

Pozn.: jedná o metodiku ve verzi před oponentskými posudky.

Příprava trojrozměrných rostlinných exponátů s využitím různých metod preparace a konzervace rostlin

Metodika N_{metS}

Ing. Pavel Híc, Ph.D.
doc. Ing. Jarmila Neugebauerová, Ph.D.
doc. Mgr. Ing. Tomáš Kopta, Ph.D.
Mgr. Magda Bábková Hrochová
Ing. Tereza Štorková
Ing. Aleš Jezdinský, Ph.D.
Dr. Katalin Angéla Jezdinská Slezák

2026

Dedikace: Metodika je výsledkem řešení projektu DH23P03OVV044: „Historie užívání a pěstování léčivých rostlin jako součást národní a kulturní identity“ a vznikla v rámci programu NAKI III na podporu aplikovaného výzkumu v oblasti národní a kulturní identity na léta 2023 až 2030 za finanční podpory Ministerstva kultury.

Předkladatel výsledku: Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta, Valtická 337, 691 44 Lednice.

Uznání metodiky: Osvědčení č. xxx o uznání uplatněné metodiky v souladu s podmínkami Metodiky hodnocení výzkumných organizací a hodnocení programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací bylo vydáno Ministerstvem kultury České republiky dne xxx, č. j. xxx.

Prohlášení: Předkladatel metodiky prohlašuje, že nemá žádný konflikt zájmu, a že zpracovaná metodika nezasahuje do práv jiných osob z průmyslového nebo jiného duševního vlastnictví.

Poděkování: Za technickou pomoc patří poděkování paní Marcele Hořínkové a Jozefu Sedláčkovi

Text metodiky neprošel jazykovou korekturou.

Příprava trojrozměrných rostlinných exponátů s využitím různých metod preparace a konzervace rostlin

Metodika NmetS

Autorský tým:

Ing. Pavel Híc, Ph.D.¹⁾ doc. Ing. Jarmila Neugebauerová, Ph.D.¹⁾, doc., Mgr. Ing. Tomáš Kopta¹⁾, Mgr. Magda Bábková Hrochová^{2, 3)}, Ing. Tereza Štorková¹⁾, Ing. Aleš Jezdinský, Ph.D.¹⁾, Dr. Katalin Angéla Jezdinská Slezák¹⁾

¹⁾ Zahradnická fakulta Mendelovy univerzity v Brně

²⁾ Vlastivědné Muzeum v Olomouci, příspěvková organizace

³⁾ Národní centrum zemědělského a potravinářského výzkumu, v. v. i.

Foto: archiv autorů (pokud není uvedeno jinak)

Oponenti:

Obsah

1.	Vstupní údaje.....	5
1.1	Cíl metodiky	5
1.2	Východiska a postup zpracování metodiky	5
1.3	Uplatnění metodiky	5
2.	Úvod do řešení problematiky.....	6
3.	Metody přípravy trojrozměrných rostlinných exponátů.....	7
3.1	Sušení rostlin pomocí sušících substrátů.....	7
3.1.1	Princip metody	7
3.1.2	Potřebné vybavení	7
3.1.3	Technologický postup	9
3.1.4	Testované druhy rostlin	12
3.1.5	Zhodnocení a doporučení	13
3.2	Preparace rostlin glycerolem	15
3.2.1	Princip metody	15
3.2.2	Potřebné vybavení	16
3.2.3	Technologický postup	16
3.2.4	Testované druhy rostlin	18
3.2.5	Zhodnocení a doporučení	22
3.3	Lyofilizace rostlin.....	27
3.3.1	Princip metody	27
3.3.2	Potřebné vybavení	29
3.3.3	Technologický postup	29
3.3.4	Testované druhy rostlin	31
3.3.5	Zhodnocení a doporučení	33
3.4	Konzervace rostlin v pryskyřici.....	35
3.4.1	Princip metody	35
3.4.2	Potřebné vybavení	36
3.4.3	Technologický postup	37
3.4.4	Testované druhy rostlin	38
3.4.5	Zhodnocení a doporučení	39
4.	Porovnání metod preparace a konzervace	42
5.	Uchovávání a péče o preparované exponáty	43
5.1	Podmínky skladování, manipulace a prezentace	43
5.2	Výstavní a prezentační systém pro trojrozměrné stabilizované botanické preparáty	44
5.2.1	Princip a konstrukční řešení	44
5.2.2	Potřebné vybavení a materiál	45

5.2.3	Technologický postup montáže a instalace	45
5.2.4	Digitální podklady a otevřená dostupnost	45
5.2.5	Zhodnocení a doporučení	46
6.	Praktické využití trojrozměrných rostlinných exponátů.....	47
7.	Závěr.....	48
8.	Srovnání novosti postupů	49
9.	Seznam použité literatury	50
10.	Přílohy	52

1. Vstupní údaje

1.1 Cíl metodiky

Cílem metodiky je poskytnout ucelený metodický návod pro přípravu trojrozměrných rostlinných exponátů s využitím různých metod preparace a konzervace rostlinného materiálu, zejména léčivých rostlin. Metodika nabízí doporučení pro výběr vhodných technologických postupů podle typu rostlinného materiálu a zamýšleného způsobu využití exponátů. Jejím cílem je podpořit tvorbu kvalitních, esteticky hodnotných a dlouhodobě stabilních exponátů určených pro sbírkové, výstavní a vzdělávací účely.

1.2 Východiska a postup zpracování metodiky

Metodika byla zpracována na základě rešerše odborné literatury, výsledků experimentálních prací řešitelského kolektivu a dlouhodobých zkušeností s přípravou trojrozměrných rostlinných exponátů. V rámci experimentální části byly porovnávány různé metody preparace a konzervace rostlin, konkrétně sušení pomocí sušících substrátů, preparace glycerolem, lyofilizace a konzervace v epoxidové pryskyřici. Jednotlivé postupy byly hodnoceny z hlediska zachování morfologických znaků, barevnosti, mechanické stability, technologické náročnosti a vhodnosti pro různé skupiny rostlin. Na základě získaných výsledků byly navrženy doporučené pracovní postupy pro přípravu trojrozměrných rostlinných exponátů určených pro vzdělávací, výstavní a sbírkové účely.

1.3 Uplatnění metodiky

Metodika je určena především odborným pracovníkům paměťových institucí, zejména muzeí, botanických zahrad, arboret a dalších organizací zabývajících se dokumentací, uchováváním a prezentací přírodního a kulturního dědictví. Metodika bude volně ke stažení v PDF verzi na webu koordinátora projektu (CARC). Je využitelná při přípravě, obnově a dlouhodobém uchovávání trojrozměrných rostlinných exponátů určených pro sbírkové, výstavní, dokumentační i popularizační účely.

