

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv osvětlení na výnos biomasy a tvorbu přírodních látek  
v rostlinách léčebného konopí**

**Bakalářská práce**

**Kristína Spodniaková**

**Rostlinná produkce**

**prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr. h. c.**

**© 2024 ČZU v Praze**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv osvětlení na výnos biomasy a tvorbu přírodních látek v rostlinách léčebného konopí" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26.4.2024

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce, panu prof. Ing. Pavlovi Tlustošovi, CSc., dr. h. c., za možnost psaní této práce, jakož i paní Ing. Aleksandře Kuklině za trpělivost a cenné rady.

# Vliv osvětlení na výnos biomasy a tvorbu přírodních látek v rostlinách léčebného konopí

## Souhrn

Tato práce shrnuje poznatky celé řady výzkumných prací, přináší přehled o rostlině konopí a to o základní charakteristice rostliny, jako je její původ a botanický popis, až po hodnocení vlivu různých typů osvětlení, kvality a intenzity světla a světelného režimu, na tvorbu biomasy a složení rostlin léčebného konopí, což bylo hlavním cílem bakalářské práce. Jelikož zájem o užívání a pěstování léčebného konopí neustále roste díky potenciálu účinných látek, hlavně kanabinoidů, řešit různé zdravotní problémy, jako jsou chronická bolest, epilepsie či Parkinsonova choroba, je důležité poznat jeho potřeby a nároky na pěstování. Zájem je doprovázen i souvisejícími legislativními změnami, které se pozvolna posouvají v prospěch legálního pěstování léčebného konopí v České republice i ve světě. Širší možnosti pěstování vytváří prostor pro další výzkum a přínos dalších potřebných poznatků. V indoor podmínkách je třeba se zaměřit, kromě osvětlení, i na faktory jako je zavlažování, teplota či vlhkost vzduchu, práce nastiňuje i vlastní pěstování v hydroponickém systému, což je velmi efektivní způsob se snahou o minimální zatížení prostředí. V závěru jsou shrnuty informace související s reakcí rostlin konopí v různých růstových fázích na kvalitu osvětlení, intenzitu a světelný režim. Je navrženo konkrétní osvětlení pro každou růstovou fázi pro co nejvyšší výnos a obsah účinných látek. Průlomové může být LED osvětlení, díky velmi nízké energetické náročnosti, možnosti manipulace se světelným spektrem a možnostmi použití pro všechny růstové fáze.

**Klíčová slova:** Cannabis, růstové faktory, osvětlení, světelné spektrum, zdroje světla

# The Influence of the Light on the Biomass Production and Accumulation of Natural Compounds in Medical Cannabis

## Summary

This thesis summarizes the findings of a number of research papers, providing an overview of the cannabis plant, from the basic characteristics of the plant, such as its origin and botanical description, to the evaluation of the effect of different types of illumination, quality and intensity of light and light regime, on the biomass formation and composition of medicinal cannabis plants, which was the main objective of the bachelor thesis. As the interest in the use and cultivation of medicinal cannabis continues to grow due to the potential of its active compounds, mainly cannabinoids, to address various health problems such as chronic pain, epilepsy and Parkinson's disease, it is important to understand its needs and cultivation requirements. This interest is accompanied by related legislative changes that are slowly moving in favour of legal cultivation of medicinal cannabis in the Czech Republic and worldwide. The broader possibilities of cultivation create room for further research and the contribution of other necessary knowledge. In indoor conditions, in addition to lighting, factors such as irrigation, temperature and humidity need to be addressed; the thesis also outlines the actual cultivation in a hydroponic system, which is a very efficient method with an effort to minimize environmental stress. Finally, information related to the response of cannabis plants at different growth stages to lighting quality, intensity and light regime is summarised. Specific lighting is proposed for each growth phase to maximise yield and active ingredient content. LED lighting may be a breakthrough, due to its very low energy consumption, the possibility of manipulating the light spectrum and the possibility of using it for all growth phases.

**Keywords:** Cannabis, growth factors, lighting, light spectrum, light sources

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Cíl práce.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Literární rešerše.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Původ a ekologie konopí .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Botanický popis .....</b>	<b>9</b>
3.2.1 Taxonomie .....	9
3.2.2 Morfologie a anatomie .....	11
3.2.3 Vývojová stádia.....	12
<b>3.3 Význam a využití konopí .....</b>	<b>13</b>
3.3.1 Technické konopí .....	13
3.3.2 Konopí pro rekreační účely.....	13
<b>3.4 Léčebné konopí.....</b>	<b>14</b>
3.4.1 Historie.....	14
3.4.2 Chemické složení a účinné látky .....	14
3.4.3 Léčba konopím.....	17
<b>3.5 Pěstování léčebného konopí .....</b>	<b>19</b>
3.5.1 Pěstování a legislativa v České republice .....	19
3.5.2 Pěstování a legislativa ve světě .....	20
3.5.3 Faktory ovlivňující pěstování a kvalitu léčebného konopí.....	21
<b>3.6 Osvětlení .....</b>	<b>29</b>
3.6.1 Vlastnosti světelných zdrojů .....	29
3.6.2 Typy osvětlení .....	29
3.6.3 Doplnky osvětlení .....	32
3.6.4 Vliv faktorů osvětlení .....	33
<b>4. Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>5. Literatura.....</b>	<b>38</b>
<b>6. Seznam obrázků.....</b>	<b>42</b>

## 1. ÚVOD

Konopí je rostlina pocházející z Asie (Rätsch 2017). Konopí bylo využíváno již přibližně od roku 2900 před naším letopočtem na různé nemoci (Peng et al. 2022). V současnosti se využívá také na výrobu textilií, potravin, kosmetiky, papíru až po biopaliva či stavební materiály (Rehman et al. 2021). Avšak konopí bylo ve většině světa zakázáno více než sedm desetiletí v důsledku boje proti nelegálnímu užívání (Visković et al. 2023). V 60. letech 20. století došlo k zvýšení vědeckého zájmu o konopí, který ještě vzrostl s objevem endokanabinoidního receptoru v 90. letech 20. století. Díky identifikaci chemické struktury konopných složek nastává nová éra využívání konopných léčiv, neboť se začala prokazovat jejich účinnost a bezpečnost (Zuardi 2006). V současnosti stále více zemí začíná povolovat užívání či pěstování léčebného konopí (Tauchen & Klouček 2020). Hlavními účinnými látkami jsou kanabinoidy (Magagnini et al. 2018). Jedním z nich je tetrahydrokanabinol - THC vykazující psychoaktivní účinky (Tauchen & Klouček 2020), má širokou škálu léčivých účinků, ale i možné nežádoucí reakce, což omezuje použití v terapii (Costa 2007). Dalším významným kanabinoidem je kannabidiol – CBD, který také vykazuje množství zdravotních výhod bez psychoaktivních účinků (Peng et al. 2022). Složení a množství kanabinoidů je ovlivňováno hlavně geneticky, ale i podmínkami prostředí (Peterswald et al. 2023). Právě světlo je jedním z klíčových faktorů ovlivňujících vývoj rostlin (Xiao-Xue et al. 2013), má vliv i na sekundární metabolismus, a tedy i na tvorbu účinných látek konopí (Danziger & Bernstein 2021). Pro co nejvyšší výnos a kvalitu je potřeba upravovat světelné spektrum, intenzitu světla a fotoperiodu během různých růstových fází (Moher et al. 2022). Proto se při pěstování konopí ve vnitřních prostorech využívají různé dostupné typy osvětlení, jako například fluorescenční žárovky, metalhalidové výbojky, vysokotlaké sodíkové výbojky či LED osvětlení, které se mezi sebou liší v několika faktorech (Jin et al. 2019).

## **2. CÍL PRÁCE**

Léčebné konopí se pěstuje v našich podmínkách i s ohledem na jeho nutné zabezpečení, v indoor prostředí. Toto vyžaduje velmi sofistikovaný přístup k nastavení optimálních parametrů pro jeho růst a tvorbu kanabinoidů. Jedním z významných parametrů je osvětlení rostlin, a to jak jeho délka, tak i intenzita a složení světelného spektra v jednotlivých růstových fázích.

Cílem bakalářské práce je zpracovat vliv hlavních pěstebních faktorů na tvorbu biomasy a tvorbu kanabinoidních sloučenin v rostlinách léčebného konopí a podrobně zkoumat vliv osvětlení na hlavní sledované parametry růstu a kvality rostlin.



### 3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

#### 3.1 Původ a ekologie konopí

Konopí pravděpodobně pochází z Asie, odkud se později rozšířilo do celého světa (Rätsch 2017). Geografický a ekologický dosah konopí je velmi široký. Divoké nebo volně žijící populace jsou přítomné i v oblastech blízko severního pólu v Eurasii, naopak tropické populace jsou vzácné. Nejčastěji se vyskytují v dobře odvodněných půdách mírných kontinentálních ekosystémů Eurasie a Severní Ameriky (Lynch et al. 2016). Přirozeně se vyskytuje po celé Indii v odpadových oblastech, podél cest a zavlažovacích kanálů nebo v zahradách. Vyžaduje mírně vlhké prostředí, středně až vysokou intenzitu světla a dostatečnou, ale ne nadměrnou vlhkost půdy (Kuddus et al. 2013). Kultivované populace nalezneme na všech kontinentech s výjimkou Antarktidy, v širokém rozpětí prostředí od subarktických až po tropické oblasti a rozsah nadmořské výšky od hladiny moře až po více než 3 000 m (Lynch et al. 2016).

#### 3.2 Botanický popis

##### 3.2.1 Taxonomie

Konopí (*Cannabis*) je dvouděložná rostlina z řádu růžotvaré (Rosales). V minulosti bylo konopí zařazeno do čeledi Moraceae, později do čeledi Urticaceae, dnes ho spolu s chmelem (*Humulus lupulus*) známe jako jediné rostliny z čeledi konopovitých (Cannabaceae), (Rätsch 2017). Nicméně na základě nových poznatků Visković et. al (2023) uvádí, že osm dalších rodů (*Celtis*, *Pteroceltis*, *Aphananthe*, *Chaetachme*, *Gironniera*, *Lozanella*, *Trema* a *Parasponia*), které byly dříve klasifikovány jako Celtidaceae, bylo přeřazeno do čeledi Cannabaceae. První název konopí setého (*Cannabis sativa*) pochází od botanika Carla Linného z roku 1737, později v roce 1742 Jean Baptiste de Lamarck objevil konopí indické (*Cannabis indica*). Známe také konopí ruderální (*Cannabis ruderalis*), které popsal v roce 1924 Dmitrij E. Janiševskij (Miovský et al. 2008). Taxonomické zařazení rodu není jednotné. Velmi často se uvádí *Cannabis sativa*, *Cannabis indica* a *Cannabis ruderalis* jako tři rozdílné druhy. Nicméně současná botanika zastává názor, že existuje pouze jeden variabilní druh konopí (*Cannabis sativa*) s poddruhy (Rätsch 2017).

##### 3.2.1.1 *Cannabis sativa*

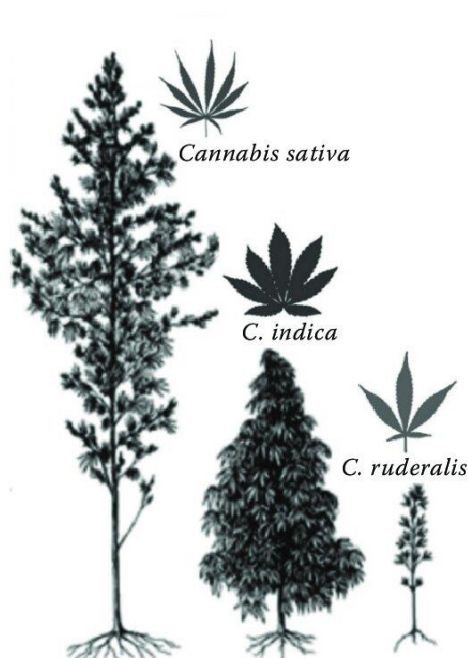
Konopí seté (*Cannabis sativa*) bývá často jednodomé. Je robustní a má vzpřímenou, řídkou větvenou lodyhu. Z popsaných druhů je nejvyšší, dosahuje totiž výšky 2-6 metrů. Semena, která pevně přirůstají k lůžku, jsou hladká a bez zřetelné oddělovací vrstvy. Obsah THC v suché hmotě nepřesahuje 0,3% (Rätsch 2017).

### 3.2.1.2 *Cannabis indica*

Konopí indické původem z Himalájí je na rozdíl od konopí setého jednodomé pouze výjimečně. Lodyhu má vzpřímenou a hustě větvenou. Dorůstá do výšky 1,2 metru. Semena mají intenzivně mozaikovitou kresbu a výraznou oddělovací vrstvu na bázi, po dozrání samovolně vypadávají. Obsah THC v sušině je vyšší než 0,3 % a tím se označuje jako druh s vysokými působícími účinky (Rätsch 2017).

### 3.2.1.3 *Cannabis ruderalis*

Tento plevelný druh rostoucí v Rusku, na západní Sibiři, na Urale, na Kavkaze a v Malé a Střední Asii nemá vysoký, ale ani nízký obsah účinných látek. Je to vzácná jednodomá bylina, která dorůstá do výšky 0,5-1 metru (Rätsch 2017). Druhy konopí jsou porovnány na Obrázku 1.



Obrázek 1: Druhy konopí (Malík et al. 2021).

### 3.2.1.4 Odrůdy a hybridy

V současnosti existuje více než 700 různých genotypů konopí a neustále se šlechtí další. V případě genotypů, které jsou na trhu déle, je pravděpodobné, že obsah hlavní účinné látky je stabilnější než u těch, které byly vyšlechtěny nedávno. Mnohé z těchto genotypů mají společného předka, ale jejich chemické složení se výrazně liší a jejich účinnost ještě nebyla úplně prozkoumána (Janatová et al. 2018). V evropských šlechtitelských programech se nejprve vyvinuly jednodomé odrůdy s cílem zvýšit úrodu semene. Při pěstování léčivého konopí se upřednostňují čistě samičí populace, protože opylení může výrazně snížit výnos kanabinoidů. K tomu se využívá jednoduchá a účinná technika, jedná se o vytvoření

feminizovaných populací aplikací inhibitoru ethyleny na jednoho z obou samičích rodičů, což následně stimuluje tvorbu tyčinkových květů, a tím vzniká čistě samičí potomstvo. Opakované samooplození vedoucí k homozygotnosti však může způsobit inbreední depresi (Carlson et al. 2021). Možností je také fyzická separace samičích a samčích květů či rostlin (Lipson et al. 2021).

