

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra kvality a bezpečnosti potravin**



**Enkapsulace silic a jejich využití v obalech při skladování  
rychle se kazících potravin**

**Bakalářská práce**

**Kateřina Novotná**

**Kvalita produkce**

**doc. Ing. Pavel Klouček, Ph.D.**

© 2020 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Enkapsulace silic a jejich využití v obalech při skladování rychle se kazících potravin " jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.7. 2020

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Pavlu Kloučkovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, vstřícnost při konzultacích a poskytnutí zajímavých informací k tématu.

# Enkapsulace silic a jejich využití v obalech při skladování rychle se kazících potravin

## Souhrn

Rostlinné silice jsou přírodní aromatické látky získávané z různých částí rostlin a již v minulosti byly využívány pro své antimikrobiální a antioxidační vlastnosti. V současné době se dostávají do popředí zájmu v potravinářském průmyslu a jsou studovány jejich účinky při přidání do obalů. Právě aktivní obaly z biodegradovatelných materiálů, které díky přidaným rostlinným silicím prodlouží dobu skladování a zlepší kvalitu potravin, jsou podle dostupných experimentálních studií efektivní a při pokračujícím výzkumu mohou být daleko více rozšířené.

Protože jsou silice aromatické a málo stabilní, bylo nutné najít způsob, jak prodloužit dobu jejich uvolňování a zmírnit jejich intenzivní vůni. Enkapsulace chrání aktivní molekuly silic před degradačním procesem a zlepšuje jejich fyzikální a chemickou stabilitu a rozpustnost v potravinách. Nejčastější metody přípravy těchto materiálů jsou emulzifikace, sprejové sušení, extruze, tvorba polymerních kapslí a fluidní vrstva. Speciální je nanoenkapsulace, která může zahrnovat použití i ostatních metod a při vyhodnocení experimentálních studií vyšla jako nejvyužívanější, díky žádoucím vlastnostem prodlužujících skladovatelnost a kvalitu rychle se kazících potravin.

Cílem práce bylo shrnutí a vyhodnocení dostupných experimentálních studií. Zabývaly se rostlinnými produkty, nejčastěji rajčaty, jahodami a krájeným ovocem, a živočišnými produkty, jako je maso a sýry. Mezi nejvyužívanější patřily silice oregana, tymiánu, rozmarýnu, hřebíčku a citronu. Ve všech studiích byl pozorován pozitivní efekt enkapsulovaných silic v obalech na prodloužení skladování oproti obalům, kde aktivní látky použity nebyly.

Enkapsulované silice v aktivních obalech mají prokazatelně pozitivní vliv na prodloužení skladování a zlepšení kvality rychle se kazících potravin, ale kvůli komplikovanosti zpracování a použití je nutný další výzkum, aby bylo možné je častěji využívat v běžné praxi.

**Klíčová slova:** esenciální, silice, enkapsulace, antioxidační, antimikrobiální, skladování

# Encapsulation of essential oils and their use in packaging during storage of perishable foods

## Summary

Essential oils are natural aromatic substances obtained from various types of plants and have been used in the past for their antimicrobial and antioxidant properties. They are currently getting to the forefront of interest in the food industry and their effects on the packaging are being studied. According to experimental studies, active packaging made of biodegradable materials, which, thanks to added essential oils, prolongs storage time and increases the quality of food, is effective and can be much more widespread as research continues.

Because essential oils are aromatic and not very stable, it was necessary to find a way to prolong their release time and reduce their intense odor. Encapsulation protects active essential oils against degradation and their physical and chemical route and solubility in food. The most common methods of preparation of these materials are emulsification, spray drying, extrusion, the formation of polymer capsules, and fluidized bed. A special feature is nanoencapsulation, which allows the use of other methods, and in the evaluation of experimental studies, it was found to be the most used, due to the desirable properties prolonging the shelf life and quality of perishable foods.

The aim of the work was to summarize and evaluate the available experimental studies. They dealt with plant products, most often tomatoes, strawberries and sliced fruit, and animal products such as meat and cheese. Among the most used were oregano, thyme, rosemary, clove, and lemon essential oils. In all studies, a positive effect of encapsulated essential oils in the packages on the prolongation of storage was observed, compared to packages where the active substances were not used.

Encapsulated essential oils in active packaging have a proven positive effect on prolonging storage and improving the quality of perishable food, but due to the complexity of processing and use, further research is needed to use them more often in common practice.

**Keywords:** essential, oils, encapsulation, antioxidant, antimicrobial, storage

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Cíl práce.....</b>	<b>8</b>
<b>3 Literární rešerše.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Bezpečnost potravin .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Mikrobiální degradace potravin.....</b>	<b>9</b>
<b>3.3 Obaly .....</b>	<b>11</b>
3.3.1 Co jsou obaly a jejich funkce v potravinářství .....	11
3.3.2 Aktivní obaly .....	12
3.3.3 Jedlé obaly .....	14
<b>3.4 Skladování.....</b>	<b>15</b>
<b>3.5 Rostlinné silice .....</b>	<b>16</b>
3.5.1 Co jsou silice.....	16
3.5.2 Antimikrobiální aktivita silic .....	18
3.5.3 Antioxidační účinky silic .....	19
<b>3.6 Enkapsulace.....</b>	<b>21</b>
3.6.1 Enkapsulace silic .....	21
3.6.2 Metody enkapsulace .....	23
3.6.2.1 Sprejové sušení.....	23
3.6.2.2 Emulzifikace.....	25
3.6.2.3 Extruze.....	26
3.6.2.4 Sprejové mražení a sprejové chlazení .....	27
3.6.2.5 Tvorba polymerních kapslí.....	28
3.6.2.6 Fluidní vrstva.....	28
3.6.2.7 Lyofilizace.....	29
3.6.2.8 Koacervace .....	30
3.6.2.9 Nanoenkapsulace.....	30
<b>3.7 Přehled experimentálních studií.....</b>	<b>32</b>
3.7.1 Vyhodnocení experimentálních studií .....	34
<b>4 Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>5 Seznam literatury .....</b>	<b>38</b>

# 1 Úvod

Každý den přijdeme do styku s množstvím potravin a ne vždy přemýšlíme nad množstvím procedur a cest, kterými si musí projít, než se dostanou až do naší lednice nebo na talíř. V dnešním globálním světě, kde dovézt například ovoce, ale třeba i maso, z druhého konce světa není problém, se musí daleko více hledět na udržení kvality a na způsob skladování potravin, aby se dostaly ke spotřebiteli v co nejvyšší možné kvalitě.

Samotné chlazení nebo balení do obalů je jen málo účinné, protože mikroorganismy, které znehodnocují čerstvé potraviny nejvíce, se k nim mohou dostat prakticky kdykoliv při transportu nebo manipulaci, a také degradace potravin probíhá samovolným rozkladem. Napadení mikroorganismy a degradaci se dá zabránit přidáním účinných látek k potravině. Často používané syntetické látky mají sice dobré účinky na udržení kvality potravin, ale trendem posledních let je od nich odstupovat, jelikož byly zjištěny nežádoucí účinky na lidské zdraví. Také spotřebitelé se zajímají čím dál tím více o to, co jedí a snaží se hledat co možná nejkvalitnější produkty a na to reagují potravinářské společnosti.

Skvělým pomocníkem při řešení kvality potravin se tak jeví přírodní látky, především rostlinné silice. Jsou zdravotně nezávadné, nepůsobí toxicky a jsou snadno degradovatelné. Jejich způsoby využití se v posledních letech stále více zkoumají, protože právě antimikrobiální, antioxidační a fungicidní účinky jsou nesporné a mnohdy velmi markantní oproti případům, kdy použity nebyly. Díky těmto vlastnostem silic je dosaženo prodloužení doby skladování potravin, zlepšení jejich kvality a nezávadnosti.

Problém s využitím silic, který se snaží vědci po celém světě vyřešit je jejich snadné znehodnocení při vystavení vnějším podmínkám, světlu, teplu, vzduchu a dalším. Řešením by mohly být metody enkapsulace. Dosáhne se tak dlouhodobějšího a rovnoměrnějšího uvolňování účinných látek silic. Tyto enkapsulované silice se pak přidávají do aktivních obalů nebo jedlých filmů a lépe chrání potravinu. Existuje více metod enkapsulace a různé metody se hodí pro různé způsoby použití, případně jiné druhy potravin. Ne všechny jsou však ekonomicky výhodné, což samozřejmě v potravinářském průmyslu hraje významnou roli. Proto se hledají ty nejlepší metody s co nejvyšší účinností a co možná nejnižší cenou.

Využití enkapsulovaných silic je v současné době sice ještě poměrně malé, ale díky probíhajícím studiím a zájmu o přírodní látky je pravděpodobné, že se s nimi častěji budeme setkávat v regálech běžných obchodů s potravinami.

## **2 Cíl práce**

Cílem práce je shromáždění informací týkajících se enkapsulovaných silic a jejich využití při skladování rychle se kazících potravin tak, aby nedocházelo k jejich znehodnocování. Výsledkem práce je shrnutí a vyhodnocení získaných informací k dané problematice.



## **3 Literární rešerše**

### **3.1 Bezpečnost potravin**

Většina produktů, které jsou používány jako potraviny, jsou problémové v tom, že podléhají rychlé zkáze a je nutno je uměle chránit, aby vydržely v dnešní době běžné, dlouhé transporty přes celý svět (Ribeiro-Santos et al. 2017; Ju et al. 2019).

Mechanické, fyzikální, chemické a mikrobiální účinky jsou hlavními příčinami degradace potravin a jejich kažení. Poškození může začít nesprávným zacházením s potravinami již v průběhu sklizně, během zpracování a distribuce a to ve výsledku může vést ke konečnému snížení jejich doby trvanlivosti (Durance 2002). Bez ošetření nebo uložení do obalu by tak některé rychle se kazící potraviny vydržely bezpečně a nepoškozené jen několik hodin či dní (Kalpana et al. 2019). Příkladem může být čerstvé maso, mléko a ryby, u kterých je trvanlivost jen 1 až 2 dny, než se začnou kazit v důsledku mikrobiálních nebo fyziologických procesů (Durance 2002). Kdyžto při použití obalu mohou vydržet až několik týdnů či dokonce měsíců (Kalpana et al. 2019). Jedním z účinných způsobů ochrany při transportu potravin daleko od jejich místa původu je chlazení, ale i to má své nevýhody, pokud dojde k porušení určitých zásad, které chrání potraviny před znehodnocením (Majid et al. 2018). Může dojít k výkyvům teplot, proniknutí vzduchu k potravine a následuje poškození potraviny rozmražením a změnou její struktury. Nejčastěji k tomu dochází například u masa nebo u zmrzliny (Durance 2002). Míst, kde může dojít ke kontaminaci, je během této dlouhé cesty mnoho, od nakládání na loď, transport letadlem, překládání a podobné manipulace (Majid et al. 2018).

### **3.2 Mikrobiální degradace potravin**

Potraviny jsou biologického původu, a proto jsou schopné dobře podporovat růst mikrobů, které jsou pak potenciálním zdrojem nemocí a otrav z potravin (Fung et al. 2018). Některé potraviny, jako je drůbeží maso, mleté vepřové maso, ryby, chléb, sýr, ovoce a zelenina, jsou velmi citlivé na kažení a napadání patogenními mikroorganismy, a proto představují riziko pro lidské zdraví (Simionato et al. 2019). Mikrobiální růst v potravinách má pak za následek vznik nežádoucích sensorických vlastností a v některých případech může být potravina pro spotřebu nebezpečná kvůli přítomným toxinům. Hlavními zdroji mikrobiální kontaminace v průběhu manipulace s potravinami jsou zvířata (hmyz, hlodavci), případně lidé, vzduch, voda a půda (Durance 2002).

Ač jsou viry zodpovědné za více nemocí, ty nebezpečnější jsou právě onemocnění bakteriální. Toxiny produkované bakteriemi mohou nepříznivě působit na trávicí trakt, neurologickou soustavu, játra či ledviny. Za nejvíce smrtelných případů způsobených potravinami jsou zodpovědné bakterie rodů *Salmonella*, *Campylobacter*, *Clostridium*, *Listeria*, *Vibrio*, *Bacillus* a *Escherichia* (Fung et al. 2018; Simionato et al. 2019).