Další cílovou skupinu tvoří pedagogičtí a odborní pracovníci mateřských, základních, středních a vysokých škol, univerzit a center environmentálního vzdělávání, kteří mohou metodiku využít při tvorbě výukových pomůcek a botanických kolekcí. Uplatnění nalezne rovněž ve výzkumných organizacích, u realizátorů výstavních expozic, pracovníků zabývajících se popularizací vědy a ochrany přírody, stejně jako u floristů, zahradníků, pěstitelů a dalších zájemců o preparaci a dlouhodobou konzervaci rostlinného materiálu.

Metodika poskytuje ověřené technologické postupy pro přípravu trojrozměrných rostlinných exponátů využívající sušení pomocí sušících substrátů, preparaci glycerolem, lyofilizaci a konzervaci v pryskyřici. Součástí metodiky je také jejich vzájemné porovnání z hlediska technologické náročnosti, zachování tvaru a barevnosti rostlin a stability exponátů. Metodika tak představuje praktický návod pro výběr optimální metody preparace podle zamýšleného způsobu využití exponátu.

2. Úvod do řešené problematiky

Trojrozměrné rostlinné exponáty představují způsob, jak uchovat rostlinný materiál v podobě, která umožňuje zachovat nejen jeho základní morfologické znaky, ale v určité míře také původní barvu, strukturu a texturu. Právě zachování trojrozměrného charakteru odlišuje tyto exponáty od klasických herbářových položek a umožňuje názornější prezentaci přirozeného vzhledu rostlin. Příprava dlouhodobě stabilních exponátů je však technologicky náročná, protože jednotlivé metody preparace a konzervace se liší schopností zachovat tvar, barevnost a mechanickou stabilitu rostlinného materiálu. V současnosti lze pro tento účel využít zejména sušení pomocí různých sušicích substrátů, stabilizaci glycerolem, lyofilizaci a konzervaci v pryskyřici, přičemž vhodnost jednotlivých postupů závisí na vlastnostech konkrétního rostlinného materiálu a zamýšleném způsobu jeho využití. Sušení pomocí sušicích substrátů umožňuje oproti některým tradičním způsobům sušení lépe omezit deformaci a zachovat trojrozměrnost, zatímco další metody mohou nabídnout odlišnou úroveň zachování barevnosti, struktury nebo mechanické odolnosti. Výsledné exponáty mohou nacházet uplatnění zejména ve sbírkách a výstavních expozicích muzeí, botanických zahrad a dalších paměťových institucí, ale také ve školní výuce, botanických kolekcích, environmentálním vzdělávání a při popularizaci vědy a ochrany přírody. Jejich význam proto nespočívá pouze v estetické prezentaci rostlin, ale také v možnosti názorně dokumentovat jejich přirozenou podobu a využít je jako dlouhodobě uchovávané výukové, sbírkové, dokumentační a popularizační prostředky.

Výběr rostlinného materiálu významně ovlivňuje výslednou podobu a kvalitu trojrozměrného exponátu. Vhodnost jednotlivých druhů a jejich částí souvisí zejména s jejich morfologickými vlastnostmi, stavem v době odběru a schopností zachovat po preparaci přirozený tvar, barevnost a další charakteristické znaky. Důležitý je proto nejen samotný výběr druhu, ale také správné načasování sběru a odpovídající stav rostlinného materiálu. Kvalitu výsledného exponátu mohou následně ovlivnit také jeho počáteční obsah vody, citlivost jednotlivých částí k mechanickému poškození a způsob manipulace před vlastní preparací. Výběr materiálu je proto vhodné vždy posuzovat v souvislosti s plánovanou metodou konzervace a požadavky na výsledný exponát.

3. Metody přípravy trojrozměrných rostlinných exponátů

3.1 Sušení rostlin pomocí sušicích substrátů

3.1.1 Princip metody

Sušení rostlin je nejjednodušším způsobem konzervace, který eliminuje rozkladné procesy v rostlinném materiálu a prodlužuje možnosti jeho využití díky zachování většiny kvalitativních znaků (Leemans, 1991; Dhawan, Khandekar, 2025).

Princip většiny metod sušení spočívá v přenosu tepla do materiálu a následném odvodu uvolněné vodní páry do okolí. Při sušení pomocí sušicích substrátů je voda z rostlinných pletiv odváděna do vhodného materiálu schopného vodu absorbovat nebo vázat, nebo (v případě písku) zajišťujícího fixaci rostlin a jejich částí při pozvolném schnutí. Ve srovnání se sušením přirozeným prouděním vzduchu nebo tepelnými metodami umožňuje tento způsob konzervace omezit změny tvaru a morfologie rostlinného materiálu a zachovat jeho trojrozměrnost.

Nejstarším sušicím substrátem je písek. V domácích podmínkách lze použít i prací prášek (Kuťková, 2008). Dalšími materiály pro sušení rostlin nebo jejich částí mohou být silikagel, síran sodný, uhličitan sodný, hydrogenuhličitan sodný, tetraboritan sodný aj. (Jezdinský et al., 2024). Ideální desikant má rychle odvádět vodu, být inertní (chemicky nereagovat), mít vhodnou velikost částic a dostatečnou hmotnost pro zachování původního tvaru rostliny, neulpívat na jejím povrchu a nebýt finančně nákladný (Jain et al., 2016). Nadměrná hmotnost nebo zrnitost sušicího materiálu může jemná pletiva poškodit.

Vlastnosti sušicího substrátu se mohou promítnout také do výsledné struktury usušeného materiálu. Bylo uvedeno, že sušení pískem umožnilo zachovat texturu korunních lístků hladkou, silikagel mírně drsnou a borax drsnější (Shailza, Grewal, 2018). Pro účinnost sušení je proto významná nejen schopnost substrátu vodu vázat, ale také jeho fyzikální vlastnosti, zejména velikost částic a hmotnost.

Sušicí substráty lze po regeneraci opakovaně použít. U materiálů schopných vodu absorbovat dochází při sušení k jejich postupnému zvlhčování, přičemž substrát bývá nejvíce vlhký v bezprostředním okolí sušeného materiálu. Způsob regenerace závisí na charakteru konkrétního substrátu. U některých látek dochází při absorpci vody k jejímu začlenění do struktury, u jiných k rozpuštění soli. U boraxu je možnost regenerace ovlivněna jeho přesným složením, zejména přítomností krystalické vody. Částečného odstranění krystalické vody lze dosáhnout sušením při 110–120 °C (Sahin, Bulutcu, 2002).

