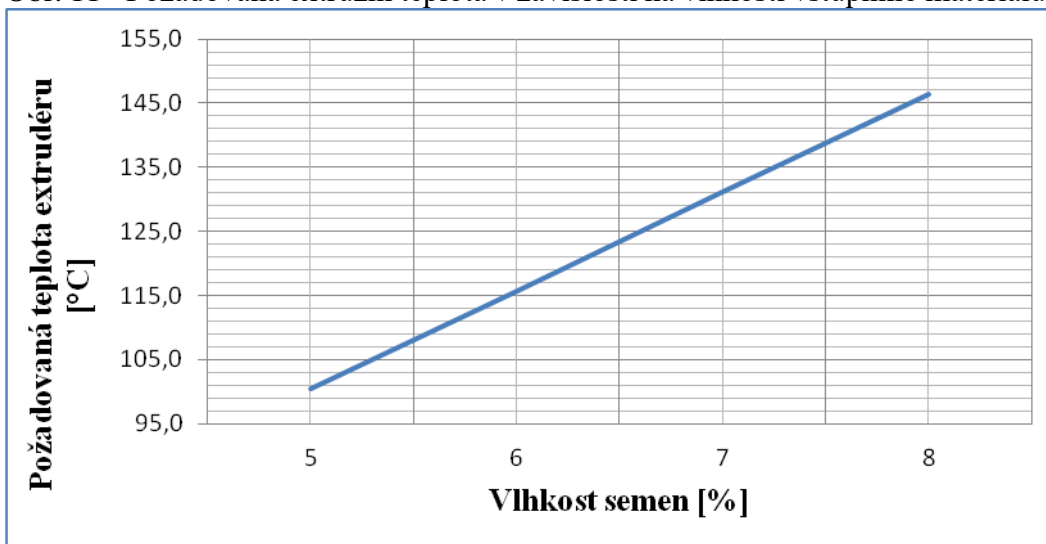
### 3.8. Kvalita vstupní suroviny a optimalizace procesu extruze a lisování olejnin

Olejnata semena musí mít vlhkost do 9 % (slunečnice, řepka), semena sóji mohou mít do 14 % vlhkosti, bez přítomnosti plísní a dalších organických i anorganických nečistot. Optimalizace lisování s extruzí spočívá ve správné přípravě materiálu před lisováním, což spočívá v optimalizaci extruzní teploty, případně dosoušení extrudátu po extruzi.

Dle našich zjištění pro optimální proces lisování je cílem snížit vlhkost semínek do dolisu optimálně na 4 – 5 %.

Obrázek (Obr. 11) zobrazuje doporučené extruzní teploty pro řepku a slunečnici v závislosti na vstupní vlhkosti materiálu do extrudéru. Pro extruzi sóji, případně lisování sóji s extruzí je ovšem nutné docílit teploty 134 – 137 °C kvůli odstranění antinutričních látek.

Obr. 11 - Požadovaná extruzní teplota v závislosti na vlhkosti vstupního materiálu do extrudéru



### 3.8.1. Ovlivnění procesní teploty

Procesní teplota extruze má vliv na přeměnu řady nutričních a antinutričních látek. Extruzní teplota lze měnit několika způsoby:

Změnou průměru škrťacích elementů v extrudéru – zmenšením průřezu pracovní komory pomocí škrťacích elementů vzroste teplota uvnitř pracovní jednotky vlivem tření.

Dávkováním vody/zvýšením vlhkosti vstupní suroviny – vyšší vlhkost vstupní suroviny, případně dávkování neohřáté vody do pracovní jednotky extrudéru snižuje extruzní teplotu.

Přehřev vstupní suroviny – přehřev vstupní suroviny například přímým stykem páry s materiálem v parním kondicionéru, případně nepřímým ohřevem v ohřívacích zásobnících, dojde ke zvýšení extruzní teploty.

Drcením vstupní suroviny – snížením granulometrie dojde ke snížení extruzní teploty vlivem snížení tření v pracovní jednotce extrudéru.

Změnou otáček hlavního pohonu extrudéru – snížením otáček hlavního pohonu dojde ke zvýšení extruzní teploty.