Bakterie se nejlépe šíří v nechráněných potravinách, které nejsou dobře skladovány v chladu a jsou tak vystaveny nevyhovujícím podmínkám podporujících růst bakterií. Výše zmíněné bakterie se nejčastěji mohou vyskytnout v nedovařeném drůbežím maso, v nepasterizovaném mléce, ve vejcích, na zelenině či ovoci, v znečištěné vodě nebo v mořských plodech (Fung et al. 2018). Před sklizní má ovoce a zelenina obecně dobré mechanismy proti mikrobiální nákaze, avšak po odtržení z rostliny snáze a rychleji podlehnou množícím se bakteriím. Stejně tak maso po porážce je velmi náchylné k degradaci kvůli prudkému nárůstu počtu mikrobů na jinak sterilním maso (Durance 2002).

Pokud dojde k požití závadné potraviny, projeví se to následně různými způsoby. Symptomy otravy jídlem zahrnují horečku, bolesti hlavy, nevolnost, zvracení, bolest břicha a střevní potíže.

Zdrojem salmonelóz jsou hlavně vejce, drůbeží maso a další produkty živočišného původu. *Campylobacter* se nachází nejčastěji v neupraveném mléce, v syrovém nebo nedovařeném drůbežím maso a v pitné vodě. *Escherichia* se objevuje v nepasterizovaném mléce, nedovařeném maso a v čerstvém ovoci a zelenině (Fung et al. 2018).

Současná legislativa stále více bere v úvahu poptávku spotřebitelů po přírodních, minimálně zpracovaných, vhodných produktech, bere v potaz také změny v potravinářství a obchodu s potravinami a zaměřují se na bezpečnost potravin jako na globální zájem. To přivádí do popředí snahu najít inovativní technologie týkající se obalů, aby bylo vyhověno potřebám zákazníků, kteří chtějí kvalitní a šetrně zpracované potraviny (Majid et al. 2018).

### 3.3 Obaly

#### 3.3.1 Co jsou obaly a jejich funkce v potravinářství

Primární funkcí obalu je chránit obsah nejen proti nepříznivým vnějším vlivům vzduchu, vody, světla pachů, mikroorganismů, prachu, ale často i proti mechanickým vlivům (Robertson 2009). V dnešní době jsou obaly potřebné hlavně kvůli časté přepravě potravin na dlouhé vzdálenosti, kdy je potřeba udržet potraviny co nejčerstvější, i když cestuje z různých částí světa, aby ke spotřebiteli dorazila v pořádku a hlavně zdravotně nezávadná (Ribeiro-Santos et al. 2017).

V důsledku toho je používáno mnoho aditiv, často se přidávají přímo do potravin, ale tam hrozí překročení bezpečné dávky pro člověka a následné ohrožení zdraví (Ju et al. 2019). Proto je cíleno na to, aby byly vyvinuty dostatečně účinné a bezpečné obaly, jako jsou například aktivní obaly (Ju et al. 2019), které dokážou ochránit potraviny od vnějšího prostředí, aby se nedostala do styku s jinými látkami, které by ovlivnily její kvalitu a trvanlivost, a aby byla tak dodána ke spotřebiteli v nejlepší kvalitě (Kalpana et al. 2019).

Obal může také ovlivnit uchránění obsahu proti škodlivým mikrobiálním kontaminantům před nutným datem spotřeby. Pokud obalový materiál neposkytuje vhodnou bariéru, mikroorganismy mohou potraviny kontaminovat a učinit je nevhodnou až nebezpečnou pro konzumaci. Mikrobiální kontaminace může také nastat, pokud obalový materiál umožňuje přenos například vlhkosti nebo kyslíku z atmosféry do obalu. V této situaci mohou mikroorganismy již přítomné v potravinách, které však nepředstavují žádné riziko z důvodu počáteční nepřítomnosti vlhkosti nebo kyslíku, získat vhodné podmínky pro růst a představovat tak následně riziko pro spotřebitele (Robertson 2009).

Nejen, že obaly chrání kvalitu produktů, ale také podporují snížení plýtvání jídlem, protože se produkty stihnou spotřebovat, i pokud jich je větší množství a to díky vyšší trvanlivosti v obalech. Hlavní faktory, které tuto trvanlivost ovlivňují, jsou koncentrace kyslíku, oxidu uhličitého, vlhkost vzduchu, obsah vody a teplota skladování (Kalpana et al. 2019).

Obvykle je rozlišováno několik různých „úrovní“ balení. Běžný uživatel se asi nejčastěji setká s takzvaným primárním balením, které je v přímém kontaktu s obsaženým produktem a objevuje se na pultě obchodů. Poskytuje počáteční a obvykle hlavní ochrannou bariéru mezi produktem a vnějšími vlivy. Příklady primárních obalů zahrnují kovové plechovky, lepenkové kartony, skleněné láhve a plastové sáčky. Sekundární a terciální obaly se skládají z více kusů předchozích obalů a jsou například v krabici nebo nějak jinak pohromadě. Při výběru vhodných obalových materiálů pro konkrétní potraviny je obvykle kladen důraz na bariérové vlastnosti

obalového materiálu. Potraviny lze klasifikovat podle požadovaného stupně ochrany, jako je maximální přírůstek vlhkosti nebo příjem kyslíku. Poté lze provést výpočty, aby se určilo, zda by konkrétní obalový materiál poskytoval nezbytnou ochranu potřebnou pro dosažení požadované doby trvanlivosti produktu (Robertson 2009).

### 3.3.2 Aktivní obaly

Poměrně novým způsobem balení potravin jsou aktivní obaly. I když byly představeny v Japonsku již v sedmdesátých letech minulého století, v Evropě se začínají více používat až v posledních letech. Nižší obliba využití v Evropě je způsobena hlavně vysokou cenou, nízkým přijetím u spotřebitele a přísnými legislativními pravidly. Ale i kvůli tomu se pracuje na výzkumech a zlepšení dostupnosti těchto obalů (Vilela et al. 2018).

V evropském nařízení (EC) č. 450/2009 je definováno, že jde o aktivní materiály, které mají prodloužit životnost nebo zachovat či zlepšit stav balených potravin. Jsou navrženy tak, aby záměrně obsahovaly složky, které uvolňují nebo absorbují látky do nebo z balených potravin nebo prostředí, které potraviny obklopuje a prodloužily tak dobu trvanlivosti potraviny a zlepšily její skladovatelnost (Evropská komise 2009, č. 450/2009).

Cílem vytváření aktivních obalů je uspokojení poptávky po přírodních, recyklovatelných a biodegradovatelných obalových materiálech, které zároveň prodlouží dobu skladování a zlepší bezpečnost a kvalitu potravin. Mají být náhradou za běžné způsoby zpracování potravin jako je okyselování, dehydratace, slané nálevy a úpravy za vysokých teplot (Majid et al. 2018).

Technologie těchto obalů spočívá v tom, že do původního obalu jsou přidány aktivní složky interagující s produktem, které mají zajistit omezení kontaminace a oxidace potraviny, prodloužit její trvanlivost a zachovat její kvalitu (Ju et al. 2019).

Aktivní látky mohou být zabudované přímo v obalu, odděleně uvnitř balení, nebo nanešené na obalovém materiálu jako film (Irkin & Esmer 2015). Fungují tak, že se účinné látky buď uvolňují z obalu do produktu, nebo pohlcují látky uvolněné z produktu, které by vedly k zhoršení jeho kvality (Ribeiro-Santos et al. 2017).

Použití antimikrobiálních filmů v obalech může nabídnout jako hlavní výhodu v porovnání s přímým přidáváním konzervačních látek do potraviny v tom, že s produktem přichází do styku pouze nízký obsah účinných látek. Tímto způsobem dodávání antimikrobiálních látek je použito jen nezbytné množství těchto látek a nemusí tak být přidáváno větší množství přímo do produktu než je potřebné (Irkin & Esmer 2015).

Dalším způsobem je přítomnost aktivních látek odděleně uvnitř balení, například ve formě sáčků nebo absorpčních podložek vložených do obalu, které se často používají u masa. Tyto sáčky nebo podložky nejen absorbují přebytečnou vodu, která podporuje růst mikroorganismů, ale také mohou uvolňovat aktivní antimikrobiální látky (Otoni et al. 2016).

Nejčastěji se používají antimikrobiální obaly organického původu, jelikož jsou považovány za zdravé, bezpečné a neškodné k životnímu prostředí. Můžou být živočišného původu (propolis, chitosan), mikrobiálního původu (lysozym, nisin, natamycin, proteiny) nebo rostlinného původu (silice, oleje, extrakty, polyfenoly, aldehydy) (Irkin & Esmer 2015; Ju et al. 2019). Bylo zjištěno, že právě silice a jejich složky mají dobré antimikrobiální, antioxidační, antimykotické, antiparazitické nebo insekticidní účinky, a proto jsou v poslední době podrobněji zkoumány (Ju et al. 2019).

Základní princip použití aktivního obalu závisí na začlenění konkrétních složek do polymeru a využití vnitřních charakteristik polymeru samotného jako nosiče aktivních látek. Tyto polymerní matrice mají dobrý potenciál v uvolňování antimikrobiálních a antioxidačních aktivních látek jako jsou například právě silice (Majid et al. 2018).

Jednou z nejčastěji studovaných a testovaných v obalech je silice skořice. Po staletí používala k ochraně potravin před mikrobiální infekcí a v posledních několika letech se právě díky jejím příznivým účinkům také včleňuje do obalových materiálů jako účinná látka (Zanetti et al. 2018). Gherardi et al. (2016) ukázali, že vícevrstevný materiál obsahující kolem 18 % a 10 % cinnamaldehydu, jako hlavní sloučeniny, vykazovala vysokou aktivitu proti bakterii *Escherichia coli* (Yildirim et al. 2018).

Další často používané přírodní aktivní látky v obalech jsou karvakrol, silice oregana nebo tymol (Yildirim et al. 2018). Ve studiích provedených Ribeiro-Santos et al. (2017), byly směsi silic oregana, skořice a sladkého fenyklu včleněny do filmů z acetát celulózy, čímž byly získány filmy s antimikrobiální aktivitou proti *Penicillium* spp. a *Staphylococcus aureus*. Gomes et al. (2011) studovali včlenění eugenolu a cinnamaldehydu enkapsulovaného s polyglykolidem PGA: (poly (kyselina mléčná *ko*- glykolová)), tato kombinace se ukázala jako potenciální baktericidní látka proti *Salmonella* spp. (Zanetti et al. 2018).

### 3.3.3 Jedlé obaly

Jedlé obaly představují zajímavý způsob ochrany a balení rychle se kazících potravin jako jsou maso, ryby (Kumar & Lorenzo 2020), ovoce a zelenina (Mild et al. 2011).

Inhibují růst potravinových patogenů a zabraňují oxidaci lipidů, mohou tak prodloužit skladování a trvanlivost potravinářských výrobků.

Skládají se z biopolymerů získaných z odpadů nebo nevyužitelných částí potravinářského průmyslu, jako jsou lipidy, proteiny nebo biologicky rozložitelné polysacharidy, které jsou jedlé a mohou se využít jako nosiče s aktivními látkami přírodního původu. Použité aktivní látky mohou být například antimikrobiální látky, jako je nisin, lysozym, chitosan, silice a jejich součásti. (Irkin & Esmer 2015; Kumar & Lorenzo 2020). Složky silic jako karvakrol a cinnamaldehyd byly použity pro příklad do jedlých filmů z jablek a prokázaly schopnost vyvolat baktericidní aktivitu vůči *Campylobacter jejuni*, inokulovanými na kuřecím masu, přičemž cinnamaldehyd vykazoval vyšší antimikrobiální účinky než karvakrol (Mild et al. 2011). Nebo například po včlenění silic oregana a hřebíčku do jedlého filmu ze syrovátkové bílkoviny se ukázalo, že filmy pak účinněji kontrolovaly mikrobiotu (mezofilní, *Pseudomonas* spp., *Enterobacter*) na vzorcích drůbežího masa. Ukázalo se, že silice oregana byla efektivnější než silice hřebíčku, ale obě měly horší redukční schopnosti proti *Pseudomonas* spp (Fernández-Pan et al. 2013).

Mimo tyto antimikrobiální účinky, jedlé obaly mohou zlepšit i sensorické a kvalitativní vlastnosti potraviny díky tomu, že silice jsou ve většině případech silně aromatické a mají tak významný vliv na chuť a vůni, proto se musí vybírat tak, aby sensorické vlastnosti potraviny neovlivnily negativně (Kumar & Lorenzo 2020).

V současné době je použití jedlých povlaků omezené. Jednou z hlavních překážek jsou náklady na výrobu, které omezují jejich použití na výrobky vysoké hodnoty. Kromě nákladů jsou dalšími omezujícími faktory pro komerční použití jedlých povlaků nedostatek materiálů s požadovanou funkčností, náklady na investice do instalace nových potahovacích zařízení, obtížnost výrobního procesu a přísnost předpisů. K vývoji nových jedlých povlaků obsahujících aktivní složky je navíc zapotřebí dalších studií, aby se porozumělo interakcím mezi složkami používanými při jejich výrobě a předešlo se tak nechtěným změnám při použití v praxi (Kumar & Lorenzo 2020).

