

OPIS TECHNOLOGII

Produkcja karmy dla zwierząt
domowych



WENGER®

Opracowanie:
Zespół technologii karmy dla zwierząt w firmie Wenger
Galen Rokey, Processing Technology Manager
Brian Plattner, Process Engineer

Opis technologii firmy Wenger

Produkcja karmy dla zwierząt domowych

Technologia ekstruzji jest komercyjnie wykorzystana w produkcji żywności od ponad 60 lat. Ekstrudery ślimakowe zostały po raz pierwszy zastosowane jako urządzenia do ciągłej obróbki termicznej w końcu lat trzydziestych zeszłego wieku. Pierwsze komercyjne zastosowanie takiego procesu ekstruzji miało miejsce w połowie lat czterdziestych. Końcowym produktem były przekąski z bezpośrednio ekspandowanej mąki kukurydzianej. Współczesne ekstrudery stały się podstawowym urządzeniem do ciągłej obróbki cieplnej w komercyjnej produkcji większości suchych karm dla zwierząt domowych.

Karma zwierzęca ekspandowana na sucho została po raz pierwszy wyprodukowana na ekstruderach w latach pięćdziesiątych XX wieku. Rynek suchej ekspandowanej karmy zwierzęcej stał się od tamtego czasu największy pod względem rozmiarów rocznej produkcji w Stanach Zjednoczonych i na całym świecie. Karma dla zwierząt domowych (psów i kotów razem) stanowi 72% rynku towarów masowych dla zwierząt sprzedawanych w sklepach spożywczych. Sprzedaż ekspandowanej karmy w USA w roku 1999 miała wartość prawie 4,5 miliarda dolarów. Rynek detaliczny jest oceniany na około 70% całych obrotów, a pozostałe 30% przypada na sklepy z towarami dla zwierząt, sklepy z paszami oraz kliniki weterynaryjne. Ostrożne szacunki wskazują na ciągły wzrost na poziomie trzech procent w każdej kategorii na następne trzy do pięciu lat.

CHARAKTERYSTYKA I WYBÓR SUROWCÓW

Zestawienie surowców, wybór urządzeń technologicznych oraz warunków przetwarzania stanowią niezależne strefy oddziaływania, wykorzystywane przy produkcji ekstrudowanej karmy dla zwierząt. Mimo że strefy oddziaływania są niezależne, są jednak ze sobą na tyle powiązane, że dyskusja o jednej ma wpływ na pozostałe. W tym rozdziale zajmiemy się tematem wyboru składników oraz sposobem, w jaki składniki reagują na różne warunki technologiczne ekstruzji.

Wykorzystanie surowców i ekonomiczna receptura stanowią podstawowe czynniki działania. Umiejętność zmiany warunków technologicznych oraz kompozycji składników w celu utrzymania kosztów receptury na minimalnej wysokości przy zachowaniu wysokiego poziomu jakości przy minimalnych kosztach eksploatacyjnych stanowi wyzwanie dla każdego producenta.

Dobór składników ma olbrzymi wpływ na teksturę, jednolitość, podatność na ekstruzję, wartość odżywczą oraz stronę ekonomiczną produktu końcowego. Proces ekstruzji umożliwia wytwarzanie bardzo szerokiej gamy produktów w granicach wyznaczonych przez technologa żywienia. Ogólnie rzecz biorąc, podczas ekstruzji mieszanek nasion zbóż i białek zwilżone surowce granulowane lub sypkie zamieniane są w ciasto. Składniki skrobiowe przechodzą w żel, przez co znacznie wzrasta pobieranie wody oraz lepkość ciasta. Niektóre składniki białkowe mogą mieć wpływ na elastyczność, która jest charakterystyczna dla hydratyzowanego i wyrabianego ciasta kleistego. Inne surowce białkowe, zawierające białka słabo rozpuszczalne, np. mączkę mięsną lub rybną, mogą w mniejszym stopniu sprzyjać kleistości i rozciągliwości ciasta.

Skrobia

Skrobia jest podstawowym węglowodanem występującym w karmie dla zwierząt domowych. Zawartość skrobi w recepturze może się wahać od pięciu do nawet sześćdziesięciu procent. Jeżeli podczas procesu ekstrudowania wystąpi galaretowacenie, skrobia staje się rozpuszczalna i wchłania znaczne ilości wody. Skrobia stanowi ważne źródło energii w karmie dla zwierząt. Liczne badania dowodzą, że psy nie są w stanie trawić surowej skrobi. Już w roku 1979 Teeter wskazał, że podawanie surowej skrobi może skutkować biegunką¹.

Skrobia przyczynia się również do zwiększenia objętości i wiązania w produkcie końcowym. Amyloza, która jest składnikiem skrobi, ma silniejsze właściwości wiążące niż amylopektyna. Skrobia roślin bulwiastych, np. ziemniaków, tapioki, zawierająca dużo amylazy jest najlepszą substancją wiążącą, poprawiającą spoistość produktu końcowego. W recepturach jest czasem używana skrobia wstępnie gotowana, ale jej użyteczność jest ograniczona przez wysoki koszt.



Zawartość skrobi w produkcie końcowym wynika z wymogów odżywczych oraz pożądanej gęstości nasypowej. Zwiększenie zawartości skrobi może być pomocne przy zmniejszaniu gęstości nasypowej ekstrudowanych produktów. Zawartość skrobi rzędu 30% w karmie dla kotów i szczeniaków oraz 40% w suchej ekspandowanej karmie dla psów jest typowa.

Białko

Przy komponowaniu i produkcji karmy dla zwierząt metodą ekstruzji należy pamiętać, że same ziarna zbóż nie zapewnią wymaganej równowagi aminokwasów dla prawidłowego rozwoju i utrzymania zwierząt w dobrej formie. Dlatego do diety kompletnej pod względem odżywczym konieczne są składniki białkowe. Składniki białkowe stanowią najczęściej 25 do 70% receptury. Białka dzieli się często na pochodzenia roślinnego i zwierzęcego.

Źródła białka roślinnego to np. mąka sojowa, gluten pszeniczny oraz glutenowa mąka kukurydziana. Białka roślinne wpływają w znaczny sposób na strukturę oraz wartość odżywczą karmy dla zwierząt. Dzięki niewielkiej obróbce termicznej dysponują dobrymi własnościami "funkcjonalnymi" i wspomagają przy ekstruzji ekspandowanie oraz wiązanie produktu. Mogą być źródłem białka w recepturze karmy, ale mogą też być przetwarzane bezpośrednio i służyć jako domieszka objętościowa do mięsa w karmie suchej i puszkowanej. W karmie dla zwierząt nie mogą być używane wyłącznie składniki białkowe roślinne, ponieważ nie dostarczają wszystkich koniecznych aminokwasów.

Białka zwierzęce zazwyczaj nie wpływają w istotny sposób na strukturę ekstrudowanej karmy. Podczas ich przygotowywania są często poddawane intensywnej obróbce termicznej, w skutek czego są "niefunkcjonalne". Wyjątek stanowią surowce, które używane są w stanie świeżym lub przygotowywane z zachowaniem rozpuszczalności białek, np. suszona rozpryskowo mączka z krwi. Dodatek zwierzęcych surowców białkowych w recepturze umożliwi dostarczenie zwierzęciu pełnego kompleksu aminokwasowego. Najpopularniejszymi źródłami białka zwierzęcego są: świeże mięso, mączka drobiowa jako produkt uboczny, mączka rybna, mączka mięsna i kostna, mączka z krwi i żelatyna.

Tłuszcz

Tłuszcze lub lipidy stanowią znakomite źródło energii w karmie dla zwierząt. Zawartość tłuszczu może przekraczać 30%, ale zazwyczaj stanowi poniżej 20% kompletnej receptury. Jeżeli ekstruzja odbywa się przy niskiej wilgotności (<20%) i wysokiej temperaturze (>150°C), to jest prawdopodobne, że powstaną kompleksy lipidowo-skrobiowe oraz lipidowo-białkowe. Szczególnie aktywne są w takich sytuacjach wolne kwasy tłuszczowe i lipidy polarne. Analiza zawartości tłuszczu w ekstrudowanych produktach musi obejmować hydrolizę kwasową, a nie tylko metodę Soxhleta, ponieważ metoda Soxhleta nie jest w stanie rozłożyć tych kompleksów. Jednakże wiązanie lipidów zachodzące podczas ekstruzji nie wpływa ujemnie na trawienie w przypadku konsumpcji.

Ilość tłuszczu dodanego podczas procesu ekstruzji może mieć wpływ na charakterystykę produktu końcowego. Tabela 1 zawiera ogólną orientację na temat wpływu poziomu tłuszczu na jakość produktu. Nie tylko ilość, ale także pochodzenie tłuszczu wpływa na stopień rozprężenia produktu podczas ekstruzji. Tłuszcze swoiste, które wchodzą w skład danego surowca, mają mniejszy wpływ na rozprężanie niż tłuszcze dodawane w postaci rafinowanej. Na przykład receptura z 15% tłuszczu, gdzie tłuszcz pochodzi z pełnotłustego rzepaku jako składnika, ma mniejszy wpływ na rozprężanie niż czysty olej rzepakowy dodany w celu uzyskania tej samej zawartości tłuszczu w produkcie.

Tabela 1: Wpływ zawartości tłuszczu na jakość produktu

Ilość tłuszczu w ekstrudowanej mieszance	Wpływ na jakość produktu
0-12%	Mały lub brak wpływu
12-17%	Na każdy 1% powyżej 12% gęstość nasypowa produktu końcowego wzrasta o 16 g/l.
16-22%	Produkt rozpręży się słabo lub wcale, ale nadal będzie trwały.
Powyżej 22%	Trwałość produktu końcowego będzie niska.

Ogrzanie składników tłuszczowych do 40-60°C przed z mieszaniem z innymi składnikami receptury minimalizuje zmiany lepkości zależne od temperatury, wspomaga obróbkę cieplną całego produktu i niweluje niekorzystny wpływ tłuszczu na rozprężanie. Składniki tłuszczowe obejmują: łój, tłuszcz drobiowy, oleje roślinne, olej ze zwierząt morskich oraz różne mieszaniny ze wszystkich źródeł.



