



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

# NAKLÁDÁNÍ S BIOLOGICKÝM ODPADEM ZE ZPRACOVÁNÍ VAJEC

TREATMENT OF BIOLOGICAL WASTE FROM EGG PROCESSING

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Zich

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Vítězslav Máša, Ph.D.

BRNO 2019



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství  
Student: **Jan Zich**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Vítězslav Máša, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Nakládání s biologickým odpadem ze zpracování vajec**

### **1. Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Nabízené téma bakalářské práce je vhodné pro studenty, kteří mají zájem o oblast odpadového hospodářství v potravinářství. Současným trendem je maximální snaha o recyklaci těchto odpadů a jejich využití pro výrobu dalších produktů. Velké množství biologického materiálu z výtluhu vajec zůstává v současné době nevyužito. Vaječné skořápky jsou přitom tvořeny vápníkem a podskořápkové membrány cenným kolagenem. Laboratoř energeticky náročných procesů, v rámci níž bude práce řešena, spolupracuje s farmaceutickou společností, která se zaměřuje na výrobu léčiv a potravinových doplňků z těchto surovin.

### **2. Cíle bakalářské práce:**

3. Představení problematiky nakládání s odpadem z výtluhu vajec
4. Posouzení možnosti jejich využití ve farmaceutické výrobě
5. Obecný návrh procesní linky pro zpracování skořápek a blan ve formě blokového diagramu

### **6. Seznam doporučené literatury:**

WATSON, Ronald R. Eggs and health promotion. Ames, Iowa: Iowa State Press, c2002. ISBN 9780813827988.

HUOPALAHTI, Rainer. Bioactive egg compounds. New York: Springer, c2007. ISBN 3540378839.

BRUMMER, Vladimír; BĚLOHRADSKÝ Petr; MÁŠA Vítězslav. Optimization of Egg White Removal from Waste Egg Shells and Membranes by Design of Experiments for their Refinement. Milan, Italy: Aidic Servizi S.r.l., 2017. ISBN: 978-88-95608-51-8. ISSN: 2283-9216.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Hlavním cílem této bakalářské práce je rešerše možných využití vaječného odpadu, přičemž důraz je kladen na farmaceutický průmysl. Nejdříve je popsáno běžné nakládání s tímto odpadem včetně legislativy a také je vysvětleno, že se jedná o dvojí surovinu – skořápky plné vápníku a blány bohaté na kolagen a další látky. Dále jsou představeny a zhodnoceny různé způsoby využití vaječného odpadu, k nimž patří zejména aplikace ve farmaceutickém průmyslu. Na závěr je provedena rešerše komerčních řešení, patentů a dalších zdrojů zabývajících se procesem zpracování vaječného odpadu. Z ní vyplynulo, že ačkoliv existuje mnoho patentů, nabídka zařízení pro tento účel je na trhu velmi omezená. Získané poznatky jsou využity při návrhu unikátní procesní linky umožňující zpracování obou složek vaječného odpadu pro jako farmaceutické produkty.

### Klíčová slova

Vaječný odpad, vaječná skořápka, podskořápková blána, kolagen, vápník, skořápková moučka, procesní linka

## ABSTRACT

The main target of this final thesis is to compile possible uses of eggshell waste with emphasis on pharmaceutical industry. Firstly, the common handling of this waste, including legislation, is described. It is also explained what eggshell waste is mainly composed of – eggshell containing calcium and eggshell membrane rich on collagen and other substances. In addition, various ways of using eggshell waste are presented and evaluated, including manufacture of pharmaceutical products. Finally, a search for commercial solutions, patents and other sources dealing with the process of processing egg waste is carried out. It showed that although there are many patents, the offer of equipment for this purpose is very limited on the market. The acquired knowledge is used in the design of a unique process line enabling processing of both components of eggshell waste as pharmaceutical products.

### Key words

Eggshell waste, eggshell, eggshell membrane, collagen, calcium, eggshell powder, process line

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ZICH, Jan. *Nakládání s biologickým odpadem ze zpracování vajec* [online]. Brno, 2019. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117150>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Vítězslav Máša.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Nakládání s biologickým odpadem ze zpracování vajec** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
24.5.2019

.....  
Jan Zich

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto doc. Ing. Vítězslavu Mášovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.



## OBSAH

ÚVOD.....	10
1 Zpracování vajec a vznikající odpadní materiál .....	12
1.1 Struktura a složení vaječné skořápky.....	13
1.2 Legislativa.....	15
2 Využití vaječného odpadu .....	17
2.1 Skořápka jako hnojivo .....	17
2.2 Skořápka jako krmivo .....	17
2.3 Aplikace skořápek v produkci bionafty jako katalyzátoru .....	18
2.4 Využití skořápek pro tiskárenský papír .....	18
2.5 Podskořápkové blány v elektronice .....	19
2.6 Využití jako plnivo kompozitů .....	19
2.7 Využití v biomedicíně.....	20
2.8 Využití skořápek a blan ve farmacii .....	20
2.8.1 Jiné zdroje vápníku a kolagenu .....	22
2.9 Shrnutí rešerše aplikací.....	23
3 Procesní linka zpracovávající vaječný odpad pro farmaceutický průmysl.....	24
3.1 Komerčně dostupná řešení.....	24
3.2 Požadavky na konstrukci procesní linky.....	24
3.2.1 Hygienické požadavky .....	25
3.3 Rešerše patentů .....	25
3.3.1 Patent Johna H. Thoroskiho (2003) .....	25
3.3.2 Patent Johna H. MacNeila (2006) .....	26
3.3.3 Patent R. V. Floha a S. L. Jalfena (2009).....	27
3.3.4 Patent N. C. Esquinase a A.M. Ballestera (2010) .....	28
3.3.5 Patent Eli Orena (2010).....	28
3.3.6 Patent M. deJonga a V. Vlada (2013) .....	29
3.4 Výzkumné projekty.....	30
3.5 Poznatky z rešerše.....	31
3.6 Návrh procesní linky.....	31
ZÁVĚR.....	37
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	38

## ÚVOD

Nakládání s organickým odpadem patří mezi největší výzvy, kterým čelí producenti potravin, ale i řada podniků z jiných průmyslových oblastí. S rostoucími nároky konzumní společnosti roste i produkce těchto odpadů, zároveň se ale zvyšují ceny za jejich likvidaci. Práce se věnuje zpracování odpadu z potravinářského průmyslu, konkrétně možnostem využití odpadů z výtluhu slepičích vajec. Zpracovatelé zabývající se výtluhem vajec produkuje ročně tisíce tun vaječného odpadu. Ten je ale odpadem pouze v případě, že se s ním nenaloží vhodným způsobem a je zlikvidován. Vaječný odpad v podobě skořápky s podskořápkovou blánou (dále také jen blána) ovšem nabízí nesčetné množství využití v různých oblastech, od každodenního života až po vysoce sofistikované inženýrské aplikace.

Cílem této práce je představit různé možnosti využívání vaječného odpadu a podpořit tak koncept cirkulární ekonomiky, který díky efektivnímu nakládání s odpadem přispěje k úspoře jiných cenných surovin. Inspirací pro zpracování tohoto tématu byla dlouhodobá spolupráce ÚPI s farmaceutickou společností, která se zabývá zpracováním vaječných skořápek. Spolupráce byla zaměřena na zvýšení efektivity praní skořápek. Přitom ale nebylo řešeno využití podskořápkových blan, které je jedním z hlavních předmětů této práce. Dále byla motivací pro výběr tématu bakalářské práce skutečnost, že na trhu nebyla nalezena procesní linka umožňující efektivní separaci skořápek a blan a že tudíž existuje prostor pro novou technologii.

Zadání práce má následující cíle:

1. Představení problematiky nakládání s odpadem z výtluhu vajec (kapitola 1)
2. Posouzení možnosti využití tohoto typu odpadu ve farmaceutické výrobě (podkapitola 2.8)
3. Obecný návrh procesní linky pro zpracování skořápek a blan ve formě blokového diagramu (podkapitola 3.6)

První kapitola v rámci představení problematiky nakládání s odpadem uvádí statistiky spojené s produkcí a spotřebou vajec, zmiňuje časté způsoby nakládání zpracovatelů s odpadem. Popisuje strukturu a chemické složení vaječné skořápky a blány. Dále zmiňuje, jaké způsoby nakládání s vaječným odpadem umožňují legislativní předpisy.

Druhá kapitola je věnována využití vaječného odpadu, a to jak způsobům, které jsou již dlouho zavedeny nebo se rozvíjí v poslední době, tak i těm potenciálně využitelným v budoucnu. U aplikací je také zohledněn přínos materiálu z vaječného odpadu ve srovnání s již zavedenými způsoby. Největší pozornost je věnována využití vaječného odpadu ve farmaceutickém průmyslu, a to zejména kvůli vápníku a kolagenu, které vaječný odpad obsahuje.

Třetí, poslední kapitola, je vyústěním předchozí kapitoly a pojednává o procesu zpracování vaječného odpadu pro aplikaci ve farmaceutickém průmyslu, jakožto oblasti s nejvyšším potenciálem z možných využití. Je zde popsána legislativa a normy, které je nutno respektovat při návrhu procesní linky pro farmaceutický průmysl. Je provedena rešerše existujících patentů, výzkumů a dostupných komerčních řešení zabývajících se tímto problémem. Dále jsou zde popsány kroky, kterými musí materiál projít od surového vaječného odpadu až po skořápkovou

moučku a vysušené blány. Na závěr je na základě již vypracované rešerše sestaveno blokové a obecné technologické schéma procesní linky pro zpracování vaječného odpadu k aplikaci ve farmaceutickém průmyslu.

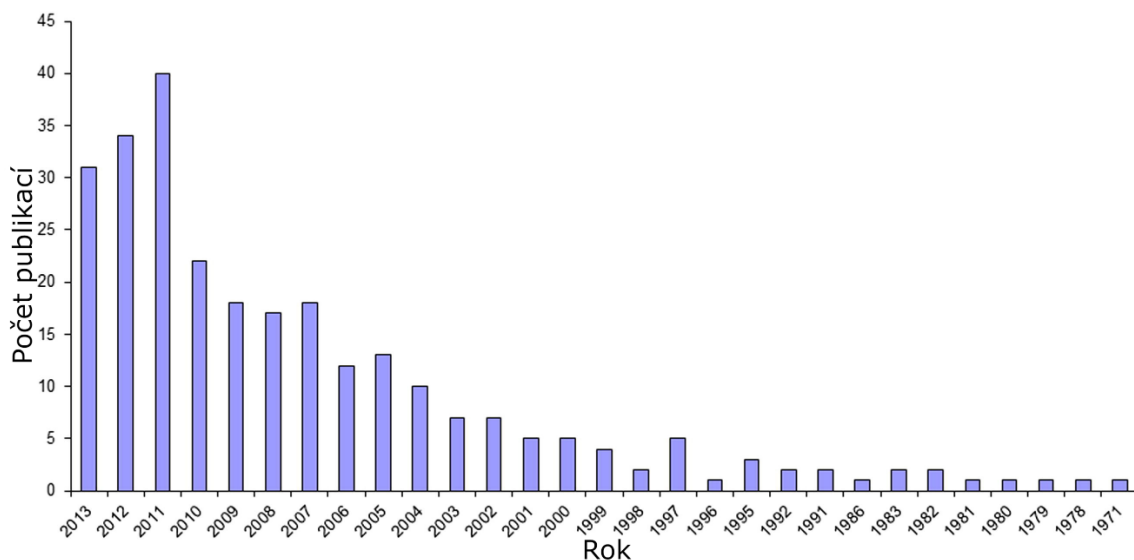
## 1 Zpracování vajec a vznikající odpadní materiál

Světová produkce vajec se vlivem rostoucí poptávky každoročně zvyšuje. V roce 2017 bylo celosvětově vyprodukováno 1 392 miliard vajec, z toho přes 40 % v Číně. V České republice to bylo v tomtéž roce 2,293 miliardy, přičemž 66,4 % připadalo na zemědělský sektor, zbylých 33,6 % bylo vyprodukováno v domácích hospodářstvích [1]. Bylo také zjištěno, že zhruba 28 % všech vajec na světě je zpracováno průmyslově k výrobě vaječných produktů [2]. Slepíčí vejce má hmotnost přibližně 60 gramů, z čehož 11 % připadá na blánu a skořápku. Vyjdeme-li z této skutečnosti, pak ročně vzniká přes 9 miliónů tun odpadu v podobě skořápek blan, nepočítaje bílek, který je také součástí vaječného odpadu. Závody provádějící výtlupek vajec se s tímto odpadem musejí vypořádat. V roce 1997 bylo v USA uskutečněno dotazníkové šetření mezi významnými zpracovateli vajec zabývající se využitím odpadu z výtlučku. 26,6 % respondentů používalo vaječný odpad jako hnojivo, 15,8 % jako ingredienci do zvířecích krmiv, 26,3 % dotázaných tento materiál likvidovalo bez dalšího využití a zbylých 15,8 % s odpadem nakládalo „jiným způsobem“. [3]

Vaječným odpadem můžeme také rozumět odpad z líhni, ten je ovšem složitější na další zpracování, jelikož může kromě bílků, peří a dalších nečistot obsahovat mrtvá embrya či neoplozená vejce. Tento materiál je opět nejčastěji likvidován na náklady líhni. Na počátku tisíciletí bylo ročně vyprodukováno asi 6,5 miliard vajec určených k líhnutí, na což připadá až 50 tisíc tun vaječného odpadu, který je nutno zpracovat. [3]

Vaječný odpad obsahuje poměrně velké množství proteinů, a to jak v podskořápkové bláně, tak ve zbytku bílku, který ulpívá na skořápce. Tyto proteiny se velmi snadno rozkládají a mohou se stát toxickými. Také mohou být kontaminovány nebezpečnými bakteriemi, jako například salmonelou. Tyto vlastnosti jsou rozhodujícím faktorem ve způsobech, jakým lze nakládat s tímto odpadem. Nejjednodušším řešením je likvidace. Nejjednodušším řešením je likvidace. Vaječný odpad tak bývá tepelně ošetřen a následně vyhozen na skládku. Takové zacházení nejenže znečišťuje prostředí v důsledku skladování, ale také je poměrně nákladné. Je tedy v zájmu zpracovatelů vajec, aby hledali finančně výhodnější řešení.