### 3.4 Skladování

Institut potravinářských technologií (IFT) ve Spojených státech definoval skladovatelnost jako „období mezi výrobou a maloobchodním nákupem potravinářského výrobku, během kterého je produkt ve stavu uspokojivé kvality z hlediska nutriční hodnoty, chutě, textury a vzhledu“ (Anon. 1974).

EU dlouho neměla definici doby použitelnosti ani právní předpisy týkající se způsobu určování doby skladování; v konsolidované směrnici EU o označování potravin (2000/13 / ES) se požadovalo, aby na balených potravinách bylo uvedeno datum „minimální trvanlivosti“, nebo v případě potravin, které jsou z mikrobiologického hlediska velmi rychle se kazící, „spotřebujte do“ a datum. Datum minimální trvanlivosti bylo definováno jako „datum, do kterého si potravina při správném skladování uchová své specifické vlastnosti“, a musí být dále specifikovány všechny zvláštní podmínky skladování (např. teplota nepřesahující 7 ° C). Později byla doba použitelnosti stanovena v právních předpisech EU, v nařízení komise (EC) č. 2073/2005 jako: „Doba použitelnosti znamená buď období odpovídající období před „spotřebujte do“ nebo do data minimální trvanlivosti (Robertson 2009).“

Kvalita většiny potravin a nápojů klesá s dobou skladování nebo během delší manipulace. Výjimky zahrnují destilované lihoviny. U většiny potravin a nápojů, u kterých se kvalita s přibývajícím časem zhoršuje, vyplývá, že existuje určitá doba, po které bude produkt již nepřijatelný ke konzumaci. Tento čas od výroby k nepřijatelnosti se označuje jako doba skladovatelnosti nebo použitelnosti (Robertson 2009) a po uplynutí tohoto času je potravina považována za nevhodnou ke spotřebě a uvádí se, že dosáhla konce své trvanlivosti (Durance 2002). Ta se vztahuje jak na dobu, kdy je produkt skladován u obchodníka, tak i na dobu skladování u konečného spotřebitele.

Přestože se trvanlivosti jednotlivých potravin liší, jsou běžně určovány pro každou konkrétní skupinu produktů výrobcem nebo zpracovatelem. Výrobci se obecně snaží poskytnout co nejdelší možnou skladovatelnost u daného produktu (Robertson 2009). Požadovaná délka skladovatelnosti ale závisí také na účelu potravin. V mnoha případech není nutné vysoce prodloužené skladování nebo doba trvanlivosti, což tak zjednodušuje jak přepravu, tak uvádění potravin na trh. Například jídla připravená k okamžité konzumaci vyžadují trvanlivost pouze jeden nebo dokonce půl dne. V tomto případě nemá smysl zajišťovat uchovávání produktu po týdny nebo měsíce. V jiných případech může být vyžadována velmi dlouhá trvanlivost až několik let, protože se jedná o zásoby potřebné v případě nouze nebo například potravin pro cestování do vesmíru (Durance 2002).

## 3.5 Rostlinné silice

### 3.5.1 Co jsou silice

Silice, (někdy označované jako esenciální oleje nebo těkavé oleje) jsou nestálé látky získané z rostlinných materiálů, jako jsou květy, semena, plody, listy, větvičky, stonky či kořeny, pomocí fermentace, extrakce, suché destilace a nejčastěji komerčně využívané destilace parou (Burt 2004; Schmidt 2015; Čabalová et al. 2019).

Rostlinné silice se staly během staletí nedílnou součástí každodenního života. Používají se nejrůznějšími způsoby: jako potravinové přísady, jako doplňkové látky zlepšující vlastnosti produktů, jako přísady v tabákovém průmyslu a při míchání kosmetiky a parfémů. Kromě toho se používají v osvěžovačích a deodorizátorech vzduchu a v některých oborech zabývajících se lidským zdravím, jako je farmacie, lázeňství, masáže a homeopatie. Specializovanější oblastí je oblast aromaterapie a aromachologie. V posledních letech vedlo používání silic jako důležitých biocidů a repelentů proti hmyzu k podrobnějšímu studiu jejich antimikrobiálního potenciálu (Baser & Buchbauer 2015) a tak k rozšíření jejich použití i v jiných oblastech.

Studium a využití těchto látek sahá až do 16. století, ale aromatické rostliny se využívaly v dobách dávno před používáním samotných silic, protože byly rozpoznány jejich příznivé účinky na zdraví (Baser & Buchbauer 2015) a dnes se těší přírodní látky opět větší a větší oblibě a to z důvodu nadbytečného používání syntetických látek, které je snaha nahradit právě těmito přírodními (Burt 2004). Syntetické látky byly výrobci dlouho používány, ale postupem času bylo prokázáno, že konzumace některých z nich může vést k intoxikacím, rakovině a mnohým dalším onemocněním. Proto se více začínají používat právě extrakty z rostlin, které mají schopnost zastavit růst patogenních mikroorganismů (Bhavaniramy et al. 2019).

Silice nejsou jednoduché směsi a často se skládají z mnoha sloučenin. Mezi hlavní složky jsou řazeny terpeny a terpenové deriváty (mono-, di-, seskviterpeny), fenolpropeny (Schmidt 2015), kyseliny, uhlovodíky (limonen), deriváty alkoholů (mentol), aldehydů (citrál), ketonů (karvon) a další (Smith et al. 2005; Čabalová et al. 2019). Tyto složky jsou nalézány v různých částích rostlin a ve speciálních buňkách, jako jsou žláznaté trichomy, olejové žlázy, lyzogenní dutiny nebo schizogenní kanálky. Produkce těchto specifických látek se různí druh od druhu a stejnou látku můžou produkovat blízké, ale i více vzdálené druhy. Například monoterpeny jsou typické pro rod *Mentha*, ale mentol je charakteristický jen pro *Mentha piperita* a *Mentha arvensis* a je možné ho tak nalézt v poměrně blízkých druzích. Ale na druhou stranu například fenypropenoid eugenol, typický pro hřebíček (*Syzygium aromaticum*), lze také nalézt ve velkém množství vzdálených druhů jako je pro příklad skořice (*Cinnamomum*



*zeylanicum*, *Lauraceae*) nebo bazalka (*Ocimum basilicum*, *Lamiaceae*). A posledním specifickým příkladem je eukalyptol (1,8 - cineol), který byl pojmenován po svém výskytu v *Eukalyptus sp.* (*Myrtaceae*), který může být součástí silic vavřínu (*Laurus nobilis*, *Lauraceae*), japonského pepře (*Zanthoxylum piperitum*, *Rutaceae*), šalvěje (*Salvia officinalis*, *S. fruticosa*, *S. lavandulifolia*), rozmarýny (*Rosmarinus officinalis*) a máty (*Mentha sp.*) (Baser & Buchbauer 2015).

V dnešní době známe na 3000 silic a z toho asi 300 silic nebo jejich chemických složek nachází své využití v komerčním průmyslu. V Evropské unii jde především o potravinářský, farmaceutický, parfumářský a kosmetický průmysl (Bhavaniramy, S. 2019). Zvýšený zájem o silice se projevil nejen proto, že jde o přírodní látky, ale také je prokázáno, že mají určité antimikrobiální účinky. Pokud jsou správně aplikovány, dají se tak využít pro konzervaci potravin a skladovaných produktů. Vedle antimikrobiálních účinků mají také antioxidační, antimykotické, antiparazitické nebo insekticidní účinky. Tyto vlastnosti mají pravděpodobně podle toho, jaká byla funkce těchto látek v rostlině, ze které pochází (ochranné látky proti hmyzu a býložravcům nebo naopak lákání hmyzu k rostlině) (Burt 2004; Baser & Buchbauer 2015; Schmidt 2015).

Kvalita silice závisí nejen na skladování a správném použití, ale také na konkrétní rostlině, ze které pochází a na místě kde se pěstuje. Důležitý je správný druh, který je použit k získání silic, protože každá rostlina se liší obsahem účinných látek v silicích. Neméně nutné je i správné období sklizně a šetrný odběr silice. Podle výzkumů je nejvyšší obsah silic s antimikrobiálními účinky v rostlinách při sklizni při nebo těsně po květu (Burt 2004).

Silice jsou těkavé látky, a proto se musí skladovat v dobře uzavřených nádobách, aby se rychle nevypařovaly, ale i při aplikaci je nutné dbát na to, aby se nezneškodily. K tomu se nejčastěji používají procesy enkapsulace a nanoenkapsulace (Zanetti et al. 2018). Tyto procesy jsou důležité, aby těkavé silice neunikly dříve než je žádoucí a uvolňovaly se nejlépe postupně a rovnoměrně (Burt 2004). Enkapsulované silice se dají použít při skladování nejen jednotlivých složek potravin, ale i hotových výrobků. Nejčastěji je snaha je využívat u rychle se kazících potravin jako je ovoce, zelenina, ale i maso a obilí, kde je největší problém právě s mikroby a houbami a dochází k velkým ztrátám již při skladování, kterým je snaha předcházet právě enkapsulovanými rostlinnými silicemi (Burt 2004).

Dobrym příkladem je také využití při skladování masa. Tučky podléhají rychlé oxidaci, maso může brzy začít zapáchat, je napadáno bakteriemi a nezůstává tak dlouho čerstvé a následně může být až nebezpečné pro konzumaci z důvodu přemnožení bakterií nebo hub.

Proto se začíná více využívat enkapsulovaných silic z rostlin s antimikrobiálními a antioxidantními účinky (Gómez et al. 2018; Kumar & Lorenzo 2020).

Nejčastěji se používají silice z tymiánu, skořice, rozmarýnu, oregana, máty, česneku a dalších výrazně aromatických rostlin. U těchto jmenovaných jsou prokázány příznivé účinky silic (Burt 2004). Například silice ze skořice, oregana a tymiánu vykazují prokazatelné účinky proti různým mikroorganismům včetně rozšířených *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens* a *Listeria monocytogenes* (Fernández-Pan et al. 2013; Yildirim et al. 2018; Bhavaniramy et al. 2019).

### 3.5.2 Antimikrobiální aktivita silic

Protože se spotřebitelé v dnešní době častěji zajímají o kvalitu a znepokouje je rozsáhlé využití umělých chemických aditiv, potraviny ošetřené přírodními látkami se stávají oblíbenějšími a vyhledávanějšími. To vede vědce a výrobce k hledání a zkoumání přírodních látek s širokým spektrem antimikrobiální aktivity (Holley & Patel 2005).

Antimikrobiální látky se mohou objevit jak v produktech živočišného původu, tak i rostlinného. Hlavně řada bylin a koření je známá pro tuto vlastnost, která je důsledkem jejich chemického složení. Již v minulosti byly byliny i koření využívány mnoha kulturami pro vylepšení chutě a aromatu potravin (Durance 2002). Pokud jde o aplikaci silic na potraviny nebo do obalů, doporučuje se proto vybrat silice na základě toho, jaký smyslový profil má mít výsledný produkt. Silice se složkami s nízkými inhibičními koncentracemi se považují za výhodné k dosažení antimikrobiálních účinků, aniž by byly ovlivněny sensorické vlastnosti potraviny (Thielmann et al. 2019). Mezi tyto složky se řadí například karvakrol, tymol, eugenol, kyselina skořicová, perillaldehyd a cinamaldehyd (Burt 2004).

Výzkum silic zkoumá začlenění antimikrobiálních látek do obalů, nikoli přímo do potraviny, a tím se látka koncentruje na povrchu, kde je vyšší růst škodlivých organismů a snižuje se tím vzájemné rušení interakcí účinných látek silic se složkami potravin, jako jsou tuky a proteiny (Durance 2002; Holley & Patel 2005).

Silice a jejich sekundární složky, hlavně fenolické látky (Burt 2004) hrají zásadní roli v uplatnění antimikrobiální aktivity. Nejvíce aktivní složky silic se dají rozdělit do čtyř skupin, dle jejich chemického složení: terpeny (např. p-cymen, limonen), terpenoidy (např. tymol, karvakrol), fenypropeny (např. eugenol, vanilín) a další složky jako allicin nebo isothiocyany (Zanetti et al. 2018).