#### 3.2.1.4.1 Samonakvétací odrůda (Autoflower)

Existuje odrůda, která kvete rychle, což urychluje sklizeň, a tím se předchází nepříznivým povětrnostním podmínkám v pozdějším období. Jde o kultivary konopí, které nejsou citlivé na fotoperiodu (tzv. denně-neutrální nebo samonakvétací), začínají kvést na základě zralosti namísto délky dne. Tato vlastnost samokvětu pravděpodobně pochází z rostlin, které rostou v severních zeměpisných šířkách, kde mají dlouhé dny a krátké vegetační období. Předpokládá se, že zahrnují samostatný druh nebo poddruh známý jako *Cannabis ruderalis*. Samonakvétací kultivary se využívají k produkci semen, ale existuje zájem o jejich využití i při produkci květů, protože dozrávají výrazně rychleji než odrůdy citlivé na fotoperiodu. Samonakvétací rostliny přinášejí výhodu rychlejší sklizně (45 až 75 dní), ale produkují o polovinu méně květů na jednotku plochy než rostliny citlivé na fotoperiodu. To umožňuje dva cykly sklizně během vegetačního období; druhá úroda však bude ovlivněna stejnými problémy, které postihují rostliny citlivé na fotoperiodu při pozdní sklizni jako je chlad, mráz či vlhké a deštivé počasí, což může způsobit různé choroby rostlin. Dalším omezením samonakvétacích rostlin je jejich tendence kvést předčasně jako reakce na stres při přesazování, což může výrazně snížit potenciál sklizně (Kurtz et al. 2023).

### 3.2.2 Morfologie a anatomie

Konopí je jednoletá rostlina a převážně dvoudomá, kdy se na jedné rostlině tvoří samčí, nebo samičí květenství. Může však být také jednodomá a ojediněle se vyskytují i hermafroditní typy, které jsou neplodné. Kořen bývá kolmý a kulovitý, u samčí dvoudomé rostliny méně vyvinutý. Délka kořene závisí na typu půdy a hloubce podzemní vody. Stonek bývá nejčastěji čtyřhranný nebo šestihranný, může dosahovat až 6 metrů s tloušťkou 3-60 mm. Barva se mění od zelené v plném vegetačním růstu až po hnědou vlivem povětrnostních podmínek po zralosti a ztvrdnutí. Vyspělá rostlina má 7-15 internodií, jejichž počet a délka je ovlivněna typem konopí a podmínkami při vývoji. Samčí stonek se před kvetením začíná diferencovat od samičí delšími internodiemi, světlejší barvou a větší štíhlostí. Stonek se skládá z lýka, dřeva a dřeně. Listy mají kopinatý tvar a pilovitý okraj s krátkými až středně dlouhými řapíky. Listy vyrůstají z kmene střídavě a blízko ke květenství, v úzkých latích, vyrůstajících na poměrně dlouhých stopkách listů. Každé z těchto květenství obsahuje pět žlutozelených okvětních lístků, pět tyčinek a dalších pět tyčinek. Samčí rostliny prezentují své květenství formou seskupených květenství. Během plného kvetení, především během teplých dnů, samčí rostliny produkují značné množství pylu, který může být unášen větrem na vzdálenost 10 - 12 km. Samičí květy disponují horním dvojbunkovým pestíkem, obsahujícím jeden vaječník a dvě vystupující vlákna blizny. Tyto květy jsou uspořádány v několika vrstvách na vrcholu rostliny a tvoří hustě olistěné krátké

složené střapce. Samičí rostliny začínají kvést o 3 až 10 dní později než samčí. Pyl je schopný oplození 14 - 15 dní po zrání. Po opylení uplyne 30 - 40 dní dozrávání semen (Miovský et al. 2008). Ze semen vznikají rostliny s poměrem pohlaví 1:1 (Touchen & Klouček 2020). Plodem je jednosemenné semeno. Barva je šedozelená, tmavohnědá až černá. Velikost závisí na typu a odrůdě konopí. Hmotnost tisíce semen je 6-26 g (Miovský et al. 2008).

### **3.2.3 Vývojová stádia**

#### *3.2.3.1 Embryonální stádium*

V tomto stádiu dochází k intenzivnímu dělení buněk a nárůstu cytoplazmy. Dochází k tomu při klíčení nebo na místě poranění rostliny, například při tvorbě klonů (José 2018). Klíčení semen konopí se pohybuje v rozmezí od 12 hodin až po 8 dní. Po 2 až 4 dnech od začátku klíčení se obal semen rozštěpí, odhalí kořen a dva kulaté zárodečné listy, známé jako listeny. Fáze klíčení trvá 1 - 4 týdny a představuje období, kdy je rostlina nejcitlivější (Kuddus et al. 2013).

#### *3.2.3.2 Vegetativní fáze*

Vegetativní fáze nebo fáze růstu začíná vyklíčením a pokračuje až do úplného vyvinutí orgánů rostliny. Dělí na fázi prodlužovací a rozlišovací. V prodlužovací fázi dochází k zvětšování objemu buněk a jejich stěn, buňky se prodlužují, rychlost dělení klesá a vznikají vakuoly (José 2018). V některých částech rostliny probíhá růst nepřetržitě po celou dobu jejího vývoje, tyto části jsou označovány jako orgány s neukončeným růstem - kořen a stonek. Naopak v jiných částech rostliny růst probíhá pouze po určitou dobu, a tyto části jsou nazývány orgány s růstem ukončeným - listy. Růst buněk, orgánů a celých rostlin začíná pomalu, postupně se zrychluje a nakonec opět zpomaluje. Po fázi prodlužování následuje fáze diferenciacce, přičemž obě fáze mohou probíhat současně. Diferenciace zahrnuje specifické změny jednotlivých buněk a vytváření pletiv s určitou funkcí, až po vznik celých orgánů. Během tohoto procesu se mění struktura buněk, včetně tloušťky buněčné stěny a složení protoplastu, a vytvářejí se různé typy pletiv, jako jsou vodivá a pokožková pletiva, a celé orgány, jako jsou kořeny, stonky a listy (Hejtník et al. 2008). Konopí seté a indické dokáže při zachování dlouhodobé fotoperiody zůstat ve vegetativní fázi i několik let, tím pádem nezačne vytvářet pohlavní orgány. Konopí rumištní naopak kvete při jakékoli periodě (José 2018).

#### *3.2.3.3 Fáze kvetení*

Začínají se tvořit generativní orgány – květy, rostlina se tedy může pohlavně rozmnožovat. Dospělost nastává při plné zralosti pohlavních orgánů (José 2018). Fáze kvetení se pohybuje přibližně od 6 do 22 týdnů a vyžaduje snížené intenzity osvětlení (Kuddus et al. 2013).

#### *3.2.3.4 Stárnutí*

V poslední fázi života rostliny začínají převažovat degenerativní procesy, orgány postupně odumírají a rostlina už není schopna rozmnožování (José 2018).

### **3.3 Význam a využití konopí**

Konopí se pěstuje a využívá již tisíce let na výrobu textilií, potravin a pro léčebné účely. Avšak přísná kontrola pěstování konopí, zaměřená na boj proti nelegálnímu užívání, stejně jako nástup nových druhů vláken a olejnatých semen či levnějších syntetických vláken, způsobila snížení produkce konopí. Konopí bylo ve většině světa zakázáno více než sedm desetiletí, v současnosti se situace postupně obrací. Možnost využití celé rostliny konopí na různé účely vytváří příležitost pro trh k zhodnocení konopných produktů. Technologie výroby se liší v závislosti na typu pěstovaného konopí (na semeno, vlákno nebo kanabinoidy), půdních vlastnostech a environmentálních faktorech. Konopí má potenciál stát se velmi udržitelnou a ekologickou plodinou. Kořeny konopí mají významné schopnosti absorbovat a uchovávat těžké kovy, jako jsou olovo, nikl, kadmium a další škodlivé látky. Kromě toho se ukázalo, že je také účinnou plodinou pro zachycování uhlíku a výrobu biopaliv (Visković et al. 2023).

#### **3.3.1 Technické konopí**

Technické konopí lze charakterizovat jako konopí s koncentrací delta-9 tetrahydrokanabinolu (THC) nejvýše 0,3 % v sušině (Visković et al. 2023). Technické konopí se stává předmětem intenzivního zájmu ve výzkumu. Tento zájem vyplývá z jeho schopnosti růst extrémně rychle a široce, což z něj činí vhodný zdroj pro různá komerční odvětví. Využívá se k výrobě textilií, papíru, léčiv, potravin, krmiv pro zvířata, barev, biopaliv, biologicky rozložitelných plastů a stavebních materiálů (Rehman et al. 2021).

#### **3.3.2 Konopí pro rekreační účely**

Marihuana je jednou z nejrozšířenějších rekreačních drog na světě, kterou konzumuje více než 192 milionů uživatelů (Khanji et al. 2020). Při rekreačním užívání konopí jde o opojení. Psychologické účinky mohou být jak pozitivní, tak negativní, u každého jedince probíhá tento stav individuálně. Faktory ovlivňující psychologické účinky zahrnují sociální i fyzické prostředí, dávku a očekávání uživatele. Zatímco pro někoho může být zážitek čistě pozitivní, u jiného uživatele může konopí způsobit akutní toxický účinek. I když se subjektivní zprávy o zážitku s konopím liší, obvykle začínají pocitem lehké opojenosti nebo závratí, po kterých následuje uvolnění a pocit „odpojení“. Může dojít k probuzení smyslu pro humor, k změně smyslového vnímání a k zvýšené chuti k jídlu. Později se uživatel může cítit ospalý se sníženou pozorností a s obtížemi udržet souvislou konverzaci, stejně tak se může objevit zpomalení reakčního času a snížení psychomotorické aktivity. Mohou se objevit i negativní akutní účinky, jako mírná až silná úzkost, pocit napětí až rozrušení, neobratnost, bolest hlavy a zmatek. Obsah THC se mezi jednotlivými kultivary konopí výrazně liší. Historicky se pohyboval od asi 5 % až po dnešní druhy, které jsou vysoce selektivně šlechtěné a mohou obsahovat více než 30 % THC. V konopí pro rekreační účely byly naměřeny koncentrace THC až 37 %, přičemž průměrný obsah se pohybuje kolem 11 % (Rella 2015).

## 3.4 Léčebné konopí

### 3.4.1 Historie

Nejstarší dochovaný nález pochází ze 6. tisíciletí před naším letopočtem (Rätsch 2017). Okolo roku 2900 před naším letopočtem si starověcí Číňané osvojili různé formy využití konopí na léčbu nemocí, včetně bolesti kloubů, svalových křečí, dny a malárie. Okolo roku 1000 před naším letopočtem se v Indii konopí využívalo jako analgetikum, hypnotikum, trankvilizér a protizánětlivý prostředek (Peng et al. 2022). V západní medicíně se konopí začalo integrovat v polovině 19. století a dosáhlo svého vrcholu v posledních desetiletích tohoto období, kdy se začaly používat konopné extrakty a tinktury. V prvních desetiletích 20. století došlo k výraznému poklesu používání konopí v západní medicíně. Od roku 1965 došlo k výraznému zvýšení vědeckého zájmu o tuto rostlinu po identifikaci chemické struktury složek konopí, což umožnilo získávání čistých složek. Zájem o konopí se obnovil v 90. letech 20. století s objevem kanabinoidních receptorů a identifikací endogenního kanabinoidního systému v mozku. Nastává nový a důslednější cyklus využívání konopných derivátů jako léků, protože se začala vědecky prokazovat jejich účinnost a bezpečnost (Zuardi 2006).

### 3.4.2 Chemické složení a účinné látky

Rostlina vylučuje menší nebo větší množství pryskyřice s různými koncentracemi látek. Nachází se ve všech částech rostliny, ale především v květu samičí verze. V pryskyřici se nachází kromě účinných látek množství éterických olejů (humulen, farnasen, selenin, limonen, phellandren). Dále cukry, flavonoidy, alkaloidy (cholin, trigonellin, piperidin, betain, prolin, neurin, hordein, cannabissativin), (Rätsch 2017).

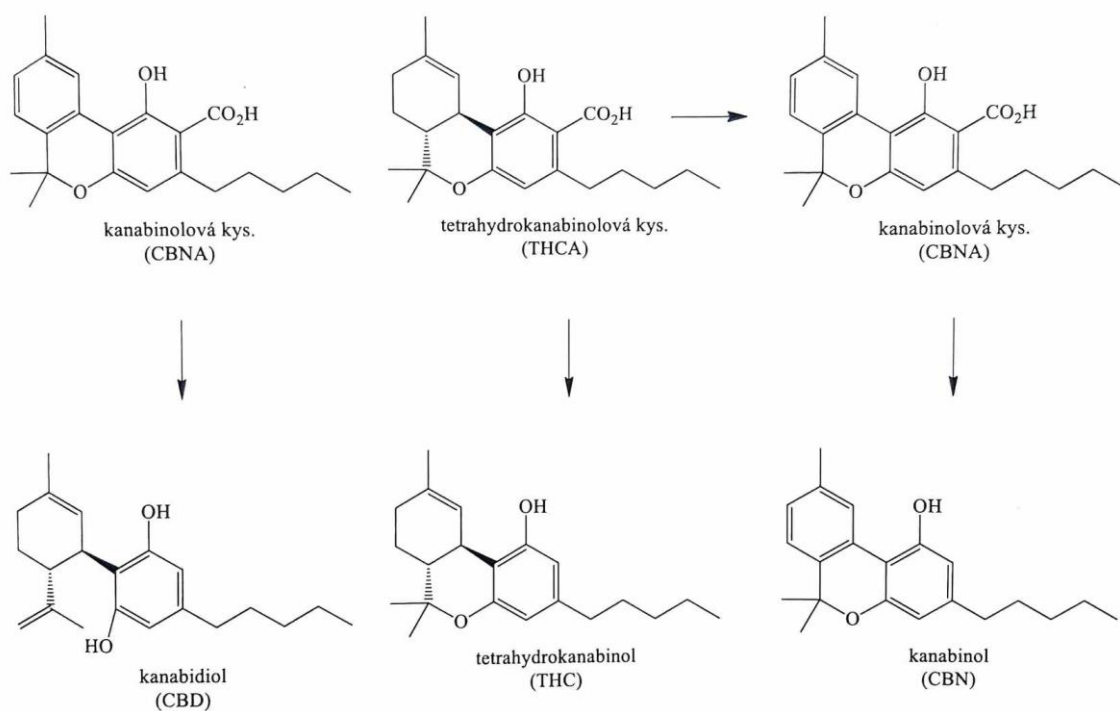
#### 3.4.2.1 Terpeny

Terpeny se nacházejí v trichomech samičího květenství, jsou zodpovědné za obranu a interakci s býložravci a škůdci. Terpeny jsou uhlovodíky s malými izoprenovými jednotkami, které jsou navzájem spojeny do řetězců. Terpenoidy jsou terpeny, které obsahují kyslík a jsou hlavními složkami v rostlinách s obsahem éterických olejů. Kombinace terpenů tak poskytuje různým kmenům jedinečné vůně. Používají se jako přísady do potravin, a některé z nich, jako ty, které se nacházejí v konopí, mají psychoaktivní schopnosti a aromatické vlastnosti. V rostlině konopí se obvykle nacházejí monoterpeny, seskviterpeny, diterpeny a triterpeny. Kanabinoidy se biologicky syntetizují z diterpenových struktur, vytvářejících fenolové terpenoidy, které tvoří téměř čtvrtinu všech metabolitů (Sommano et al. 2020).