Při popsaném způsobu použití jsou použité látky netoxické.

3.1.2 Potřebné vybavení

Pro realizaci sušení rostlinného materiálu pomocí sušicích substrátů není zapotřebí speciální technologické zařízení. Základním požadavkem je vhodný prostor umožňující udržování relativně stabilních podmínek. V provedených pokusech byly využívány podmínky s relativní vlhkostí vzduchu přibližně 50–60 % a teplotou v rozmezí 18–25 °C.

K přípravě sušicích substrátů a jejich regeneraci je vhodná laboratorní sušárna s ventilátorem a regulací teploty. V provedených experimentech byla využívána sušárna s regulací teploty v rozsahu přibližně 40–150 °C.

Pro vlastní sušení jsou vhodné uzavíratelné nádoby ze skla, plastu nebo papíru. Nádoby musí umožnit dostatečný prostor pro uložení rostlinného materiálu a jeho úplné zasypání sušicím substrátem. Vhodné jsou například skleněné dózy, plastové nádoby s víkem nebo papírové krabice s víkem.

K manipulaci se sušicími substráty a k odstraňování jejich zbytků z povrchu usušených rostlin jsou vhodné laboratorní lžičky a jemné štětce. Jemné částice je nutné odstraňovat opatrně, aby nedošlo k mechanickému poškození usušených rostlin.

Použité sušicí substráty:

Písek

Křemičitý těžký přírodní praný písek na dětská pískoviště, Agro písek (po prosetí zrnitost 0,02–1,00 mm). Měrná hmotnost je cca 2,65 g/cm³. Sypná hmotnost suchého písku se pohybuje v rozmezí 1,4–1,6 g/cm³. Dostatečná hmotnost zajišťuje fixaci rostlin a jejich částí. Není vhodný pro jemné části květu/květenství, může je deformovat při zasypávání i odstraňování. Neabsorbuje vodu, sušení probíhá pozvolna v otevřených nádobách nebo při teplotě do 60 °C (Luňáčková, 1993).

Síran sodný (Na₂SO₄)

Síran sodný je sodná sůl kyseliny sírové. V bezvodém stavu se jedná o bílou krystalickou látku. Pro účely sušení byl použit bezvodý síran sodný, čistý, 1 000 g (Penta, ČR), ve formě prášku. Sypná hmotnost 1,2–1,9 g/cm³. Prášek je jemný a při zasypávání se jeho nejmenší částice uvolňují od ovzduší. Při odstraňování jemného prachu je navíc třeba použít jemný štětec.

Tetraboritan sodný (Na₂B₄O₇) – Borax

Pro účely sušení rostlinného materiálu byl použit bezvodý extra čistý tetraboritan sodný ve formě bílého prášku, číslo CAS 10043-35-3 (Sigma-Aldrich), hustota 1,440 g/cm³. Prášek je jemný, po ukončení sušení ale může zůstat na povrchu rostlin a vytvářet hrudky. Pro opakované použití je vhodné jej po usušení při 105 °C prosít (Jezdinský et al., 2024).

Uhličitan sodný (Na₂CO₃) – prací soda

Sodná sůl kyseliny uhličité. Pro sušení byl použit bílý bezvodý prášek bez zápachu, dostupný v obchodní síti jako bezvodá soda na praní, například Alnature prací soda 1 000 g, CAS 497-19-8 (Alnature, ČR).

Hydrogenuhličitan sodný (NaHCO₃) – jedlá soda

Pro sušení rostlinného materiálu byla použita ve formě bílého prášku bez zápachu, dostupného v běžné obchodní síti, jako jedlá soda, 1 000 g, CAS 144-55-8 (Alnature, ČR).

Silikagel

Granulovaná forma oxidu křemičitého (SiO₂), vysoce porézní, významný desikant. Do své struktury dokáže absorbovat vodu, která odpovídá 20–40 % jeho vlastní hmotnosti. Pro sušení byly odzkoušeny obě formy silikagelu – základní čistý bílý, transparentní (v závislosti na

zrnitosti) a také s přidavkem látky, která indikuje změnu vlhkosti. Konkrétně byl použit silikagel červená/žlutá 1–3 mm, 1 000 g, s indikátorem, granulovaný, CAS 7631-86-9 (ROTH, Německo). Doporučená regenerace je při 120 °C po dobu 4 hodin. Další formou byl silikagel bez indikátoru 0,5–1,0 mm, 1 000 g, CAS 7631-86-9 (ROTH, Německo) a silikagel 60N práškový, bílý CAS 7631-86-9 (ROTH, Německo). Doporučená regenerace je 130–150 °C po dobu 4 hodin.

3.1.3 Technologický postup

A. Příprava a výběr rostlinného materiálu

Rostliny nebo jejich části, především květy a květenství, se odebírají ve fázi počátečního nebo plného kvetení v závislosti na druhu. Základním předpokladem úspěšného sušení je, aby rostlinný materiál nebyl před založením do sušicího substrátu mokrá. Na povrchu rostlin ani mezi jednotlivými částmi květu, například mezi tyčinkami a pestíkem, by neměla být přítomna žádná voda.

Květy a květenství se sklízí ručně s krátkou částí stonku, zpravidla přibližně 5–30 mm dlouhou podle druhu. Pro sušení je vhodné vybírat zdravý materiál bez viditelného poškození škůdci, chorobami nebo mechanickým poškozením a bez znečištění prachem.

Způsob uložení rostliny do sušicího substrátu je nutné přizpůsobit její morfologii. U běžných květů a květenství je možné zachovat přirozený prostorový tvar uložním do substrátu ve vhodné poloze. U některých druhů je nutné zohlednit stavbu květu a zabránit mechanickému zatížení jemných částí.

Zvláštní pozornost vyžadují květy s velmi jemnými nebo plochými korunními lístky. U některých druhů může nevhodná velikost částic nebo nadměrná hmotnost substrátu vést k deformaci květních částí. U některých druhů čeledi hvězdnicovitých (Asteraceae) (z léčivých např. sedmikráska, chrpa, měsíček aj.) může při sušení docházet k oddělování jazykovitých květů od květního lůžka (viz obr. 1).

Obr. 1: Rozpad květů chrpy modré (*Centaurea cyanus*)



B. Příprava sušicích substrátů

Před použitím se sušicí substráty předsuší, aby se odstranila přebytečná vlhkost. V provedených pokusech byly substráty předsušeny při teplotě 105–150 °C po dobu 1–4 hodin a následně nechány vyrovnat na teplotu místnosti.