Wybór tłuszczów twardych (tych o wysokiej temperaturze topnienia) może pomóc zminimalizować migrację tłuszczu do opakowania detalicznego podczas składowania.

Błonnik

Coraz powszechniej występują na rynku karmy o zmniejszonej kaloryczności dla zwierząt otyłych lub mało aktywnych. Diety tego typu zawierają znaczne ilości celulozy i hemicelulozy. Warunki ekstruzji rzadko są na tyle ciężkie, żeby oddziaływały na pozorną strawność błonnika dietetycznego. Jednakże składniki włókniste posiadają gęstość nasypową i własności hydratacyjne całkiem odmienne od składników tradycyjnych, zatem wymagają innej konfiguracji ekstrudera oraz warunków procesu.

Wysoka zawartość składników włóknistych powoduje przerywanie ciągłej struktury węglowodanowej ekstrudowanego produktu, czego skutkiem jest chropowaty wygląd i nadmierna ilość drobno pokruszonego materiału. Zawartość skrobi w niektórych składnikach włóknistych, np. otrębach pszennych lub ryżowych może wahać się od 15 do 40% zależnie od gatunku, warunków wzrostu oraz procesu mielenia. Różna zawartość skrobi może wpływać na drastyczne zmiany w procesie ekstruzji.

Składniki drobne

Witaminy stanowią ważną grupę składników drobnych. Każda witamina ma własną charakterystykę trwałości podczas obróbki termicznej, a niektóre witaminy są nietrwałe podczas składowania. Na trwałość witamin podczas ekstruzji wpływają: wilgoć, ciśnienie, ścinanie i temperatura.

Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach, w tym A, D i E są dosyć stabilne podczas ekstruzji, jednak zdarzają się ubytki rzędu 15 do 20% (tabela 2)ⁱⁱ. Zawartość wody podczas ekstruzji ma największy wpływ na zachowanie witamin. Ogólną zasadą jest, że im wyższa wilgotność tym więcej witamin zachowuje się.

Tabela 2: Straty witamin podczas ekstruzji

Witamina	Zarejestrowana strata (%)
A	12 - 88
E	7 - 86
C	0 - 87
B1	6 - 62
B2	0 - 40
B6	4 - 44
B12	1 - 40
Niacyna	0 - 40

Należy wziąć pod uwagę następujące opcje w celu zachowania zalecanej zawartości witamin w karmie dla zwierząt:

1. Stosowanie nadwyżek: Zalecane jest stosowanie nadwyżek dla skompensowania strat występujących podczas składowania i obróbki.
2. Używanie trwałych postaci: Witaminy w postaci zamkniętej w silikonie lub żelatynie mogą być używane dla poprawy stabilności termicznej. Najnowsze udoskonalenia w dziedzinie stabilizacji kwasu askorbinowego (Stay-C[®]) zmniejszają potrzeby używania drogich nadwyżek.
3. Dodawanie witamin wraz z wierzchnią powłoką, np. tłuszczem: Tłuszcz wzbogacony witaminami może być rozpylany lub ekstrudowany na suchą karmę. Metoda ta jest dość skuteczna w celu zachowania stabilności witamin nawet przez okres późniejszego składowania. Jeżeli jednak ogrzany tłuszcz jest przez dłuższy czas utrzymywany w podwyższonej temperaturze, to straty witamin mogą być znaczne.

Barwniki i pigmenty są często dodawane do karmy dla zwierząt jako zachęta i wyróżnik, bardziej dla ludzi niż dla samych zainteresowanych – naszych czworonogów. Barwniki stosowane w produkcji żywności, lekarstw i kosmetyków są w większości odporne na ekstruzję. Ich intensywność zazwyczaj maleje wraz z siłą rozprężania. Dodanie niewielkiej ilości dwutlenku tytanu pozwala zmniejszyć niezbędną ilość barwników.

Półmokra karma jest stabilizowana i chroniona przed zepsuciem bez chłodzenia. Systemy konserwacji są włączone w recepturę dla doprowadzenia aktywności wody w produkcie końcowym (A_w) do poziomu (0,65), który zapobiega rozwojowi mikroorganizmów lub znacznie go ogranicza. Poziom A_w jest obniżany przy pomocy substancji pochłaniających wilgoć (cukry, syropy, sole i alkohole wielowodorotlenowe, np. glikol propylenowy). Taka karma jest dalej stabilizowana przez regulację pH do poziomu (4,0 do 5,5), który jest zbyt niski dla wielu mikroorganizmów, przez dodanie 1 do 2% kwasu fosforowego lub mlekowego. Dodanie środków przeciw grzybom np. sorbatu potasu w ilości 0,2 do 0,3% chroni karmę



przed rozwojem pleśni. Receptury często odpowiadają na upodobania psów do słodczy i kotów do kwaśnych smaków i zapachów.

Może być wskazane dodanie substancji wzmagających smak i aromat dla poprawy smakowości. Substancje poprawiające smakowość obejmują: tłuszcze zwierzęce (tój, smalec, tłuszcz drobiowy), płynne ekstrakty mięsa, oleje roślinne lub tran rybi, wyciągi tłuszczów zwierzęcych, lipolizowany tój wołowy, czosnek, cebulę, cukry, wołowinę i inne gatunki mięsa oraz produkty z odtłuszczonego mleka w proszku. Składniki te mogą być mieszane z innymi surowcami przed ekstruzją lub dodawane przez powlekanie powierzchni gotowego produktu metodą rozpylania, powlekania w bębnie lub zanurzania. Środki poprawiające smak i zapach oraz inne składniki odżywcze są często wtryskiwane do ekstrudera. Decyzja o użyciu tych składników i miejscu ich dodania do procesu ma olbrzymi wpływ na smakowość karmy.

Seria badań przeprowadzonych dla zilustrowania tych koncepcji obejmowała ekstruzję suchej ekspandowanej karmy dla psów według receptury bazowej ze świeżym mięsem i białym tłuszczem dodawanym w różnych miejscach systemu. Uzyskaną karmę podawano psom dla określenia preferencji (smakowości). Wskaźnik smakowości jest terminem stworzonym dla wyrażenia względnych preferencji, jakie wykazywały psy w odniesieniu do różnych produktów. Tabela 3 podsumowuje wyniki.

Typowe receptury

Spotykane w handlu karmy dla zwierząt można podzielić na 4 podstawowe rodzaje:

1. Karma sucha
2. Karma półmokra lub miękka
3. Ciasteczka i inne smakołyki
4. Karmy w puszkach i mrożone

Karma sucha stanowi największy segment spośród czterech podstawowych kategorii. Produkty końcowe są ekspandowane lub częściowo ekspandowane. Zawierają 8 do 10% wody i są wytwarzane z: ziaren zbóż, zbożowych produktów ubocznych lub ich pochodnych, mąki sojowej, surowców zwierzęcych, surowców mlecznych, tłuszczów i olejów, składników mineralnych oraz suplementów witaminowych.

Udział karm półmokrych w rynku karm dla zwierząt domowych nie odnotowuje szybkiego wzrostu. Zawierają one umiarkowane ilości wody (22 do 30%) i wymagają zastosowania konserwantów w recepturze dla kontrolowania aktywności wody. Chociaż mogą zawierać składniki podobne do tych, które używane są w suchej karmie, surowce sypkie, bardzo drobno rozdrobnione są najważniejsze.

Ekstrudowane karmy dla zwierząt mają najczęściej formę krokietów, kości, wafelków, pasków lub paluszków. Przysmaki tego rodzaju mieszczą się w kategorii karmy suchej lub półmokrej. Wyróżnikiem względem innych kategorii karmy jest ich wielkość, kształt i charakterystyka odżywcza. Ekstruzja wykorzystywana jest w produkcji karmy dla zwierząt laboratoryjnych oraz innych zwierząt domowych. Produkty te przeznaczone są dla różnych gatunków ptaków, ogrodów zoologicznych oraz zwierząt egzotycznych.

Tabela 3: Wpływ substancji poprawiających smakowość i miejsce ich dodawania

Składnik i warunki technologiczne	Wskaźnik smakowości
Bez dodania tłuszczu lub świeżego mięsa	1.00
Tłuszcz dodany do wstępnej mieszanki składników	2.13
Tłuszcz dodany do ekstrudera	5.58
Świeże mięso dodane do ekstrudera	11.35

Tabela 4: Analiza wielkości cząstek w typowej karmie dla zwierząt

Standardowy numer sita (USA)	Oczka sita w mikronach	Procent na sicie
20	850	1.0
30	600	3.0
40	425	28.0
50	300	29.0
60	250	21.0
80	180	5.0
Odbieralnik	0	14.0
Średnica geometryczna średnia: 327 mikronów		
Geometryczne odchylenie standardowe 1,58		
68% między 207 a 516 mikronami		
95% między 103 a 1033 mikronami		



Karma puszkowana jest komponowana jako pełnoporcjowa pod względem odżywczym lub jako uzupełniająca. Zawiera co najmniej 65% wody oraz wiele takich samych składników jak stosowane w innych kategoriach karmy. Chociaż kompletna karma zazwyczaj nie jest ekstrudowana, to poszczególne składniki mogą być wytwarzane w procesie ekstruzji.

Przygotowanie surowców

Wielkość cząstek surowców wpływa na teksturę oraz jednorodność produktu końcowego. W procesie ekstruzji można korzystać z surowców o bardzo zróżnicowanej wielkości cząstek. Jest pożądane, chociaż nie absolutnie konieczne, aby cząstki surowców były jednakowej wielkości i gęstości dla uniknięcia oddzielania się podczas mieszania i transportu przed ekstruzją. Ważne jest, że surowce o takiej samej wielkości cząstek jednakowo pobierają wodę oraz gotują się podczas ekstruzji, co eliminuje twarde, niedogotowane kawałki w końcowym produkcie.