Jak bylo zjištěno z průzkumu zmíněného výše, poměrně velké množství zpracovatelů využívá vaječný odpad v oblasti zemědělství, a to již po řadu let. Ten je zde cenný především pro samotnou skořápku. Z vaječného odpadu je ovšem velmi přínosným materiálem i blána. O tento pojem se začali vědci zajímat až poměrně nedávno. Nejstarší článek zabývající se blánou byl vydán v roce 1963. První článek pojednávající o možných aplikacích byl publikován v roce 1995. Od té doby zájem o tento odpadní materiál roste, což dokazuje i počet publikací znázorněný na Obr. 1. Dalším faktorem ukazujícím vzestup zájmu o tuto problematiku je počet možných aplikací, který stále narůstá. Pro pochopení využití vaječné skořápky a blány je důležité se seznámit s jejich složením, o čemž pojednává následující podkapitola. [4]



Obr. 1 – Sloupcový graf počtu vědeckých článků zabývajících se podskořápkovou blánou publikovaných v letech 1971-2013 [4]

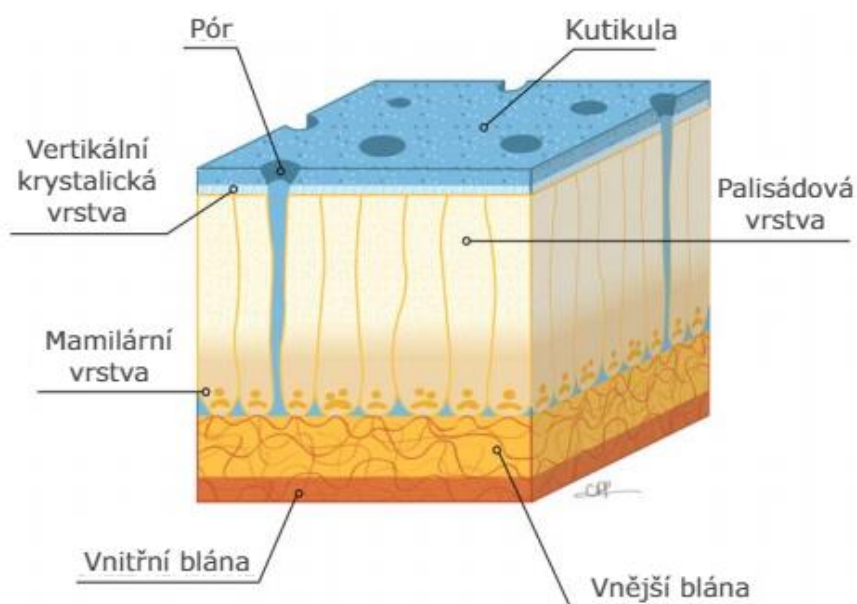
### 1.1 Struktura a složení vaječné skořáčky

Slepičí skořápka se jako celek dělí na vlastní vaječnou skořápku a podskořápkovou blánu. Vlastní skořápka (nepočítaje blánu) typicky sestává z keramických materiálů tvořených třívrstvou strukturou, konkrétně vertikální krystalickou vrstvou, palisádovou vrstvou a vrstvou mamilární (houbovitou). Uspořádání těchto vrstev společně s blánou lze vidět na Obr. 2. Ve vrstvě mamilární vznikají krystaly uhličitanu vápenatého. Nejtlustší palisádová vrstva tvoří hlavní část kalcifikované vrstvy skořáčky. V této vrstvě jsou také póry o průměru 10–30  $\mu\text{m}$  vystupující až napovrch skořáčky, které vznikají při nedokonalém spojení sousedních rostoucích krystalů. Takto vytvořené póry, kterých je v jedné skořápce 7 000–17 000, pomáhají při prostupu plynů skořápkou, nepropustí ovšem vodu. Nad palisádovou vrstvou se nachází velmi tenká, vertikální krystalická vrstva, která má tloušťku asi 8  $\mu\text{m}$ , skládá se z horních částí krystalů, které poskytují povrch pro tvorbu kutikuly. Tato nejvrchnější, nerozpustná vrstva je složena až z 90 % z proteinů. [5]

Chemické složení skořáčky včetně blány v procentech je uvedeno v Tab. 1, přičemž mezi minerální látky se řadí především uhličitan vápenatý (94 %) a uhličitan hořečnatý (1 %), ale obsahuje také dalších 25 stopových prvků, jako například fosfor, selen, měď, zinek, či molybden. Uhličitan vápenatý, který tvoří většinu skořáčky, je významný zejména z důvodu obsahu vápníku a je zpravidla jedinou složkou, pro kterou jsou vaječné skořápky využívány. Stopové prvky mají ovšem v některých oblastech také svůj význam, a to třeba při hnojení, zkrmování či ve farmacii. [5,6,7]

Složky	Obsah [hmotnostní %]
Minerální látky	95,1
Proteiny	3,3
Voda	1,6
Lipidy	Stopové množství
Sacharidy	Stopové množství

Tab. 1 – Chemické složení vaječné skořáčky [8]



Obr. 2 – Ilustrace řezu vaječnou skořápkou [9]

Blána navazující na vlastní skořápku představuje asi 5% celkové hmotnosti vejce. Je to polymerní vláknitá síť, která poskytuje platformu pro mineralizaci na vnější straně, zatímco na vnitřní straně naopak brání mineralizaci vaječného bílku. Tyto odlišné funkce jsou umožněny strukturou blány, kterou tvoří opět vícero částí: vnější a vnitřní blána. Uspořádání lze vidět na Obr. 2. Vnější blána se nachází bezprostředně pod mamilární vrstvou skořápkou a má tloušťku 50-70  $\mu\text{m}$ . Vnitřní blána je oddělena od vnější vzdušným meziprostorem. Ten je nejvýraznější v oblasti tupého konce vejce, kde se nachází vzduchová bublina. Vláknina tvořící vnitřní blánu jsou tenčí než u vnější, stejně tak celková tloušťka je menší (15-26  $\mu\text{m}$ ). [4]

Blánu tvoří z 80-85% organická hmota a zbylých 15-20% anorganická. Největší podíl na organické složce mají proteiny. V bláně jich bylo zaznamenáno celkem 62. Mezi nejdůležitější patří kolageny (typu I, V, X), které mají primární strukturní funkci, tři čtvrtiny tvoří proteiny se sekundární strukturní funkcí, a to především osteopontin, keratin, proteoglykany, glykoproteiny a další. V bláně bylo zaznamenáno celkově na 62 proteinů. Mezi další významnou skupinu se řadí aminokyseliny, kterých blána obsahuje 17, nejvíce prolin, kyselinu glutamovou a glycin. Neméně významnou složkou je kyselina hyaluronová. Vnější a vnější blána se liší nejen tvarem, ale i chemickým složením, primární strukturu tvoří ve vnější vrstvě zejména kolagen typu I, ve vnitřní pak typ I a V. Anorganickou složku blány tvoří uhličitán vápenatý vyskytující se především na vláknkách vnější blány, které jsou v kontaktu se skořápkou. [4]

Blána se díky svému komplexnímu chemickému složení i morfologii využívá v celistvé formě. Mezi její přednosti patří například poréznost, mechanická odolnost a vysoká tepelná odolnost, které jsou využity především v oblasti elektroniky. Velké uplatnění nalézá také při extrakci jednotlivých složek, a to zejména kolagenu, ale i kyseliny hyaluronové.

## 1.2 Legislativa

Česká republika harmonizuje svoji legislativu s požadavky Evropské unie. Ta klade důraz na správnou likvidaci a využití vedlejších živočišných produktů, čímž se rozumí celá těla zvířat nebo jejich části, produkty živočišného původu nebo jiné produkty získané ze zvířat, které nejsou určeny k lidské spotřebě. Nejnovější dokument, který určuje pravidla pro zacházení, způsoby využití a možnosti zpracování vedlejších živočišných produktů, je nařízení EU č. 142/2011 [10]. Tomuto nařízení předcházelo nařízení EU č. 1069/2009 [11], které jednoznačně dělí vedlejší živočišné produkty do tří kategorií dle úrovně rizika pro zdraví lidí a zvířat. Vaječný odpad spadá do kategorie 3, tedy nejméně nebezpečné.

Hygienickým požadavkům podléhají již zpracovatelé vajec. Ti musí s odpadem zacházet tak, aby nedošlo u případné kontaminace odpadu k jejímu šíření. Vaječný odpad se nesmí shromažďovat v prostorách výtlučku a skladů vajec, vyjma provozního odpadu, který je pravidelně odstraňován. Zpracovatel musí mít vybavení k okamžitému skladování skořápek společně s dalším nežádoucím vaječným obsahem. Kontejnery na tento odpad musí být uzavíratelné, dobře těsnit a při skladování musí být zabráněno jakékoliv kontaminaci vajec, vaječných hmot, pitné vody, vybavení a provozních místností. [12]

Nařízení EU č. 142/2011 stanovuje a zavádí celkem 7 tzv. standardních zpracovatelských metod. Vaječný odpad lze zpracovat všemi metodami vyjma metody č. 6, která se vztahuje pouze na vodní živočichy. U metod 1-5 jde o zmenšení částic na požadovanou velikost a následné zahřátí po jistou dobu. Parametry těchto metod jsou znázorněny v Tab. 2. Metoda č. 7 je popsána jako každá zpracovatelská metoda schválená příslušným orgánem, u které provozovatel prokáže dostatečně nízká zdravotní rizika této metody, přičemž zvláštní pozornost je věnována obsahu bakterií *Clostridium perfringens*, *Salmonella* a *Enterobacteriaceae* ve vzorku zpracovaného materiálu. [10]

Metoda	Velikost částic [mm]	Teplota [°C]	Čas [min]	Tlak [bar]
1	50	133	20	3
2	150	100-120	125	-
3	30	100-120	95	-
4	30	100-130	16	-
5	20	80-100	120	-

Tab. 2 – Provozní podmínky standardních zpracovatelských metod 1-5 [10]

Nařízení EU č. 1069/2009 dále určuje 12 způsobů odstranění a použití vedlejších živočišných produktů kategorie 3, mezi které patří například:

- a) Odstranění spálením
- b) Odstranění na povolené skládce
- c) Výroba krmiv pro hospodářská zvířata
- d) Výroba organických hnojiv či půdních přípravků
- e) Kompostování nebo přeměna v bioplyn
- f) Použití jako palivo pro energetické účely
- g) Použití k výrobě získaných produktů, kterými jsou kosmetické prostředky, zdravotnické prostředky, veterinární léčivé přípravky a léčivé přípravky

Právní předpisy výroby produktů v bodě g) dále určují: směrnice Rady 76/768/EHS o sblížení právních předpisů členských států týkajících se kosmetických prostředků, směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/83/ o kodexu Společenství týkajícím se humánních léčivých přípravků, směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/82/ES o kodexu Společenství týkajícím se veterinárních léčivých přípravků, směrnice Rady 90/385/EHS o sblížení právních předpisů členských států týkajících se aktivních implantabilních zdravotnických prostředků, směrnice Rady 93/42/EHS o zdravotnických prostředcích a směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/79/ES o diagnostických zdravotnických prostředcích in vitro. [10, 11]

Legislativa zaměřená na oblast nakládání s živočišnými vedlejšími produkty je rozsáhlá a pevně stanovuje metody, jakými může být vaječný odpad zpracován, příp. využíván. Vyjadřuje ale i určitou volnost, a to zejména ve zpracovatelské metodě č. 7, která umožňuje jiné než konvenční způsoby likvidace či využití. Možnými způsoby využití vaječného odpadu ať už obvyklými, či méně známými se zabývá následující kapitola.



## 2 Využití vaječného odpadu

Existuje mnoho potenciálních využití vaječného odpadu, ale zatímco nejčastější, zavedené způsoby využívají skořápky jako celku, metody, které jsou v poslední době na vzestupu, či mají potenciál do budoucna, se zaměřují výhradně na skořápku nebo blánu. Následující podkapitoly se zabývají oběma přístupy využití vaječného odpadu.

### 2.1 Skořápka jako hnojivo

Z vaječného odpadu se pro účely hnojení neodděluje skořápka od blány. Hlavním přínosem, pro který je zde tento odpad cenný, je vysoký obsah vápníku ve skořápce. Ten výrazně zlepšuje vlastnosti půdy. Váže na sebe škodlivé kyseliny, těžké kovy, má pozitivní vliv na pórovitost a průsak vody, ale také zlepšuje rozpustnost živin v půdě. Vápník má navíc přímý vliv na rostliny, které jej přijímají ve formě iontu  $\text{Ca}^{2+}$ . Ten pomáhá buněčnému dělení či elasticitě, podporuje růst kořenů a klíčivost semen. V neposlední řadě posiluje rostliny proti škůdcům, mrazům či chorobám. Nedostatek vápníku se projevuje například osycháním, až opadem listů nebo plodů. U jablek se objevuje tzv. hořká skvrnitost jablek, u rajčat a dalších rostlin dochází k hnilobě a zasychání konců plodů. [13, 14, 15]

Ačkoliv existují umělá hnojiva na bázi Ca, která jsou hojně využívána, hnojení skořápkami má své výhody. Vápník ze skořápek se vyznačuje výrazně lepší biologickou dostupností (vstřebatelností) pro organismy. Toto využití tedy nejenže plnohodnotně zastupuje umělá Ca hnojiva, ale zároveň je to způsob nejméně technologicky náročný, což z něj také dělá ten nejčastější.