U silikagelu byly pro experimentální ověření použity tři frakce: prášková, 0,5–1 mm a 1–3 mm. Vlastnosti jednotlivých substrátů a rozdíly mezi jejich frakcemi byly hodnoceny v rámci výsledků experimentu.

C. Založení rostlinného materiálu

Na dno sušicí nádoby se nasype vrstva sušicího substrátu o tloušťce přibližně 8–10 mm. Jednotlivé květy nebo květenství se následně uloží na tuto vrstvu a opatrně zasypou substrátem tak, aby byl materiál v požadované poloze a současně nedocházelo k jeho mechanickému poškození.

U květů a květenství se stonkem se materiál ukládá zpravidla stonkem směrem vzhůru a zasypává se tak, aby část stonku mohla zůstat nad povrchem substrátu (viz obr. 2).

Obr. 2: Uložení květenství sedmikrásky (*Bellis*) v boraxu



U jednotlivých druhů je však nutné způsob uložení přizpůsobit jejich morfologii. Jednotlivé koruny (př. divizna (*Verbascum*)) nebo ploché a velmi jemné květy (př. topolovka (*Alcea*)) mohou být uloženy v přirozené poloze bez otočení (obr. 3). Stejný postup je vhodný také u některých druhů se specifickou stavbou květu, například u šklebivých květů (př. hledík (*Antirrhinum*)).

Obr. 3: Uložení květů topolovky růžové (*Alcea rosea*) v silikagelu



Po uložení rostlinného materiálu se nádoba uzavře. Důležité je, aby byl rostlinný materiál v dostatečném kontaktu se sušicím substrátem a aby jeho prostorové uspořádání odpovídalo požadovanému výslednému tvaru.

D. Vlastní sušení

Sušení u většiny substrátů probíhá v uzavřené nádobě za stabilních podmínek. V případě písku byla udržována relativní vlhkost prostředí přibližně 50–60 % a teplota 18–25 °C. Délka sušení se stanovuje podle druhu rostlinného materiálu a použitého substrátu. Pro většinu druhů byla dostatečná doba sušení 168 hodin. Na konci sušení je možné sledovat změny barvy, tvaru a mechanické stability rostlinného materiálu.

E. Ukončení sušení a odstranění substrátu

Po ukončení sušení se nádoba otevře a usušený rostlinný materiál se opatrně vyjme ze sušícího substrátu. Zbytky substrátu ulpívající na povrchu rostlin se odstraňují jemným štětcem nebo jiným vhodným způsobem podle citlivosti materiálu.

Při manipulaci je nutné postupovat opatrně, protože usušená rostlinná pletiva jsou křehčí než čerstvý materiál. Zvýšenou pozornost vyžadují zejména jemné části květů/květenství, u nichž může při mechanickém namáhání docházet k odlamování nebo rozpadu.

U některých substrátů mohou po sušení vznikat hrudky nebo agregáty. Ty je nutné před dalším použitím substrátu odstranit, případně substrát prosít.

F. Regenerace a opakované použití sušicích substrátů

Po ukončení sušení lze substráty regenerovat. Silikagel lze tepelně vysušit; u testovaných materiálů byla doporučena regenerace při 120 °C po dobu 4 hodin, u jemnějších frakcí při 130–150 °C po dobu 4 hodin. Písek lze po vysušení znovu použít bez zásadní další úpravy. U solí je

nutné před opakovaným použitím zohlednit změny vzniklé při absorpci vody a podle potřeby odstranit vzniklé agregáty.

3.1.4 Testované druhy rostlin

V rámci experimentálního ověřování byly testovány různé druhy léčivých a okrasných rostlin, především květy a květenství. Byl hodnocen vliv sušicího substrátu a doby sušení na změnu výsledné barvy, morfologie rostlinného materiálu a rozpadavost květenství.

Mezi testované druhy patřila sedmikráska obecná (*Bellis perennis*), brutnák lékařský (*Borago officinalis*), heřmánek pravý (*Matricaria chamomilla*), topolovka růžová (*Alcea rosea*), divizna velkokvětá (*Verbascum densiflorum*), sléz lesní (*Malva sylvestris*), violka vonná (*Viola odorata*) a bez černý (*Sambucus nigra*).

Dalšími zástupci léčivých a okrasných druhů sušených v silikagelu byly např. pazvonek (*Codonopsis clematidea*), mák listnatý (*Papaver bracteatum*), měsíček lékařský (*Calendula officinalis*), chrpa modrá (*Centaurea cyanus*), barvínek menší (*Vinca minor*), čemeřice východní (*Helleborus orientalis*), orlíček obecný (*Aquilegia vulgaris*) a hledík větší (*Antirrhinum majus*).

Podrobný přehled použitých substrátů, doby sušení a hodnocených změn barvy je uveden v tabulce č. 1.

Tabulka 1: Výsledky sušení vybraných druhů rostlin v různých sušicích substrátech

České jméno	Vědecké jméno	Substrát	Termín sušení / počet dní	Pozorované změny
sedmikráska obecná	<i>Bellis perennis</i>	S 1–3 mm, SS, B	4. 5.–11. 5. 2023 / 7	změna barvy v SS
sedmikráska obecná	<i>Bellis perennis</i>	S 1–3 mm, SS, B	3. 7.–10. 7. 2023 / 7	změna barvy v SS
sedmikráska obecná	<i>Bellis perennis</i>	S 1–3 mm, SS, B, P, SP, JS	20. 9.–5. 10. 2023 / postupně 15	změna barvy v SS
brutnák lékařský (bílé květy)	<i>Borago officinalis</i>	S 0,5–1 mm, SS, B	1. 6.–8. 6. 2026 / 7	změna barvy v B a SS
heřmánek pravý	<i>Matricaria chamomilla</i>	S 0,5–1 mm, SS, B	1. 6.–8. 6. 2026 / 7	rozpad jazykovitých květů v S; změna barvy v SS a B
topolovka růžová (světlá odrůda)	<i>Alcea rosea</i>	S 0,5–1 mm, SS, B	28. 6.–10. 7. 2023 / 12	změna barvy v SS
topolovka růžová (tmavá odrůda)	<i>Alcea rosea</i>	S 0,5–1 mm, SS, B	28. 6.–10. 7. 2023 / 12	změna barvy v SS
divizna velkokvětá	<i>Verbascum densiflorum</i>	S 0,5–1 mm, SS, B	28. 6.–10. 7. 2023 / 12	změna barvy v SS
sléz lesní	<i>Malva sylvestris</i>	S 0,5–1 mm, SS, B	14. 6.–21. 6. 2023 / 7 a více	změna barvy v S a SS
sléz lesní	<i>Malva sylvestris</i>	S 1–3 mm, SS, B, P, SP, JS	16. 9.–1. 10. 2023 / postupně 15	–

sléz lesní	<i>Malva sylvestris</i>	S, B, P, SP, JS	4. 10.–10. 10. 2023 / 6 a více	–
violka vonná	<i>Viola odorata</i>	S 1–3 mm, S prachový, SS, B	5. 4.–12. 4. 2023 / 7 a více	změna barvy v S 1–3 mm, S prachovém, SS a B
bez černý	<i>Sambucus nigra</i>	S 0,5–1 mm, SS, B	13. 6.–21. 6. 2023 / 8	tvorba hrudek v SS; změna barvy v B