Složení silic umožňuje zaměřit se v buňce bakterie, která je na potravině, na několik cílů, zejména na cytoplasmu a buněčnou membránu, kterou vlastním včleněním rozrušují

a způsobují tak její větší propustnost a destabilizaci, která vede k úniku iontů a dalších buněčných materiálů nebo dokonce zcela mění morfologii buněk. Výsledkem je pak buněčná smrt (Burt 2004; Zanetti et al. 2018; Bhavaniramy et al. 2019) nebo zastavení růstu bakterií (Swamy et al. 2016).

Obecně bylo zjištěno, že gram-negativní bakterie jsou více rezistentní vůči účinkům silic než gram-pozitivní bakterie (Zanetti et al. 2018). López et al. (2005) studovali antimikrobiální aktivitu silic skořice (*Cinnamon zeylanicum*), hřebíčku (*Syzygium aromaticum*), bazalky (*Ocimum basilicum*), rozmarýnu (*Rosmarinus officinalis*), kopr (Anethum graveolens) a zázvoru (*Zingiber officinalis*) v různém rozsahu koncentrací ve dvou kontaktních typech testů (v kapalně a plynné fázi). Tyto silice byly testovány proti čtyřem gram-pozitivním bakteriím (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*, *Listeria monocytogenes*), čtyřem gram-negativním bakteriím (*Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella choleraesuis*, *Pseudomonas aeruginosa*), proti houbám (kvasinky, *Candida albicans*) a dvěma plísním (*Penicillium islandicum* a *Aspergillus flavus*). Nejcitlivější byly právě houbové mikroorganismy, druhé nejcitlivější byly gram-pozitivní bakterie. Gram-negativní kmeny bakterií byly nejméně citlivé (Zanetti et al. 2018)

### 3.5.3 Antioxidační účinky silic

Množství rostlinných silic vykazuje vlastnosti, které mají potenciál využití jako přírodních antioxidantů buď přímým smícháním nebo v aktivních obalech (Amorati et al. 2013). Silice vykazují aktivní vyhledávání radikálů, což je kvalifikuje jako přírodní antioxidanty (Schmidt 2015).

V porovnání se syntetickými látkami, jako jsou butyhydroxytoluen (BHT) a butyhydroxyanisol (BHA), vykazují přírodní silice méně vedlejších účinků, které mohou být škodlivé pro lidské zdraví, což z nich může činit důležitou alternativu v konzervování potravin a v prodloužení jejich skladování (Amorati et al. 2013; Schmidt 2015).

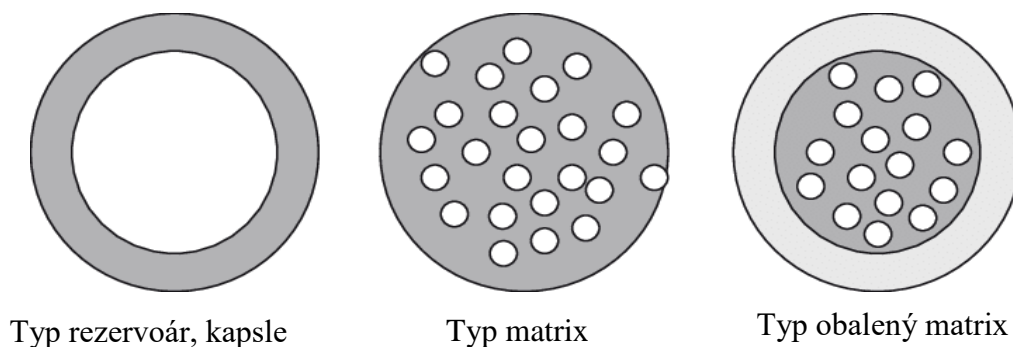
Antioxidační potenciál silic z velké části záleží na jejich chemických složkách, hlavně fenolech a dalších sekundárních metabolitech s dvojnou vazbou v řetězci, která je zodpovědná za podstatnou antioxidační aktivitu silic (Bhavaniramy et al. 2019). Obecně by se dalo říci, že antioxidanty by měli fungovat jako donor vodíku (Schmidt 2015). K oxidaci jsou náchylné potraviny s vyšším obsahem tuku, jako je maso, mléko nebo rostlinné oleje. Proto je potřeba je chánit aktivními obaly s přídavkem antioxidačních látek v potřebném množství (Durance 2002).

Antioxidační obalové systémy, obsahující aktivní látky z rostlinných silic, jsou vyvíjeny hlavně za účelem zlepšení kvality potravin a prodloužení doby skladovatelnosti (Park et al. 2012). Přítomnost hlavních složek jako je tymol a karvakrol a dalších v silicích extrahovaných například ze skořice, muškátového oříšku, bazalky, oregana, tymiánu, petržele a hřebíčku, mají díky redoxním vlastnostem za následek jejich antioxidační aktivitu a hrají důležitou roli při neutralizaci volných radikálů a rozkladu peroxidu (Bhavaniramy et al. 2019). Právě účinky tymolu a karvakrolu zabudovaných do škrobových filmů v uzavíratelném obalu použitých například na čerstvě mleté hovězí maso dle Park et al. (2012) účinně inhibovaly oxidaci lipidů a měly pozitivní vliv na stabilitu hovězího masa díky skladování.

## 3.6 Enkapsulace

### 3.6.1 Enkapsulace silic

Enkapsulace přírodní nebo syntetické látky se dá definovat jako proces zachycení aktivní látky do jiné, která, jako kapsle, zajišťuje ochranu před vnějším prostředím a zároveň zabraňuje jejímu uvolnění do prostředí. Enkapsulovanou látku můžeme označit také jako jádro nebo výplň. S jinými názvy se můžeme setkat také u obalového materiálu, například matrix, kapsle nebo schránka (Nedovic et al. 2011b). Nejznámější typy jsou schematicky znázorněny na obrázku 1.



Obrázek 1 Základní typy enkapsulovaných částic (Zuidam & Shimoni 2010)

Enkapsulace bioaktivních látek chrání jejich aktivní molekuly před degradačním procesem a zlepšuje jejich fyzikální a chemickou stabilitu a rozpustnost v potravinách (například rozpustnost hydrofilních částí a hydrofobních matrix a naopak) (Zanetti et al. 2018).

Enkapsulace jako technologie se může používat v mnoha případech. Jelikož je enkapsulovaná silice velmi dobře chráněná před nežádoucími reakcemi s okolním prostředím, je možné kontrolovat její místo působení, často hlavně na povrchu potravin, pozvolné, přesné uvolňování a působení jen za určitých podmínek. Velikost molekul enkapsulovaných silic se může lišit od několika nm až po několik mm (Nedovic et al. 2011b).

Díky těmto výhodám se enkapsulované látky využívají hlavně v potravinářském průmyslu, ale původně se užívaly nejvíce ve farmacii (Nedovic et al. 2011b).

V minulosti byla enkapsulace vyvinuta hlavně pro zefektivnění některých výrobních procesů při přenosu buněk a metabolitů nebo vakcín. S postupem času však nabylo na významu i využití v potravinářském průmyslu. Díky stabilitě matrixu a variabilitě aktivní látky je dnes používána enkapsulace pro přenos funkčních doplňků potravin, ale i pro zajištění dlouhotrvající čerstvosti a skladovatelnosti potravin díky prodloužení doby uvolňování účinné látky a zabránění těkání

aromatických silic a tím způsobených nežádoucích senzorických vlastností (Nedovic et al. 2011b; Schmidt 2015).

Aby byla enkapsulace výhodná a fungovala tak jak je potřeba, je nutné správně zvolit materiály a látky, které budou použity jak pro obalovou látku, matrix, tak pro aktivní jádro. Tato volba závisí na oblasti využití, jelikož ve farmaceutickém a potravinářském průmyslu platí mírně odlišná pravidla a požadavky. Pokud se zaměříme na potravinářství, je důležitá neškodnost látek vůči organismu, aby nedošlo k nežádoucím účinkům a byla splněna všechna stanovená pravidla bezpečnosti potravin. Dále musí látky vyhovovat požadavkům, které na ně máme, jako je například chuť či vůně, aby bylo dosaženo chtěného finálního produktu. Používané látky pro vybudování ochranného obalu musí být v první řadě schopny vytvořit funkční bariéru mezi prostředím a aktivní látkou, dále musí být biodegradovatelné a splňovat určité potravinářské třídy. Také musí být z přírodního materiálu a nesmí reagovat s aktivní enkapsulovanou látkou. V potravinářství se nejčastěji používají polysacharidy, jako škrob a jeho deriváty - amylóza, maltodextriny, dextriny. Kromě těchto látek se dají použít i proteiny a lipidy (Nedovic et al. 2011b).

Například nanoenkapsulace silic může být praktickým a efektivním přístupem k řešení problémů, jako je fyzická nestabilita těchto sloučenin a ke zvýšení jejich biologické aktivity. Jako příklad lze uvést nanoenkapsulaci používanou po sklizni plodů, kdy dochází ke kontrole difúze a udržování vysokých koncentrací aktivních molekul na povrchu ovoce. Zapouzdření eugenolu, tymolu a karvakrolu do nanometrických povrchově aktivních micel také vedlo ke zlepšení antimikrobiální aktivity. Bylo pozorováno, že nanoenkapsulace vykazuje známky širšího použití, ale její aplikace v průmyslových výrobcích je stále v počátečních fázích (Zanetti et al. 2018).

Cílem techniky enkapsulace je tedy ochrana silice nebo jiné látky před předčasnou degradací, nežádoucími reakcemi s prostředím a produktem a prodloužení životnosti látky, ale také zvýšení její antimikrobiální aktivity, zlepšení kvality a chuti produktu, jednodušší manipulace s aktivní látkou, poskytnutí vhodného množství této látky a její kontrolované uvolňování (Nedovic et al. 2011b; Froiio et al. 2019).

### 3.6.2 Metody enkapsulace

Protože enkapsulované látky jsou často v kapalné formě, většina technologií jejich enkapsulace je založena na sušení (Nedovic et al. 2011a).

Důležité je také vybírat vhodné materiály pro použití na obaly enkapsulovaných látek a to tak, aby byly v souladu s bezpečnostními požadavky vládních agentur, jako je Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA). (Nedovic et al. 2011a).

Výběr technologie přípravy kapslí závisí mimo jiné na vlastnostech bioaktivní sloučeniny, jako je hydrofilnost nebo lipofilita, rozpustnost a stabilita a požadované vlastnosti produktu, jako je velikost částic a biologická dostupnost (Zanetti et al. 2018), případně senzorické vlastnosti.

V literatuře je možné najít několik metod přípravy pro polymerní nanočástice, používané pro enkapsulaci, z nichž každá má své výhody a nevýhody. Tyto metody lze rozdělit do dvou hlavních kategorií: ty, jejichž příprava vyžaduje monomerní polymerizační reakci, jako je emulzní polymerace, miniemulze a mezifázové polymerační reakce, a metody, které používají předem vytvořené polymery, jako je emulze s odpařením rozpouštědla, nanoprecipitace, distribuce rozpouštědla a vysolení (Durance 2002).

Mezi hydrofilní polymery, často používané pro tvorbu rozprašováním usušených mikrokapsulí se silicemi, patří oligosacharidy, modifikované škroby, arabská guma, alginát nebo chitosan (Schmidt 2015).

#### 3.6.2.1 Sprejové sušení

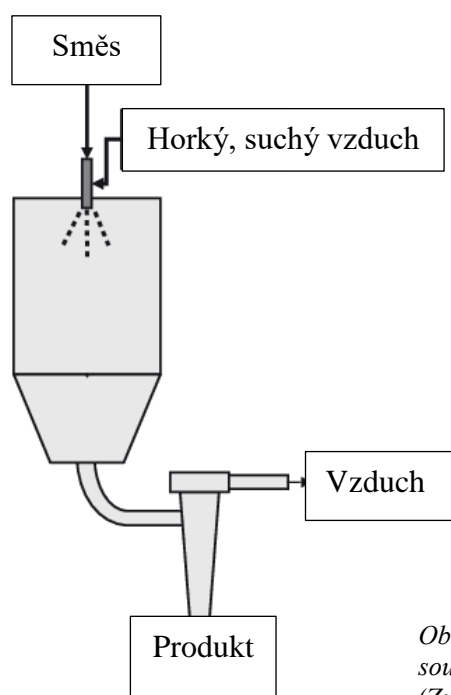
Nejčastěji a nejdéle se v potravinářském průmyslu využívá metoda sprejového sušení (80 % - 90 %) (Risch 1995; Nedovic et al. 2011b). Jedná se o nejkonomičtější a nejrozšířenější používaný způsob, jelikož potřebná zařízení jsou snadno dostupná a výrobní procesy jsou levnější než u ostatních metod (Risch 1995). Sušení rozprašováním účinné látky se běžně dosahuje rozpuštěním, emulgací nebo dispergováním účinné látky ve vodném roztoku nosného materiálu a následně se směs rozpraší do horké komory. Během tohoto procesu se na povrchu kapek utvoří film a větší aktivní molekuly se tak zpomalí a menší molekuly vody se odpaří (Zuidam & Shimoni 2010). Tím se vytvoří vysušená pórovitá částice, kterou je nosič tvořící film na povrchu kapky obsahující aktivní látku. Tyto částice padají do spodní části sušárny, kde jsou shromažďovány (Risch 1995; Zuidam & Shimoni 2010). Sprejové sušárny v potravinářském průmyslu obvykle rozprašují směs vysokotlakou tryskou nebo rotačním

rozprašovačem a pracují se souběžným proudem vzduchu a částic tak, aby nedocházelo k přílišnému přehřátí aktivních látek, jelikož jsou často citlivé na teplo a došlo by k jejich znehodnocení (Zuidam & Shimoni 2010). Příklad sprejové sušárny je jednoduše znázorněn na obrázku 2.

