

# **Přírodní látky s fotoprotektivním účinkem a jejich využití v kosmetice**

Monika Kotulková

---

Bakalářská práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Monika Kotulková**  
Osobní číslo: **T21870**  
Studijní program: **B0711A130009 Materiály a technologie**  
Specializace: **Biomateriály a kosmetika**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Přírodní látky s fotoprotektivním účinkem a jejich využití v kosmetice**

## Zásady pro vypracování

Zpracujte literární rešerši na zadané téma.

Věnujte se problematice UV záření, jeho vlivu na kůži a využití látek přírodního původu jako UV filtrů.

Zaměřte se na charakterizaci ligninu a jeho možnému použití v kosmetice a farmacii jako látky s fotoprotektivními a stabilizujícími vlastnostmi.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

- [1] Dupont, E., Gomez, J., & Bilodeau, D. (2013). Beyond UV radiation: A skin under challenge. *International Journal of Cosmetic Science*, 35(3), 224-232. 10.1111/ics.12036.
- [2] Qian, Y., Qiu, X., & Zhu, S. (2015). Lignin: a nature-inspired sun blocker for broad-spectrum sunscreens. *Green Chemistry*, 17, 320-324.
- [3] Deng, J., Sun, S., Zhu, E., Yang, J., Yang, H., Wang, D., Ma, M. and Shi, Z., 2021. Sub-micro and nano-lignin materials: Small size and rapid progress. *Industrial Crops and Products*, 164, pp. 113412.
- [4] Chapter 2 – Structure and Characteristics of Lignin. 2019. In: J. HUANG, S. FU and L. GAN, eds, *Lignin Chemistry and Applications*. Elsevier, pp. 25-50.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lucie Urbánková, Ph.D.**  
Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky

Datum zadání bakalářské práce: **1. února 2023**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2023**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**doc. Ing. Marián Lehocký, Ph.D.**  
ředitel ústavu

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je literární rešerší popisující přírodní látky s fotoprotektivním účinkem a jejich využití ve farmacii a kosmetice. Kromě popisu UV záření a jeho vlivu na organismus, jsou zde i látky s fotoprotektivním účinkem a především lignin. Velká část této bakalářské práce je však věnována ligninu samotnému, jeho využití jako UV blokátoru a stabilizátoru emulzí.

Klíčová slova: Lignin, UV záření, fotoprotekce, UV blokátor, stabilizátor emulze

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis is a literature research describing natural substances with photoprotective effect and their use in pharmacy and cosmetics. In addition to the description of UV radiation and its effect on the body, there are also substances with photoprotective effect and especially lignin. Large part of this bachelor thesis is devoted to lignin itself, its use as a UV blocker and emulsion stabilizer.

Keywords: Lignin, UV light, Photoprotection, UV blocker, Emulsion stabilizer

Touto cestou bych ráda poděkovala paní Ing. Lucii Urbánkové, Ph.D.za ochotu, odborné rady a čas, který mi po celou dobu vedení mé práce věnovala.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 UV ZÁŘENÍ A JEHO VLIV NA ORGANISMUS</b> .....	<b>10</b>
1.1 ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ.....	10
1.1.1 UVA záření .....	10
1.1.2 UVB záření.....	10
1.1.3 UVC záření.....	10
1.2 VLIV UV ZÁŘENÍ NA ORGANISMUS.....	10
1.3 PROJEVY UV ZÁŘENÍ NA OČI.....	11
1.4 PROJEVY UV ZÁŘENÍ NA KŮŽI.....	11
1.4.1 Akutní změny .....	11
1.4.2 Chronické změny .....	15
<b>2 FOTOPROTEKCE</b> .....	<b>19</b>
2.1 CHEMICKÉ UV FILTRY .....	19
2.2 FYZIKÁLNÍ UV FILTRY .....	20
2.2.1 Oxid titaničitý.....	21
2.2.2 Oxid zinečnatý .....	21
2.3 PŘÍRODNÍ LÁTKY JAKO FOTOCHRANA .....	21
2.3.1 Propolis .....	22
2.3.2 Jahody .....	22
2.3.3 Kurkuma.....	22
2.3.4 Ginkgo biloba a zelený čaj.....	23
2.3.5 Carica papaya .....	23
2.3.6 Rosa kordesii .....	23
<b>3 LIGNIN</b> .....	<b>24</b>
3.2 ZDROJE LIGNINU.....	25
3.3 LIGNIFIKACE .....	26
3.4 VLASTNOSTI.....	27
3.4.1 Skelný přechod.....	27
3.4.2 Interakce lignin-voda .....	27
3.4.3 Antimikrobiální vlastnosti.....	28
3.5 VYUŽITÍ LIGNINU .....	28
3.5.1 Obecně.....	28
3.5.2 Kosmetika .....	30
3.5.3 Farmacie a medicína .....	30
3.6 LIGNIN JAKO UV BLOKÁTOR.....	35
3.6.1 Lignin jako UV blokátor pro obaly a folie.....	36
3.6.2 Lignin jako UV blokátor pro laky a olejem potažené materiály.....	37
3.6.3 Lignin jako ochrana mikroorganismů .....	38

3.7 LIGNIN JAKO STABILIZÁTOR .....	38
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>41</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>42</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>52</b>



## ÚVOD

V dnešní době je věnována velká pozornost ochranným přípravkům před slunečním zářením. Přestože mají paprsky slunečního záření i pozitivní vliv na kůži a organismus, stejně tak mohou mít i negativní vliv, proto je nutné se před UV zářením chránit. V přípravcích proti slunečnímu záření se nejčastěji setkáváme s chemickými UV filtry, které mohou být toxické. Proto jsou často vyhledávány alternativy v podobě přírodních látek s fotoprotektivními účinky, jako je například kurkuma, propolis, lignin a mnoho dalších.

To je ve shodě s velmi rozšířeným zájmem o produkty přírodního původu nebo obsahující přírodní ingredience. V posledních letech můžeme tento trend sledovat zejména v oblastech kosmetiky a farmacie. Lignin je velmi vhodným kandidátem pro využití v těchto oblastech, vzhledem k jeho údajné schopnosti blokovat UV záření a stabilizovat emulze.

Díky svým bohatým funkčním skupinám má lignin potenciál mít antioxidační a antimikrobiální účinky. Tyto biologické vlastnosti dělají z ligninu potenciálního kandidáta v biomedicínských aplikacích včetně tkáňového inženýrství. V tomto odvětví se může využívat na výrobu náhrad a kompozitů. Lignin má také předpoklady k transportu aktivních látek, což je možné využít při léčbě různých onemocnění např. rakoviny.

Tato bakalářská práce charakterizuje lignin, jeho vlastnosti a složení. Jelikož se jedná o látku s fotoprotektivními účinky, obsahuje tato práce i stručný popis ultrafialového záření i jeho vliv na organismus, kůži a také fotoprotekci. Také shrnuje využití ligninu v kosmetickém průmyslu a různé aplikace v lékařství.

# 1 UV ZÁŘENÍ A JEHO VLIV NA ORGANISMUS

## 1.1 Ultrafialové záření

Ultrafialové (UV) záření je elektromagnetické záření o vlnové délce 100 až 400 nm. Jeho vlnová délka je kratší, než je vlnová délka viditelného světla. Přírodním zdrojem ultrafialového záření je slunce. Oblasti, ze kterých se UV spektrum skládá, jsou rozděleny podle vlnové délky, účinku a výskytu. Tyto oblasti rozdělujeme na: UVA, UVB a UVC záření. [1, 4, 8]

### 1.1.1 UVA záření

UVA neboli dlouhovlnné záření, jehož vlnová délka je 320 až 400 nm, způsobuje okamžité tmavnutí kůže. Můžeme se s ním setkat např. v soláriích. Proniká přes pokožku až do šráry, kde vytváří škodlivé reaktivní formy kyslíku a dusíku (ROS, RNS), které mění proteiny, lipidy a DNA. Oxidační poškození značně přispívá k předčasnému stárnutí kůže, tvorbě vrásek a nepřímo zvyšuje riziko rakoviny prostřednictvím tvorby oxidovaných bází DNA. Tento typ záření se dělí ještě na: UVA I (340 až 400 nm) a UVA II (320 až 340 nm). [1,2,4,5]

### 1.1.2 UVB záření

Jedná se o záření se střední vlnovou délkou 280 až 320 nm, které je z části absorbováno ozónovou vrstvou. UVB záření generuje v pokožce ROS a RNS, které vytváří záněty a opálení až spálení pokožky a urychluje stárnutí pokožky. ROS jsou generovány v průběhu uvolňování energie poté co světlo absorbuje chromofory, jako je melanin v kůži. Vysokoenergetické fotony UVB mohou být absorbovány buněčnými bázemi DNA a způsobit tak mutagenní léze. [1,2,4,5]

### 1.1.3 UVC záření

UVC záření je krátkovlnné záření o vlnové délce 100 až 280 nm. Oproti ostatním zářením má nejvyšší energii a jeho biologické účinky jsou nejzávažnější. Díky ozónové vrstvě je však zcela filtrováno a na zemský povrch tedy nedopadá. Používá se zejména pro plošnou dezinfekci operačních sálů. [1,2]

## 1.2 Vliv UV záření na organismus

Mezi významné vlivy prostředí, které mají dopad na lidský organismus se řadí i UV záření. Jeho působení vyvolává v organismu řadu akutních a chronických změn, které závisí na době

a intenzitě ozáření, aktuálním stavu organismu, energii fotonů nebo geneticky podmíněné odolnosti. UV záření neproniká do hlubokých vrstev tkání, proto jsou nejcitlivějším orgánem, na které dopadá, oči a kůže. [3]

### 1.3 Projevy UV záření na oči

Části, které UV záření postihuje, jsou rohovka a oční spojivka, v případě působení oblastí UVA zářením může být postiženou částí i oční čočka. Ozáření UV zářením může vyvolat zánět rohovky, zánět spojivek nebo další onemocnění. [7]

Lidské oko je velmi citlivý orgán, který je potřeba chránit před UV zářením, kterému jsme vystaveni každý den. Nejlepší ochranou jsou proto ochranné brýle s filtrem UV 400. [1]

### 1.4 Projevy UV záření na kůži

Působení UV záření na kůži neovlivňuje pouze náš vzhled ale i zdraví pokožky, které se může projevit například solárním erytémem nebo stárnutím kůže. Důležitou funkcí UV záření je tvorba vitamínu D, který napomáhá vstřebávání vápníku a fosforu v těle. Ozářením povrchu zářením z oblasti UVA nastane ztmavnutí pokožky a dosáhneme tak opálení, které je v dnešní době velmi oblíbeným trendem. [3]

#### 1.4.1 Akutní změny

Akutní změny se projevují ihned po působení UV záření na kůži. Vyvolané změny jsou ovlivněny především délkou a silou expozice. Dalšími faktory, které mají vliv na účinky na kůži jsou např. pigmentace kůže, počasí, tloušťka kůže. Mezi akutní změny řadíme solární erytém, pigmentaci, fotodermatózy a imunosupresi. [12,13]

##### 1.4.1.1 Solární erytém

Solární erytém může být vyvolán přírodními i umělými zdroji UV záření, závisí jak na době a intenzitě působení, tak i na kožním fototypu. Projevuje se na kůži velmi podobně jako zánět a to začervenaním, zvýšením teploty, napětím a bolestí. Pokud dojde k silnému popálení kůže UV zářením, objeví se v místě popálení otok a puchýře. Může být doprovázen i tělesnými změnami a to horečkou, bolestí hlavy, zimnicí nebo zrychleným tepem. Z velké části se obvykle jedná o 1. a 2. stupeň popálení (viz tabulka 1). [12]

Tabulka 1 Stupně popálení kůže [12]

Stupeň popálení	Projevy na kůži
1. Stupeň	Začervenání, bez otoku, silně pálí, rychle se hojí v řádu dnů a nevznikne jizva
2. Stupeň	Začervenání, otok, vznik puchýřků vyplněných plazmou, poškozeno i podkoží, silná bolest, hojení v řádu týdnů, při špatném ošetření vznik jizev
3. Stupeň	Žlutobílá až hnědočerná, suchá a tvrdá necitlivá, nebolestivá, hojení je obtížné a zdlouhavé v řádu měsíců, hrozí komplikace druhotné infekce, často potřebná opakovaná plastická operace
4. Stupeň	Nekróza kůže, podkoží, svalové tkáně a kosti, není možná regenerace, plastická operace nutná

Erytém může vyvolat určitá dávka UV záření, kterou lze definovat jako minimální dávku UV záření, která v daný moment dopadne na kůži a vyvolá jasně ohraničený erytém. Jednotkou minimální erytémové dávky je energie na jednotku plochy, a to v  $J/cm^2$  nebo  $J/m^2$ . Závisí především na energii, kterou kůže pohltí, bez ohledu na vztah mezi intenzitou a dobou trvání. [12,13, 14]

Při projevech na kůži v důsledku působení UV záření, záleží na fototypu jedince, věku, tloušťce kůže a vlnových délkách vyzařovaného světla ze zdroje. Vzhled erytému se může lišit, a to díky ozařování různými vlnovými délkami. Minimální erytémová dávka pro UVB záření se podle podmínek pohybuje při hodnotě  $300 J/m^2$ , pro UVA je ale vyšší a to  $300 kJ/m^2$ . [12,14]

