

Univerzita Karlova

Pedagogická fakulta

Katedra biologie a environmentálních studií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Silice v jehličnanech (*Pinopsida*) a jejich využití

Essential Oils in Conifers (*Pinopsida*) and Their Use

Eliška Kratochvílová

Vedoucí práce: doc. RNDr. Vasilis Teodoridis, Ph.D.

Studijní program: Biologie, geologie a environmentalistika se zaměřením na vzdělávání
(B0114A030006)

Studijní obor: BI-CH

2024

Odevzdáním této bakalářské práce na téma Silice v jehličnanech (*Pinopsida*) potvrzuji, že jsem ji vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Praha, 2024

Eliška Kratochvílová

Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat doc. Vasilisovi Teodoridisovi za vedení práce, jeho ochotu, pomoc a rady při psaní této bakalářské práce.

ABSTRAKT

Bakalářská práce má rešeršní charakter a zaměřuje se na stručnou charakteristiku skupiny jehličnanů (Pinopsida) s ohledem na jejich systematiku, morfologii a rozmnožování, rostlinný sekundární metabolismus s vazbou na produkci rostlinných silic. Silice jsou následně detailně charakterizovány z hlediska jejich složení, využití a způsobů získávání. Práce dále podává přehled a detailní charakteristiku nejčastěji se vyskytujících silic u jehličnanů s důrazem na jejich využití a nežádoucí účinky pro člověka. Poslední část stručně představuje didaktický potenciál tohoto tématu ve výuce na základní škole.

KLÍČOVÁ SLOVA

Silice, jehličnany, využití silic, sekundární metabolismus

ABSTRACT

This thesis focuses on a brief characteristic of conifers (Pinopsida) in the light of their taxonomy, morphology and reproduction, secondary metabolism of plants and production of essential oils. Essential oils are then characterised in terms of their composition, uses and methods of their retrieving/extraction. Thesis then determines an outline and detailed characteristics of the most frequently occurring essential oils in conifers and it emphasizes their uses and adverse effects on humans. The last part briefly introduces didactic potential of this topic in primary and secondary education.

KEYWORDS

Essential oils, Conifers, use of essential oils, secondary metabolism

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Jehličnany	2
2.1. Systematika.....	3
2.2. Vzhled.....	3
2.3. Využití jehličnanů.....	4
2.4. Morfologie	4
2.5. Stavba kmene/kmínků	5
2.6. Jehlice	5
2.7. Rozmnožování	7
2.7.1. Nepohlavní	7
2.7.2. Pohlavní.....	8
3. Sekundární metabolismus	12
4. Silice	22
4.1. Složení silic.....	22
4.2. Využití silic rostlinami.....	24
4.3. Historie používání silic člověkem	24
4.4. Současné využívání silic.....	25
4.5. Rizika a bezpečnostní opatření při používání silic	27
4.6. Způsoby získávání silic	27
5. Silice v jehličnanech	29
6. Využití ve výuce.....	42
7. Závěr	45
Seznam použitých informačních zdrojů a zdrojů obrázků	46

1. Úvod

Bakalářská práce je prací rešeršní, která se zaměřuje na jehličnany (Pinopsida), sekundární metabolismus rostlin a dalších organismů, silice a silice v jehličnanech. Poslední část práce se zabývá využitím jehličnanů a silic ve výuce.

Jehličnany (Pinopsida) jsou významnou součástí lesů, parků a další městské vegetace. V ekosystémech mají nezastupitelnou roli při produkci kyslíku a vazbě oxidu uhličitého, poskytují útočiště pro velké množství živočichů a hmyzu, pro některé druhy jsou zdrojem potravy. Pro houby, rostliny a jiné organismy jsou jehličnany významnými symbionty.

Člověk využívá jehličnany po tisíce let jako stavební materiál a zdroj tepla, k výrobě dekoračních předmětů nebo předmětů pro denní použití.

Produkty sekundárního metabolismu – sekundární metabolity – slouží mikroorganismům, houbám, rostlinám a dalším organismům k ochraně před nepřáteli a škůdci, mohou napomáhat k přilákání partnera, opylovačů nebo živočichů roznášejících jejich semena, nebo jako signální molekuly pro komunikaci s okolím a dalšími částmi těla. Pro některé z těchto látek našel člověk využití v podobě léčiv a jedů, barviv nebo jako součást potravy a pochutin.

Produkce silic jako sekundárních metabolitů je důležitým aspektem v životě rostlin. Jsou významné z hlediska ochrany před patogenními organismy a jinými škůdci, přilákání opylovačů anebo prostředku pro komunikaci s okolním prostředím. Člověk začal používat silice již v době před naším letopočtem k mnoha účelům; některé z nich přetrvaly do dnešní doby. Dnes jsou využívány jako přírodní alternativy k léčivům, jako součásti desinfekčních prostředků, vůní a parfémů a přípravků působících proti mikroorganismům, škodlivému hmyzu a dalším nežádoucím organismům.

Jehličnany jsou, až na některé výjimky, neopadavé rostliny. To umožňuje jejich výuku a poznávání v přírodě celoročně. Díky odlišnému vzhledu a struktuře jehlic, šišek a kůry je možné u předškolních dětí rozvíjet senzomotorické vlastnosti a schopnosti porovnávání. U školních dětí je ideálním způsobem procvičování poznávání různých druhů hledání částí stromů podle již získaných znalostí z teoretické výuky.

Silice mohou být označovány synonymy éterické nebo esenciální oleje, pro přehlednost budu v celé práci používat označení „silice“.

2. Jehličnany

Jehličnany (Pinopsida, Pinophyta) jsou třídou nahosemenných rostlin (Gymnospermophyta), mezi které zařazujeme také třídy cykasy (Cycadophyta), jinany (Gingkophyta) a liánovce (Gnetophyta) (Jahodář, 2011). Nahosemenné rostliny a jehličnany jsou velmi starobylou skupinou organismů, první druhy se objevily již ve svrchních prvohorách¹ (Britannica). Jsou celosvětově rozšířené a čítají přibližně 1 000 druhů. I přes malý počet zástupců v porovnání s krytosemennými rostlinami² (Angiospermophyta) jsou nahosemenné rostliny velmi významné, jak z ekonomického hlediska, tak z pohledu ekologie.

Až na několik výjimek, např. modřín opadavý (*Larix decidua*), jsou jehličnany neopadavé stálezelené rostliny (Vreštiak, 2001). Listy mají specifický zúžený tvar – jehlice. U většiny zástupců se jehlice nevyměňují každý rok, ale po částech v průběhu několika let (Vreštiak, 2001). Všechny druhy i kultivary³ jsou víceleté, některé i velmi dlouhověké, např. americká *Pinus longaeva*, stará asi 5 000 let (Eckenwalder, 2022). Mezi jehličnany patří také nejvyšší (cca 110 m; sekvoj vždyzelená (*Sequoia sempervirens*)) a nejmohutnější (cca 95 m výška a

¹ Prvohory (paleozoikum) jsou obdobím v historii Země datované od 545 milionů let až do 250 milionů let. Prvohory lze dále dělit na starší (spodní) (545 – 354 milionů let) a mladší (svrchní) prvohory (354 – 250 milionů let). Starší prvohory dělíme na geologické útvary zvané kambrium, ordovik, silur a devon, mladší pak na karbon a perm (Ziegler, 2007). Globálně dochází k pohybu litosférických desek a jednotlivých kontinentů směrem k rovníku a k sobě, až v permu vznikne jeden superkontinent – Pangea (Kalivoda et al., 2002). Nejdůležitějšími geologickými procesy jsou doznívání kadmokského vrásnění a dále vrásnění hercynské (variské), při kterém se vytvářela pohoří a různé geologické útvary. Při pohybu desek a následně po jejich srážce se velmi změnilo podnebí, klima na kontinentu bylo velmi teplé a suché (Ziegler, 2007). V prvohorách se dostávají rostliny i živočichové na souš, kde se rychle adaptují a rozšiřují. Významnými druhy obývající tehdejší moře byli trilobiti, graptoliti, archeocyati, měkkýši, později se vyvinuli mechovky, koráli, mihule, sliznatky a rybovití živočichové. Mořská flóra byla nejčastěji zastoupena různými druhy zelených a červených řas a sinicemi. Prvními obyvateli souše byli bezobratlí, např. pavouci (Arachnida) a chvostoskoci, dále obojživelníci, kteří se pravděpodobně vyvinuli z lalokoploutvých ryb (Sarcopterygii). Ve svrchních prvohorách se vyvíjí plazi a předkové savců (Kalivoda et al. 2002; Ziegler 2007). Jako první se na souš dostávají řasy, prvními rostlinami jsou Psilophyta a čeledi výtrusných rostlin, např. plavuňovité (Lycophyta), kapradiny (Pteridophyta) a přesličkovité (Sphenophyta) (Kalivoda et al., 2002). Ve svrchních prvohorách některé druhy těchto čeledí mají stromovitý charakter a dosahují výšky i přes 30 m (Ziegler, 2007). S dalším rozšířením rostlin na souši a při změně klimatu se vyvíjí semenné rostliny, jako např. kapradosemenné a nahosemenné rostliny, zejména jehličnaté (Volziales – rody *Ullmania* a *Voltzia*) (Kalivoda et al., 2002). Usazováním této suchozemské flóry vznikaly obří sloje černého uhlí (Kalivoda et al., 2002; Ziegler, 2007). Během prvohor došlo ke dvěma významným vymíráním druhů, a to na konci ordoviku a ve svrchním devonu (Kalivoda et al., 2002).

² Krytosemenné rostliny (Angiospermophyta) čítají asi 250 000 – 280 000 druhů (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2019; Jahodář, 2011). Stejně jako u nahosemenných rostlin je gametofyt velmi redukován (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2019). Semena se vyvíjí v květech a jsou chráněna plodem. Pylová zrna jsou různými způsoby vnášena na bliznu květu, kde oplodní vajíčko (Anon., [b.r.]; Jahodář, 2011). Velké množství krytosemenných rostlin je využíváno jako kulturní rostliny a potrava pro člověka (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2019) i zvířata a další organismy. Krytosemenné rostliny rozdělujeme na dvouděložné a jednoděložné, které se liší v mnoha ohledech, např. klíčením semen, typu kořene, tvaru listů, stavbou květu atd. Květy mohou být jak jednopohlavné, tak oboupohlavné. Květy se skládají ze samčích orgánů – tyčinek a samičích orgánů – pestíků. Dalšími částmi květu jsou květní lůžko, koruna, kalich a okvěti (květní obaly) (Fajtová 2018).

³ Kultivary jsou rostliny, které byly uměle vyšlechtěné, které se liší některými vlastnostmi (např.: odolností, vzrůstem, zbarvením listů, květů, velikostí a počtu plodů) od mateřských rostlin (Bremness, 1995).

hmotnost 2 000 000 kg; sekvojovec obrovský (*Sequoiadendron giganteum*) stromy světa. Ty se nachází v Národním parku Sequoia v USA ve státě Kalifornie (Eckenwalder, 2022).

Jehličnany jsou někdy nazývány jako konifery (conifer). Tento název pochází z anglického slova *cone*, v překladu *šiška*. Význam slova konifera je tedy něco jako „Nesoucí šišky“ (Eckenwalder, 2022).

2.1. Systematika

Třídu jehličnany (Coniferophyta) rozdělujeme do tří řádů, a to na cypřišotvaré (Cupressales), borovicotvaré (Pinales) a liánovcotvaré (Gnetales). Cypřišotvaré dělíme do čeledí cypřišovitě (Cupressaceae) a tisovitě (Taxaceae). Borovicotvaré do čeledi borovicovitě (Pinaceae) (Jahodář, 2022). Liánovcotvaré pak do čeledí chvojníkovitě (Ephedraceae), liánovcovitě (Gnetaceae) a Welwitschiaceae (Babula, 2009). Toto rozřazení ovšem není celistvé, některé zdroje, např. Babula, 2009 a Jahodář, 2022 rozlišují liánovce jako samostatnou třídu, ne jako řád jehličnanů. K dalším neshodám v systematice dochází u čeledi cypřišovitých a tisovitých. Tisovitě jsou někdy zařazovány jako čeleď v řádu cypřišotvarých (např. Babula, 2009 a Jahodář, 2022), jiné zdroje (např. Jahodář, 2011 a Úředníček, 2003) berou tisovitě jako samostatnou čeleď.

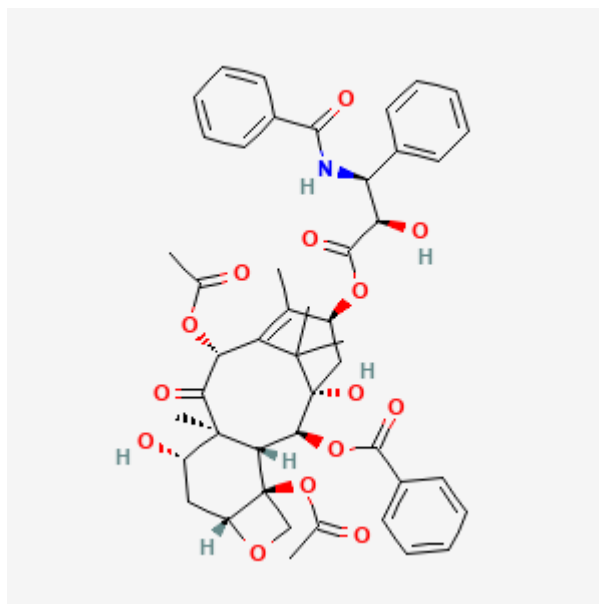
2.2. Vzhled

Jehličnany mohou být jak stromového, tak keřového vzrůstu, v závislosti na druhu, ale i podmínkách prostředí (Hieke, 2008; Vreštiak, 2001). Pokud určitý druh jehličnanu, který je za běžných a vhodných podmínek stromového vzrůstu, vystaven nepříznivým podmínkám, tak může vyrůstat pouze do nepatrné výšky a větvit se, vytváří tak keřovitý vzrůst. Naopak některé keřovité formy mohou získat stromový charakter (Hieke, 2008). U stromovitého charakteru je pro jehličnany charakteristický rovný kmen, který se větví až v horní části a vytváří korunu. Podle tvaru koruny a postavení větví je možné některé druhy rozlišovat (Vreštiak, 2001). Keřovité formy mají pouze nízký vzrůst, některé druhy jen desítky centimetrů, a kmen bývá větvený od země. Některé druhy keřovitých forem jsou poléhavé a půdopokryvné (Vreštiak, 2001).

Zbarvení jehličnanů může být velmi proměnlivé, od tmavě sytě zelené, světle zelené, po žlutou, některé druhy a kultivary s modrostříbrnou barvou jehlic. Kultivary a další vyšlechtěné druhy jsou typické pro své zbarvení jehlic, kdy jsou konce obvykle výrazně světlejší než jejich báze, např. některé druhy thují mají zelené báze a konce světle zelené až žluté (Bitner, 2010).

2.3. Využití jehličnanů

Jehličnany tvoří podstatnou část lesů po celém světě. V některých oblastech zejména severní polokoule jsou některé lesy pouze jehličnaté. Mnoho druhů jehličnanů je využívaných v dřevařském průmyslu jako stavební materiál, k výrobě nábytku, dále jako materiál pro umělecké předměty nebo hudební nástroje. Jako stavební materiál pro obydlí a lodě je dřevo využíváno po mnoho století. Jako obnovitelný zdroj energie je dřevo využíváno jako palivo a dobrý zdroj tepla. Pro svou dekorativnost a nenáročnost jsou velmi často vysazovány do zahrad, parků, hřbitovů nebo truhlíků. Některé druhy jsou vhodné pro pěstování ve formě zakrslých bonsajů (Bitner, 2010; Hieke, 2008; Eckenwalder, 2022; Vreštiak, 2001). Ve farmaceutickém průmyslu jsou využívány tis červený (*Taxus baccata*) a tis krátkolistý (*Taxus brevifolia*), díky produkci taxolu (paclitaxel) viz Obr. č.1, který má protirakovinné účinky. Dalším druhem pro farmaceutický průmysl a lidové potravinářství je jalovec obecný (*Juniperus communis*) (Jahodář, 2011). Pro potravinářství je také hojně využívaná borovice pinie (*Pinus pinea*), jejíž semena jsou pochutinou a surovinou pro přípravu a dochucování potravin, známé jako piniové oříšky (Eckenwalder, 2022).



Obr. č.1 Chemická struktura taxolu (Paclitaxel); zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024y)

2.4. Morfologie

Veškeré druhy jehličnanů jsou mnoholeté rostliny, u kterých dochází ke dřevnatění stonku. V tomto případě mluvíme o kmeni a větvích. Větve nesou listy, které mají specifickou strukturu, jsou zploštělé ve tvaru jehlic nebo celé zploštělé šupinovité, např. u cypřišovitých

(Cupressaceae). U některých druhů, např. modřínu opadavého (*Larix decidua*), vyrůstají jehlice po několika kusech ze zakrslých a zkrácených větví, brachyblastů viz Obr. č.2. Ochranou kmene a větví je kůra, která může časem pukát a praskat, a která je pro každý druh specifická svou strukturou (Vreštiak, 2001).



Obr. č.2 Brachyblasty u modřínu; zdroj: vlastní foto

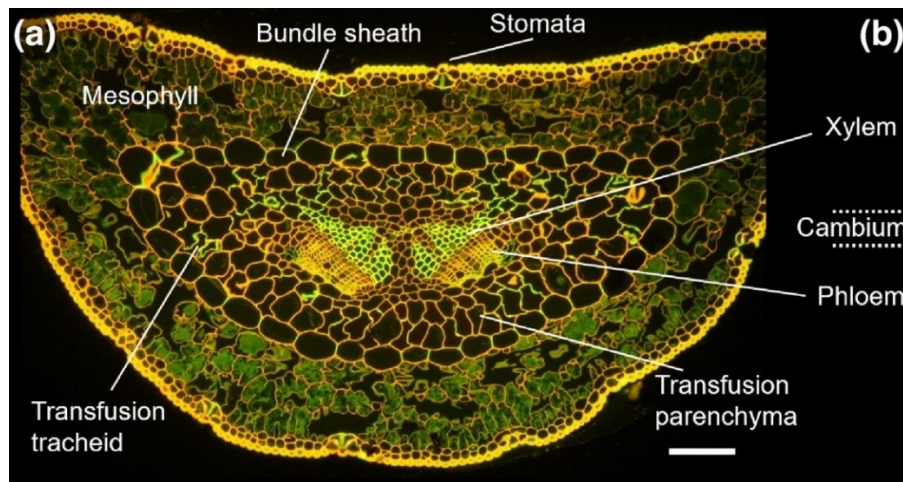
2.5. Stavba kmene/kmínků

Kmeny jsou bez výjimky vždy zdřevnatělé. U stromových forem se zpravidla jedná o jeden kmen, který se větví až v jeho svrchní části. U některých druhů zeravů (thují) může být hlavních kmenů více. Kmen může růst různými způsoby, např. vzpřímeně, ohnutě, převisle, poléhavě, zkrouceně nebo plazivě. Povrch je krytý kůrou. Kůra, a později borka, mohou mít různé zbarvení a strukturu, které se často liší i druh od druhu. Některé druhy mají borku šupinaté struktury, např. smrk (*Picea*), brázdité, např. borovice (*Pinus*), korkovité, např. některé druhy jedlí (*Abies*), nebo ztloustlé, např. sekvojovec (*Sequoiadendron*) (Hieke, 2008).