Pozn. použití písku (P), síranu sodného (SS), boraxu (B), sody na praní (SP), jedlé sody (JS) a silikagelu (S)

3.1.5 Zhodnocení a doporučení

Z hodnocených sušících substrátů – písku, síranu sodného, boraxu, uhličitanu sodného, hydrogenuhličitanu sodného a silikagelu – byly nejlepší výsledky dosaženy při použití silikagelu (viz obr. 4). Z jeho testovaných frakcí byla jako nejvhodnější vyhodnocena velikost částic 0,5–1 mm. Práškový silikagel měl tendenci ulpívat na povrchu rostlinných pletiv, zatímco granule o velikosti 1–3 mm způsobovaly u některých druhů mírné deformace. Frakce 0,5–1 mm tyto nevýhody omezovala.

Při hodnocení jednotlivých substrátů byly zaznamenány také rozdíly v barevnosti a struktuře výsledného materiálu. Nežádoucí barevné změny byly pozorovány zejména při použití síranu sodného. U bílých květů brutnáku lékařského, heřmánku pravého a bezu černého vedlo použití boraxu ke změně bílé barvy směrem ke žlutému odstínu. U síranu sodného byla u některých druhů (bez černý) zaznamenána tvorba hrudek na povrchu květů.

Obr. 4: Srovnání vybraných sušících látek u divizny velkokvěté (*Verbascum densiflorum*) (shora: silikagel, síran sodný, borax, kontrola – sušeno jen volně na filtračním papíru)



Písek se vzhledem ke své hmotnosti a skutečnosti, že vodu neabsorbuje, ukázal pro sušení jemných květů a květenství jako méně vhodný. Jeho hlavní výhodou je mechanická fixace

materiálu, současně však sušení probíhá pomaleji a při manipulaci může docházet k deformaci jemných částí.

Sušení probíhalo zpravidla 5–7 dnů, u některých druhů však byla doba delší. Délku procesu je proto nutné přizpůsobit konkrétnímu druhu a jeho obsahu vody. Jako problematické se ukázaly především některé bílé květy a květenství a druhy s citlivou morfologií květu. U druhů čeledi Asteraceae, například u sedmikrásky, chrpy nebo měsíčku, může během sušení docházet k oddělování jazykovitých květů od květního lůžka.

Pro praktické využití lze jako nejvhodnější z testovaných substrátů doporučit silikagel o velikosti částic 0,5–1 mm. Usušený materiál je vhodné uchovávat v uzavřených nádobách, ideálně s malým množstvím silikagelu, který pomáhá udržovat nízkou vlhkost prostředí. Sušicí substráty, zejména silikagel, lze po vhodné regeneraci opakovaně využívat.

Celkově se sušení pomocí sušicích substrátů ukázalo jako vhodná metoda pro zachování trojrozměrné struktury květů a květenství.

3.2 Preparace rostlin glycerolem

3.2.1 Princip metody

Preparace rostlinného materiálu glycerolem představuje chemicko-fyziologickou metodu konzervace založenou na využití přirozených transportních procesů čerstvě sklizené rostliny, především kapilárního transportu vody v cévních svazcích a transpiračního proudu. Princip metody spočívá v postupném nahrazování části vody obsažené v rostlinných pletivech vodným roztokem glycerolu (glycerinu), který působí jako konzervační a plastifikační látka (Singh et. al., 2018). Glycerol díky své vysoké hygroskopičnosti a nízkému tlaku par zůstává v rostlinné struktuře a přispívá k zachování pružnosti a mechanické stability pletiv. Na rozdíl od běžného sušení tak dochází k menšímu smršťování a křehnutí rostlinného materiálu.

U čerstvě sklizených rostlin je možné využít funkční vodivý systém rostliny k transportu preparačního roztoku ze spodní části stébla směrem k jeho vyšším částem. Při vhodném vývojovém stadiu může glycerol postupně proniknout až do nejvyšších částí rostlin. U mechorostů, které nemají vyvinuté cévní svazky a vodu přijímají celým povrchem těla, je nutné jejich ponoření do glycerolu (nebo v komerční sféře využívaný postřik). Výsledkem je stabilizovaný materiál, který si zachovává vyšší pružnost a odolnost vůči mechanickému namáhání než běžně usušené rostliny (Dubois, Joyce, 1992). U některých částí rostlin je významným efektem stabilizace glycerolem také omezení jejich rozpadu a uvolňování dílčích částí při manipulaci – typicky klasů a lat obilnin nebo rozpadavých šišek jehličnanů.

Během preparace dochází současně ke změně barevnosti (Bulgari, Negri, Ferrante, 2015). Po sklizni již rostlina nepřijímá vodu a minerální živiny z kořenového systému a postupně dochází k úbytku chlorofylu. Původní zelené zbarvení se proto mění na žluté až slámové odstíny, u některých druhů ovšem dochází ke změně barvy do rezavě hnědé nebo až černé. Výsledná barevnost je významným parametrem při využití materiálu pro výstavní, demonstrační a výukové účely.

Pro hlavní pokusy byly vybrány obilniny, u nichž byl předpoklad, že změna barevnosti by mohla přibližně odpovídat barevným změnám probíhajícím v rostlinách v průběhu zrání, a že výsledné preparáty by mohly působit velmi přirozeně, což se potvrdilo. Stejně tak je pro prezentační materiál důležitá lepší mechanická odolnost a nerozpadavost klasů a lat, zamezení vypadávaní obilek či lámání osin při manipulaci.