#### **1.4.1.2 Pigmentace**

Jedním z viditelných vlivů, které se projevují na kůži po expozici UV záření je pigmentace. Můžeme ji rozdělit na časnou a pozdní. Časná pigmentace se projevuje okamžitým ztmavnutím pigmentu (IPD) a pozdní pigmentace (DPD) tvorbou nového melaninu. IPD poskytuje ochranu proti poškození epidermálních bazálních buněčných jader shromážděním

melaninu nad jádrem keratinocyty. Pozdní pigmentace po expozici UV záření je výsledkem UVB a UVA záření. Pozdní opalování vlivem UVB záření je spojeno s vyšším počtem melanocytů a se zvýšením jejich aktivity. Po ozáření UVB zářením dojde pouze ke zvýšení aktivity, ke zvýšení počtu melanocytů jsou nutné další dávky ozáření. Velký nárůst melaninových granulí v *epidermis* je zapříčiněn zrychleným přenosem melaninu do keratinocyty. Opalování iniciované UVA zářením a jeho účinky jsou závislé na vlnové délce. U UVA záření s vlnovou délkou 340–400 nm dochází ke zvýšení hustoty melaninu lokalizovaného ve vrstvě bazálních buněk. UVA s vlnovou délkou 320–340 nm zvyšuje syntézu a přenos melanosomů do *epidermis*. [3,12,20]

#### 1.4.1.3 Fotodermatózy

Fotodermatózy jsou akutním projevem, kdy se jedná o zvýšenou citlivost kůže na ozáření UV zářením. Tato citlivost dlouhodobě přetrvává, to může mít za následek širokou škálu onemocnění kůže, které nazýváme fotodermatózy. [3,12,16]

##### **Fotodermatózy vyvolané vnějšími vlivy**

Je to reakce vyvolaná chemickými látkami, které interagují s fotony z UV záření. Rozlišujeme dva typy reakcí, které se od sebe liší mechanismem vzniku a lokalizací morf způsobené vnějšími vlivy, a to fototoxickou a fotoalergickou reakcí. [3,12]

- **Fototoxická reakce**

Fototoxické reakce jsou neimunologické reakce, které jsou závislé na koncentraci látek. Po aktivaci chromoforu UVA zářením dochází k poškození buněk, to se projeví výrazně ohraničeným erytémem, který velmi svědí, pálí a může docházet i k otoku či puchýřům, později i k pigmentaci. Stejně jako u solárního erytému mohou mezi příznaky patřit i horečka a zrychlený tep. Spouštěči těchto reakcí mohou být některé léky, kontakt s některými rostlinami, parfémy nebo látky v kosmetických přípravcích. Po setkání se spouštěči se reakce dostaví po 12–72 hodinách. [12]

Léčba fototoxických reakcí spočívá ve vysazení léků nebo nepoužívání daného kosmetického produktu či parfému, přikládání chladivých obkladů, užívání kortikoidů a případné nasazení antihistaminik. Je potřebné vyhnout se slunečnímu záření, chránit pokožku oděvem a přípravky s ochranným faktorem SPF. [12, 14]

- **Fotoalergická reakce**

Fotoalergická reakce je neinfekční imunologická reakce, která se může projevit jako akutní nebo chronická. Tato reakce postihuje pouze slabší jedince a oproti fototoxickým reakcím není závislá na koncentraci látek. UVA záření aktivuje chemickou látku a způsobí tak vznik antigenu. Při dalším setkání s UV zářením dojde k vyvolání kontaktní dermatitidy. [12,16]

Charakteristickým znakem kontaktní dermatitidy je zarudnutí, pupínky a puchýře v místě dopadu UV záření a fotoalergenu. Mezi fotoalergeny řadíme antimikrobiální látky, antimykotika, složky parfémů, absorbující látky ve fotoprotektivních přípravcích a některá léčiva. Při léčbě je nutné odstranit ze svého okolí fotoalergen, který vyvolal tuto reakci, a aplikace obkladů a léků s kortikoidy. Sluneční kopřivka se také projevuje jako fotoalergie, která se objevuje v řádu minut po ozáření UV zářením. Na kůži se projevuje svěděním, začervenáním, kopřivkou a otokem. Nejčastějšími oblastmi výskytu jsou výstřih, krk a paže. Reakce obvykle ustoupí do 24 h. Můžeme se setkat s idiopatickou nebo sekundární sluneční kopřivkou. Je pravděpodobné že jde o alergii časného typu. [12,16]

#### **Fotodermatózy spojené s nestabilitou DNA**

Fotodermatózy spojené s nestabilitou DNA jsou úzce spojeny s defekty, které probíhají v reparačních procesech. Důsledkem je zvýšená citlivost ke karcinogenům a vzniku nádorů. Mezi tyto fotodermatózy patří např. *Xeroderma pigmentosum*. [12,17]

Jedná se o velmi vzácné onemocnění, které souvisí s neschopností opravit DNA poškozenou působením UV záření. [12]

Toto onemocnění je dědičné a projevuje se už v dětství. Rozlišujeme více typů onemocnění *Xeroderma pigmentosum*. Na kůži se projevuje nejprve jako hyperpigmentované a depigmentované ložisko a později přechází do nádorů. [12,17]

#### **1.4.1.4 Imunosuprese**

Jednou z věcí, kterou ovlivňuje UV záření je imunitní systém. Podle expozice UV záření rozlišujeme lokální nebo systémovou imunosupresi. Po působení UV záření dochází k poškození DNA, k přeměně kyseliny urokanové z *trans* na *cis* formu, ke spuštění receptorů v membránách a k aktivaci cytoplazmatických transkripčních faktorů. [12,15]

Při tomto procesu se uvolňuje řada prozánětlivých a protizánětlivých cytokinů, histaminů a prostaglandinů, neuropeptidů a neurohormonů. V důsledku produkce mediátorů dojde během 24 hodin od expozice UV záření k úbytku a narušení schopnosti Langerhansových buněk prezentovat antigen v *epidermis*. Potlačením imunitních reakcí dochází k oslabení

obranyschopnosti proti virům, bakteriím, parazitům, fungálním a systémovým infekcím. Imunosupresi způsobují oblasti ultrafialového záření UVB při vlnové délce 300 nm a UVA při vlnové délce 364–385 nm. [12,15]

#### 1.4.2 Chronické změny

Chronické změny jsou vyvolány dlouhodobým působením UV záření na pokožku. Při dlouhodobé expozici dochází k tvorbě kožních nádorů, poškození DNA, stárnutí a narušení imunitních reakcí. [4,12]

##### 1.4.2.1 Stárnutí kůže

UV záření ovlivňuje kůži jak po estetické, tak i po strukturní stránce. Vlivem UV záření dochází v kůži ke ztrátě elasticity, hydratace a svazků dermálních kolagenových vláken, což vede k tvorbě vrásek. Místa vystavená UV záření jsou charakterizována jemnými a hrubými vráskami, drsností, suchostí, teleangiektáziemi, ztrátou pevnosti v tahu a pigmentovými změnami. Může také docházet ke zvýšenému rozvoji maligních a benigních novotvarů na kůži stárnoucí vlivem záření. Jedná se o celkový proces, který závisí hlavně na stupni slunečního záření a kožním pigmentu. Za stárnutí kůže vlivem UV záření jsou zodpovědné především paprsky UVA záření. [4]

Trvalé působení UV záření se projevuje nejen na struktuře kůže, ale i na jejím vzhledu např. tvorbou vrásek, snížením napětí kůže, hyperpigmentací, olupováním, žloutnutím apod. Lidé, kteří se záměrně vyhýbali slunečnímu záření celý svůj život mají pokožku velmi jemnou, světlou, téměř bez pigmentací. Tato pokožka je ztenčená a ztrácí svou pružnost. Opačným případem jsou lidé s přirozeně světlou pokožkou, kteří se vystavují slunečnímu záření každý den, u nich se výrazně tvoří vrásky a hyperpigmentace. Stárnutí kůže se odráží i na buněčné úrovni kůže. [4, 19]

Důsledkem chronického vystavení UV záření reaguje *epidermis* hypertrofií. Dochází ke zvýšení tloušťky *stratum corneum*, k progresivní dysplazii s buněčnou atypií a anaplazií a k přeměně *epidermis* na akantotickou. Keratinocyty jsou nepravidelné a ztrácí svou polaritu. Sníží se populace Langerhansových buněk v *epidermis*, což přispívá k poškození imunitní odpovědi na kožní rakovinové buňky. [19]

Zdrsnění kůže vlivem UV záření je výsledkem spojení změn ve *stratum corneum* a v obsahu glykosaminoglykanů v *dermis*, které se s věkem snižuje. U kůže, která stárne vlivem UV záření paradoxně narůstá množství glykosaminoglykanů na rozdíl od přirozeně stárnoucí

kůže, ale glykosaminoglykany se v *dermis* ukládají na nevhodných místech, a tak se nemůžou uplatnit jako hydratační složky. [19]

Kůže stárnoucí UV zářením se projevuje zesílenou bazální membránou a kožními změnami, které zahrnují redukci kolagenu a prekurzorů kolagenů typu I a III, degeneraci elastických vláken, které jsou časem nahrazeny amorfní hmotou a chronickým zánětem s nárůstem degranulovaných žírných buněk, makrofágů a lymfocytů. Důsledkem zmenšení kolagenové struktury jsou krevní cévy rozšířené a mohou snadno praskat. [4, 19]

Aby mohlo dojít k fotochemickým reakcím v kůži je nutné, aby nejprve došlo absorpci ultrafialového záření chromoforem, čímž dojde ke spuštění fotochemických reakcí. Mezi tyto chromofory řadíme DNA, 7-dehydrocholesterol, aromatické aminokyseliny, cytochromy, melanin a bilirubin. Tyto reakce mohou vést k oxidaci nukleových kyselin a modifikaci proteinů a lipidů. UVB záření může být absorbováno DNA, a tak může přímo indukovat změny mezi sousedními pyrimidinovými bázemi na jednom řetězci DNA, kdežto UVA záření může generovat thyminové dimery. Změny DNA jsou opravovány nukleotidovou excizí. [19]

Nedílnou součástí anabolismu a katabolismu kůže jsou reaktivní formy kyslíku. Vlivem zvýšení oxidačního stresu a vnějšími faktory jako je sluneční záření, znečištění, kouření, nemusí být přirozené ochranné mechanismy dostatečné, a může dojít k oxidačnímu poškození.

Mezi reaktivní formy kyslíku řadíme peroxid, singletový kyslík a superoxidový anion. Za vzniku karbonylových derivátů, které se hromadí v papilární dermis fotoposkozené kůže, mohou reaktivní formy kyslíku modifikovat proteiny ve tkáni. [4, 19]

#### **1.4.2.2 Fotokarcinogeneze**

Výskyt počtu kožních nádorů stále narůstá, nejvíce ohroženými jsou lidé s prvním a druhým kožním fototypem nebo i osoby pracující venku, protože jsou často vystaveni slunečnímu záření. Tvorba nádorů probíhá ve třech základních krocích. Nejprve dojde ke změně genetické informace prostřednictvím mutace, tento krok nazýváme iniciace. Druhým krokem je takzvaná promoce, při které dochází k rozmnožení buněk s poškozenou genetickou informací, kvůli poruše kontrolních mechanismů. Třetí krok neboli progrese představuje přeměnu v metastázující či agresivní nádor. [4]

Při poškození DNA ultrafialovým zářením dojde k tvorbě volných radikálů, lokálního zánětu, zvyšuje se produkce cytokinů a také ovlivňuje imunosupresi. Díky těmto vlivům mohou vznikat maligní nádory. Mezi nejčastější kožní nádory patří bazaliom, spinaliom a



maligní melanom. Může také dojít vlivem oblasti UVB záření ke vzniku některých druhů leukémií. [12]

### **Bazaliom**

Jedná se o zhoubný nádor s velmi slabým rizikem metastázování, který vystupuje z bazální vrstvy. Nejčastěji se vyskytuje u mužů ve věku okolo 40 let v obličejové části. Věkově rizikovou skupinou jsou ale osoby nad 60 let. Setkáme se s ním v podobě uzlíku, který může vředovatět, tento uzlík je zobrazen na obrázku 1. Patří mezi nádory, které se mohou znovu objevovat i po vyléčení. [4,12]



Obrázek 1 Nodulární bazaliom obličeje [6]

### **Spinaliom**

Tento zhoubný nádor se nejčastěji vyskytuje u starších osob s bledou pletí, zejména na obličeji a hřbetech ruky. Není tak častý jako bazaliom a na rozdíl od něj má tendenci metastázovat. Vyskytuje se v podobě papule, která se rozpadne do podoby vředu nebo také bradavičnatého ložiska, které je pokryto krustou, jak je zobrazeno na obrázku 2. [4,12]



Obrázek 2 Spinaliom rtu [6]

**Maligní melanom**

Je nejzhoubnějším nádorem kůže, který se nejprve projevuje jako pigmentová skvrna neboli znaménko. Později se však přemění na zhoubný nádor. Signály, díky kterým můžeme tuto změnu zpozorovat, jsou např. zvětšení, nepravidelné okraje, změna barvy a tvaru, může se olupovat či rohovatět atd. K metastázování dochází velmi brzy po jeho vzniku. Jeho klinické formy rozlišujeme na: lentigo, povrchově se šířící, nodulární (viz Obrázek 3), akrolentiginózní a amelanotický melanom. [4,12,18]



Obrázek 3 Nodulární melanom [7]

## 2 FOTOPROTEKCE

Kůže obsahuje přirozené mechanismy, které ji přirozeně chrání před UV zářením. Jedním z nich je schopnost kůže filtrovat značnou část paprsků. Tato schopnost závisí na fototypu kůže (viz. Tabulka 2). [21,27]

Tabulka 2 Rozdělení kožního fototypu [30]

Fototyp	Reakce kůže
I	Vždy zrudne, nepigmentuje
II	Zrudne, pigmentuje jen mírně
III	Zrudne zřídka, pigmentuje
IV	Nerudne, pigmentuje dobře
V	Tmavší kůže
VI	Černoši

Velmi účinným eliminátorem UV záření je melanin, který při působení UV záření ve větším množství ale není dostačující, a proto musíme pro ochranu použít i další látky jako jsou např. UV filtry. Jedná se o tzv. fotoprotekci, což je základní profylaktický a terapeutický prvek. Vývoj fotoprotekce byl podporován změnou návyků chování lidské společnosti. [27,28]