#### 3.4.2.2 Kanabinoidy

Kanabinoidy jsou hlavní účinné látky (Magagnini et al. 2018), syntetizované v sekrečních buňkách žláznatých trichomů (Bilodeau et al. 2019). Trichomy jsou více zastoupeny v horní části samičích květů. Živice se produkuje od začátku kvetení až po dozrávání semen. Všechny části rostlin, samčí i samičí, obsahují kanabinoidy. Materiál pro léčebné účely (označovaný jako

ganja) se získává sběrem květních vrcholků spolu s malými listy samičích květů. Méně kvalitní materiál (označovaný jako bhang) se skládá z listů obou pohlaví rostlin. Konopná živice se sbírá třením trichomů květu, a poté se tento materiál dále zpracovává drcením (Tauchen & Klouček 2020). Během desetiletí bylo izolováno více než 150 různých kanabinoidů, které jsou charakteristické sekundárními metabolity konopí (Maioli et al. 2022). Některé kanabinoidy prokazují psychoaktivní účinky, avšak některé jsou se slabým, nebo žádným psychoaktivním účinkem. Nejdůležitější jsou delta-9-tetrahydrokanabinol známý jako THC, kanabidiol známý jako CBD (Rätsch 2017), dále kanabigerol - CBG, kanabichromen - CBC a kanabinol - CBN, který vyniká meziprodukty nazývanými „menší kanabinoidy“ (Maioli et al. 2022). V rostlině jsou kanabinoidy vytvářeny jako fytoproteiny: v čerstvé biomase převažuje 95 % THC, CBD a CBC ve formě jejich kyselých prekurzorů: tetrahydrokanabinolová kyselina - THCA, kanabidiolová kyselina - CBDA a kanabichromenová kyselina CBCA, které se během skladování, při zahřívání nebo za alkalických podmínek dekarboxylují na známější formy (Tahir et al. 2021), viz Obrázek 2. Přítomny jsou také některé deriváty zmíněných látek, kde je propylový boční řetězec nahrazen pentylovou skupinou, jako například tetrahydrokanabivarin (THCV), (Tauchen & Klouček 2020). Morfologie a profil kanabinoidů závisí na genetických faktorech a faktorech prostředí (Magagnini et al. 2018).



Obrázek 2: Chemická struktura kanabinoidů (Tauchen & Klouček 2020).

#### 3.4.2.2.1 $\Delta$ 9-tetrahydrokanabinol – THC

Jedná se o psychoaktivní látku (Tauchen & Klouček 2020). THC a jeho deriváty vykazují širokou škálu léčivých účinků, ale možné nežádoucí reakce, jakož i riziko vzniku tolerance a potenciální závislosti, omezující použití THC v terapii (Costa 2007). U vysoce kvalitního konopí se může vyskytovat v rozsahu 14-25 % v pryskyřici, 5-10 % v listech a až 60 % v oleji. Obsah THC při skladování konopí má tendenci klesat, zejména na světle a v teple. Listy a pryskyřice se mohou stát po 2 letech skladování úplně neúčinnými (Tauchen & Klouček 2020).

#### 3.4.2.2.2 Kanabidiol - CBD

Kanabidiol (CBD) je často získáván z rostliny *Cannabis sativa* a vykazuje množství bioaktivních účinků a různorodých zdravotních výhod, přičemž nevykazuje psychoaktivní vlastnosti (Peng et al. 2022). CBD pomáhá zmírnit úzkost a psychotické stavy, které se mohou vyskytnout u některých pacientů při užívání THC. Kombinace CBD a THC také prokázala vyšší účinnost při léčbě chronické neuropatické bolesti, než kdyby se užíval pouze THC (Janatová et al. 2018).

#### 3.4.2.2.3 Kanabigerol - CBG

Kanabigerol (CBG) je kanabinoid, který nevyvolává psychoaktivní účinky. Existuje jen omezené množství studií, které se zabývají farmakologickými účinky této látky. Zjistilo se, že CBG má antiproliferační a antibakteriální účinky, stejně jako účinek proti glaukomu a protichůdný účinek ve srovnání s CBD při zmírňování nevolnosti (Borrelli et al. 2013).

#### 3.4.2.2.4 Kanabichromén – CBC

Jde o další významný kanabinoid, ačkoli se nachází v nižších koncentracích než CBD a THC, tvoří zpravidla 20 % celkového množství kanabinoidů. Předpokládá se, že CBC není u lidí psychoaktivní, ale je možné, že interaguje s THC a tak zvyšuje opojný účinek. Kanabicykol (CBL) je degradační produkt, který vzniká z CBC během expozice světlu (Frank & Rosenthal 1992).

#### 3.4.2.2.5 Kanabinol - CBN

Zatímco v různých rostlinách a houbách bylo identifikováno několik fyto-kanabinoidů, zjistilo se, že CBN se vyskytuje pouze v konopí. Biosyntetická cesta pro kyselinu kanabidiolovou (CBNA) a tedy ani samotný CBN nebyla identifikována. Jde o degradační proces THC, který v důsledku oxidace na vzduchu podléhá aromatizaci na úrovni methylové části. Za určitých podmínek může dojít i k oxidační degradaci na kyselinu CBNA. CBN má množství potenciálních léčebných účinků (analgetika, sedativa, protizánětlivé účinky a další), (Maioli et al. 2022).

### 3.4.2.3 Endokanabinoidní systém

Endokanabinoidní systém (ECS), který mají všichni savci, byl objeven v roce 1990 (Blesching 2018), krátce po identifikaci kanabinoidního receptoru CB1 (Peng et al. 2022). Kanabinoidní receptory se nacházejí v určitých buněčných membránách po celém lidském těle. Nejběžnějšími typy jsou kanabinoidní receptory prvního typu (CB1) a druhého typu (CB2). Předpokládá se, že existují ještě tři další typy endokanabinoidních receptorů, které je třeba



ještě důkladně prozkoumat, abychom pochopili jejich význam (Blesching 2018). Endokanabinoidní systém představuje rozsáhlou neuromodulační síť, která hraje důležitou roli při vývoji centrálního nervového systému a regulaci mnoha kognitivních a fyziologických procesů. ECS se skládá z endogenních kanabinoidů, kanabinoidních receptorů a enzymů zodpovědných za syntézu a degradaci endokanabinoidů. Kromě svých endogenních funkcí jsou kanabinoidní receptory hlavním cílovým objektem  $\Delta 9$ -tetrahydrokanabinolu (Lu & Mackie 2021).

### **3.4.3 Léčba konopím**

Konopí je využíváno medicíně především jako analgetikum. Jsou prokázány jeho schopnosti pomáhat při chronické bolesti, při skleróze, glaukomu, astmatu, migréně, epilepsii a dalších (Tauchen & Klouček 2020).

#### *3.4.3.1 Patologické stavy s přesvědčivými důkazy ve prospěch účinnosti konopí*

##### **3.4.3.1.1 Chronická bolest**

Chronická bolest je jedním z nejběžnějších patologických příznaků, kterými trpí až 30 % světové populace. K hledání terapeutických alternativ vede skutečnost, že většina analgetik prokazuje významné vedlejší účinky. Jeden z klíčových regulátorů bolesti je právě endokanabinoidní systém, neurální signalizace receptory CB1 a CB2 hraje významnou roli v normálním vnímání bolesti, existuje mnoho studií potvrzujících, že modulace endokanabinoidního systému může bolest snižovat. Byly zkoumány i nežádoucí účinky při léčbě chronické bolesti konopím, kdy bylo zjištěno, že bezpečnostní profil je uspokojivý (Zabranský et al. 2017).

##### **3.4.3.1.2 Vomitus a nauzea**

Pozitivní účinky konopí při nevolnosti a zvracení jsou známy už několik staletí. Bylo prokázáno, že CBD a THC působením na receptory CB2 potlačují nauzeu. Podle experimentu, který se prováděl v USA, bylo zjištěno až 70-100 % úlevy u pacientů chemoterapeutické léčby, kteří užívali léčebné konopí kouřením a 76-88 % u těch pacientů, kteří užívali konopí orálně. Pacienti však často uvádějí nežádoucí účinky jako závratě, ospalost a suchost v ústech. Konopí však zůstává užitečnou terapeutickou volbou tam, kde jiná antiemetika nestačí (Zabranský et al. 2017).

##### **3.4.3.1.3 Spastické stavy**

Spasmy jsou u neurologických onemocnění spojené s poruchami spánku. Jsou společně s bolestí, oblastmi u kterých se nejvíce zkoumá využití konopí. V několika studiích byl ověřován účinek konopí na spastické stavy způsobené roztroušenou sklerózou, bylo prokázáno snížení počtu spasmů a zlepšení mobility, ačkoli výrazná úleva nebyla pozorovatelná. Kanabinoidy však mohou mít terapeutický potenciál jako prostředek k zpomalení spasmů a roztroušené sklerózy a úlevu od jejich symptomů (Zabranský et al. 2017).

### 3.4.3.2 Patologické stavy se slabšími důkazy ve prospěch účinnosti konopí

#### 3.4.3.2.1 Parkinsonova choroba

Symptomy Parkinsonovy choroby jsou hlavně snížení počtu dopaminergních neuronů v bazálních gangliích, v nichž se vyskytují i endokanabinoidní receptory. Právě proto je Parkinsonova choroba často spojována s léčebným konopím. Avšak klinických studií je zatím málo a navíc s rozdílnými výsledky. Některé studie nezaznamenaly významné zlepšení u pacientů užívajících orální extrakt z konopí, naopak novější studie popisují významné zlepšení symptomů při kouření konopí, a to bez závažných vedlejších účinků. Takže existuje teoretický základ účinnosti konopí pro zmírnění příznaků Parkinsonovy choroby, ale stále je jen málo kvalitních studií s dostatečným počtem pacientů, které by účinnost spolehlivě potvrdily (Zabranský et al. 2017).

#### 3.4.3.2.2 Poruchy spánku

Účinky konopí při nespavosti a dalších poruchách spánku jsou známy už od starověku, stejně tak tyto účinky popisuje i řada uživatelů konopí, ospalost a únava jsou známé znaky užívání konopí a účast endokanabinoidního systému v procesu spánku je prokázána. Existuje však jen málo moderních studií na toto téma, proto aby bylo konopí zařazeno do léčebných prostředků pro poruchy spánku, je třeba ještě dalšího zkoumání (Zabranský et al. 2017).

#### 3.4.3.2.3 Posttraumatická stresová porucha (PTSD)

Posttraumatická stresová porucha je spolu s bolestí nejčastějšími problémy léčenými konopím v Izraeli. Lidé trpící na PTSD, kteří často vyhledávají konopí pro samoléčbu, hodnotí účinky pozitivně. Podle současných poznatků konopí uklidňuje amygdalu, (jejíž hyperaktivita způsobuje PTSD) a tím snižuje dopad traumatických vzpomínek, respektive snižuje frekvence vybavování vzpomínek a tím i úzkost. Z jedné ze studií vyplývá, že oblasti mozku zodpovědné za potlačování strachu byly aktivnější u pacientů, kterým bylo podáváno syntetické THC, jiná studie se stejným zaměřením popisuje významně nižší výskyt nočních můr a celkové zlepšení stavu pacientů. Existuje tedy dostatek důkazů účinnosti nabilonu pro léčbu příznaků PTSD, ale ne účinnosti celé rostliny konopí (Zabranský et al. 2017).

#### 3.4.3.2.4 Tourettův syndrom

Tourettův syndrom je sociálně velmi obtížné onemocnění s neuspokojivými léčebnými výsledky. Existuje mnoho zpráv o úlevě od syndromů pomocí konopí, avšak za dlouhé časové období. Existuje však jen málo kontrolovaných klinických studií, které se zaměřují na účinnost THC, nikoliv na celé rostliny. Studie také ukázaly jen zanedbatelné akutní vedlejší účinky. Účinnost konopí na symptomy Tourettova syndromu je potřeba dále zkoumat (Zabranský et al. 2017).

#### 3.4.3.2.5 Epilepsie

Je to rozšířené onemocnění, u většiny pacientů funguje léčba pouze jedním antikonvulzivem, ale jsou i tací, u kterých dostupná medicína selhává, zejména při závažné dětské epilepsii s

vysokou frekvencí záchvatů. Komplikace zavedené léčby mohou nastat také kvůli závažným vedlejším účinkům antikonvulziv, jako je například nevolnost, závratě nebo rozmazané vidění. Protikonvulzivní účinky fyto-kanabinoidů jsou dlouhodobě známy. THC je v některých případech antikonvulzivní, v jiných prokonvulzivní, naopak CBD je uniformně antikonvulzivní (Zabranský et al. 2017).

#### 3.4.3.2.6 Rakovina

V posledních letech se zvýšil zájem o léčbu nejrůznějších nádorů konopím, který se váže hlavně k takzvaným „Fénixovým slzám“ což je přípravek obsahující koncentráty z konopí, většinou s vysokým obsahem THC. Zprávy o úspěšném používání konopí a přípravků z něj v různých formách podání, poskytuje mnoho případových studií různé kvality. O mechanismu účinku ale zatím není mnoho informací, existuje však hypotéza o selektivním ovlivnění buněčné smrti, ve které řídicí roli zastává právě endokanabinoidní systém, což je i mnohonásobně ověřené na rakovinových buňkách in vitro. I přes silný teoretický podklad pro antirakovinové účinky konopí, existuje stále málo humánních studií (Zabranský et al. 2017).