2.6. Jehlice

Jehlice jsou typem listů nacházející se typicky u jehličnanů, mohou mít různý tvar, být zploštělé, často velmi pevné a zašpičatělé. Tvar jehlic na průřezu je pro každý druh specifický, např. kosočtverečný průřez u smrku ztepilého (*Picea abies*), půlkruhový u borovice černé (*Pinus nigra*) a trojúhelníkovitý u borovice vejmutovky (*Pinus strobus*) (Tomášková a Kubásek, 2016). Velmi variabilní je také jejich délka, od několika milimetrů až po nižší desítky centimetrů. Jako u všech listů i zde se nachází buňky s chloroplasty, ve kterých probíhá fotosyntéza. V jehlicích se mohou nacházet také pryskyřičné kanálky a nádržky. Na obrázku č. 3 je stavba jehlice borovice pinie, příčný řez. Na řezu jsou vidět jednotlivé části. Uprostřed se nachází xylém (dřevní část) a floém (lýková část), které jsou obklopené parenchymatickými

buňkami, mezi kterými se nachází cévice pro rozvod živin. Parenchymatické buňky jsou obklopené mezofylem. V buňkách mezofylu jsou chloroplasty, ve kterých probíhá fotosyntéza. Povrch jehlice pokrývá kutikula, ve které najdeme dýchací otvory pro výměnu plynů a vody, tzv. stomata (Liesche et al., 2021).



Obr. č.3 Příčný průřez jehlicí borovice pinie (*Pinus pinea*); zdroj: Liesche et al., 2021



Obr. č.4 Jehlice borovice lesní (*Pinus sylvestris*) vyrůstající po dvou; zdroj: vlastní foto



Obr. č 5 Krátké a hustě rostlé jehlice smrku ztepilého (*Picea abies*); zdroj: vlastní foto

2.7. Rozmnožování

2.7.1. Nepohlavní

Nepohlavní rozmnožování je typ rozmnožování, při kterém nedochází ke splynutí pohlavních buněk dvou rozdílných jedinců. V souvislosti s rostlinami označujeme tento typ jako vegetativní rozmnožování. Tímto způsobem vznikají identičtí jedinci, klony mateřského organismu. Tyto klony mají genetickou informaci v podstatě stejnou jako mateřský jedinec. Noví jedinci vznikají z mateřského buď díky vegetativním orgánům, což jsou např. šlahouny, cibulky, různé typy hlíz, větve a stonky, které zakoření, nebo díky adventivním pupenům, např. pacibulky nebo pupeny na bázi listů a v květenství. Jehličnany se mohou vegetativně rozmnožovat pouze pomocí zakoření stonku nebo větévky, tzv. hřížení (Tomášková a Kubásek, 2017). Umělým způsobem hřížení je tzv. řízkování, při kterém jsou odříznuté mladé části větévek nebo stonků. Ty se následně nechávají v substrátu zakořenit. Řízkování se využívá velmi často k sadovnickým účelům a k zakládání nových lesních porostů (Hieke, 2008; Vreštiak, 2001).

Možností u nepohlavního rozmnožování je také roubování, při kterém jedno- nebo dvouletý výhon přeneseme na zakořenělou starší rostlinu. Tato zakořenělá rostlina, tzv. podnož, může být jak stejného, tak jiného rostlinného druhu. Podobný je i princip u očkování, kdy na podnož přikládáme pouze pupen (Tomášková a Kubásek, 2017).

Typem nepohlavního rozmnožování je také apomixie, což je jev, při kterém nový jedinec vzniká z neoplozeného vajíčka nebo z diploidních pylových zrn, např. u cypřiše Duprezova (*Cupressus dupreziana*).

Nepohlavní rozmnožování je výhodné z energetického hlediska, jedinec nevytváří specifické struktury. Další výhodou nepohlavního rozmnožování je stálost, která může být přínosná v prostředí, kde se podmínky zásadním způsobem nemění (Tomášková a Kubásek, 2017).

2.7.2. Pohlavní

K pohlavnímu rozmnožování dochází po splynutí samčích a samičích gamet a následnému vzniku semen. Pohlavní rozmnožování je komplikovanější a komplexnější než rozmnožování vegetativní. U pohlavního rozmnožování dochází k velké variabilitě v genetické informaci nově vzniklých jedinců. Mezi pohlavním rozmnožováním u nahosemenných a krytosemenných jsou jak určité rozdíly, tak společné znaky. U krytosemenných i nahosemenných jsou samčími gametofyty pylová zrna. Ta vznikají v prašných pouzdrech tyčinek. Pylová zrna u nahosemenných mají často přidané tzv. vzdušné vaky, které slouží k usnadnění jejich přenosu větrem.

Pohlavními orgány jsou u jehličnanů (nahosemenných rostlin) výtrusné listy, samičí megasporofyty a samčí mikrosporofyty. Tyto výtrusné listy vznikají listovou přeměnou. Samčí mikrosporofyty nejsou, na rozdíl od krytosemenných rostlin, rozlišené na nitku a prašník. Nachází se zde dvě a více prašných pouzder (mikrosporangii), ve kterých vznikají pylová zrna.

Květy jehličnanů jsou obecně málo nápadné, jsou menších rozměrů a mají tvar šištice. Šišťice jsou převážně jednopohlavné, ale mohou se nacházet oba druhy (samčí i samičí) na jedné rostlině (jednodomé rostliny). U některých druhů jsou šištice výrazně zbarvené buď do žluta nebo do červena. Prašníky jsou v samčích šišticích uspořádané do tvaru spirály. Samičí šištice mají na středovém větenu podpůrné listeny (šupiny), v jejichž úžlabí vyrůstají jednotlivé plodolisty (plodní šupiny). Na plodolisticích leží volně obvykle dvě vajíčka, která jsou nechráněná semeníkem. Podpůrné listeny jsou většinou menší než samotné plodolisty a nejsou příliš viditelné. Delší podpůrné šupiny než jsou plodolisty mají např. jedle (*Abies*) nebo douglasky (*Pseudotsuga*). Samičí šištice bývají umístěné v horních partiích koruny a jsou zakládány o rok dříve (u douglasek na jaře, u borovic na podzim předešlého roku), zatímco samčí spíše ve středních nebo spodních partiích.

Jehličnany (a další dřeviny) mají dlouhý životní cyklus, některé i stovky let. Díky této skutečnosti a také velkému vzrůstu stráví prvních několik let v tzv. juvenilní fázi. V této fázi se netvoří žádné generativní orgány, ale pouze vegetativní. U jedince převládá fotosyntéza a syntéza látek důležitých pro růst. Po juvenilní fázi nastává fáze generativní, kdy dochází

v pravidelných intervalech k tvorbě generativních orgánů. Většina jehličnanů v době tvorby květů (a plodů) neroste, jelikož tato tvorba je energeticky náročná. Po generativní fázi může nastat fáze stárnutí jedince a dále dochází ke smrti (Tomášková a Kubásek, 2017).

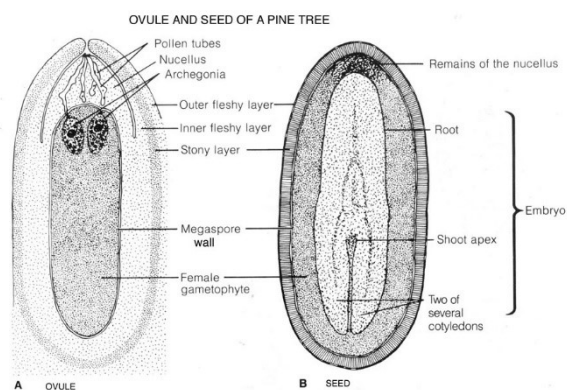
Rozmnožování/reprodukční cyklus je u jehličnanů různě dlouhý, nejčastěji dvouletý nebo tříletý. U dvouletého cyklu v prvním roce jedinec vytvoří květní pupeny a druhý rok dojde k samotnému kvetení, vzniku a dozrávání pohlavních buněk. Dochází také k opylení a po něm (v rámci dnů nebo týdnů) také k oplození a tvorbě samotných semen. Typickými zástupci jehličnanů s dvouletým reprodukčním cyklem jsou smrk (*Picea*), modřín (*Larix*) a douglaska (*Pseudotsuga*). U tříletého cyklu jsou v prvním roce založeny květní pupeny, v druhém roce dojde ke kvetení a opylení. Po vzniku pylové láčky dojde k zastavení jejího dalšího růstu, upadne do stavu dormance. Další růst pylové láčky a oplodnění probíhá až na jaře ve třetím roce. V podzimním období třetího roku také dozrají semena a otevírají se šišky. Cyklus je typický pro borovice (*Pinus*). U některých jalovců (*Juniperus*) je cyklus čtyřletý. Někteří zástupci cypřišovitých (Cupressaceae) mají reprodukční cyklus podobný dvouletému, trvá ale tři roky. Fáze zakládání květů, opylení a oplození jsou shodné s dvouletým cyklem, ale místo úplného vývoje embrya v průběhu druhého roku upadne do stádia dormance a jeho vývoj je dokončen až třetí rok. Delší reprodukční cykly jsou pravděpodobně důsledkem adaptací druhů žijících ve vyšších nadmořských výškách a chladnějších oblastech. Pro všechny cykly je společné otevírání šišek po dozrání semen. Výjimkou může být např. borovice pokroucená (*Pinus contorta*) nebo některé sekvoje, u kterých se šišky otevírají až při působení velmi vysokých teplot, při lesních požárech. Semena mají poté velmi dobré podmínky pro klíčení, velké množství živin z popela, více světla a nižší kompetici s jinými druhy.

Samčím gametofytem je pylové zrno. Pylová zrna vznikají v mikrosporofylech, které se nachází v prašných pouzdrech. Skládá se z jedné vegetativní buňky, menší generativní buňky a dvou buněk protahliových (Tomášková a Kubásek, 2017). Často jsou k nim připojeny jeden až dva vzdušné vaky (Jahodář, 2022), které usnadňují přenos větrem.

Samičím gametofytem je vajíčko, viz Obr. č.6. To má jeden obal, pod kterým se nachází pletivo nucellus, které prostor vyplňuje. U jehličnanů vyskytujících se u nás jsou ve vajíčku dvě archeogonia, každé s jednou vaječnou buňkou. Archeogonia jsou spojená kanálky s otvorem klovným. Na ten je nucellem vylučována tekutina, tzv. polinační kapka. Na tu se přichytává pyl.

Z pylového zrna začne klíčit pylová láčka až k archegoniím. Ke klíčení pylové láčky může docházet jak ihned po přichycení, tak po několika dnech až týdnech. V pylové láčce se nachází

generativní buňka, která se dělí na dvě buňky, a to na spermatogenní a nástěnnou buňku. Spermatogenní buňka se ještě jednou dělí za vzniku dvou buněk spermatických. Tyto spermatické buňky jsou pylovou láčkou přenášeny k archegoniím, kde se spojí s vaječnými buňkami. Tímto spojením vzniká zygota se dvěma sadami chromosomů. Tato zygota je geneticky rozdílná od mateřského i otcovského organismu. Díky této kombinaci genů je jedinec schopný lépe reagovat na změny prostředí. Schopnost reagovat na změny je velmi výhodná pro organismy. Nevýhodou pohlavního rozmnožování je vysoký energetický výdej při tvorbě pohlavních orgánů, plodů nebo struktur a produktů pro nalákání opylovačů (u rostlin, které pro přenos pylu nevyžívají anemogamii).



Obr. č.6 Vajíčko a semeno borovice; zdroj: bioatlas.html (Barrington, [b.r.])

Na rozdíl od krytosemenných rostlin je kolem diploidního semena haploidní živné pletivo endosperm (Tomášková a Kubásek, 2017). U některých jehličnanů, např. borovice, se může vyskytovat polyembryonie, tedy vývoj více jedinců stejného pohlaví z jednoho vajíčka (De La Torre et al., 2020; Tomášková a Kubásek, 2017).

Po opylení začne samičí šištice dřevnatět, změní se na šišku. U některých druhů místo šišky vzniká míšek, např. u tisu (*Taxus*) nebo jalovce (*Juniperus*). Míšek se u tisu vytváří z výrůstků na plodolistech. Míšky u jalovce vznikají trochu jiným způsobem, a to srůstem celých dužnatých plodolistů. Jakmile semena dozrají, u většiny druhů jehličnanů se začnou šišky otevírat a semena z nich vypadnou. U některých rodů, např. jedle (*Abies*) nebo cedr (*Cedrus*), se po dozrání semen šiška úplně rozpadne.

Pro zefektivnění přenosu semen větrem jsou některá semena např. u smrků (*Picea*) a borovic (*Pinus*) opatřena křídly. U zeravů (*Thuja*) jsou křídla semen redukována na lem. Semena borovice limby (*Pinus cembra*) jsou úplně holá (Tomášková a Kubásek, 2017).

Až na některé jednodomé druhy z čeledi borovicovitých (Pinaceae) jsou jehličnany dvoudomé rostliny vyznačující se pouze jedním druhem pohlavních buněk. U jednodomých druhů se nachází oba druhy pohlavních buněk na jedné rostlině, ale v jiných částech; spermatické ve spodních částech a vaječné ve vrcholových. Díky tomu je velmi obtížné aby spermatické buňky oplodnily vaječné buňky na téže rostlině (De La Torre et al., 2020).

K pohlavnímu rozmnožování počítáme i autogamii (samosprašnost). Při autogamii je vajíčko opyleno pylem ze stejné rostliny (Tomášková a Kubásek, 2017).

Nejčastějším způsobem přenosu pylu i semen je přenos větrem; u pylu anemogamie, u semen anemochorie (Fránková et al., [b.r.]; De La Torre, et al., 2020).

Pro tvorbu květů je zásadních několik faktorů, např. délka slunečního svitu, období nižších teplot, rostlinné hormony; u jehličnanů v mírném pásmu je to také množství srážek, dostatek živin nebo období plodnosti, tzv. semenné roky⁴ (Tomášková a Kubásek, 2017).

⁴ Semenné roky jsou obdobím, kdy některé druhy tvoří květy a semena. Často je tato doba pravidelně se opakující po určitém počtu let a může být druhově specifická (Tomášková a Kubásek, 2017).

3. Sekundární metabolismus

Silice, jako i další sloučeniny (antibiotika, alkaloidy, glykosidy, saponiny, třísloviny, flavonoidy, steroly, přírodní barviva, aminokyseliny, peptidy, aminy, steroidy, feromony, bioluminiscenční látky) (Anon., 2011; Macholán, 2003) jsou výsledkem reakcí, které se obecně označují jako sekundární metabolismus, řadí se tedy mezi sekundární metabolity. Výše zmíněné látky můžeme dle jejich chemické struktury rozdělit do tří skupin, a to na terpenoidy a isoprenoidy, fenolické sloučeniny a sloučeniny s atomem/atomy síry nebo dusíku v řetězci (Aharoni a Galili, 2011). Sekundární metabolity jsou látky, které vznikají z produktů nebo meziproductů primárního metabolismu. Primární metabolismus je soubor reakcí, biochemických drah, jejichž produkty slouží organismům k tvorbě stavebních látek, štěpení složitějších látek k získání jednodušších, dále k získání energie pro buňku a celý organismus (Macholán, 2003). Důležitými metabolickými cestami jsou pentózový cyklus⁵, glykolýza⁶, citrátový cyklus⁷, cyklus aminokyselin⁸ (alifatických i aromatických) a šikimátová cesta⁹ (Aharoni a Galili, 2011).

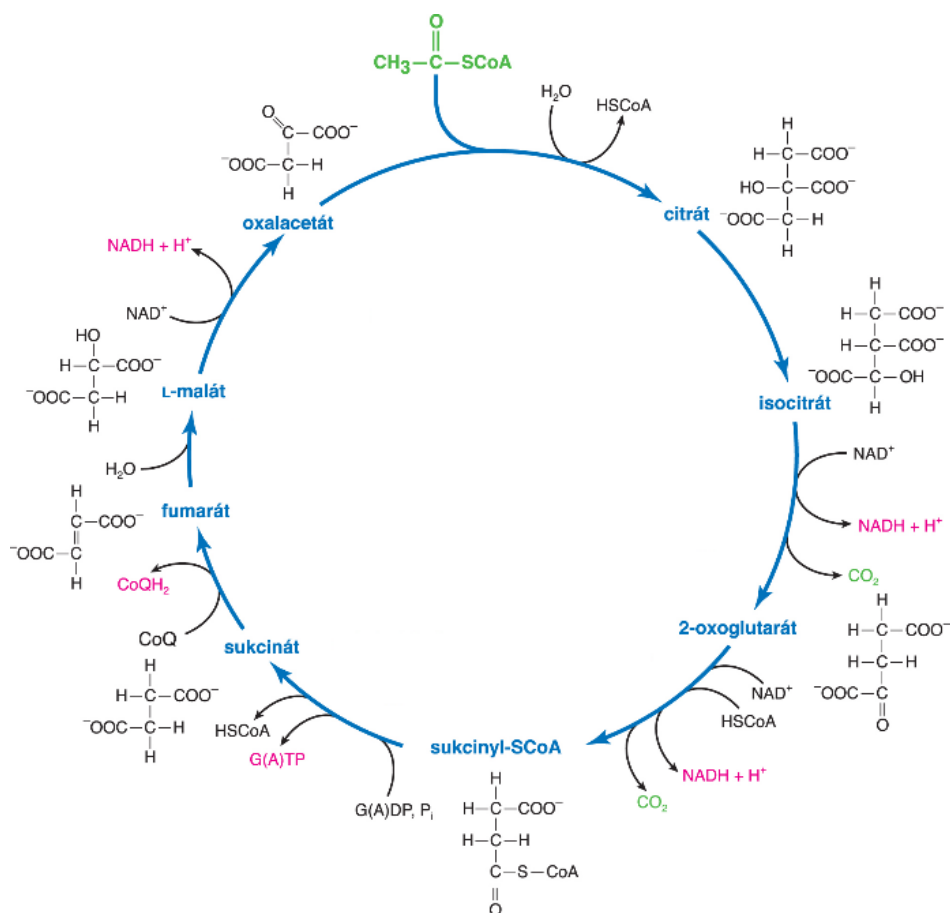
⁵ Pentózový cyklus je soubor reakcí, při kterých vznikají redukované formy koenzymů NADPH, dalším produktem je ribosa-5-fosfát. Ribosa-5-fosfát je nezbytná sloučenina potřebná k syntéze nukleových kyselin nebo dalších koenzymů pro tvorbu nukleotidů. Vstupní látkou pro pentosový cyklus je glukosa-6-fosfát (Klouda, 2005).