### 2.2 Skořápka jako krmivo

Dalším využitím skořápek je doplněk stravy pro zvířata. Dá se aplikovat nejen v oblastech komerčního chovu, ale i v každé domácnosti pro domestikovaná zvířata (Obr. 3), pokud se vhodně připraví. Pro svůj potenciálně nebezpečný obsah je doporučeno v komerčním využití před drcením skořápky nejdříve ošetřit ohřevem na teplotu 80 °C, přičemž dojde ke snížení mikrobiologické kontaminace ve výsledném produktu [16]. Skořápky jsou opět (jako v naprosté většině využití – pokud se používá vaječný odpad jako celek, skořápka s blánou) užitečné především pro svůj obsah vápníku. Při jeho nedostatku může dojít zejména k [5]:

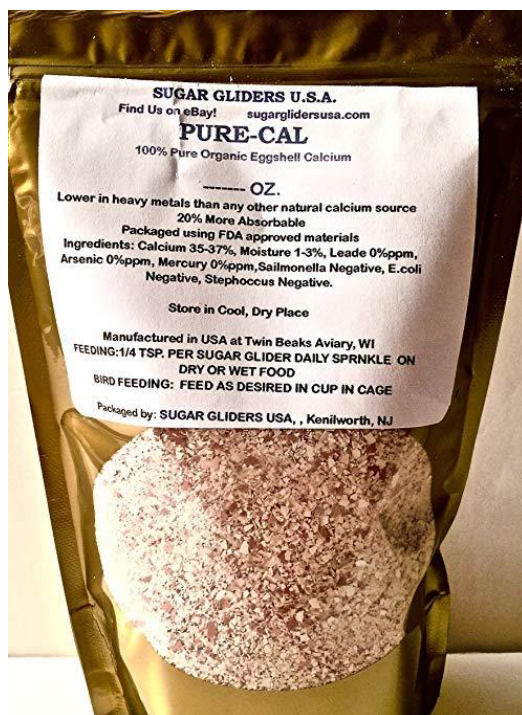
- zpomalení růstu
- snížení příjmu potravy
- dekalifikaci kostí, čímž se oslabují a křehnou
- snížené pohyblivosti a abnormálnímu postoji vlivem dekalifikace

Množství příjmu je ovšem také nutno regulovat, denní příjem například pro dospělou krávu je 35 g, pro vepř 13 g, či pro ovci 2 až 4 gramy. I jako v případě nedostatku, výrazné překročení těchto hodnot vede k negativním vlivům pro zvířecí organismy, a to k [5]:

- snížení příjmu potravy
- poškození ledvin
- vápnění orgánů
- ukládání solí kyseliny močové v močovodu

Drcené skořápky jsou v neposlední řadě užitečným doplňkem pro drůbež chovanou pro vejce. Pozitivní vliv má na zvířata i blána, a kromě vápníku také další prvky obsažené ve skořápce (fosfor, hořčík...). [5]

Využití skořápek ke krmným účelům a ke hnojení je nejrozšířenějším způsobem jejich uplatnění. Nejedná se však o alternativy, které by měly plně nahradit zavedené způsoby používání průmyslově vyráběných krmiv či hnojiv, jsou však nejlevnějším řešením jak naložit s vaječným odpadem jinak, než na likvidaci spálením či na skládce.



Obr. 3 – Produkt z vaječných skořápek určený pro drobné savce a ptáky [17]

### 2.3 Aplikace skořápek v produkci bionafty jako katalyzátoru

Jedním z průmyslových způsobů, jak naložit se skořápkami, je využití v oblasti biopaliv. Nejčastější způsob výroby bionafty je z rostlinného oleje transesterifikací za pomoci kyselých či zásaditých katalyzátorů. Katalyzátory se dále dělí na homogenní a heterogenní, přičemž jedním z heterogenních je uhličitán vápenatý. S. Niju a spol. zveřejnili v roce 2014 výzkum pro srovnání účinnosti katalytické aktivity pro transesterifikaci použitého smažicího oleje za pomoci oxidu vápenatého získaného ze skořápek procesem kalcinace-hydratace-dehydratace a komerčního uhličitánu vápenatého. Výsledky prokázaly značný rozdíl v množství oleje přetvořeného na metylester, a to 94,52 % pro katalýzu uhličitánu vápenatého ze skořápek a 67,57 % za pomoci komerčního. Skořápky lze využít jako katalyzátor kromě výroby bionafty i v řadě dalších výrobních procesů, například při syntéze vodíku, dimethylkarbonátu, či bioaktivních sloučenin (pyranu, laktulózy...). [18, 19]

### 2.4 Využití skořápek pro tiskárenský papír

Jeden z méně obvyklých využití vaječného odpadu je v oblasti papírenského průmyslu. Ve snaze zlepšit kvalitu inkoustového tisku jsou na papír nanášeny povlaky a nátěry. V tradiční podobě je představují syntetické pigmenty na bázi oxidu křemičitého. Ten poskytuje vysokou hustotu barev, rozlišení a rychlé schnutí; to vše ovšem na úkor vysoké ceny.

Vhodnou alternativou k oxidu křemičitému je syntetický uhličitan vápenatý, který je levnější a má lepší reologické vlastnosti. Nabízí se tedy nahradit umělý  $\text{CaCO}_3$  přírodním ze skořápek. Studie Seukjoon Yoo a spol. z r. 2009 ukázala, že papír ošetřený povlakem s částicemi rozdrcených skořápek (zbavených blan a nečistot) vykazuje lepší hustotu inkoustů na bázi kyanu, magenty a žluté, a naopak horší v případě černého inkoustu, z čehož vyplývá, že uvedená aplikace je vhodná pro barevný tisk. [20]

Tento výzkum je ovšem starý deset let, během kterých došlo k významnému technologickému posunu laserových tiskáren. Ty dnes v mnoha ohledech předčí inkoustové tiskárny a také došlo ke zlepšení dostupnosti laserového tisku z hlediska ceny. Inkoustová tiskárna je vhodnější pro barevný tisk, kde vyniká i uhličitan vápenatý ze skořápek, a tudíž by zde mohl najít dlouhodobé uplatnění.

## 2.5 Podskořápkové blány v elektronice

V poslední době probíhá mnoho výzkumů pro další využití blány, a to nejen na poli farmacie, ale i v oblasti inženýrství. Blány jsou využitelné v elektronice pro své vlastnosti, jako je jejich porézní struktura, vysoká teplota rozkladu či dobrá mechanická odolnost. Blána je často upravena pro zlepšení elektrických vlastností. Mezi procesy její úpravy patří např. karbonizace, díky které dojde ke snížení koncentrace volných atomů dusíku, což má za důsledek zvýšení elektrické vodivosti. [21]

Další možná aplikace blan je v kondenzátorech; ty jsou obvykle vyráběny z uhlíkových materiálů, oxidů tranzitních kovů a vodivých polymerů. Tyto materiály jsou toxické, složité na výrobu, či mají křehké mikrostruktury. Blána zde může být použita jako separátor elektrod namísto běžně používaných polymerů, jelikož je odolná vůči teplu a zůstává stabilní v alkoholovém či vodním prostředí. Po karbonizaci může být použita také jako hlavní prvek elektrod, a to z důvodu vysoké kapacity, povrchové plochy, cyklické stability a hustoty energie. [21]

Baterie na bázi karbonizovaných blan jsou možnou alternativou lithiových baterií. Li a spol. vyvinuli v roce 2011 anodu s blánou pro sodíkové baterie. Taková anoda disponuje spletenou vláknitou sítí s mikroporézní strukturou, čímž je dosaženo větší povrchové plochy a hustoty energie při zachování kapacity i cyklické stability. [22]

Blána je atraktivním materiálem pro výrobu solárních článků, kde po karbonizaci slouží jako pomocná elektroda. Článek s touto pomocnou elektrodou dosáhl účinnosti přeměny energie 12 % [23]. V porovnání s 12-14% účinností u křemíkových článků se tak jedná o kompetitivní a levnou alternativu šetrnou k životnímu prostředí. [24]

Ačkoliv jsou možnosti aplikace vaječného odpadu v oblasti elektroniky velmi rozsáhlé a materiály, které nahrazují jsou mnohdy drahé, jsou i technologie pro využití vaječného odpadu příliš nákladné a je náročné zařadit tyto procesy do velkovýroby.

## 2.6 Využití jako plnivo kompozitů

Vaječný odpad nalézá možné využití i v materiálovém inženýrství. Kompozity na bázi polypropylenu jsou zpravidla vyplňovány anorganickými plnivými, jako například mastek či

minerální uhličitán vápenatý. Opět se nabízí náhrada těchto plniv skořápkami coby zdroje organického  $\text{CaCO}_3$ . Skořápka má ve srovnání s mastkem či komerčním  $\text{CaCO}_3$  o několik procent nižší hustotu a také vyšší krystalinitu, která má za následek zvýšení pružnosti a tvrdosti. [25, 26]

## 2.7 Využití v biomedicině

Jedno z nejvýznamnějších využití skořápek v oblasti medicíny a chirurgie je produkce hydroxyapatitu<sup>1</sup>, který tvoří významnou část kostí a zubů. Ten je v současnosti získáván z rybích kostí, ulit z ústřic, či korálů. Narozdíl od skořápek může nepřetržité čerpání těchto zdrojů vést k jejich vyhynutí. Hydroxyapatit získaný ze skořápek navíc vykazuje i lepší vlastnosti, co se týče tvrdosti, hustoty a buněčných kultur, také více podporuje tvorbu kostí. Vlastnosti hydroxyapatitu z kostí se také mění a odvíjí od jejich původu, teploty kalcinace, a způsobu extrakce, kdežto získaný z vaječných skořápek tyto odchylky nevykazuje. Uvedené vlastnosti dělají ze skořápek ideální zdroj hydroxyapatitu pro kostní a kloubní náhrady. Pro ty lze využít i kolagen z blan, jelikož v kombinaci s hydroxyapatitem tvoří na makro i mikroskopické úrovni strukturu podobnou kostem. Nejrozšířenější a zároveň nejvhodnější metodou výroby hydroxyapatitu ze skořápek je metoda hydrotermální. Během tohoto procesu jsou jemné krystaly hydroxyapatitu syntetizovány z  $\text{Ca(OH)}_2$  a  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  jako výchozích materiálů. [27, 28]

Blána nalézá uplatnění v biomedicině nejen v kombinaci s hydroxyapatitem. Bylo zaznamenáno její využití jako biologického obvazu na spálenou kůži [29]. Úspěšná aplikace byla dokázána v očním lékařství, kde při simulaci operace oka svými vlastnostmi spolehlivě nahrazuje sklivec [30]. Také byla provedena studie zabývající se implementací blány při regeneraci nervů, přičemž bylo dosaženo pozitivních výsledků [31].

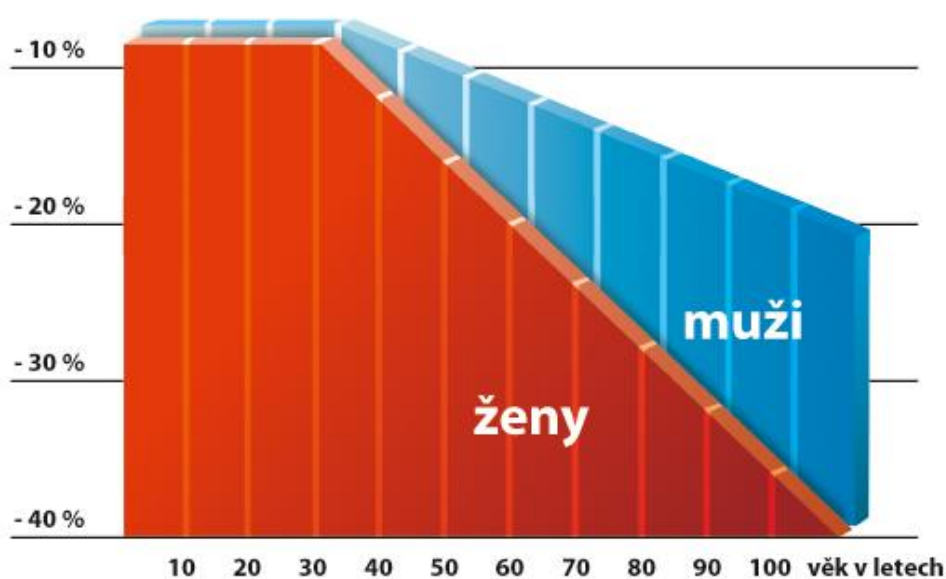
## 2.8 Využití skořápek a blan ve farmacii

Vaječné skořápky jsou jedním z nejlepších zdrojů vápníku; tělo ho dokáže vstřebat až 90 %. Skořápka dále obsahuje 25 prvků nezbytných pro tělo. Její konzumace má pozitivní vliv na lámavost nehtů, vlasů, krvácení dásní, chronickou rýmu, zácpu, či astma. Jak bylo dokázáno, skořápka nezlepšuje pouze kostní tkáň, ale také odvádí z těla radioaktivní prvky. Jedním z největších přínosů především pro starší populaci je prevence osteoporózy a její léčba. [5]

Osteoporóza je kostní choroba projevující se ztrátou/řidnutím kostní tkáně. Ta se projevuje už od středního věku, přičemž její rozsah se liší podle pohlaví. Závislost ztráty kostní tkáně na věku a pohlaví je zobrazena na Obr. 4. Prevencí před osteoporózou se rozumí dostatečný přísun vápníku především v mládí, který zajistí sílu kostním tkáním v jejich vývoji. Kromě výživy kostních tkání tělo využívá asi 1 % z vápníku v těle na jiné funkce, jako práce svalů a nervových signálů, srážlivost krve, energetický metabolismus či pro tvorbu trávicích enzymů. [32]

---

<sup>1</sup> Přírozená forma vápníku a fosforu se vzorcem  $\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$  [28].



Obr. 4 – Průměrná ztráta kostní tkáně v % [32]

Prvotním produktem zpracování vaječné skořápky je skořápková moučka. Ta kromě účinků, které poskytuje vápník, i díky svým dalším složkám zajišťuje například výše zmíněný odvod škodlivých prvků z těla. Takto zpracovaná skořápka je využívána zpravidla při výrobě těstovin, zmrzliny, uzenin, paštik či pekárenských výrobků. Pro farmaceutické účely prochází moučka často procesem extrakce čistého uhličitanu vápenatého, ten je poté prodáván jako doplněk stravy. Pro zvýšení vstřebatelnosti lze z uhličitanu vápenatého vyrobit citrát vápenatý. Jeho výroba ovšem představuje komplexní chemický proces, který zahrnuje odstředění, reakci s kyselinou citronovou, filtraci, mytí ethanolem a sušení. Tak složitý proces má ovšem za následek relativně nízký zisk výsledného produktu, a to zejména kvůli nízké efektivitě přeměny  $\text{CaCO}_3$  na citrát vápenatý. [33, 34]

Blána se jako produkt prodává zejména v podobě hydrolyzátu.