Moderní lokální fotoprotekce zahrnuje, jak primární ochranné faktory jako jsou opalovací krémy, tak i sekundární ochranné faktory jako jsou například antioxidanty, enzymy opravující DNA nebo osmolyty. Primární ochranné faktory absorbují či odrážejí UV záření, sekundární ochranné faktory naopak mohou narušit fotochemickou kaskádu spuštěnou UV penetrací a tím omezit poškození kůže. [28]

Opalovací krémy obsahují právě UV filtry, jejichž úkolem je pohlcovat nebo odrážet dopadající UV záření a chránit tak organismus před nepříznivými vlivy. Odlišujeme od sebe dva typy, chemické a fyzikální UV filtry. [21,27,28]

### 2.1 Chemické UV filtry

Chemické UV filtry, často nazývané i jako organické UV filtry, jsou látky, které se vstřebávají do pokožky a následně pohlcují UV záření, které na ni dopadá. Přípravky s filtry je doporučeno nanést 20-30 minut před sluněním, z důvodu důkladného vstřebání. Nevýhodou u některých starších chemických filtrů, které mají nižší fotostabilitu, je náchylnost k alergickým reakcím a možné vstřebávání prostřednictvím pokožky do krevního

oběhu. Tato nežádoucí vlastnost se projevuje negativním vlivem na hormonální systém. Projevy alergické reakce byly zaznamenány například u kyseliny *p*-aminobenzoové (PABA), která už dnes není na seznamu povolených filtrů. Mezi bezpečné organické filtry můžeme zařadit např. Mexoryl SX (Terephthalylidene Dicamphor Sulfonic Acid), Meroxyl XL (Drometrizole Trisiloxane), Tinosorb M (Methylene-bis-benzotriazolyl tetramethylbutylphenol) a ethylhexyl triazon. [28]

### 2.1.1 Mexoryl SX

Mexoryl SX se také nazývá jako ecamsule a jeho chemický název dle INCI názvosloví je Terephthalylidene Dicamphor Sulfonic Acid. Jedná se o organický širokospektrální absorbér UVA záření s maximální absorbancí při vlnové délce 334 nm. Mexoryl SX prošel velkým počtem klinických studií účinnosti a bezpečnosti. Byla prokázána jeho účinnost při prevenci před mnoha negativními účinky expozice UV záření jako jsou např. nadměrná pigmentace, imunosuprese, fotodermatózy, léze DNA, fotostárnutí atd. [22,23]

### 2.1.2 Tinosorb M

Tinosorb M se řadí mezi širokospektrální látky obsaženy v opalovacích krémech. Pokrývá spektrum vlnových délek od 303 až po 360 nm. Dochází k minimalizaci možnosti systémové absorpce nebo endokrinních účinků vlivem velké velikosti molekul. Působí jako hybrid mezi organickými a anorganickými filtry, kombinuje technologii mikronizovaných částic anorganických filtrů s organickou molekulou a společně tyto vlastnosti slouží k absorpci, rozptylu a odrazu UV záření. [23]

## 2.2 Fyzikální UV filtry

Fyzikální neboli anorganické UV filtry působí především jako fyzikální blokátory, na principu rozptylu a odrazu UV záření. U fyzikálních UV filtrů je velmi důležitá velikost částic a jejich rozptýlení. Optimální velikost částic anorganických UV filtrů se pohybuje v rozmezí 20–50 nm. Tyto částice vytvářejí na pokožce ihned po aplikaci tenký film, který odráží UV záření. Částice s velkými rozměry vytváří tzv. bílý povlak, který vymizí po mikronizaci částic. Při použití kvalitních materiálů je možné snížit tvorbu bílého povlaku, který je pro tyto filtry obvyklý a kosmeticky nevhodný. Tento bílý povlak se projeví pouze po nanesení přípravku na mokrou pokožku jinak je prakticky neviditelný. Mezi nejvyužívanější fyzikální filtry řadíme oxid zinečnatý a oxid titaničitý, pro svou barvu se používají i k výrobě make-upů a denních krémů. Kombinací těchto filtrů získáme

širokospektrální ochranu před UV zářením. Na rozdíl od chemických UV filtrů jsou vhodné do ochranných přípravků na opalování pro citlivou a dětskou pokožku. [21]

### 2.2.1 Oxid titaničitý

Většinou známý jako titanová běloba ( $\text{TiO}_2$ ), jedná se o extrémně inertní bílý materiál. V přírodě se vyskytuje ve dvou formách: anatas a rutil. [24]

Můžeme se s ním setkat v podobě prášku. Pro svou významnou krycí schopnost se používá do dekorativní kosmetiky jako jsou například make-upy nebo krycí pudry. Oxid titaničitý absorbuje především UVB záření, ale ve velmi malé míře i UVA záření. [25]

### 2.2.2 Oxid zinečnatý

Oxid zinečnatý ( $\text{ZnO}$ ) jinak nazývaný jako zinková běloba, vyskytující se v přírodě, patří mezi nejvyužívanější oxidové materiály. Byl znám už ve středověku, ale cíleně se začal používat v novověku jako bílý pigment, při vulkanizaci kaučuku, v elektronice a optoelektrice. Velký zájem o oxid zinečnatý vyvolala úspěšná příprava  $\text{ZnO}$  ve formě nanočástic. [24]

V současné době je celosvětová produkce  $\text{ZnO}$  velmi pestrá, používá se například jako aditivum při výrobě pryže, do cementů a betonů, v elektronice, v senzorech, katalyzátor do některých organických reakcí. Dále jako UV absorpční přísada do kosmetických přípravků, složka léčiv, složka potravinových doplňků pro lidi i jako přísada do krmiv pro zvířata atd. [25]

V kosmetice se využívá do dekorativní kosmetiky a opalovacích krémů, jelikož pohlcuje jak UVA, tak i UVB záření. Pro vodní organismy vykazuje  $\text{ZnO}$  vysokou akutní a chronickou toxicitu, pro člověka je naopak považován za bezpečnou látku. Se stále se zvyšující produkcí nano oxidu zinečnatého bylo zjištěno, že zmenšování struktur  $\text{ZnO}$  a odpovídající zvětšování jejich specifického povrchu zvyšuje možnost jejich průniku do organismu a buněk, a snadnější rozpustnost v extracelulárních a intracelulárních tekutinách za vzniku zinečnatých iontů. [25,26]

## 2.3 Přírodní látky jako fotoochrana

Vystavení intenzivnímu ultrafialovému záření u některých organismů, vyvolalo vznik různých fotoadaptivních mechanismů, mezi které můžeme zařadit produkci antioxidantů a sekundárních metabolitů, které absorbují UV záření. Společným znakem molekul je jejich

$\pi$ -elektronový systém, ten se primárně nachází ve strukturách konjugovaných dvojných vazeb, které se vyskytují jak v lineárních molekulách, tak v mnoha aromatických a cyklických sloučeninách. [29]

Důležité sekundární metabolity působí jako UV blokátory, mezi tyto metabolity patří fenolové kyseliny, neflavonoidy, flavonoidy, terpenoidy a další látky. Při použití těchto látek dochází k zabránění pronikání záření do kůže, které způsobuje snížení zánětů, oxidačního stresu a účinku poškozujícího DNA. Mezi ingredience přírodního původu, které obsahují tyto metabolity patří například propolis, jahody, kurkuma, ginkgo biloba a zelený čaj, *Carica papaya*, *Rosa kordesii* anebo např. lignin. [29]

### 2.3.1 Propolis

Jedná se o přírodní produkt sbíraný včelami a získávaný z rostlinných pryskyřic. Včely používají propolis jako stavební a ochranný materiál, kterým vyztužují buňky pláství a opravují trhliny v úlu. Jeho vlastnosti, jako je barva, vůně a chemické složení závisí na času a místě sběru rostlinných pryskyřic včelami. V medicíně se používá například díky jeho protizánětlivým, imunitu stimulačním, antiseptickým nebo antioxidačním účinkům. Výtažky ze zeleného a hnědého brazilského propolisu působí jako prevence proti oxidačnímu stresu v kůži způsobeného UV zářením. Extrakt ze zeleného propolisu obsahuje větší množství aktivních sloučenin jako jsou například kyselina kumarová, drupanin, bacharin a erterpilin C, které mají za následek vyšší antioxidační aktivitu. Aplikace surového ethanového Sydney propolisu účinně snižuje kožní záněty, imunosupresi a peroxidaci lipidů vyvolanou expozicí UV záření. [27,28]

### 2.3.2 Jahody

Jedním z důležitých zdrojů antioxidantů jsou jahody. Anthokyaninový extrakt z jahod má protizánětlivé, antioxidační, antimutagenní a antikarcinogenní vlastnosti. U lidských dermálních fibroblastů byly prokázány jejich fotoprotektivní vlastnosti. Extrakt je schopný blokovat destrukci kolagenu a zánětlivé reakce prostřednictvím transkripčních signálů NF-KB a MAPK. Dále pak zvyšuje životaschopnost buněk a snižuje poškození DNA vyvolané UVA zářením. [28,42]

### 2.3.3 Kurkuma

Jedná se o oddenkovou rostlinu, která pochází z Asie. Používá se jako koření, ale primárně slouží k léčbě zánětlivých stavů v ájurvédské medicíně. Aktivní složkou oddenků kurkumy

jsou demethoxikurkumin, bisdemethoxykurkumin a kurkumin. Demethoxikurkumin a bisdemethoxykurkumin potlačují působení UV záření v oblasti UVB. Kurkuma má antikarcinogenní, antidiabetické, antioxidační účinky a napomáhá při léčbě Alzheimerovy choroby. [28, 42]

#### **2.3.4 Ginkgo biloba a zelený čaj**

Tyto látky jsou široce využívány do přírodních produktů obsahující antioxidanty díky jejich schopnosti vázat volné radikály. Antioxidační vlastnosti extraktů z těchto rostlin jsou dány především obsahem flavonoidů. Výtažky z Ginkgo biloby jsou bohaté na flavonoidy, biflavony a terpenové trilaktony, které mají protizánětlivé a vasodilatační účinky. Výtažky z listů zeleného čaje obsahují lipidy, minerály, organické kyseliny, terpeny, alkaloidy, fenolové kyseliny, flavonoidní glykosidy a anthokyanidiny. Každá z rostlin chrání před různými aspekty poškození kůže a v kombinaci poskytují podstatnou fotoochranu. [35]

#### **2.3.5 Carica papaya**

Papája je jednou z ovocných plodin pěstovaných v tropických a subtropických zónách. Papájové slupky se často využívají v kosmetice, můžeme se s nimi setkat v přípravcích do koupele spolu s esenciálními oleji, které mají vyživující, osvěžující či relaxační účinky, ale také může napomáhat svalovému relaxu a při bolestech hlavy. Dále se s papájou můžeme setkat např. v opalovacích krémech, kde se přidává kvůli své schopnosti absorbovat UV záření a zklidňujícímu účinku, díky obsahu vitamínu A, který napomáhá obnově poškozené pokožky. [31,32]

#### **2.3.6 Rosa kordesii**

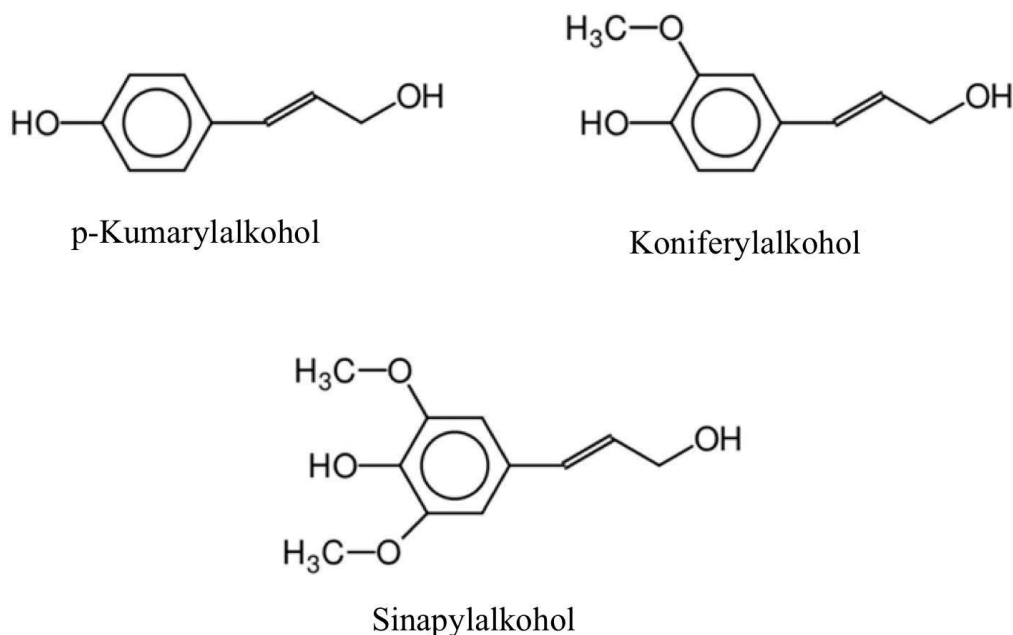
Růže jsou jedny z nejnáměšších a nejoblíbenějších květin na světě. Jedná se o dřevinatou trvalku. Růže má také antioxidační a fotoprotektivní vlastnosti, proto je velmi dobrým kandidátem pro použití v kosmetických a farmaceutických formulacích. [33,34]

### 3 LIGNIN

#### 3.1 Složení a struktura

Lignin je po celulóze druhý nejrozšířenější biopolymer na planetě Zemi. Schopnost syntézy ligninu se stala zásadní při evoluční adaptaci rostlin při přechodu z vodního prostředí na souš. Lignin se nachází ve všech cévnatých rostlinách (Boerjan 2013). Poskytuje strukturální integritu dřevu, je lokalizován mezi celulóзовými vlákny ve formě směsi s hemicelulózou. V přírodní formě se může molekulární struktura lišit, dle původu ligninu. [36,37]