Jeżeli zakład produkcyjny otrzymuje całe ziarna, to należy je przed mieszaniem wstępnie zmielić do wielkości cząstek rzędu 1000 mikronów. Zestawiana receptura podlega jeszcze mieleniu przed ekstruzją dla uzyskania wymaganej ziarnistości. Jeżeli otwory w matrycy mają 3 milimetry średnicy lub więcej, to zazwyczaj mielenie ostateczne winno dać wielkość cząstek jak z sita o oczkach 1,2 mm. Dla matryc o otworach poniżej 3 mm maksymalna ziarnistość surowców powinna wynosić 1/3 wielkości otworów w matrycy. Tabela 4 zawiera analizę typowej wielkości cząstek w recepturach mielonych przez otwory 1,2 mm.

WYBÓR URZĄDZEŃ

Wybór urządzeń technologicznych dla zakładu produkcyjnego to bardzo ważna decyzja. Należy wybrać urządzenia, które zapewnią najwyższą efektywność eksploatacyjną i maksymalną wszechstronność przy jak najniższym koszcie całkowitym. Przy doborze wielkości urządzeń dla zakładu konieczne jest ustalenie wydajności lub wielkości produkcji, jaką ma dawać zakład. Trzeba też wziąć pod uwagę prawdopodobieństwo przyszłej rozbudowy. Na przykład, zakup przenośnika lub silosa o dwa razy większej przepustowości lub pojemności może kosztować niewiele więcej. Urządzenia w zakładzie produkującym karmę dla zwierząt domowych muszą wykonywać następujące zadania: odbieranie, składowanie, mielenie, mieszanie, przenoszenie, ekstruzja, suszenie/chłodzenie, pompowanie, powlekanie i pakowanie.

Część instalacji związana z ekstruzją - pokazana na ilustracji 1 - obejmuje aktywny silos zasilający, mieszalnik wstępny, ekstruder oraz zespół matrycy i noża. Każdy element układu ma wykonywać określone zadanie w procesie obróbki termicznej i formowania karmy. Warunki robocze mogą być dopasowywane do zmiennej charakterystyki produktu końcowego.

Silos zasilający

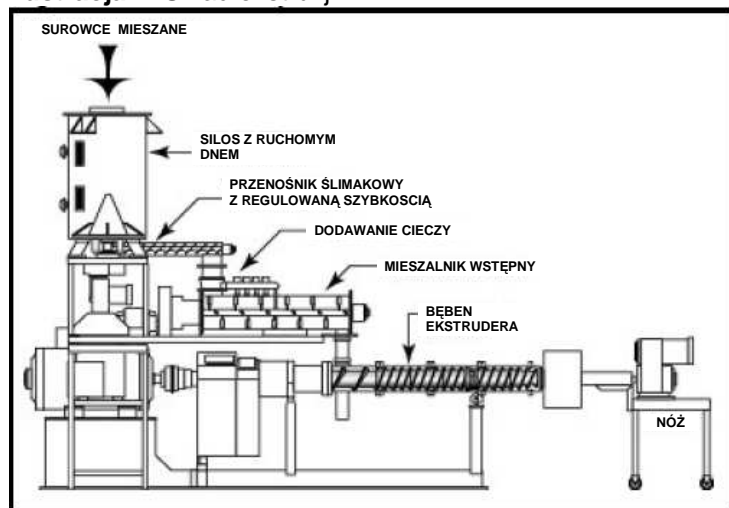
Silos zasilający dostarcza równomiernie odmierzane ilości surowców do mieszalnika wstępnego i dalej do ekstrudera. Strumień surowca musi być nieprzerwany, a jego prędkość regulowana.

Aktywny silos zasilający reguluje tempo przepływu surowca czyli wydajność całego układu. Przenośniki ślimakowe z regulowaną szybkością mogą służyć do objętościowego odmierzania składników w układzie. Te same urządzenia mogą być skonstruowane w taki sposób, aby odważały składniki. Silos zasilający jest wtedy montowany na ogniwach obciążnikowych i w sposób ciągły monitoruje własną masę.

Mieszalnik wstępny

Równomierne i całkowite przeniknięcie wody do surowych składników znacznie poprawia stabilność pracy ekstrudera i poprawia jakość produktu końcowego. Ponadto plastyfikacja składników przed ekstruzją w znacznym stopniu zmniejsza zużycie się ekstrudera na skutek ściernego działania

Ilustracja 1. Układ ekstruzji

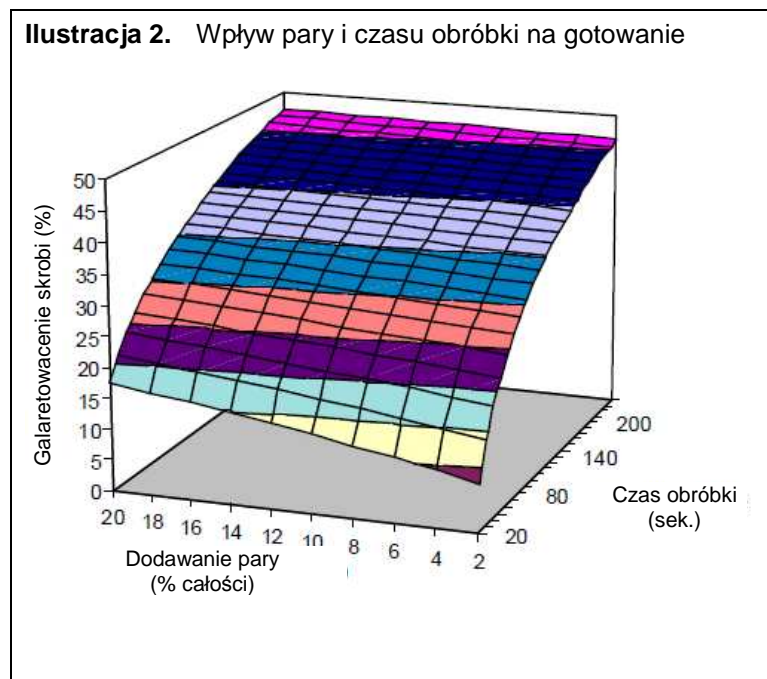


cząstek surowca.

W beciśnieniowych mieszalnikach wstępnych do surowców dodawana jest równomiernie woda i/lub para, aż zawartość wody osiągnie 10 do 25%. Woda podawana jest od góry mieszalnika przez dysze natryskowe, które rozpylają strumień wody bardzo dokładnie, co zmniejsza obciążenie urządzenia przy mieszaniu. Para podawana jest od dołu przez dno mieszalnika. Instalacja parowa musi być wykonana w taki sposób, aby zapewniała ciągły dopływ pary bez skroplin.

Mieszalniki wstępne, które są używane w procesie ekstruzji karmy dla zwierząt od 1960 roku, zawierają jedno lub dwa mieszadła, które składają się z wału i zamocowanych do niego promieniowo łopatek. W mieszalnikach wstępnych mogą być używane komory atmosferyczne lub ciśnieniowe. Ciśnieniowe mieszalniki wstępne zapewniają wyższe temperatury wyładunku, ale mogą przyczyniać się do niszczenia składników odżywczych oraz zwiększają koszty eksploatacji. De Meulaere (1969) informuje o ubytkach lizyny w ciśnieniowych mieszalnikach wstępnych na poziomie 13 do 28% w porównaniu ze stratami lizyny w mieszalnikach beciśnieniowych wynoszącymi zaledwie 3%ⁱⁱⁱ.

Łączna ilość dodanej wody, temperatura produktu i czas obróbki to warunki technologiczne, które mogą być regulowane dla uzyskania pożądanych wyników. Wtryskiwanie pary do mieszalnika zwiększa wilgotność podłoża maksymalnie o 5 do 7%. Wyższe poziomy wilgotności osiągane są przez dodanie wody. Przy całkowitej zawartości wody 20% lub mniej, stopień ugotowania surowca w mieszalniku rzadko przekracza 20%. Liczne badania wskazują, że konieczna jest wilgotność karmy nie mniejsza niż 30%, aby doszło do całkowitego przejścia skrobi w żel w braku ścinania^{iv}. Tempo napływu pary i wody jest zazwyczaj regulowane w taki sposób, żeby materiał na wylocie z mieszalnika wstępnego miał 70 do 90°C.



Świeże mięso, olej, dodatki smakowe, barwniki i inne dodatki płynne mogą być w tej fazie wprowadzane do procesu, dzięki czemu są dokładnie i w sposób ciągły mieszane ze składnikami kierowanymi do ekstrudera. Jeżeli tłuszcz jest dodawany w formie płynnej jak osobny strumień, to miejsce dodawania jest decydujące dla osiągnięcia stopnia ugotowania przy maksymalizacji zawartości tłuszczu. Tłuszcz jest najczęściej dodawany w pobliżu wylotu z mieszalnika dla zapewnienia optymalnego mieszania. Tłuszcz ma tendencję do powlekania poszczególnych cząstek karmy i utrudnia absorpcję wody oraz przenoszenie ciepła koniecznego do galaretowacenia skrobi. Jeżeli podczas ekstruzji mają być dodawane znaczne ilości tłuszczu (15 do 20%), to część tłuszczu może być wtryskiwana w pobliżu wylotu ekstrudera. Przedłużenie czasu obróbki w mieszalniku wstępnym jest przydatne dla poprawy galaretowacenia skrobi w recepturach o wysokiej zawartości tłuszczu.

Na ilustracji 2 pokazano wpływ dodawania pary na stopień ugotowania dla typowej receptury karmy zwierzęcej. Receptura karmy użyta do badań zawierała 30% skrobi i 20% białka. Stopień ugotowania jest określany jako procent skrobi, która staje się podatna na hydrolizę w obecności amyloglukozydazy^v. W przypadku dodawania pary w ilości przekraczającej 10% suchych składników występuje znaczny ubytek oparów z mieszalnika wstępnego do otoczenia. Należy zwrócić uwagę, że pierwsze 120 sekund czasu obróbki, gdy surowce są poddawane działaniu pary wtryskiwanej do mieszalnika beciśnieniowego, ma największe znaczenie dla stopnia ugotowania produktu końcowego.