Materiál použitý na nosič neboli matrix, by měl splňovat mnoho kritérií, jako je ochrana aktivního materiálu, dobrá rozpustnost ve vodě, správná molekulová hmotnost, difuzibilita, dobré emulgační vlastnosti, dobré vlastnosti pro tvorbu filmu a nakonec nízká cena. Nejčastěji používané látky jsou například přírodní guma (arabská guma, algináty, karagenany), proteiny (mléčné, sójové, želatina), sacharidy (maltodextriny a deriváty celulózy) nebo lipidy (vosky, emulgátory) (Zuidam & Shimoni 2010).

Tato metoda dává vzniknout částicím o velikosti asi 40  $\mu\text{m}$  (Nedovic et al. 2011b). Velikost rozprašovaných kapiček závisí na povrchovém napětí a viskozitě kapaliny, poklesu tlaku přes trysku a rychlosti rozprašovaných částic. Velikost atomizovaných kapiček také určuje dobu sušení a velikost částic (Zuidam & Shimoni 2010).

Produkty této metody mají dobré povrchové i senzorycké vlastnosti, ale i tato poměrně výhodná metoda má své nedostatky. Je zapotřebí mít vhodné přístroje na rozprašování, aby byly vytvořeny co nejrovnoměrnější částice, které ale právě často nedosahují stejných rozměrů, protože je těžké kontrolovat měnící se podmínky v místech postřiku a tak i požadovanou velikost částic (Nedovic et al. 2011b). Důležité je také zvolit správnou teplotu přiváděného vzduchu (Zuidam & Shimoni 2010).



Obrázek 2 Rozprašovací sušička se souběžným proudem vzduchu a částic (Zuidam & Shimoni 2010)

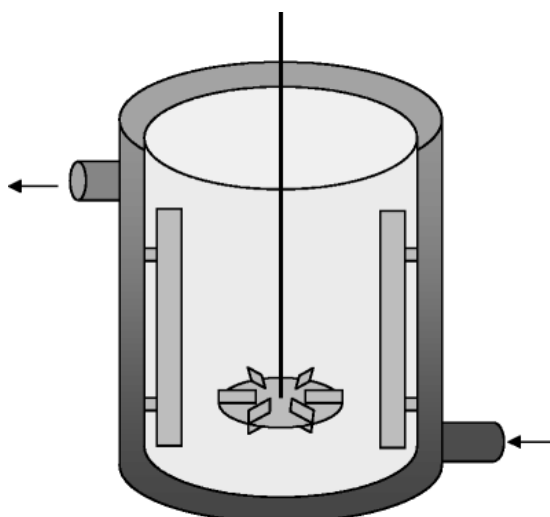


### 3.6.2.2 Emulzifikace

Druhou často používanou metodou enkapsulace je emulzifikace. Používá se v případě vodorozpustných aktivních látek. Emulze jsou spíše kineticky než termodynamicky stabilní dvoufázové systémy a nakonec se olejová i vodní fáze oddělí. Tomu se zamezuje správným složením obou fází a rozhraní, včetně výběru stabilizačních složek, jako jsou emulgátory a stabilizátory (Zuidam & Shimoni 2010).

Emulze se vyrábějí mícháním například homogenizérem, koloidním mlýnem, míchadlem (obrázek 3) nebo v nádobě s míchadlem vybaveným přepážkami (Zuidam & Shimoni 2010). Technologie spočívá v rozmíchání směsi dvou nemišitelných kapalných fází tak, aby se vytvořil systém drobných kapiček oleje a vody (Zuidam & Shimoni 2010).

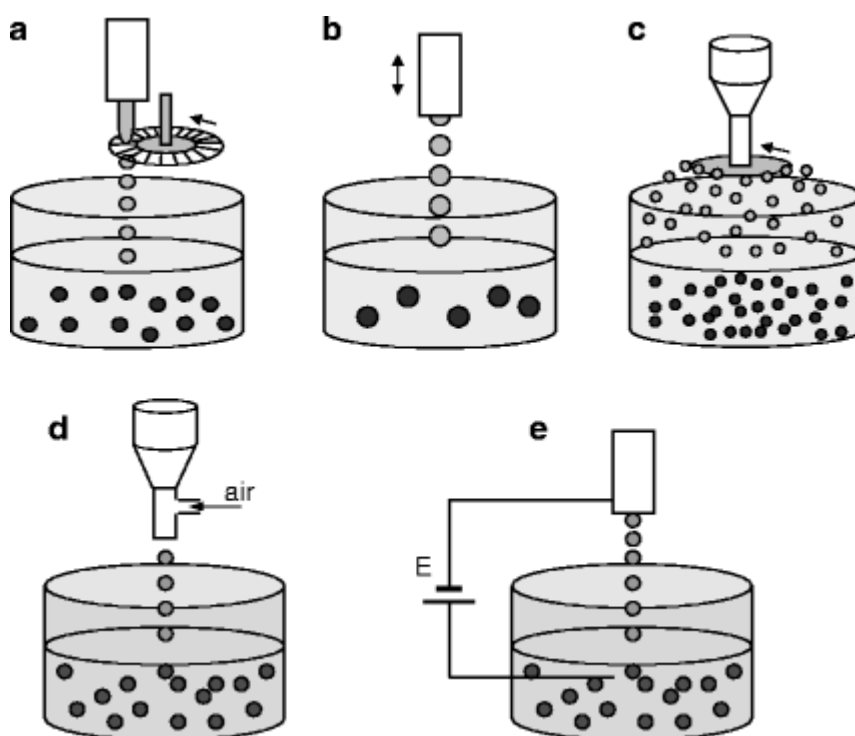
Existují dva základní typy emulzí, kombinace olej ve vodě a voda v oleji a někdy se používá kombinace i voda/olej/voda (Zuidam & Shimoni 2010; Nedovic et al. 2011b). Právě dvousložková kombinace oleje ve vodě je používána častěji, protože se následně dobře suší za vzniku prášku, který lze aplikovat přímo jako film na potravinářské produkty a velmi dobře se skladuje (Nedovic et al. 2011b; Zanetti et al. 2018). Tyto suché emulze pak mohou být následně použity k dalšímu zpracování, jako jsou komplexní koacerváty, mikrosféry nebo vícevrstevné emulze. Na druhou stranu emulze oleje ve vodě může ovlivnit chuť produktu kvůli změně objemu vodní fáze a tím i koncentrace molekul, které jsou zodpovědné za chuť, čímž může dojít ke změně vnímání třeba slanosti produktu (Zuidam & Shimoni 2010).



*Obrázek 3 Míhací nádoba s dvojitou stěnou a Rushtonovým kolem, která lze použít k přípravě emulzí nejen v laboratoři ale i ve větším, továrním měřítku (Zuidam & Shimoni 2010).*

### 3.6.2.3 Extruze

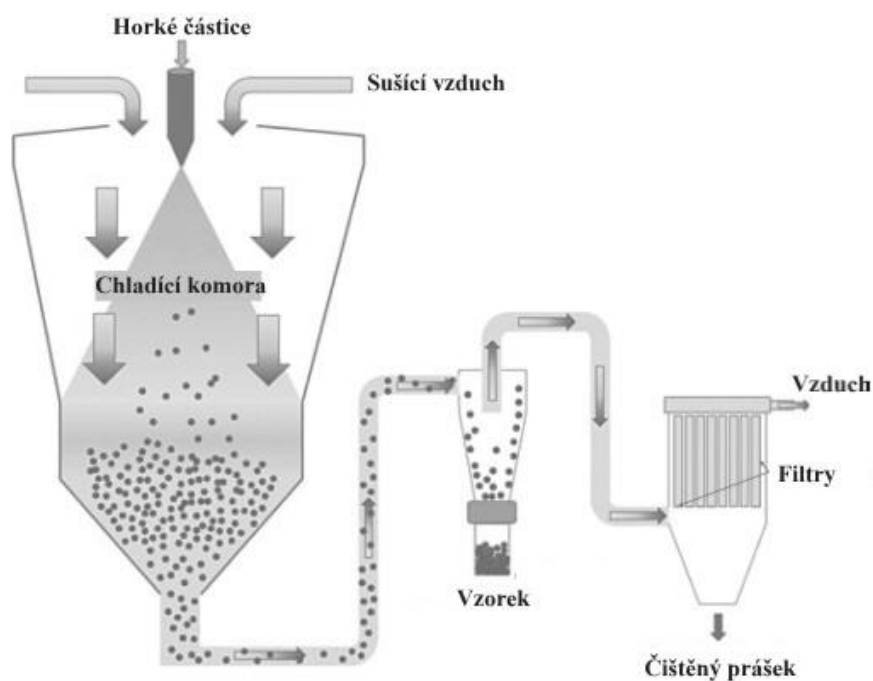
Metoda extruze spočívá ve vytlačování kapek vodného roztoku polymeru (nejčastěji se jedná o 0,6 až 3% alginát sodný) a aktivní látky do gelové lázně (v případě alginátu je gelovací lázeň 0,05 až 1,5 M roztoku chloridu vápenatého). Kapajícím nástrojem může být jednoduchá pipeta, stříkačka, vibrační tryska, rozprašovací tryska, trysková řezačka (nejvhodnější pro velkoobjemové průmyslové aplikace) nebo rozprašovací disk. Znárodnění těchto metod je zobrazeno na obrázku 4 (Nedovic et al. 2011b). Obecně jde těmito způsoby vyrobit částice o průměru 0,2 až 5 mm v závislosti na použitém kapajícím nástroji a viskoelasticitě alginátového roztoku (Zuidam & Shimoni 2010). Elektrostatickou extruzí lze efektivně dosáhnout i mnohem menších částic o velikosti 50  $\mu\text{m}$  (Nedovic et al. 2011b). Výhodou této metody je úplné obalení aktivní látky polymerem a její následné vysušení a toto zapouzdření dává částicím dobrou trvanlivost (Risch 1995; Nedovic et al. 2011b).



Obrázek 4 Různé typy výroby částic extruzí pomocí za a) tryskové řezačky, b) pipety nebo vibrační trysky, c) atomizačního disku, d) koaxiálního proudu vzduchu nebo za e) elektrostatického potenciálu (Zuidam & Shimoni 2010).

### 3.6.2.4 Sprejové mražení a sprejové chlazení

Sprejové mražení a sprejové chlazení jsou technologie výroby účinných látek potažených lipidy podobných sprejovému sušení, ale je zde v rozdílu v nepřítomnosti vody, která musí být odpařena. Rozdíl mezi sprejovým mražením a sprejovým chlazením je bod tání lipidů. V případě prvního zmíněného, sprejového mražení, je teplota tání lipidů v rozmezí 34 - 42 ° C a teplota sprejového chlazení je vyšší, tedy asi 45 - 122° C (Risch 1995). Aktivní látka může být rozpuštěna v lipidech, může být přítomna jako suchá částice nebo jako vodní emulze. V případě sprejového chlazení se částice udržují při nízké teplotě v uspořádání podobném fluidní vrstvě. Rozprašování suspenze aktivních částic v roztaveném lipidu pomocí rotačního disku do chlazeného vzduchu způsobí ztuhnutí kapek při pádu na dno komory. V závislosti na velikosti kapek a vlastnostech taveniny je nutná určitá výška pádu. Velikost částic závisí na částicích jádra, viskozitě taveniny, teplotě taveniny, konfiguraci disku a rychlosti otáčení. (Risch 1995; Zuidam & Shimoni 2010; Nedovic et al. 2011b). Díky možnosti zvolit si bod tání obalového materiálu, jsou tyto způsoby vhodné pro enkapsulaci látek u kterých je požadováno řízené uvolňování (Risch 1995). Schéma technologie sprejového chlazení je na obrázku 5.