Okolní teplotou – teplota okolí ovlivňuje extruzní teplotu, čím vyšší teplota okolí, tím vyšší extruzní teplota, výkyvy lze částečně eliminovat izolací komor pracovní jednotky extrudéru.

### 3.9. Chemicko-technologické změny olejnin

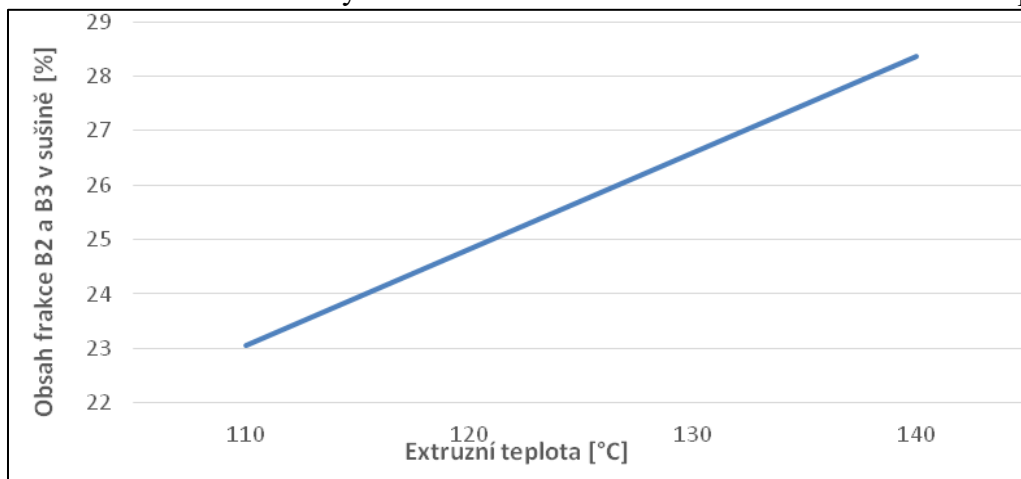
Technologie extruze olejnin ve spojení s lisy nabízí čistě mechanické zpracování olejnatých semen s vysokou výtěžností oleje bez použití chemických rozpouštědel. Navíc změnou teplotního profilu lze ovlivnit rychlost stravitelnosti bílkovin v trávicím traktu přežvýkavců.

Přeměnu bílkovinných frakcí lze sledovat pomocí cornellového systému výživy (The Cornell Net Carbohydrate and Protein System – CNCPS). Tento systém sjednotil postupy hodnocení dusíku v krmivech vycházející z proteinových frakcí A – nebílkovinný dusík, B1 – rychle rozložitelný protein, B2 a B3 – středně resp. pomalu rozložitelný protein a C frakce – vázaný (nestravitelný) protein. Pro výživu přežvýkavců jsou pak nejdůležitější bílkovinné frakce B2 a B3 (tzv. by-pass proteiny), které nejsou degradovány již v bacheru, ale jsou ze 100 % (frakce B2) resp. 80 % (frakce B3) stráveny v tenkém střevě.

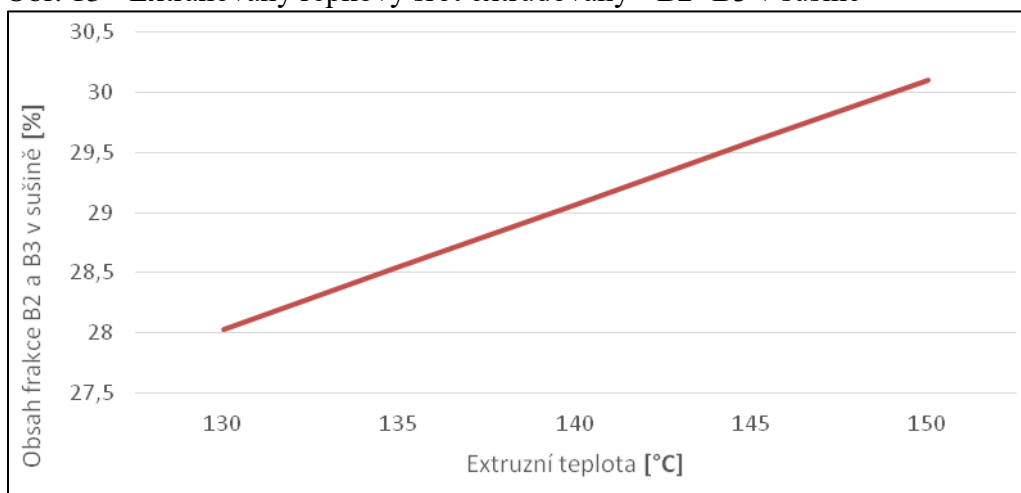
Jak ukazuje studie provedená firmou Farnet během extruze dochází k nárůstu frakcí B2 a B3 na úkor frakce B1. Se vzrůstající teplotou dochází ke zvyšování tohoto přesunu, a tedy i nárůstu tzv. by-pass proteinu. Příklad vlivu extruzní teploty na nárůst obsahu frakce B2 a B3 je zobrazen na obrázku (Obr. 12). Stejný efekt nárůstu by-pass proteinů má extruze na extrahované šroty řepky, jak je zobrazeno na obrázku (Obr. 13).