⁶ Glykolýza je metabolický proces, při kterém dochází k odbourávání glukózy pro získávání energie. Probíhá v cytosolu buněk. Díky reakcím je glukóza přeměněna na pyruvát, který vstupuje buď do citrátového cyklu, nebo je anaerobně přeměněn na laktát (mléčné kvašení – u bakterií nebo ve svalech) nebo ethanol a CO₂ (alkoholové kvašení – u kvasinek) (Klouda, 2005)

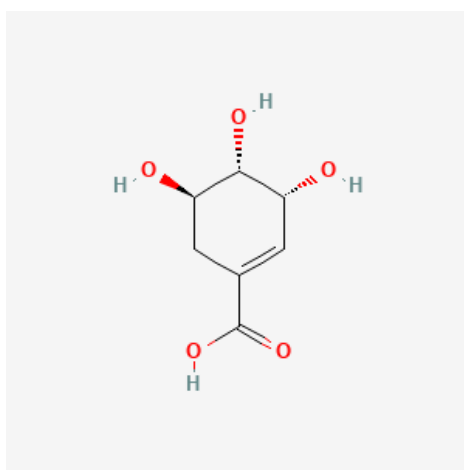
⁷ Citrátový (Krebsův) cyklus, cyklus kyseliny citronové, je soubor reakcí, při nichž dochází k oxidaci sacharidů, mastných kyselin a aminokyselin (Klouda, 2005). Pro průběh cyklu je nezbytný kyslík (aerobní podmínky) (McMurry, 2015). Výsledkem je oxalacetát, který je obnovován a znovu vstupuje do cyklu po reakci s acetylkoenzymem A (Acetyl-CoA) (Alberts et al., 1998). Ten je výchozí látkou pro prekurzory dalších metabolických reakcí. Dále vzniká CO₂, NADH a FADH₂ viz Obr. č.7. Centrem cyklu jsou matrix mitochondrií, ve kterých probíhá získávání energie ze štěpení látek, jde o centrum energetického metabolismu celé buňky; propojení dýchacího řetězce, glukoneogeneze, transaminace, deaminace aminokyselin, lipogeneze (Alberts et al., 1998; Klouda, 2005). Obrázek: *Image (1).png*, c2023. Online. In: VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ. E-learning VŠCHT. Dostupné z: <https://e-learning.vscht.cz/mod/glossary/showentry.php?eid=53066>. [cit. 2023-09-28].

⁸ Cyklus aminokyselin zahrnuje transaminaci a oxidační deaminaci, močovinnový cyklus, odbourávání na pyruvát, na oxalacetát, na 2-oxoglutarát, na sukcinyl-CoA a na acetyl-CoA (Klouda, 2005).

⁹ Kyselina šikimová je organická kyselina s cyklickým šestiuhlíkatým skeletem a třemi hydroxyskupinami navázanými na cyklickém skeletu, viz Obr. č.8 (Macholán, 2003).



Obr. č. 7 Schéma citrátového (Krebsova) cyklu; zdroj: E-learning VŠCHT



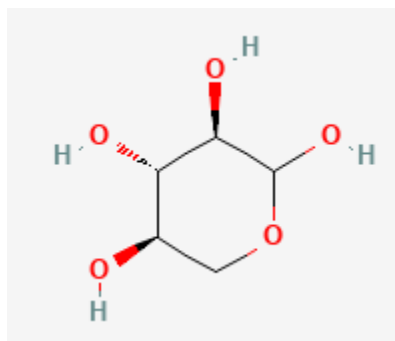
Obr. č.8 Strukturní vzorec kyseliny šikimové; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024ad)

Geny a enzymy pro syntézu sekundárních metabolitů mají jen určité organismy, nejčastěji se sekundární metabolity nachází v bakteriích, houbových organismech a rostlinách.

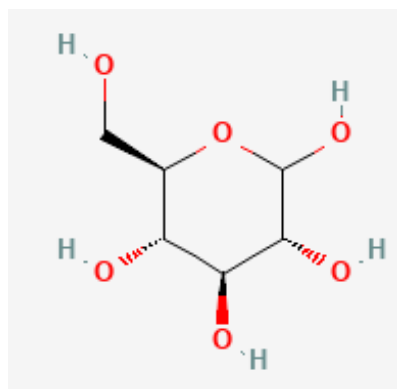
Antibiotika jsou látky produkované některými mikroorganismy, houbovými organismy (nejčastěji plísněmi) a rostlinami (Kaprálek, 2000; Macholán, 2003). Nejčastěji se využívají při léčbě bakteriálních onemocnění, při zánětech. Velké množství antibiotik jsou látky peptidického charakteru složené z aminokyselin, např. polymyxin. Dalším typem jsou antibiotika tetracyklinová, jejichž základní skelet je tvořen aromatickými jádry (Macholán, 2003), např. tetracyklin nebo oxytetracyklin (terramycin). Další skupinou jsou β -laktamová antibiotika, do kterých řadíme peniciliny, cefalosporiny, monobaktamy a karbapenemy. Dále mezi antibiotika řadíme aminoglykosidy, chloramfenikol, makrolidy, linkosamidy a další. Antibiotika se mezi sebou liší jak strukturou, tak mechanismem účinku (Kaprálek, 2000).

Jedněmi z nejznámějších sekundárních metabolitů rostlin jsou alkaloidy, dusíkaté sloučeniny, nejčastěji heterocyklické, zásaditého charakteru. U většiny alkaloidů není znám přesný význam pro danou rostlinu (Macholán, 2003). V dnešní době je popsáno kolem 15 000 druhů alkaloidů, které produkuje přibližně 20 % známých rostlin (Tomášková a Kubásek, 2016). V minulosti byly alkaloidy využívány v lidovém léčitelství, některé jako jedy. Jejich syntéza v organismech probíhá většinou z aminokyselin, např. argininu, fenylalaninu, lysinu, tryptofanu nebo tyrosinu. Přesný význam pro rostliny není úplně známý. Pravděpodobně jsou tyto látky tvořeny z důvodu ochrany proti predátorům nebo jako možný způsob odbourávání a skladování dusíkatých látek a dusíku (Aharoni a Galili, 2011; Macholán, 2003; Tomášková a Kubásek, 2017). K farmaceutickým účelům se některé druhy alkaloidů používají dodnes. Mnoho alkaloidů je v dnešní době využíváno/zneužíváno jako návyková látka, halucinogen nebo její součást. Příklady alkaloidů zneužívaných jako návykové látky mohou být morfin (mák setý (*Papaver somniferum*)), kokain (rudodřev koka (*Erythroxylon coca*)), atropin (rulík zlomocný (*Atropa belladonna*)), nikotin (tabák (*Nicotiana tabacum*)), strychnin (kulčiba dávivá (*Strychnos nux-vomica*)), THC (konopí seté (*Cannabis sativa*)), psilocybin (lysohlávka (*Psilocybe*)) nebo námellové alkaloidy (paličkovice nachová (*Claviceps purpurea*)) (Aharoni a Galili, 2011; Macholán, 2003). Lidé některé druhy alkaloidů využívají jako léčiva, např. chinin (chinovník (*Cinchona sp.*)) k léčbě malárie, atropin (rulík zlomocný (*Atropa belladonna*)) k léčbě některých srdečních obtíží, dále morfin (mák setý (*Papaver somniferum*)) ke zmírnění velmi silných bolestí. Chinin je jednou ze složek nápoje tonic, kterému dodává typickou nahořklou chuť. K povzbuzení organismu a stimulaci jsou hojně využívané alkaloid kofein (kávovník arabský (*Coffea arabica*)) a theobromin (kakaovník pravý (*Theobroma cacao*)). U jehličnanů se nachází alkaloidy pouze v tisu (*Taxus baccata*). A to taxin (Macholán, 2003).

Glykosidy jsou sloučeniny složené z cukerné a necukerné (tzv. aglykon) složky (Macholán, 2003), jedná se o deriváty sacharidů. Cukerná a necukerná část jsou spojeny glykosidovou vazbou. Cukernou částí glykosidů bývají nejčastěji monosacharidy xylóza viz Obr. č.9 a glukóza viz Obr. č.10. Z chemického hlediska se jedná o acetaly, které vznikají reakcí hemiacetalu s alkoholem v prostředí s nízkým pH (McMurry, 2015). Podle struktury necukerné části dělíme glykosidy do pěti podskupin, a to na fenolové glykosidy, kumariny, flavonoidové glykosidy, saponiny a kyanogenní glykosidy. Z kyanogenních glykosidů se působením enzymu glykosidázy uvolňuje kyanovodík. Kyanogenní glykosidy jsou typické pro pecky a jádra některých plodů, např. mandlí (Tomášková a Kubásek, 2017). Glykosidy jsou stálými sloučeninami, pokud se nachází v neutrálním nebo bazickém prostředí. V kyselém prostředí zředěných kyselin dochází k hydrolýze a rozštěpení celé molekuly na jednotlivé složky. Saponiny jsou látky, které dokáží vytvářet pěnu. Název celé skupiny je odvozený od latinského pojmenování rostliny mydlice lékařské (*Saponaria officinalis*). Dříve se rostliny obsahující saponiny používaly k umývání, dnes jsou součástí různých sirupů na zahlenění a vykašlávání nebo součástí emetik. Mezi glykosidy řadíme také tzv. srdeční glykosidy, které mají steroidní necukernou složku. Tyto látky jsou součástí některých léků na srdce, jelikož ovlivňují transport kationtů Na^+ a K^+ . Do této skupiny patří např. digitoxin obsažený v náprstníku červeném (*Digitalis purpurea*). Do srdečních glykosidů zařazujeme také bufanolidy, látky produkované ropuchami (Klouda, 2005).



Obr. č.9 Strukturální vzorec xylózy; šestičlenný cyklus se čtyřmi navázanými hydroxylovými skupinami; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024t)



Obr. č.10 Strukturní vzorec glukózy; šestičlenný cyklus s pěti navázanými hydroxylovými skupinami; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024s)

Třísloviny (taniny) patří do skupiny rostlinných fenolů. Produkovány jsou většinou dvouděložnými rostlinami, u jednoděložných nacházíme třísloviny pouze výjimečně, např. u kukuřice seté (*Zea mays*) nebo čiroku (*Sorghum*). Velké množství tříslovin jsou látky rozpustné ve vodě, schopné navázat se na některé proteiny. Třísloviny můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na hydrolyzovatelné a proanthokyanidiny. Hydrolyzovatelné třísloviny obsahují ve své molekule sacharid s více hydroxylovými skupinami. Při hydrolyze slabými zásadami nebo kyselinami vzniká sacharid a fenolkarboxylová kyselina. Proanthokyanidiny jsou mezi tříslovinami více zastoupeny a jedná se o kondenzáty. Při zahřívání v roztoku alkoholu s přídavkem kyseliny vznikají z proanthokyanidinů červené anthokyanidiny. V rostlinách se nejčastěji vyskytují ve vakuolách nebo ve vosku na povrchu plodů. Mají různou funkci, např. ochranu pupenů před nízkými teplotami, ochranu proti okusu listů nebo patogenními organismy. U jehličnanů mohou třísloviny napomáhat ke zvýšení odolnosti a trvanlivosti dřeva díky potlačení růstu a aktivity mikroorganismů. Třísloviny zapříčiňují trpkou chuť plodů, listů. Trpká chuť je žádoucí např. u suchých vín.

Flavonoidy zařazujeme do skupiny polyfenolů, které mají základní skelet složený z patnácti atomů uhlíku. Jedná se o dvě benzenová jádra propojená tříuhlíkatým řetězcem. Obvykle flavonoidy dělíme do šesti skupin podle struktury, a to na chalkony, flavony, flavonoly, flavanony, anthokyaniny a isoflavonoidy. Některé flavonoidy jsou využitelné v lékařství díky svým účinkům na organismus. V rostlinách jsou flavonoidy barvivy, např. u květů. Mezi flavony zařazujeme rutin, který zajišťuje žluté zbarvení. Anthokyaniny poskytují především červené, fialové a modré zbarvení. Při vytvoření komplexu s kationty některých kovů se může původní barva změnit. Příkladem může být komplex s kationtem mědi nebo niklu, který tvoří

bílou barvu. Barva může být závislá i na pH, např. u květů hortenzií (*Hydrangea*). V prostředí s vyššími hodnotami pH jsou květy zbarvené domodra, v prostředí s nižším pH pak dorůžova (Klouda, 2005; Macholán, 2003).

Steroidy jsou látky lipofilního charakteru s různými vlastnostmi a účinky v závislosti na struktuře a také na organismu, ve kterém se nachází. Díky své struktuře je můžeme zařazovat do skupiny triterpenů. Základním skeletem je steran viz Obr. č.11, od kterého dále odvozujeme ostatní skupiny steroidů (Klouda, 2005; Macholán, 2003). Jedná se o tři šestičlenné kruhy a jeden pětičlenný, vycházející ze struktury triterpenů (McMurry, 2015). Mezi steroidy nejčastěji řadíme fytosteroly, steroidní kardiaka, steroidní saponiny, steroidní alkaloidy a steroidní hormony.



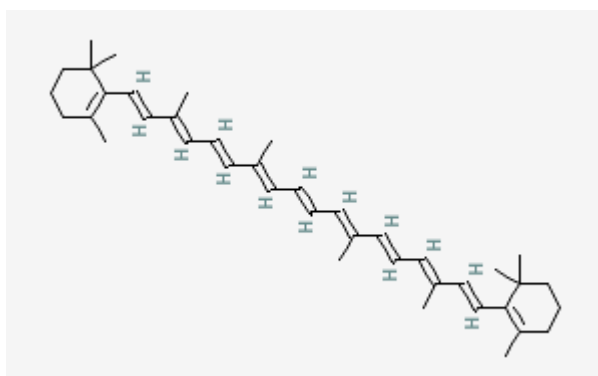
Obr. č.11 Zjednodušená struktura steranu, výchozí molekuly pro tvorbu steroidů; zdroj: ChemSketch

Fytosteroly jsou látky, které najdeme u vyšších rostlin, hub, řas, lišejníků a některých bakterií (např. ergosterol u kvasnic, ze kterého vychází kalciferol, neboli vitamín D₂). V organismech se objevují jak ve volné formě, tak navázané na mastné kyseliny nebo sacharidy. U vyšších rostlin jsou fytosteroly jedněmi ze struktur pro tvorbu buněčných membrán. Steroidní kardiaka jsou sloučeniny s větším počtem hydroxylových -OH skupin a nenasyceným laktonovým kruhem. V organismech způsobují srdeční obtíže až zástavu srdce při vysoké dávce. Při kontrolovaném používání v dohledu lékaře jsou ovšem používány na úpravu činnosti srdce a léčbě některých druhů srdečních chorob. Kardiaka se tvoří v rostlinách a žábách ropuchách (*Bufo*). Žabí jed je znám také pod názvem „šípový“, který využívají různé lidské praesní kultury k lovení potravy. Podle struktury se dělí na digitaloidy, které obsahují pětičlenný laktonový kruh a sciloidy s šestičlenným laktonovým kruhem. Typickými rostlinami produkujícími kardiaka jsou náprstníky, např. náprstník červený (*Digitalis purpurea*) a vlnatý (*D. lanata*). Steroidní saponiny jsou sloučeniny, které můžeme řadit také do glykosidů. Základní skelet tvoří sapogenin, který představuje necukernou složku glykosidu. Saponiny se často váží na hydroxylové sloučeniny, jako např. alkoholy, fenoly nebo cholesterol. Steroidní saponiny se

vyznačují hemolytickými vlastnostmi. Poslední skupinu steroidních látek představují steroidní alkaloidy, které ve své struktuře obsahují atom/y dusíku. Velmi často jsou tyto molekuly spojené s molekulou nějakého sacharidu. Typické jsou pro rostliny, ale mohou se vyskytovat také u živočichů. Např. u mloka (*Salamandra*) se jedná o samandarin, který má baktericidní a fungicidní účinky, rozkládá krev, je součástí křečového jedu. V rostlinné říši jsou typické pro zimoztráz (*Buxus spp.*) a čeleď lilkovitě (*Solanaceae*). U lilkovitých mají steroidní alkaloidy většinou složitější strukturu. Příkladem mohou být solanin nebo demissin.