Obrázek 5 Schéma technologie sprejového chlazení (Oxley 2012).

### 3.6.2.5 Tvorba polymerních kapslí

Principem této metody je kapání roztoku do želírující lázně. Nejrozšířenějším a nejvíce studovaným polymerem pro enkapsulaci buněk je alginát (Simó et al. 2017). Tento polymer je k dispozici v mnoha kvalitách a může být přizpůsoben každému produktu s řízeným uvolňováním. Jeho složení závisí také na původu suroviny (Baser & Buchbauer 2015). Zesíťováním pomocí dvojmocných kationtů, například  $\text{Ca}^{2+}$  nebo někdy i  $\text{Ba}^{2+}$ , tvoří vodné roztoky alginátu sodného gely (Baser & Buchbauer 2015; Simó et al. 2017). Alginátové gely jsou vhodné pro imobilizované buňky nebo látky, protože se tento proces provádí při pokojové teplotě a za použití biokompatibilních činidel (Simó et al. 2017).

Ale i tento hydrogel má své nevýhody, které komplikují jeho využití. Například chelatační činidla (citrát, fosfát, laktát) nebo protiželírující kationty ( $\text{Na}^+$  a  $\text{Mg}^{2+}$ ) jsou v potravinářských aplikacích často přítomné a mohou způsobit snížení mechanické stability alginátového gelu nebo až jeho úplné zkapalnění (Simó et al. 2017).

Velmi důležitým aspektem enkapsulace silice v hydrofilním polymeru, je snížení její těkavosti. To má za následek delší trvanlivost výrobku a jeho lepší stabilitu (Baser & Buchbauer 2015).

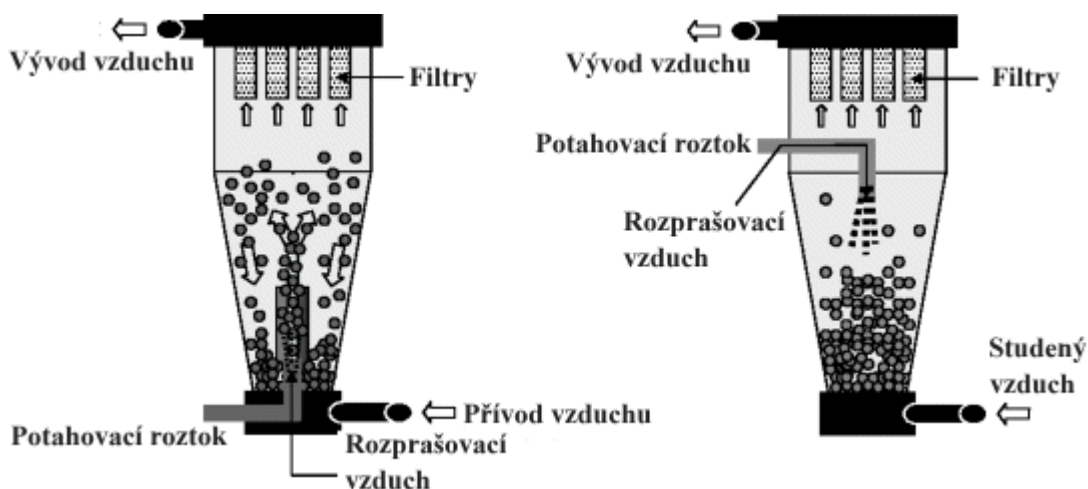
### 3.6.2.6 Fluidní vrstva

Povlak fluidní vrstvy je enkapsulační technika, kde je povlak aplikován na částice prášku v dávkovém procesoru nebo kontinuálním zařízení. Práškové částice jsou suspendovány proudem vzduchu při specifické teplotě a postříkovány atomizovaným povlakovým materiálem. V průběhu času je každá částice postupně potažena pokaždé, kdy se ocitne v rozprašovací zóně. Potahový materiál musí mít přijatelnou viskozitu, aby umožnil čerpání a rozprašování, musí být tepelně stabilní a měl by být schopen vytvořit film na povrchu částic (Zuidam & Shimoni 2010). Takovým materiálem může být vodný roztok celulózy nebo derivátů škrobu, proteinů a gum (Zuidam & Shimoni 2010; Nedovic et al. 2011b).

Odpařování jejich obsahu vody je pak řízeno mnoha způsoby, jako je rychlost rozprašování, obsah vody v roztoku, proud vzduchu a vlhkost vzduchu přiváděného do komory, teplota potahovacího roztoku, rozprašovaného vzduchu a materiálu v komoře.

Nejčastěji se používají dva způsoby aplikace. Na pravé straně obrázku 6 je znázorněno uspořádání, ve kterém je potahovací roztok rozprašován shora na částice prášku. V levé části obrázku 6 je znázorněno nanášení potahovacího roztoku pomocí proudu vzduchu vzhůru přes

vrstvu částic, při kterém se potahovací roztok rozprašuje na částice prášku uvnitř vnitřního sloupce, který tyto částice uvede do oběhu. (Zuidam & Shimoni 2010)



Obrázek 6 Dva způsoby aplikace fluidní vrstvy (Zuidam & Shimoni 2010).

### 3.6.2.7 Lyofilizace

Aktivní látku a nosný materiál rozpuštěný ve vodě lze lyofilizovat za vzniku porézní struktury. Nejprve se vzorek zmrazí při teplotách mezi  $-90$  a  $-40$  °C a poté se rozpouští do odstranění přímou sublimací při nízkém tlaku a snížené teplotě (mezi  $-90$  a  $-20$  °C) (Zuidam & Shimoni 2010).

Hlavní nevýhody lyofilizace jsou vysoká spotřeba energie a dlouhá doba zpracování. Kromě toho se během zpracování vytvoří bariéra s otevřenou porézní strukturou mezi aktivní látkou a jejím okolím; tato vysoce porézní stěna poskytuje špatnou ochranu, pokud je vyžadováno prodloužené uvolňování aktivní látky (Nedovic et al. 2011b). Také cena lyofilizace je asi 30 – 50 krát vyšší než nejčastěji používané sprejové sušení. Na druhou stranu tento způsob sušení je výhodný pro skoro všechny látky citlivé na teplo (Zuidam & Shimoni 2010).

Alternativou lyofilizace může být vakuové sušení, které je velmi podobné, ale funguje při teplotě nad bodem mrazu rozpouštědla a je proto rychlejší a levnější (Zuidam & Shimoni 2010).

### 3.6.2.8 Koacervace

Tato technologie spočívá v rozdělení vodného polymerního roztoku na dvě nesmíselné kapalné fáze. Na hustou koacervátovou fázi bohatou na polymer, která se obaluje ve stejnoměrné vrstvě kolem zředěné fáze chudé na polymer, tvořící jádro (Martins et al. 2008; Zuidam & Shimoni 2010).

Podle počtu přítomných typů polymerů můžeme koacervaci dělit na jednoduchou, pokud je do procesu zapojen jen jeden polymer, nebo koacervaci komplexní, kdy jsou přítomny dva a více typů polymerů s opačnými iontovými náboji. Koacerváty používané k enkapsulaci aktivní látky jsou často komplexního typu. Jejich obal je nejčastěji složen z arabské gumy nebo želatiny. Komplexní koacerváty se běžně vyrábějí z emulze olej/voda s želatinou a arabskou gumou v poměru 1:1. a ve 2 – 4 % každého polymeru rozpuštěného ve vodné fázi s úpravou hodnoty pH kolem 4 za turbulentních podmínek v míchací nádobě při  $>35^{\circ}\text{C}$ , tedy teplotě vyšší než teplota gelovatění želatiny. Takto vzniknou tři nesmíselné fáze (olejová, bohatá na polymer a chudá na polymer) a kapky polymerní fáze se začnou ukládat na emulzní povrchy díky mezifázové sorpci. Po ochlazení pod  $35^{\circ}\text{C}$  želatina ztuhne a tím tuhne i obal. Nakonec se koacerváty izolují a promyjí, pokud je to nutné, filtrací nebo sedimentací (pokud je jejich hustota vyšší než hustota vody, což závisí na relativním množství obalu ve srovnání s olejovým jádrem) a mohou být sušeny sprejově nebo za použití fluidní vrstvy (Zuidam & Shimoni 2010).

### 3.6.2.9 Nanoenkapsulace

Použití nanokapslí za účelem ochrany a kontrolovaného uvolňování bioaktivních složek potravin je rostoucí oblastí v potravinářské a technologické komunitě. Důvodem je především to, že nanočástice mohou být snadno začleněny do potravinářských výrobků a do obalů se zvýšenou biologickou dostupností (Zuidam & Shimoni 2010).

Reakce rostlinných silic s potravinami ztěžuje jejich využití. Nanoenkapsulace silic ale představuje účinnou strategii k překonání těchto překážek. Tato technologie by totiž mohla maskovat výraznou chuť, snížit těkavost a interakci s potravinovými složkami, zvýšit rozpustnost a fyzikální stabilitu a zlepšit biologickou dostupnost silic. Ve srovnání s velkými kapslemi, nabízejí nanokapsle výhody subcelulární velikosti (díky které se mohou zvýšit pasivní buněčné absorpční mechanismy, čímž se sníží odpory přenosu hmoty a zvýší se antimikrobiální aktivita), většího povrchu na jednotku objemu a potenciálního zvýšení koncentrace silic v oblastech potravin, kde jsou mikroorganismy soustředěny, jako jsou fáze bohaté na vodu nebo pevné a kapalné rozhraní. Nanokapsle mohou působit jako rezervoár

a systém řízeného uvolňování aktivních latek, který by mohl upřednostňovat jejich dodání do bakteriální buňky. Jejich příprava by mohla být založena na zmenšování enkapsulátů připravených klasickými technologiemi nebo použitím technologií nových (Zuidam & Shimoni 2010).

Existuje několik konceptů použití nanoenkapsulace, které se dělí na lipidové, proteinové, polysacharidové a anorganické systémy. Pro příklad nanoenkapsulační lipidové systémy patří mezi nejrychleji se rozvíjející oblasti nanotechnologických aplikací v potravinářství. Mají několik výhod, včetně schopnosti zachycovat materiál s různými rozpustnostmi a použití přírodních složek v průmyslovém měřítku (Zuidam & Shimoni 2010).

#### **3.6.2.9.1 Jílové minerály**

Jedním z nových způsobů nanoenkapsulace v potravinářství při použití aktivních obalů jsou jílové minerály, jako například křemičité nanočástice a halloysitové nanotrubičky (HNT), aluminosilikátové ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) nanokrystaly, které byly navrženy jako inovativní nanovláknem díky své duté tubulární morfologii a modifikovatelné povrchové chemii. HNT jsou ekologické, biokompatibilní a dispergovatelné ve vodě i při velmi vysokých koncentracích, kde mohou tvořit kapalnou krystalickou fázi. HNT lze použít k enkapsulaci rostlinných silic, které chrání před odpařováním a oxidací, což může vést ke snížení antimikrobiální aktivity a degradaci silic, a zároveň umožňují řízené uvolňování silic, které účinně omezují mikrobiální růst (Buendía–Moreno et al. 2020).