Tepelnou úpravou je tak možno významně vylepšit nutriční hodnotu přesunem bílkovinných frakcí za účelem zvýšení obsahu by-pass proteinu. Zároveň v technologiích šnekového lisování zahřátím olejnatých semen v extrudéru roste výtěžnost i oleje.

Obr. 12 - Obsah bílkovinných frakcí B2+B3 v sušině v závislosti na extruzní teplotě



Obr. 13 - Extrahovaný řepkový šrot extrudovaný - B2+B3 v sušině



#### 4. Srovnání novosti postupů

Ačkoli o procesu extruze byla publikována řada vědeckých a odborných článků, či diplomových prací, takto metodicky pojatá práce o extruzi zaměřená na zpracování obilnin a olejnin s dopadem ve výživě hospodářských zvířat a s konkrétním uplatněním v praxi doposud v České republice vydána nebyla. Vedle aktuálních informací o efektu extruze na nutriční či hygienické vlastnosti obilnin a olejnin, vlivu na výživu monogastrů a návrhů extruzních linek, jsou tyto informace doloženy konkrétními výstupy opírajícími se o námi provedené experimenty na pšenici či řepce a v případě pšenice i s ověřením efektivity biologické testace u kuřecích brojlerů. Právě tuto experimentální část dokládající nutriční změny v oblasti škrobů či vlákniny při daných extruzních postupech a umožňující tak vysvětlit zlepšenou konverzi u výkrmu drůbeže lze považovat nejen v českém měřítku za informačně významnou a v kontextu s kvalitou vstupního materiálu resp. vlivu odrůdy i za zcela unikátní.

#### 5. Popis uplatnění

Prezentovaná metodika shrnuje jak současné možnosti využití postupů extruze pro zpracování obilovin a olejnin, tak současně uvádí konkrétní příklady využití technologie extruze firmy Farnet na nutriční změny semen obilovin (pšenice) či olejnin s efektem na

zvýšení nutriční hodnoty krmiv. Vzhledem k tomuto zaměření, jsou budoucí primární uživatelé metodiky především zpracovatelé obilovin a olejnin, producenti potravin a krmných směsí využívající nebo uvažující o využití metody extruze. Těmto subjektům by měla naše metodika prohloubit znalosti o principech extruze a o možnosti jejího efektivního využití pro zpracování semen obilnin či olejnin a výrobu krmných směsí. Odborníkům v oblasti výživy hospodářských zvířat pak nabízí aktuální informace o potenciální efektivitě zařazení této metody v oblasti výkrmu monogastrů. Vzhledem k širokým dopadům technologie extruze na chemicko-technologické vlastnosti zrnin, resp. jejich jednotlivých komponent, lze do uživatelů zahrnout i univerzitní a vědecko-výzkumná pracoviště studující možnosti modifikací nutričních či technologických vlastností krmiv a jejich komponent např. škrobů. Právě u škrobů pak nabízí extruze celou řadu zajímavých modifikací s využitím nejen v oblasti nutriční jakosti, ale i řadu farmaceutických nebo průmyslových aplikací.