Barviva jsou látky různé struktury, které způsobují zbarvení květů, listů, plodů. Můžeme je dělit do několika skupin. První skupinou jsou flavonoidy, které jsou uvedené v podkapitole výše. Další skupinou jsou anthokyany a katechiny, naftochinonová a anthrachinonová barviva, betalainy, indigoidní barviva, pigmenty u hmyzu a karotenoidní barviva. Anthokyany jsou sloučeniny, které vznikají z flavonoidů jejich redukcí. Přítomnost anthokyanů značí červená, fialová nebo modrá barva květů, listů a dalších orgánů. Podle struktury je řadíme mezi glykosidy, jejichž necukernou část tvoří anthokyanidiny. V rostlinách se anthokyany nachází nejčastěji ve vakuolách a navázané na pektiny. Můžeme je dělit do čtyř podskupin podle počtu hydroxylových -OH skupin navázaných na určité části molekuly. Zabarvení květů neovlivňuje pouze druh anthokyanů, ale také stáří květů nebo pH. Díky tomu může na jedné rostlině být i několik různých barev květů. Katechiny jsou látky podobné anthokyanům. Vznikají redukcí z anthokyanidinů. Jedná se primárně o bezbarvé sloučeniny, které vlivem různých podmínek polymerují a tím získávají hnědou barvu. Nejčastěji se vyskytují v čaji, smrkové nebo dubové kůře. Naftochinonová i anthrachinonová barviva řadíme do aromatických sloučenin, které vznikají kondenzací. K naftochinonům řadíme např. juglon z ořešáku královského (*Juglans regia*). Juglon je cytotoxická sloučenina, která je schopná vázat se na bílkoviny v kůži. Díky tomu způsobuje zhnědnutí až zčernání kůže po kontaktu. Anthrachinonová barviva jsou typická pro čeledi mořenovitě (*Rubiaceae*), řešetlákovitě (*Rhamnaceae*), rdesnovitě (*Polygonaceae*), liliovitě (*Liliaceae*) a pro mydlice (*Saponaria*). V zásaditém prostředí NH_3 (amoniak) dochází k zčervenání. Betalainy jsou barviva, která nalezneme jak u rostlin, tak u některých druhů hub, např. muchomůrky červené (*Amanita muscaria*). Betalainy můžeme rozdělit do dvou skupin, na betacyaniny a betaxanthiny. Betacyaniny se vyznačují červenofialovou barvou a jejich syntéza je odvozená od aminokyseliny tyrosinu. Betaxanthiny jsou strukturně podobné betacyaninům, rozdílné jsou aminokyseliny, od kterých je jejich struktura odvozená. Indigoidní barviva jsou sloučeniny získávané především z modřilu barvířského (*Indigofera tinctoria*) a borytu barvířského (*Isatis tinctoria*). Jedná se o sloučeniny, ve kterých se nachází glykosid

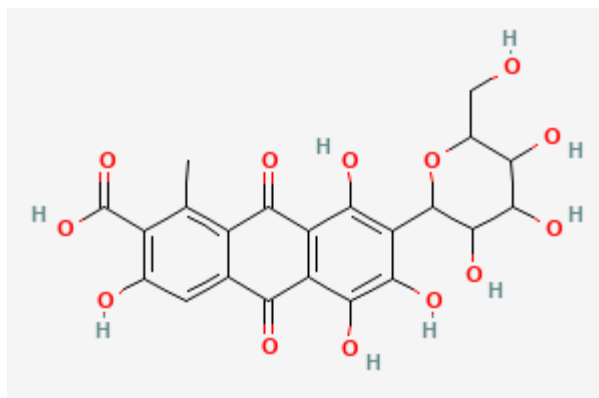
indikán. Barvivo indigo se získává louhováním natě ve vápňaté vodě a následné oxidaci vzdušným kyslíkem. Indigo má typickou tmavě modrofialovou barvu. Karotenoidní barviva jsou sloučeniny lipofilního charakteru. Někdy jsou řazeny mezi terpeny (tetraterpeny), jelikož jejich základní skelet je složen z osmi izoprenových jednotek. Nejčastěji se nachází v květech, listech a plodech rostlin, dále také v peří některých ptáků, např. papoušků. Do karotenoidních barviv řadíme karoteny, xanthofyly, lykopen, jonony a irony. Karoteny jsou typické oranžovou barvou, známé jsou např. α - nebo β -karoten viz Obr. č.12 (Klouda, 2005; Macholán, 2003; Masák, 2014).



Obr. č.12 Strukturální vzorec β -karotenu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024ae)

Xanthofyly jsou hydroxyderiváty karotenů, způsobují žluté zbarvení. Příkladem může být astaxanthin a lutein. Lykopen je barvivo nacházející se v rajčeti (*Solanum lycopersicum*), jehož molekula je tvořena jen lineárním řetězcem. Jonony a irony jsou sloučeniny obsažené v některých silicích. Pigmenty u hmyzu, případně i jiných živočichů, jsou různorodé sloučeniny. Některé z nich využívají i lidé, např. košenilu (Macholán, 2003). Košenila, také označovaná jako karmín nebo E 120 viz Obr. č.13, pochází ze sušených samiček červce nopálového (*Dactylopius coccus*) (Přispěvatelé Wikipedie, ©2024). Dalším pigmentem je protoafin nacházející se ve vlnatce krvavé (*Eriosoma lanigerum*). Protoafin je strukturně podobný košenile/karmínu. Časté jsou pigmenty u motýlů, které se nachází na křídlech. Většina pigmentů motýlů jsou deriváty pterinu, což je heterocyklická sloučenina. Známý je leukopterin, který je typický pro bělásky (*Pieris spp.*). U žluťásků (*Gonepteryx sp.*) (také sršňů a vos) se vyskytuje xanthopterin. Dalšími deriváty pterinu jsou chrysopterin a erythropterin. Mezi pigmenty flavonoidního charakteru řadíme apigenin a luteolin. Červené a fialové zbarvení

poskytují ommatiny a omminy, jejichž názvy jsou odvozené od ommatidií¹⁰. Barvivy, které se objevují u hmyzu i u jiných živočichů a také člověka jsou melaniny. Melaniny jsou barviva polymerní struktury, která vychází z tyrosinu. Poskytují hnědou až černou barvu křídel hmyzu, peří, chlupů, vlasů a pokožky u člověka (Klouda, 2005; Macholán, 2003).



Obr. č.13 Strukturní vzorec karmínu, barviva E 120 pocházejícího z červce nopálového (*Dactylopius coccus*); zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024)

Feromony jsou látky vylučované speciálními žlázami, které ovlivňují chování jiných jedinců. Jsou typické u hmyzu a některých obratlovců. Feromony můžeme rozdělit do několika skupin, a to na sexuální, které slouží k nalákání partnera, dále značkovací, sloužící ke značení cest ke zdroji potravy nebo vymezení teritoria. Další skupinou jsou feromony agregáční, které produkují matky sociálního hmyzu, dále poplašné feromony produkované v případě nebezpečí a poslední skupinu tvoří feromony obranné. Sexuální feromony jsou velmi druhově specifické. Chemicky se jedná nejčastěji o nenasycené alifatické alkoholy, dále aldehydy a estery kyselin. V dnešní době vědci připravují také syntetické feromony pro nalákání škůdců do pastí, např. pastí v sadech proti obaleči jablečnému (*Cydia pomonella*) nebo v lesích proti lýkožroutu smrkovému (kůrovec; *Ips typographus*). Látky podobné sexuálním feromonům hmyzu produkují také některé druhy hnědých mořských řas. Značkovací feromony jsou typické pro mravence nebo termity, kteří těmito sloučeninami značí stezky, po kterých se dostanou ostatní jedinci ke zdroji potravy. Kočkovité a psovitě šelmy si těmito feromony vyznačují svá teritoria. Poplašné feromony slouží k varování ostatních příslušníků kolonie při nebezpečí. Nejčastěji se vyskytují u společenského hmyzu. Obranné feromony, tzv. allomony, jsou jedovaté látky,

¹⁰ Ommatidie jsou jednotlivá malá oka, která nahloučená ve větším počtu tvoří složené oko. Složené oči jsou typické pro hmyz. Výsledný obraz je v podobě mozaiky, poskládaný z obrazu každého jednoho oka (Rosypal a et al., 2003, str. 351-352).

kteře se do těla organismu dostávají jiŹ ve stádiu housenky z potravy nebo jsou řůznými cestami syntetizované. Obranné feromony jsou látky zapáchající, palčivé, leptavé nebo toxické. Tyto látky se vyskytují u některých druhů motýlů, např. monarchy stěhovavého (*Danaus plexippus*), přástevníka starčkového (*Tyria jacobaeae*) nebo vřetenušek (*Zygaenidae*), dále u sluněček (*Coccinella*), majek (*Meloe*), ploštíc (*Heteroptera*) nebo puchýřníka lékařského (*Lytta vesicatoria*). Obranné feromony můžeme rozdělit podle chemické struktury do několika podskupin, např. organické kyseliny (kyselina mravenčí), aldehydy a ketony (benzaldehyd, citral, citronelal), fenoly a chinony (kresoly, hydrochinon), terpenoidy (α - a β -pinen), deriváty pregnanu a jiných pohlavních hormonů, dusíkaté sloučeniny (histamin, některé druhy alkaloidů) a anorganické sloučeniny (peroxid vodíku) (Klouda, 2005; Macholán, 2003).

Bioluminiscenční látky jsou sloučeniny, které způsobují světélkování organismů. Při světélkování se jedná o reakci luciferinu s enzymem luciferasou. Termolabilní enzym za přítomnosti vzdušného kyslíku spolu s ATP a kationtem Mg^{2+} oxiduje termostabilní luciferin za vyzařování světla řůzné barvy. Bioluminiscenci známe např. u světlušek, které mají speciální orgán na zadečku, a některých dalších druhů hmyzu, dále u hlubokomořských ryb a medúz, některých korýšů, bičíkoviců, bakterií a hub (příkladem může být podhoubí václavky obecné *Armillaria mellea*) (Macholán, 2003).

Produkty sekundárního metabolismu jsou pro organismy postradatelné, jelikož nezajišťují základní životní funkce (Anon., 2011). Jejich produkce ale může organismům pomáhat zlepšovat kondici a obranyschopnost, pomáhat v boji proti patogenům, nepřátelským organismům nebo látkám, které je mohou ohroŹovat. Dále mohou díky těmto látkám regulovat růst okolních organismů, např. jejich inhibice a tím získání většího prostoru pro sebe. Rostliny díky produkci sekundárních metabolitů lákají opylovače a roznašeče semen, což jim velmi napomáhá k úspěšnějšímu rozmnoŹování a genetické variabilitě (Masák, 2014). Syntézou některých druhů sekundárních metabolitů jsou organismy schopny zbavovat se řůzných odpadních látek, např. dusíkatých sloučenin (Anon., 2011).

Velké množství sekundárních metabolitů je využíváno člověkem ve farmaceutickém průmyslu jako léčiva nebo jejich součástí. V potravinářství a kosmetickém průmyslu jsou to nejčastěji řůzná barviva produktů nebo vonné látky. V zemědělství se sekundární metabolity uplatňují jako insekticidy nebo herbicidy.

4. Silice

Silice, také éterické nebo esenciální oleje, jsou směsí vonných a těkavých látek. Název „éterický“ znamená prchavý, vzdušný a pravděpodobně vychází z jedné z typických vlastností silic – těkavosti, snadného vypařování. Název „esenciální“ se překládá jako základní, nezbytný, podstatný, hlavní nebo důležitý. Díky tomuto názvu můžeme předpokládat, že jsou silice důležitou součástí jak života lidí, tak rostlin. Poprvé pojem „esenciální olej“ zavedl v 16. století Paracelsus z Hohenheimu (Taheri et al., 2023), významný lékař, alchymista a vědec tehdejší doby.

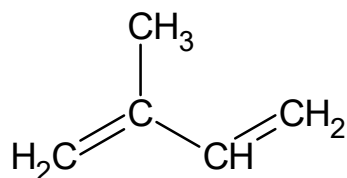
V rostlinách jsou silice tvořeny především v cytoplasmě a/nebo plastidech (Taheri et al., 2023). Naleznout je můžeme v jakémkoli orgánu (kořen, stonek, list, kůra, pupen, květ, plod), dále ve specifických strukturách jako jsou např. žlaznaté trichomy, siličné kanálky, buňky a nádržky, dále oplodí některých druhů citrusů z čeledi Rutaceae (Dodt, 1996; Spilková, 2016). Obsahem silic jsou významné převážně čeledi hluchavkovité (Lamiaceae), vavřínovité (Lauraceae), myrtovité (Myrtaceae), routovité (Rutaceae), růžovité (Rosaceae), miříkovité (Apiaceae), hvězdnicovité (Asteraceae), zázvorovité (Zingiberaceae), kakostovité (Geraniaceae), borovicovité (Pinaceae), tisovité (Taxaceae) a cypřišovité (Cupressaceae) (Jahodář, 2011).

4.1. Složení silic

Silice jsou nejčastěji sloučeninami ze skupiny terpenů a jejich derivátů (Korbelář a Endris, 1981). Dalšími složkami silic bývají alkoholy, fenoly, uhlovodíky, karboxylové kyseliny, estery, ketony a aldehydy (Dodt, 1996; Liang et al., 2023), podrobněji se budu těmto složkám věnovat v dalším textu.

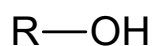
Většina těchto sloučenin určuje chemické a biologické vlastnosti silic (Taheri et al., 2023). Většina složek silic se řadí mezi organické nebo bioorganické sloučeniny. Může se jednat o samotné uhlovodíky, dále jejich deriváty, nejčastěji kyslíkaté. Díky chemické struktuře mají různé druhy silic jiná působení a účinky. Silice se vyznačují lipofilním/hydrofobním charakterem, jsou tedy ve vodě nerozpustné (Taheri et al., 2023). U rostlin způsobují unikátní vůni a v některých případech i chuť (Anon., 2022). Každý druh silice má specifické složení (Anon., 2022). Složení a množství silic u stejných druhů rostlin může být rozdílné, v závislosti na podmínkách prostředí, např. substrát, vlhkost, teplota, část rostliny, patogenní organismy, roční období, část dne, světlo/tma a mnoho dalších faktorů (Dodt, 1996; Krejčíková, 2017). V dalším textu se budu podrobněji věnovat některým složkám.

- Terpeny – Terpeny se řadí mezi terpenoidy, což jsou organické sloučeniny, alifatické i cyklické, s různou strukturou, některé obsahují i jiné atomy než uhlík a vodík, např. kyslík. Terpeny mají ve svém skeletu přítomnou alespoň jednu dvojnou vazbu. Skládají se z pětiuhlíkatých izoprenových jednotek C₅. Dělí se podle počtu jednotek isoprenu na mono-, seskvi-, di-, tri-, ... terpeny (Macholán, 2003; Masák, 2014).

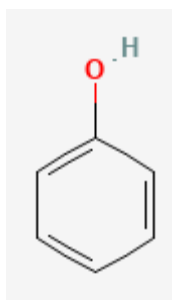


Obr. č.14 2-methylbuta-1,3-dien, isopren, základní jednotka terpenů; zdroj:
ChemSketch

- Alkoholy a fenoly – Alkoholy i fenoly jsou kyslíkaté deriváty uhlovodíků, se specifickou funkční skupinou - OH. Alkoholy a fenoly se od sebe liší typem uhlovodíkového řetězce; alkoholy mají alifatický řetězec, zatímco u fenolů je řetězec aromatického charakteru. Typickým zástupcem alkoholů je ethanol (McMurry, 2015).

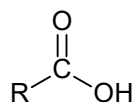


Obr. č.15 Obecný vzorec alkoholu; R označuje uhlovodíkový zbytek; zdroj:
ChemSketch



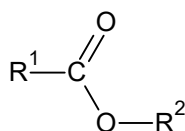
Obr. č.16 Strukturní vzorec fenolu; zdroj: PubChem (National Center for
Biotechnology Information, 2024ab)

- Karboxylové kyseliny – Karboxylové kyseliny jsou, stejně jako alkoholy a fenoly, kyslíkatými deriváty uhlovodíků, s funkční skupinou – COOH (McMurry, 2015). Jednou z nejznámějších a hojně využívaných karboxylových kyselin je kyselina octová.



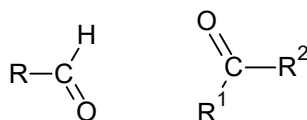
Obr. č.17 Obecný vzorec karboxylové kyseliny, typická funkční skupina -COOH; R označuje uhlovodíkový zbytek; zdroj: ChemSketch

- Estery – Estery jsou sloučeniny odvozené od karboxylových kyselin. Lze je připravit reakcí karboxylové kyseliny s alkoholem nebo reakcí karboxylového zbytku s alkyhalogenidem. Estery mají často specifickou vůni (McMurry, 2015).



Obr. č.18 Obecný vzorec esteru; R¹ a R² označují uhlovodíkové zbytky, které mohou být stejné nebo rozdílné; zdroj: ChemSketch

- Aldehydy a ketony – Aldehydy a ketony jsou dalšími z kyslíkatých derivátů. Velmi často jsou součástí metabolických drah ve všech typech organismů (McMurry, 2015).



Obr. č.19 Obecný vzorec aldehydu (vlevo) a ketonu (vpravo); R, R¹ a R² označují uhlovodíkové zbytky; zdroj: ChemSketch

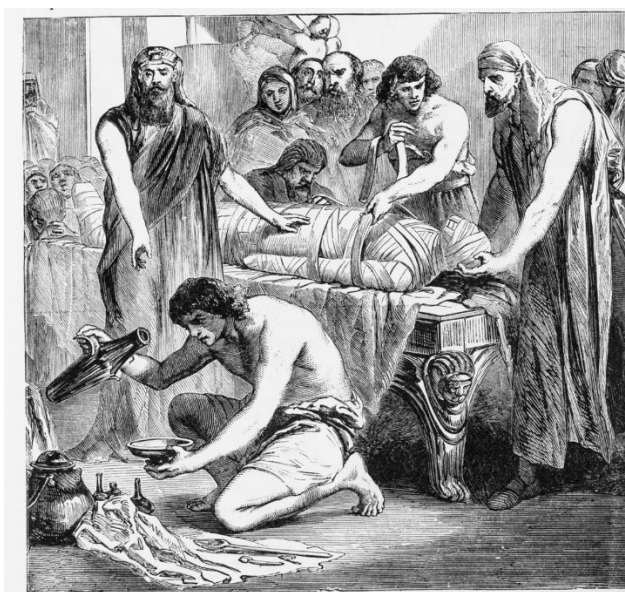
4.2. Využití silic rostlinami

Pro rostliny jsou silice jedním z možných způsobů, jak se bránit proti nepřítelům, jako jsou např. různé druhy patogenních mikroorganismů (bakterie, viry, houbové organismy), hmyz nebo obratlovci, kteří způsobují okus rostlinných částí. U mnoha druhů slouží jako látky pro nalákání opylovačů nebo organismů roznášejících jejich pyl a semena. Silice mohou také sloužit jako látky, díky kterým rostliny komunikují mezi sebou a s okolním prostředím, tzv. signální molekuly (Nazzaro et al., 2017). Díky silicím některé druhy rostlin dokáží potlačovat růst jiných druhů v jejich okolí.

4.3. Historie používání silic člověkem

Mnoho silic bylo pro své různorodé účinky využíváno již od starověkých civilizací k léčení různých onemocnění, pro navození duševního klidu, dezinfekci, ochucování potravin, jako přídatná látka do mastí pro zlepšení vůně nebo jako složka vonných směsí a parfémů (Nazzaro

et al., 2017). U starověkých Egyptů byly pryskyřice a silice důležitou složkou při balzamování mrtvých těl viz Obr. č. 20. Olejnaté sloučeniny a další vlastnosti silic znemožnily, spolu s obvazovými materiály, přístup bakterií a dalších organismů k tělu a tím i jeho rozklad (Ochmanová, 2023). Tzv.: morovní doktoři, měli ve svých typických maskách snítky aromatických bylin. Antimikrobní látky v silicích chránily osobu před bakteriemi způsobujícími mor (bakterie *Yersinia pestis*) a také před zápachem. Ve středověku a novověku byly silice používané k odpuzování hmyzu a zápachu potu nebo zápachu z ulic a obydlí (Dodt, 1996).