Je amorfni hydrofobni a aromatický heteropolymer, přičemž jeho struktura je založena na třech hydroxycinnamyl alkoholových monomerech, které se liší stupněm methoxylace. Tyto monomery jsou ligninové prekurzory, které se nazývají monolignoly, a jsou to *p*-kumarylalkoholu, koniferylalkoholu a sinapylalkoholu, jejich struktura je zobrazena na obrázku 4. [36,37]



Obrázek 4 Monomery ligninu [36]

Monolignoly vytvářejí při polymeraci ligninové podjednotky, které se nazývají *p*-hydroxyphenyl (H), guaiacyl (G), a syringyl (S). Přesnou strukturu ligninu v rostlině je obtížné určit, množství a složení se liší v závislosti na rostlinném druhu, buněčném typu a



vrstvě buněčné stěny. Navrhované struktury ligninu jsou založené na chemické a spektroskopické analýze extrahovaného ligninu nebo na celobuněčné NMR analýze. [37,43]

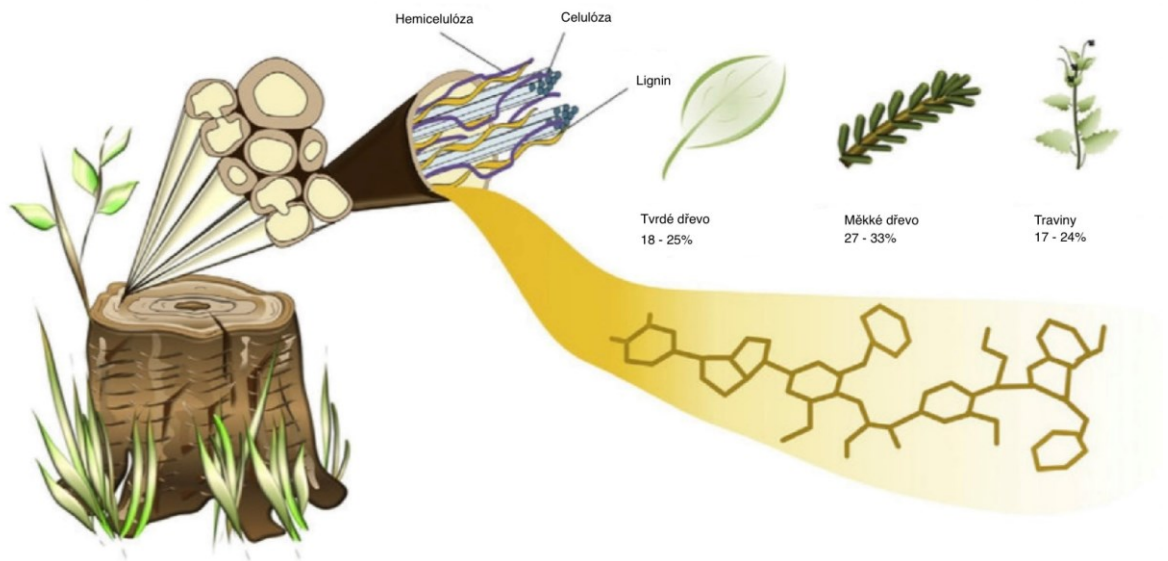
Lignin chrání polysacharidy buněčné stěny např. před mikrobiální degradací a tím dodává rostlině odolnost proti rozkladu. Je také jedním z nejdůležitějších limitujících faktorů při přeměně rostlinné biomasy na buničinu nebo biopaliva. Velmi nákladným procesem je odstranění ligninu z rostlinné biomasy, proto se nyní úsilí zaměřuje na výzkum rostlin, které buď ukládají méně ligninu, nebo produkují ligniny, které jsou přístupnější chemické degradaci. Lignin je hlavním odpadním produktem při zpracování dřeva na celulózu a papír. [43]

Jsou dostupné dvě kategorie ligninu, a to alkalický a sulfonovaný lignin (lignosulfonát). Alkalický lignin není rozpustný ve vodě, ale naopak lignosulfonát se rozpouští ve vodě velmi snadno díky přítomnosti hydrofilních sulfonátových skupin. [43,64]

Biorafinace může také poskytnout buď extrahovaný lignin nebo zbytkový lignin po předúpravě, biologické dekonstrukci a konverzi celulóзовého materiálu. Během procesu biorafinace nebo rozvlákňování může dojít k degradaci struktury ligninu v rostlině, za vzniku menších molekul s novými funkčními skupinami. [64]

### 3.2 Zdroje ligninu

Zdroje ligninu dělíme do tří kategorií podle chemické struktury jejich monomerních jednotek: lignin z měkkého dřeva (např. borovice, smrk, piliny), lignin z tvrdého dřeva (především eukalyptus) a lignin z travin (např. *Salix purpurea*, pšeničná sláma) lignin v těchto podobách je zobrazen na obrázku 5. Lignin z měkkého dřeva je především aromatický polymer na bázi quaiacylpropanových jednotek spojených etherovými vazbami a vazbami uhlík-uhlík. Lignin z tvrdého dřeva je složen ze zhruba stejného množství quaiacylu a syringylpropanu. Lignin z travin se skládá z quaiacylových, syringilových a p-hydroxyfenylpropanových jednotek. Dle způsobu extrakce ligninu z výše uvedených zdrojů se jedná o technické ligniny. Ty jsou vedlejším produktem výroby celulózy, papíru, celulóзовého ethanolu a dalších průmyslových odvětví. Podle metody zpracování existují typy ligninů známé jako lignin z mletého dřeva, enzymatický lignin, Kraft lignin, lignin sodný atd. [64]



Obrázek 5 Výskyt ligninu v přírodě. [65]

### 3.3 Lignifikace

Lignin vzniká během procesu, který se nazývá lignifikace, je jejím konečným produktem. Lignifikace je součástí normálního vývoje rostliny, nebo může být vyvolána např. programovanou depozicí ligninu nebo různými biotickými a abiotickými stresovými podmínkami jako je poranění, patogenní infekce, metabolický stres a poruchy ve struktuře buněčné stěny. Lignifikace probíhá ve třech krocích, prvním je biosyntéza monolignolů, dále pak transport monolignolů na místo depozice a na závěr probíhá polymerace. [38,39]

Hlavními stavebními kameny ligninu jsou hydroxycinnamylalkoholy (monolignoly) a to koniferylalkohol a sinapylalkohol, s malým množstvím *p*-kumarylalkoholu. Monolignoly jsou syntetizovány z derivátů fenylalaninu (Phe) prostřednictvím fenylpropanoidní dráhy. Phe je syntetizován šikimátovou drahou v plastidech. [38]

Procesu biosyntézy ligninu se účastní enzymy, které přeměňují fenylalanin na monolignolové jednotky ligninu. Mezi tyto enzymy patří cinamát-4hydroxylasa (C4H), *p*-kumarát-3-hydroxylasa (C3H) a ferulát-5-hydroxylasa (F4H). Jednotky vzniklé z monolignolů, které jsou začleněny do ligninového polymeru, jsou již zmiňované quaiacylové, siryngylové a *p*-hydroxyfenolové jednotky. [38,39]

Aby mohl nastat proces polymerace ligninu, je nutné transportovat vzniklé monolignoly do místa lignifikace, což znamená do buněčné stěny. Jednou z možností transportu je využití ABC transportérů, které využívají energii z ATP. [38]

Po dopravení monolignolů do buněčné stěny, jsou oxidovány (dehydrogenovány) a nastává polymerace. Enzymy peroxidázy a laktázy se podílejí na oxidaci monolignolů za vzniku radikálů, které jsou následně spojovány do ligninového polymeru pomocí etherových vazeb nebo vazeb uhlík-uhlík. [38,39]

Ligniny z nahosemenných rostlin jsou složeny, až na několik výjimek, pouze z G jednotek (s malým množstvím H jednotek), zatímco ligniny dvouděložných krytosemenných rostlin jsou složeny z G a S jednotek. Výskyt H jednotky je zvýšený u měkkého dřeva a travin. [39]

U různých druhů byla identifikována řada méně častých monolignolů a ty mohou být začleněny do polymeru na různých úrovních. Některé jednotky, jako ty odvozené od monomeru sinapylacetátu, mohou tvořit až 85 % všech S jednotek v polymeru. Složení ligninu se může lišit nejen v rozdílech ve složení ligninu mezi taxony a druhy, ale také mezi typy buněk nebo na úrovni jednotlivých vrstev buněčné stěny. [38,39]

### 3.4 Vlastnosti

#### 3.4.1 Skelný přechod

Molekulární pohyb ligninu je charakterizován fenylypropanolovými jednotkami v polymerním řetězci. Objemné molekuly postranního řetězce a mírné zesíťování vytváří intramolekulární a intermolekulární řetězce. Rigidní skupiny v hlavním řetězci a zesíťování omezují molekulový pohyb a mají vliv na zvýšení teploty skelného přechodu ( $T_g$ ). Oproti tomu objemné postranní řetězce zvyšují molekulární mobilitu ligninu v lokálním režimu relaxace. [43]

Vzhledem k rozmanitosti chemických složek a složité struktuře je teplotní rozsah skelného přechodu širší než u syntetických amorfních polymerů, jako je polystyren se stejnou molekulovou hmotností. Jakmile je iontová skupina zavedena do molekulárního řetězce, molekulární pohyb polyelektrolytového ligninu je výrazně omezen. [43,44]

#### 3.4.2 Interakce lignin-voda

Lignin existuje v živých rostlinných tkáních v přebytku vody za předpokladu že, polysacharidy a lignin tvoří složité struktury propojené chemickými vazbami. Proto byly fyzikální vlastnosti ligninu zkoumány in situ měřením rostlinné tkáně za přítomnosti vody či vlhkosti. Ve srovnání s polysacharidy v rostlinné tkáni je lignin hydrofobní. Množství hydroxylových skupin, které jsou navázané na lignin je dostatečný, proto aby mohl působit jako reakční místo pro tvorbu vodíkových vazeb s molekulami vody. [43,45]

### 3.4.3 Antimikrobiální vlastnosti

Charakteristickou vlastností ligninu je jeho antimikrobiální aktivita, tato aktivita je důsledkem schopnosti interakce s bakteriální buňkou způsobující lýzu s následným uvolněním buněčného obsahu. Kraftový lignin je účinný proti *Erwinia carotovora* a *Xanthomonas campestris pv. vesicatoria*. Ligninové nanočástice vykazují vyšší antimikrobiální aktivitu než nativní formy ligninu, je zapříčiněno větší kontaktní plochou dostupnou pro interakci s mikroorganismy a s možností proniknout do bakteriální buňky. [47]

## 3.5 Využití ligninu

### 3.5.1 Obecně

Lignin představuje zajímavé materiálové vlastnosti. Nicméně lignin je nedostatečně využíván, protože farmaceutické aplikace obnáší vyšší nároky na bezpečnost a biokompatibilitu. Hlavní důvod je v jeho složité struktuře a v jeho reaktivitě. Ale právě díky jeho reaktivitě je možné lignin modifikovat a takto upravený lignin nachází využití jak v lékařství, tak ve farmacii. Může se využívat např. pro přípravu hydrogelu, jako UV-absorbující složka a antioxidant, deriváty prokazují rovněž antivirovou aktivitu. Využití ligninu nezahrnuje pouze odvětví lékařství, ale nachází uplatnění také například v kosmetice, při aplikaci 3D tisku nebo v papírenském průmyslu jako součást lepidel na dřevo. [46]

#### *Lepidla na dřevo*

Polymerní pryskyřice jsou velmi využívány v dřevařském a papírenském průmyslu. Jejich aplikace zahrnují lepidla pro dřevěné kompozity, elektrické lamináty, vlákny vyztužené kompozity, izolace z minerálního skla či vlny atd. V průmyslu lepidel na dřevo jsou jako polymerní pryskyřice běžně používány fenolformaldehydové, močovina-formaldehydové a melanin-močovina-formaldehydové pryskyřice. Fenolformaldehyd je v tomto průmyslu využíván pro svou dobrou odolnost proti vodě a vysoké mechanické pevnosti, která zabraňuje delaminaci. [49,51]

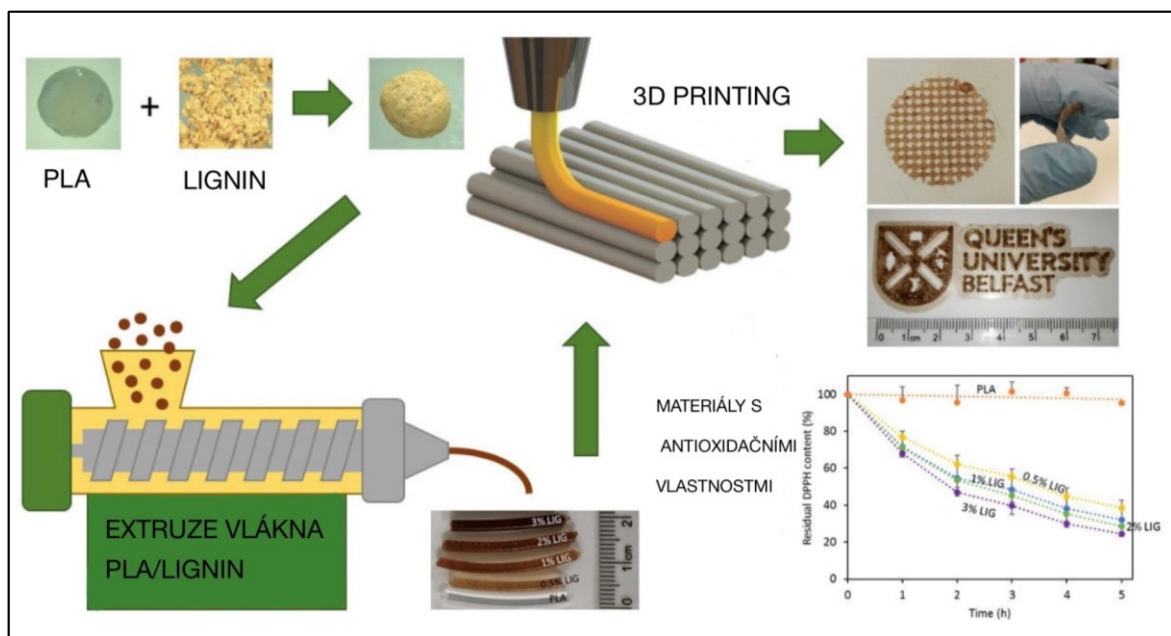
Lignin se pro své vlastnosti a nízkou cenu stal alternativou substituce fenolu ve fenolformaldehydových pryskyřicích. Mezi faktory díky, kterým je výroba fenolové náhražky pro výrobu lepidel na dřevo ekologičtější patří molekulová hmotnost a teplota tepelného rozkladu struktury ligninu. Ve srovnání s komerčními fenolformaldehydovými

lepidly jsou lepidla s ligninem pevnější. Což je zapříčiněno vyšší polykondenzací a tvorbou příčných vazeb dostupných fenolických skupin v molekule ligninu. [49,51]