V USA byla již v minulém desetiletí schválena a zavedena jako potravinová složka Natural Eggshell Membrane (NEM®), tedy přírodní podskořápková blána. Tento dietní doplněk byl zhodnocen z hlediska cytotoxicity, genotoxicity i orální toxicity a byla u něj dokázána bezpečnost až padesátinásobku denní dávky, tedy 500mg na den [35]. Na žádost společnosti Biova, LCC (USA) bylo 31. října 2018 prováděcím nařízením Komise (EU) 2018/1647 [36] povoleno uvedení „hydrolyzátu z vaječné membrány“ na trh jako nové potraviny.

Produkty blan jsou prospěšné zejména pro klouby a pojivové tkáně, kvůli obsahu mukopolysacharidů (kys. hyaluronová) a proteinů (kolagen, keratin, glykoproteiny – osteopontin, fibronectin...) [37].

Jedním z předních evropských společností zaměřujících se na farmaceutické a kosmetické doplňky je španělská organizace Eggnovo. Ta se zabývá zpracováním vaječného odpadu a následným vytvořením produktů ze skořápek a blan, které poté dodává distributorům. V současné době nabízí na trhu čtyři produkty, z toho dva farmaceutické (Ovomet z blan na Obr. 5, Ovocet ze skořápek), jeden kosmetický (Ovoderm) a jeden pro domácí zvířata (Ovopet). Účinnost svých produktů společnost dokládá klinickými studiemi [39].



Obr. 5 – Produkt Ovomet® Pure Eggshell Membrane 300mg Capsules distributora Hellenia [40]

Stejně jako skořápka je i blána využívána po zpracování jako celek, ale je také možné extrahovat její jednotlivé složky a ty poté prodávat samostatně, či přidávat do jiných produktů. Primární složkou blan, která bývá extrahována, je kolagen. Je to především dáno jeho vysokým obsahem a také přínosem, který je dominantní i při využití blány jako celku, tedy podporou kloubů a pojivové tkáně. Kolagen je zpracováván ve dvou formách, želatině a hydrolyzátu, želatina je ovšem žádoucí spíše v potravinářském průmyslu. [41]

Druhým produktem, který se vyplatí extrahovat z blány, je kyselina hyaluronová. Její obsah v bláně je 5-10 %, což z ní dělá vůbec nejbohatší tkáň na tuto kyselinu [42]. Tab. 3 srovnává obsahy kyseliny hyaluronové v různých tkáních. Kyselina hyaluronová se ve farmacii používá především pro svoji schopnost vázat vodu, a to jak v přípravcích proti vysoušení očí, tak také v roztocích či kapkách při užívání kontaktních čoček. [38]

Zdroj	Obsah kys. hyaluronové [%]
Tkáň sklivce	0,002
Lidská pokožka	0,03-0,09
Synoviální tekutina	0,14-0,36
Pupeční šňůra	0,3
Kohoutí hřebínek	0,75
Podskořápková blána	5-10

Tab. 3 – Procentuální obsah kyseliny hyaluronové ve vybraných živočišných tkáních [42]

Vaječný odpad je také velmi hodnotným materiálem v oblasti kosmetiky. Kolagen je součástí mýdel, šampónů, pleťových krémů a dalších kosmetických produktů. Významnou funkci má i kyselina hyaluronová, která je díky svým schopnostem vázat vodu prodávána v čisté formě jako hydratační kosmetický produkt, ale také je například součástí pleťových masek a vlasových sér.

### 2.8.1 Jiné zdroje vápníku a kolagenu

Mezi přední živočišné zdroje uhličitanu vápenatého, a tudíž vápníku pro farmacii, patří rybí kosti, sépiové kosti, mušle z lastur či koráli. Vápník z tohoto zdroje má však nižší biologickou

dostupnost. U zdrojů živočišného původu se jedná výhradně o mořské živočichy, jejichž počty se každoročně snižují, je tedy v enviromentálním zájmu tento zdroj nahradit. Uhličitan vápenatý získaný ze skořápek je také vhodnější z hlediska chemického složení. Umělý vápník obsahuje zvýšené množství kadmia. Mořské zdroje kromě kadmia navíc obsahují olovo, rtuť i další kovy. Tyto těžké kovy jsou pro lidské tělo nežádoucí a ve zvýšených dávkách i nebezpečné. Z důvodu omezené dostupnosti těchto zdrojů je uhličitan vápenatý jako zdroj vápníku vyráběn i uměle. Jedná se anorganický precipitovaný uhličitan vápenatý získávaný z vápence. Ten má ovšem omezenou biologickou dostupnost, proto se spíše než jako doplněk stravy využívá k neutralizaci kyselin při pálení žáhy či překyselení žaludku. [5, 27, 43, 44]

Kolagen je získáván výhradně z hovězích tkání (méně pak z vepřových). Produkce kolagenu z alternativních zdrojů jako z blány má proto hned několik výhod. Zpravidla neobsahuje žádné části živočichů, jako například složky živočišné tkáně, krve nebo tělních tekutin, které jsou nežádoucí pro produkci farmaceutických produktů a které se mohou u kolagenu z hovězích tkání vyskytovat. Hovězí kolagen může také přenášet bovinní spongiformní encefalopatii (nemoc šílených krav). Ačkoliv je pravděpodobnost nákazy velmi malá, vyžaduje chov krav za účelem produkce kolagenu mnohá nákladná opatření ke snížení tohoto rizika. Bylo také odhadnuto, že 2-3 % lidské populace trpí alergií na hovězí kolagen. Z těchto důvodů je tedy kolagen z blan velmi konkurenceschopnou náhradou. [3, 7]

## 2.9 Shrnutí řešerše aplikací

Z výše uvedených příkladů lze vidět velké množství využití vaječného odpadu. Mezi metody již zavedené a prováděné ve velkém měřítku patří výhradně ty z oblasti zemědělství, a to zejména využití pro hnojení půdy či krmiv. Tento způsob využití je zdaleka nejjednodušší, ovšem také je nejméně ekonomicky efektivní. K opačnému extrému z hlediska náročnosti zpracovatelského procesu lze zařadit využití skořápek a blan v materiálovém inženýrství či elektronice, které mají velký potenciál z hlediska finančního, ovšem jejich produkce je velmi složitá a bude zřejmě nějakou dobu trvat, než bude tato alternativa konkurenceschopná i z hlediska velkovýroby.

Jako nejperspektivnější způsob využití se nabízí farmaceutický průmysl, který narozdíl od zavedených metod efektivněji využívá jednotlivé složky vaječného odpadu. Oproti aplikacím v materiálovém inženýrství či elektronice je tento způsob již využíván v plně provozním měřítku a v neposlední řadě je vaječný odpad ve farmacii alternativou, která má mnohé výhody v porovnání s dnes užívanými zdroji. Vystává však otázka dostupnosti zařízení pro zpracování vaječného odpadu v oblasti farmaceutického průmyslu.

### 3 Procesní linka zpracovávající vaječný odpad pro farmaceutický průmysl

Farmaceutický průmysl byl vyhodnocen jako nejvhodnějším odvětvím pro využití vaječného odpadu. Pro takové zpracování vaječného odpadu je zapotřebí vhodných technologií. V minulé kapitole byla zmíněna společnost, která již farmaceutické produkty z vaječného odpadu prodává, tudíž takové technologie existují. Dostupností těchto technologií na trhu se zabývá další podkapitola.

#### 3.1 Komerčně dostupná řešení

Největším dodavatelem technologického sortimentu pro podniky zpracovávající vejce je společnost Sanovo. Ta v současné době pro využití vaječného odpadu nabízí 3 druhy odstředivek (Obr. 6) dle objemu zpracovaných skořápek, a to od 22 do 252 tisíc skořápek za hodinu. [45]



Obr. 6 – Odstředivka SANOVO SEC [45]

Dalším z dodavatelů techniky zpracující vejce je společnost Pelbo [46]. Ta nabízí jednu odstředivku, ale také množství dopravníků vaječného odpadu a jednotku pro sušení skořápek.

Během průzkumu komerčně dostupných řešení nebylo nalezeno žádné zařízení umožňující zpracování vaječného odpadu s důrazem na využití vaječné skořápky a podskořápkové blány. Další podkapitoly se proto věnují návrhu procesní linky pro tento účel, konkrétně pro využití ve farmacii.

#### 3.2 Požadavky na konstrukci procesní linky

Jelikož jde o zpracování vaječného odpadu pro další využití ve farmaceutickém průmyslu, za konečné produkty v tomto procesu bude považována skořápková moučka a vysušená podskořápková blána.

Při formulaci obecného návrhu je nutno zohlednit objem zpracovaných skořápek. Ten ovlivňuje nejen velikost zařízení, ale také režim provozu z hlediska času. Kontinuální provoz oproti vsádkovému zpravidla pojme větší objem materiálu. Zároveň je na problém nutno pohlížet z hlediska ekonomického. Zařízení kontinuální jsou konstrukčně složitější a tím pádem obvykle i dražší. Dále je třeba dimenzovat technologii tak, aby z hlediska hygieny byly skořápky zpracovány během požadovaného času, případně procesní linku dovybavit technologií k chlazení suroviny.



### 3.2.1 Hygienické požadavky

Protože se jedná o procesní linku pro využití vaječného odpadu pro farmaceutické účely a výsledné produkty slouží k lidské spotřebě, musí všechna zařízení, která se dostanou do styku se zpracovávaným materiálem, vyhovovat potravinářským normám a požadavkům Evropské unie.

Norma ČSN EN 1672-2+A1 [47] říká, že potravinářské zařízení musí být navrženo a vyrobeno takovým způsobem, aby nevznikly nákazy, nemoci, či infekce. Norma dále uvádí, že zařízení musí být uzpůsobeno pro řádný provoz, čištění a údržbu.

Pod těmito požadavky se skrývá spousta nároků na konstrukci strojů. Pro konstrukci zařízení musí být použita potravinářská ocel, tou nejčastější v potravinářském a farmaceutickém průmyslu je korozivzdorná ocel AISi 304. Požadavky na konstrukci potravinářských zařízení vychází především ze snahy minimalizovat tzv. mrtvé zóny, tedy místa, ve kterých má materiál tendenci se usazovat. U návrhu je nutno dbát na dostatečně nízkou hodnotu drsnosti, minimální hodnota je u většiny ploch určených ke styku s materiálem 0,8  $\mu\text{m}$ . Je také nutno zvolit vhodné šrouby, těsnění, správné umístění svarů a slepých ramen, zamezit ostrým ohybům v konstrukci. Nádrže a další nádoby musí být konstruovány tak, aby bylo umožněno vyprázdnění samospádem. [47, 48]

### 3.3 Rešerše patentů

Metodami zpracování vaječného odpadu, kde je kladen důraz na oddělení skořápek a podskořápkových blan, se inženýři začali více zabývat asi před dvaceti lety. Mnohé z těchto metod byly patentovány, přičemž některé z nich jsou popsány v následující části.

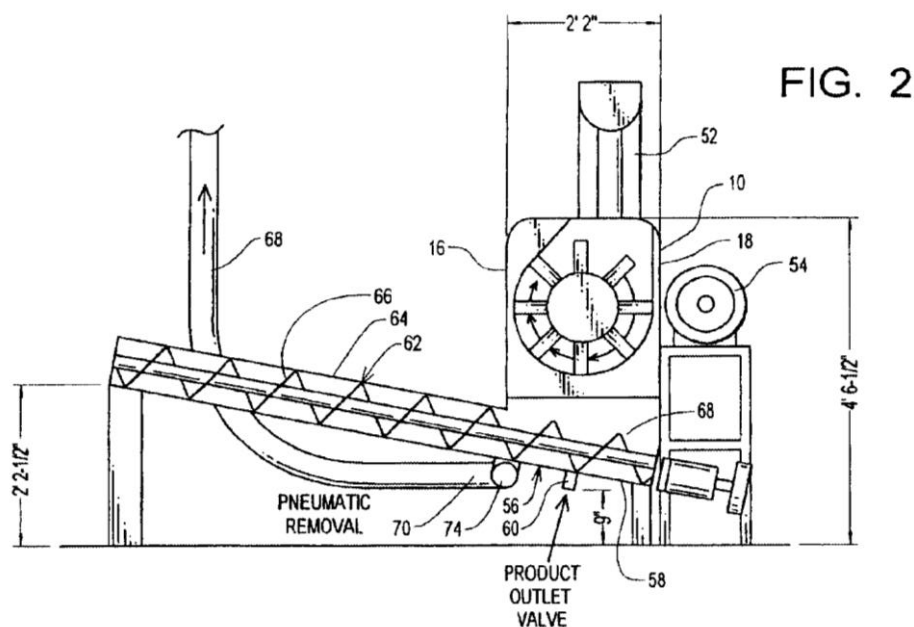
#### 3.3.1 Patent Johna H. Thoroskiho (2003)

Autorem jedním z prvních patentů je John H. Thoroski. Patentované schéma aparátu pro zpracování vaječného odpadu je na Obr. 7. Proces je popsán následujícím způsobem: Vaječný odpad je nejdříve odstředěn v odstředivce z důvodu hrubého odstranění bílku po výtluku. Zbylá skořápka s blánou je poté umyta vodou, čímž dojde k dalšímu odstranění bílku a nečistot. Umytý materiál je opět odstředěn pro odstranění přebytečné vody. Materiál je poté sušen v bubnové sušičce při teplotě kolem 80 °C asi dvě minuty. Po tomto kroku je vlhkost materiálu mezi 1-3 %. Při sušení dojde k přerušení proteinových vazeb v mamilární vrstvě, které vznikají mezi skořápkou a blánou. Vysokými teplotami také dojde ke smrštění blány. Jelikož proteinové vazby v membráně jsou silnější než ty k mamilární vrstvě, dojde k oddělení od skořápky. K další separaci dochází v rotační bubnové sušičce. Jednotlivé kousky skořápky do sebe v sušičce narážejí, a kromě separace blan jsou skořápky rozbíjeny na menší částice. Po kroku sušení je materiál dopraven na krouživé síto. Vibrace síta a samotné síto, které má abrazivní efekt, oddělují blány, které jsou stále přichyceny na skořápkce. Skořápky do sebe opět narážejí a drtí se. Části oddělených blan, které jsou lehké a díky jejich pružnosti mají i větší rozměry, zůstávají v sítu a narozdíl od skořápek nepropadávají. Při ideálních podmínkách tohoto procesu (doba, jemnost síta) lze zachytit až 90 % objemu blan z původního vaječného odpadu. Materiál zachycený v sítu obsahuje jen minimální množství skořápek a může být tedy využit pro farmaceutické potřeby. Materiálem, který propadne sítem, jsou naopak z většiny oddělené skořápky s minimálním množstvím blan. Další kroky jsou již zobrazeny na Obr. 7. Materiál je vsazen otvorem (52) do kladivového mlýna (16), který tvoří válcová komora. V této komoře jsou kovová „kladiva“ připevněna k náboji. Systém kladiv je těsně obklopen sítem a jak se

náboj s kladivy otáčí, kladiva v blízkosti síta drtí skořápky na menší kousky, až dojde k propadu materiálu do pneumatické dopravní trubice (68). Větší částice skořápek (600-900  $\mu\text{m}$ ) propadají v trubici ven ventilem (60). Lehčí částice, tedy zbytek membrán a skořápky, které jsou rozdrčeny na prach jsou vtaženy pneumatickým systémem do otvoru (74). Při tomto procesu pracuje také šnekový dopravník (62) při pomalých otáčkách, aby zamezil ucpání materiálu v trubici.