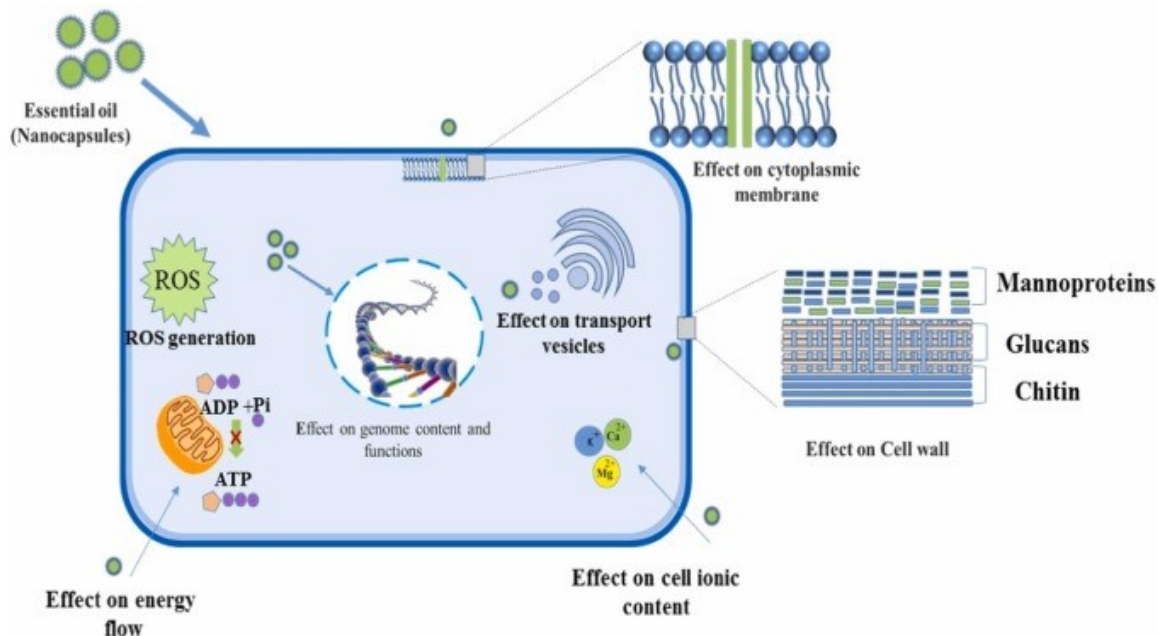
Obr. č. 20 Proces mumifikace; zdroj: iStock (Ochmanová, 2023; Anon., [b.r.]

4.4. Současné využívání silic

V dnešní době jsou silice předmětem velkého zájmu veřejnosti, jak odborné, tak i laické. Mohou být využívány jako náhrada za některá syntetická léčiva, na která si patogenní organismy již vytvořily rezistenci, nebo si ji vytváří. Jedním z mnoha příkladů je účinek některých silic na houby a/nebo bakterie. V tomto případě některé složky silic dokáží zeslabit nebo úplně potlačit růst těchto organismů a znemožnit tvorbu biofilmu¹¹ (Nazzaro et al., 2017). Silice mají lipofilní charakter a díky této vlastnosti mohou mít potenciální schopnost snadno narušovat a pronikat přes cytoplazmatickou membránu buněk. Dalším mechanismem účinku je ovlivnění funkce mitochondrií. To je způsobené změnou některých enzymů, jako je např.

¹¹ Biofilm je označení pro společenstvo bakterií (ale i kvasinek a plísní), které se vyznačuje přichycením na určitý povrch, větším počtem bakteriálních (houbových) buněk, obalem a komunikací mezi jednotlivými buňkami. Biofilm vzniká jen z jedné buňky, která se dále množí, nebo z většího počtu buněk. Díky tvorbě biofilmu jsou buňky odolnější vůči vnějším vlivům, mohou si předávat informace nebo schopnosti rezistence na antibiotika a další látky (Kvasničková, 2016).

dehydrogenasa, a tím porušením správného fungování dýchacího řetězce. Některé silice způsobují snížení pH uvnitř buňky a její smrt. Buněčná smrt může být způsobená také potlačením syntézy částí cytoplazmatické membrány (chitin, glukán, ergosterol). Kvůli tomu dochází k nenávratným změnám v tvaru a vlastnostech membrány. Vlastností některých silic je i jejich schopnost znemožnit buňkám se množit díky působení na mikrotubuly dělicího vřeténka, dále i ovlivnění samotné syntézy DNA (Taheri et al., 2023). Výše zmíněné působení silic na buňku hub je zobrazené na obrázku č.21 (Taheri et al., 2023).



Obr. č. 21 Možné působení EO na buněčné struktury hub, např. cytoplazmatickou membránu, buněčnou stěnu nebo transportní vezikuly; zdroj: (Taheri et al., 2023).

Dále je možné využít silice nebo některé jejich složky jako alternativní způsoby k léčení určitých onemocnění. V současné době je věnována pozornost silicím z hlediska působení na centrální nervový systém (CNS) a léčení některých onemocnění, jako např. demence (citroník limonový (*Citrus limon*), levandule lékařská (*Lavandula angustifolia*), borovice halepská (*Pinus halepensis*), citroník pomerančový; bergamot (*Citrus aurantium*), rozmarýn lékařský (*Rosmarinus officinalis*), šalvěj lékařská (*Salvia officinalis*), voňatka Winterova; lemongrass (*Cymbopogon winterianus*), kurkuma dlouhá a žlutokořenná (*Curcuma longa* a *C. xanthorrhiza*)), Alzheimerova choroba, epilepsie (máta peprná (*Mentha x piperita*), pepřovník černý (*Piper nigrum*), pětikřídlec kafrový (borneol) (*Dryobalanops aromatica*), silice s vyšším obsahem terpenoidů), úzkosti (levandule lékařská (*Lavandula angustifolia*), citroník (*Citrus spp.*), růže (*Rosa spp.*), šalvěj lékařská (*Salvia officinalis*), tymián obecný (*Thymus vulgaris*),

pimentovník pravý (*Pimenta dioica*) a deprese (rozmarýn lékařský (*Rosmarinus officinalis*), levandule lékařská (*Lavandula angustifolia*), kakost smrdutý (*Geranium robertianum*), bazalka vonná (*Ocimum basilicum*), citroník pomerančový sladký (*Citrus aurantium subsp. aurantium*)) nebo různé bolesti (levandule lékařská (*Lavandula angustifolia*), citroník pomerančový; bergamot (*Citrus aurantium*), sedoulek japonský (*Ophiopogon japonicus*), pinen, cis-basil) (Liang et al., 2023). Častým použitím silic mnoha rostlin je aromaterapie (vnímání vůní; rozmarýn (*Rosmarinus officinalis*), levandule (*Lavandula angustifolia*), citrus (*Citrus spp.*), růže (*Rosa spp.*), zázvor lékařský (*Zingiber officinale*), máta peprná (*Mentha x piperita*), kardamom obecný (*Elletaria cardamomum*), vanilovník širokolistý (plocholistý) (*Vanilla planifolia*), šalvěj lékařská (*Salvia officinalis*)), dále koupelové přísady, masážní oleje a krémy nebo složky parfémů (růže (*Rosa spp.*), konvalinka vonná (*Convallaria majalis*), vetiverie ovsuchovitá (*Chrysopogon zizanioides*), máta peprná (*Mentha x piperita*), vanilovník širokolistý (plocholistý) (*Vanilla planifolia*), levandule lékařská (*Lavandula angustifolia*), citroník (*Citrus spp.*)) a dalších vonných roztoků (Dodt, 1996; Liang et al., 2023). Obzvláště aromaterapie se využívá k navození duševní pohody, klidu a celkového zklidnění organismu.

4.5. Rizika a bezpečnostní opatření při používání silic

Čisté silice jsou vysoce koncentrované látky a jejich použití je spojeno s možnými určitými riziky. Oleje nesmí být užívány vnitřně, ale pouze zevně jako naředěné roztoky nebo ve směsi s rostlinnými a živočišnými tuky, dále také s alkoholem nebo vlasovými přípravky. Silice nesmí přijít do styku s očima, sliznicemi a pohlavními orgány. Při používání ve vysokém množství byla prokázána nebezpečnost. Některé silice (např. bergamot, citrusy) mohou na přímém slunci na pokožce způsobit vyrážky, skvrny, někdy až puchýře. V těhotenství a u malých dětí je používání esenciálních olejů sporné. Některé druhy silic se obzvláště v minulosti používaly jako abortiva (Dodt, 1996).

4.6. Způsoby získávání silic

Silice lze získat mnoha způsoby, jejichž použití se liší podle obsahu silic v dané části rostliny, chemických a biologických vlastností, efektivnosti, náročnosti a také finančních nákladů (Spilková, 2016). Častým způsobem získávání silic je destilace vodní parou, prostá destilace, fyzikální metody bez zahřívání na vysokou teplotu, dále mechanické lisování, extrakce lipofilními rozpouštědly a další (Nazzaro et al., 2017; Spilková, 2016). Získávání silic je poměrně finančně náročný proces, další komplikací je omezené množství materiálu ke spotřebě. Na malé množství silice je nutné spotřebovat velké množství rostlinného materiálu, jehož zásoby nejsou nekonečné (Dodt, 1996). U některých druhů silic je velká snaha o přípravu

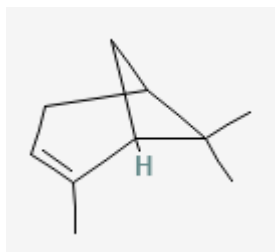
syntetických náhražek, které však nejsou vždy tak účinné, jako samotné přírodní. Při odlišném způsobu získávání silic z téhož druhu rostliny, může být obsah a složení různé. Tento fakt je způsoben tím, že jednotlivé složky silic se mohou, např. při různých teplotách, při kontaktu s vodou u přímé (prosté) destilace, chovat jinak. Příkladem může být rozdíl mezi prostou destilací, kdy se rostlinný materiál ve vodě vaří, a extrakcí. U prosté destilace používáme vyšší teplotu, kdy může docházet ke změnám ve struktuře některých sloučenin obsažených v silici (Spilková, 2016).

5. Silice v jehličnanech

V jehličnanech se vyskytuje mnoho druhů silic. Nejčastěji se jedná o silice ze skupiny monoterpenů, často s kruhem ve své struktuře. Mají velmi často ochrannou funkci proti nežádoucím organismům a patogenům.

α -pinen, systematicky 2, 6, 6 - trimethylbicyklo[3.1.1]hept-2-en, viz Obr. č.21, je za běžných podmínek bezbarvá kapalina s typickou borovicovou vůní. Řadíme jej mezi monoterpeny. Molární hmotnost je $136,23 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, teplota tání $-55 \text{ }^\circ\text{C}$, teplota varu pak $156,2 \text{ }^\circ\text{C}$ a hustota $0,8592 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (National Center for Biotechnology Information, 2024e). Sloučenina je rozpustná v olejích a organických rozpouštědlech (např. ethanolu, etheru, propylenglykolu, glycerinu nebo chloroformu) (CAMEO Chemicals, 2024a). Nejčastěji se získává z terpentýnu (směs α -pinenu a β -pinenu), v poslední době jsou prováděny výzkumy na alternativní možnosti jeho získávání, např. prostřednictvím genového inženýrství s bakteriemi *Escherichia coli* (Yang et al., 2013). Využívá se především k výrobě kamforu a dalších druhů silic, insekticidů a pesticidů, rozpouštědel, základů pro parfémy, jako osvěžovač vzduchu (složka vonných svíček) nebo jako součást čisticích přípravků do domácnosti. V nízkých koncentracích je využíván také v potravinářství ke zlepšování vůně a chutí výrobků (National Center for Biotechnology Information, 2024f; Brown, 2024b). Nebezpečím při manipulaci s α -pinenem mohou být jeho dráždivé účinky na kůži a sliznice, ve vyšších koncentracích také poškození CNS. Při jeho přímém požití je velmi nebezpečný. Může způsobovat kontaktní dermatitidu, alergické reakce a akutní toxicitu (Brown, 2024b; CAMEO Chemicals, 2024a).

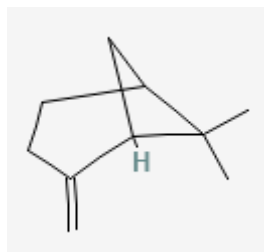
α -pinen můžeme nalézt jako jednu z hlavních složek u borovic (*Pinus*), např. b. pokroucené (*Pinus contorta*), kalábrijské (*P. brutia*), limbovitě (*P. cembroides*), dlouhověké (*P. longaeva*), osinaté (*P. aristata*) a rzedowského (*P. rzedowski*), dále u smrku východního (*Picea orientalis*), jedlí normandské (*Abies normandianna*) a korejské (*A. koreana*), jalovců horského (*Juniperus monticola*), tisolistého (*J. taxifolia*), durangského (*J. durangensis*) a Jalisco (*J. jaliscana*), modřínů japonského (*Larix kaempferi*) a dahurského (*L. gmelinii*), cypřišku Lawsonova (*Chamaecyparis lawsoniana*), douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*) nebo zeravu japonského (*Thuja standishii*). Kromě jehličnanů jsou zdrojem α -pinenu také rozmarýn lékařský (*Rosmarinus officinalis*), saturejka zahradní (*Satureja hortensis*), eukalyptový olej nebo olej z pomerančových slupek (Rutz et al., 2022d).



Obr. č. 21 Chemický vzorec α – pinenu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024g)

β -pinen, systematicky 6,6-dimethyl-2-methylidenbicyklo[3.1.1]heptan, viz Obr. č.22, někdy také označovaný jako „pseudopinen“ je izomer α -pinenu. Rozdílná je poloha dvojné vazby, která se u β -pinenu nachází mimo cyklický řetězec. Jedná se o bezbarvou kapalinu s molární hmotností $136,23 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, teplotou varu $166 \text{ }^\circ\text{C}$, teplotou tání $-61,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a hustotou $0,865 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}$ (National Center for Biotechnology Information, 2024j). Je nerozpustný ve vodě, téměř nerozpustný v propylenglykolu a rozpustný v tucích, etheru, benzenu a chloroformu. Nejčastěji se získává z terpentýnu frakční destilací, kde se nachází i α -pinen (National Center for Biotechnology Information, 2024j; Hastings et al., 2017a). Často se využívá jako osvěžovač vzduchu (např. ve vonných svíčkách nebo rozprašovačích), základ do parfémů, přísada do čisticích prostředků a v nízkých koncentracích také jako dochucovadlo. Při přímém kontaktu může způsobovat podráždění kůže a sliznic, ve vyšších koncentracích a vystavení má negativní účinky na centrální nervovou soustavu (může vyvolat delirium, stavy ataxie) nebo ledviny. Pro některé jedince je vysoce alergenní (National Center for Biotechnology Information, 2024j; Brown, 2024d).

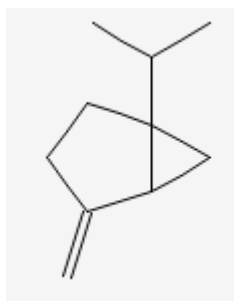
β -pinen je typický pro borovice lesní (*Pinus sylvestris*), Elliottovu (*P. elliotii*), těžkou (*P. ponderosa*), montereyskou (*P. radiata*), hustokvětou (*P. densiflora*), Heldreichovu (*P. heldreichii*), bahenní (*P. palustris*), pohorskou (*P. monticola*) Lambertovu (*P. lambertiana*), Jeffreyovu (*P. jeffreyi*) a ohebnou (*P. flexilis*), jalovce obecného (*Juniperus communis*) a horského (*J. monticola*), smrk ztepilý (*Picea abies*), jedli bělokorou (*Abies alba*), cypřiš stálezelený (*Cupressus sempervirens*), ketelerku Davidovu (*Keteleeria davidiana*) a tisovec dvouřadý (*Taxodium distichum*) (Rutz et al., 2022f).



Obr. č.22 Chemický vzorec β – pinenu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024k)

Sabinen, systematicky 4-methyliden-1-(propan-2-yl)bicyklo[3.1.0]hexan, viz Obr. č.23, je monoterpen nacházející se kromě jehličnanů také v černém pepři, kde je jednou ze složek způsobujících jeho pálivost. Sabinen má molární hmotnost $136,23 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, teplotu varu $163 - 165 \text{ }^\circ\text{C}$ a hustotu $0,842 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Využívá se jako základ do parfémů, k syntéze dalších sloučenin, v nižších koncentracích jako dochucovadlo (Brown, 2024d). Může způsobovat alergické reakce, dráždí kůži, po požití má negativní účinky na celé tělo a je toxický (National Center for Biotechnology Information, 2024j; Jahodář, 2022).

Sabinen nalezneme u borovic sumaterské (*Pinus merkusii*), ohebné (*P. flexilis*), vrcholové (*P. discolor*), limbovité (*P. cembroides*), lesní (*P. sylvestris*), dlouhověké (*P. longaeva*) a osinaté (*P. aristata*), jedlí bělokoré (*Abies alba*) a sachalinské (*A. sachalinensis*), jalovce obecného (*Juniperus communis*), modřínu amerického (*Larix laricina*), zeravince japonského (*Thujopsis dolabrata*), zeravce východního (*Platycladus orientalis*), zeravu obrovského (*Thuja plicata*) a cypřiše velkoplodého (*Cupressus monocarpa*) (Rutz et al., 2022f).