### 3.5 Pěstování léčebného konopí

Konopí je nelegálně pěstováno po celém světě. V bylinné formě zejména v Severní Americe a Africe, velká část konopné pryskyřice pochází ze severní Afriky, Pákistánu a Afghánistánu. Velkými legálními producenty léčebného konopí jsou státy jako Kanada, Velká Británie nebo USA. Od roku 2015 se situace s pěstováním konopí začala výrazně měnit a stále více zemí začíná povolovat pěstování nebo užívání konopí pro léčebné účely (Tauchen & Klouček 2020).

#### 3.5.1 Pěstování a legislativa v České republice

V České republice bylo legalizováno léčebné konopí v roce 2013 (Aguilar et al. 2018). V české republice je konopí regulováno zejména zákonem o návykových látkách (167/1998 Sb.) a vyhláškou o stanovení podmínek pro předepisování, přípravu, distribuci, výdej a používání individuálně připravovaných léčivých přípravků s obsahem konopí pro léčebné použití (236/2015 Sb.). Legální cesta pro získání konopí je dovoz ze zahraničí, který povoluje Ministerstvo zdravotnictví České republiky - Inspektorát omamných a psychotropních látek. Konopí musí splňovat všechny požadavky ohledně kvality a obsahu účinných látek, vycházejících z právních předpisů. Cena v ČR není žádným způsobem regulována a vychází z ceny, kterou ji výrobce uvádí na trh. Další možností je konopí vypěstované v České republice, tato oblast spadá pod Státní ústav pro kontrolu léčiv, cena není regulována, je realizována podle zákona o veřejných zakázkách. Maximální množství vydaného konopí pro jednoho pacienta je 180 g za měsíc (Státní ústav pro kontrolu léčiv 2010). Dne 15. 3. 2022 nabyla účinnosti vyhláška o stanovení výše náhrad výdajů za odborné úkony prováděné Státním ústavem pro kontrolu léčiv podle zákona o návykových látkách. Dne 10. 8. 2022 nabyla účinnosti vyhláška o stanovení podmínek pro předepisování, přípravu, distribuci, výdej a používání individuálně připravovaných léčivých přípravků s obsahem konopí pro léčebné

použití. Dne 27. 8. 2022 nabyla účinnosti vyhláška o pěstování a zpracování rostlin konopí pro léčebné použití (Státní agentura pro konopí pro léčebné použití 2022).

### **3.5.2 Pěstování a legislativa ve světě**

#### *3.5.2.1 Asie*

V Indii je pěstování konopí kontrolované a povolené pouze v oblastech Almora, Garhwal a Nainital (Uttarakhand, Indie) a v menším rozsahu v Kašmíru a Travancore (Kuddus et al. 2013). V Izraeli bylo již v roce 1993 dekriminlizováno léčebné konopí. Několik společností získalo povolení od ministerstva zdravotnictví k pěstování konopí a poskytuje mnoho různých genotypů pro léčebné terapie (Janatová et al. 2018). Izrael je centrem vědeckého výzkumu, vývoje odrůd konopí a průmyslového výzkumu výrobků. Do roku 2017 užívalo léčebné konopí přibližně 40 000 pacientů. V Thajsku bylo v roce 2017 konopí dekriminlizováno v některých okresech a provinciích (Aguilar et al. 2018).

#### *3.5.2.2 U.S.A a Kanada*

V roce 1937 Spojené státy americké zakázaly užívání konopí, což vedlo k rychlému poklesu jeho užívání. V nedávné době se zvýšil zájem o různá lékařská využití konopí a jeho složek, avšak legislativa a regulace se v jednotlivých zemích výrazně liší (Abuhasira et al. 2018). Do roku 2018 bylo v 29 státech a ve Washingtonu D.C., zlegalizováno užívání konopí k řešení různých zdravotních problémů (Janatová et al. 2018). Do roku 2021 přibylo dalších 6 států (Nemati et al. 2021). Kalifornie byla prvním státem v USA, kde bylo léčebné konopí dekriminlizováno, a to v roce 1996. V Kanadě bylo legalizováno v roce 2001, kde se pacientům poskytuje úleva od bolesti při těžkých onemocněních (Janatová et al. 2018).

#### *3.5.2.3 Jižní a Střední Amerika*

Studie z roku 2018 označila Latinskou Ameriku jako lídra v podpoře a přijímání politik umožňujících přístup k léčebnému konopí pro terapeutické účely. Uruguay se stal první zemí na světě, která úplně legalizovala trh s konopím pro medicínské a vědecké účely, stejně jako pro průmyslové a rekreační využití. V této malé zemi stát (s podporou Institutu pro regulaci a kontrolu konopí) určuje, kdo může konopí produkovat, stejně jako kdo a kolik ho může konzumovat a za jakých podmínek. Další zemí, kde je legální užívat léčebné konopí, je Chile. Kolumbie také dosáhla určitého pokroku, zákon přijatý v roce 2015, vytvořil regulační rámec pro medicínský a vědecký přístup ke konopí, který umožňuje státu kontrolu nad trhem a povoluje udělení licencí soukromým subjektům na výrobu, produkci, vývoz, transformaci a výzkum konopí. V Brazílii je od roku 2016 povolen dovoz léků na bázi CBD oleje včetně THC a květů marihuany pro lékařské a terapeutické použití. Argentina, Peru a Mexiko také prošly menšími regulačními postupy. V těchto zemích byly reformy výsledkem aktivního tlaku občanů a skupin pacientů, což vedlo k schválení politik umožňujících prodej a používání léčebného konopí (Aguilar et al. 2018).

#### 3.5.2.4 Evropa

Prvními zeměmi, ve kterých došlo ke dekriminizaci léčebného konopí v Evropě, byly Spojené království a Švýcarsko, kde se pacientům podává vysoce kvalitní konopí, deriváty a standardizované extrakty. V roce 2003 bylo povoleno pěstování a užívání léčebného konopí v Holandsku (Janatová et al. 2018). Německo je jednou z prvních zemí, kde bylo léčebné konopí zařazeno do základního sortimentu léků a je hrazeno ze zdravotního pojištění. V Polsku bylo v roce 2017 povoleno prodávat léčebné konopí v registrovaných lékárnách. V roce 2018 vyšla vyhláška povolující předpis léčebného konopí i ve Slovinsku (Aguilar et al. 2018).

#### 3.5.2.5 Austrálie

Od roku 2016 má země národní orgán, který může vydávat licence na pěstování léčebného konopí. Stát Nový Jižní Wales zavedl rozsáhlá opatření ohledně léčebného konopí, například zrušení trestního stíhání za užívání konopí při různých onemocněních. Viktorie byla zase prvním státem, kde začalo být povoleno poskytovat konopí dětem s těžkou epilepsií. Všechny ostatní státy a území mají vlastní schémata, které umožňují léčbu konopím různých onemocnění na lékařský předpis (Aguilar et al. 2018).

### 3.5.3 Faktory ovlivňující pěstování a kvalitu léčebného konopí

Složení a množství kanabinoidů je významně ovlivňováno genetickými faktory. Avšak, je uznáváno, že i podmínky prostředí a management rostlin, jako například typ půdy, regulace zavlažování, světelné podmínky a tvarování rostlin, mohou mít významný vliv na hromadění kanabinoidů (Peterswald et al. 2023).

#### 3.5.3.1 Pěstební substrát

Protože pěstování konopí bylo nezákonné nebo výrazně omezené, existuje poměrně málo informací ve vědeckém výzkumu o pěstování konopí a vhodných pěstebních médiích. Nejčastěji používané jsou rašelina, kokosové vlákno a kamenná vlna. Důležitým aspektem je udržování správné vlhkosti půdy a obsahu vzduchu, aby se podpořil zdravý růst rostliny. Kvalitní pěstební substrát by měl být proto konzistentní s vyváženými fyzikálními a chemickými vlastnostmi, a umožňovat rychlý odtok vody. Vzhledem k tomu, že kořeny konopí preferují lehké a dobře provzdušněné substráty, což podporuje tvorbu silných kořenových systémů a větvení, měl by mít dostatek pórového prostoru vyplněného vzduchem, což spolu s udržováním mírného obsahu vody mezi zavlažováním minimalizuje riziko výskytu kořenových patogenů. Kromě toho bylo zjištěno, že vysoká pórovitost substrátu může zvýšit hmotnost suchých květů a koncentraci THC. Kvalitní substrát by měl sorbovat vysoké množství a umožnit jejich dostupnost rostlinám a usnadnit jejich hnojení. Výběr substrátu by měl také zohledňovat metody zavlažování a hnojení používané v rámci pěstebního procesu (Nemati et al. 2021).

### 3.5.3.2 Choroby a škůdci

Mezi nejběžnější škůdce a nemoci patří různé druhy hmyzu, jako jsou housenky, mšice, roztoči a různé patogeny, včetně houbových, virových, bakteriálních a nematodních infekcí (Vernon et al. 2023). Patogeny, které napadají konopí, způsobují snížení růstu tím, že postihují kořeny, vrcholky a listy rostliny. Houby, které se mohou usadit na květech během růstu nebo po sklizni a pronikají do vnitřních tkání, mohou negativně ovlivnit kvalitu finálního produktu. Patogeny infikující kořeny jsou druhy rodu *Fusarium* (které způsobují i hnilobu pupenů) a *Pythium*, způsobující zakrnění a žloutnutí rostlin, hnědnutí kořenů, změnu barvy korunních a jaderných pletiv až k odumření. Na listech se může vyskytovat padlí způsobené houbou *Golovinomyces cichoracearum* (Punja et al. 2019). V důsledku přísné kontroly a regulace léčebného konopí se často nepoužívají pesticidy a fungicidy k regulaci škůdců a nemocí. Důvodem je obava z reziduí aplikovaných chemikálií, což by mohlo ovlivnit zdravotní vlastnosti produktu. Namísto toho se klade velký důraz na preventivní opatření, jako je přísná kontrola a regulace prostředí, a také přísná karanténa pro nové zboží nebo lidi vstupující do prostředí pěstování. S nárůstem pěstování konopí se očekává větší potřeba technologií pro rychlou a časnou diagnostiku, léčbu a řízení nemocí a škůdců. Cílem je minimalizovat ztráty, snížit používání pesticidů a maximalizovat ziskovost průmyslu (Vernon et al. 2023).

### 3.5.3.3 Výživa rostlin

Pochopení potřeb výživy a reakcí různých odrůd na minerální výživu může vést k lepšímu řízení výživy s cílem zajistit adekvátní zásobení živinami a tím přispět k zvýšení výnosů. Existují důkazy naznačující, že minerální výživa ovlivňuje produkci fytoKANABINOIDŮ. Některé studie uvádějí, že zvýšení množství makroživin v minerálních látkách může zvýšit výnos květů a fytoKANABINOIDŮ, zatímco jiné studie uvádějí, že zvýšená dostupnost živin dusíku, fosforu a draslíku rostlinám může snížit obsah THC a dalších fytoKANABINOIDŮ v květech. Rozdíly ve výsledcích mohou souviset s dostupností jiných živin, genotypy rostlin, ontogenezí a podmínkami prostředí (Trancoso et al. 2022).

### 3.5.3.4 Voda a zavlažovací systémy

Přítomnost vody je klíčová pro správné fungování rostlin, protože je zodpovědná za distribuci minerálů a živin a má rozhodující vliv na jejich životaschopnost a růst. Nedostatek vody nebo dlouhá období sucha mohou způsobit nízkou vlhkost, což snižuje schopnost rostlin přijímat vodu a absorbovat živiny. V extrémních případech dlouhých období sucha může dojít k vysušení rostlin a nakonec k jejich odumření. Na druhé straně vysoká vlhkost může vést k „utopení“ kořenového systému v důsledku nedostatku rozpuštěného kyslíku a vytvářet ideální podmínky pro výskyt různých plísní a chorob kořenů. Při návrhu zavlažovacích systémů je nutné zvážit množství faktorů, aby se zajistila efektivní regulace dostupnosti vody, kyslíku a živin pro rostliny. Tyto systémy musí řídit nejen množství dodávané vody, ale i její frekvenci. S ohledem na složitost a rozmanitost zavlažovacích systémů, které jsou vhodné pro různá

prostředí a konfigurace, v současné literatuře není poskytnuto jedno univerzální optimální řešení (Vernon et al. 2023).

### 3.5.3.5 *Hydroponický systém*

Protože zemědělství patří mezi odvětví s vysokou spotřebou vody, hydroponie řeší mnoho ekologických a ekonomických otázek díky možnosti recirkulace a opětovného využití živných roztoků. Živiny jsou přímo dodávány do kořenového systému rostliny ve formě vodného roztoku. Hydroponie teda řeší zavlažování i výživu současně. Díky schopnosti pěstovat rostliny celoročně v řízených růstových prostředích, má tato metoda potenciál vytvářet kvalitní a konzistentní rostlinný materiál. Hydroponie začala být značně využívána i při pěstování konopí, neboť techniky úspěšného pěstování jsou podobné jako při pěstování jiných druhů plodin. Problém však nastává kvůli nedostatku informací o hospodaření se živným roztokem (Malík et al. 2023). Živiny jsou k dispozici ve formě vodou rozpustných solí. Přidáním živného roztoku do rostlinného média dochází ke zvýšení koncentrace solí a celkové salinity vody. Míra salinity v blízkosti rhizosféry ovlivňuje růst rostlin, jejich fyziologii, výnos a obsah kanabinoidů v konopí. Vysoký obsah solí brání rostlinám v absorpci vody, zpomaluje přijímání živin, zejména dusíku, a může způsobit problémy s toxicitou kvůli nadměrnému obsahu sodíku a chloru. Na druhou stranu příliš nízká solnost naznačuje nedostatek živin v růstovém médiu, což omezuje schopnost rostlin přijímat živiny v okolí kořenové zóny. Salinita se měří pomocí elektrické vodivosti (EC). Měření EC je užitečné při identifikaci, kdy je celková slanost mimo přijatelný rozsah. Avšak pokud nejde o čerstvý roztok s přesně známým poměrem živin, měření EC nedokáže poskytnout přesné informace o individuálních koncentracích živin. To je způsobeno tím, že rostlina absorbuje jednotlivé živiny různou rychlostí, což vede k postupnému narušení poměru živin a činí ho v průběhu času nepřesným a nespolehlivým (Vernon et al. 2023). Je možné pravidelně vypouštět živné roztoky a doplňovat je pro přesnější kontrolu přísunu živin. Avšak při neustálém přísunu stejných roztoků bohatých na živiny může dojít ke situaci, kdy množství dodávaných a následně přijímaných živin bude pro rostliny toxické (Malík et al. 2023).