Při tomto procesu je 35-39 % objemu materiálu zpracovaného ve mlýně odstraněno pneumatickým systémem. Tento materiál tvoří směs skořápkové moučky a zbylých podskořápkových blan a může být využit například v krmivech. 53-57 % materiálu, který tvoří pouze skořápky, je sbíráno ve ventilu (60). Tyto skořápky mohou být dále drceny na 15-25  $\mu\text{m}$  pro farmaceutické potřeby. [49]

Tento systém se neukazuje jako vhodný, a to zejména z důvodu poměrně malého množství materiálu, který může být využit ve farmaceutickém průmyslu v důsledku pneumatického systému, který sbírá blány společně se skořápkovou moučkou.



Obr. 7 – Aparát pro zpracování vaječného odpadu dle Johna H. Thoroskiho [49]

Další patentovaná suchá metoda zpracování vaječného odpadu, která stojí za zmínku, je od Leviho Newa [50] a využívá v ní pro separaci skořápek a blan venturiho trubice. Vzduch proudící skrz trubicí rozbíjí a drtí křehké skořápky, zatímco pružnější blána zůstává pohromadě.

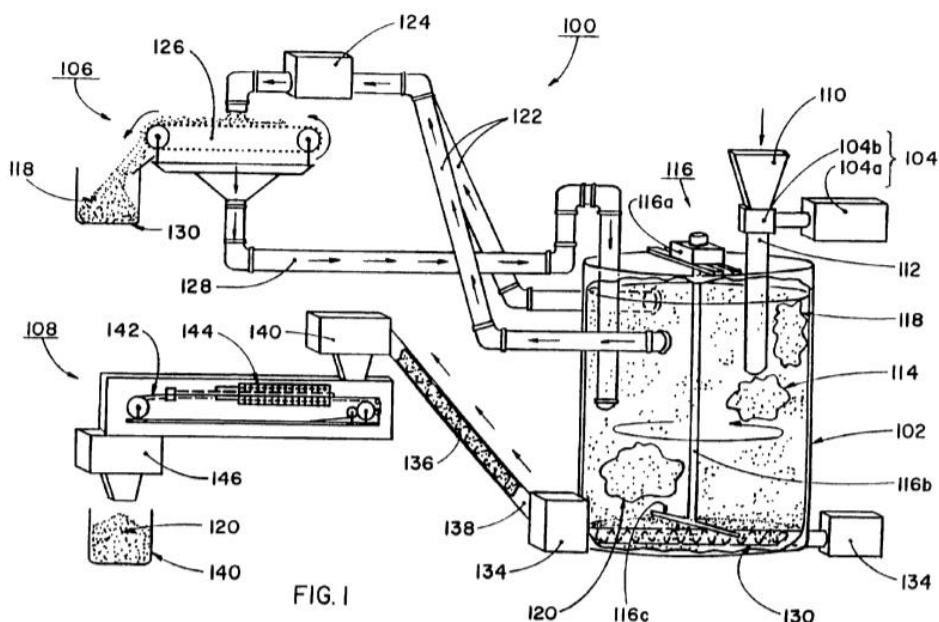
### 3.3.2 Patent Johna H. MacNeila (2006)

Joseph H. MacNeil pro oddělení skořápek a blan v procesu zpracování vaječného odpadu využívá vodu. Tomuto patentu předcházela patent aparátu pro zpracování vaječného odpadu z líhni, který ale využíval k separaci tzv. suchých metod. Aparát patentu zachycuje Obr. 8 a funguje následujícím způsobem:

Na začátku procesu jsou skořápky s blanami, u kterých se předpokládá, že již byly odstředěny, a tak zbaveny většiny bílku a dalších nečistot. Ty jsou vloženy do násypky (110), která vede do redukčního zařízení (104) se sekací hlavou, která zmenší částice materiálu na 0,5–4 mm. Má ale také abrazivní funkci, čímž rozrušuje vazby mezi skořápkou a blánou. Toto narušení umožní blánám oddělení od skořápek v nádrži s vodou (102), kam je materiál

dopraven skluzem (112), a to do polohy níže, než jsou umístěny odsávací trubice (122). Blány, které jsou odděleny od skořápky, jsou mnohem lehčí než skořápky, a proto se vznášejí ve vyšší vrstvě vodního sloupce delší dobu než skořápky, které naopak rychle klesají ke dnu. U dna nádrže je na hřídeli (116b) poháněné motorem (116a) připevněno rameno (116c). To při nízkých otáčkách rozmíchává materiál usazený na dně a uvolňuje tak blány „uvězněné“ pod skořápkami či separuje zbytek blán, které ještě nejsou odděleny od skořápek. Voda, která obsahuje oddělené blány, je vysávána z nádrže čerpadlem (124) jedním nebo vícero trubicemi. Ty jsou umístěny blízko hladiny nádrže a zároveň v dostatečné vzdálenosti od skluzu tak, aby nebyly nasáty skořápky vstupující skluzem do nádrže. Blány jsou po odsátí z nádrže zachyceny na odvodňovacích dopravníkových pásích (126), zatímco voda je vedena trubicí (128) zpět do nádrže. Odvodněné blány jsou vedeny do sběrného koše (130) a mohou být dále zpracovány například sušením. Místo pásů je také možno použít statická síta, a to alespoň dvě s rozdílnou velikostí ok. Na dně nádrže je drážka (130), ve které je vsazen šnekový dopravník (na obrázku neoznačen). Skořápky usazené na dně jsou šnekovým dopravníkem vedeny do trubice (138), která dále vede do sekundárního zařízení (108). Toto zařízení obsahuje systém dopravníkových pásů (142) vedoucí přes sušící jednotku (144). Po vysušení jsou skořápky vedeny do sběrného koše (140). [51]

Navzdory tomu, že se jedná o starší patent, jeví se stále jako jeden z nejlepších. V tomto způsobu zpracování narozdíl od předchozího nebylo třeba po odstředění provést oplach. A to díky metodě oddělení skořápek a blan, ke kterému došlo samovolně v nádrži s vodou. Jako vhodné se nabízí doplnění drtícího zařízení za dopravník (142) předtím, než jsou skořápky po vysušení dopraveny do koše. Tímto by koš sbíral hotový produkt v podobě skořápkové moučky.



Obr. 8 – Návrh procesní linky dle Josepha. H. MacNeila [51]

### 3.3.3 Patent R. V. Floha a S. L. Jalfena (2009)

Patent R. V. Floha a Sergio L. Jalfena, z roku 2009 je podobný tomu od Josepha H. MacNeila. Odstředěný vaječný odpad je společně s vodou veden do násypky. Tato suspenze je dále vedena do drtiče, kde jsou skořápky a blány rozmělněny na malé částice o velikosti 0.5-2.5 mm. Zde

dochází k abrazi a narušení vazeb mezi skořápkami a blánami. Suspenze je dále vedena do nádrže, kde dochází k separaci skořápek od blan. V nádrži je systém vzájemně se překrývajících lopatek, z nichž každá má rozměry 55-65 % celkového průřezu nádrže. Dále je vývod, odkud je vyváděna voda s blánami. Ty jsou následně odfiltrovány, zatímco voda se vrací a je vháněna do spodní části nádrže tak, že způsobí její vzestupný tok kolem lopatek. Tento tok způsobí nadnášení blan v horní části nádrže, ale zároveň nezabrání usedání těžkých částic skořápek. Dno nádoby je vyspádováno a umožňuje odběr skořápek dopravníkovým systémem. [52]

### 3.3.4 Patent N. C. Esquinase a A.M. Ballestera (2010)

Jedná se o patent, jejímž nabyvatelem je již zmíněná společnost Eggnovo. U tohoto patentu není přítomno schéma aparátu a také je psáno ve španělštině, proto budou jen stručně popsány jednotlivé kroky procesu. Prvním krokem je ošetření vaječného odpadu, které se skládá z mytí skořápky s blánou a následného tepelného ošetření, které zajistí pasterizaci a neutralizaci materiálu. Vysrážený bílek je využit do krmiv pro zvířata. Druhým krokem je drcení a separace pomocí síta, jež byla popsána v podkapitole 3.3.1. Oddělená blána je umyta a vysušena. Skořápková moučka, vzniklá předešlým drcením, je pouze vysušena.

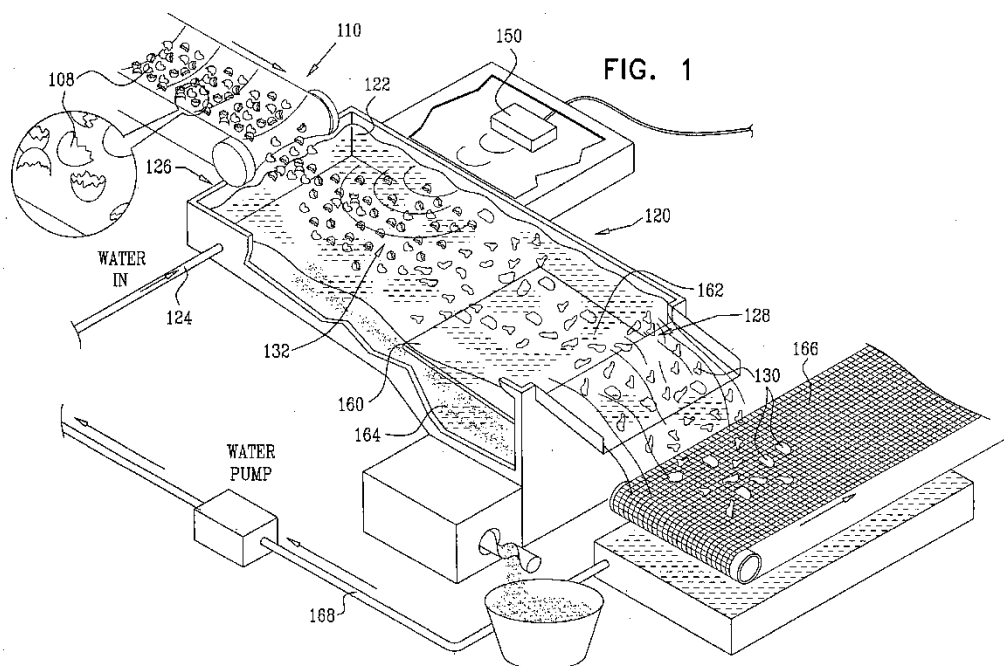
Hlavním přínosem této metody je využití sraženého bílku z kroku ošetření. Zajímavostí ošetření je ovšem to, že probíhá za doporučené teploty vody 65-95 °C po dobu 30-60 minut. Při takto vysoké teplotě totiž dochází k poškození důležitých komponent podskořápkové blány, což může mít negativní vliv pro její přínos ve farmacii. [53]

### 3.3.5 Patent Eli Orena (2010)

Jedním z dalších patentů pro zpracování vaječného odpadu je patent od Eli Orena z r. 2010, pro který je specifické využití pulzní energie. Ilustrace aparátu patentu Eli Orena je na Obr. 9, přičemž proces je popsán následovně: Odstředěný vaječný odpad je dopravníkovým pásem (110) veden do zařízení zvaného „separační jednotka pulzní energie“ (120), konkrétně do lázně s vhodnou kapalinou (122), přednostně vody o teplotě 30-50 °C. Kapalina je přiváděna cyklicky přívodním potrubím (124), která dále díky spádu teče od místa příjmu materiálu (126) k místu, kde dochází k separaci skořápek a blan (128). K nejdůležitější separaci skořápek a blan dochází v jednotce (120), ve které se nachází zdroj pulzní energie (150). Tato energie se šíří pomocí kapaliny (122) a vyvolává v ní kavitaci<sup>2</sup>, čímž vznikají bubliny, které implodují, rozbíjí skořápky a dochází tak k porušení vazeb mezi skořápkami a blánami a k následné separaci. Patent doporučuje jako vhodný zdroj této energie ultrazvukový pulzní generátor. Další možností je generátor rázových vln, tedy litotriptor. Po separaci mají oddělené blány tendenci zůstat u hladiny kapaliny, zatímco skořápky klesají ke dnu. Pomocí separačního členu (160) je horní část kapaliny obsahující blány oddělena od té spodní se skořápkami a je přiváděna do vypouštěcího dopravníku (166), kde je zachytávána blána, přičemž kapalina odtéká do nádrže, odkud je pomocí čerpadla vedena potrubím (168) a (124) zpět do jednotky (120). Blány mohou být dále vysušeny a použity do farmaceutických a kosmetických produktů. Skořápky jsou sbírány ve spodní části kapaliny (164) a mohou být dále vysušeny a podrceny pro jejich využití ve farmacii. [54]

---

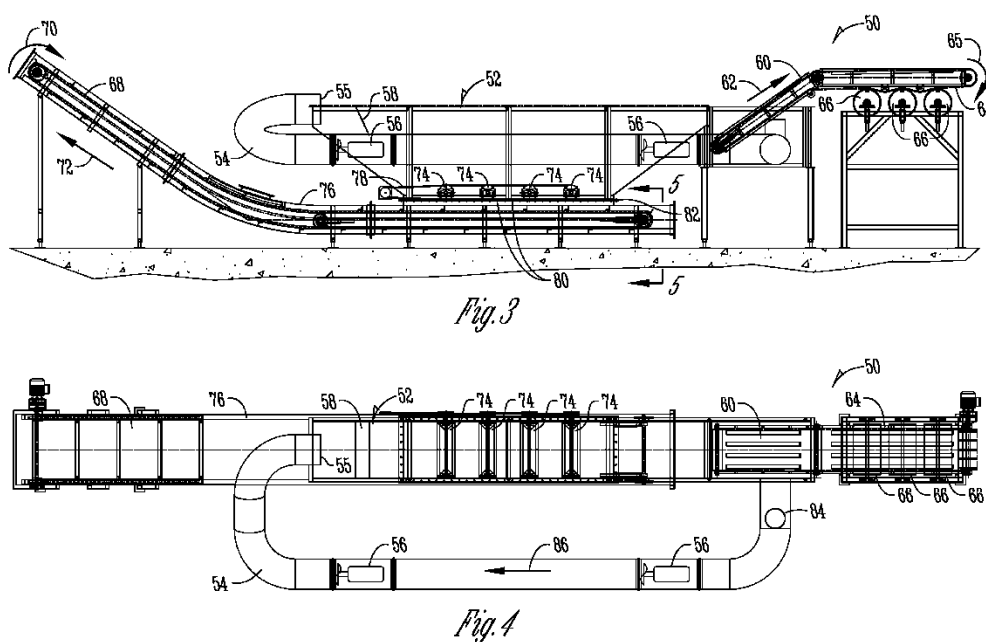
<sup>2</sup>Jev, který vzniká v kapalině při lokálním poklesu tlaku pod hodnotu nasycených par při dané teplotě. Projevuje se implozí doprovázenou hlukem.