### *Aplikace ligninu při 3D tisku*

3D tisk slouží k výrobě trojrozměrných složitých modelů z digitálních pomocí metody vrstvení materiálu určeného pro 3D tisk. V současné době vzrostl zájem o ekologické přírodní biopolymery, které se mohou používat jako suroviny pro 3D tisk. [49]

Jako antioxidační přísadu lze použít lignin, díky kterému můžeme vyrobit mřížky (viz. Obrázek 6) o tloušťce 1–1,5 cm pomocí depozice ligninu na PLA filamenta využitelných pro hojení ran. PLA neboli polylaktid je materiál vyrobený z přírodních surovin, jako jsou rostlinné škroby a cukry, který je termoplastický a využívá se pro výrobu 3D tiskových modelů. Potištěné vlákna PLA s vysokým obsahem ligninu sodného vykazovala špatnou mezivrstvou adhezi, tento problém je ale možné řešit relativním zvýšením teploty tisku nad teplotu 215 °C. Toto zvýšení teploty způsobuje zdrsňení povrchu u potištěných produktů což je v souladu s tepelným rozkladem ligninu. Naopak při nízkých teplotách filamenta způsobují potíže při tisku aglomerací ligninu, která vede k ucpaní trysek, kvůli jejich komplexní viskozitě. [49,50]



Obrázek 6 Vizualizace výroby 3D tisku pomocí ligninu a PLA. [53]

### 3.5.2 Kosmetika

#### *Opalovací krémy na bázi ligninu*

Chemické UV filtry v opalovacích krémech pohlcují UV záření, což často vyvolává změnu struktury molekuly UV filtru. Tato změna může vést ke změně vlastnosti molekuly, a ta se stává senzibilující či toxická, a to má za následek vyvolání např. alergické reakce. U některých UV filtrů bylo prokázáno že způsobují kožní vyrážky u jedinců s citlivou pokožkou. V posledních letech jsou chemické UV filtry nahrazovány přírodními sloučeninami absorbujícími UV záření. Tyto přírodní látky izolované především z rostlin, jsou využívány díky jejich širokému spektru účinnosti a nízké toxicitě. [37,43]

Lignin je jedním z rostlinných materiálů, který je schopen absorbovat UVA a UVB záření. U standardní velikosti mikročástic ligninu je absorpce UV záření nedostatečná, proto je nutné zvýšit jeho účinnost převedením na nanočástice. [43]

Lignin nechrání pokožku pouze absorpcí záření, ale také před reaktivními formami kyslíku, které vznikají v důsledku UV záření v kůži. Jako antioxidant může rovněž zamezit oxidaci lipidů v opalovacích krémech. Nežádoucí je zbarvení ligninu, které se vyznačuje hnědou až černou barvou, tím se omezuje jeho možnost využití. Pomocí chemických modifikací např. acetylací či UV zářením, můžeme docílit zesvětlení ligninu. Opalovací krémy s bělenými ligniny mají ale nižší hodnoty SPF což je způsobeno modifikacemi, které působí na strukturní skupiny, ty však hrají hlavní roli v absorpci ligninu UV zářením. [37,43]

#### *Vanilin*

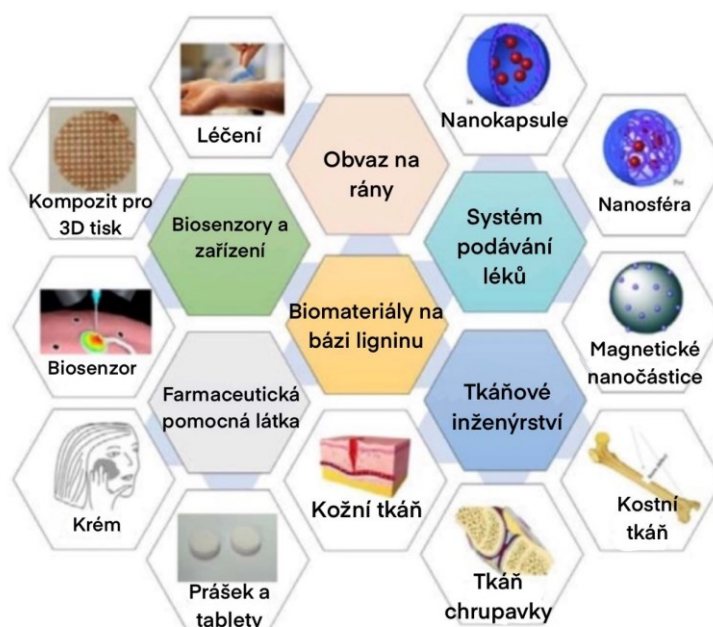
Některé meziproducty biotransformace ligninu mají vysokou přidanou hodnotu. Jako konečné producty je možné hromadit meziproducty s vysokou hodnotou, kvůli změně metabolických drah, mezi které patří například vanilin a kyselina mukonová. [48]

Vanilin je aromatická sloučenina, která je široce používána v potravinářství a kosmetickém průmyslu. Jeho bohaté vanilkové aroma je vhodné jako ochucovadlo v potravinách a nápojích. V kosmetického průmyslu se však používá ze stejného důvodu jako vonná přísada do parfémů. [48]

### 3.5.3 Farmacie a medicína

Lignin se začal používat i ve farmacii, jeho výzkum je však ještě v počáteční fázi. Ligninové částice v upraveném stavu vykazují větší poměr povrchu k hmotnosti oproti jiným biopolymerním částicím. Lignin patří mezi látky s amfifilní povahou, a obsahuje jak

hydrofobní, tak hydrofilní část. Lignin se ve farmacii uplatňuje např. v systémech při dodávání léků, jako biomateriál, farmaceutická pomocná látka a další které můžeme vidět na obrázku 7. [52]



Obrázek 7 Schématické znázornění lékařských aplikací na bázi ligninu. [60]

Dále se lignin ve farmacii uplatňuje pro své biologické vlastnosti, zejména antioxidační, antimikrobiální, protinádorové, antiUV a imunoregulační vlastnosti. Tyto vlastnosti mohou napomáhat v boji proti zánětlivým onemocněním a oxidačnímu stresu. Vložení lipofilního léčiva může zvýšit biologickou dostupnost a rozpustnost aktivních sloučenin včetně kurkuminu a resveratrolu. Zvyšuje také schopnost absorpce léčiva, bezpečný transport a řízené uvolňování. Díky tomu mohou částice ligninu sloužit jako přirozené systémy dodávání léčiv, které poskytují biokompatibilitu, biologickou odbouratelnost a nízkou imunogenicitu. Některé částice mají antibakteriální vlastnosti a je možné je použít v podobě mikrokuliček, liposomů, filmů a gelů. Některé vědecké výzkumy naznačují, že částice ligninu mohou být vhodné pro cílenou léčbu nádorů a rakoviny. Také mohou být použity v genové terapii, díky jejich nízké přirozené cytotoxicitě a mohou být novou alternativou k polyethylaminu. Tento proces může vyžadovat různé modifikace ligninové struktury pro vytvoření specifických míst, která mohou přitahovat molekulu DNA. V enkapsulaci se lignin začal používat jako obal pro ochranu léčiv, v závislosti na metodě syntézy bylo léčivo zaenkapsulováno do emulze olej ve vodě nebo mikrofluidního systému. [52]

### ***Léčiva***

Některé sloučeniny odvozené od ligninu jsou specifické a mohou být použity jak k formulaci léčiv určených ke zmírnění symptomů nemocí, tak pro formulaci materiálů pro dodávání léků. Sulfitové a sulfátové ligniny jsou běžně používané ligniny k syntéze farmaceutických produktů. Depolymerace ligninu je běžně používaným mechanismem pro využití ligninu a získání derivátů pro syntézu biologicky aktivních sloučenin, které je možné použít k léčbě viru *Herpes simplex*, viru chřipky a dalších. Cytotoxicita léčiv je velmi důležitým faktorem. Ligniny byly shledány jako bezpečné a nenarušující životaschopnost buněk. Nízká cena a netoxické vlastnosti jsou značnou výhodou nanočástic ligninu používaných pro dodávání léků. Ligniny získané z cukrové třtiny bývají používány jako lékové nosiče k podávání methotrexátu a k léčbě revmatoidní artritidy. [54]

### ***Tkáňové inženýrství***

Tkáňové inženýrství se věnuje vývoji a navrhování alternativ pro výměnu nebo obnovu poškozených orgánů a tkání. Díky své biokompatibilitě, necytotoxicitě, nízké ceně a vhodné biologické rozložitelnosti je lignin ve srovnání se současnými komerčními materiály nejvýhodnější. Lepší mechanické vlastnosti a buněčnou afinitu je možné zajistit vložením ligninu do matrice polymerních kompozitů. Široká biologická aktivita ligninu spustila široké aplikace kompozitů na bázi ligninu v tkáňovém inženýrství. Tkáňové inženýrství lze rozdělit do více oblastí, jako jsou inženýrství kostní tkáně, inženýrství svalové tkáně atd. [54]

#### ***a) Aplikace kompozitů při regeneraci kostí na bázi ligninu***

Kosti mají hlavní roli při ochraně orgánů v těle a při pohyblivosti člověka. Struktura kosti je velmi složitá skládá se z kolagenových vláken, minerálů a různých buněk, které slouží jako aktivní složky. [53]

Umělé kostní skafoldy napodobují porézní strukturu kosti a funkci kolagenového vlákna jako extracelulární prostředí pro připojení buněk. Jako minerální složka se používá fosforečnan vápenatý, ten je klíčový pro fyzikální stabilitu kostní tkáně a pružnost kosti.

Perfektní kostní skafold musí zajistit účinnou buněčnou diferenciaci, regeneraci a zároveň poskytnout odpovídající stabilitu pro usnadnění správné opravy kosti. Je tedy velmi důležité vyrobit skafold se správnou biologickou odbouratelností a fyzikálními vlastnostmi srovnatelnými s hostitelskou tkání. Diferenciace kostních kmenových buněk je regulována některými aktivními proteiny a buněčnými signály. Přidáním aktivních látek do umělých implantátů může být regulována řízená kostní regenerace. [56,54]



Běžně používané materiály ke konstrukci kostních skafold jsou například kov, keramika a polymery. Tyto materiály mají však jistá omezení, kovové skafoldy mohou podléhat korozi *in vivo*, keramické skafoldy jsou zase velmi křehké a polymerní sloučeniny mají nedostatečnou stabilitu. Z tohoto důvodu je pro kostní tkáň důležitý vývoj skafoldů s obsahem polymerů a aktivních sloučenin. [53]

Díky rozmanité biologické aktivitě ligninu je možné jeho spojení s organickými či anorganickými polymery za účelem výroby kompozitů na bázi ligninu pro kosterní inženýrství. Například Luzi a kol. (2020) zkoumali vliv PLA, což je typ polyesteru vyrobeného z fermentovaného rostlinného škrobu z kukuřice, cukrové třtiny a manioku, a lignin/ZnO filmu na regeneraci lidské kosti. Zjistili, že kostní mezenchymální kmenové buňky a tukové kmenové buňky úspěšně rostou na filmu. Fokální adhezní skvrny vinculinu na všech PLA filmech naznačovaly, že lidské kostní mezenchymální kmenové buňky dobře integrují s matricemi. Zahrnutí ligninu a ZnO zvýšilo tuhost a elasticitu filmu. [57]

Membrána z nanovláken obsahující lignin usnadňuje účinnou adhezi a proliferaci osteoblastů tím, že vede k extenzi filopodií. V současnosti se lignin přidává do hydrogelů za účelem vytvoření kompozitů pro inženýrství kostní tkáně. Lignin vykazuje vynikající účinnost při indukci diferenciaci osteoblastů a inhibici tvorby osteoklastů během kostní regenerace. Začlenění ligninu do polymeru pro přípravu kostního skafoldu by mohlo zlepšit vlastnosti, které jiné materiály nemohou. [54, 50]

### ***b) Aplikace kompozitů při regeneraci jater***

Játra mají základní funkci v metabolismu a detoxikaci v lidském těle. U pacientů s vážným onemocněním jater jako je rakovina, cirhóza a hepatitida jater je konečným řešením transplantace jater. Problémem je však nedostatek dárců, proto v posledních letech dochází ke vzrůstu jaterního tkáňového inženýrství pro vývoj nových materiálů skeletu a strategií buněčného inženýrství. [54]

Lignin je možné použít jako systém pro dodávání methotrexátu k léčbě jater, kde lignin snižuje nepříznivé vlivy methotrexátu, především snižuje degenerativní účinek jater a zabraňuje hemoragickým změnám. [58]

Byl vyvinut nový injektovatelný a vodivý hydrogel, složený z ligninu a celulózy, který vykazuje dobrou adhezi, urychluje hojení ran, snižuje ztrátu krve a není toxický. Lignin poskytuje materiálu nejen vynikající vlastnosti jako jsou antioxidační a mechanické vlastnosti, ale poskytuje i hemostatický a protizánětlivý účinek k hojení jaterních ran. [54, 58]