Ostatnie udoskonalenia w postaci mieszalników wstępnych montowanych na ogniach obciążnikowych sprzężonych z dozownikiem na wylocie mieszalnika umożliwiają pełną kontrolę nad opróżnianiem

mieszalnika dla pełniejszego wykorzystania surowców i zapobiegania zanieczyszczeniom krzyżowym pomiędzy recepturami.

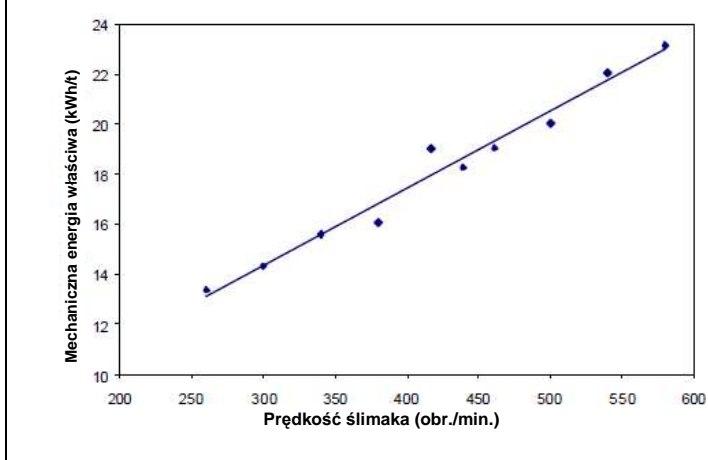
Ekstrudery

Gdy materiał opuszcza mieszalnik wstępny, wchodzi do korpusu ekstrudera. Tutaj odbywa się główne przeobrażenie wstępnie zmieszanych surowców, które w rezultacie decyduje o właściwościach produktu końcowego.

Pierwszy odcinek ekstrudera działa jako strefa doprowadzająca i pomiarowa, przez którą przechodzi zmieszany surowiec od wlotu do samego ekstrudera. Materiał wchodzi następnie do strefy przetwarzania, gdzie bezpostaciowy strumień mieszaniny zamienia się w ciasto. Stopień sprężania ślimaka wzrasta na tym odcinku, wspomagając mieszanie wody lub pary z surowcem. Temperatura mokrego ciasta wzrasta gwałtownie w ostatnich kilku sekundach czasu przebywania w korpusie ekstrudera.

Wzrost temperatury w ekstrudrze pochodzi głównie z energii mechanicznej rozprawdanej przez obracający się ślimak. Dodatkowe ciepło może pochodzić z bezpośredniego wtrysku pary lub zewnętrznych źródeł energii. Kształt ślimaka można zmieniać przez dobór elementów o różnym skoku lub przerywanych przegród, albo przez dodanie występów mieszających, wspomagających lub utrudniających przemieszczanie materiału do przodu. Wszystkie te czynniki wpływają na transport uplastycznionego materiału wzdłuż kanału ślimaka, a tym samym na ilość energii mechanicznej dodawanej przez ślimak.

Ilustracja 3. Wpływ prędkości ślimaka ekstrudera na mechaniczną energię właściwą



Jak pokazano na ilustracji 3, prędkość ślimaka ekstrudera jest również zmienną decydującą o pobieranej ilości energii mechanicznej. Dowodzi to korzyści z zainstalowania w ekstrudrze napędu z regulowaną prędkością. Wtryskiwanie pary do ekstrudera jest również czynnikiem sprzyjającym obróbce cieplnej karmy dla zwierząt. Taka dodatkowa dawka energii zwiększa wydajność, pozwala na podwyższenie zawartości tłuszczu w recepturze i zmniejsza wymagania co do wielkości silników napędowych.

Dodatkowa woda i prawidłowa konfiguracja korpusu ekstrudera dają ciśnienie końcowe w ekstrudrze przed matrycą rzędu 34 do 37 atmosfer, temperaturę od 125 do 150°C i wilgotność na poziomie 23 do 28%.

Najpopularniejsze trzy rodzaje ekstruderów w produkcji karmy dla zwierząt to: ekstrudery jednoślimakowe, ekstrudery dwuślimakowe współbieżne oraz ekstrudery dwuślimakowe współbieżne - stożkowe.

Ekstrudery jednoślimakowe

Ekstrudery jednoślimakowe są od ponad 40 lat sercem instalacji produkujących ekspandowaną na sucho karmę dla zwierząt domowych. Konfiguracja ślimaka i korpusu jest efektem szeregu lat analiz konstrukcyjnych, badań i prób porównawczych. Lepsze zrozumienie wzajemnego oddziaływania maszyny i materiałów doprowadziło do opracowania geometrii ślimaka i korpusu dla ekstruderów jednoślimakowych tak, by były bardziej sprawne w przetwarzaniu w drodze tarcia energii mechanicznej w ciepło.

Ilustracja 4. Ekstruder jednoślimakowy



Ślimaki te zwiększyły pojemność ekstruderów, co pozwoliło na wtryskiwanie większej ilości pary do głowicy. Segmenty ekstrudera mogą być zębowane, co daje możliwość modyfikowania funkcji każdego z nich.

Ekstrudery dwuślimakowe

Ekstrudery dwuślimakowe znalazły do dzisiaj ograniczone zastosowanie w produkcji ekspandowanej na sucho karmy dla zwierząt. Główną wadą tych ekstruderów w produkcji karmy jest wysoki koszt inwestycji oraz stosunkowo wyższe koszty konserwacji i eksploatacji. Koszt zakupu ekstrudera dwuślimakowego współbieżnego jest o około 50 do 70% wyższy niż nowoczesnego ekstrudera jednoślimakowego o porównywalnej wydajności godzinowej. Ze względu na wysoki koszt inwestycji tylko produkty dla zwierząt o wysokiej wartości dodanej są wytwarzane przy pomocy ekstruderów dwuślimakowych.

Ekstrudery dwuślimakowe są wykorzystywane w procesach specjalnych dla bardzo szczególnych grup produktów. Są to np.:

1. Karmy o bardzo wysokiej zawartości tłuszczu (ponad 17% tłuszczu wewnątrz produktu)
2. Produkty o dużej zawartości świeżego mięsa lub innych mokrych zawiesin (wilgotność powyżej 35%)
3. Produkty o jednakowej wielkości i kształcie (porcjowane)
4. Bardzo małe produkty (o średnicy 0,8 do 2,0 mm)
5. Produkty wytwarzane w procesie koekstruzji

Ilustracja 5. Ekstruder dwuślimakowy



W przypadku receptur z zawartością tłuszczu powyżej 15% jest w ekstruderze jednoślimakowym coraz trudniej przekazywać energię mechaniczną ze ślimaka na produkt. Tłuszcz zapewnia smarowanie i zmniejsza tarcie w korpusie ekstrudera. Jednakże dzięki bardziej wydajnemu transportowi wykonywanemu przez dwa współpracujące ślimaki ekstruder dwuślimakowy współbieżny pozwala na zawartość tłuszczu bliską 25% przy wystarczającej obróbce cieplnej.

Co prawda ekstrudery jednoślimakowe mogą produkować karmę zawierającą do 20% tłuszczu, ale konsystencja produktu jest łatwiejsza do utrzymania w ekstruderach dwuślimakowych. Dodatni współczynnik transportu pozwala zachować ciśnienie, rozprężanie produktu i osiągnięcie tekstury^{vi}.

Ekstruder C²TX

C²TX (ekstruder dwuślimakowy współbieżny - stożkowy) jest najnowszym urządzeniem wprowadzonym w branży produkcji karmy dla zwierząt (ilustracja 6). Stożkowa konstrukcja ekstrudera C²TX umożliwia sprężanie w korpusie maszyny i redukuje możliwość cofania się materiału. Sprężanie zapewnia skuteczne przekazywanie energii mechanicznej do ekstrudatu.

Stożkowy kształt ekstrudera C²TX sprawia, że materiał jest zgniatany i ścinany po skosie. W tradycyjnych ekstruderach dwuślimakowych materiał jest zgniatany i ściany przez szykany, zasuwy, występy mieszające lub przegrody. "Zgniatanie skośne" eliminuje konieczność stosowania specjalnych ślimaków i zasuw zapewniających odpowiednią obróbkę cieplną. Dlatego wały i ślimaki ekstruderów mogą być wykonywane z jednego kawałka stali. Zmniejsza to koszt ślimaków, ułatwia konserwację i redukuje przestoje, gdyż nie trzeba zmieniać kształtu ślimaka przy zmianie produktu.

Ilustracja 6. Ekstruder dwuślimakowy współbieżny - stożkowy



Budowa matrycy i noża

Komora ekstrudera zamknięta jest na końcu matrycą, która spełnia dwa ważne zadania. Po pierwsze powstrzymuje przepływ produktu, przez co w ekstruderze wytwarza się wymagane ciśnienie i siły ścinające. Końcowa matryca kształtuje poza tym ekstrudat, gdy produkt wychodzi z ekstrudera. Budowa matrycy i jej wpływ na ekspansję, jednorodność oraz wygląd produktu końcowego są często niedoceniane.

Stopień rozprężania wymagany w produkcie końcowym może być kontrolowany przy pomocy receptury oraz światła matrycy. Nieekspandowana, ale poddana pełnej obróbce cieplnej karma wymaga z reguły 550 do 600 mm² światła matrycy na tonę produkcji. Wysoko ekspandowana karma wymaga 200 do 250 mm² światła matrycy na tonę produkcji.

Matryce końcowe mogą być całkiem proste w formie płytek z określoną liczbą okrągłych otworów odpowiedniej wielkości lub mogą się składać z dwóch lub więcej płytek. Pierwsza płytka matrycy dwuczęściowej służy do zwiększenia oporu przepływu i pomaga w ścinaniu ekstrudatu. Druga płytka matrycy dwuczęściowej jest używana do nadania ekstrudatowi wielkości i kształtu w drodze tłoczenia go przez szereg otworów. Bardzo znaczne siły ścinające działają na ekstrudat, gdy przepływa w kierunku promieniowym pomiędzy dwoma płytkami matrycy.