## 6. Ekonomické aspekty

Proces extruze je energeticky náročný proces, největší náklady jsou spojené se spotřebou elektrické energie a spotřebou páry. Elektrická energie se v extrudéru a dopravních cestách přemění na mechanickou (SME) a energie z páry se přemění na termální (STE), obě energie jsou si v procesu ekvivalentní a lze do určité míry nahradit jednu druhou. Náklady na výrobu jedné kilowaty energie v páře jsou třikrát nižší oproti nákladům kilowaty elektrické energie, je tedy ekonomicky výhodné maximálně využívat energii páry.

Další způsob, jak uspořit energii je využití systému rekuperace. Společnost Farmet a.s. nabízí vícestupňové systémy rekuperace, kde je využíváno kondenzační teplo z extrudéru a dopravních cest a ohřátý vzduch z lisů pro předehřev vstupní suroviny.

V následující tabulce (Tab. 7) je přehled nákladů na energie v různých procesech extruze a lisování s extruzí. Kolik energie je možno nahradit parou, případně rekuperovat zpět do procesu, ovlivňuje zejména vlhkost vstupní suroviny a požadavek na předúpravu (změna teploty, vlhkosti) před extruzí a lisováním.

Tab. 7 - Přibližné náklady na proces extruze a lisování s extruzí

Materiál	Náklady bez rekuperace a využití syté páry [Kč/t]*	Náklady při použití rekuperace [Kč/t]*	Náklady při použití syté páry [Kč/t]*
Extruze pšenice	200	180	113
Extruze sóji	200	163	138
Extruze s lisováním sóji	337,5	312	254
Extruze s lisováním – řepka a slunečnice	265	240	215

\*při ceně 2,5 Kč/kWh elektrické energie a 0,8 Kč/kWh energie obsažené v páře

V tabulkách (Tab. 8 A a B) jsou dále pro ilustraci uvedeny ceny krmných směsí potřebných pro výkrm 10 000 brojlerových kuřat ve variantách bez použití extruze a při použití extruze. Zohledněny jsou varianty extruze kompletní krmné směsi, anebo pouze pšenice, a dále je pro příklad uvedena varianta bez rekuperace energie a bez syté vodní páry, tedy pouze s přidavkem vody v tekuté formě do extrudéru a naopak s využitím rekuperace a vodní páry, což má pozitivní vliv hlavně na zvýšení výkonu extruzní linky a snížení spotřeby energie. V případě tabulky (Tab. 8 A) navýšení vychází pouze z nákladu na 1 tunu materiálu, tedy kompletní krmné směsi a bylo použito hodnot pro extruzi sóji uvedených v tabulce (Tab. 7). V případě tabulky (Tab. 8 A) uvádíme příklad, kdy se extruduje pouze energetická komponenta receptury, konkrétně pšenice. Tentokrát připočtená hodnota opět vycházela z tabulky (Tab. 7), ale pro

extruzi pšenice a zároveň byl zohledněn procentický podíl pšenice v krmné směsi, protože není nutné extruzí upravovat celou směs, ale pouze její část.

Tab. 8 - Ilustrativní srovnání ceny krmné směsi pro výkrm kuřat v případě započítání energetických nákladů na extruzi

A - Varianta extrudované kompletní krmné směsi

Parametr	S extruzí neupravenou pšenici	S extruzí bez použití rekuperace a syté páry	S extruzí s využitím rekuperace a syté páry
Cena 1t kompletní krmné směsi	7000 Kč	7200 Kč	7138 Kč
Cena energie za 1t extrudované směsi	0	200 Kč	138 Kč
Konverze krmiva	1,463 kg	1,395 kg	1,395 kg
Spotřeba krmné směsi na výkrm 10 000 kuřat do ž. hm. 2,2 kg	32,186 t	30,69 t	30,69 t
Cena spotřebovaných krmných směsí	225 302 Kč	220 698 Kč	219 065 Kč
<b>Rozdíl oproti neupravené pšenici</b>		<b>- 4 604 Kč</b>	<b>- 6 237 Kč</b>