### *c) Aplikace kompozitů při hojení ran*

Kůže chrání organismus před vlivy vnějšího prostředí a rovněž i před invazí patogenních mikroorganismů. Ztráta kožní tkáně uvolňuje cestu mikrobům, které proniknou přes kožní bariéru a mohou zpomalit hojení rány. Proto je snaha vyvinout obvazové materiály, které usnadňují hojení ran a zabraňují infekci. [59]

Přidáním ligninu do kompozitů jako protizánětlivé a antibakteriální látky je možné překonat problémy spojené s bakteriální infekcí a zánětem v ráně. V současné době jsou nejpoužívanějšími technologiemi film a hydrogel na bázi ligninu pro přípravu kompozitů na hojení ran. Obvazy na bázi ligninu jsou prospěšné také pro regeneraci tkání, cév a depozici proteinů bílkovin, což jsou potřebné ukazatele k hojení ran. Hojení ran je navíc časově náročné, proto je nutné zajistit stálost kompozitů na bázi ligninu. [54]

### *d) Aplikace kompozitů v nervové regeneraci*

Jedním z nejsložitějších systémů v lidském těle je nervový systém. Pokrok v aplikaci systémových skafoldů je spojen s poraněním periferních nervů, které se projevuje jako poškození nebo zánět periferního nervového systému. Poškození periferních nervů je velmi bolestivé, i malé poranění nervového systému vyžaduje dlouhou dobu zotavení natož vážné poranění periferních nervů, které vyžaduje operativní léčbu nebo transplantaci. Jelikož je růst nervových buněk pomalý a citlivý na oxidační stres, tak skelet nervové tkáně vyžaduje stabilitu, stálou biologickou gradovatelnost a antioxidační kapacitu. Antioxidační schopnost ligninu poskytuje pro vývoj skeletů nový pohled na usnadnění hojení poškozeného periferního nervu a neurální regeneraci. Skafold může zvýšit proliferaci nervových buněk a expresi myelinu, která hraje zásadní roli v podpoře nervové struktury. [54]

### *Porézní hydrogely na bázi ligninu*

Hydrogely jsou trojrozměrné sítě zesíťovaných hydrofilních molekul nebo polymerů, které mohou absorbovat či zadržovat značné množství vody nebo biologických tekutin ve své struktuře. Produkty na bázi hydrogelu byly vyvinuty pro různé biomedicínské aplikace jako jsou kontaktní čočky, povrchové lubrikační povlaky, zařízení s řízeným uvolňováním léčiv, obvazů na hojení ran atd. Bobtnací kapacita hydrogelů, která je odezvou na spouštěcí stimul, by mohla být velmi vhodnou a žádoucí vlastností při navrhování systémů pro dodávání léčiv, které umožňují kontrolované uvolňování aktivních činidel. Mezi významné vlastnosti hydrogelů patří jejich biokompatibilita a biologická rozložitelnost. Hydrogely obsahují

biologicky rozpoznatelné části, které buněčné aktivity podporují i když některé mohou mít určité nevýhody v mechanických vlastnostech nebo při neočekávaných imunitních reakcích.

K přípravě hydrogelů je možné použít přírodní polymery jako je škrob, protein želatiny, celulóza, lignin, hyaluronát, alginát sodný, chitosan, kolagen a jejich deriváty. V chemické struktuře ligninu jsou přítomny hydrofilní funkční skupiny, ty podporují jeho roli polymeru pro přípravu hydrogelů. Atraktivní vlastnosti ligninu jako je například biologická odbouratelnost, biokompatibilita, netoxičita, antimikrobiální a antioxidační vlastnosti, z něj učiní významnou součást hydrogelů. [60]

Tyto hydrogely jsou udržitelnější a šetrnější k životnímu prostředí. V poslední době jsou hydrogely na bázi ligninu využívány k mnoha účelům v lékařských a farmaceutických oblastech. [60]

### 3.6 Lignin jako UV blokátor

Nenasycené funkční skupiny jsou hlavními absorbéry světla a způsobují nahnědlou až černou barvu ligninu. Tyto skupiny zahrnují konjugované karbonylové skupiny, aromatické kruhy a dvojné vazby uhlík-uhlík. [68, 69]

Lignocelulózová vlákna díky přítomnosti ligninu změni po expozici UV záření barvu na tmavě hnědou. Tato vlastnost může být velmi pozitivní pro aplikaci ligninu jako UV blokátoru, ale pro buničinu ze dřeva je spíše negativní. Světlem katalyzované fotoreakce s ligninovými chromofory jsou jedním z hlavních mechanismů foto-žloutnutí ligninu. Tyto fotoreakce vedou k tvorbě chininů a dalších chromoforů a mohou tak urychlit potenciál blokovat UV záření ihned po vystavení slunečnímu záření. Tmavá barva ligninu může ovlivnit i barvu výsledného produktu, proto byla navržena různá řešení jako je frakcionace ligninu, modifikace ligninu pomocí acetylace, která může bez ovlivnění jeho absorpčních vlastností UV záření zmírnit barvu ligninu. [64,68,69]

Sluneční záření, především UVA a UVB, zvyšuje biologické poškození kůže, degradaci organických sloučenin, změnu pigmentů, ztrátu mechanických vlastností a dalších vlastností kůže, kdy výsledkem je stárnutí kůže. Vlastnosti UV záření a jeho vliv na organismus byl popsán v prvních kapitolách bakalářské práce. Pro snížení škodlivých účinků UV záření jsou potřebné UV absorbéry. [68]

Jako UV filtry se nejčastěji používají syntetické organické anebo minerální látky. Díky nepříznivým účinkům syntetických UV filtrů na kožní tkáň jsou v poslední době více vyhledávané přírodní UV blokátory. Nicméně většina přírodních produktů nemá schopnost blokovat celé spektrum UV záření. Jako přírodní alternativy se využívá např. olej ze zelené kávy a extrakty *Carica papaya* a *Rosa kordesii* a jednou z možností může být právě i lignin. [64,68]

Lignin se může používat jako přírodní UV blokátor například do opalovacích krémů, jeho přidáním se může zvýšit SPF díky širokospektrální UV absorpci a antioxidačním vlastnostem. Aby došlo ke zlepšení účinnosti a blokování UV záření, je nutné provést modifikaci, čištění a frakcionaci ligninu. [68,69]

### 3.6.1 Lignin jako UV blokátor pro obaly a folie

Průhledné a flexibilní filmy s obsahem ligninu se připravují za pomoci gellanové gumy, 2-hydroxyethylcelulózy a kompozitu sulfonovaného ligninu z měkkého dřeva. Ty se využívají pro balení potravin v biomedicínských aplikacích. Začleněním ligninu do kompozitních filmů, získají filmy vlastnosti vysoce blokuující UV záření, především ochranu před UVB zářením až 100% a proti UVA záření až 90% i tepelné, mechanické a hydrofobní vlastnosti. [64]

Vlákna alkalického ligninu s nízkým obsahem sulfonátu nebo polyvinylalkoholu jsou elektricky zvlákněvaná v různých koncentracích ligninu a díky tomu mají antimikrobiální a absorpční vlastnosti UV záření. Lignin byl polyvinylalkoholem zesíťován tak, aby byl stabilní ve vodném médiu. [63,64,68]

Polymethylmetakrylátový film díky vyztužení ligninovými frakcemi z kokosových skořápek disponuje UV blokuujícími vlastnostmi. Přidání ligninu výrazně zvýšilo UV absorpční kapacitu připraveného filmu. U filmů, které obsahovaly lignin, bylo zjištěno snížení průhlednosti oproti čistému polymethylmetakrylátu, ale vykazovaly výbornou absorpční schopnost UV záření. Změna barvy ligninu je způsobena především reakcí fenolické hydroxylové skupiny obsažené v ligninu, která pod vlivem UV záření generuje fenoxylvé radikály, ty jsou následně oxidativně přeměněny z části na chinony. Chinony jsou účinné chromofory, jejich fotooxidace na struktury alifatické kyseliny povede k vybělení ligninu. V oblasti UVB záření zůstává UV absorpční kapacita filmů stejná, ale v oblasti UVA záření se absorpce snížila. [66,68]

Příprava a charakterizace poloprůhledných pružných celulóзовých fólií vázaných kovalentně s obsahem ligninu prokazovala vysoký potenciál blokování UV záření. Celulózo-ligninové filmy byly připraveny regenerací v acetonu, kvůli vzniku homogenní struktury filmu. U připravených filmů se projevovala vysoká ochrana před UV zářením. UV ochrana připravených filmů byla trvalá při tepelném zpracování při 120°C po dobu 2 hodin. Celulózo-ligninová fólie blokující UV záření na bázi obnovitelných zdrojů byla vyrobena smícháním taninu a ligninu s polypropylenem pomocí dynamické vulkanizační metody. Vulkanizovaný tanin a lignin poskytuje lepší ochranu proti UV záření s menšími změnami povrchové morfologie, karbonylového indexu, krystality, viskozity a tahových vlastností. [67,68]

Film vyrobený z kompozitu lignosulfonátu a jílových materiálů bez nutnosti použití složky na bázi ropy byl získán pomocí jednoduchého procesu zahrnujícího odlévání ligninu smíchaného s přírodními jílovými minerály dispergovanými ve vodě. Tento vyrobený film vykazuje výborné ochranné vlastnosti proti UV záření. [68,69]

Biodegradabilní film pocházející z roubovaného ligninu sodného s kyselinou 10-undecanovou a olejovou byl připraven pomocí procesu bez rozpouštědel a katalyzátorů. Výsledné ligninesterové deriváty a surový lignin byly smíchány v tavenině s biodegradabilním polybutenadipát-ko-tereftalátem (PBAT) za účelem přípravy UV ochranných filmů. Nový kompozit obsahující lignin vykazoval dobrou disperzi ligninových částic s vynikajícími mechanickými vlastnostmi. Tyto filmy vykazovali ochranu proti UV záření v širokém rozsahu UV světla (280–400 nm). [68,69]

Částice  $\text{TiO}_2$  s obsahem ligninu byly syntetizovány hydrotermální metodou ve vodném roztoku, aby se zlepšila účinnost stínění UV ligninových částic. [69]

### 3.6.2 Lignin jako UV blokátor pro laky a olejem potažené materiály

Jako UV blokátor pro laky se používá organosolvovaný lignin (OL) z borovicového dřeva ve formě nanokoloidních částic. Propustnost UV laku s 1% OL byla nižší než u komerčního laku se syntetickým blokátorem UVB a UVA záření. Při ozařování UV zářením vzorku s 10% ligninu po dobu 100 hodin byla prokázána blokáce 86% pro UVA a 69% pro UVB záření s menší barevnou změnou v porovnání s čistými a komerčními laky. [64,68]

Koloidní formulace ligninu prokazovala lepší kompatibilitu, blokování UV záření a fotostabilitu než původní surový lignin. Modifikace ligninu enzymatickou hydrolýzou prostřednictvím sulfomethylace v kombinaci s alkylpolyglykosidem prokázala účinnost při

použití jako emulgátor pro stabilizaci emulzí typu olej ve vodě. Po 72 hodinách UV ozáření prokázaly produkty s ligninem vynikající UV ochranu alespoň o 30% vyšší než kontrolní vzorek. [64,68,69]

### 3.6.3 Lignin jako ochrana mikroorganismů

Lignin hraje významnou roli v ochraně mikroorganismů před UV zářením a v podpoře růstu mikroorganismů. Při ochraně *Escherichia coli* je lignin velmi zásadní, v jeho nepřítomnosti *E. coli* vykazovala 100% úmrtnost po ozáření UV světlem po dobu 5 minut, ale v přítomnosti nanočástic ligninu po 5 minutách ozáření UV světlem byla míra přežití *E. coli* 97 %. [64, 69]

Specifické bakterie, houby a viry, které se využívají jako kontrola škůdců, jsou rychle degradovány slunečním zářením, což omezuje jejich účinnost. Přidání ligninu do pesticidních přípravků se projevilo vysokou ochranou proti slunečnímu záření především v ultrafialových vlnových délkách. [64,68]

Dále byl zjištěn účinek ligninu při ochraně entomopatogenní houby *Beauveria bassiana*, která je velmi citlivá na sluneční záření a slouží jako insekticid k potírání škůdců jako jsou štěnice či komáři přenášející malárii. Spory nepotažené ligninem ztrácejí svou životaschopnost při stimulovaném slunečním záření přibližně až desetkrát rychleji oproti sporám potaženým ligninem. [68]

U kmene *Pichia anomala* a antagonistických kvasinek jako biokontrolních činitelů posklizňových chorob ovoce byl také zkoumán vliv ligninu na ochranu před UV zářením, především UVB zářením, které může výrazně snížit účinnost a přežití kvasinek. Díky ligninu byla snížena úmrtnost kvasinek důsledkem UVB záření na povrchu plodů jablek. [68,69]

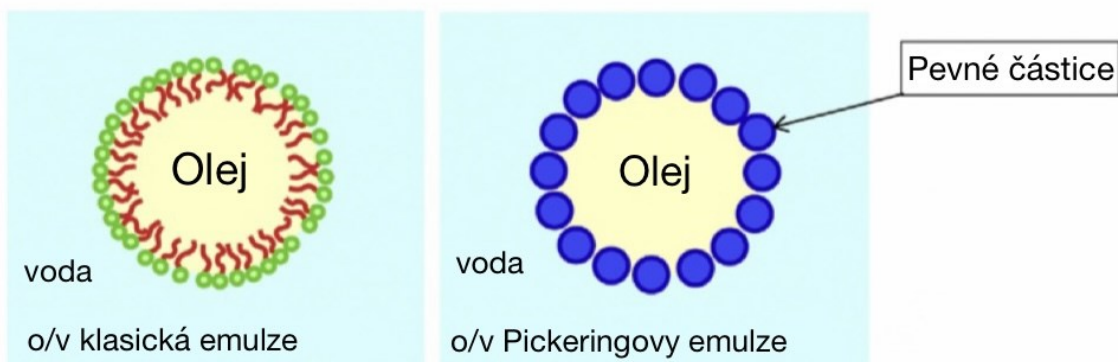
## 3.7 Lignin jako stabilizátor

Nedávno byla zkoumána aplikace přírodních a biodegradabilních materiálů jako stabilizátorů emulzí, které by nahradily běžně používané toxické a biologicky nerozložitelné sloučeniny. Velkou pozornost pro použití jako nových stabilizujících materiálů si získali nano a mikro částice získané z různých typů ligninů. [47]