Typowymi produktami wykonywanymi przy pomocy matryc dwuczęściowych są przysmaki o niskiej gęstości dla psów i kotów. Między korpus ekstrudera i matrycę można wstawić element dystansowy dla wyrównania przepływu między ślimakiem i płytką matrycy oraz przedłużenia czasu obróbki cieplnej produktu.

Najnowszym rozwiązaniem w technologii jest zawór zwrotny. Zawór zwrotny (ilustracja 7) reguluje opór na wylocie z ekstrudera i umożliwia zmianę kierunku ruchu produktu.

Zmiana oporu na wylocie z ekstrudera podczas jego pracy umożliwia zmianę gęstości produktu o maksymalnie 25% bez zmiany konfiguracji ślimaka lub matrycy (tabela 5). Funkcja zmiany kierunku ruchu produktu pozwala na włączanie i wyłączanie odprowadzania odpadów od matrycy i utrzymywania tej strefy bez zanieczyszczeń.

Inne udoskonalenia konstrukcyjne doprowadziły do stworzenia systemu "szybkiej wymiany matryc wielokrotnych", gdzie matryce są wymieniane bez zatrzymywania ekstrudera.

Rozwiązanie to skraca czas przygotowania nawet o 50%, co pozwala zmniejszyć partie, ułatwia planowanie, zmniejsza zapasy, zwiększa efektywność zakładu oraz opłacalność produkcji.^{viii}

Nóż czołowy jest używany w połączeniu z matrycą. Posiada ostrza obracające się w płaszczyźnie równoległej do czoła matrycy. Prędkość obrotowa noża i liniowa prędkość ekstrudatu dają w rezultacie wymaganą długość produktu. Ostrza noża poruszają się bardzo blisko czoła matrycy, a w przypadku noża na sprężynie mogą się poruszać de facto po powierzchni matrycy. Materiał i konstrukcja noża, jego ustawienie względem czoła matrycy, prędkość i własności ścierne ekstrudatu decydują o żywotności noża. Wiele procesów produkcji karmy dla zwierząt wymaga wymiany lub ostrzenia noża co sześć do ośmiu godzin. Jest to szczególnie ważne przy skomplikowanych kształtach. Tępe ostrza noża zniekształcają produkt i zwiększają ilość "ogonków" lub wstających brzegów na produkcie, które potem są obłamywane podczas suszenia oraz transportu i zwiększają ilość pokruszonego materiału.

Suszenie i schładzanie

Głównym celem suszenia jest zmniejszenie zawartości wody w ekstrudowanym produkcie. Niekiedy proces suszenia może łączyć się z dodatkową obróbką cieplną produktu. Jednym z przykładów jest suszenie przy podwyższonej temperaturze dla nadania produktowi "pieczonego" smaku i wyglądu. Jednakże już w roku 1983 Whistler ustalił, że powstawanie dekstryn podczas ekstruzji lub suszenia może zmniejszać smakowość^{ix}.

Dla suchej karmy ekspandowanej końcowa zawartość wody powinna wynosić poniżej 10 procent, co zapobiega powstawaniu pleśni i hamuje rozwój bakterii. Przy rozpatrywaniu miękkich produktów mokrych konieczne jest ustalenie aktywności wody w produkcie. Aktywność wody jest decydującym czynnikiem

Ilustr. 7 Zawór zwrotny

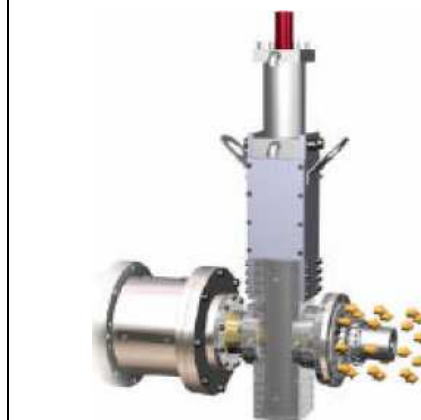


Tabela 5: Wpływ ustawienia zaworu zwrotnego na gęstość produktu^{vii}

Pozycja zaworu zwrotnego	Gęstość nasypowa na sucho (g/l)
1	654
2	628
3	530

określającym dolną granicę ilości wody umożliwiającej rozwój drobnoustrojów. Przyjmuje się, że jeżeli aktywność wody w produkcie jest poniżej 0,5 nie występują problemy z bakteriami, zaś aktywność wody poniżej 0,5 zapobiega powstawianiu pleśni.^x

Jak wspomniano wcześniej większość rodzajów karmy dla zwierząt najlepiej się produkuje przy wilgotności 23 do 28%. Pewna ilość wilgoci ubywa na skutek gwałtownego parowania, gdy przegrzany produkt opuszcza ekstruder i rozpręża się. Dalsza ilość wody odparowuje przy chłodzeniu wyparnym, gdyż produkt ochładza się podczas transportu do suszarki. Pneumatyczny transport produktu z ekstrudera do suszarki zmniejsza zawartość wody w produkcie o około 1 do 2%. Systemy transportu pneumatycznego ułatwiają oddzielanie lepkich produktów, które chętnie przyklejają się do przenośników taśmowych. Poprawiają też stan higieny wokół matrycy ekstrudera.

Ilustracja 8: Suszarka przenośnikowa



Dwa główne rodzaje suszarek używanych do karmy dla zwierząt domowych to suszarki przenośnikowe (ilustracja 8) i pionowe (ilustracja 9). W poziomej suszarce przenośnikowej produkt jest rozrzucony na taśmie, która przechodzi przez suszarkę. Ogrzane powietrze przechodzi przez warstwę produktu z prędkością 40 do 60 metrów na minutę przy temperaturze od 90 do 180°C. Po przejściu powietrza przez produkt jego część jest wywiewana wraz z wilgocią usuniętą z produktu, a pozostała część jest mieszana ze świeżo napływającym powietrzem, ponownie ogrzewana i znów przepuszczana przez produkt. Suszarki mogą być konstrukcji jedno- lub wieloprzebiegowej, zależnie do konfiguracji wymaganej w warunkach danego zakładu i dla odpowiedniego wysuszenia produktu. Poziome suszarki przenośnikowe zapewniają znakomitą kontrolę czasu przebywania, a tym samym równomierne suszenie.

Innym rodzajem jest wprowadzona niedawno do tej branży suszarka pionowa. Składa się z szeregu pięter ustawionych pionowo jedno na drugim i pracujących w sposób ciągły. Produkt jest ładowany i rozrzucony na górnym piętrze, a później kolejno zrzucany na niższe piętra. Powietrze jest ogrzewane i krąży przez każde piętro z produktem. Po przejściu powietrza przez produkt jego część jest wywiewana wraz z wilgocią usuniętą z produktu, a pozostała część jest mieszana ze świeżym powietrzem z piętra poniżej, ponownie ogrzewana i znów przepuszczana przez produkt.

Ilustracja 9: Suszarka pionowa



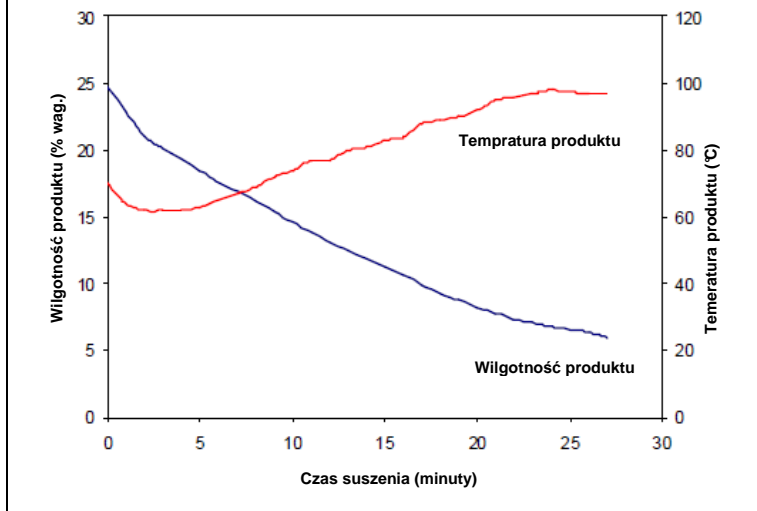
Suszarki pionowe są podobne do przenośnikowych w tym sensie, że potrzebują podobnych powierzchni na warstwy produktu i kosztów inwestycji dla uzyskania zbliżonych wydajności. Mają również podobną efektywność suszenia w przeliczeniu na ilość energii konieczną do usunięcia takiej samej ilości wody. Suszarki pionowe mają szereg ważnych zalet w porównaniu z suszarkami przenośnikowymi. Są bardzo czyste, gdyż pokruszony materiał jest przenoszony przez suszarkę razem z produktem i może być łatwo oddzielony po suszeniu w procesie sortowania wg wymiarów. Ponadto produkt jest odwracany i mieszany zawsze po przeniesieniu na niższe piętro, dzięki czemu suszenie jest bardzo równomierne. Dzięki pionowej konfiguracji wymagają mniej miejsca w zakładzie w porównaniu z suszarkami poziomymi. Różnica ta jest również ważna, gdy weźmiemy pod uwagę dostęp dla konserwacji, ponieważ pozioma suszarka przenośnikowa ma łatwiejszy dostęp dla personelu serwisowego, zaś wokół suszarki pionowej konieczne jest stałe rusztowanie.

Istnieje cały szereg czynników w samym produkcie decydującym o tym, jak schnie. Wilgotność produktu na wejściu do suszarki, jego wielkość, kształt i gęstość zmienia charakterystyczną krzywą suszenia. Temperatura, czas, grubość warstwy i prędkość powietrza są regulowane w suszarce, aby suszenie było całościowe i jednolite.