### 3.5.3.6 *Hodnota pH*

pH ovlivňuje aktivitu mikroorganismů a rozpustnost živin, což má vliv na rhizosféru, vývoj rostlin a příjem živin. Optimální hodnota pH se liší v závislosti na použitém substrátu. Při použití půdy by se pH mělo udržovat v rozmezí 6,5 až 7,2, avšak při jiných alternativách, jako je například systém Deep Water Culture (DWC), by se pH mělo udržovat v rozmezí 5,8 až 6,0. Důležitá je přísná kontrola pH, protože biologicky dostupné živiny se nacházejí v určitém rozmezí pH. Pokud se hodnota pH dostane mimo toto pásmo, schopnost rostliny přijímat živiny se snižuje, což může vést k bloádě živin a potlačení schopnosti rostliny absorbovat všechny dostupné živiny v médiu (Vernon et al. 2023).

### 3.5.3.7 Koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře

Rychlost fotosyntézy a dýchání rostlin přímo ovlivňuje růst a výnosy rostlin, proto je CO<sub>2</sub> klíčovým faktorem. CO<sub>2</sub> se často dodává. Za ideálních podmínek (teplota 25 - 30 °C a světelný tok fotonů na jednotku plochy - PPFD 1500  $\mu$  mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> z 350 na 750  $\mu$  mol mol<sup>-1</sup> vede k 29% snížení transpirace a 42% snížení stomatální vodivosti listů. Paralelně dochází k 50% zvýšení fotosyntézy, 11% zlepšení využití vody a 115% zvýšení mezibuněčné koncentrace CO<sub>2</sub> (Vernon et al. 2023).

### 3.5.3.8 Vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost (RH) má vliv na rychlost transpirace rostlin a úzce souvisí s teplotou. V teplejších podmínkách vzduch více zadržuje vodu než v chladnějších podmínkách. S každým stupněm Celsia se relativní vlhkost zvyšuje o 7 %. Koncept deficitu vodní páry (VPD) bere v úvahu relativní vlhkost a teplotu a vypočítává maximální množství vody, které vzduch dokáže udržet. Nesprávný VPD může negativně ovlivnit fotosyntézu a průduchy listů. Vysoký VPD může vést k vadnutí a odumírání špiček listů, zatímco nízký VPD brzdí transpiraci a podporuje kondenzaci, což zvyšuje náchylnost k patogenům. Pro konopí je při teplotě 25 - 30 °C optimální rozsah VPD/RH 75 % během fáze rozmnožování a 55 - 60 % během vegetace a kvetení (Vernon et al. 2023).

### 3.5.3.9 Teplota vzduchu

Teplota je klíčová v různých aspektech života rostlin, včetně jejich schopnosti transpirace, regulace teploty, transportu vody a minerálních látek, ovlivňuje fotosyntézu, růst a metabolismus (Vernon et al. 2023). Část světla dopadajícího na povrch rostliny je absorbována a využívána při fotosyntéze, část je odražena a zbytek se proměňuje na teplo, čímž se zvyšuje teplota listů. Kromě přímého vlivu přispívá záření také nepřímo tím, že zvyšuje teplotu vzduchu a následně teplotu rostlinných tkání. Pokud teplota není v požadovaném rozmezí, jsou rostliny vystaveny stresu (Legris et al. 2017), může to mít negativní vliv na funkce rostliny, což vede k snížení rychlosti fotosyntézy a omezení růstových procesů. Pro pěstování konopí je nejlepší rozmezí teplot v rozsahu od 25 do 30 °C, přičemž maximální účinnost fotosyntézy se dosahuje při teplotě kolem 30 °C (Vernon et al. 2023).

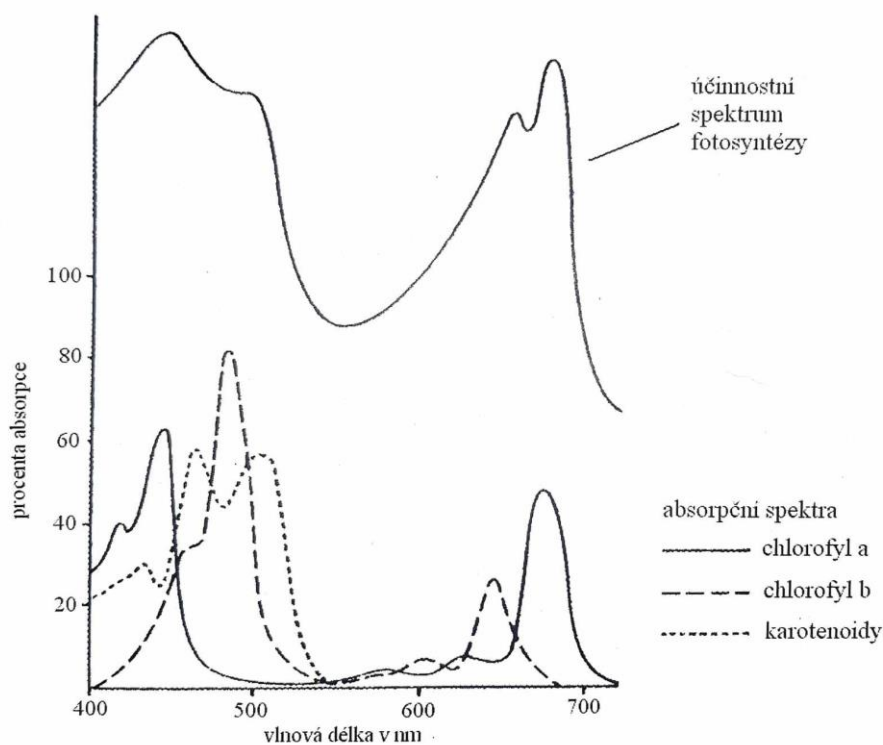
### 3.5.3.10 Světlo

Světlo, jako hlavní zdroj energie, představuje jeden z klíčových faktorů prostředí ovlivňujících růst rostlin. Intenzita a kvalita světla jsou nezbytné pro růst, morfogenezi a další fyziologické procesy v rostlinách (Xiao-Xue et al. 2013). Je známo, že světlo má vliv na sekundární metabolismus a tedy i na účinné látky konopí prostřednictvím svého účinku na fotosyntézu a fotomorfogenezi (Danziger & Bernstein 2021).



### 3.5.3.10.1 Fotosyntéza

Fotosyntéza je proces, při kterém se energie ze světla proměňuje na chemickou energii a s její pomocí dochází k tvorbě sacharidů a dalších organických sloučenin. Fotosyntéza využívá vodu jako zdroj elektronů pro určité chemické reakce, které přispívají k primární stabilizaci světelné energie a v procesu fotolýzy uvolňuje kyslík do vnějšího prostředí (Ruban 2013). Fotosyntéza u vyšších rostlin probíhá především v buňkách listů, které se nazývají mezofylové buňky, a probíhá ve specializovaných organelách nazývaných chloroplasty. Jejich součástí jsou fotosyntetické pigmenty chlorofyly. Nejvíce rozšířené jsou modrozelený chlorofyl a a žlutozelený chlorofyl b. Chlorofyly absorbují modré a fialové světlo mezi 440 a 480 nm a oranžovočervené světlo mezi 650 a 680 nm. Skoro vůbec nepohlcují zelenou část spektra (viz Obrázek 3). V chloroplastech probíhá proces fotosyntézy ve dvou fázích: světelné a temnotní, jednotlivé fáze fotosyntézy jsou v chloroplastech odděleny prostorově. Tato prostorová oddělenost umožňuje nezávislé probíhání různých reakcí bez vzájemného ovlivňování nebo poškozování. Světelná fáze fotosyntézy se realizuje pomocí dvou fotosystémů umístěných na thylakoidních membránách. Na thylakoidních granách převažuje fotosystém II (PS II), zatímco na thylakoidních stromatech převažuje fotosystém I (PS I). Fotosystém II obsahuje více pigmentů, které absorbují světelné záření s kratšími vlnovými délkami, a převažuje v něm chlorofyl b. Terminálním pigmentem fotosystému II je chlorofyl s absorpčním maximem při 680 nm, zvaný P680. Pouze tento pigment má schopnost transformovat energii světelného záření na chemickou energii prostřednictvím interakce s donory a akceptory elektronů. Ostatní pigmenty a karotenoidy, slouží jako sběrače světelných kvant. Fotosystém II katalyzuje rozklad vody na molekulární kyslík. Fotosystém I obsahuje pigmenty absorbující světelné záření s delšími vlnovými délkami, převažuje v něm chlorofyl a nad chlorofylem b. Terminálním pigmentem je chlorofyl a s absorpčním maximem při 700 nm, označovaný jako P700. Fotosystém I získává elektron pro své reakční centrum z cytochromového komplexu  $b_6/f$  a jeho přenosem přes ferredoxin redukuje NADP<sup>+</sup>. Temnotní fáze fotosyntézy probíhá v stromatu chloroplastu, kde dochází k fixaci oxidu uhličitého (Hejnák et al. 2008). Závislost účinnosti fotosyntézy od světelného prostředí vyplývá z několika omezujících faktorů, které ovlivňují rychlost využití světelné energie. V důsledku evoluce při častém vystavení nízkým světelným tokům se fotosyntetický mechanismus vyvinul tak, že pouze malá část molekul chlorofylu je skutečně fotosynteticky kompetentní. Jsou to chlorofyly s reakčním centrem. Zbytek chlorofylu má výhradně funkci sběru světla a nazývá se anténní chlorofyl, který spolu s karotenoidy a lipidy tvoří anténní komplexy, jež shromažďují světelnou energii a přenášejí ji do reakčních center. Při nízké intenzitě světla, nazývané také „hladovění po světle“, je účinnost fotosyntézy ovlivněna schopností anténních pigmentů zachytit světelnou energii a přenést ji do reakčních center. Také je důležité rozložení zachycené energie mezi fotosystémy I a II, které pracují v sérii a podílejí se na přenosu elektronů z vody na NADP. S narůstající intenzitou světla se reakční centra postupně nasycují energií a uzavírají se, což vede k snížení podílu energie využitě ve fotosyntéze. Tento jev je známý jako „nasycení světlem“ a vede k nahromadění nadbytečné excitační energie ve fotosyntetické membráně, což může být potenciálně škodlivé (Ruban 2009).



Obrázek 3: Srovnání účinnostního spektra fotosyntézy s absorpčním spektrem chlorofylu a, chlorofylu b a karotenoidů (Hejnák et al. 2008).

### 3.5.3.10.2 Fotosynteticky aktivní záření

Téměř veškerá energie, která je využívána na Zemi, pochází přímo nebo nepřímo ze slunečního záření (Noriega et al. 2021). Na hranici zemské atmosféry dopadá jen malá část sluneční energie. Přibližně 40-50 % přijaté sluneční energie spadá do spektrální oblasti označované jako světlo. Hranice jsou dány krajními hodnotami vlnových délek vnímaných lidským okem, a to od 360 do 780 nm. U tohoto záření umí lidské oko rozeznat barvu. Fialové světlo má vlnovou délku přibližně 380 až 425 nm, modré 425 až 490 nm, modrozelené 490 až 510 nm, zelené 510 až 550 nm, žluté 550 až 585 nm, oranžové 585 až 640 nm, červené 640 až 700 nm a dlouhovlnné červené 700 až 780 nm (Hejnák et al. 2008). Část tohoto záření, kterou různé organismy nejefektivněji využívají k procesu fotosyntézy, je označována jako fotosynteticky aktivní záření (PAR). PAR odpovídá záření ve vlnovém pásmu 400-700 nm (Noriega et al. 2021). V těsné blízkosti oblasti PAR leží UV záření, s vlnovými délkami 200-400 nm. Dělí se na škodlivé UV-C (200-280 nm), dále UV-B (280-315 nm) a UV-A (315-400 nm), které má na rostliny jen mírný vliv. Intenzita záření PAR udává, kolik fotosynteticky aktivního světla dopadne na plochu za daný časový úsek. Celkový počet světelných částic (fotonů) vyslaných z fotosynteticky aktivního záření (PAR) za jednu sekundu se označuje jako PPF (photosynthetic photon flux), zatímco počet fotonů dopadajících na plochu se označuje jako PPFD (photosynthetic photon flux density). To znamená, že údaj PPFD nám udává, kolik fotonů fotosynteticky aktivního záření se bude podílet na fotosyntéze za jednu sekundu, bez ohledu na to, kolik fotonů je vysláno ze světelného zdroje. Hodnoty PPFD jsou ovlivňovány různými faktory (José 2018).

#### 3.5.3.10.3 Světelná spektra

Vyšší rostliny využívají chlorofyly *a* a *b* spolu s různými karotenoidy k zachycení světla během fotosyntézy. Listy rostlin absorbují přibližně 90 % modrého, nebo červeného světla, zatímco absorpce zeleného světla se pohybuje mezi 70 až 80 %. Vývoj a fyziologie rostlin jsou proto silně ovlivněny modrým a červeným světlem. Modré a červené světlo inhibují prodlužování hypokotylu. Modré světlo podporuje produkci biomasy, zatímco červené světlo způsobuje zvětšení listové plochy. Zelené světlo také ovlivňuje morfologii a fyziologii rostlin, včetně růstu listů, stomatální vodivosti a prodlužování mladých stonků (Johkan 2012).

##### 3.5.3.10.3.1 UV záření

Malé dávky UV-B mají významné pozitivní účinky. Tyto účinky zahrnují podporu odolnosti vůči škůdcům, zvýšení hladiny flavonoidů, zlepšení efektivity fotosyntézy a slouží jako indikátor přímého slunečního záření a slunečních paprsků, ale nadměrné vystavení rostlin UV-B záření může být škodlivé pro jejich integritu (Bilodeau et al. 2019). Je uvedeno, že UV-B záření zvyšuje koncentraci THC v rostlinách (Jin et al. 2019). Lydon et al. (1987) identifikovali lineární vztah mezi obsahem THC (mg/g sušiny) v květním tkáni a dávkou UV-B u rostlin drogového typu. Výzkum ukázal, že jiné charakteristiky, jako fyziologie, morfologie listů a obsah jiných kanabinoidů (například CBD), v rostlinách drogového a vláknitého typu, nevykazovaly významné změny vlivem UV-B záření (Jin et al. 2019). To naznačuje, že kanabinoidy mohou hrát roli v ochraně před UV zářením (Bilodeau et al. 2019).