Emulze jsou nestabilní systémy což je zapříčiněno vysokou povrchovou energií, která působí mezi dvěma nemísitelnými fázemi. Z tohoto důvodu musí být přítomna povrchově aktivní látka schopná snížit povrchovou energii. Většina povrchově aktivních látek pochází z neobnovitelných prekurzorů a obecně nejsou biologicky odbouratelné. Lignin obsahuje

ionizovatelné skupiny, díky kterým se řadí mezi účinné stabilizátory při výskytu elektrických odpudivých efektů. Příkladem aplikace ligninových nanočástic jako stabilizátorů je příprava Pickeringových emulzí. [47,70]

Pickeringovy emulze jsou emulze stabilizované pevnými částicemi namísto povrchově aktivních látek. Rozdíl ve struktuře molekuly klasické emulze a Pickeringovy emulze je zobrazen na obrázku 8. [71]



Obrázek 8 Rozdíl mezi klasickou emulzí a Pickeringovou emulzí. [74]

Stabilizace pevnými částicemi dodává těmto emulzím specifické vlastnosti např. vysokou odolnost proti koalescenci. [72,74]

Emulze bez povrchově aktivních látek jsou vhodnější pro použití v některých oblastech jako je kosmetika či farmacie. V těchto oblastech mohou surfaktanty často způsobovat např. kožní iritaci. Pickeringovy emulze stabilizované nanočásticemi patří mezi systémy s rostoucí popularitou, a to díky jejich výborné stabilitě, snadné přípravě a možnosti enkapsulace aktivních látek. [72,74]

Pro enkapsulaci aktivních látek mohou být vhodné emulze s vysokým poměrem vnitřní fáze, které jsou stabilizované přírodními polymery, jako jsou želatina, protein, škroby, chitosan a celulóza. Tyto emulze disponují i vlastnostmi jako je netoxičita, biokompatibilita a šetrnost k životnímu prostředí, jejich další výhodou je i jejich dlouhodobá životnost, a to díky nízkému obsahu vody v porovnání s jinými emulzemi. Tento typ emulzí nachází využití v kosmetice, v potravinách a farmacii. Nicméně zmíněné stabilizující látky poskytují přírodním aktivním látkám pouze omezenou ochranu vůči vlivům UV. [73]

Lignin jako přirozený UV blokátor může proto být vhodný pro stabilizaci emulzí i s vysokým obsahem vnitřní fáze. Avšak lignin není při neutrálních podmínkách schopen emulze s vysokým obsahem vnitřní fáze stabilizovat. Je tedy nutné molekulární strukturu a amfifilitu ligninu regulovat chemickou modifikací. [72,73]

Vhodnou volbou mohou být lignosulfonáty a kraftové ligniny, které se získávají při výrobě sulfitové buničiny. Purifikované lignosulfonáty mají široké využití díky jejich dispergačním, stabilizačním, vazebným a komplexotvorným vlastnostem. [73,75]

Lignosulfonáty jsou zesíťované polydisperzní polyelektrolyty. Jako povrchově aktivní skupinu obsahuje molekula sulfonátové, karboxylové, fenolové a methoxylové skupiny, základní stavební jednotkou v molekule lignosulfátů je derivát fenypropanu. [75]

Několik výzkumů prokázalo, že lignosulfonáty jsou výjimečnými stabilizátory emulzí typu olej ve vodě. Molekula lignosulfátů obsahuje hydrofilní a lipofilní část, přesto nevytváří micely, ale prokazují vysokou povrchovou aktivitu. [74,75]

Lignosulfonáty se dobře absorbují na rozhraní olej-voda, což je důsledkem vlastností lignosulfátů jako je jejich nerozpustnost v alifatických a aromatických uhlovodících a neschopnost snížit povrchové napětí. Pro získání stabilních emulzí musí být přidáno relativně vysoké množství lignosulfonátu. Lignosulfonát vytváří na fázovém rozhraní polotuhou bariéru, která se podílí na sterické, mechanické a elektrostatické stabilizaci. U emulzí stabilizovaných lignosulfonátem obsahující elektrolyty dochází ke snížení rozpustnosti lignosulfonátu, což způsobí přesun většího množství lignosulfonátu na fázové rozhraní olej-voda. Nicméně přítomnost solí v emulzi způsobí snížení hodnoty zeta-potenciálu emulze, což může mít za následek snížení stability emulze. To je však kompenzováno zvýšenou adsorpcí lignosulfonátu na fázovém rozhraní, vytvoření silnější stabilizující vrstvy, což vede k vytvoření stabilní emulzí i v přítomnosti solí. [75]



## ZÁVĚR

Hlavním tématem této bakalářské práce jsou přírodní látky s fotoprotektivním účinkem a jejich využití v kosmetice.

Fotoprotektivní látky působí prostřednictvím sekundárních metabolitů jako UV blokátory. Důsledkem zabránění proniknutí záření do kůže dochází ke snížení zánětu, oxidačnímu stresu a účinku poškození DNA. Mezi látky s fotoprotektivním účinkem řadíme například propolis, jahody, kurkumu, ginkgo bilobu, lignin, *Caricu papayu* a *Rosu kordesii*.

Lignin je amorfni biopolymer, jehož struktura je založena na fenylypropanu. Pochází z obnovitelných zdrojů jako jsou stromy, trávy a zemědělské plodiny. Ligniny jsou netoxické a velmi všestranné.

Potenciál ligninu v kosmetice je v oblasti použití jako přírodního blokátoru UV záření v opalovacích krémech, protože chemické UV filtry mohou být toxické nebo vyvolávat alergické reakce. Proto je lignin považován jako možná přírodní náhrada chemických UV filtrů. Ligninové nanočástice nemají jen úlohu v ochraně pokožky, ale také mohou zabránit oxidaci lipidů v opalovacích krémech díky jejich antioxidačním vlastnostem. Lignin má i jednu nevýhodu, a tou je jeho nahnědlé zbarvení, které je nutno odstranit. Mohl by ale být přidáván do make-upů, kde by jeho zbarvení bylo užitečné při tvorbě odstínu a tím by došlo ke snížení množství pigmentu v make-upu.

Možné využití ligninu ve farmacii je poměrně široké, a ještě zdaleka není plně prozkoumáno. Může se uplatnit především pro jeho antimikrobiální, protinádorové a imunoregulační vlastnosti, které mohou napomáhat proti zánětlivým onemocněním. Bylo prokázáno, že lignin zvyšuje schopnost adsorpce léčiva a umožňuje bezpečný transport a řízené uvolňování léčiv, proto mohou být využity pro cílenou léčbu nádorů a rakoviny. Jedním z odvětví lékařství, kde je lignin hojně využíván je tkáňové inženýrství, díky jeho biologické aktivitě. Aplikace ligninových kompozitů se uplatňuje např. při regeneraci jater, kostí a nervů.

Kromě možné aplikace v kosmetice a farmacii, nacházejí ligniny využití i v jiných oblastech jako je např. 3D tisk. Z tohoto důvodu je zřejmé, že potenciál ligninu a jeho využití, jako přírodního a biokompatibilního polymeru, je velmi široké a zajímavé.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

1. LAJČÍKOVÁ, A., PEKÁREK, L. *UV záření a jeho vliv na zdraví*, Hygiena, 2009, roč. 54, č.2, str. 57-61. ISSN 1802-6281
2. FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana, Zdeněk HON, Leoš NAVRÁTIL, *Biologický účinek ultrafialového záření*, Popularizace vědy, 2010, 12, str. 480-486, ISSN 1212 – 4117
3. ROSTOVÁ, Jana, Lenka BORSKÁ, Zdeněk FIALA a Jan KREJSEK. Vybrané akutní účinky UV záření na organismus. *Vojenské zdravotnické listy* [online]. 2006, LXXVč.1, 17-24
4. ROSTOVÁ, Jana, Lenka BORSKÁ, Zdeněk FIALA a Jan KREJSEK. Chronický účinek ultrafialového záření na organismus. *Vojenské zdravotnické listy* [online]. 2006, LXXV (3-4), 111-119 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <https://www.mmsl.cz/pdfs/mms/2006/03/06.pdf>
5. DUPONT, E., J. GOMEZ a D. BILODEAU. Beyond UV radiation: A skin under challenge. *International Journal of Cosmetic Science* [online]. 2013, **35**(3), 224-232 [cit. 2023-01-01]. ISSN 01425463. Dostupné z: doi:10.1111/ics.12036
6. DIVIŠOVÁ, Barbora, Petra CETKOVSKÁ a Karel PIZINGER. Nejčastější epitelové maligní kožní nádory. *Onkologie. Dermatovenerologická klinika LF UK a FN Plzeň*, 2010, 230-232.
7. GALLAGHER, Richard P. a Tim K. LEE. Adverse effects of ultraviolet radiation: A brief review. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* [online]. 2006, 92(1), 119-131 [cit. 2022-04-27]. ISSN 00796107. Dostupné z: doi:10.1016/j.pbiomolbio.2006.02.011
8. FIKRLE, Tomáš a Karel PIZINGER. Maligní melanom. *Onkologie. Dermatovenerologická klinika LF UK a FN Plzeň*, 2010, 225-227.
9. JIRÁSKOVÁ, Milena. *Dermatovenerologie: pro stomatology: učebnice pro lékařské fakulty*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2001, 268 s. ISBN 80-864-1907-X.
10. AMARO-ORTIZ, Alexandra, Betty YAN a John D'ORAZIO. Ultraviolet Radiation, Aging and the Skin: Prevention of Damage by Topical cAMP Manipulation.

- Molecules [online]. 2014, 19(5), 6202-6219 [cit. 2022-04-27]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules19056202
11. D'ORAZIO, John, Stuart JARRETT, Alexandra AMARO-ORTIZ a Timothy SCOTT. UV Radiation and the Skin. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. 2013, 14(6), 12222-12248 [cit. 2022-04-27]. ISSN 1422-0067. Dostupné z: doi:10.3390/ijms140612222
  12. RAJNOCHOVÁ SVOBODOVÁ, Alena. *Poškození kůže působením slunečního záření, možnosti ochrany a prevence*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012, 129 s. ISBN 978-80-244-3183-3.
  13. ETTLER K. *Fotoprotekce kůže. Ochrana kůže před účinky ultrafialového záření*. Praha, Triton, 2004
  14. ETTLER K. *Stanovení minimálních erytémových dávek a přirozené fotoprotekce kůže u naší populace*. ACTA MEDICA (Hradec Králové) 1998, SUPPL 1, 81-104
  15. DAMIAN DL., Matthews YJ., Phan TA., Halliday GM., *An action spectrum for ultraviolet radiation-induced immunosuppression in humans*. Br Dermatol 2011,1, 64, 657-9
  16. ČERVENKOVÁ D. *Solária alergia – fotodermatózy*. Dermatol prax 2010,4,54-56
  17. KRAJSOVÁ I. *Fotodermatózy*. Dermatolog praxi 2007, 2, 68
  18. ČÁP R., Dobeš D., Hošek F., Hyža P., *Maligní melanom*. Vojen. Zdravot. Listy 2005,1, 4-8.
  19. SJEROBABSKI MASNEC, Ines a Sanja PODUJE. *Photoaging*. Zagreb, Croatia, 2008, 177-180.
  20. MATSUMURA, Yasuhiro a Honnavara N ANANTHASWAMY. Toxic effects of ultraviolet radiation on the skin. *Toxicology and Applied Pharmacology* [online]. 2004, **195**(3), 298-308 [cit. 2023-01-01]. ISSN 0041008X. Dostupné z: doi:10.1016/j.taap.2003.08.019
  21. MILETÍN, Miroslav. *Prostředky na ochranu pokožky proti škodlivým vlivům UV záření*, Praktické lékařství, 2009, roč. 5, č. 3, str. 135-138.
  22. FOURTANIER, Anny, Dominique MOYAL a Sophie SEITÉ. Sunscreens containing the broad-spectrum UVA absorber, Mexoryl® SX, prevent the cutaneous

- detrimental effects of UV exposure: a review of clinical study results. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine* [online]. 2008, **24**(4), 164-174 [cit. 2022-12-27]. ISSN 09054383. Dostupné z: doi:10.1111/j.1600-0781.2008.00365.x
23. KRUTMANN, Jean a Daniel YAROSH. *Modern Photoprotection of Human Skin*. In.: s. 104-112.
24. EGNER, Pavlína. *Kosmetické technologie*. Fakulty technologická Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
25. KREJČÍ Jiří. *Kosmetické přípravky a prostředky*. Fakulty technologická Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
26. LEITNER, Jindřich a David SEDMUDUBSKÝ. PŘÍPRAVA, VLASTNOSTI A VYUŽITÍ NANOSTRUKTUROVANÉHO ZnO. *Chemické Listy* 110. 2016, 406-417.
27. TITĚRA, Dalibor. *Včelí produkty mýtů zbavené: med, vosk, pyl, mateří kašička, propolis, včelí jed*. Vydání třetí. Praha: Nakladatelství Brázda, 2017. ISBN isbn978-80-209-0424-9.
28. Research, Society and Development, v. 10, n. 5, e0810514603, 2021  
(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14603>
29. RAI, Reena a Shanmuga SEKAT C. Update on photoprotection. *Indian Journal of Dermatology*. 2015, 335-342.
30. ETTLER, Karel. *Účinky UV záření na kůži a fotoprotekce*, *Medicína pro praxi*, 2007,6, str. 273-275.
31. GUPTA, Dipali. *UV Absorbing Properties of Some Plant Derived Extracts*. Academy for Environment and Life Science, India, 2013, 34-36. ISSN 2321-1040.
32. YOGIRAJ, Vijay, Pradeep KUMAR GOYAL, Chetan SINGH CHAUHAN, Anju GOYAL a Bhupendra VYAS. *Carica papaya Linn: An Overview*. *International Journal of Herbal Medicines*. 2014.
33. BELAL, MH, MR YESMIN a MD ISLAM. Evaluation of Phytochemical and Antioxidative properties of Rosa kordesii Petal Extracts. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. 2016, 50-60.