Obr. 9 – Vyobrazení aparátu patentu Eli Orena [54]

### 3.3.6 Patent M. deJonga a V. Vlada (2013)

Patent, na kterém se podíleli Michael deJong a Vladimír Vlada, dosahuje narušení vazeb a oddělení skořápky od blány pomocí kavitace, stejně jako předchozí patent. Obr. 10 zobrazuje aparát k separaci vaječných skořápek a blan z pohledů zepředu a z boku. Proces je popsán následovně: Neoddělené odstředěné skořáčky s blánami jsou nadrceny na malé částice v nožovém mlýně nebo jiném drticím zařízení. Takto předpřipravený materiál je dále veden do separační nádrže s vodou (52). Do nádrže ústí recirkulační systém potrubí (54) s ponornými mixéry (56), který nasává suspenzi z konce nádrže a vrací jej na počátek nádrže vývodem (55). Ponorné mixéry vytváří v kapalině kavitaci, a tak dochází k rozrušování vazeb mezi skořápkami a blánami přítomnými v kapalině. U vývodu potrubí (55) se nachází vychylovací štít (58), který vede cirkulující suspenzi do spodní části nádrže, kde je umístěna řada lopatek (74). Tyto lopatky mají funkci valchy a nadnášejí separované blány v nádrži, ale také zamezí rychlému usazení těžkých skořápek na dno nádrže. Skořáčky, které již sednou na dno nádrže, jsou odebrány otvory (80) na síto (82). Přeseté skořáčky padají do trubice (76) vybavené tažným dopravníkem (68), který se pohybuje směrem šipky (72) a otáčí ve směru šipky (70). Vedením dopravníku směrem nahoru ze skořápek odkapává přebytečná kapalina. Oddělené blány zůstávají u hladiny kapaliny a dosedají na dopravník (60), kterým jsou dále vedeny na síťovinový pás (64), kde jsou blány odvodněny. Vlhké blány mají tendenci přichycovat se k pásu, k jejich odstranění slouží řada válců (66). Pro další odstranění vlhkosti může být použit například pásový lis. Patent se nezmiňuje o způsobu sběru skořápek z dopravníku (76) a také o nakládání se skořápkami, které nepropadnou sítím (82). [55]



Obr. 10 – Vyobrazení aparátu patentu deJonga a Vlada při pohledu z boku (Fig. 3) a ze shora (Fig. 4) [55]

### 3.4 Výzkumné projekty

Jedním z výzkumů, který se zabýval zpracováním vaječného odpadu, konkrétně procesem separace vaječné skořápky a podskořápkové blány, je projekt výzkumného institutu Georgia Tech. Cílené využití skořápky bylo v oblasti papírenství z důvodů zmíněných v podkapitole 2.4. Blána měla být využita k produkci aminokyselin a nevyužitý zbytek do krmných směsí. Výzkumný tým vyvinul separační jednotku (Obr. 11) využívající směsi vzduchu a vody. Ta nejdříve podrtí celistvé skořápky s blánami, které jsou následně smíchány s vodou a vloženy do válce, kde je do spodu čerpána směs vzduchu a vody. Ta zajistí oddělení skořápky od blány a usazení nadrcených skořápek u dna, zatímco blány jsou nadnášeny k hladině roztoku ve válci. Článek zmiňuje téměř 100% separaci uhličitanu vápenatého od blán, ale navzdory užitečnosti nezmiňuje jemnost nadrceného materiálu. [56]



Obr. 11 – Separační jednotka institutu Georgia Tech [56]

Významným výzkumným projektem zabývajícím se touto problematikou je maďarský projekt Shellbrane, který probíhal v letech 2012-2014. Jeho hlavním cílem bylo vyvinout prototyp, který mechanicky odděluje skořápky od blan. Prvním krokem tohoto prototypu je rozmělnění skořápek, po kterém následuje separace na principu odlišných hustot skořápky a blány. Nejzajímavější je krok sušení a sterilizace, jenž probíhá pomocí studeného proudu a UV záření. Tento způsob sušení a sterilizace zajistí, že si podskořápková blána zachová své důležité vlastnosti pro využití ve farmacii. [57]

Výzkumem ohledně procesu zpracování vaječného odpadu se také zabývali Vladimír Brummer a spol. z VUT. Ve své studii podrobněji popisují ideální parametry kapaliny určené k oplachu vaječných skořápek a blan z důvodu zbavení bílku, a to z hlediska doby praní, teploty a pH. [58]

### 3.5 Poznátky z rešerše

Rešerše patentů a výzkumných projektů přinesla širokou řadu možných řešení zpracování vaječného odpadu pro účely farmaceutického průmyslu. Největší odlišností v celém procesu zpracování vaječného odpadu se ukázal být způsob oddělení skořápek od blan. Jde o metody mokré, kdy k oddělení skořápky a blány dochází v kapalině a suché, kdy je separace dosaženo sušením nebo například kinetickou energií vzduchu. Dalšími postřehy a vlastním návrhem procesní linky se zabývá další podkapitola.

### 3.6 Návrh procesní linky

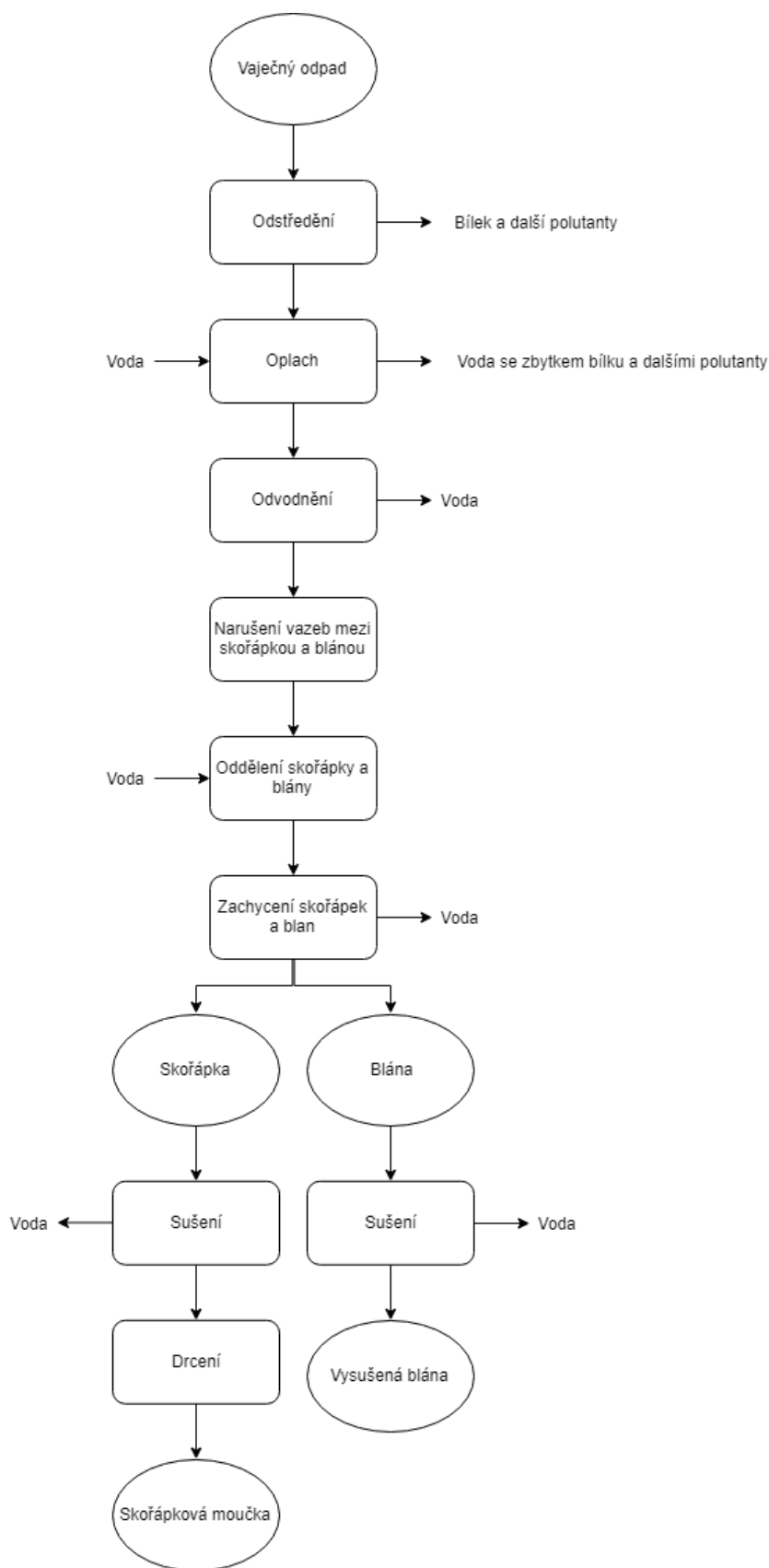
Z předešlé rešerše patentů a výzkumů lze pozorovat převahu metod, jež využívají oddělení skořápek mokrou cestou, z čehož lze do jisté míry usuzovat větší efektivitu této metody. Patentované metody ovšem nemusejí vždy nacházet uplatnění v praxi, proto je nutno jejich přínos hodnotit opatrně. S tímto úsudkem jsou dále obecně popsány kroky pro zpracování vaječného odpadu, které se více či méně objevují ve výše zmíněných patentech využívajících mokré metody. Na základě těchto kroků je dále vytvořen blokový diagram na Obr. 12.

1. **Odstředění:** Ačkoliv je tento krok prováděn již v místě výtlučku, je zde zmíněn, neboť se jedná o nezbytnou úpravu vaječného odpadu určeného pro následné zpracování a využití ve farmaceutickém průmyslu z důvodu hygieny. Obecně se jedná o hrubé zbavení bílku, a dalších nečistot, které ulpívají na skořápce, výhradně je ale použita odstředivka.
2. **Oplach:** Dalším krokem je oplach, který je vyžadován pro zbavení zbylého bílku po průchodu odpadu odstředivkou. Oplach lze provést vodou. Tento oplach může způsobit i částečnou separaci skořápky a bílku.
3. **Odvodnění:** Odvodnění je důležitou součástí procesu po oplachu, a to z důvodu kroku 4. V případě, že by po oplachu nebylo provedeno odvodnění, mokré skořápky s blánami, které mají tendenci ulpívat k povrchům, by ucpávaly drtící zařízení. K odvodnění skořápek a blan může dojít samovolně například na statickém či vibračním sítu, pro rychlejší provedení je možné využít odstředivky či jiné technologie snižující vlhkost.
4. **Narušení vazeb mezi skořápkou a blánou:** Jedná se o velmi důležitý krok, který usnadní následnou separaci skořápky a blány. Nejjednodušším způsobem, jak tohoto dosáhnout, je drcení. Při drcení dochází k abrazi materiálu, a tedy i narušování vazeb. K drcení lze použít libovolnou drtící technologii, jako například kladivový mlýn, řezací

hlavu, drtič, kráječ. V patentu 3.2.2 byly zmíněny ideální rozměry materiálu po průchodu drtičím zařízením mezi 0,5-4 mm. Ve specifitějších případech může k procesu narušování vazeb dojít například pomocí kavitace.

5. **Oddělení skořápky a blány:** K tomuto procesu dochází v separační nádrži s kapalinou, která bývá zpravidla rozmíchávána tak, aby se skořápky mohly usadit na dně a blány naopak vznášely u hladiny.
6. **Zachycen skořápek a blan:** Krok odběru skořápek a blan z nádrže s vodou je relativně jednoduchý vlivem předchozího kroku, kterým se skořápky a blány zdržují v odlišných místech nádrže. Skořápky na dně nádrže jsou odebrány ze dna nádrže otvorem společně i s vodou po předchozím odebrání blán, nebo vedeny vhodným dopravníkem pryč z nádrže při kontinuálním procesu. V případě, že odchází ze dna nádrže společně s vodou, jsou zachytávány na sítích. Blány s vodou v okolí hladiny jsou nejčastěji odváděny potrubím z nádrže a následně mechanicky zachyceny na sítích nebo odvodňovacích pásech. Při tomto procesu je vhodné cirkulovat vodu pro její úsporu, a to jak při odvodu vody s blánami, tak při vypouštění vody se skořápkami.
7. **Sušení:** Nároky na sušení skořápek a blan jsou odlišné. Skořápky je možné sušit při vysokých teplotách v libovolných sušárnách či pecích. Naopak blány musejí být sušeny při nižších teplotách, aby nedošlo k poškození jednotlivých složek. Vysušené blány jsou výsledným produktem.
8. **Drcení skořápek:** Posledním krokem zpracování skořápek je jejich drcení opět libovolnou drtičí technologií. V patentu 3.2.1 je ideálním rozměrem drcených skořápek 15  $\mu\text{m}$  v případě, že nedojde dalšímu výraznému zpracování tohoto produktu. V opačném případě stačí velikost částic 25  $\mu\text{m}$ . Podrcená skořápková moučka je výsledným produktem.