Krzywe suszenia opisują, w jaki sposób produkt schnie. Ilustracja 10 przedstawia krzywą suszenia dla ekspandowanej karmy suszonej przy 120°C. Na wykresie widać, jak zmienia się w trakcie procesu suszenia wilgotność produktu oraz temperatura. Należy zwrócić uwagę, że wilgotność produktu zmienia się szybciej w pierwszej fazie suszenia, a potem wolniej wraz z postępem wysychania.

Temperatura produktu dostarczanego do suszarki z ekstrudera wynosi około 70°C na skutek chłodzenia wyparowego. Temperatura produktu spada w pierwszej fazie suszenia do minimum wynoszącego około 60°C. Po wyparowaniu wody z powierzchni temperatura produktu zaczyna rosnąć. Jest to skutek szybszego pobierania ciepła przez produkt niż parowanie wody ze względu na ograniczenia w przemieszczaniu się wody w produkcie. Zawartość wody odpowiadając punktowi, w którym temperatura zaczyna wzrastać nazywana jest krytyczną zawartością wody, która w tym przypadku wynosi 18%. W powyższym przykładzie, jeżeli wilgotność docelowa wynosi 10%, można z wykresu odczytać wymagany czas suszenia wynoszący 17 minut.

Ilustracja 10: Przykład krzywej suszenia dla karmy ekspandowanej^{xi}



Przykładowe krzywe suszenia dla dwóch różnych produktów pokazano na ilustracji 11. Oba produkty mają podobną wilgotność początkową. Różnica w czasie suszenia wynika z odmiennego kształtu. Produkt w kształcie gwiazdki schnie szybciej ponieważ ma dużą powierzchnię w stosunku do objętości. Okrągła "pastylka" ma mniejszą powierzchnię w stosunku do objętości i dlatego schnie o kilka minut dłużej.

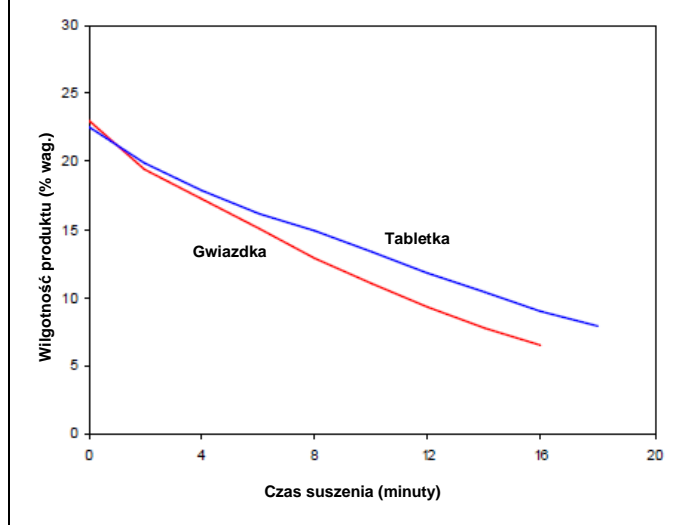
Po wysuszeniu produkt wymaga schłodzenia przed zapakowaniem. Jeżeli produkt jest pakowany lub składowany luzem przed schłodzeniem, to woda zawarta w gorącym powietrzu oraz wilgoć pozostała w produkcie będzie się skraplać na ścianach pojemnika w miarę powolnego ochładzania się produktu w opakowaniu lub skrzyni.

Skutkiem tego będzie rozwój pleśni lub bakterii w wilgotnych miejscach.

Schładzarka może być bezpośrednio połączona z suszarką lub może być urządzeniem wolnostojącym. Jeżeli do karmy dla zwierząt dodaje się więcej niż 5 do 8% tłuszczu przez powlekanie, to produkt jest suszony i powlekany przed schładzaniem. W takich sytuacjach stosowana jest pionowa schładzarka z przepływem przeciwwądowym dla uniknięcia gromadzenia się tłuszczu na przenośniku w schładzarce poziomej.

Po suszeniu i schładzaniu ważne jest odsortowanie drobnych kawałków lub okruchów, które powstają w trakcie suszenia, powlekania w bębnie oraz chłodzenia. Pokruszony materiał może być wykorzystany przez dodanie do surowej mieszaniny przed ekstruzją, aby nie było strat produktu. Prawidłowo eksploatowana instalacja do produkcji suchej ekspandowanej karmy daje przeciętnie nie więcej niż 3 do 5% pokruszonego produktu.

Ilustracja 11: Wpływ kształtu na suszenie produktu^{xii}



Powlekanie

Większość producentów karmy ekspandowanej na sucho dodaje płynny tłuszcz i/lub substancje smakowe po suszeniu, schładzaniu i sortowaniu w celu zwiększenia apetyczności i smakowitości produktów. Jeżeli etapy suszenia i schładzania odbywają się w oddzielnych urządzeniach, to karma jest często powlekana po suszeniu, a przed schładzaniem. Zaletą tej metody jest powlekanie cieczą ciepłego produktu, co poprawia wchłanianie. Ciekły tłuszcz oraz substancje smakowe i zapachowe są zazwyczaj наносzone w obrotowych bębnach przez natryskiwanie cieczy lub rozpylanie proszków na produkt na wejściu do obracającego się bębna. Bębny są podgrzewane, aby tłuszcz nie krzepł na wewnętrznej powierzchni bębna. Ogrzewane zbiorniki z tłuszczem, które są używane w układzie dodawania tłuszczu, mają zazwyczaj możliwość podgrzewania tłuszczu do zalecanej temperatury wynoszącej 60°C. Do odmierzania ilości suchej karmy podawanej do bębnowo stosowane są urządzenia dozujące, dzięki czemu odpowiednia ilość materiału miesza się z dodanym tłuszczem. Gdy tłuszcz jest dodawany w ilości od 1 do 5%, najczęściej używane są dysze wytwarzające mgłą olejową wewnątrz bębna powlekającego. Przy wyższych ilościach tłuszczu stosowane są dysze zalewające.

Innym urządzeniem do powlekania jest kaskada przeprowadzająca produkt przez "kurtynę" płynu wytwarzaną przez wirującą tarczę. Ten sposób nie wymaga stosowania dysz natryskowych. Ostatnio używa się bardzo szybkich mieszadeł do równomiernego nanoszenia cieczy na karmę. Maszyny te tak szybko pobierają produkt i wyładują zawartość, że produkcja szarżami zmienia się w proces szarżowo-ciągły. Ciecze są powoli wlewane do mieszadki i na skutek gwałtownych ruchów produktu rozprowadzane są przez wzajemne ocieranie się kawałków produktu. Typowy czas cyklu dla jednej szarży wynosi 5 do 30 sekund.

Systemy powlekania metodą infuzji próżniowej mają wiele zalet technologicznych w porównaniu z systemami powlekania przy ciśnieniu atmosferycznym, np. możliwość dodawania do 40% cieczy lub przenikanie powłoki do wnętrza struktury produktu. Infuzja próżniowa wciąga ciecze we wszystkie szczeliny powietrzne w ekstrudowanym produkcie, podczas gdy procesy wykonywane przy ciśnieniu atmosferycznym zapewniają tylko powlekanie powierzchniowe.

STEROWANIE PROCESEM

Ze względu na potencjalne korzyści ekonomiczne proces ekstruzji będzie w dalszym ciągu podlegał postępującej automatyzacji. ^{xiii} Automatyzacja dysponuje potencjałem zmniejszenia ilości odpadów, poprawy jednorodności produkcji, podwyższenia umiejętności operatorów, dostarczania dokumentacji procesów, a także redukcji kosztów mediów, zwiększenia bezpieczeństwa oraz daje możliwość planowania, monitorowania i kontroli jakości produkcji. Sterowanie procesem i automatyzacja eliminują wpływ człowieka oraz nieuniknioną niejednorodność produkcji związaną z obsługą ekstrudera.

Szybkość zasilania może być kontrolowana przy pomocy urządzeń grawimetrycznych, które zapewniają dokładność podawania surowca na poziomie $\pm 0,5\%$ wybranej prędkości. Grawimetryczne urządzenie do podawania surowca rejestruje w sposób ciągły malejącą masę silosa zasilającego jako funkcję czasu. Prędkość utraty masy jest porównywana przez komputer z założoną prędkością zasilania i wpływa na regulację ślimaka zasilającego. Natężenie napływu pary i wody do mieszalnika wstępnego jest również regulowane przez sterowanie procesem. Każdy strumień może być regulowany zaworem jako procent podawanej suchej masy. W podobny sposób można regulować wtryskiwanie pary i wody do ekstrudera. Istnieje możliwość regulacji temperatury w płaszczu głowicy ekstrudera, a także monitorowania obciążenia silnika ekstrudera oraz ciśnienia na matrycy. Parametry te mogą służyć do sterowania prędkością zasilania dla zapobiegania przeciążeniu silnika przy zachowaniu stałej wysokiej prędkości produkcji.

W logikę sterującą włączone są zabezpieczenia. Zabezpieczenia spełniają takie zadania jak np. uniemożliwienie podania suchej masy do ekstrudera w razie braku pary lub wody, w celu wyeliminowania kosztownych i uciążliwych przestojów. Czujniki wymagane dla zapewnienia zwrotnego przekazu sygnałów do komputera również dostarczają dane dla zarządzania linią. Możliwe jest dokładniejsze monitorowanie zjawisk długookresowych, np. zużycia maszyny, przez obserwowanie trendów mocy napędu głównego, ciśnienia oraz temperatury w ekstruderze w zależności od rodzaju produktu i wydajności, co stanowi pomoc dla programów konserwacji profilaktycznej. W komputerze sterującym można utworzyć bazę danych dotyczącą warunków eksploatacyjnych dla szerokiego asortymentu produktów. Parametry robocze również mogą być zapisywane w pamięci dla dopuszczalnych zmian



w składzie surowcowym dla danej receptury.

Skomputeryzowane sterowanie jest w pełni zdolne do sekwencjonowania automatycznego uruchamiania i zatrzymywania ekstrudera. Ponadto regulacja zmiennych procesu może być dopasowana do składu surowców dla danej receptury. Sukces automatyzacji komputerowej w każdym zakładzie zależy od kontroli jakości surowców i produktów, kompetentnego personelu wykonującego prace konserwacyjne oraz programowania sterowania procesami technologicznymi.