B - Varianta extrudované pšenice

Parametr	S extruzí neupravenou pšenici	S extruzí bez použití rekuperace a syté páry	S extruzí s využitím rekuperace a syté páry
Podíl pšenice v receptuře	55 %	55 %	55 %
Cena energie za 1t extrudovaného materiálu	0 Kč	200 Kč	113 Kč
Cena 1 t kompletní krmné směsi	7 000 Kč	7 110 Kč	7 062 Kč
Konverze krmiva	1,463 kg	1,395 kg	1,395 kg
Spotřeba krmné směsi na výkrm 10 000 kuřat do ž. hm. 2,2 kg	32,186 t	30,69 t	30,69 t
Cena spotřebovaných krmných směsí	225 302 Kč	218 206 Kč	216 733 Kč
<b>Rozdíl oproti neupravené pšenici</b>		<b>-7 096 Kč</b>	<b>- 8 596 Kč</b>

## **7. Seznam použité související literatury**

- Riaz M.N. et al. (2007), Extruders and Expanders in Pet Food, Aquatic and Livestock Feeds; Agrimedia, 21-26.
- Farnet a.s. (2016), Technická informace na dodávku technologického zařízení pro úpravu krmiv extruzí, 1-20.
- Licitra, G., Hernández T.M., Van Soest P.J. (1996), Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science Technology*, 57(4), 347-358
- Savoire R., Lanoisellé J-L., Vorobiev E. (2013), Mechanical Continuous Oil Expression from Oilseeds: A Review. *Food Bioprocess Technol* (2013) 6:1–16.
- Lichnovský M. (2012), Vliv kvality suroviny a podmínek extruze na kvalitu extrudovaných výrobků. Diplomová práce, Fakulta technologická, Ústav analýzy a chemie potravin, UTB ve Zlíně, str. 72
- Levic J. ed. (2010), 2<sup>nd</sup> Workshop "Extrusion Technology in Feed and Food Processing", Institut for Food Technology Novi Sad, pp. 192
- Křivka M. (2000), Extruzní technologie a výrobky se neustále rozšiřují. *Mechanizace zemědělství*. <http://mechanizaceweb.cz/extruzni-technologie-a-vyrobky-se-neustale-rozsiruji/> staženo 10.11. 2017.
- Ježková A. (2015), Tepelná úprava krmiv pro zvířata. *Náš chov*. <http://naschov.cz/tepelná-uprava-krmiv-pro-zvirata/> staženo 8.11. 2017
- Uitterhaegen E., Evon P. (2017) Twin-screw extrusion technology for vegetable oil extraction: A review. *Journal of Food Engineering* 212, 190 - 200

## **8. Seznam publikací, které předcházely metodice**

- Kaválek M., Hanuš J. (2014), Extrudované extrahované řepkové šroty jako náhrada sójového šrotu. *Krmivářství* 06 2014: 28-29
- Kaválek M., Hanuš J. (2015), Rapeseed by-products to substitute soymeal. *AllAboutFeed*, Volume 23, No 7, 2015: 24-25.
- Kaválek M. (2017), Lowering operation costs of extrusion: A path to sustainable production of fish food. *International Aquafeed* – September 2017: 20.
- M. Kaválek, J. Hanuš, V. Plachý (2016), Zpracování obilnin, luštěnin a olejnatých semen extruzí a extruzí s lisováním. *Aktuální poznatky v pěstování, šlechtění, ochraně rostlin a zpracování produktů*, Úroda 12/2016, vědecká příloha časopisu: 545-550
- Plachý V., Mudřík Z., Kodeš A., Hučko B. (2016), Influence Extrusion of Wheat Grain on Feed Efficiency in Broiler Chicks (Vliv extruze pšeničného zrna na produkční účinnost u kuřecích brojlerů). *Medzinárodná vedecká konferencia Lazarove dni výživy a dietetiky XII.*, 7.-8. september 2016 Košice, 148 – 151
- Dvořáček V. , Plachý V. , Štěrbová L., Matějová E. , Kaválek M. , Hučko B. (2016), Effect of Extrusion Procedure on Selected Grain Parameters in Contrast Wheat Cultivars. *Animal Science and Biotechnologies*, 49(1), 6 – 11.