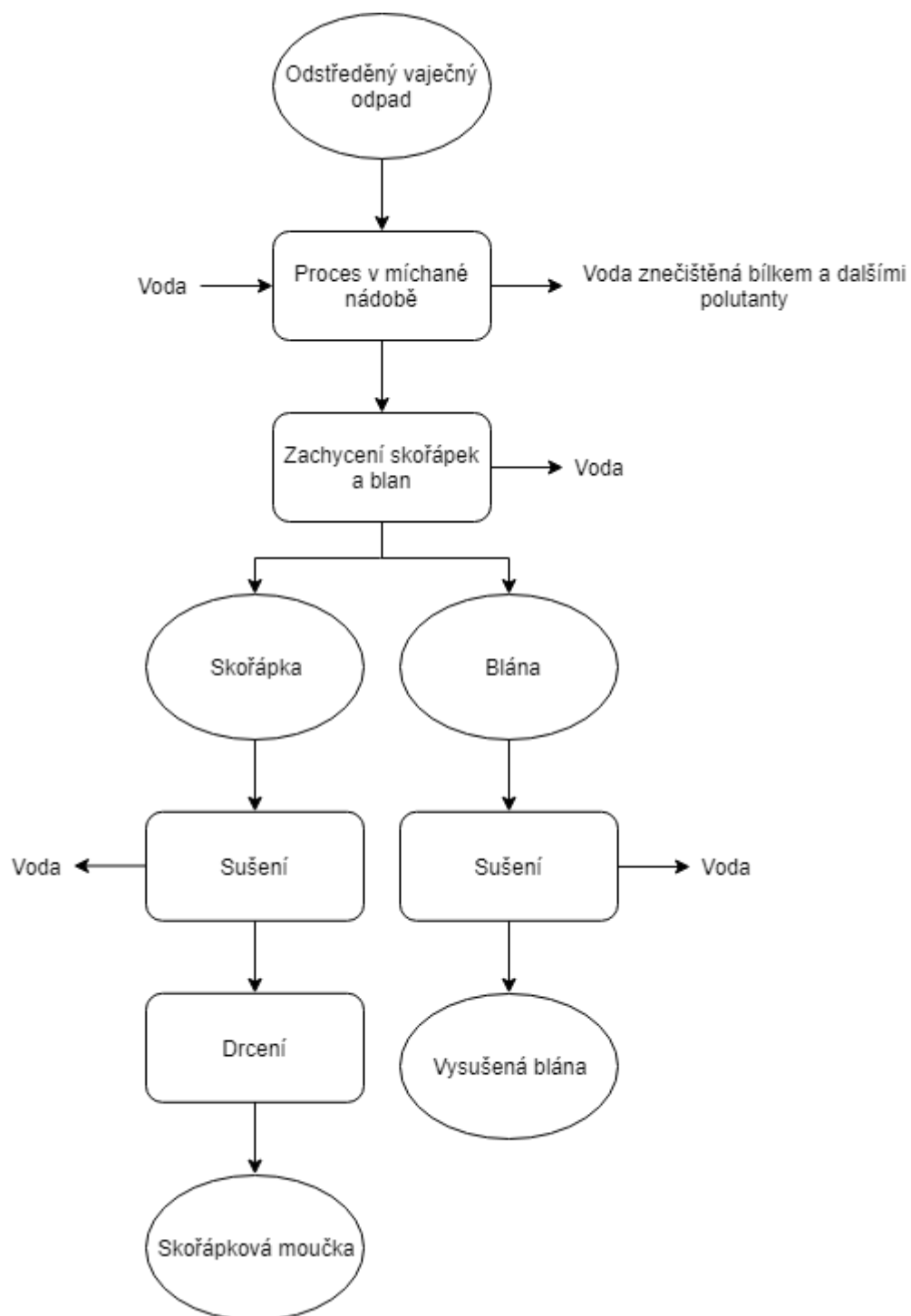


Obr. 12 – Blokové schéma procesu zpracování vaječného odpadu s využitím mokré metody pro oddělení skořápek a blan

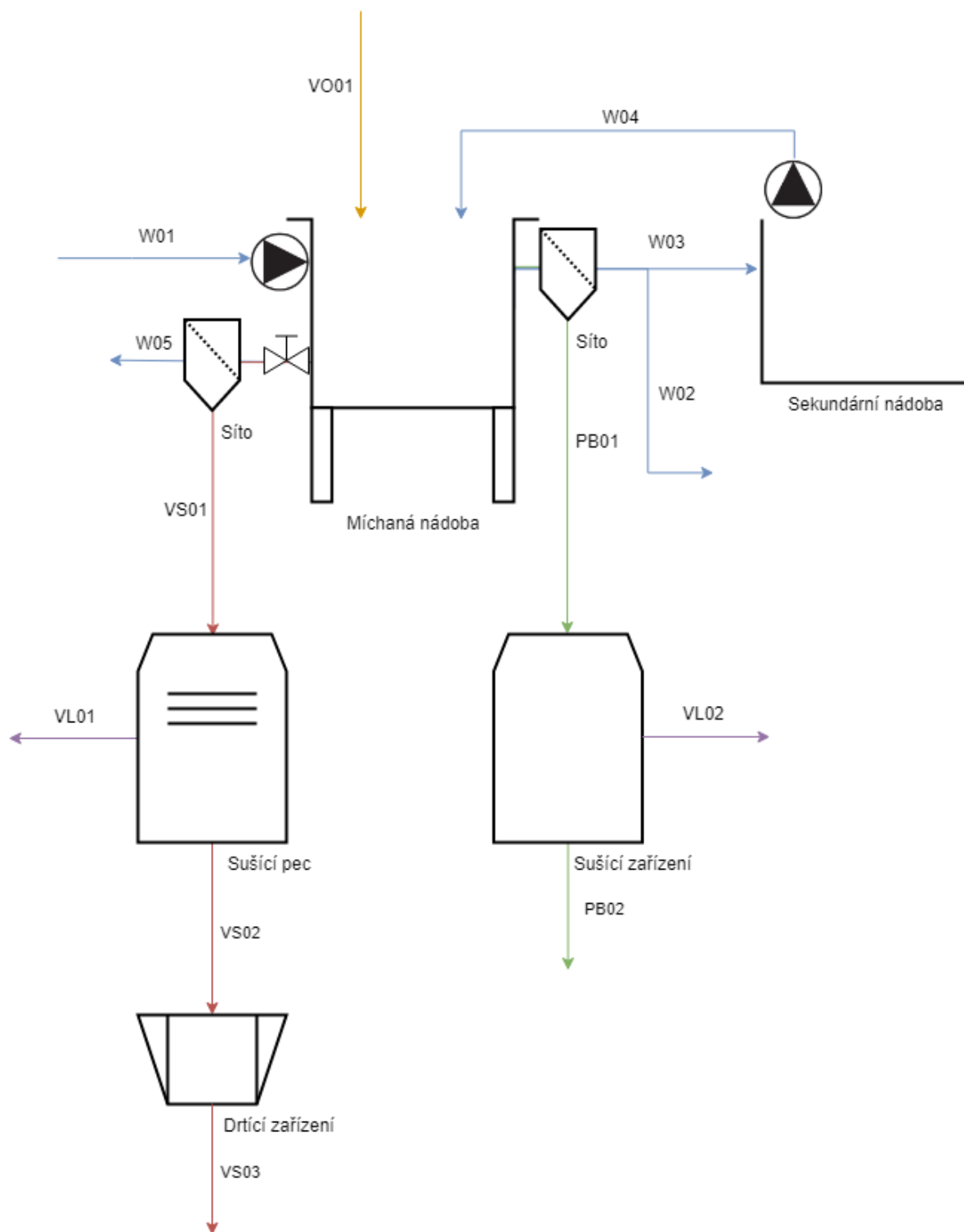
Blokové schéma zobrazuje obecný proces zpracování vaječného odpadu včetně jeho odstředění, který ovšem není součástí procesní linky. Kroky oplachu a odvodnění mohou být při vhodné volbě technologií vynechány. Vhodnou technologií se rozumí taková technologie, která využívá k narušení vazeb mezi skořápkou a blánou jiného způsobu než drcení. Technologie ale zároveň musí zajistit dostatečné umytí skořápek a blan od zbytkového bílku a dalších polutantů. Takovou technologií disponuje například patent 3.3.6, který vazby narušuje kavitací a dostatečné mytí zajišťuje systémem lopatek, které mají funkci „valchy“. Tato technologie je ovšem poměrně složitá.

Nabízí se mnohem jednodušší řešení, a to míchaná nádoba s účinným míchadlem, která zajišťuje oplach (není tedy potřeba odvodnit), narušení vazeb a následné oddělení skořápek a blan v jednom kroku. Zjednodušené blokové schéma znázorňující tuto nádobu je uvedeno na Obr. 13. V tomto schématu je již vynechán krok odstředění, aby odpovídalo procesní lince (odstředění je prováděno zpravidla v místě výtlučku vajec).

Zařízení by mělo fungovat následovně: Do míchané nádoby s vodou je vložen odstředěný vaječný odpad. Poté je zapnuto míchadlo umístěné na dně nádoby. Toto míchadlo drtí vložený materiál, narušuje vazby mezi skořápkami a blánami a zároveň zajišťuje jejich omytí. Proud vyvolané míchadlem vyhání oddělené blány k hladině nádoby. Do té je zároveň napouštěna voda, což má za následek, že obsah nádoby u hladiny postupně přetéká přes přeпад nádoby, kolem kterého jsou umístěna síta k zachycení blan. Voda zbavená blan dále teče do sekundární nádoby, ze které je poté čerpána zpět do nádoby míchané. Voda je ovšem do sekundární nádoby vedena až po době, která se stanovuje na základě měření koncentrace bílku v odpadní vodě. Do té doby je do míchané nádoby vpouštěna čistá voda z jiného zdroje. Míchadlo je po čase stanoveném technologem, tedy když je oddělena naprostá většina blan, vypnuto. Zbýlý obsah nádoby, voda se skořápkami, je poté vypuštěn ventilem na dně nádoby na jemné síto umístěné pod nádobou, kde jsou skořáčky odvodněny. Proces následně pokračuje již dříve zmíněným způsobem. Základní technologické schéma procesní linky, jejíž klíčovým aparátem je míchaná nádoba, ukazuje Obr. 14.



Obr. 13 – Blokové schéma procesní linky zpracovávající vaječný odpad pro výrobu farmaceutických produktů, jejíž klíčovým aparátem je míchaná nádoba



Obr. 14 – Základní technologické schéma procesní linky s míchanou nádobou

VO01 – odstředěný vaječný odpad; W01 – čistá voda čerpaná do nádrže; W02 – přetékající odpadní voda znečištěná bílkem a dalšími polutanty; W03 – přetékající voda bez výrazných nečistot; W04 – čerpaná voda bez výrazných nečistot; W05 – voda vypuštěná z nádrže;

VS01 – zachycené skořápky; PB01 – zachycené podskořápkové blány; VL01 – odstraněná vlhkost ze skořápek; VL02 – odstraněná vlhkost z blan; VS02 – vysušené skořápky; VS03 – skořápková moučka – konečný produkt 1; PB02 – vysušené blány – konečný produkt 2

## ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo systematicky popsat možná využití vaječného odpadu. Nejdříve byly zmíněny zdroje tohoto odpadu a jeho typické způsoby zpracování. Dále bylo popsáno, z čeho konkrétně sestává vaječná skořápka a jaké má složení. Představen byl také základní legislativní rámec nakládání s vaječným odpadem v kontextu Evropské unie.

Byly popsány konvenční způsoby využití vaječného odpadu, ale také naznačeny možnosti aplikací skořápky a podskořápkové blány jako pozoruhodné alternativy v mnohých odvětvích, přičemž uplatnění ve farmaceutickém průmyslu bylo vyhodnoceno jako aktuálně nejperspektivnější.

Byla provedena rešerše komerčních řešení, patentů a výzkumů zabývajících se zpracováním vaječného odpadu se separací skořápek a blan. Z rešerše trhu vyplynulo, že technologie pro tyto účely nejsou běžně dostupné. Na závěr byl proto vypracován návrh a nakresleno základní technologické schéma procesní linky pro tento účel.

Výsledky této práce se mohou stát podnětem zpracovatelům vajec k využití vaječného odpadu v oblasti farmaceutického průmyslu. Je také možné rozšířit vypracovaný návrh procesní linky na P&ID schéma a následně jej použít jako podklad pro konstrukční návrh konkrétní technologie.