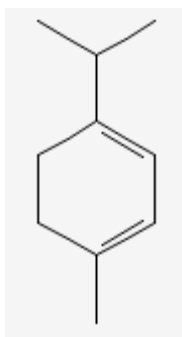


Obr. č.23 Chemický vzorec sabinenu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024ad)

α -terpinen, systematicky 1-methyl-4-(propan-2-yl)cyklohexa-1,3-dien, viz Obr. č.24, je jedním ze tří izomerů. Dalšími izomery jsou β - a γ -terpinen, které se liší polohou dvojných vazeb uvnitř cyklu. V jehličnanech jsou také méně rozšířené. α -terpinen je pevná látka nebo bezbarvá olejovitá kapalina s molární hmotností, teplotou varu $173-175 \text{ }^\circ\text{C}$, teplotou tání

cca 25 °C a hustotou 0,838 g·cm⁻³ (National Center for Biotechnology Information, 2024h). Jedná se o monoterpen, nerozpustný ve vodě a rozpustný v tucích nebo ethanolu. Využívá se jako osvěžovač vzduchu (např. vůně do automobilů), základ do vůní a parfémů, jako insekticid a v nižších koncentracích jako dochucovadlo (Hastings et al., 2019). Při kontaktu dráždí oči a kůži, při dlouhodobém vystavení může vyvolat až bezvědomí, je neurotoxický a zdraví škodlivý po požití a inhalaci (Brown, 2024b).

α-terpinen nalezneme u borovic kalábrijské (*Pinus brutia*), hustokvěté (*P. densiflora*), ohebné (*P. flexilis*), limbovité (*P. cembroides*) a lesní (*P. sylvestris*), jalovců obecného (*Juniperus communis*), Jalisco (*J. jaliscana*), horského (*J. monticola*) a velkoplodého (*J. macrocarpa*), smrků ztepilého (*Picea abies*) a Glehnova (*P. glehnii*), modřínu sibiřského (*Larix sibirica*), cypřišku hrachonosného (*Chamaecyparis pisifera*), cypřiše stálezeleného (*Cupressus sempervirens*) a arizonského (*C. arizonica*), cedru libanonského (*Cedrus libani*), sekvoje vždyzelené (*Sequoia sempervirens*), sekvojovce obrovského (*Sequoiadendron giganteum*) a zeravu obrovského (*Thuja plicata*) (Rutz et al., 2022m).

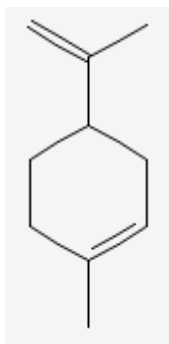


Obr. č.24 Chemický vzorec α – terpinenu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024i)

Limonen, systematicky 1-methyl-4-(prop-1-en-2-yl)cyklohexen, viz Obr. č.25, je bezbarvá kapalina s molární hmotností 136,23 g·mol⁻¹, teplotou varu 177,78 °C, teplotou tání -40 °C a hustotou 0,840 g·cm⁻³. Je nerozpustný ve vodě a mísitelný s alkoholem a ethery (National Center for Biotechnology Information, 2024v). Je typický pro svou citronovou vůni a nejčastěji se nachází v citrusových plodech. Využívá se jako základ do vůní a parfémů, jako rozpouštědlo pryskyřic, vosků a gum, látka sloužící k úpravě některých vlastností laků, barev a dalších syntetických látek, jako insekticid a pesticid, složka do prostředků k čištění domácnosti, osvěžovač vzduchu, přídatná látka do kosmetických přípravků, jako jsou např. sprchové gely, mýdla, šampony, přípravky proti pocení, zubní pasty (Anon., 2019; CAMEO Chemicals,

2024c). Při přímém kontaktu způsobuje podráždění kůže a očí, při požití dráždí trávicí ústrojí, má neurotoxické účinky (Brown, 2024g).

Limonen je typický pro borovice Heldreichovu (*Pinus heldreichii*), pohorskou (*P. monticola*), Jeffreyovu (*P. jeffreyi*), těžkou (*P. ponderosa*), Lambertovu (*P. lambertiana*), pozdní (*P. serotina*), ohebnou (*P. flexilis*), limbu (*P. cembra*) a lesní (*P. sylvestris*), dále pro jedle bělokorou (*Abies alba*) a balzámovou (*A. balsamea*), modřínů americký (*Larix laricina*) a západoamerický (*L. occidentalis*), smrk ztepilý (*Picea abies*), jalovce obecný (*Juniperus communis*) a ztepilý (*J. excelsa*), cypřišky hrachonosný (*Chamaecyparis pisifera*) a tupolistý (*Ch. obtusa*), ketelerku Davidovu (*Keteleeria davidiana*), kryptomerii japonskou (*Cryptomeria japonica*), sekvojovec obrovský (*Sequoiadendron giganteum*), cypřiše mexický (*Cupressus lusitanica*) a stálezelený (*C. sempervirens*) a hlavotis (*Cephalotaxus*) (Rutz et al., 2022i).

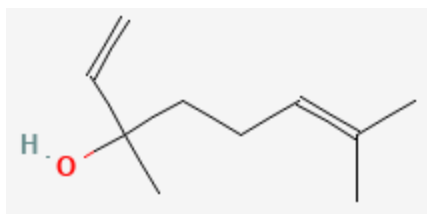


Obr. č.25 Chemický vzorec limonenu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024w)

Linalool, systematicky 3,7-dimethylocta-1,6-dien-3-ol, viz Obr. č.26, je monoterpen s molární hmotností $154,25 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, teplotou varu $194\text{--}200 \text{ }^\circ\text{C}$, teplotou tání $-74 \text{ }^\circ\text{C}$ a hustotou $0,865\text{--}0,870 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (National Center for Biotechnology Information, 2024x). Synteticky je možné jej vyrobit z geraniolu, jeho destilací a dalšími úpravami. Kromě získávání linaloolu přímo z rostlin nebo při průmyslové syntéze, produkují linalool také kvasinky, např. kvasinka pivní (*Saccharomyces cerevisiae*) (Anon., 2017). Linalool je při běžných podmínkách bezbarvá až nažloutlá kapalina se svěží květinovou až dřevitou vůní. Je nerozpustný ve vodě a glycerolu, rozpustný v alkoholech, etheru, olejích a propylenglykolu. Využívá se jako základ při výrobě parfémů, kosmetických přípravků, čisticích a dalších přípravků pro domácnosti, osvěžovačů vzduchu, laků na nehty nebo jako odmašťovač. V průmyslu je využíván k syntéze barev a laků, jako insekticid a biocid. Často je také přidáván do přípravků pro zvířata proti blechám, vším, klíšťatům, komárům a dalším parazitům. Má také antimikrobní účinky (Hastings et al., 2017b; National Center for Biotechnology Information, 2024x). Při přímém kontaktu může

podráždit oči, kůži a sliznice, může způsobovat poškození jater, při dlouhodobé inhalaci má sedativní účinky, může vyvolávat alergické reakce nebo kontaktní dermatitidu (Brown, 2024h).

Linalool nalezneme u jalovců obecného (*Juniperus communis*), horského (*J. monticola*), durangského (*J. durangensis*), Jalisco (*J. jaliscana*) a tisolistého (*J. taxifolia*), dále u borovic zakrslé (*Pinus pumila*), halepské (*P. halepensis*) a limby (*P. cembra*), jedlí sachalinské (*Abies sachalinensis*) a šensijské (*A. chensinensis*), smrků červeného (*Picea rubens*) a Schrenkova (*P. schrenkiana*), zeravu japonského (*Thuja standishii*), sekvojovce obrovského (*Sequoiadendron giganteum*), kryptomerie japonské (*Cryptomeria japonica*) a tisů červeného (*Taxus baccata*) a japonského (*T. cuspidata*) (Rutz et al., 2022j).

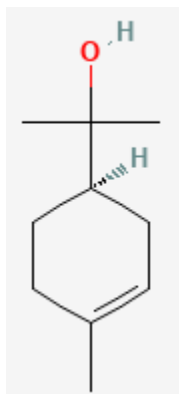


Obr. č.26 Chemický vzorec linaloolu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024y)

Terpineol, systematicky 2-[(1R)-4-methylcyklohex-3-en-1-yl]propan-2-ol, viz Obr. č.27, se často nachází jako směs tří svých isomerů α -, β - a γ -. Při pokojové teplotě se jedná o pevnou látku s molární hmotností $154,25 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, teplotou varu $218,0 \text{ }^\circ\text{C}$, teplotou tání $37,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a hustotou $0,935 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Anon., 2021; National Center for Biotechnology Information, 2024a). Využívá se jako základ do vůní a parfémů, kosmetických přípravků; podle některých studií má schopnost snížit rychlost růstu lidských melanomů, má analgetické, sedativní a antiseptické účinky. V zemědělství se využívá jako pesticid a insekticid. Při kontaktu může způsobit podráždění kůže a očí, při inhalaci podráždění dýchacích cest, je toxický pro některé orgány (Hastings et al., 2014).

Terpineol je typický pro smrky ztepilý (*Picea abies*), červený (*P. rubens*), sitku (*P. sitchensis*) a omoriku (*P. omorika*), jalovce obecný (*Juniperus communis*), horský (*J. monticola*) a tisolistý (*J. taxifolia*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*), těžkou (*P. ponderosa*), korejskou (*P. koraiensis*) a halepskou (*P. halepensis*), modřiny dahurský (*Larix gmelinii*), americký (*L. laricina*) a západoamerický (*L. occidentalis*), cypřišky tupolistý (*Chamaecyparis obtusa*) a Lawsonův (*Ch. lawsoniana*), cedr libanonský (*Cedrus libani*), zeravy japonský (*Thuja standishii*), obrovský (*T. plicata*) a západní (*T. occidentalis*), kryptomerii japonskou (*Cryptomeria japonica*), cypřišek nutkajský (*Callitropsis nootkanensis*), cypřiš tassilský

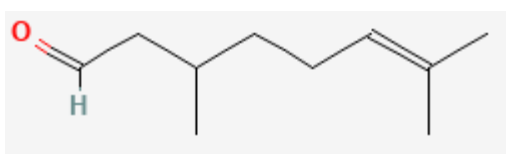
(*Cupressus dupreziana*) a sekvojovec obrovský (*Sequoiadendron giganteum*) (Rutz et al., 2022l).



Obr. č.27 Chemický vzorec α – terpineolu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024b)

Citronellal, systematicky 3,7-dimethylokt-6-enal, viz Obr. č.28, někdy nazývaný rhodinal, je monoterpen patřící mezi aldehydy, s molární hmotností $154,25 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, teplotou varu $205\text{-}207 \text{ }^\circ\text{C}$, teplotou tání $147 \text{ }^\circ\text{C}$ a hustotou $0,853 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Hastings et al., 2019b; National Center for Biotechnology Information, 2024r). Jedná se o bezbarvou až nažloutlou kapalinu s citronovou vůní. Vyrábí se frakční destilací přímo z rostlinných částí nebo je synteticky vyráběn katalytickou hydrogenací citralu. Je velmi málo rozpustný ve vodě a propylenglykolu a rozpustný v ethanolu a olejích. Má antifungální, repelentní, pesticidní a insekticidní účinky. Využívá se jako součást do čistících, kosmetických a hygienických výrobků, parfémů a deodorantů a v nízkých koncentracích jako dochucovadlo (Hastings et al., 2019b). Při kontaktu je slabě dráždivý, ve vyšších koncentracích může vyvolávat alergické reakce a kontaktní dermatitidu. Po požití nebo inhalaci je pro lidský organismus škodlivý (Brown 2024f).

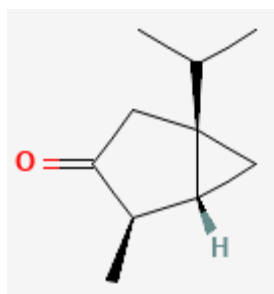
Citronellal je typický pro jalovce horský (*Juniperus monticola*) a obecný (*J. communis*), dále pro douglasku tisolistou (*Pseudotsuga menziesii*) (Rutz et al., 2022k).



Obr. č. 28 Chemický vzorec citronellalu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024s)

Thujon, systematicky (1*S*, 4*R*, 5*R*)-4-methyl-1-(propan-2-yl)bicyklo[3.1.0]hexan-3-on, viz Obr. č.29, je monoterpen s hořkou chutí, mentholovou a cedrovou vůní. Jeho molární hmotnost je 152,23 g·mol⁻¹, teplota varu 200 – 201 °C, teplota tání max 25 °C a hustota při 15 °C 0,919 g·cm⁻³. Je téměř nerozpustný ve vodě (Anon., 2024b; National Center for Biotechnology Information, 2024ag; Wishart et al., 2023). Má neurotoxické účinky (Jahodář, 2022), dráždí oči, kůži a sliznice. V malých množstvích a koncentracích se využívá jako dochucovadlo, přísada do vůní a parfémů, má antibakteriální, antiseptické, antispasmodické, antiparazitní, herbicidní a insekticidní účinky. Působí jako abortivum (National Center for Biotechnology Information, 2024ag; Wishart et al., 2023).

Thujon nalezneme u zeravu obrovského (*Thuja plicata*) a západního (*T. occidentalis*), tisů kanadského (*Taxus canadensis*) a jalovce páchnoucího (*Juniperus foetidissima*) (Rutz et al., 2022a).

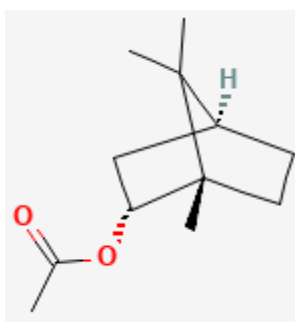


Obr. č.29 Chemický vzorec thujonu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024ah)

Bornylacetát, systematicky [(1*S*, 2*R*, 4*S*)-1,7,7-trimethyl-2-bicyklo[2.2.1]heptanyl]acetát, viz Obr. č.30, je látka se sladkou, dřevitou a borovicovou (po jehličích) vůní. Jeho molární hmotnost je 196,29 g·mol⁻¹, teplota varu 223 °C, teplota tání 38,7 °C (rozmezí může být od 29 °C do 53 °C) a hustota 0,981 – 0,987 g·cm⁻³. Jedná se o bezbarvou až bělavou látku ve formě krystalků při teplotě do 24 - 27 °C, při vyšších teplotách o bezbarvou až bělavou kapalinu. Je téměř nerozpustný ve vodě a rozpustný v ethanolu. (Anon., 2023b; National Center for Biotechnology Information, 2024i). Používá se jako přísada do vůní, osvěžovačů vzduchu, v nižších koncentracích jako dochucovadlo. V chemickém průmyslu se využívá k syntéze některých dalších sloučenin (Anon., 2023a; Brown, 2024d).

Bornylacetát je typický pro jedle sibiřskou (*Abies sibirica*), japonskou (*A. firma*), bělokorou (*A. abies*), obrovskou (*A. granda*), sachalinskou (*A. sachalinensis*) a balzámovou (*A. balsamea*), pro smrky korejský (*Picea koraiensis*) a ztepilý (*P. abies*), borovice zakrslou (*Pinus*

pumila), limbu (*P. cembra*) a lesní (*P. sylvestris*), modříný dahurský (*Larix gmelinii*) a západní (*L. occidentalis*), jalovce obecný (*Juniperus communis*), horský (*J. monticola*), jalisco (*J. jalisco*) a durangský (*J. durangensis*), cypřišky tupolistý (*Chamaecyparis obtusa*) a hrachonosný (*Ch. pisifera*), cypřišek nutkajský (*Callitropsis nootkanensis*), douglasku tisolistou (*Pseudotsuga menziesii*), cypřiš stálezelený (*Cupressus sempervirens*), zerav západní (*Thuja occidentalis*), zeravinec japonský (*Thujopsis dolabrata*), sekvojovec obrovský (*Sequoiadendron giganteum*) a kryptomerii japonskou (*Cryptomeria japonica*) (Rutz et al., 2022e).

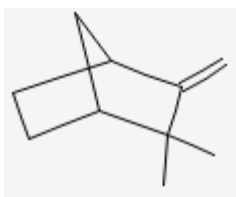


Obr. č. 30 Chemický vzorec bornylacetátu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024m)

Kamfen, systematicky 2,2-dimethyl-3-methylidenbicyklo[2.2.1]heptan, viz Obr. č.31, je látka nerozpustná ve vodě, slabě rozpustná v alkoholech a ethanolu, rozpustná v etheru a olejích. Molární hmotnost kamfenu je $136,23 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$, teplota varu $160 \text{ }^\circ\text{C}$, teplota tání $52 \text{ }^\circ\text{C}$ a hustota $0,839 - 0,870 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Jedná se o bezbarvou až bílou pevnou látku s vůní kamforu a borovicového jehličí. Průmyslově se vyrábí izomerizací α -pinenu za použití TiO_2 jako katalyzátoru (Anon., 2023c; National Center for Biotechnology Information, 2024n). Využívá se jako součást do parfémů a vůní, osvěžovačů vzduchu, čisticích, hygienických a kosmetických přípravků, v nízkých koncentracích také jako dochucovadlo. Má repelentní, pesticidní a insekticidní účinky (Anon., 2023c), čehož je využíváno při likvidaci potměníka hnědého (*Tribolium castaneum*) (Descamps et al., 2011). V chemickém průmyslu se využívá k syntéze dalších sloučenin. Při kontaktu dráždí oči a kůži, po požití je toxický a zdraví nebezpečný. Je také nebezpečný pro životní prostředí, zejména pro vodní organismy (Anon., 2015).

Kamfen nalezneme u borovic hustokvěté (*Pinus densiflora*), ohebné (*P. flexilis*), limby (*P. cembra*), lesní (*P. sylvestris*) a zakrslé (*P. pumila*), jedlí balzámové (*Abies balsamea*), bělokoré (*A. alba*), sibiřské (*A. sibirica*) a sachalinské (*A. sachalinensis*), smrků ztepilého (*Picea abies*)

a červeného (*P. rubens*), modřínů subalpínského (*Larix lyallii*), amerického (*L. laricina*) a západoamerického (*L. occidentalis*), dále cypřišku Lawsonova (*Chamaecyparis lawsoniana*), cypřiše stálezeleného (*Cupressus sempervirens*), tisovce dvouřadého (*Taxodium distichum*) a zeravu západního (*Thuja occidentalis*) (Rutz et al., 2022b).

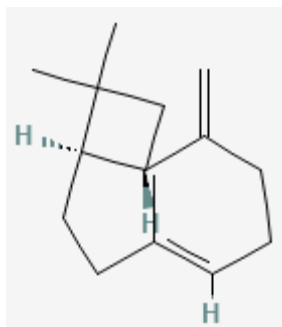


Obr. č.31 Chemický vzorec kamfenu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024o)

β -karyophylen, systematicky (1*R*, 4*E*, 9*S*)-4,11,11-trimethyl-8-methylidenbicyklo[7.2.0]undec-2-en, viz Obr. č.32, je seskviterpen s molární hmotností 204,35 g·mol⁻¹, teplotou varu 256–259 °C, teplotou tání < 25 °C a hustotou 0,899–0,908 g·cm⁻³. Jedná se o světle žlutou olejovitou kapalinu nerozpustnou ve vodě, rozpustnou v alkoholu, propylenglykolu, etheru a olejích (CAMEO Chemicals, 2024b; Hastings et al., 2024; Wishart et al., 2022). Využívá se jako přísada do čisticích prostředků, osvěžovačů vzduchu, hygienických, kosmetických přípravků a přípravků sloužících k hydrataci, v nižších koncentracích jako dochucovadlo. V lékařství a farmacii je využíván jako nesteroidní protizánětlivé léčivo s analgetickými a antipyretickými účinky. Má antibakteriální, antifungální, larvicidní a pesticidní účinky (Wishart et al., 2022). Může způsobovat podráždění kůže, vyvolávat alergické reakce, po požití nebo inhalaci je škodlivý pro organismus (Brown, 2024e).