##### 3.5.3.10.3.2 Zelené spektrum

Rostliny se jeví zelené, protože zelené světlo se od jejich povrchu odrazí. Z toho plyne mylný předpoklad, že zelené světlo není pro růst rostlin prospěšné, zejména pro procesy jako je fotomorfogeneze a fotosyntéza. I když rostliny normálně rostou pod slunečním světlem, nebo kombinací umělého červeného a modrého světla, ozařování zeleným světlem může způsobit prodloužení stonků a snížení produkce biomasy. Zelené světlo je málo absorbováno chlorofyly a pigmenty v zelených listech. Proto se často předpokládá, že zelené světlo nemá velký vliv na růst rostlin, ale může být důležité při dostatečné intenzitě světla (Johkan 2012).

##### 3.5.3.10.3.3 Modré spektrum

Modré světlo má především vliv na výšku rostlin, otevírání stomat (Wei et al. 2021), což ovlivňuje transpiraci vody a výměnu CO<sub>2</sub> (Bilodeau et al. 2019). Dále ovlivňuje cirkadiánní hodiny, přenos fotosyntátu, fotomorfogenezi, čas kvetení a biosyntézu chlorofylu (Wei et al. 2021). Nedostatek modrého světla může ovlivnit rychlost nasycení světlem během fotosyntézy a změnit poměr chlorofylu *a/b* (Bilodeau et al. 2019). Na základě výzkumu Lee et al. (2014) bylo zjištěno, že rostliny konopí pěstované pod modrým světlem s krátkou fotoperiodou zlepšily obsah kanabinoidů.

##### 3.5.3.10.3.4 Červené spektrum

Červené světlo reguluje kvalitu, kvantitu a délku kvetení, inhibice kvetení červeným světlem je ovlivněna receptory červeného světla včetně fytochromů (Bilodeau et al. 2019). Fytochrom

je pigment, kterým je červené světlo absorbováno, je to rostlinný senzor světla, díky kterému rostlina rozpoznává délku dne a noci. Jedná se o velmi důležitou část světelného spektra při pěstování konopí, protože konopí roste v závislosti na tom, jak je dlouhá noc. Červené světlo bývá zastoupené v menší míře při vegetativní fázi růstu, neboť jeho potlačení má za následek pomalejší růst rostlin do výšky (José 2018).

#### **3.5.3.10.3.5 Vzdálené červené spektrum**

Vzdálené červené světlo pozitivně ovlivňuje klíčení, prodlužování rostlin, tvorbu květů a dozrávání semen. Důležitý je poměr vzdáleného červeného spektra s červeným spektrem, což se uvádí jako F:FR. Na přímém slunci je vyšší podíl červeného spektra a ve stínu podíl vzdáleného červeného spektra. To znamená, že vyšší podíl vzdáleného červeného spektra je pro rostliny (hlavně spodní větve) signálem pro ne zcela ideální světelné podmínky. Rostlina na to může reagovat zrychlením růstu (pro dosažení většího množství světla), dále může dojít k rychlejší produkci semen (aby bylo včas zajištěno rozmnožení rostliny i v horších světelných podmínkách). Vzdálené červené světlo dosahuje i pod zem, kde pravděpodobně stimuluje růst klíčků (José 2018).

#### **3.5.3.10.4 Fotoperiodizmus a fotomorfogeneze**

Fotoperiodizmus představuje reakci rostlin na periodické změny světlého a tmavého období během 24- hodinového cyklu. Tento biologický mechanismus je založen na schopnosti rostlin vnímat čas, který uplynul od východu nebo západu slunce, a následně regulovat své fyziologické procesy v souladu s denním cyklem a délkou dne. Mezi jevy spojené s fotoperiodismem patří například iniciace kvetení, což představuje klíčový aspekt vývoje rostlin, včetně těch krátkodenních, jako je konopí. Krátkodenní fotoperiodizmus je indukční spouštěč morfologického vývoje květenství (Danziger & Bernstein 2021). To znamená že, krátkodenní rostliny kvetou pouze tehdy, když je délka dne krátká. Naopak dlouhodenní rostliny kvetou, když je délka dne dlouhá (Yeang 2013). Existují i denně neutrální rostliny, které na fotoperiodu nereagují (Jackson 2009).

Fotomorfogeneze zahrnuje vliv kvality světla nebo spektrální složky na vývoj a fyziologii rostlin. Tento vliv je zjevný v klíčových fázích ontogeneze rostlin, zejména při přechodu z vegetativní fáze do fáze kvetení. Fotomorfogeneze hraje roli v regulaci prodloužení stonků, změně stomatální vodivosti, rozšíření listů a v sekundárním metabolismu. Na rozdíl od fotosyntézy, která využívá světlo jako primární zdroj energie, fotomorfogeneze a fotoperiodizmus jsou spouštěny aktivací pigmentů, jako jsou fototropiny, kryptochromy a fytochromy, které reagují na specifické vlnové délky i při nízkých intenzitách světla. Předpokládá se, že kvalita světla má kritický vliv na fyziologii, ontogenezi, morfologický vývoj a sekundární metabolismus rostlin (Danziger & Bernstein 2021).

## 3.6 Osvětlení

### 3.6.1 Vlastnosti světelných zdrojů

Pro zjištění kvality a efektivity osvětlení je důležité sledovat určité údaje, jako je například příkon, který se udává ve wattech a vyjadřuje množství energie, kterou světelný zdroj spotřebovává. S příkonem souvisí výkon, zatímco příkon je množství energie spotřebované, výkon je množství energie vydané. Dále světelný tok, který se udává v lumenech (lm) a udává svítivost, čím větší je svítivost, tím větší rozsah má světelný zdroj. S tím souvisí intenzita osvětlení (E), která udává poměr dopadajícího světelného toku k osvětlené ploše. Měrnou jednotkou je lux (lx) a měří se luxmetrem. Intenzita osvětlení o 1 lx je naměřená tehdy, když 1 lumen dopadá na 1 m<sup>2</sup>. Důležitý je také údaj o účinnosti, tedy schopnosti světelného zdroje přeměnit spotřebované Watty elektřiny na energetické nebo fotonové jednotky, udává se v  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  na spotřebovaný watt elektřiny, takže pokud máme světelný zdroj s příkonem 300 W a naměříme asi 300  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , to znamená, že má účinnost 1  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  na jeden spotřebovaný watt elektrické energie, pod jiným zdrojem s příkonem 315 W, při kterém bylo naměřeno PPFD přibližně 550  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , to znamená, že má účinnost 1,75  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  na jeden spotřebovaný watt elektrické energie. V tomto případě můžeme říci, že druhý zdroj je účinnější. Dalším údajem může být teplota chromatičnosti nebo také barevná teplota, která se udává v Kelvinech (K), charakterizuje spektrum bílého světla, tedy čím vyšší je teplota chromatičnosti, tím více vydává světelný zdroj bílého světla. Světelný zdroj s nízkou teplotou chromatičnosti je vhodný pro fázi kvetení a naopak světelný zdroj s vyšší hodnotou teploty chromatičnosti je vhodný pro růst (José 2018).

### 3.6.2 Typy osvětlení

Při pěstování rostlin ve vnitřním prostředí jsou často využívány různé typy osvětlení, mezi něž patří fluorescenční žárovky (FL), metalhalidové výbojky (MH), vysokotlaké sodíkové výbojky (HPS), osvětlení LED (light emitting diode) a další. Tyto světelné zdroje se liší nejen ve své schopnosti transformovat elektrickou energii na fotosynteticky aktivní záření (PAR), ale také ve vyzařovaném spektru. Pro dosažení optimálního spektra jsou často kombinovány různé typy světelných zdrojů (Jin et al. 2019).

#### 3.6.2.1 Fluorescenční zářivky a kompaktní fluorescenční zářivky (FL)

Žárovky stejně jako i metalhalidové výbojky zařazujeme do plynových výbojek, konkrétně se jedná o nízkotlaké rtuťové výbojky produkující UV světlo pomocí ionizace iontů plynného kovu, které excitují fosforový povlak, a to vede k fluorescenci viditelného světla. Spektrální kvalita žárovek je 90 % vyzařování fotonů v spektru PAR, avšak účinnost energie žárovek je nižší než 30 %. Životnost závisí na četnosti spouštění a zastavování, protože fosfor na elektrodách se pomalu odpařuje a při spouštění rychle eroduje. Fluorescenční žárovky bývají používány k

založení sazenic či mladých řízků s fotoperiodou 18 hodin (Bilodeau et al. 2019). Je možné je používat i jako podpůrné osvětlení při kvetení tak, že se zavěsí přímo mezi rostliny, aby osvětlovaly i jejich spodní části. Emise tepla jsou nízké, takže rostliny nepálí. Žárovky existují v různých délkách, výkonech a se různým světelným spektrem. Pro konopí jsou nejvhodnější 18W a 36W žárovky T8 (viz Obrázek 4). K fluorescenčním žárovkám je potřebné další vybavení jako je tlumivka, startér a patice. Na rozdíl od kompaktních fluorescenčních žárovek (viz Obrázek 5), které toto vybavení již obsahují (José 2018). Spektrální výkon závisí od typu luminoforu, který se používá na povrchu kompaktní fluorescenční žárovky (Jin et al. 2019). Osvědčily se především v malých nebo teplých místnostech, kromě nízkých emisí tepla mají také nízkou spotřebu elektřiny a další výhodou jsou nízké vstupní náklady. Nevýhodou zůstává nízká svítivost a výkon (José 2018).



Obrázek 4: Fluorescentní zářivka (José 2018).



Obrázek 5: Kompaktní fluorescenční zářivka (José 2018).

### 3.6.2.2 Vysoce intenzivní výbojky (HID)

Mezi vysoce intenzivní výbojky patří metalhalidové výbojky, keramické metalhalidové výbojky, plazmové a sodíkové výbojky. Tento typ je nejrozšířenější, neboť je cenově dostupný a lety prověřený. Výbojky mají vysoký výkon a účinnost, ale i vysokou spotřebu elektrické energie a emise tepla (José 2018).

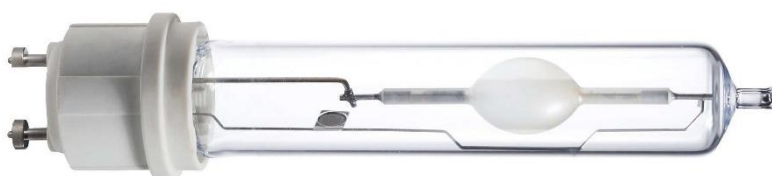
#### 3.6.2.2.1 Metalhalidové výbojky (MH) a keramické metalhalidové výbojky (CHM/CDM)

Metalhalidové výbojky, nebo halogenidové výbojky, vyzařují světlo o vlnové délce 400-500 nm. Největší výkon tedy mají v oblasti modrého spektra, pod tímto typem osvětlení rostliny sílí a nerostou tak rychle do výšky, a proto jsou vhodné pro růstovou fázi (José 2018). Metalhalidové lampy mohou vyzařovat nedostatečné množství červeného světla, což může

mít vliv na tvorbu květenství (Jin et al. 2019). Obrázek 6 zobrazuje metalhalidovou výbojku o příkonu 600W. Keramické metalhalidové výbojky jsou alternativou k metalhalidovým výbojkám. Rozdíl spočívá v tom, že místo křemenného hořáku obsahují hořák keramický (viz Obrázek 7). Mají o 20 % vyšší účinnost než metalhalidové výbojky (José 2018).



Obrázek 6: Metalhalidová výbojka (José 2018).



Obrázek 7: Keramická metalhalidová výbojka (José 2018).

#### 3.6.2.2.2 Plazmové výbojky (LEP)

Výhodou těchto výbojek je, že kromě PAR vyzařují také UV-A a UV-B záření, což podporuje tvorbu pryskyřice a snižuje riziko výskytu plísní a chorob. Další výhodou je životnost až 50 000 hodin, avšak vyšší je také počáteční investice. Jsou vhodné pro pěstování mateřských rostlin, pro růstovou fázi, ale také jako doplňkové osvětlení k HPS výbojkám (José 2018).

#### 3.6.2.2.3 Vysokotlaké sodíkové výbojky (HPS)

Využitelné světlo je o vlnových délkách od 560 do 850nm (José 2018). Vysokotlaké sodíkové výbojky fungují na podobných principech jako žárovky, s výjimkou toho, že se pracují při vysokých tlacích a teplotách (Bilodeau et al. 2019). Jsou zaměřeny především na žluté, oranžové a červené spektrum, s omezeným množstvím modrého světla (Jin et al. 2019). Tato část spektra je nezbytná pro tvorbu květu, teoreticky je možné je použít i pro růstovou fázi, ale rostliny by měly slabší stonky a rostly by rychleji do výšky (José 2018). Jak naznačují výsledky z experimentu Magagnini et al. (2018), rostliny pěstované pod HPS byly výrazně vyšší a měly vyšší hmotnost suché hmoty stonku ve srovnání s rostlinami pěstovanými pod osvětlením LED. Existují také sodíkové výbojky s vyšším podílem modrého světla, jako například Planta Star, Lighting Flower, GroLux, které je potřebné pro silnou stavbu rostlin (José

2018). Jejich nevýhodou jsou vysoké tepelné výkony, které při nedostatečném tepelném odvodu mohou dramaticky zvyšovat teplotu v pěstírně. Jejich životnost se stejně jako u žárovek zkracuje spouštěním, ale je průměrně delší (Bilodeau et al. 2019).