Dalším tématem, které by bylo vhodné řešit, je celkový potenciál této suroviny pro opětovné použití ve farmaceutickém průmyslu. Dále by bylo žádoucí provést LCA analýzu této aplikace, aby byl zřejmý i environmentální přínos většího využívání skořápek ve farmacii.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Situační a výhledová zpráva*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 1994. ISBN 978-80-7434-373-5.
- [2] POLAND, ANGELA L. a BRIAN W. SHELDON. Altering the Thermal Resistance of Foodborne Bacterial Pathogens with an Eggshell Membrane Waste By-Product. *Journal of Food Protection*. 2001, **64**(4), 486-492. DOI: 10.4315/0362-028X-64.4.486. ISSN 0362-028X. Dostupné také z: <http://jfoodprotection.org/doi/abs/10.4315/0362-028X-64.4.486>
- [3] MACNEIL, J. H. *Hatchery eggshell waste processing method and device*. US 6899294 B2.
- [4] BALÁŽ, Matej. Eggshell membrane biomaterial as a platform for applications in materials science. *Acta Biomaterialia*. 2014, **10**(9), 3827-3843. DOI: 10.1016/j.actbio.2014.03.020. ISSN 17427061. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1742706114001317>
- [5] *Mineral Guard: Mineral Guard Agri* [online]. Polsko: Wordpress, 2018 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [www.mineral-guard-agri.com.pl](http://www.mineral-guard-agri.com.pl)
- [6] STADELMAN, William J, Debbie NEWKIRK a Lynne NEWBY. *Egg Science and Technology*. 4th Edition. New York: CRC Press, 1995. ISBN 9781560228554.
- [7] *Dielectric properties and microwave assisted separation of eggshell and membrane*. Canada, 2009. Teze. McGill University.
- [8] HRABĚ, Jan, Pavel BŘEZINA a Pavel VALÁŠEK. *Technologie výroby potravin živočišného původu: bakalářský směr*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2006. ISBN 80-731-8405-2.
- [9] HINCKE, Maxwell, T. The eggshell: structure, composition and mineralization. *Frontiers in Bioscience*. 2012, **17**(1), 1266-1280. DOI: 10.2741/3985. ISSN 1093-9946. Dostupné také z: <http://www.bioscience.org/2012/v17/af/3985/list.htm>
- [10] *Nářízení Komise (EU) č. 142/2011 ze dne 25. února 2011, kterým se provádí nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě, a provádí směrnice Rady 97/78/ES, pokud jde o určité vzorky a předměty osvobozené od veterinárních kontrol na hranici podle uvedené směrnice*. In: Úřední věstník Evropské unie, 2011.
- [11] *Nářízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 1069/2009: ze dne 21. října 2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě, a o zrušení nařízení (ES) č. 1774/2002 (nařízení o vedlejších produktech živočišného původu)*. In: . 2009.
- [12] *Zákon č. 185/2001 Sb.: Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů*. 2001.
- [13] GAONKAR, Madhavi a A.P. CHAKRABORTY. Application of Eggshell as Fertilizer and Calcium Supplement Tablet. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2016, **5**(3), 3520-3525. ISSN 2319-8753.

- [14] Redakce. Nedostatek vápníku v půdě – co způsobuje rostlinám? In: *Www.prima-receptar.cz* [online]. 14.10.2008 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://prima-receptar.cz/nedostatek-vapniku-v-pude-co-zpusobuje-rostlinam/>
- [15] OK, Yong Sik, Sang Soo LEE, Weon-Tai JEON, Sang-Eun OH, USMAN a Deok Hyun. Application of eggshell waste for the immobilization of cadmium and lead in a contaminated soil. *Environmental Geochemistry and Health* [online]. 2011, **33**(S1), 31-39 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1007/s10653-010-9362-2. ISSN 0269-4042. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10653-010-9362-2>
- [16] RIVERA, ARAIZA, BROSTOW, CASTAÑO, DÍAZ-ESTRADA, HERNÁNDEZ a RODRÍGUEZ. Synthesis of hydroxyapatite from eggshells. *Materials Letters* [online]. 1999, **41**(3), 128-134 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/S0167-577X(99)00118-4. ISSN 0167577X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X99001184>
- [17] Pure Cal 100% Organic Natural Eggshell Calcium for Small Mammals/Birds in Bulk 2 LB. In: *Amazon* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/ORGANIC-NATURAL-EGGSHELL-CALCIUM-MAMMALS/dp/B01AZP7V38>
- [18] LACA, Amanda, Adriana LACA a Mario DÍAZ. Eggshell waste as catalyst: A review. *Journal of Environmental Management*. 2017, **197**, 351-359. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.088. ISSN 03014797. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479717303031>
- [19] NIJU, MEERA, BEGUM a ANANTHARAMAN. Modification of egg shell and its application in biodiesel production. *Journal of Saudi Chemical Society* [online]. 2014, **18**(5), 702-706 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/j.jscs.2014.02.010. ISSN 13196103. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1319610314000441>
- [20] YOO, Sukjoon, Jeffery S. HSIEH, Peter ZOU a John KOKOSZKA. Utilization of calcium carbonate particles from eggshell waste as coating pigments for ink-jet printing paper. *Bioresource Technology* [online]. 2009, **100**(24), 6416-6421 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.06.112. ISSN 09608524. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852409007913>
- [21] PARK, Sunho, Kyoung Soon CHOI, Dohyeon LEE, Daun KIM, Ki Taek LIM, Kyeong-Hwan LEE, Hoon SEONWOO a Jangho KIM. Eggshell membrane: Review and impact on engineering. *Biosystems Engineering*. 2016, **151**, 446-463. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2016.10.014. ISSN 15375110. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1537511016304354>
- [22] LI, Zhi, Li ZHANG, Babak Shalchi AMIRKHIZ, et al. Carbonized Chicken Eggshell Membranes with 3D Architectures as High-Performance Electrode Materials for Supercapacitors. *Advanced Energy Materials* [online]. 2012, **2**(4), 431-437 [cit. 2019-05-02]. DOI: 10.1002/aenm.201100548. ISSN 16146832. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/aenm.201100548>
- [23] Solární panel stokrát levnější. In: *Archiv Eretz.cz* [online]. 2008 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <http://archiv.erez.cz/?p=2575>
- [24] WANG, Chih-Liang, Jin-Yun LIAO, Sheng-Heng CHUNG a Arumugam MANTHIRAM. Carbonized Eggshell Membranes as a Natural and Abundant Counter

- Electrode for Efficient Dye-Sensitized Solar Cells. *Advanced Energy Materials* [online]. 2015, **5**(6) [cit. 2019-05-02]. DOI: 10.1002/aenm.201401524. ISSN 16146832. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/aenm.201401524>
- [25] TORO, Patricio, Raúl QUIJADA, Mehrdad a José Luis. Eggshell, a new bio-filler for polypropylene composites. *Materials Letters*. 2007, **61**(22), 4347-4350. DOI: 10.1016/j.matlet.2007.01.102. ISSN 0167577X. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X07001310>
- [26] Struktura polymerů a její vliv na vlastnosti. Publi [online]. Brno: Code Creator, 2011 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/03.html>
- [27] ABDULRAHMAN, Idris, Hamzat Ibiyeye TIJANI, Bashir Abubakar MOHAMMED, Haruna SAIDU, Hindatu YUSUF, Mohammed NDEJIKO JIBRIN a Sulaiman MOHAMMED. From Garbage to Biomaterials: An Overview on Egg Shell Based Hydroxyapatite. *Journal of Materials* [online]. 2014, **2014** [cit. 2019-05-02]. DOI: 10.1155/2014/802467. ISSN 2314-4866. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/802467>
- [28] Mehdi Sadat-Shojai. *Hydroxyapatite: Inorganic Nanoparticles of Bone (Properties, Applications, and Preparation Methodologies)*. 1. Írán: Iranian Students Book Agency, 2010. ISBN 78-600-102-092-6.
- [29] MAEDA, Karo a Yoshiro SASAKI. An experience of hen-egg membrane as a biological dressing. *Burns*. 1982, **8**(5), 313-316. DOI: 10.1016/0305-4179(82)90029-8. ISSN 03054179. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0305417982900298>
- [30] HIRATA, Akira, Ryo IWAKIRI a Satoshi OKINAMI. A simulated eye for vitreous surgery using Japanese quail eggs. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2013, **251**(6), 1621-1624. DOI: 10.1007/s00417-012-2247-6. ISSN 0721-832X. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00417-012-2247-6>.
- [31] FARJAH, Gholam Hossein, et al. Using eggshell membrane as nerve guide channels in peripheral nerve regeneration. *Iranian journal of basic medical sciences*, 2013, 16.8: 901.
- [32] Bioaktivní Kalcium+D3+K1+K2. *Pharma Nord* [online]. Česká republika: Pharma Nord [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.pharmanord.cz/pripravky/kalcium-d3-k1>
- [33] MURAKAMI, Fabio Seigi, Patrik Oening RODRIGUES, Célia Maria Teixeira de CAMPOS a Marcos Antônio Segatto SILVA. Physicochemical study of CaCO<sub>3</sub> from egg shells. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2007, **27**(3), 658-662. DOI: 10.1590/S0101-20612007000300035. ISSN 0101-2061.
- [34] QUINA, Margarida J., Micaela A.R. SOARES a Rosa QUINTA-FERREIRA. Applications of industrial eggshell as a valuable anthropogenic resource. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017, **123**, 176-186. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.09.027. ISSN 09213449. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344916302750>
- [35] RUFF, Kevin J., John R. ENDRES, Amy E. CLEWELL, James R. SZABO a Alexander G. SCHAUSS. Safety evaluation of a natural eggshell membrane-derived product. *Food and Chemical Toxicology*. 2012, **50**(3-4), 604-611. DOI:



- 10.1016/j.fct.2011.12.036. ISSN 02786915. Dostupné také z:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278691511007022>
- [36] *Prováděcí nařízení komise (EU) 2018/1647 ze dne 31. října 2018, kterým se povoluje uvedení hydrolyzátu z vaječné membrány na trh jako nové potraviny podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2015/2283 a kterým se mění prováděcí nařízení Komise (EU) 2017/2470.* In: . Úřední věstník Evropské unie, 2018.
- [37] SAH, Mahesh Kumar a Subha Narayan RATH. Soluble eggshell membrane: A natural protein to improve the properties of biomaterials used for tissue engineering applications. *Materials Science and Engineering: C*. 2016, **67**, 807-821. DOI: 10.1016/j.msec.2016.05.005. ISSN 09284931. Dostupné také z:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0928493116304209>
- [38] RAH, Marjorie J. A review of hyaluronan and its ophthalmic applications. *Optometry - Journal of the American Optometric Association*. 2011, **82**(1), 38-43. DOI: 10.1016/j.optm.2010.08.003. ISSN 15291839. Dostupné také z:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1529183910005129>
- [39] MARTÍNEZ-ÍÑIGUEZ BLASCO, Jorge, Andrés AGUIRRE, Erena GIL-QUINTANA a Marisa FENAUX. The effect of daily administration of 300 mg of ovomet® for treatment of arthritis in elderly patients. *International Journal of Clinical Rheumatology* [online]. 2016, **11**(5) [cit. 2019-05-19]. ISSN 1758-4272. Dostupné z:  
<https://www.openaccessjournals.com/articles/the-effect-of-daily-administration-of-300-mg-of-ovometreg-for-treatment-of-arthritis-in-elderly-patients.html>
- [40] Ovomet® Pure Eggshell Membrane 300mg Capsules. In: *Hellenia* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.hellenia.co.uk/ovomet-egg-shell-membrane-capsules.html>
- [41] MEENA, C., S. A. MENGI a S. G. DESHPANDE. Biomedical and industrial applications of collagen. *Journal of Chemical Sciences*. Springer India, 1999, **111**(2), 111-319. DOI: 10.1007/BF02871912. 0973-7103.
- [42] LONG, Frank, Randal ADAMS, Dale DEVORE a Marshall FRANKLIN. *Therapeutic, Nutraceutical and Cosmetic Applications for Eggshell Membrane and Processed Eggshell Membrane Preparations*. USA. US20080014282A1.
- [43] HINCKE, M.T, J GAUTRON, M PANHELEUX, J GARCIA-RUIZ, M.D MCKEE a Y NYS. Identification and localization of lysozyme as a component of eggshell membranes and eggshell matrix. *Matrix Biology*. 2000, **19**(5), 443-453. DOI: 10.1016/S0945-053X(00)00095-0. ISSN 0945053X. Dostupné také z:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0945053X00000950>
- [44] SCHAAF SMA, A., I. PAKAN, G. J. H. HOFSTEDÉ, MUSKIET, E. VAN DER VEER a DE VRIES. Mineral, amino acid, and hormonal composition of chicken eggshell powder and the evaluation of its use in human nutrition. *Poultry Science*. 2000, **79**(12), 1833-1838. DOI: 10.1093/ps/79.12.1833. ISSN 0032-5791. Dostupné také z: <https://academic.oup.com/ps/article-lookup/doi/10.1093/ps/79.12.1833>
- [45] CENTRIFUGES. *Sanovo Technology Group* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.sanovogroup.com/products/egg-processing/eggshell-processing/centrifuges/>

- [46] Pelbo: *Egg processing equipment* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.pelbo.it/>
- [47] ČSN EN 1672-2+A1, *Potravinářské stroje – Základní pojmy: Část 2: Hygienické požadavky*. 2009.
- [48] PARTINGTON, Eric a Ampney ST.MARY. *Korozivzdorné oceli v potravinářském a nápojářském průmyslu*. 1. Velká Británie: Euro Inox, 2008. ISBN 978-2-87997-191-9.
- [49] THOROSKI, John H. *Eggshell processing methods and apparatus*. US 6649203 B1. Uděleno 2003.
- [50] NEW, Levi. *Eggshell membrane separation process*. US 8448884 B2.
- [51] MACNEIL, Joseph H. *Method and apparatus for separating a protein membrane and shell material in waste egg shells*. US 7007806 B2. Uděleno 2006.
- [52] FLOH, Roberto V. a Sergio L. JALFEN. *Apparatus for separating the organic membrane portion and the mineral portion of broken egg shells: Inventor Roberto V. FlohSergio L. Jalfen*. CA 2654753 A1.
- [53] ESQUINAS, N. C. a A. M. BALLESTER. *Method to separate the inner membrane of the egg shell*. ES2327087B2. Uděleno 2010.
- [54] OREN, Eli. *System and method for separating membranes from eggshells*. US20100126912A1. Uděleno 2008.
- [55] DEJONG, Michael a Vladimir VLAD. *Egg shell membrane separation*. US 8418943 B2. Uděleno 2013.
- [56] Georgia Tech Researchers Partner with Industry to Study Alternative Uses for Eggshell Waste. *PoultryTech* [online]. 2005, **17**(2) [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: [https://atrp.gatech.edu/pt17-2/17-2\\_p5.html](https://atrp.gatech.edu/pt17-2/17-2_p5.html)
- [57] Final Report Summary - SHELLBRANE: Separating eggshell and its membrane to turn eggshell waste into valuable source materials. *Cordis EU research results* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/103811/reporting/en>
- [58] BRUMMER, V., P. BĚLOHRADSKÝ a V. MÁŠA. Optimization of Egg White Removal from Waste Egg Shells and Membranes by Design of Experiments for their Refinement. *Chemical Engineering Transactions*. 2017, **61**, 1459-1464. DOI: 10.3303/CET1761241.