β -karyophylen nalezneme u borovic Massonovy (*Pinus massoniana*), Heldreichovy (*P. heldreichii*), vejmutovky (*P. strobus*), pohorské (*P. monticola*), zakrslé (*P. pumila*), lesní (*P. sylvestris*), sibiřské (*P. sibirica*) a hustokvěté (*P. densiflora*), jedlí sibiřské (*Abies sibirica*), španělské (*A. pinsapo*), sachalinské (*A. sachalinensis*) a bělokoré (*A. alba*), smrku východního (*Picea orientalis*), jalovců obecného (*Juniperus communis*), horského (*J. monticola*) a červenoplodého (*J. oxycedrus*), modřínů západního (*Larix occidentalis*), sibiřského (*L. sibirica*), amerického (*L. laricina*) a subalpínského (*L. lyallii*), cypřišku Lawsonova (*Chamaecyparis lawsoniana*) a hrachonosného (*Ch. pisifera*), hlavotisů peckovicového (švestkového) (*Cephalotaxus griffithii*) a Mannova (*Ch. mannii*), zeravu západního (*Thuja occidentalis*), zeravce východního (*Platyclusus orientalis*), kryptomerie japonské

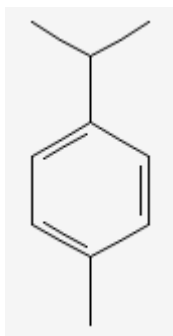
(*Cryptomeria japonica*), sekvoje vždyzelené (*Sequoia sempervirens*) a cedru libanonského (*Cedrus libani*) (Rutz et al., 2022g; Wishart et al., 2022).



Obr. č.32 Chemický vzorec β – karyophylenu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024q)

p-cymen, systematicky 1-methyl-4-(propan-2-yl)benzen, viz Obr. č.33, je aromatická sloučenina patřící mezi monoterpeny, s molární hmotností 134,22 g·mol⁻¹, teplotou varu 177,22 °C, teplotou tání – 67,89 °C a hustotou 0,857 g·cm⁻³. Jedná se o bezbarvou kapalinu nerozpustnou ve vodě a mísitelnou (rozpustnou) s organickými rozpouštědly, např. ethanolem, acetonem, benzenem, tetrachlormethanem (CAMEO Chemicals 2024d; Hastings et al. 2017c; National Center for Biotechnology Information 2024aa). U člověka se někdy může vyskytovat také v moči. Synteticky se vyrábí propylací toluenu, kdy vzniká směs *p*- a *m*-cymenu. Využívá se jako přísada do vůní a parfémů, čistících prostředků, osvěžovačů vzduchu a v nízkých koncentracích jako dochucovadlo. V chemickém průmyslu je využíván k syntéze dalších látek, např. *p*-kresolu a karvakrolu (CAMEO Chemicals, 2024d; Hastings et al., 2017c). Způsobuje podráždění a odmaštění kůže, podráždění očí, úst a žaludku po požití, při inhalaci obtíže s koordinací a bolesti hlavy. Při dlouhodobé expozici je neurotoxický a zdraví škodlivý. Škodlivý je také pro životní prostředí, zejména pro vodní organismy (Brown, 2024i).

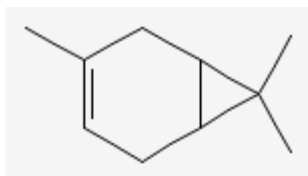
Cymen je typický pro jalovce obecný (*Juniperus communis*), horský (*J. monticola*), západní (*J. occidentalis*), durangský (*J. durangensis*), Jalisco (*J. jaliscana*) a tisolistý (*J. taxifolia*), smrky ztepilý (*Picea abies*) a červený (*P. rubens*), borovice ohebnou (*Pinus flexilis*), lesní (*P. sylvestris*) a sibiřskou (*P. sibirica*), cypřišky tupolistý (*Chamaecyparis obtusa*), hrachonosný (*Ch. pisifera*) a Lawsonův (*Ch. lawsoniana*), zeravy západní (*Thuja occidentalis*) a japonský (*T. standishii*), zeravinec japonský (*Thujopsis dolabrata*) a sekvoj vždyzelenou (*Sequoia sempervirens*) (Rutz et al. 2022h).



Obr. č.33 Chemický vzorec *p*-cymenu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information 2024ab)

Karen, systematicky 3,7,7-trimethylbicyklo[4.1.0]hept-3-en, viz Obr. č.34, je monoterpen, který se nejčastěji nachází v terpentýnu v obsahu až 42 %. Jeho molární hmotnost je 136,23 g·mol⁻¹, teplota varu 169 – 174 °C, teplota tání < 25 °C a hustota 0,860 – 0,868 g·cm⁻³. Jedná se o bezbarvou až nažloutlou kapalinu nerozpustnou ve vodě, slabě rozpustnou v ethanolu, rozpustnou v benzenu a etheru . Využívá se jako přísada do vůní a parfémů, čisticích prostředků, osvěžovačů vzduchu, desinfekčních prostředků a v nižších koncentracích také jako dochucovadlo (Anon., 2024a; National Center for Biotechnology Information, 2024c). Při kontaktu dráždí oči a kůži, způsobuje alergické reakce, po inhalaci může způsobovat bolesti hlavy, zmatenost a dýchací obtíže, pneumonitis a reverzibilní bronchokonstrikci, má neurotoxické účinky. Je škodlivý pro vodní organismy (Brown, 2024a; National Center for Biotechnology Information, 2024c).

Karen je typický pro borovice lesní (*Pinus sylvestris*), pohorskou (*P. monticola*), Jeffreyovu (*P. jeffreyi*), těžkou (*P. ponderosa*) a Lambertovu (*P. lambertiana*), modřín sibiřský (*Larix sibirica*), jedli bělokorou (*Abies alba*), smrk ztepilý (*Picea abies*), jalovec obecný (*Juniperus communis*), cypřiš tassilský (atlaský) (*Cupressus dupreziana*), cypřišek nutkajský (*Callitropsis nootkanensis*) a cedr libanonský (*Cedrus libani*) (Rutz et al., 2022c).



Obr. č.34 Chemický vzorec karenu; zdroj: PubChem (National Center for Biotechnology Information, 2024d)

V lidovém léčitelství a aromaterapii je využívána silice jalovce, která způsobuje zklidnění organismu, má antiseptické a detoxikační účinky, pomáhá čistit pleť a zlepšuje kvalitu vlasů a vlasové pokožky, působí proti bolesti.

Borovicová silice slouží k projasnění mysli a celkovému uklidnění, napomáhá k lepšímu vykašlávání hlenů a uvolňuje dýchací cesty při rýmě, má antivirové a antiseptické účinky.

Cedrová silice působí sedativně, má antiseptické, repelentní účinky a má vliv na produkci mazu; na druhou stranu může způsobovat potraty.

Cypřišová silice má antiseptické účinky a odstraňuje pachy, napomáhá srážení krve a zužování cév (Dodt, 1996).

Jedlová silice s vysokým obsahem bornylacetátu mají antiseptické účinky a napomáhá vykašlávání. Silice z jedle balzámové (*Abies balsamea*) je využívána k fixaci mikroskopických preparátů (Jahodář, 2022).

Smrková silice slouží k uklidnění organismu, působí proti stresu a osvěžuje vzduch.

6. Využití ve výuce

Silice jehličnanů je možné využít pro zatraktivnění výuky botaniky na základní a střední škole. Botanika většinou nebývá nejoblíbenější částí přírodovědy, přírodopisu popř. biologie (Pánková, 2019). Díky silicím můžeme žákům a studentům přiblížit význam rostlinného metabolismu a jehličnanů (Pinopsida) obecně. Význam sekundárního metabolismu můžeme popisovat jak na příkladech využívání člověkem, tak v souvislosti s vlivem pro samotnou rostlinu nebo jiné organismy.

Výuka jehličnanů může probíhat celoročně, jelikož jejich jehlice neopadávají (až na modřín opadavý (*Larix decidua*)). Při výuce a poznávání je tedy možné žáky vzít do parku nebo lesa. Zde si žáci mohou většinu druhů prohlédnout, osahat, přivonět. Toho lze využít také při procvičování tématu. V tomto případě žáci sami hledají druhy jehličnanů – jejich části, např. jehlice nebo šišky. Pozorování jehličnanů a jejich struktur v přírodě při výuce využívali i vyučující z několika základních škol, kteří se zúčastnili dotazníkového šetření pro diplomovou práci V. Podroužkové (Podroužková, 2011). Při výuce tito vyučující využívali jehlice, šišky, větévky nebo kůru k poznávání a určování jednotlivých druhů jehličnanů (Podroužková, 2011). Opadu jehlic (listů) modřínu lze naopak využít k demonstraci toho, že jsou i výjimky, a ne všechny jehličnany neopadají.

U menších dětí (např. na 1. stupni základní školy) mohou jehličnany posloužit k rozvoji senzomotorických schopností jako jsou čich a hmat, dále také k porovnávání. Při takových cvičeních děti zkoumají hmatem a prohlížejí jehlice a šišky, následně mohou srovnávat, které jehlice jsou kratší nebo delší, měkčí nebo pichlavější či jsou celokrajné nebo zubovité/pilovité, která šiška je větší nebo menší apod. U jehlic si mohou přivonět a zjišťovat, po čem a jak intenzivně voní.

Při výuce jehličnanů v přírodě lze také demonstrovat ekologické vazby a vlivy, které na tuto skupinu rostlin působí, jako jsou např. sucho a vyšší teploty (usychání jehlic), škůdci (kůrovec/lýkožrout smrkový (*Ips typografus*), který tvoří „chodbičky“ pod kůrou) nebo organismy závislé na jehličnanech; v podzimním období také možnou mykorrhizu s některými druhy hub (hřib smrkový (*Boletus edulis*)). Dále je možné ukázat a popsat rozmnožování jehličnanů, například tzv. semenáčky v těsné blízkosti plně vzrostlého stromu. Ekologických vazeb a růstu jehličnanů využívají pro zatraktivnění výuky v některých základních školách při pěstitelských činnostech. V tomto případě žáci společně zasadí malý jehličnan, o který se následně starají a sledují, jak roste a prospívá (Podroužková, 2011).

Silice lze využít také jako jeden ze společných znaků nahosemenných a krytosemenných rostlin. V tomto případě můžeme za společný znak brát buď samostatné silice, nebo sekundární metabolismus a jeho produkty jako celek. Toho můžeme ve výuce použít např. při tvorbě různých myšlenkových a pojmových map a k porovnávání společných nebo rozdílných znaků a vlastností nahosemenných a krytosemenných rostlin. Dalším příkladem k porovnávání může posloužit také jehlice a list krytosemenných rostlin, u kterých je možné hledat společné a rozdílné znaky nebo struktury.

Na příkladu účinku silic na lidský organismus můžeme žákům ukázat a vysvětlit, proč je lidem v lese příjemně, cítí se více v klidu, lépe se jim přemýšlí nebo si lidově řečeno „vyčistí hlavu“. Díky silicím a vůním si také mohou žáci zkoušet zapamatovat některé druhy jehličnanů běžně se vyskytujících v naší přírodě. Využití silic jehličnanů člověkem můžeme ukázat na příkladu hygienických nebo čistících prostředků v domácnostech, ve kterých se často tyto silice nachází. Žáci mohou i sami doma vyhledávat tyto prostředky a v následující vyučovací hodině vytvářet postery nebo diskutovat o možnostech používání v domácnostech.

Při výuce botaniky je možné silice využít také jako tématu k referátům nebo různým projektům, při kterých si žáci sami nebo ve skupině aktivně vyhledávají informace, zajímavosti a podrobnosti. Toho je možné využít např. při různých projektových dnech nebo při méně tradičních vyučovacích hodinách a přírodopisných nebo biologických cvičeních. Při tvorbě ve skupině a při prezentování svých výtvorů si žáci rozvíjí své komunikační schopnosti. To uvádí ve své práci V. Podroužková (2011).

Silice jehličnanů je také možné použít při propojení biologie a chemie u starších žáků na středních školách a gymnáziích. V tomto případě mohou žáci popisovat silice také z chemického hlediska, např. při laboratorních cvičeních. V tomto případě si mohou zjistit nebo ověřit některé jejich vlastnosti jako jsou hustota a rozpustnost ve vodě nebo jiných rozpouštědlech a dále popisovat, proč tomu tak je.

K pokusům se silicemi se dají využít také silice (éterické oleje) zakoupené v obchodech. Při těchto pokusech mohou žáci zjišťovat, jestli zakoupená silice např. borovice „z obchodu“ má stejnou vůni, jako jehličí z borovice. Žáci mohou pak sami nebo ve skupinách diskutovat o tom, jestli vůně byla/nebyla stejná a proč tomu tak bylo, což je vede k samostatnému přemýšlení.

Při laboratorních cvičeních v přírodopisu a biologii lze pozorovat jehlice jehličnanů pod mikroskopem. V průřezu mohou žáci následně popisovat stavbu jehlice a hledat specifické struktury jako jsou např. pryskyřičné kanálky. Při pozorování jehlic různých druhů si také mohou všimnout rozdílného tvaru jehlic (zaoblené až kruhovitě, zploštělé, trojúhelníkovité, ...) na tomto průřezu. Tvar jehlic mohou žáci zkoušet popisovat a porovnávat podle toho, v jakém

počtu a jak jehlice na větévkách vyrůstají. Při tomto pozorování si také žáci mohou upevnit správnou práci s mikroskopem a zásady pozorování.

7. Závěr

V bakalářské práci byly nejprve popsány vlastnosti a vzhled jehličnanů (Pinopsida), způsoby jejich rozmnožování a využití člověkem. V další části práce byly charakterizovány hlavní příklady sekundárního metabolismu organismů včetně jeho produktů tzv. sekundárních metabolitů, které byly v další části konkretizovány ve formě obecného představení silic, jejich složení, využití rostlinami a dalšími organismy a člověkem, a to jak v historické, tak i v současné době. Dále byly vybrány skupiny silic nejčastěji se vyskytující u jehličnanů, které byly charakterizovány z chemického hlediska, byly uvedeny jejich vlastnosti, využití a případná nebezpečí spojená s jejich používáním. Poslední část popisuje využití silic jehličnanů, jehličnanů a jejich vlastností při výuce botaniky na základní, případně střední škole.

Seznam použitých informačních zdrojů a zdrojů obrázků

AHARONI, Asaph a Gad GALILI, 2011. Metabolic engineering of the plant primary–secondary metabolism interface. *Current Opinion in Biotechnology* [online]. **22**(2), 239–244 [vid. 2023-09-15]. ISSN 0958-1669. Dostupné z: doi:10.1016/J.COPBIO.2010.11.004

ALBERTS, Bruce, Dennis BRAY, Alexander JOHNSON, Julian LEWIS, Martin RAFF, Keith ROBERTS a Peter WALTER, 1998. *Základy buněčné biologie*. 1. New York: Garland Publishing. ISBN 80-902906-0-4.

ANON., 2011. *Sekundární metabolismy rostlin II*. [online]. 2011. Brno: Masarykova univerzita. [vid. 2023-09-15]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2011/Bi6120/um/11_sek_metab2011.pdf

Anon., 2015. Hazardous Substances Data Bank (HSDB) : 900 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/900#section=Skin-Eye-and-Respiratory-Irritations>

Anon., 2017. 3,7-Dimethyl-1,6-octadien-3-ol (YMDB01371) - Yeast Metabolome Database. *YMDB: The Yeast Metabolome Database* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.ymdb.ca/compounds/YMDB01371>

Anon., 2019. Limonene - MeSH - NCBI. *National Library of Medicine* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/2027942>

Anon., 2021. 3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.alpha.,4-trimethyl-, (1R)- Properties. *U.S. Environmental Protection Agency. Comptox Chemicals Dashboard* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical/properties/DTXSID60884429>

ANON., 2022. Essential Oils. *National Institute of Environmental Health Sciences* [online] [vid. 2023-09-15]. Dostupné z: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/essential-oils/index.cfm>

Anon., 2023a. (-)Bornyl acetate - Collected Data on Functional Use. *U.S. Environmental Protection Agency. Comptox Chemicals Dashboard* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical/chemical-functional-use/DTXSID3052228>

Anon., 2023b. (-)Bornyl acetate Properties. *U.S. Environmental Protection Agency. Comptox Chemicals Dashboard* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné

z: <https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical/properties/DTXSID3052228>

Anon., 2023c. Camphene - Chemical Details. *U.S. Environmental Protection Agency. Comptox Chemicals Dashboard* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné

z: <https://comptox.epa.gov/dashboard/chemical/details/DTXSID8026488>

Anon., 2024a. Food safety and quality: details. *FAO* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné

z: <https://www.fao.org/food/food-safety-quality/scientific-advice/jecfa/jecfa-flav/details/en/c/1341/>

Anon., 2024b. Thujone. *American Chemical Society* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné

z: https://commonchemistry.cas.org/detail?cas_rn=546-80-5

Anon., [b.r.]. *3feaed8d93bc383f8f8e169dbb41bb15.jpg (1200×1110)* [online]. [vid. 2023a-11-05]. Dostupné

z: <https://cdn.administrace.tv/2023/01/15/medium/3feaed8d93bc383f8f8e169dbb41bb15.jpg>

Anon., [b.r.]. *Angiosperm | Definition, Reproduction, Examples, Characteristics, Life Cycle, Taxonomy, & Facts | Britannica* [online] [vid. 2023b-10-16]. Dostupné

z: <https://www.britannica.com/plant/angiosperm>

BABULA, Petr, 2009. *Mechorosty, výtrusné rostliny, nahosemenné rostliny*. Brno: Veterinární a farmaceutická fakulta Brno. ISBN 978-80-7305-063-4.

BARRINGTON, Dave, [b.r.]. *coniferovule.jpg (899×600)* [online] [vid. 2024-02-14].