### 3.6.2.3 LED osvětlení

LED (Light emitting diode) osvětlení funguje na principu polovodičových destiček převádějících elektrickou energii na světlo (José 2018). LED světla přinášejí několik výhod oproti tradičním zdrojům světla, včetně efektivnějšího využití energie, nižších emisí tepla a výrazně delší životnosti (Namdar et al. 2019). Také nabízejí flexibilní mobilitu a úzký spektrální rozsah. Uvedené charakteristiky rovněž umožňují přizpůsobit spektrum konkrétní plodině prostřednictvím kontroly jednotlivých spektrálních rozsahů a přesné manipulace se spektrální kvalitou a intenzitou světla (Wei et al. 2021). Možnost změny barevného světla v závislosti na fázi růstu je velkou výhodou, umožňuje to nastavit optimální světelné podmínky, jako je potlačení červeného světla v růstové fázi a naopak zvýšení červeného a dalekého červeného světla pro fázi květu (José 2018). Podle výzkumu Amreina et al. (2020) modro-červené LED osvětlení působí nejlépe na tvorbu účinné látky CBDA. Obsah kanabinoidů byl nejvyšší při použití spektra s růžově působícím dojmem, rostliny pod bílým a teplým bílým spektrem dosáhly také dobrých výsledků, na rozdíl od studeně bílého LED spektra, při kterém měly nejnižší výtěžnost. Také se ukázalo, že hmotnost úrody a obsah účinných látek jsou vyšší při LED osvětlení než při vysokotlakých sodíkových výbojkách. Podobné výsledky uvádí i Magagnini et al. (2018), jejichž experiment ukázal, že pěstování rostlin pod vysokotlakými sodíkovými výbojkami vedlo ke snížení obsahu THC ve květech ve srovnání s LED osvětlením. Ve výzkumu Namdar et al. (2019) popisují, že pod LED osvětlením rostliny vykazovaly výrazné změny v architektuře výhonů a v hmotnosti květenství. Kromě toho se v květenstvích změnil obsah kanabinoidů, terpenů a alkanů, zejména se nahromadilo vyšší množství kyseliny kanabigerolové s poměrem ke kyselině  $\Delta^9$ -tetrahydrokanabinolové (CBGA:THCA) 1:2 oproti 1:16 při pěstování pod HPS. Nevýhodou LED osvětlení zůstávají vysoké pořizovací náklady. LED osvětlení neprodukuje tolik tepla jako například HID výbojky, voda se odpařuje pomaleji, a proto je při jejich používání nutné přizpůsobit zavlažování a ventilaci, aby nedošlo k přelítí rostlin. Protože LED osvětlení nevyzařuje tolik tepla, není vhodné do nevytápěné pěstírny s venkovními teplotami klesajícími pod 8 °C (José 2018).

### 3.6.3 Doplnky osvětlení

#### 3.6.3.1 Reflektory

Reflektory ovlivňují množství PAR, které se dostane k rostlinám od světelných zdrojů. Vzhledem k tomu, že výbojky přirozeně svítí do všech směrů, reflektory soustřeďují světlo směrem dolů k rostlinám tím, že ho odrazí. Faktor odrazu naznačuje kvalitu reflektorů, které dokážou odrazit až 95 % světla. Díky reflektorům se tedy zvyšuje intenzita osvětlení. Reflektor však musí být udržován v čistotě, správné velikosti a tvaru. Existují reflektory široko-zářivé a hluboko-zářivé. Široko-zářivé reflektory poskytují efektivnější využití světla při rozložení na



větší plochu, naopak hluboko-zářivé jsou vhodnější do menších prostor a při méně výkonných výbojkách, čímž se zvyšuje intenzita světla, které je rozptylováno na menší plochu. Vzhledem k tomu, že výbojky vydávají kromě světla také velké množství tepla, není možné využít plné množství PAR, protože přiblížení osvětlení by mohlo způsobit popálení rostlin. Nicméně existují reflektory s možností chlazení, které mohou tento problém řešit. Mohou být chlazeny vodou nebo odsávat horký vzduch (José 2018).

### *3.6.3.2 Reflexní fólie*

Na množství světla, které se dostane k rostlinám, má vliv také odrazivost stěn pěstebního prostoru. Část světla se od osvětlované plochy odrazí a část je pohlcena; při každém dopadu světla na povrch se část z něho ztratí. Aby co nejvíce světla dostaly právě rostliny, je důležité co nejvíce zvýšit odrazivost ploch. Čím je místnost tmavší, tím více světla pohltí. Proto je vhodné mít bílé stěny nebo ještě lépe reflexní fólii. Nejvíce cenově dostupná je černobílá PE reflexní fólie, o 11 % více světla odrazí diamantová A-GRO fólie. Nákladnější z fólií je ORCA bílá reflexní fólie, která kromě výborné odrazivosti je také snadno udržovatelná, což zaručuje stálou vysokou reflexní účinnost (José 2018).

### *3.6.3.3 Předřadníky*

Předřadníky jsou potřebné, aby vůbec HID nebo fluorescenční výbojky svítily. Obsahují startér, tlumivku a kondenzátor. Startér posílá výbojce elektronický impuls, díky kterému začne svítit. Existují levnější elektromagnetické předřadníky a dražší elektronické, které mají několik výhod. Dokážou plně využít výkon výbojky, co elektromagnetické nedokážou, a tím pádem je při téže výbojce o 30 % více světla. Při elektronických předřadnicích je možné také regulovat výkon výbojky podle fáze růstu rostlin, navíc šetří výbojku a tím zvyšují její životnost. Některé dražší typy osvětlení už předřadník nebo i reflektor obsahují (José 2018).

### *3.6.3.4 Pojezd pro lampy*

Je možné osvětlení a reflektor zavěsit na vozík, který se poté pohybuje po speciálních kolejnicích. Díky tomu je možné osvětlit větší plochu, což má vliv na úsporu energie a pomáhá to i snížit teplotu v pěstební místnosti (José 2018).

## **3.6.4 Vliv faktorů osvětlení**

Je důležité upravovat intenzitu světla, fotoperiodu a spektrum, aby se dosáhlo požadovaných vlastností rostliny během různých fází růstu, s konečným cílem maximalizovat výnos a kvalitu (Moher et al. 2022).

### *3.6.4.1 Kvalita osvětlení*

Magagnini et al. (2018) uvedli, že v raných studiích z roku 1983 dospěli Mahlberg a Hemphill k závěru, že v různých světelných prostředích je možné manipulovat s obsahem kanabinoidů v

konopí měřeném v mladých listech. Použili barevné filtry k změně světelného spektra a dospěli k závěru, že obsah THC v listech rostlin pěstovaných ve stínu při denním světle a filtrovaném červeném a modrém světle se významně nelišil od obsahu THC v kontrolních listech při denním světle, zatímco listy rostlin pěstovaných při filtrovaném zeleném světle a ve tmě obsahovaly významně nižší hladiny THC než listy rostlin pěstovaných při slunečním světle. Jiná studie zjistila, že při použití vnitroplodinového červeného a modrého osvětlení se výrazně zvýšila úroda a koncentrace celkového THC ve srovnání s kontrolním ošetřením slunečním světlem (Reichel et al. 2021). Další studie uvedla, že modré světlo způsobilo zvýšení koncentrace kanabinoidů, zatímco přidavek zeleného světla vedl k akumulaci kanabinoidů a terpenů. Většina osvětlovacích systémů používaných pro pěstování konopí obsahuje vysoké množství modrého světla. Některé studie ale naznačují, že zvýšení podílu modrého světla může vést ke snížení výtěžku listové hmoty a sušené hmoty květenství, stejně jako k nižší produkci kanabinoidů (Morello et al. 2022). Úprava kvality světla během fáze květu může být efektivním způsobem pro zlepšení výnosu THC a dalších kanabinoidů. Předpokládá se, že další komplexní mechanismy zprostředkované UV-A a modrými vlnovými délkami mohou společně působit na indukci akumulace CBG v květech konopí, přičemž CBG je prekurzorem dalších kanabinoidů (Magagnini et al. 2018). Je náročný určovat jaké vlnové délky světla jsou pro růstové znaky a produkci sekundárních metabolitů u konopí zásadní, protože není známo, zda tyto příznivé reakce byly vyvolány potenciálním synergickým vlivem kombinovaných vlnových délek (Morello et al. 2022).

#### 3.6.4.2 Intenzita osvětlení

I když kvalita světla může ovlivňovat tvorbu kanabinoidů, zdá se, že výnosy konopí jsou silně spojeny se zvýšenou intenzitou světla. Jedna ze studií ale popisuje, že při pěstování rostlin pod různými intenzitami světla s HPS osvětlením, nebyly žádné významné rozdíly v koncentraci kanabinoidů, proto se diskutuje o tom, že koncentrace THC v květovém materiálu by mohla souviset především s odrudou konopí místo způsobu pěstování. Nicméně zvyšující se úroveň osvětlení pozitivně ovlivňuje hmotnost sušiny květů, což má za následek vyšší celkový výnos kanabinoidů (Magagnini et al. 2018).

Klony potřebují přibližně 60-250  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  a matečné rostliny 300-500  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  (José 2018). Úroveň PPF (fotosynteticky aktivní radiace) v oblasti koruny bývá obvykle nízká, aby se minimalizovaly ztráty v důsledku transpirace během vytváření nových kořenových systémů u klonálních rostlin (Moher et al. 2022).

##### 3.6.4.2.1 Vegetativní fáze

Ve vegetační fázi rostliny potřebují vyšší PPF než během rozmnožování. Konopí má schopnost tolerovat a dokonce i kvést při velmi vysokých intenzitách světla, takže existuje možnost zvýšit PPF právě během vegetačního stádia, což podporuje robustní vegetativní růst a připravuje rostliny na kvetení. Doporučuje se použít široký rozsah PPF na úrovni koruny (Moher et al. 2022), například v rozmezí 500-700  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  (José 2018). Intenzita světla během vegetační fáze může ovlivnit růstové charakteristiky rostliny, jako je výška, tloušťka stonek, větvení,

velikost listů, tloušťka listů a rozložení biomasy. Tyto faktory mohou mít vliv na odolnost rostlin vstupujících do fáze kvetení. Proto je důležité zvolit intenzitu světla tak, aby podporovala vývoj základní struktury, například silnější stonek a větší počet uzlů, což je klíčové pro podporu plodného rozvoje květenství, které v období plné zralosti může tvořit více než polovinu celkové nadzemní biomasy. Tento přístup je zaměřený jak na zlepšení struktury rostlin, tak na zkrácení délky vegetačního stádia (Moher et al. 2022).

#### 3.6.4.2.2 Fáze kvetení

Ve fázi kvetení jsou rostliny pěstované při ještě vyšším PPF, aby se zvýšil růst a výnos květenství (Moher et al. 2022). A to v rozmezí 700-2000  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (José 2018). Podle jedné studie, bylo nejvyšší fotosyntetické účinnosti dosaženo při  $\sim 1500$  PPF. Neexistuje však žádný důkaz, že vyšší rychlost fotosyntézy se rovná vyššímu výnosu květů (Magagnini et al. 2018).

#### 3.6.4.3 Světelný režim

Rostliny, které reagují na délku dne, stejně jako konopí, přizpůsobují svůj růst a vývoj podle množství a načasování dostupného světla. V kontrolovaných prostředích vyžadují specifické plány, aby se udržely nebo ovlivnily různé fáze jejich vývoje (Peterswald et al. 2023), a tím i velikost a počet květů a také množství kanabinoidů, což má vliv na výnos (Dang et al. 2022). Během fáze rozmnožování se obvykle používá fotoperioda 18-24 hodin (Moher et al. 2022).

##### 3.6.4.3.1 Vegetativní fáze

Po přibližně dvou týdnech rozmnožování se zakořeněné výhonky (klony) přesouvají do fáze vegetativního růstu (Moher et al. 2022). Osvětlení, modelující, krátký den stimuluje kvetení, zatímco osvětlení imitující dlouhý den podporuje vegetativní růst. Během vegetativní fáze jsou rostliny vystaveny dennímu osvětlení trvajícím nejméně 18 hodin, což podporuje růst stonků a listů. Jedna ze studií prokázala, že doba strávená ve vegetativní fázi kladně souvisí s obsahem kanabinoidů, ale záporně souvisí s květní biomasou, protože dlouhá doba osvětlení podporuje tvorbu vegetativních kanabinoidů, zatímco zpomaluje reprodukční vývoj květů. Rostliny udržované v podmínkách vegetativního osvětlení pokračují ve zvyšování vegetativní biomasy a kvetou zřídka. Z toho vyplývá, že se musí pečlivě plánovat časování změny délky světelného dne, aby se uspokojili požadavky těchto fotoperiodicky citlivých rostlin (Dang et al. 2022).

##### 3.6.4.3.2 Fáze kvetení

Jak již bylo zmíněno, konopí je krátkodenní rostlina. Pro započítí kvetení potřebuje nepřerušované a dostatečně dlouhé noci. Tento proces je řízen fytochromy, světelnými receptory v rostlinách. Fytochromy existují ve dvou formách - Pr (absorbuje červené světlo) a Pfr (absorbuje daleké červené světlo). Forma Pfr brání kvetení. V tmě se aktivní forma Pfr pomalu mění zpět na Pr. Avšak i malé množství fotonů červeného světla, které se nachází v denním světle i ve světle lampy, dokáže přeměnit Pr na Pfr a následně inhibovat kvetení. Pro přechod na kvetení se často používá světelný režim 12 hodin světla a 12 hodin tmy. Tento režim simuluje kratší dny a iniciuje kvetení, přičemž první květy jsou viditelné asi týden po

změně světelného režimu. Kritická délka dne, která spouští kvetení, závisí od původu odrůdy a jejím geografickém původu. V obecnosti, vzhledem k tomu, že během letního slunovratu je denní doba delší než 12 hodin, režim 12 hodin tmy iniciuje kvetení u většiny odrůd konopí (Jin et al. 2019). Nicméně výsledky studií Peterswald et al. (2023) ukazují, že u všech pozorovaných linií byly výnosy biomasy květů nejvyšší při počáteční fotoperiodě 14 hodin světla a 10 hodin tmy, v případě dvou linií THC tato fotoperioda způsobila výrazný pokles koncentrace THC. Naopak, jiná linie vykazovala výrazné zvýšení koncentrace CBD, což vedlo k 50 - 100 % zvýšení celkové úrody CBD.