Automatyzacja przybliży czas, gdy operator wprowadzi wymagania jakościowe wobec produktu, np. gęstość, smakowitość oraz strawność, a sterowanie dostosuje parametry procesu na podstawie receptury, aby wyniki były zgodne z oczekiwaniami. Osiągnięcie tego poziomu automatyzacji będzie wymagało instrumentów działających on-line dla ciągłej analizy receptury i produktu gotowego.

WYMAGANIA WOBEC PRODUKTU KOŃCOWEGO

Wiele aspektów odnośnie wymagań wobec produktu końcowego już omówiono. Dokładne wymogi ustanawiane są przez producenta na podstawie tego, czego domaga się rynek. Produkty końcowe są komponowane po pierwsze w taki sposób, aby spełniały wymagania odżywcze dla zwierząt w określonym stadium rozwoju fizjologicznego. Względy ekonomiczne prowadzą do wyboru mniej kosztownych receptur i technologii. Następnym zagadnieniem jest podatność na składowanie i trwałość, które są częściowo osiągane dzięki recepturze, ale zależą także od procesu technologicznego oraz sposobu pakowania. Wielkość, kształt, kolor i inne właściwości fizyczne są również istotnymi aspektami. Niektóre cechy fizyczne nadawane produktowi często stają się standardem, według którego klienci identyfikują artykuły konkretnego producenta.

Kontrola jakości

Jakość karmy dla zwierząt domowych jest ważna, a kontrola jakości jest koniecznością. Aby uzyskać akceptację i spełniać standardy oczekiwane przez klientów producenci muszą zadbać, aby ich wyroby były pożywne i smakowite. Nie wolno niedoceniać wagi wyboru surowców o wysokiej jakości, a badanie próbek i monitorowanie jakości surowców jest równie ważne. Jeżeli składniki wysokiej jakości zostaną skomponowane w pożywną, zrównoważoną dietę, to ich jakość musi zostać utrwalona w procesie odpowiedniej obróbki.

Produkty końcowe poddawane są przybliżonej analizie technicznej i innym badaniom analitycznym dla potwierdzenia ich wartości odżywczych. Istnieje wiele metod używanych dla ustalenia, czy składniki skrobiowe w karmie są prawidłowo ugotowane lub przekształcone w żel. Doświadczenie operatorów jest również wartościowym narzędziem zapewnienia wysokiej jakości karmy.

W zakładzie kontrola wzrokowa produktu podczas obróbki może pozwolić na szybką reakcję w postaci dostosowania parametrów procesu dla zachowania wysokiej jakości. Powrót do kombinacji warunków produkcji, które pozwalają uzyskiwać pożądaną końcowy produkt, możliwy jest tylko pod warunkiem prowadzenia dokładnego i kompletnego rejestru parametrów. Trudno jest jednak ocenić wzrokowo wszystkie aspekty jakości produktu i dlatego opracowano szereg metod badawczych wspomagających kontrolę jakości.

Próba absorpcji wody jest często używana w celu szybkiego określenia tempa i ilości wody pochłanianej przez suchą karmę. Jest wykonywana z produktem końcowym po ekstruzji, suszeniu i schładzaniu. Metodą wykorzystywaną do kontroli ugotowanej skrobi w produktach jest test wrażliwości na enzymy, który imituje trawienie w przewodzie pokarmowym zwierzęcia. Ponieważ wykonanie tego testu zajmuje dwie godziny, jest on częściej stosowany do kontroli losowej lub monitorowania partii produkcyjnych niż jako narzędzie bieżącej kontroli jakości.

Skrobia może być przegotowana do stanu, w którym zachodzi dekstrynizacja. Może to być istotne dla smakowitości, ponieważ psy mogą wykrywać subtelne różnice w zawartości dekstryn, które są poniżej poziomu wykrywalnego wzrokowo. Najczęstszą przyczyną tego zjawiska jest przesuszenie karmy przy wysokich temperaturach i długi czas przebywania skutkujący brązowieniem – reakcja Maillarda. Produkty z reakcją Maillarda nie wymagają monitorowania, jeżeli karma jest suszona ostrożnie do poziomu zawartości wody bezpiecznej dla składowania.

Kontrolowanie wyglądu produktów zależy od dwóch czynników: warunków przetwarzania oraz receptury.



Mierzenie gęstości nasypowej karmy w różnych punktach wzdłuż linii poprodukcyjnej jest dobrą, szybką i pewną metodą kontroli jakości. Gęstość nasypowa decyduje o "wypełnieniu worka" i informuje, jak dobrze produkt jest ugotowany lub rozprężony. Typowa karma ekspandowana na sucho ma gęstość w zakresie 280 do 400 gramów na litr. Suche produkty miękkie mają gęstość rzędu 400 do 520 gramów na litr.

Ekspandowana karma dla zwierząt domowych rozpręża się często o ponad 50% w stosunku do wielkości otworu w matrycy. Na stopień ekspandowania karmy w dodatni sposób wpływa zawartość skrobi i rozpuszczalnego białka, zaś ujemnie – zawartość tłuszczu w recepturze.

Monitorowanie zawartości wody w produkcie końcowym jest niezwykle istotne dla zapewnienia trwałości karmy w okresie składowania. Maksymalna zawartość wody dla suchej karmy ekspandowanej wynosi 12%. Do ustalenia zawartości wody w produkcie najczęściej stosowana jest metoda wagowa. Ustalana jest różnica masy pomiędzy próbką początkową a próbką po suszeniu i obliczana jest zawartość wody. Istnieje szeroki wachlarz dostępnych narzędzi i metod pomiaru zawartości wody w produkcie. Dla półmokrej i miękkiej karmy ekspandowanej, zawierającej substancje lotne, np. alkohole wielowodorotlenowe, metoda wagowa nie sprawdza się. Problemy wynikające z parowania alkoholi wielowodorotlenowych wraz z wodą prowadzą do błędów w oznaczaniu zawartości wody. Większość producentów ustala zawartość wody w miękkiej, suchej oraz w półmokrej karmie przy pomocy metody Karla Fishera, która pozwala uniknąć problemów z lotnymi substancjami pochłaniającymi wilgoć.

Automatyzacja w sferze monitorowania wilgotności robi szybkie postępy od chwili wprowadzenia mierników zawartości wody pracujących on-line w sposób ciągły. Przyrządy te instalowane są w strategicznych punktach wzdłuż linii produkcyjnej, w celu monitorowania wilgotności produktów. Temperatura w suszarce, przepływ powietrza i czas przebywania produktów mogą zostać podporządkowane przyrządom mierzącym on-line zawartość wody w produkcie końcowym. Inne metody wykorzystują pomiar wilgotności względnej na wylocie powietrza z suszarki jako pomoc przy regulowaniu zawartości wody w produkcie końcowym.

W przypadku ekspandowanej karmy półmokrej oraz miękkiej trwałość produktu końcowego często w większym stopniu zależy od aktywności wody niż od jej zawartości w produkcie. Aktywna część wody zawartej w karmie lub wolna woda jest zazwyczaj wilgotnością względną generowaną w równowadze z próbką w zamkniętym układzie przy stałej temperaturze. Aktywność wody (A_w) informuje o ilości wody w całej próbce, która jest dostępna dla mikroorganizmów. Pomiar A_w wymaga umieszczenia próbki w higrometrze, który stanowi zamkniętą komorę z czujnikiem wilgotności w środku.

Dla scharakteryzowania jakości produktu mogą być wykorzystywane próby karmienia, które określają smakowitość oraz strawność karmy. Próby te są czasochłonne i kosztowne, ale stanowią najbardziej niezawodny barometr jakości produkcji.

Strahm i inni (2000) opisuje zastosowanie analizatora przemian fazowych jako narzędzia dla określenia wpływu temperatury i wilgotności na przemiany fazowe w recepturach karmy dla zwierząt^{xiv}. Takie zastosowanie nauki o polimerach w żywności jest przydatne dla zrozumienia oddziaływania procesów ekstruzji, suszenia i schładzania.

SPOSOBY ROZWIĄZYWANIA PROBLEMÓW

Jeżeli konieczne jest zmniejszenie gęstości nasypowej ekstrudowanej karmy dla zwierząt, to poniższe parametry procesu mogą być zmieniane w opisany sposób: Ponieważ receptura ma największy wpływ na gęstość, należy pamiętać, że zmiany są zależne od receptury, gdyż nie każda kompozycja składników będzie reagować na zmiany w ten sam sposób.

- Zawartość wody: Zasadniczo, zmniejszenie ilości wody wtryskiwanej do produktu bez obniżania ilości pary dodawanej do produktu wspomaga rozprężanie. Jednakże przy ekstrudowaniu receptur z dużą zawartością białka (powyżej 23%) lub tłuszczu (ponad 5%) konieczne jest zwiększenie całkowitej wilgotności ciasta przez dodanie zarówno pary jak i wody. Gdy zawartość wody w ekstruderze spadnie poniżej 20%, dalsze obniżanie wilgotności ciasta powoduje zwiększenie gęstości produktu.
- Podawanie suchej masy: Zwiększenie podawania suchej masy powoduje zmniejszenie światła matrycy końcowej w przeliczeniu na jednostkę podawanej masy. Wynikiem zmniejszenia tej



proporcji jest większe rozprężanie. Po zwiększeniu tempa podawania surowców ponad określony poziom zaczyna wzrastać gęstość produktu na skutek skrócenia czasu przebywania w mieszalniku wstępnym oraz ekstruderze.