Dostupné z: <https://www.uvm.edu/~dbarring/002/coniferovule.jpg>

BITNER, Richard L., 2010. *Jehličnany*. 1. Praha: Knižní klub. ISBN 978-80-246-2015-2.

BREMNESS, Lesley, 1995. *Bylinář*. Fortuna Print. London: Dorling Kindersley Limited. ISBN 80-85873-71-0.

BROWN, Jay A., 2024a. 3-Carene - Hazardous Agents | Haz-Map. *Haz-Map* [online]

[vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://haz-map.com/Agents/7830>

BROWN, Jay A., 2024b. alpha-Pinene - Hazardous Agents | Haz-Map. *Haz-Map* [online]

[vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://haz-map.com/Agents/3591>

BROWN, Jay A., 2024c. alpha-Terpinene - Hazardous Agents | Haz-Map. *Haz-Map* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://haz-map.com/Agents/20188>

BROWN, Jay A., 2024d. beta-Pinene - Hazardous Agents | Haz-Map. *Haz-Map* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://haz-map.com/Agents/3914>

BROWN, Jay A., 2024e. (-)-Bornyl acetate - Hazardous Agents | Haz-Map. *Haz-Map* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://haz-map.com/Agents/21095>

BROWN, Jay A., 2024f. Caryophyllene - Hazardous Agents | Haz-Map. *Haz-Map* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://haz-map.com/Agents/12777>

BROWN, Jay A., 2024g. Citronellal - Hazardous Agents | Haz-Map. *Haz-Map* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://haz-map.com/Agents/4445>

BROWN, Jay A., 2024h. Limonene - Hazardous Agents | Haz-Map. *Haz-Map* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://haz-map.com/Agents/7847>

BROWN, Jay A., 2024i. Linalool - Hazardous Agents | Haz-Map. *Haz-Map* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://haz-map.com/Agents/5839>

BROWN, Jay A., 2024j. p-Cymene - Hazardous Agents | Haz-Map. *Haz-Map* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://haz-map.com/Agents/8267>

CAMEO CHEMICALS, 2024a. ALPHA-PINENE | CAMEO Chemicals | NOAA. *CAMEO Chemicals* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/1343>

CAMEO CHEMICALS, 2024b. BETA-CARYOPHYLLENE | CAMEO Chemicals | NOAA. *CAMEO Chemicals* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/19963>

CAMEO CHEMICALS, 2024c. DIPENTENE | CAMEO Chemicals | NOAA. *CAMEO Chemicals* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/3303>

CAMEO CHEMICALS, 2024d. P-CYMENE | CAMEO Chemicals | NOAA. *CAMEO Chemicals* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/3065>

DE LA TORRE, Amanda R., Anthony PIOT, Bobin LIU, Benjamin WILHITE, Matthew WEISS a Ilga PORTH, 2020. Functional and morphological evolution in gymnosperms: A portrait of implicated gene families. *Evolutionary Applications* [online]. **13**(1), 210–227. ISSN 17524571. Dostupné z: doi:10.1111/eva.12839

DESCAMPS, Lilian R., Carolina SÁNCHEZ CHOPA a Adriana A. FERRERO, 2011. Activity of *Schinus areira* (Anacardiaceae) essential oils against the grain storage pest *Tribolium castaneum*. *Natural Product Communications* [online]. **6**(6), 887–891 [vid. 2024-03-17]. ISSN 15559475. Dostupné z: doi:10.1177/1934578x1100600632

DODT, Colleen K., 1996. *Éterické a esenciální léčivé oleje*. 1. B.m.: Pragma. ISBN 978-80-7349-115-4.

ECKENWALDER, James Emory, 2022. *Conifer | Definition, Characteristics, Examples, Types, Classification, & Facts | Britannica* [online]. [vid. 2023-09-15]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/plant/conifer>

FAJTOVÁ, Kateřina, 2018. *Stavba květu* [online] [vid. 2023-10-16]. Dostupné z: https://www.vfu.cz/files/2220_42_Stavba_květu.pdf

FRÁNKOVÁ, Markéta, Lydie DUDOVÁ a Petra HÁJKOVÁ, [b.r.]. Rostliny-a-jejich-pylova-zrna-final. *Botanický ústav AV ČR* [online] [vid. 2024-01-25]. Dostupné z: <https://www.avcr.cz/export/sites/avcr.cz/.content/galerie-souboru/pro-verejnost/Rostliny-a-jejich-pylova-zrna-final.pdf>

HASTINGS, J, G OWEN, A DEKKER, M ENNIS, N KALE, V MUTHUKRISHNAN, S TURNER, N SWAINSTON, P MENDES a C STEINBECK, 2014. (R)-(+)-alpha-terpineol (CHEBI:300). *ChEBI* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=CHEBI:300>

HASTINGS, J, G OWEN, A DEKKER, M ENNIS, N KALE, V MUTHUKRISHNAN, S TURNER, N SWAINSTON, P MENDES a C STEINBECK, 2017a. beta-pinene (CHEBI:50025). *ChEBI* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=CHEBI:50025>

HASTINGS, J, G OWEN, A DEKKER, M ENNIS, N KALE, V MUTHUKRISHNAN, S TURNER, N SWAINSTON, P MENDES a C STEINBECK, 2017b. linalool (CHEBI:17580). *ChEBI* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=CHEBI:17580>

HASTINGS, J, G OWEN, A DEKKER, M ENNIS, N KALE, V MUTHUKRISHNAN, S TURNER, N SWAINSTON, P MENDES a C STEINBECK, 2017c. p-cymene (CHEBI:28768). *ChEBI* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=CHEBI:28768>

HASTINGS, J, G OWEN, A DEKKER, M ENNIS, N KALE, V MUTHUKRISHNAN, S TURNER, N SWAINSTON, P MENDES a C STEINBECK, 2019a. alpha-terpinene (CHEBI:10334). *ChEBI* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=CHEBI:10334>

HASTINGS, J, G OWEN, A DEKKER, M ENNIS, N KALE, V MUTHUKRISHNAN, S TURNER, N SWAINSTON, P MENDES a C STEINBECK, 2019b. citronellal (CHEBI:47856). *ChEBI* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=CHEBI:47856>

HASTINGS, J, G OWEN, A DEKKER, M ENNIS, N KALE, V MUTHUKRISHNAN, S TURNER, N SWAINSTON, P MENDES a C STEINBECK, 2024. (-)-beta-caryophyllene (CHEBI:10357). *ChEBI* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=CHEBI:10357>

HIEKE, Karel, 2008. *Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů*. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-1901-3.

JAHODÁŘ, Luděk, 2011. *Farmakobotanika*. 3. Praha: Karolinum.

JAHODÁŘ, Luděk, 2022. *Farmaceuticky významné semenné rostliny*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-4952-8.

KALIVODA, Jiří, Ondřej BÁBEK a Rostislav BRZOBOHATÝ, 2002. *Historická geologie*. 2. Olomouc: Univerzita Palackého. ISBN 80-244-0410-9.

KAPRÁLEK, František, 2000. *Základy bakteriologie*. Praha: Karolinum. ISBN 80-7184-811-5.

KLOUDA, Pavel, 2005. *Základy biochemie*. 2. Ostrava: Pavel Klouda. ISBN 80-86369-11-0.

KORBELÁŘ, Jaroslav a Zdeněk ENDRIS, 1981. *Naše rostliny v lékařství*. 7. Praha: Avicenum. ISBN 80-201-009-1.

KREJČÍKOVÁ, Klára, 2017. *Extrakce a analýza esenciálních olejů* [online]. Pardubice [vid. 2023-09-15]. Bachelor. Univerzita Pardubice. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/69356/KrejcikovaK_Extrakce_a_analyza_KK_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

KVASNIČKOVÁ, Eva, 2016. *Biofilmy: Život mikroorganismů v jednotném společenství - Vysoká škola chemicko-technologická v Praze* [online] [vid. 2023-10-06]. Dostupné z: <https://www.vscht.cz/popularizace/doktorandi-pisou/biofilmy>

LIANG, Jiahao, Yuyu ZHANG, Penghao CHI, Haonan LIU, Zhaoxuan JING, Haojie CAO, Yongliang DU, Yutong ZHAO, Xia QIN, Wei ZHANG a Dezhi KONG, 2023. Essential oils: Chemical constituents, potential neuropharmacological effects and aromatherapy - A review. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine* [online]. **6**, 100210 [vid. 2023-09-15]. ISSN 2667-1425. Dostupné z: doi:10.1016/J.PRMCM.2022.100210

LIESCHE, Johannes, Christopher VINCENT, Xiaoyu HAN, Maciej ZWIENIECKI, Alexander SCHULZ, Chen GAO, Rodrigue BRAVARD, Sean MARKER a Tomas BOHR, 2021. The mechanism of sugar export from long conifer needles. *New Phytologist* [online]. **230**(5), 1911–1924 [vid. 2024-01-10]. ISSN 1469-8137. Dostupné z: doi:10.1111/NPH.17302

MACHOLÁN, Lumír, 2003. *Sekundární metabolity*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 80-210-3068-2.

MASÁK, Jan, 2014. *Biochemie sekundárních metabolitů* [online]. [vid. 2023-09-24]. Dostupné z: <https://ub.vscht.cz/files/uzel/0015847/biochemiesekmet.pdf?redirected>

MCMURRY, John, 2015. *Organická chemie*. 8. Brno: VUTIUM. ISBN 978-80-214-4769-1.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024a. (+)-alpha-Terpineol | C₁₀H₁₈O | CID 442501 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/442501>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024b. (+)-alpha-Terpineol | C₁₀H₁₈O | CID 442501 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/442501#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024c. 3-Carene | C10H16 | CID 26049 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/26049>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024d. 3-Carene | C10H16 | CID 26049 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/26049#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024e. alpha-PINENE | C10H16 | CID 6654 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6654>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024f. alpha-PINENE | C10H16 | CID 6654 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6654>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024g. alpha-PINENE | C10H16 | CID 6654 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6654#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024h. alpha-Terpinene | C10H16 | CID 7462 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7462>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024i. alpha-Terpinene | C10H16 | CID 7462 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7462#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024j. beta-Pinene | C10H16 | CID 14896 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14896>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024k. beta-Pinene | C10H16 | CID 14896 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14896#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024l. Bornyl acetate, (-)- | C₁₂H₂₀O₂ | CID 93009 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/93009>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024m. Bornyl acetate, (-)- | C₁₂H₂₀O₂ | CID 93009 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/93009#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024n. Camphene | C₁₀H₁₆ | CID 6616 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6616>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024o. Camphene | C₁₀H₁₆ | CID 6616 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6616#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024p. Carmine | C₂₂H₂₀O₁₃ | CID 14950 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14950#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024q. Caryophyllene | C₁₅H₂₄ | CID 5281515 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281515#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024r. Citronellal | C₁₀H₁₈O | CID 7794 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7794#section=NFPA-Hazard-Classification>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024s. Citronellal | C₁₀H₁₈O | CID 7794 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7794#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024t. D-Glucose | C₆H₁₂O₆ | CID 5793 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-02-19]. Dostupné

z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5793#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024u. D-Xylose | C₅H₁₀O₅ | CID 135191 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-02-19]. Dostupné

z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/135191#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024v. Limonene, (+/-)- | C₁₀H₁₆ | CID 22311 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/22311>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024w. Limonene, (+/-)- | C₁₀H₁₆ | CID 22311 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-03]. Dostupné

z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/22311#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024x. Linalool, (+/-)- | C₁₀H₁₈O | CID 6549 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6549>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024y. Linalool, (+/-)- | C₁₀H₁₈O | CID 6549 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-03]. Dostupné

z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6549#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024z. Paclitaxel | C₄₇H₅₁NO₁₄ | CID 36314 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-04-03]. Dostupné

z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/36314#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024aa. p-CYMENE | C₁₀H₁₄ | CID 7463 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7463>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024ab. p-CYMENE | C₁₀H₁₄ | CID 7463 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné
z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7463#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024ac. Phenol | C₆H₅OH | CID 996 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2023-11-05]. Dostupné
z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/996#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024ad. Sabinen | C₁₀H₁₆ | CID 18818 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-03]. Dostupné
z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/18818#section=2D-Structure>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024ae. Shikimic acid | C₇H₁₀O₅ | CID 8742 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2023-09-28]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Shikimic-acid>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024af. SID 481107733 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/substance/481107733#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024ag. Thujone | C₁₀H₁₆O | CID 261491 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/261491>

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, 2024ah. Thujone | C₁₀H₁₆O | CID 261491 - PubChem. *National Center for Biotechnology Information* [online] [vid. 2024-03-15]. Dostupné
z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/261491#section=2D-Structure&fullscreen=true>

NAZZARO, Filomena, Florinda FRATIANNI, Raffaele COPPOLA a Vincenzo DE FEO, 2017. Essential Oils and Antifungal Activity. *Pharmaceuticals 2017, Vol. 10, Page 86* [online]. **10**(4), 86 [vid. 2023-09-15]. ISSN 1424-8247. Dostupné
z: [doi:10.3390/PH10040086](https://doi.org/10.3390/PH10040086)

OCHMANOVÁ, Klára, 2023. Čím se balzamovaly egyptské mumie? Revoluční objev přesného složení přepisuje učebnice - Prima Zoom. *Prima ZOOM* [online] [vid. 2023-11-05]. Dostupné z: <https://zoom.iprima.cz/historie/cim-se-balzamovaly-mumie-201630>

PÁNKOVÁ, Veronika, 2019. *UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULKA Katedra botaniky DIPLOMOVÁ PRÁCE Výukový program s využitím motivačních pokusů v biologii rostlin* [online]. Olomouc [vid. 2024-04-08]. Diplomová práce. Univerzita Palackého. Dostupné z: <https://theses.cz/id/01esg3/28225707>

PODROUŽKOVÁ, Vanda, 2011. *Jehličnany ve výuce přírodopisu a biologie* [online]. Praha [vid. 2024-01-31]. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Dostupné z: https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/48847/DPTX_2010_1__0_290580_0_97178.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PŘÍSPĚVATELÉ WIKIPEDIE, 2024. *Karmin – Wikipedie* [online] [vid. 2024-02-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Karm%C3%ADn>

ROSYPAL, Stanislav a ET AL., 2003. *Nový přehled biologie*. Praha: Scientia. ISBN 978-80-86960-23-4.

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, G GRAHAM. JAMES G., Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022a. Thujone. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-29]. Dostupné z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0197087

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Gaudi F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022b. Camphene. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-29]. Dostupné z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0267242

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022c. (+)-delta(3)-carene. *LOTUS: Natural*

Products Online [online] [vid. 2024-03-29]. Dostupné

z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0250199

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022d. A-pinene. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-03]. Dostupné

z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0132416

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022e. Bornyl acetate. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-29]. Dostupné

z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0060565

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022f. B-pinene. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-03]. Dostupné

z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0117550

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022g. Caryophyllene. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-04-03]. Dostupné

z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0085212

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022h. Cymene. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-29]. Dostupné

z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0181568

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022i. Limonene,. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-29]. Dostupné
z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0155981

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022j. Linalool, (+-)-. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-29]. Dostupné
z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0128839

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022k. (r)-(+)-citronellal. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-29]. Dostupné
z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0175396

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022l. Terpeneol. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-29]. Dostupné
z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0136148

RUTZ, Adriano, Maria SOROKINA, Jakub GALGONEK, Daniel MIETCHEN, Egon WILLIGHAGEN, Arnaud GAUDRY, James G. GRAHAM, Ralf STEPHAN, Roderic PAGE, Jiří VONDRÁŠEK, Christoph STEINBECK, Guido F. PAULI, Jean-Luc WOLFENDER, Jonathan BISSON a Pierre-Marie ALLARD, 2022m. A terpinene. *LOTUS: Natural Products Online* [online] [vid. 2024-03-29]. Dostupné
z: https://lotus.naturalproducts.net/compound/lotus_id/LTS0232891

SPIILKOVÁ, Jiřina; Martin, Jan; Siatka, Tomáš; Tůmová, Lenka; Kašparová, Marie, 2016. 8 Silice, pryskyřice, balzámy. In: *Farmakognozie* [online]. Praha: Karolinum, s. 267–322. ISBN 978-80-246-3294-0. Dostupné z: <https://www.ebsco.com/terms-of-use>

TAHERI, Parissa, Marjan SOWEIZY a Saeed TARIGHI, 2023. Application of essential oils to control some important fungi and bacteria pathogenic on cereals. *Journal of Natural Pesticide Research* [online]. **6**, 100052 [vid. 2023-09-15]. ISSN 2773-0786. Dostupné z: [doi:10.1016/J.NAPERRE.2023.100052](https://doi.org/10.1016/J.NAPERRE.2023.100052)

THE EDITORS OF ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, 2019. *What are angiosperms?* | *Britannica* [online]. [vid. 2023-10-16]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/question/What-are-angiosperms>

TOMÁŠKOVÁ, Ivana a Jiří KUBÁSEK, 2016. *Fyziologie lesních dřevin I*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-2608-8.

TOMÁŠKOVÁ, Ivana a Jiří KUBÁSEK, 2017. *Fyziologie lesních dřevin II*. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-2800-6.

VREŠTIAK, Pavel, 2001. *Všechno o jehličnanech*. Praha: Slovart. ISBN 80-7209-317-7.

WISHART, DS, D TZUR, C KNOX a ET AL., 2022. Human Metabolome Database: Showing metabocard for beta-Caryophyllene (HMDB0036792). *HMDB: the Human Metabolome Database* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://hmdb.ca/metabolites/HMDB0036792>

WISHART, DS, D TZUR, C KNOX a ET AL., 2023. Human Metabolome Database: Showing metabocard for (-)-3-Isothujone (HMDB0036115). *HMDB: the Human Metabolome Database* [online] [vid. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://hmdb.ca/metabolites/HMDB0036115#spectra>

YANG, Jianming, Qingjuan NIE, Meng REN, Hongru FENG, Xinglin JIANG, Yanning ZHENG, Min LIU, Haibo ZHANG a Mo XIAN, 2013. Metabolic engineering of *Escherichia coli* for the biosynthesis of alpha-pinene. *Biotechnology for Biofuels* [online]. **6**(1), 1–10 [vid. 2024-02-25]. ISSN 17546834. Dostupné z: [doi:10.1186/1754-6834-6-60/FIGURES/7](https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-60/FIGURES/7)

ZIEGLER, Václav, 2007. *Základy geologických věd*. Praha: Univerzita Karlova. ISBN 978-80-7290-306-1.