#### 4. ZÁVĚR

Pro navržení optimálního osvětlení je potřeba zohlednit několik faktorů. Vzhledem k tomu, že každá fáze růstu konopí vyžaduje jiné světelné spektrum, je také možné kombinovat osvětlení. Důležitá je aj intenzita osvětlení a fotoperioda. Pro mladé rostliny, je vhodné používat fotoperiodu 18-24 hodin a nižší intenzitu světla v rozmezí 60-250  $\mu\text{mol m}^2\text{s}$ , přiměřené jsou například fluorescenční zářivky. Ve vegetativní fázi zůstává fotoperioda stejná, ale intenzita by se měla zvýšit pro silný růst rostlin, a to v rozmezí 500-700  $\mu\text{mol m}^2\text{s}$ . Potřebné je modré světlo, naopak je třeba potlačit červené, aby rostliny nerostly příliš do výšky, co poskytují metalhalidové výbojky, vhodnější by mohly být plazmové výbojky, vyzařující UV záření které může zvyšovat účinné látky a je jich rovněž možné používat pro mateřské rostliny s intenzitou světla 300-500  $\mu\text{mol m}^2\text{s}$ . Ve fázi kvetení je potřeba změnit světelný režim, nejčastěji se používá 12 hodin tmy a 12 hodin světla, což iniciuje kvetení. Intenzitu světla je potřeba zvýšit v rozmezí 700-2000  $\mu\text{mol m}^2\text{s}$ . Důležité je hlavně červené světlo, na které jsou zaměřeny vysokotlaké sodíkové výbojky, mají vysoký výkon a účinnost, ale také vysokou spotřebu elektrické energie a emise tepla. Lepší variantou může být LED osvětlení, i když jsou pořizovací náklady vyšší, nabízejí možnost úpravy světelného spektra a intenzity a proto je možné je použít pro všechny růstové fáze. Na základě více studií bylo zjištěno, že ve srovnání s vysokotlakými sodíkovými výbojkami, rostliny pod LED osvětlením vykazují zvýšený obsah účinných látek jako je THC a CBGA, stejně jako vyšší hmotnosti úrody. Také mají nízkou spotřebu elektrické energie, dlouhou životnost a nízké emise tepla, což ale může být nevýhodou v chladných pěstírnách. Proto je důležité při výběru osvětlení myslet i na další příslušenství a doplňky podle konkrétní pěstírny.

Na závěr bych uvedla, že i když je možností více, přikláním se k LED osvětlení, i když je potřeba dalšího zkoumání a experimentů k zjištění dalších potenciálních nevýhod.

Cíl práce, kterým bylo rozpracování, popis a zhodnocení pěstebních faktorů, hlavně osvětlení v souvislosti s tvorbou biomasy a účinných látek v konopí, byl splněn. Práce přináší přehled o dostupném osvětlení, jeho vlastnostech a vlivu na léčebné konopí.

## 5. LITERATURA

1. Abuhasira R, Shbiro L, Landschaft Y. 2018. Medical use of cannabis and cannabinoids containing products – Regulations in Europe and North America. *European Journal of Internal Medicine* **49**:2-6.
2. Aguilar S, Gutiérrez V, Sanchez L, Nougier M. 2018. Medicinal cannabis policies and practices around the world. International Drug Policy Consortium, London.
3. Amrein P, Rinner S, Pittorino T, Espel J, Schmidmayr D. 2020. Influence of Light Spectra on the Production of Cannabinoids. *Medical Cannabis and Cannabinoids* **3** (2): 103–110.
4. Bilodeau SE, Wu BS, Rufyikiri AS, MacPherson S, Lefsrud M. 2019. An Update on Plant Photobiology and Implications for Cannabis Production. *Frontiers in Plant Science* **10**:296.
5. Blesching U. 2018. Velká kniha o léčbě konopím pro 21. století. Volvox Globator, Praha.
6. Borrelli F, et al. 2013. Beneficial effect of the non-psychoactive plant cannabinoid cannabigerol on experimental inflammatory bowel disease. *Biochemical Pharmacology* **85** (9): 1306-1316.
7. Carlson CH, Stack GM, Jiang Y, Taşkıran B, Cala AR, Toth JA, Philippe G, Rose JKC, Smart ChD, Smart LB. 2021. Morphometric relationships and their contribution to biomass and cannabinoid yield in hybrids of hemp (*Cannabis sativa*). *Journal of Experimental Botany* **72** (22): 7694–7709.
8. Costa B. 2007. On the Pharmacological Properties of  $\Delta^9$ -Tetrahydrocannabinol (THC). *Chemistry & Biodiversity* **4**:1664-1677.
9. Dang M, Arachchige NM, Campbell LG. 2022. Optimizing photoperiod switch to maximize floral biomass and cannabinoid yield in *Cannabis sativa* L.: A meta-analytic quantile regression approach. *Frontiers in Plant Science* **12**:797425.
10. Danziger N, Bernstein N. 2021. Light matters: Effect of light spectra on cannabinoid profile and plant development of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products* **164**:113351.
11. Frank M, Rosenthal E. 1992. Marijuana Grower's Guide. Available from [www.jmschreiber.com/j9sstuff/The%20Guide.pdf](http://www.jmschreiber.com/j9sstuff/The%20Guide.pdf) (accessed April 2024).
12. Hejnák V, Zámečnicková B, Zámečník J, Hnilička F. 2008. Fyziologie rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
13. Jackson SD. 2009. Plant responses to photoperiod. *New Phytologist* **181** (3): 517-531.
14. Janatová A, Fraňková A, Tlustoš P, Hamouz K, Božik M, Klouček P. 2018. Yield and cannabinoids contents in different cannabis (*Cannabis sativa* L.) genotypes for medical use. *Industrial Crops and Products* **112**:363-367.
15. Jin D, Jin SX, Chen J. 2019. Cannabis Indoor Growing Conditions, Management Practices, and Post-Harvest Treatment: A Review. *American Journal of Plant Sciences* **10**:925-946.
16. Johkan M, Shoji K, Goto F, Hahida S, Yoshihara T. 2012. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environmental and Experimental Botany* **75**:128-133.
17. José M. 2018. Jak pěstovat konopí indoor 2.0. vydavatel Josef Krejčík, Plzeň.
18. Khanji MY et al. 2020. Association Between Recreational Cannabis Use and Cardiac Structure and Function. *JACC Journals* **13** (3): 886-888.

19. Kuddus M, Ginawi IA, Al-Hazimi A. 2013. Cannabis sativa: An ancient wild edible plant of India. *Emirates Journal of Food and Agriculture* **25** (10): 736-745.
20. Kurtz LE, Brand MH, Lubell-Brand JD. 2023. Gene Dosage at the Autoflowering Locus Effects Flowering Timing and Plant Height in Triploid Cannabis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **148** (2): 83-88.
21. Lee JS, Lee CA, Kim YH, Yun SJ. 2014. Shorter wavelength blue light promotes growth of green perilla (*Perilla frutescens*). *International Journal of Agriculture and Biology* **16**:1177–1182.
22. Legris M, Nieto C, Sellaro R, Prat S, Casal JJ. 2017. Perception and signalling of light and temperature cues in plants. *The Plant Journal*, **90**:683-697.
23. Lipson Feder C, Cohen O, Shapira A, Katzir I, Peer R, Guberman O, Procaccia S, Berman P, Flaishman M, Meiri D. 2021. Fertilization Following Pollination Predominantly Decreases Phytocannabinoids Accumulation and Alters the Accumulation of Terpenoids in Cannabis Inflorescences. *Frontiers in Plant Science* **12**:753847.
24. Lu H, Mackie K. 2021. Review of the Endocannabinoid System. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging* **6** (6): 607-615.
25. Lydon J, Teramura AH, Coffman CB. 1987. UV-B Radiation Effects on Photosynthesis, Growth and Cannabinoid Production of Two Cannabis sativa Chemotypes. *Photochemistry and Photobiology* **46**:201-206.
26. Lynch RC, Vergara D, Tittes S, White K, Schwartz CJ, Gibbs MJ, Ruthenburg TC, deCesare K, Land DP, Kane NC. 2016. Genomic and Chemical Diversity in *Cannabis*. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **35**:349-363.
27. Magagnini G, Grassi G, Kotiranta S. 2018. The Effect of Light Spectrum on the Morphology and Cannabinoid Content of Cannabis sativa L.. *Medical Cannabis and Cannabinoids* **1** (1): 19–27.
28. Malík M, Praus L, Tlustoš P. 2023. Comparison of recirculation and drain-to-waste hydroponic systems in relation to medical cannabis (*Cannabis sativa* L.) plants. *Industrial Crops and Products* **202**:117059.
29. Malík M, Velechovský J, Tlustoš P. 2021. The overview of existing knowledge on medical cannabis plants growing. *Plant Soil and Environment* **67** DOI: 10.17221/96/2021-PSE.
30. Maioli C, Mattoteia D, Amin HIM, Minassi A, Caprioglio D. 2022. Cannabinol: History, Syntheses, and Biological Profile of the Greatest “Minor” Cannabinoid. *Plants* **11** (21): 2896.
31. Miovský M, et al. 2008. *Konopí a konopné drogy: Adiktologické kompendium*. Grada Publishing a.s., Praha.
32. Moher M, Llewellyn D, Jones M, Zheng Y. 2022. Light intensity can be used to modify the growth and morphological characteristics of cannabis during the vegetative stage of indoor production. *Industrial Crops and Products* **183**:114909.
33. Morello V, Brousseau VD, Wu N, Wu BS, MacPherson S, Lefsrud M. 2022. Light quality impacts vertical growth rate, phytochemical yield and cannabinoid production efficiency in Cannabis sativa. *Plants* **11** (21): 2982.
34. Namdar D, Charuvi D, Ajjampura V, Mazuz M, Ion A, Kamara I, Koltai H. 2019. LED lighting affects the composition and biological activity of Cannabis sativa secondary metabolites. *Industrial Crops and Products* **132**:177-185.
35. Nemati R, Fortin J-P, Craig J, Donald S. 2021. Growing Mediums for Medical Cannabis Production in North America. *Agronomy* **11** (7): 1366.

36. Noriega G, et al. 2021. Modeling photosynthetically active radiation: A review. *Atmósfera* **34** (3): 357-370.
37. Peng J, Fan M, An C, Ni F, Huang W, Luo J. 2022. A narrative review of molecular mechanism and therapeutic effect of cannabidiol (CBD). *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology* **130** (4): 439-456.
38. Punja ZK, Collyer D, Scott C, Lung S, Holmes J, Sutton D. 2019. Pathogens and Molds Affecting Production and Quality of *Cannabis sativa* L.. *Frontiers in Plant Science*. **10**:1120.
39. Peterswald TJ, Mieog JC, Azman Halimi R, Magner NJ, Trebilco A, Kretzschmar T, Purdy SJ. 2023. Moving Away from 12:12; the Effect of Different Photoperiods on Biomass Yield and Cannabinoids in Medicinal Cannabis. *Plants* **12** (5): 1061.
40. Rättsch Ch. 2017. *Marihuana jako lék*. Fontána, Olomouc.
41. Rehman M, Fahad S, Du G, Cheng X, Yang Y, Tang K, Liu L, Liu FH, Deng G. 2021. Evaluation of hemp (*Cannabis sativa* L.) as an industrial crop: a review. *Environmental Science and Pollution Research* **28**:52832–52843.
42. Reichel P, Munz S, Hartung J, Präger A, Kotiranta S, Burgel L, Schober T, Graeff-Hönninger S. 2021. Impact of Three Different Light Spectra on the Yield, Morphology and Growth Trajectory of Three Different *Cannabis sativa* L. Strains. *Plants* **10** (9): 1866.
43. Rella JG. 2015. Recreational cannabis use: Pleasures and pitfalls. *Cleveland Clinic Journal of Medicine* **82**:765 - 772.
44. Ruban AV. 2009. Plants in light. *Communicative & Integrative Biology* **2** (1): 50-55.
45. Ruban AV. 2013. *The photosynthetic membrane: Molecular mechanisms and biophysics of light harvesting*. John Wiley & Sons, Ltd., London.
46. Sommano SR, Chittasupho C, Ruksiriwanich W, Jantrawut P. 2020. The Cannabis Terpenes. *Molecules* **25** (24): 5792.
47. Státní agentura pro konopí pro léčebné použití. 2022. Informace k legislativním novelám týkajících se konopí pro léčebné použití. SAKL, Praha. Available from [www.sakl.cz/home](http://www.sakl.cz/home) (accessed April 2023).
48. Státní ústav pro kontrolu léčiv. 2010. Konopí pro léčebné použití. SUKL, Praha. Available from [www.sukl.cz/konopi-pro-lecebne-pouziti](http://www.sukl.cz/konopi-pro-lecebne-pouziti) (accessed April 2023).
49. Tahir MN, Shahbazi F, Rondeau-Gagné S, Trant JF. 2021. The biosynthesis of the cannabinoids. *Journal of Cannabis Research* **3**:7.
50. Tauchen J, Klouček P. 2020. *Léčivé rostliny a jejich biologicky aktivní látky*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
51. Trancoso I, de Souza GAR, dos Santos PR, dos Santos KD, de Miranda RMdSN, da Silva ALPM, Santos DZ, García-Tejero IF, Campostrini E. 2022. *Cannabis sativa* L.: Crop Management and Abiotic Factors That Affect Phytocannabinoid Production. *Agronomy*. **12** (7): 1492.
52. Vernon M, Kouzani AZ, Webb LD, Adams SD. 2023. A Survey of Modern Greenhouse Technologies and Practices for Commercial Cannabis Cultivation. *IEEE Access* **11**:62077-62090.
53. Visković J, Zheljzkov VD, Sikora V, Noller J, Latković D, Ocamb CM, Koren A. 2023. Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Agronomy and Utilization: A Review. *Agronomy* **13** (3): 931.
54. Wei X, Zhao X, Long S, Xiao Q, Guo Y, Qiu C, Qiu H, Wang Y. 2021. Wavelengths of LED light affect the growth and cannabidiol content in *Cannabis sativa* L.



Industrial Crops and Products **165**:113433.

55. Xiao-Xue F, Zhi-Gang X, Xiao-Ying L, Can-Ming T, Li-Wen W, Xue-lin H. 2013. Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae* **153**:50-55.
56. Yeang HY. 2013. Solar rhythm in the regulation of photoperiodic flowering of long-day and short-day plants. *Journal of experimental botany* **64** (10): 2643-2652.
57. Zabranský T, Hanuš L, Rokyta R. 2017. Přehled současných znalostí o léčebných účincích konopí a přípravků z něj a jeho perspektiv - 2. část. *Bulletin sdružení praktických lékařů ČR* **27** (1): 12-30.
58. Zuardi AW. 2006. History of cannabis as a medicine: a review. *Brazilian Journal of Psychiatry* **28** (2): 53–157.

## 6. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Druhy konopí (Malík et al. 2021).....	10
Obrázek 2: Chemická struktura kanabinoidů (Tauchen & Klouček 2022).....	15
Obrázek 3: Srovnání účinnostního spektra fotosyntézy s absorpčním spektrem chlorofylu <u>a</u> , chlorofylu <u>b</u> a karotenoidů (Hejnák et al. 2008).....	26
Obrázek 4: Fluorescentní zářivka (José 2018).....	30
Obrázek 5: Kompaktní fluorescentní zářivka (José 2018).....	30
Obrázek 6: Metalhalidová výbojka (José 2018).....	31
Obrázek 7: Keramická metalhalidová výbojka (José 2018).....	31