### 3.7 Přehled experimentálních studií

Tabulka 1) Experimentální studie enkapsulovaných silic na rostlinných produktech

Aktivní látka	Produkt	Metoda enkapsulace	Metoda aplikace	Účinky	Reference
Karvakrol	Cherry rajčata, hroznové víno	Halloysitové nanotrubičky	PA film	Fungicidní	Shemesh et al. 2016
Silice oregana, silice skořice (karvakrol)	Rajčata	Enkapsulace do $\beta$ -cyklodextrinů nebo Hallosytových nanotrubiček	Lak na papírové krabici	Antimikrobiální, udržení pevnosti a kvality	Buendía–Moreno et al. 2020
Karvakrol	Zelené fazole	Nanoemulze s chitosanem	Povlak a balení v upravené atmosféře	Antibakteriální	Severino et al. 2015
Silice oregana	Krájené meruňky	Emulzifikace	Jedlý povlak	Antibakteriální, antioxidantní	Hashemi et al. 2017
Silice citronové trávy	Krájená jablka	Nanoemulze	Jedlý povlak	Antimikrobiální, udržení kvality	Salvia-Trujillo et al. 2015
Karvakrol, tymol	Jahody	Nanoenkapsulace	LDPE film na obalu	Antimikrobiální	Campos-Requena et al. 2015
Silice oregana	Cherry rajčata	Emulzifikace	PVA film na obalu	Antimikrobiální	Kwon et al. 2017
Silice oregana, silice skořice (karvakrol)	Cherry rajčata	Emulzifikace (komplex s $\beta$ -cyklodextriny)	Sprej na lepenkový podnos (lak)	Prodloužení skladovatelnosti	Buendía et al. 2019
Silice levandule a tymiánu	Jahody	Extruze	Sáček s chitosanovými kuličkami v balení	Prodloužení skladovatelnosti o 4 dny, proti plísním	Sangsuwan et al. 2016



Tabulka 2) Experimentální studie enkapsulovaných silic na živočišných produktech

Aktivní látka	Produkt	Metoda enkapsulace	Metoda aplikace	Účinky	Reference
Silice oregana	Polotvrdý sýr	Nanoemulze	Povlak na povrchu	Fungicidní	Bedoya-Serna et al. 2018
Silice hřebíčku	Hovězí řízký	Nanoenkapsulace (chitosan)	Nanogel	Antibakteriální, antioxidační	Rajaei et al. 2017
Silice tymiánu (Karvakrol)	Krájené kuřecí maso	Halloysitové nanotrubičky	PE film	Antimikrobiální	Alkan Tas et al. 2019
Silice oregana	Nizkotsučný sýr	Nanoemulze	Jedlý obal	Antimikrobiální, prodloužení skladovatelnosti	Artiga-Artigas et al. 2017
Silice rozmarýnu, tymiánu, šalvěje	Pstruh duhový	Nanoemulze	Povlak na povrchu	Antibakteriální, zlepšení organoleptické kvality	Ozogul et al. 2017
Silice saturejky	Jehněčí maso	Nanoenkapsulace (nanoliposomy)	Jedlý povlak	Antimikrobiální, prodloužení skladovatelnosti	Pabast et al. 2018
Silice citrónu	Vepřové maso	Nanoenkapsulace (chitosan)	Kolagenový jedlý povlak na povrchu	Antibakteriální	Jiang et al. 2020
Silice rozmarýnu	Jehněčí maso	Nanoenkapsulace	Nanokompozitní film z celulózy a syrovátkového proteinu	Antibakteriální	Alizadeh Sani et al. 2017
Silice citrónu	Pstruh duhový	Nanoenkapsulace	Karagenanový film	Snižená oxidace lipidů a mikrobiální aktivita	Volpe et al. 2015

### 3.7.1 Vyhodnocení experimentálních studií

Z dostupných zdrojů bylo vybráno 18 experimentálních studií zabývajících se použitím enkapsulovaných silic kvůli jejich účinkům na rostlinných (tabulka 1) a živočišných (tabulka 2) produktech podléhajících rychlé zkáze. Byly vyhodnoceny všechny dostupné studie, které se věnují použití enkapsulovaných silic v obalech, na nich, nebo přímo v jedlých povlacích na povrchu potravin. Sledovány byly hlavně antimikrobiální účinky aktivních látek, schopnost udržení kvality, a tím prodloužení skladovatelnosti produktů. Právě čerstvé a rychle se kazící potraviny je potřeba nejvíce chránit.

Ve studiích proto převažují z rostlinných produktů rajčata (Shemesh et al. 2016; Kwon et al. 2017; Buendía et al. 2019; Buendía–Moreno et al. 2020), jahody (Campos-Requena et al. 2015; Sangsuwan et al. 2016) a krájené ovoce (Salvia-Trujillo et al. 2015; Hashemi et al. 2017). Z živočišných produktů jsou to ryby (Volpe et al. 2015; Ozogul et al. 2017), maso (Rajaei et al. 2017; Alizadeh Sani et al. 2017; Pabast et al. 2018; Alkan Tas et al. 2019; Jiang et al. 2020) a mléčné produkty (Artiga-Artigas et al. 2017; Bedoya-Serna et al. 2018).

Mezi nejtestovanější silice pro své účinky patřily silice oregana, tymiánu, hřebíčku, rozmarýnu a citrusů. Z konkrétních účinných látek pak složky silic karvakrol a tymol.

V naprosté většině vybraných experimentálních studiích se silice enkapsulovaly metodou nanoenkapsulace či přesněji nanoemulzifikace, méně již běžnou emulzifikací. To může naznačovat trend v použití nanomateriálů i v potravinářství. Salvia-Trujillo et al. (2015) ve své studii zjistili, že kapky silice citronové trávy použité na krájená jablka v nanoemulzi (velikost mezi 10 a 100nm) vykazovaly rychlejší a lepší inaktivaci *Escherichia coli* během doby skladování a také prodloužení doby skladování než jiné konvenční emulze. Nanoemulze ve svých experimentálních studiích použili také Severino et al. (2015), Ozogul et al. (2017), Artiga-Artigas et al. (2017) a Bedoya-Serna et al. (2018).

Další metodou enkapsulace, která se vyskytla ve studiích vícekrát a patří do metod nanoenkapsulace, je využití Halloysitových nanotrubiček. Jde o hlinitokřemičité jíly s dutou tubulární nanostrukturou, které se podle studií Shemesh et al. (2016), Alkan Tas et al. (2019) a Buendía–Moreno et al. (2020) jeví jako inovativní nosiče vhodné pro zachycení vysoce nestabilních silic. Shemesh et al. (2016) zjistili, že při použití Halloysitových trubiček bylo ve finálním obalu obsaženo více aktivní látky karvakrolu než když použity nebyly. Díky této enkapsulaci si i po spojení s polyethylenem výsledný film zachoval fungicidní účinky

i když prošel vysokými teplotami (teplota roztavení byla 250°C, karvakrol se bez enkapsulace vaří již při 236°C).

V posledních letech jsou Halloysitové trubičky na vzestupu i díky tomu, že se dá upravit jejich povrchová chemie a tím rozšířit jejich využití, ale je potřeba dalšího výzkumu.

Metody aplikace enkapsulovaných látek ve vybraných studiích byly nečastěji filmy na obalu potravin nebo jedlé povlaky na povrchu potravin. Ve studii od Sangsuwan et al. (2016) byly však použity i sáčky s aktivní látkou, které jsou volně v balení. Tento způsob se dá využít nejen u jahod, jako v této studii, ale například i u masa (Otoni et al. 2016).

U rostlinných produktů převažovala aplikace filmů nebo laků na obaly potravin, nejčastěji plastových krabiček či sáčků z PA nebo PVA materiálu. Ve dvou experimentálních studiích od Buendía et al. (2019) a Buendía–Moreno et al. (2020) byly ale použity i laky (spreje), které se nanosily na papírové krabice a pak velmi dobře plnily svou antimikrobiální funkci.

Použití jedlých povlaků se testovalo na již upravených produktech, jako jsou krájené meruňky a krájená jablka. Udržela se tak lépe jejich čerstvost a bylo možné je déle skladovat. Salvia-Trujillo et al. (2015) ve studii aplikace jedlého povlaku na krájená jablka se silicí citronové trávy uvedli, že došlo ke snížení mikrobiální aktivity, k udržení pevnosti, ale naopak při použití vyšší koncentrace silice došlo k hnědnutí povrchu jablek. To ukazuje na problém se složitostí využití rostlinných silic, jelikož před použitím na určitý produkt se musí zjišťovat vhodná koncentrace, aby nedocházelo k nežádoucím jevům, jako je právě hnědnutí ovoce.

U experimentálních studií na živočišných produktech, na rozdíl od rostlinných produktů, převažovalo využití jedlých povlaků nad filmy se silicemi ve vnějších obalech. PE film na obalu s enkapsulovanou silicí v Halloysitových trubičkách byl použit pouze ve studii provedené Alkan Tas et al. (2019) na naporcovaném kuřecím mase. Ostatní studie se zabývaly jedlými povlaky přímo na potravinách. Toto zjištění lze přičíst faktu, že všechny živočišné produkty byly nějakým způsobem předem naporcované, tudíž je zapotřebí lépe chránit jejich povrch před mikroby a je složitější udržet jejich čerstvý vzhled. Stejně tak tomu bylo i u krájeného ovoce.

Při styku enkapsulovaných silic, které jsou často velmi aromatické, s potravinou, je v popředí zájmu experimentálních studií i sledování jejich případného ovlivnění výsledné chuti produktu. Ve studiích se většinou autoři shodovali, že sensorické vlastnosti jsou přijatelné a chuť není negativně ovlivněna (Campos-Requena et al. 2015; Sangsuwan et al. 2016; Hashemi et al. 2017; Pabast et al. 2018). To může být podle Buendía–Moreno et al. (2020) vysvětleno tím, že byla ve vzorcích nalezena jen minimální rezidua silic. V některých případech bylo uvedeno, že silice sensorické vlastnosti ovlivnily dokonce pozitivně, zaleží proto i na výběru vhodné silice k určitému produktu (Ozogul et al. 2017). Například u rajčat ve studii Buendía et al. (2019), kdy byly použity silice oregana, nedošlo ke ztrátě chuti, jelikož byla pravděpodobně kompenzována právě chutí silic, které se k rajčatům hodí. Stejně pozitivně byly podle (Alizadeh Sani et al. 2017) hodnoceny sensorické vlastnosti jehněčího masa, které bylo upraveno silicemi rozmarýnu. Lze tedy říci, že enkapsulované silice mají přijatelnější sensorické vlastnosti, ale musí být pečlivě vybírány.

## 4 Závěr

Enkapsulace se jeví jako perspektivní metoda pro zlepšení využití rostlinných silic v ochraně rychle se kazících potravin. Výsledkem hodnocení experimentálních studií byl pozitivní efekt použití enkapsulovaných rostlinných silic v obalech na snížení mikrobiální aktivity u produktů jako jsou rajčata, jahody, krájené ovoce, maso a sýry.

U všech sledovaných druhů potravin, ať již rostlinného či živočišného původu, bylo díky tomu dosaženo delší doby skladování a udržení lepší kvality, než u produktů, které nebyly aktivní látkou ošetřeny. Sensorické vlastnosti byly také přijatelné a ve většině studií hodnoceny pozitivně, ale je nutný pečlivý výběr aktivních látek k určitým produktům.

Nejčastěji používanou metodou byla nanoenkapsulace silic a jejich přidání do aktivních obalů u rostlinných produktů, nebo do jedlých povlaků u živočišných produktů.

Mezi nejvyužívanější silice pro své účinky byly vybírány silice oregana, tymiánu, hřebíčku, rozmarýnu a citrusů.

Nevýhodou využití silic je jejich nestabilita a možné negativní ovlivnění potravin, v podobě změny chuti či vůně a hnědnutí, při použití nesprávné koncentrace.

Vzhledem ke komplikovanosti použití silic je tak nutné provádět další výzkum, aby bylo dosaženo požadovaných výsledků v ochraně potravin. Poté bude možné širší využití těchto perspektivních přírodních produktů v obalech.

## 5 Seznam literatury

- Anonymous. 1974. Shelf Life of Foods. Report by the Institute of Food Technologists' Expert Panel on Food Safety and Nutrition and the Committee on Public Information, Institute of Food Technologists, Chicago, Illinois. *Journal of Food Science* **39**: 861–8
- Nariadení komise (ES) č. 450/2009 ze dne 29. května 2009 o aktivních a inteligentních materiálech a předmětech určených pro styk s potravinami (Úř. věst. L 135/3, 30.5.2009)
- Alizadeh Sani M, Ehsani A, Hashemi M. 2017. Whey protein isolate/cellulose nanofibre/TiO<sub>2</sub> nanoparticle/rosemary essential oil nanocomposite film: Its effect on microbial and sensory quality of lamb meat and growth of common foodborne pathogenic bacteria during refrigeration. *International Journal of Food Microbiology* **251**:8–14. Elsevier B.V.
- Alkan Tas B, Sehit E, Erdinc Tas C, Unal S, Cebeci FC, Menciloglu YZ, Unal H. 2019. Carvacrol loaded halloysite coatings for antimicrobial food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life* **20**:100300. Elsevier Ltd.
- Alparslan Y, Yapici HH, Metin C, Baygar T, Günlü A, Baygar T. 2016. Quality assessment of shrimps preserved with orange leaf essential oil incorporated gelatin. *LWT - Food Science and Technology* **72**:457–466. Academic Press.
- Amorati R, Foti MC, Valgimigli L. 2013. Antioxidant Activity of Essential Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **61**:10835–10847. Available from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf403496k> (accessed January 30, 2020).
- Artiga-Artigas M, Acevedo-Fani A, Martín-Belloso O. 2017. Improving the shelf life of low-fat cut cheese using nanoemulsion-based edible coatings containing oregano essential oil and mandarin fiber. *Food Control* **76**:1–12. Elsevier Ltd.
- Baser K, Buchbauer G. 2015. Handbook of essential oils: science, technology, and applications. Available from <https://content.taylorfrancis.com/books/download?dac=C2012-0-15445-0&isbn=9781466590472&format=googlePreviewPdf> (accessed February 22, 2020).
- Bedoya-Serna CM, Dacanal GC, Fernandes AM, Pinho SC. 2018. Antifungal activity of nanoemulsions encapsulating oregano (*Origanum vulgare*) essential oil: in vitro study and application in Minas Padrão cheese. Available from <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.05.004> (accessed March 8, 2020).
- Bhavaniramy S, Vishnupriya S, Al-Aboody MS, Vijayakumar R, Baskaran D. 2019. Role of essential oils in food safety: Antimicrobial and antioxidant applications. *Grain & Oil Science and Technology* **2**:49–55. Elsevier B.V. Available from <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2019.03.001>.
- Buendía L et al. 2019. Innovative cardboard active packaging with a coating including encapsulated essential oils to extend cherry tomato shelf life. Available from <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108584> (accessed March 8, 2020).
- Buendía-Moreno L, Sánchez-Martínez MJ, Antolinos V, Ros-Chumillas M, Navarro-Segura L, Soto-Jover S, Martínez-Hernández GB, López-Gómez A. 2020. Active cardboard box with a coating including essential oils entrapped within cyclodextrins and/or hallosytenanotubes. A case study for fresh tomato storage. *Food Control* **107**:106763. Elsevier Ltd.