Dosavadní experimenty s obilninami ukázaly, že úspěšnost preparace není určována pouze délkou rostliny. Přestože se v obecně uváděných postupech doporučuje kratší rostlinný materiál, pšenice byla v provedených pokusech úspěšně stabilizována i při délce 65–80 cm. Naopak některé kratší vzorky byly hodnoceny hůře v důsledku nedostatečného prostoupení glycerolem nebo zaplísnění. Za významnější faktory proto lze považovat zejména druh obilniny, vývojové stadium, zdravotní stav rostliny, způsob založení vzorku a podmínky prostředí.

Základním předpokladem úspěšné preparace je zachování dostatečné hydratace rostliny a funkčnosti vodivých drah v době odběru (Tyree, Zimmermann, 2002). Materiál je proto nutné po sklizni co nejdříve vložit do preparačního roztoku. U vyschlých nebo plně zralých rostlin lze očekávat omezení transportu roztoku a nižší účinnost preparace.

3.2.2 Potřebné vybavení

Pro realizaci preparace rostlinného materiálu glycerolem je zapotřebí vybavení umožňující odběr a úpravu rostlin, přípravu stabilizačního roztoku, jeho působení a následné odkapání a vysušení exponátů. K odběru a úpravě rostlin jsou vhodné ostré zahradnické nůžky, nůž nebo skalpel umožňující čistý řez stébla bez nadměrného mechanického poškození cévních svazků. Pro vlastní preparaci lze využít skleněné nebo plastové odměrné válce, vysoké kádinky nebo jiné dostatečně stabilní nádoby umožňující vertikální umístění stébel a kontakt jejich spodní části s preparačním roztokem.

Z chemických reagensů se používá glycerol (glycerin) a voda. V provedených pokusech byl použit glycerin F o koncentraci 99,5 % ve farmaceutické kvalitě. Preparační roztok byl připravován v objemovém poměru voda:glycerin 1:1. Vzhledem k vyšší viskozitě glycerolu je nutné zajistit důkladné promíchání obou složek. Při popsaném způsobu použití glycerol nepředstavuje žádné zdravotní riziko.

Stabilizace probíhá v prostoru umožňujícím udržování zvýšené a pokud možno stabilní teploty a dostatečného proudění vzduchu. V experimentálních pokusech s obilninami se teplota v místnosti pohybovala přibližně mezi 25 a 30 °C. Po ukončení preparace jsou pro odkapání přebytečného roztoku a následné vyschnutí povrchu rostlin vhodné závěsné rošty, háčky nebo absorpční podložky. Pro dlouhodobé uchování je vhodné suché prostředí chráněné před vysokou relativní vlhkostí, prachem a přímým slunečním zářením.

3.2.3 Technologický postup

A. Příprava a výběr rostlinného materiálu

Rostlinný materiál se odebírá ve stadiu, kdy jsou stébla dostatečně hydratovaná a vodivé dráhy schopné transportu preparačního roztoku. V provedených pokusech byly obilniny odebírány především v mléčné až mléčně-žluté zralosti. Rostliny byly již plně vzrostlé, zrna byla vyvinutá, ale ještě nebyla plně zralá.

Pro výstavní a demonstrační účely je vhodné vybírat zdravé, mechanicky nepoškozené rostliny bez viditelných známek napadení chorobami. Zvláštní pozornost je nutné věnovat spodním částem rostlin a listovým pochvám, které se v provedených pokusech ukázaly jako místa náchylná k plísni.

Experimenty současně ukázaly význam vývojového stadia pro výslednou barevnost. Pšenice odebraná v mléčně-žluté zralosti poskytovala po preparaci barevně velmi přirozené vzorky odpovídající zralému obilí. U zelenějšího materiálu zůstal po preparaci výraznější zelený odstín. U některých vzorků byl tento efekt hodnocen jako přirozený, u jiných jako nepřirozený.

B. Úprava stonků

Bezprostředně po sklizni se spodní část stébla seřízne ostrým nástrojem. Řez musí být čistý a bez výrazného rozdrčení stébla nebo cévních svazků. Vhodné je provést čerstvý řez a minimalizovat dobu mezi sklizní a vložením materiálu do preparačního roztoku. Cílem je zachovat co nejlepší vodní stav pletiv a funkčnost vodivých drah.

Vzhledem k riziku zplísnění se jako důležitá ukázala také úprava spodních částí rostlin. Zejména listové pochvy a jejich okolí je vhodné kontrolovat a podle potřeby odstranit. V provedených pokusech se plíseň často objevovala právě ve spodní části rostlin, zejména u vzorků založených ve větších svazcích.

C. Příprava preparačního roztoku

Pro preparaci byl použit vodný roztok glycerolu připravený smícháním vody a glycerolu v objemovém poměru 1:1. Jedná se o 50% roztok glycerolu. Všechny hodnocené experimentální vzorky uvedené v tomto souboru byly založeny při tomto poměru. Glycerol a voda se důkladně promíchají tak, aby vznikla homogenní směs. Vzhledem k výsledkům experimentů lze tuto koncentraci považovat za vhodnou pro preparaci testovaných obilnin.

D. Kapilární transport a stabilizace

Upravená stébla se spodní částí ponoří do preparačního roztoku přibližně do hloubky 5–10 cm. Rostliny se umístí do nádob ve vertikální poloze tak, aby nedocházelo k jejich mechanickému poškození viz obr. 5.

Obr. 5: Uložení testovaných rostlin do roztoku glycerolu



V provedených pokusech byla hladina roztoku přibližně 10 cm a teplota prostředí se pohybovala mezi 25 a 30 °C. Rostliny byly založeny 17. nebo 22. června 2026 a vyjmuty 21. července 2026. Doba působení roztoku tak činila přibližně 29–34 dní. Ukázalo se, že u většiny vzorků pšenice samotná délka rostliny nemusí být zásadní překážkou transportu. Projevilo se

dostatečné prostoupení glycerolem až do klasu u rostlin dlouhých 65–75 cm a v některých případech také u rostlin dlouhých 80 cm. U tritikále, zejména u rostlin dlouhých 85–150 cm, byl glycerinem výrazně lépe prostoupen spodní úsek rostliny, zatímco horní část s klasem zůstávala převážně suchá. Výsledky tak ukazují, že vztah mezi délkou rostliny a úspěšností transportu nelze stanovit pouze pomocí jednoduchého limitu délky.

Rostliny je vhodné do nádob umísťovat volně s dostatečnými rozestupy. Větší svazky se v průběhu pokusů ukázaly jako náchylnější k zaplísnění, zejména ve vnitřních částech svazku.

V průběhu stabilizace je nutné sledovat stav rostlin, zejména vznik plísně, změnu barevnosti a postupné prostupování glycerolem. U některých vzorků byly po ukončení procesu na stéblech, listech nebo v okolí klasů patrné drobné kapky glycerolu, které sloužily jako vizuální známka jeho přítomnosti v pletivech.