- Energia mechaniczna: Ilość energii mechanicznej przekazywanej do produktu można regulować przez zmianę prędkości ślimaka w ekstruderze, konfigurację matrycy oraz kształt ślimaka. Wyższa prędkość ślimaka, mniejsze światło matrycy oraz dodanie przerywanych przegród lub szykan ścinających zwiększa ilość energii i zmniejsza gęstość nasypową.
- Temperatura: Podane temperatury produktu wewnątrz całego korpusu ekstrudera mogą być podwyższone, jeżeli produkt końcowy jest zbyt słabo ekspandowany.
- Mieszanie wstępne: Wydłużenie czasu przebywania przez składniki w mieszalniku wstępnym oraz zwiększenie ilości dodanej w tym miejscu pary wspomaga gotowanie i rozprężanie. Czas przebywania w mieszalniku wstępnym można zwiększać przez zmianę konfiguracji łopatek, dodanie pakietu sterowania czasem przebywania lub przez zmniejszenie tempa podawania suchej masy.
- Wtryskiwanie pary do ekstrudera: Wtryskiwanie pary bezpośrednio do produktu w ekstruderze zmniejsza gęstość nasypową produktu.
- Dodawanie oleju: Dodawanie oleju zwiększa gęstość produktu. Z reguły na każdy procent tłuszczu powyżej 12% gęstość nasypowa produktu końcowego zwiększa się o maksymalnie 16 gramów na litr. Gdy łączna zawartość tłuszczu w ekstruderze przekracza 22%, pojawiają się trudności z zachowaniem trwałości produktu oraz może pojawić się nadmierna ilość pokruszonego materiału. Zazwyczaj zwiększenie zawartości tłuszczu wymaga dla prawidłowej obróbki również zwiększenia wilgotności.

Gdy pożądanym jest produkt ekstrudowany o gładkiej powierzchni, istnieje szereg możliwych zmian w parametrach obróbki i konfiguracji, które można wprowadzić. Zbyt mała zawartość wody podczas procesu powoduje teksturowanie produktu na powierzchni w chwili przechodzenia przez otwór matrycy. Mniejsza zawartość wody obniża smarność i spowalnia przepływ materiału. Produkt w środku otworów matrycy będzie miał tendencję do przepływania szybciej. Zawartość wody może być nadmierna (powyżej 35%), co skutkuje mokrym ciastem, które nie jest w całości zgalaretowane i jest zbyt wilgotne, aby zachować kształt. Obniżenie temperatury w ostatniej strefie ekstrudera może być konieczne, aby zredukować przylepianie się ciasta do powierzchni otworu w matrycy. Jeżeli wewnętrzna powierzchnia otworu matrycy jest szorstka lub zbyt długa, to może powstać chropowata powierzchnia produktu.

Inne modyfikacje parametrów procesu obejmują podawanie dodatkowej pary i stosowanie wyższych temperatur ekstruzji dla uniknięcia kruchej powierzchni i niedogotowanego środka w kawałkach karmy. Nieprawidłowa regulacja noża lub bardzo zużyta powierzchnia matrycy może skutkować "ogonkami" na produkcie. "Ogonki" i występy na brzegach są wadą "pastylek" oraz produktów o innych kształtach, które mają delikatne punkty lub przedłużenia i często odrywają się od głównego produktu podczas transportu i składowania, czego efektem jest nadmierna ilość drobno pokruszonej karmy.

Okrucy w produkcie końcowym mogą też być wynikiem nieprawidłowej obróbki termicznej karmy, która jest delikatna i ma małą spoiwość i siłę wiążącą. Wszystkie okrucy powstałe w czasie produkcji karmy powinny być usunięte z produktu w drodze przesiewania przed pakowaniem. Zjawisko znane jako "ubijanie" występuje często w ekspandowanej karmie dla zwierząt, która jest ekstrudowana przy zbyt wysokich temperaturach przed matrycą lub gdy szybkość podawania suchych składników przekracza albo jest znacznie mniejsza w stosunku do przepustowości czyli światła otworów w matrycy.

Możliwe są też działania korygujące dla poprawy wyglądu produktu przez dopasowanie receptury przed ekstruzją, bez uszczerbku dla wartości odżywczej karmy. Wyższa zawartość tłuszczu przy pozostałych parametrach bez zmian zmniejsza ilość powstających okruców. Jeżeli kompozycja składników obejmuje duże ilości białka i tłuszczu, to należy zwiększyć ilość wody i temperaturę dla skompensowania tych zmian. Jak wykazuje doświadczenie, użyteczną zasadą jest dodawanie 0,6% wody do mieszalnika wstępnego i 0,4% pary wtryskiwanej do ekstrudera na każdy procent wzrostu zawartości białka powyżej 23%.

OSZACOWANIE KOSZTÓW OPERACYJNYCH

Ekstrudery oferują bardzo atrakcyjne i efektywne możliwości wytwarzania wielu produktów w sposób



ciągły. Aby określić potencjalną rentowność należy opracować prognozę ekonomiczną dla każdego produktu. Uwzględnić trzeba koszt wsadu surowcowego, energii oraz kapitał inwestycyjny związany z modułem ekstrudera. Analiza ekonomiczna dla całego zakładu i wszystkich urządzeń niezbędnych do produkcji karmy dla zwierząt jest zadaniem szczegółowym i skomplikowanym, które trzeba wykonać dysponując konkretnymi potrzebami danego producenta.

Koszty surowców mają największy wpływ na całkowite koszty operacyjne. Należy pamiętać, że składniki dostarczane do zakładu mają zazwyczaj 10 do 13% wody, a karma jest sprzedawana przeważnie przy zawartości wody od 8 do 10%. Jest to natychmiastowa utrata masy i związana z nią strata ekonomiczna. Odpady powstające podczas uruchomień, zatrzymań oraz produkcji ciągłej również przyczyniają się do ubytku masy produktu. Można przyjąć jako zasadę ogólną, że straty w zakładzie produkującym suchą karmę rzędu 5 do 7% są doskonałym wynikiem. Niezwykle ważny jest wybór urządzeń dla każdego etapu produkcji, które zminimalizują straty.

Koszty energii na potrzeby produkcji są krytyczne dla efektywności ekonomicznej każdego zakładu wykonującego produkty ekstrudowane. Typowa fabryka zużywa energię elektryczną, gaz ziemny lub olej opałowy. Elektryczność potrzebna jest do zasilania silników. Gaz ziemny i olej opałowy służą do ogrzewania wody i wytwarzania pary dla potrzeb ekstruzji i suszenia. Koszty energii są ważne, ponieważ wpływają na zysk. Zmiana kosztów receptury o jeden lub dwa procent przekłada się na 20 razy większy efekt w zysku niż ma to miejsce w przypadku kosztów mediów. W prawdziwych dolarach obniżenie zużycia mediów w ekstruderze i suszarce o 2% daje roczne oszczędności rzędu 4.700 \$, podczas gdy zmniejszenie kosztów surowcowych o 1% zapewnia oszczędności dochodzące do 70.000 \$ w skali roku.

xv

Koszty robocizny przypadające na zespół ekstruder - suszarką są również minimalne. Jeden operator może prowadzić dwie kompletne linie od wlotu do ekstrudera po wylot z suszarki, albo skutecznie obsługiwać 4 ekstrudery, jeśli drugi operator zajmuje się suszarkami. Koszty robocizny z reguły są mniejsze niż wydatki na media.

PODSUMOWANIE

Technologia ekstruzji w produkcji wielu asortymentów dojrzała w ciągu ostatnich trzech dziesięcioleci i stanowi bardzo użyteczne i opłacalne narzędzie wytwarzania karmy dla zwierząt domowych. Proces ten umożliwia lepsze wykorzystanie dostępnych nasion zbóż oraz białek pochodzenia roślinnego i zwierzęcego dla wytwarzania efektywnych pod względem ekonomicznym i zdrowych w sensie odżywczym karm zwierzęcych o lepszej, a nawet wyjątkowej charakterystyce żywieniowej.

Smakowite, funkcjonalne i indywidualnie skomponowane karmy mogą być wytwarzane w opłacalny sposób, dzięki prawidłowemu zarządzaniu recepturami i składem surowcowym, konfiguracją linii wytwórczej oraz parametrami procesu. Ekstruder może być zastosowany do opracowania opłacalnych i odżywczych produktów z użyciem składników, które były wcześniej słabo wykorzystywane lub akceptowane.

ODNOŚNIKI

ⁱ Teeter, W.A. (1979) Carbohydrates for Dogs, Pet Foods Industry, 21,3,25.

ⁱⁱ Rokey, G. J. (1990). Effect of Extrusion Cooking on Formulation Components. Presented at UPADI Meeting in Washington, DC.

ⁱⁱⁱ DeMulenaere, H. J. H. and Buzzard, J. L. Cooker extruders in service of world feeding. *Food Technology*, 23:345-351, 1969.

^{iv} Rokey, G. J. (1988). Mechanical Energy Reduction in Starch Extrusion. Presented at the American Institute of Chemical Engineers International Meeting. Denver, Colorado.

^v Hosenev R. C. 1994. Estimation of Degree of Cook (Measurement of Starch Gelatinization). p. 560-561. In: *Feed Manufacturing Technology IV*.

^{vi} Rokey, G.J. (2001) Extrusion of High Energy Feedstuffs. Presented at Texas A. & M. University Pet Food Short Course at College Station, Texas on January 25, 2001

^{vii} Plattner, B., G. Rokey, and B Hauck. 2002. Another Twist to Extrusion? *Feed Tech* Volume 6(2):9-11. Elsevier International Business Information. The Netherlands.

^{viii} Rokey G.J. and Aberle, R.A., (2001) Advanced processing, *Petfood Industry*.



- ^{ix} Whistler, R. (1983) Personal Communication.
- ^x Fontana, Anthony J. 1998. Water Activity: Why it is important for food safety. Presented at the First NSF International Conference on Food Safety, November 16-18, Albuquerque, NM.
- ^{xi} Wenger Technical Center Test Data 19991222
- ^{xii} Wenger Technical Center Test Data 20000801
- ^{xiii} Hauck, B.W. (2001) Personal Communication
- ^{xiv} Strahm, B., Plattner, B., Huber, G., and Rokey, G. (2000) Application of Food Polymer Science and Capillary Rheometry in Evaluating Complex Extruded Products Cereal Foods World 45:300-302
- ^{xv} Plattner, Brian (2001) Economics of Extrusion presented at the University of Nebraska Short Course