- Burt S. 2004, August 1. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review.
- Čabalová I, Češek B, Mikala O, Gojny J, Kačík F, Tribulová T. 2019. The influence of selected efficient compounds of essential oils for paper protection. *Journal of Cultural Heritage* **37**:148–154. Elsevier Masson SAS.
- Campos-Requena VH, Rivas BL, Pérez MA, Figueroa CR, Sanfuentes EA. 2015. The synergistic antimicrobial effect of carvacrol and thymol in clay/polymer nanocomposite films over strawberry gray mold. *LWT - Food Science and Technology* **64**:390–396. Academic Press.
- Durance T. 2002. Handbook of Food Preservation. Page Food Research International.
- Fernández-Pan I, Mendoza M, Maté JI. 2013. Whey protein isolate edible films with essential oils incorporated to improve the microbial quality of poultry. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **93**:2986–2994. Available from <http://doi.wiley.com/10.1002/jsfa.6128> (accessed February 4, 2020).
- Froio F, Ginot L, Paolino D, Lebaz N, Bentaher A, Fessi H, Elaissari A. 2019. Essential Oils-Loaded Polymer Particles: Preparation, Characterization and Antimicrobial Property. *Polymers* **11**:1017. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Available from <https://www.mdpi.com/2073-4360/11/6/1017> (accessed August 20, 2019).
- Fung F, Wang HS, Menon S. 2018. Food safety in the 21st century. *Biomedical Journal* **41**:88–95. Elsevier Ltd. Available from <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.03.003>.
- Gherardi R, Becerril R, Nerin C, Bosetti O. 2016. Development of a multilayer antimicrobial packaging material for tomato puree using an innovative technology. *LWT - Food Science and Technology* **72**:361–367. Academic Press.
- Gomes C, Moreira RG, Castell-Perez E. 2011. Poly (DL-lactide-co-glycolide) (PLGA) Nanoparticles with Entrapped trans-Cinnamaldehyde and Eugenol for Antimicrobial Delivery Applications. *Journal of Food Science* **76**:N16–N24. Available from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1750-3841.2010.01985.x> (accessed February 3, 2020).
- Gómez B, Barba FJ, Domínguez R, Putnik P, Bursać Kovačević D, Pateiro M, Toldrá F, Lorenzo JM. 2018, December 1. Microencapsulation of antioxidant compounds through innovative technologies and its specific application in meat processing. Elsevier Ltd.
- Hashemi SMB, Mousavi Khaneghah A, Ghaderi Ghahfarrokhi M, Eş I. 2017. Basil-seed gum containing *Origanum vulgare* subsp. *viride* essential oil as edible coating for fresh cut apricots. *Postharvest Biology and Technology* **125**:26–34. Elsevier B.V.
- Holley RA, Patel D. 2005. Improvement in shelf-life and safety of perishable foods by plant essential oils and smoke antimicrobials. *Food Microbiology* **22**:273–292.
- Irkin R, Esmer OK. 2015, October 24. Novel food packaging systems with natural antimicrobial agents. Springer India.
- Jiang Y, Lan W, Sameen DE, Ahmed S, Qin W, Zhang Q, Chen H, Dai J, He L, Liu Y. 2020. Preparation and characterization of grass carp collagen-chitosan-lemon essential oil composite films for application as food packaging. Available from <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.202> (accessed June 14, 2020).

- Ju J, Chen X, Xie Y, Yu H, Guo Y, Cheng Y, Qian H, Yao W. 2019. Application of essential oil as a sustained release preparation in food packaging. *Trends in Food Science & Technology* **92**:22–32. Elsevier. Available from <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224419300159>.
- Kalpana S, Priyadarshini SR, Leena MM, Moses JA, Anandharamakrishnan C. 2019. Trends in Food Science & Technology Intelligent packaging : Trends and applications in food systems. *Trends in Food Science & Technology* **93**:145–157. Elsevier. Available from <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.008>.
- Kumar P, Lorenzo JM. 2020. Edible films / coating with tailored properties for active packaging of meat , fish and derived products. *Trends in Food Science & Technology*. Elsevier Ltd. Available from <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.032>.
- Kwon SJ, Chang Y, Han J. 2017. Oregano essential oil-based natural antimicrobial packaging film to inactivate *Salmonella enterica* and yeasts/molds in the atmosphere surrounding cherry tomatoes. *Food Microbiology* **65**:114–121. Academic Press.
- López P, Sánchez C, Batlle R, Nerín C. 2005. Solid- and Vapor-Phase Antimicrobial Activities of Six Essential Oils: Susceptibility of Selected Foodborne Bacterial and Fungal Strains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**:6939–6946. Available from <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf050709v> (accessed February 3, 2020).
- Majid I, Ahmad Nayik G, Mohammad Dar S, Nanda V. 2018. Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* **17**:454–462. King Saud University & Saudi Society of Agricultural Sciences. Available from <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.003>.
- Martins IM, Barreiro F, Rodrigues AE. 2008. Microencapsulation of thyme oil by coacervation.
- Mild RM, Joens LA, Friedman M, Olsen CW, McHugh TH, Law B, Ravishankar S. 2011. Antimicrobial Edible Apple Films Inactivate Antibiotic Resistant and Susceptible *Campylobacter jejuni* Strains on Chicken Breast. *Journal of Food Science* **76**:M163–M168. Available from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1750-3841.2011.02065.x> (accessed February 4, 2020).
- Nedovic V, Kalusevic A, Manojlovic V, Levic S, Bugarski B. 2011a. An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science* **1**:1806–1815. Elsevier Srl. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.265>.
- Nedovic V, Kalusevic A, Manojlovic V, Levic S, Bugarski B. 2011b. An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science* **1**:1806–1815. Elsevier. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211601X11002665> (accessed June 19, 2019).
- Otoni CG, Espitia PJP, Avena-Bustillos RJ, McHugh TH. 2016, May 1. Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads. Elsevier Ltd.
- Oxley JD. 2012. Spray cooling and spray chilling for food ingredient and nutraceutical encapsulation. Pages 110–130 *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals*. Elsevier.



- Ozogul Y, Yuvka İ, Ucar Y, Durmus M, Kösker AR, Öz M, Ozogul F. 2017. Evaluation of effects of nanoemulsion based on herb essential oils (rosemary, laurel, thyme and sage) on sensory, chemical and microbiological quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during ice storage. *LWT - Food Science and Technology* **75**:677–684. Academic Press.
- Pabast M, Shariatifar N, Beikzadeh S, Jahed G. 2018. Effects of chitosan coatings incorporating with free or nano-encapsulated Satureja plant essential oil on quality characteristics of lamb meat. *Food Control* **91**:185–192. Elsevier Ltd.
- Park H-Y, Kim S-J, Kim KM, You Y-S, Kim SY, Han J. 2012. Development of Antioxidant Packaging Material by Applying Corn-Zein to LLDPE Film in Combination with Phenolic Compounds. *Journal of Food Science* **77**:E273–E279. Available from <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1750-3841.2012.02906.x> (accessed February 5, 2020).
- Rajaei A, Hadian M, Mohsenifar A, Rahmani-Cherati T. 2017. A coating based on clove essential oils encapsulated by chitosan-myristic acid nanogel efficiently enhanced the shelf-life of beef cutlets. Available from <http://dx.doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.10.005> (accessed March 8, 2020).
- Ribeiro-Santos R, Andrade M, Melo NR de, Sanches-Silva A. 2017. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science and Technology* **61**:132–140.
- Risch SJ. 1995. Encapsulation: Overview of Uses and Techniques. Pages 2–7.
- Robertson G. 2009. Food packaging and shelf life: a practical guide. Available from <https://content.taylorfrancis.com/books/download?dac=C2009-0-00417-6&isbn=9781420078459&format=googlePreviewPdf> (accessed January 30, 2020).
- Salvia-Trujillo L, Rojas-Graü MA, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. 2015. Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut fuji apples. *Postharvest Biology and Technology* **105**:8–16. Elsevier.
- Sangsuwan J, Pongsapakworawat T, Bangmo P, Sutthasupa S. 2016. Effect of chitosan beads incorporated with lavender or red thyme essential oils in inhibiting *Botrytis cinerea* and their application in strawberry packaging system. *LWT - Food Science and Technology* **74**:14–20. Academic Press.
- Schmidt E. 2015. Production of essential oils. Page Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications, Second Edition.
- Severino R, Ferrari G, Vu KD, Donsì F, Salmieri S, Lacroix M. 2015. Antimicrobial effects of modified chitosan based coating containing nanoemulsion of essential oils, modified atmosphere packaging and gamma irradiation against *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella Typhimurium* on green beans. *Food Control* **50**:215–222. Elsevier Ltd.
- Shemesh R, Krepker M, Nitzan N, Vaxman A, Segal E. 2016. Active packaging containing encapsulated carvacrol for control of postharvest decay. *Postharvest Biology and Technology* **118**:175–182. Elsevier B.V.
- Simionato I, Domingues FC, Nerín C, Silva F. 2019. Encapsulation of cinnamon oil in cyclodextrin nanospheres and their potential use for antimicrobial food packaging. *Food and Chemical Toxicology* **132**:110647. Elsevier Ltd.
- Simó G, Fernández-Fernández E, Vila-Crespo J, Ruipérez V, Rodríguez-Nogales JM. 2017, August 15. Research progress in coating techniques of alginate gel polymer for cell encapsulation. Elsevier Ltd.

- Smith RL et al. 2005, March 1. A procedure for the safety evaluation of natural flavor complexes used as ingredients in food: Essential oils. Pergamon.
- Swamy MK, Akhtar MS, Sinniah UR. 2016. Antimicrobial properties of plant essential oils against human pathogens and their mode of action: An updated review. Hindawi Publishing Corporation.
- Thielmann J, Muranyi P, Kazman P. 2019. Screening essential oils for their antimicrobial activities against the foodborne pathogenic bacteria *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Heliyon* **5**:e01860. Elsevier Ltd. Available from <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01860>.
- Vilela C, Kurek M, Hayouka Z, Röcker B, Yildirim S, Antunes MDC, Nilsen-Nygaard J, Pettersen MK, Freire CSR. 2018. A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science and Technology* **80**:212–222. Elsevier. Available from <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.006>.
- Volpe MG, Siano F, Paolucci M, Sacco A, Sorrentino A, Malinconico M, Varricchio E. 2015. Active edible coating effectiveness in shelf-life enhancement of trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *LWT - Food Science and Technology* **60**:615–622. Academic Press.
- Yildirim S, Röcker B, Pettersen MK, Nilsen-Nygaard J, Ayhan Z, Rutkaite R, Radusin T, Suminska P, Marcos B, Coma V. 2018, January 1. *Active Packaging Applications for Food*. Blackwell Publishing Inc.
- Zanetti M, Carniel TK, Dalcanton F, dos Anjos RS, Gracher Riella H, de Araújo PHH, de Oliveira D, Antônio Fiori M. 2018, November 1. Use of encapsulated natural compounds as antimicrobial additives in food packaging: A brief review. Elsevier Ltd.
- Zuidam NJ, Shimoni E. 2010. Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. Pages 3–29 *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*. Springer New York.