E. Postupná změna zbarvení

V průběhu stabilizace dochází k postupnému úbytku zeleného zbarvení a k přechodu k odstínům žluté, zlaté, slámové nebo hnědozelené. Výsledná barevnost závisí na druhu obilniny a zejména na vývojovém stadiu v době odběru. Nejpřirozenější barevnost byla v provedených pokusech zaznamenána u pšenice odebrané v mléčně-žluté zralosti. Tyto vzorky po vysušení velmi dobře odpovídaly barevnosti zralého obilí. U ječmene se vyskytovaly odstíny od světle zelené přes výrazně zelenou až po načervenalou. Některé zelené vzorky si zachovaly pružnost, avšak výsledná zelená barva nebyla vždy hodnocena jako přirozená. U ovsa byla výsledná barevnost hodnocena jako špinavě žlutozelená a u testovaných vzorků se současně objevilo zreznutí listů. Tritikále vykazovalo horší výsledky zejména v souvislosti s nedostatečným prostoupením horních částí rostliny glycerolem.

F. Ukončení stabilizace a odkapání

Po ukončení stabilizační fáze se rostliny vyjmou z roztoku. Spodní část stébla se očistí od přebytečného glycerolu a podle potřeby se odstraní poškozené nebo zaplísněné části. V provedených pokusech bylo u některých vzorků nutné odstranit spodní část rostliny v rozsahu přibližně 5–30 cm. U několika silně zaplísněných vzorků byla před odstraněním plesnivých částí použita dezinfekce přípravkem Savo. Po vyjmutí se rostliny nechají odkapat a následně doschnout. Odkapání a stabilizace povrchu by měly probíhat v prostoru s dostatečným prouděním vzduchu a s omezením vzájemného kontaktu jednotlivých vzorků.

G. Skladování a uchování

Po ukončení odkapání a dosušení se stabilizovaný materiál ukládá do suchého prostředí. Glycerol je hygroskopický a při vysoké relativní vlhkosti může přijímat vodu z okolního prostředí. To může vést ke zvýšení vlhkosti povrchu materiálu a případně k vylučování glycerolu. Pro dlouhodobé výstavní a výukové využití je proto vhodné chránit vzorky před vysokou relativní vlhkostí, přímým slunečním zářením a nadměrným mechanickým namáháním.

3.2.4 Testované druhy rostlin

V rámci experimentálního ověřování byly testovány pšenice setá (*Triticum aestivum*) v několika odrůdových a barevných typech, ječmen setý (*Hordeum vulgare*) včetně etiopského

ječmene Samareisa, tritikále ($\times$ *Triticosecale*) a oves setý (*Avena sativa*). Délka rostlin se pohybovala od 55 do 150 cm. Vzorky byly vyjmuty 21. 7. 2026 a následně hodnoceny 25. 8. 2026. Zkoumané druhy obilnin zobrazuje tabulka 2.

Tabulka 2: Seznam testovaných druhů pro preparaci glycerolem

č. vzorku	Taxon / zralost – typ materiálu	Datum založení	Délka rostlin	Stav po vyjmutí	Stav po usušení	Reprezentativnost
1	pšenice bezosinná (Slovensko) / mléčně-žlutá zralost – nezkrácená	17. 6. 2026	75 cm	bez plísně, glycerin až do klásků	pružná, barva zralého obilí, listy rozvinuté, klasy snesou smáčknutí	1
2	pšenice bezosinná / mléčně-žlutá zralost – nezkrácená	22. 6. 2026	70 cm	bez plísně, glycerin až do klásků	pružná, barva zralého obilí, listy rozvinuté, klasy snesou smáčknutí	1
3	pšenice osinatá, červená / mléčně-žlutá zralost – nezkrácená	17. 6. 2026	70 cm	bez plísně, glycerin až do klásků	pružná, barva zralého obilí, listy rozvinuté, klasy snesou smáčknutí, osiny pružné	1
4	pšenice Carsten V / mléčně-žlutá zralost – nezkrácená	17. 6. 2026	65 cm	bez plísně, glycerin až do klásků	pružná, barva zralého obilí, listy rozvinuté, klasy snesou smáčknutí	1
5	pšenice, novošlechtění / mléčně-žlutá zralost – nezkrácená	17. 6. 2026	70 cm	bez plísně, glycerin až do klásků	pružná, lehce načervenalá, listy rozvinuté, klasy snesou smáčknutí	1
6	pšenice osinatá / mléčně-žlutá zralost – nezkrácená	22. 6. 2026	70 cm	spodní část zaplísněná, odstraněno cca 10 cm	pružná, barva zralého obilí, listy rozvinuté, osiny pružné	1
7	pšenice osinatá/ mléčná zralost – nezkrácená	22. 6. 2026	80 cm	spodní část zaplísněná, odstraněno cca 20 cm	pružná, spodní část lehce zelená, klasy jako zralé obilí, osiny pružné	1
8	pšenice osinatá / mléčná zralost – nezkrácená	22. 6. 2026	75 cm	spodní část zaplísněná, po dezinfekci	pružná, lehce zelená, osiny pružné, ale pletiva jsou glycerinem méně prostoupená	2

				odstraněno cca 20 cm		
9	pšenice bezosinná / mléčně-žlutá zralost – zkrácená	22. 6. 2026	55 cm	spodní část zaplísňená, odstraněny poškozené části	srolované listy, šedý nádech, klasy glycerinem jen částečně prostoupené, ale nerozpadají se	3
10	etiopský ječmen Samareisa / žlutá zralost, purpurové skvrny – nezkrácený	17. 6. 2026	70 cm	spodní část odstraněna kvůli plísni	načervenalý odstín, klasy glycerinem nedostatečně prostoupené, osiny se lámou	3
11	ječmen / mléčná zralost – nezkrácený	22. 6. 2026	55 cm	bez plísně, mírně zelený	pružný, mírně zelený, osiny lze stočit do kroužku	1
12	ječmen / mléčná zralost – nezkrácený	17. 6. 2026	80 cm	listy částečně pokroucené, výrazně zelený	pružný včetně osin, nepřirozený zelený odstín	3
13	ječmen / mléčná zralost – nezkrácený	22. 6. 2026	60 cm	spodní část zaplísňená, odstraněno cca 20 cm	glycerin pouze ve stéblech, klasy suché, osiny se lámou	4
14	tritikále / mléčně-žlutá zralost – nezkrácené	22. 6. 2026	150 cm	cca 30 cm odstraněno kvůli plísni	glycerinem prostoupena především spodní část, horní část suchá	3
15	tritikále / mléčně-žlutá zralost – zkrácené	22. 6. 2026	85 cm	spodní část zaplísňená, odstraněno cca 20 cm	glycerinem nedostatečně prostoupeno, horní část suchá, osiny se lámou	3
16	tritikále / mléčně-žlutá zralost – zkrácené	17. 6. 2026	80 cm	bez plísně	stébla a listy glycerinem prostoupené, klasy méně, osiny částečně lámavé	3
17	oves / mléčná zralost – nezkrácený	22. 6. 2026	70 cm	spodní část silně zaplísňená, odstraněno cca 20 cm	pružný, špinavě žlutozelený, listy zrezné, laty drží a nesypou se	3
18	oves / mléčná zralost – nezkrácený	17. 6. 2026	80 cm	spodní část silně zaplísňená, odstraněno přes 30 cm	pružný, špinavě žlutozelený, listy zrezné, laty drží a nesypou se	3