34. MASKE, Pratik P., Sachin G. LOKAPURE, Dhanashri NIMBALKAR, Shobharaj MALAVI a John I. D'SOUZA. In vitro determination of sun protection factor and chemical stability of Rosa kordesii extract gel. *Journal of Pharmacy Research* [online]. 2013, 7(6), 520-524 [cit. 2023-02-16]. ISSN 09746943. Dostupné z: doi:10.1016/j.jopr.2013.05.021
35. SEAWAN, Nisakorn Ph.D a Ampa JIMTAISONG Ph.D, *Natural produkt as photoprotection*. 2015, *Journal of Cosmetic Dermatology*, 14, 47-63
36. FINK, Johannes Karl. *The Chemistry of Bio-based Polymers*. Canada: Scrivener Publishing, 2014. ISBN 987-1-118-83725-2.
37. KEDOR-HACKMANN, E.R.M. a E.A. DULTRA. Determination of sun protection factor (SPF) of sunscreens by ultraviolet spectrophotometry. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. **2004**, 382-384.
38. VANHOLME, Ruben, Brecht DEMEDTS, Kris MORREEL, John RALPH a Wout BOERJAN. Lignin Biosynthesis and Structure. *Plant Physiology* [online]. 2010, **153**(3), 895-905 [cit. 2023-01-01]. ISSN 1532-2548. Dostupné z: doi:10.1104/pp.110.155119
39. BOERJAN, Wout, John RALPH a Marie BAUCHER. *Lignin Biosynthesis*. Australian National University, 2003, 519-536.
40. FARRIS, Patricia K. *Cosmeceuticals and Cosmetic Practice*. 2014: Wiley Blackwell. ISBN 978-1-118-38479-4.
41. SCHLOSSMAN, Mitchell L. *The chemistry and manufacture of cosmetics: cosmetic specialties and ingredients*. Carol Stream. ISBN 9781932633702.
42. CEFALI, L. C., J. A. ATAIDE, P. MORIEL, M. A. FOGGIO a P. G. MAZZOLA. Plant-based active photoprotectants for sunscreens. *International Journal of Cosmetic Science* [online]. 2016, 38(4), 346-353 [cit. 2022-03-20]. ISSN 01425463. doi:10.1111/ics.12316
43. ABE, Akihiro, Karel DUSEK a Shiro KOBAYASHI, ed. *Biopolymers* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010 [cit. 2022-03-20]. *Advances in Polymer Science*. ISBN 978-3-642-13629-0. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-13630-6

44. Hatakeyama T, Quinn FX (1999) Thermal analysis, fundamentals and applications to polymer science. 2nd edn, Wiley, UK
45. Hatakeyama H, Hatakeyama T (1998) Interaction between water and hydrophilic polymers. *Thermochim Acta* 308:3–22
46. THAKUR, Vijay Kumar a Manju Kumari THAKUR, ed. *Handbook of Polymers for Pharmaceutical Technologies* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley, 2015 [cit. 2023-01-01]. ISBN 9781119041375. Dostupné z: doi:10.1002/9781119041375
47. PICCININO, Davide, Eliana CAPECCHI, Elisabetta TOMAINO, Sofia GABELLONE, Valeria GIGLI, Daniele AVITABILE a Raffaele SALADINO. Nano-Structured Lignin as Green Antioxidant and UV Shielding Ingredient for Sunscreen Applications. *Antioxidants* [online]. 2021, **10**(2) [cit. 2023-01-01]. ISSN 2076-3921. Dostupné z: doi:10.3390/antiox10020274
48. BIKO, Odwa D.V., Marinda VILJOEN-BLOOM a Willem H. VAN ZYL. Microbial lignin peroxidases: Applications, production challenges and future perspectives. *Enzyme and Microbial Technology* [online]. 2020, **141** [cit. 2023-01-01]. ISSN 01410229. Dostupné z: doi:10.1016/j.enzmictec.2020.109669
49. LIAO, Jing Jing, Nur Hanis Abd LATIF, Djalal TRACHE, Nicolas BROSSE a M. Hazwan HUSSIN. Current advancement on the isolation, characterization and application of lignin. *International Journal of Biological Macromolecules* [online]. 2020, **162**, 985-1024 [cit. 2023-01-01]. ISSN 01418130. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.06.168
50. Lunt,J., Large, M. J., Koch, R.J. (2014). Additive manufacturing: 3D printing for prototyping and manufacturing. Elsevier.
51. STEWART, Derek. Lignin as a base material for materials applications: Chemistry, application and economics. *Industrial Crops and Products* [online]. 2008, **27**(2), 202-207 [cit. 2023-01-01]. ISSN 09266690. Dostupné z: doi:10.1016/j.indcrop.2007.07.008
52. STANISZ, M., Ł. KLAPISZEWSKI, M.N. COLLINS a T. JESIONOWSKI. Recent progress in biomedical and biotechnological applications of lignin-based spherical nano-and microstructures: a comprehensive review. *Materials Today*

- Chemistry* [online]. 2022, **26** [cit. 2023-01-01]. ISSN 24685194. Dostupné z: doi:10.1016/j.mtchem.2022.101198
53. DOMÍNGUEZ-ROBLES,, Juan, Niamh K. MARTIN, Mun Leon FONG a Sarah A. STEWART. Antioxidant PLA Composites Containing Lignin for 3D Printing Applications: A Potential Material for Healthcare Applications. *School of Pharmacy*. Switzerland, 2019. Dostupné z: doi.org/10.3390/pharmaceutics11040165
54. YU, Osbert a Kwang Ho KIM. Lignin to Materials: A Focused Review on Recent Novel Lignin Applications. *Applied Sciences* [online]. 2020, **10**(13) [cit. 2023-01-01]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app10134626
55. LIU, Yuqi, Xucai WANG, Qiming WU, Wenhui PEI, Miou Jing TEO, Zhefan Stephen CHEN a Caoxing HUANG. Application of lignin and lignin-based composites in different tissue engineering fields. *International Journal of Biological Macromolecules* [online]. 2022, **222**, 994-1006 [cit. 2023-01-01]. ISSN 01418130. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijbiomac.2022.09.267
56. HUANG C., Dong J., Ye Q., Li L., Wnag M., Zhang Y., Zhang X., Wang P., Jiang Q., *Biofabrication of natural Au/bacterial cellulose hydrogel for bone tissue regeneration via in-situ fermentation*, Smart Mater. Mer. 4 (2023) 1-14.
57. WANG D., Jang J., Kim K., Kim J., Park C.B., „tree to bone“: lignin/polycaprolactone nanofibers for hydroxyapatite biomineralization, *Biomacromolecules* 20 (7) (2019) 2684-2693.
58. KAUR S., Tripathi D.M., Venugopal J.R., Ramakrishna S., *Advances in biomaterials for hepatic tissue engeneering*, Curr. Opin. Biomed. Eng. 13 (2020) 190-196.
59. SEON G.M., Lee M.H., Koo M., Hong S.H., Park Y.J., Jeong H.K., Park J., *A collagen-as/epsilon pll bilayered artificial substitute regulates anti-inflammation and infection for initial inflamed wound healing*, *Biomater- Sci-Uk* 9 (20) (2021) 6865-6878.
60. NAN, Nan, Wanhe HU a Jingxin WANG. Lignin-Based Porous Biomaterials for Medical and Pharmaceutical Applications. *Biomedicines* [online]. 2022, **10**(4) [cit. 2023-01-01]. ISSN 2227-9059. Dostupné z: doi:10.3390/biomedicines10040747
61. WIDSTEN, Petri. *Lignin-Based Sunscreens-State-of-Art,Prospects and Challenges*. MDPI, 2020, 1-8.

62. RATANASUMARN, Nitchanan a Pakamon CHITPRASERT. *Cosmetic potential of lignin extracts from alkaline-treated sugarcane bagasse: Optimization of extraction conditions using response surface methodology*. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 138-145.
63. Rukmanikrishnan B., Ramlingam S., Rajasekharan S.K., Lee J., *Binary and ternary sustainable composites of gellan gum, hydroxyethylcellulose and lignin for food packing applications: Biocompatibility, antioxidant activity, UV and water barrier properties*. Int. J. Biol. Macromol. 2020, 153,55-62.
64. SADEGHIFAR, Hasan a Arthur RAGAUSKAS. Lignin as a UV Light Blocker—A Review. Polymers [online]. 2020, 12(5) [cit. 2022-04-17]. ISSN 2073-4360. Dostupné z: doi:10.3390/polym12051134
65. BECKER, Judith a Christoph WITTMANN. *A field of dreams: Lignin valorization into chemicals, materials, fuels, and health-care products*. Germany: Elsevier, 2018.
66. Lou H.M., Lai H.R., Wnag M.X., Pang Y.X., Yang D.J., Qiu X.Q. *Preparation of lignin-based superplasticizer by graft sulfonation and investigation of the dispersive performance and mechanism in a cementitious system*. Ind. Eng. Chem. Res. 2013, 52, 16101-16109.
67. Gutuérrez-Hernández J.M., Escalante A., Murillo-Vázquez R.N., Delgado E., González F.J., Toríz G. *Use of Agave tequilana-lignin and zinc oxide nanoparticles for skin photoprotection*. J. Photochem. Photobiol. B Biol 2016, 163, 156-161
68. DOMÍNGUEZ, Elena *Advances in Chemical Engineering*, 2021, Vol. 2, Chapter 5, pp. 1-12.
69. Annu. Rev. Plant Biol. 2003.54:519-546. Downloaded from www.annualreviews.org Access provided by Australian National University on 09/09/18
70. BERTOLO, Mirella R.V., Livia B. BRENELLI DE PAIVA, Viviane M. NASCIMENTO a Cesar A. GANDIN. Lignins from sugarcane bagasse: Renewable source of nanoparticles as Pickering emulsions stabilizers for bioactive compounds encapsulation. *Industrial Crops and Products*. Elsevier B.V., 2019.



71. SILMORE, Kevin S., Chetali GUPTA a Newell R. WASBURN. Tunable Pickering emulsions with polymer-grafted lignin nanoparticles (PGLNs). *Journal of Colloid and Interface Science*. Elsevier B.V., 2016, 92-99.
72. DAI, Lin, Yuantao LI, Fangong KONG, Kefeng LIU, Chuanling SI a Yonghao NI. *Lignin-Based Nanoparticles Stabilized Pickering Emulsion for Stability Improvement and Thermal-Controlled Release of trans – Resveratrol*. 2019, 7(15), 13497-13504. ISSN 2168-0485. Dostupné z: doi:10.1021/acssuschemeng.9b02966
73. CHAN, Kai, Lei LEI, Hongming LOU, Juntao NIU a . High internal phase emulsions stabilized with carboxymethyleted lignin for encapsulation and protection of enviromental sensitive natural extract. *International Journal of Biological Macromolecules*. Elsevier B.V., 2020.
74. CHEVALIER, Yves a Marie-Alexandrine BOLZINGER. Emulsions stabilized with solid nanoparticles: Pickering emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [online]. 2013, 439, 23-34 [cit. 2023-02-16]. ISSN 09277757. Dostupné z: doi:10.1016/j.colsurfa.2013.02.054
75. GUNDERSEN, S.A. a J. SJÖBLOM. *High – and low- molekular-weight lignosulfonates and Kraft lignins as oil/water-emulsion stabilizers studied by means of electrical conductivity*. Bergen, Norway: Springer-Verlag, 1999, 463-468.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

UV	Ultrafialové záření
UVA	Dlouhovlnné ultrafialové záření
UVB	Středněvlnné ultrafialové záření
UVC	Krátkovlnné ultrafialové záření
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
ROS	Reaktivní formy kyslíku
RNS	Reaktivní formy dusíku
o/v	Emulze typu olej ve vodě
v/o	Emulze typu voda v oleji
SPF	Ochranný sluneční faktor
XP	<i>Xeroderma pigmentosum</i>
TiO <sub>2</sub>	Oxid titaničitý
ZnO	Oxid zinečnatý
NMR	Nukleární magnetická rezonance
NF-κB	Nukleární faktor kappa zesilovač lehkých řetězců aktivovaných B buněk
MAPK	Mitogenem aktivovaná proteinkináza
MED	Minimální erytémová dávka
H	P-hydroxylphenyl
G	Guariaryl
S	Syzingyl
PLA	Polyaktidová vlákna
PBAT	Polybutenadipat-ko-tereftalat
OL	Olganosolv lignin

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Nodulární bazaliom obličeje [6].....	17
Obrázek 2 Spinaliom rtu [6] .....	17
Obrázek 3 Nodulární melanom [7] .....	18
Obrázek 4 Monomery ligninu [36] .....	24
Obrázek 5 Výskyt ligninu v přírodě. [65].....	26
Obrázek 6 Vizualizace výroby 3D tisku pomocí ligninu a PLA. [53].....	29
Obrázek 7 Schématické znázornění lékařských aplikací na bázi ligninu. [60] .....	31
Obrázek 8 Rozdíl mezi klasickou emulzí a Pickeringovou emulzí. [74].....	39

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Stupně popálení kůže [12] .....	12
Tabulka 2 Rozdělení kožního fototypu [24] .....	19