pozn. škála reprezentativnosti: 1 – skvěle využitelné; 5 – nepoužitelné.

Výsledky ukázaly výrazné rozdíly mezi jednotlivými druhy a typy rostlinného materiálu. Nejlepší výsledky byly dosaženy u pšenice (*Triticum aestivum*) sbírané v mléčně-žluté zralosti. Vzorky pšenice dlouhé 65–75 cm byly zpravidla glycerinem prostoupeny až do klasů, zachovaly si rozvinuté listy a po usušení zůstaly pružné. Klasy snášely mechanické stlačení bez výrazného rozpadu a u osinatých typů zůstaly osiny pružné. Většina těchto vzorků byla hodnocena stupněm reprezentativnosti 1. Velmi dobré výsledky byly dosaženy také u pšenice sbírané v mléčné zralosti. Stébla byla při založení pokusu ponechána v původní délce 75–80 cm a i zde glycerin prostoupil až do horní části rostlin. Spodní část byla ovšem náchylnější k zaplísnění ve srovnání s více vyzrálými vzorky a při ukončení pokusu byla odstraněna. Přesto si i tyto vzorky zachovaly dostatečnou délku pro ukázkou habitu rostliny, pružnost, ohebné osiny a velmi pěknou barevnost s mírným odstínem do zelena, a jejich reprezentativnost byla hodnocena stupněm 1, případně 2 (v důsledku méně výrazného prostoupení rostliny glycerinem).

U ječmene byly výsledky variabilnější, přestože vzorky byly shodně odebrány v podobném stupni zralosti (mléčná zralost) a stébla byla ponechána v původní délce. Velmi dobře dopadl ječmen s nejkratšími stébly (55 cm), kde pokus proběhl bez zaplísnění, a byl hodnocen stupněm 1. Materiál zůstal pružný a osiny byly natolik ohebné, že je bylo možné stočit do kroužku. Delší vzorky byly postiženy zaplísněním, které velmi pravděpodobně negativně ovlivnilo prostupování glycerinu rostlinou a zřejmě způsobilo i posun barevnosti do nepěkných špinavě-zelených odstínů. V případě etiopského ječmene Samareisa se překážkou pro dokonalou konzervaci ukázala přílišná vyzrálость rostlin, které byly odebrány ve žluté zralosti. Výsledný vzorek pak byl sice pružný, avšak jeho klasy zůstaly nedostatečně prostoupené glycerinem a osiny se lámaly. V klasech však zůstala zachována načervenalá barva.

Tritikále se ukázalo jako méně vhodný materiál, zejména při zachování celé délky rostlin. U 150 cm vzorku byl glycerinem prostoupen především spodní úsek, zatímco horní část s klasem zůstala převážně suchá. Podobný problém se objevil také u zkráceného 85 cm vzorku. U 80 cm vzorku bez plísně byla dobře prostoupena stébla a listy, ale prostoupení klasů bylo slabší a osiny byly částečně lámavé.

U ovsa, jenž je považován za významnou léčivou rostlinu, byla ve zkoušených vzorcích zaznamenána výrazná náchylnost spodní části k zaplísnění. Přesto rostliny po preparaci zůstaly pružné a laty byly mechanicky stabilní. Ani při manipulaci se z lat neuvolňovaly jejich části. Výsledná barevnost však byla méně atraktivní, špinavě žlutozelená (obr. 6), a listy vykazovaly zreznutí. Oba vzorky byly proto hodnoceny stupněm 3.

Obr. 6: Oves po preparaci glycerinem



3.2.5 Zhodnocení a doporučení

Preparace rostlinného materiálu glycerolem se v provedených experimentech ukázala jako vhodná metoda pro přípravu mechanicky odolných vzorků obilnin určených zejména k výstavním, demonstračním a výukovým účelům. Hlavním přínosem je zachování pružnosti rostlinných částí a omezení rozpadu klasů nebo lat při manipulaci, což umožňuje využití celých rostlin tam, kde je požadována vyšší mechanická odolnost než u běžně sušeného materiálu.

Nejlepších výsledků bylo dosaženo u pšenice (*Triticum aestivum*), u níž byly rostliny dlouhé 65–75 cm ve většině případů prostoupeny glycerinem až do klasů. Po usušení zůstaly pružné, listy byly rozvinuté a klasy snášely smáčknutí bez výrazného rozpadu; u osinatých typů zůstaly osiny zpravidla pružné. Pšenice se proto z testovaných obilnin jeví jako nejvhodnější pro přípravu celých rostlin (obr. 7).

Obr. 7: Pšenice osinatá a bezosinná po preparaci glycerinem



Experimenty zároveň zpochybnily původně předpokládaný limit délky 45 cm. U pšenice byly úspěšně preparovány i rostliny dlouhé 65–80 cm, zatímco jeden 55cm vzorek byl hodnocen pouze stupněm 3. Jeho horší výsledek souvisel především se zaplísněním, srolovanými listy, šedým barevným odstínem a pouze částečným prostoupením klasu glycerolem. Samotná délka proto není rozhodujícím ukazatelem úspěšnosti preparace.

Vývojové stadium se výrazně promítlo do výsledné barevnosti. U pšenice odebrané v mléčně-žluté zralosti byla po preparaci barevnost velmi blízká zralému obilí, zatímco zelenější materiál si část zeleného zbarvení zachovával. Pro prezentaci zralých obilnin se proto jako vhodnější jeví odběr v mléčně-žluté zralosti.

V testovaných podmínkách se osvědčil roztok vody a glycerolu 1:1 při teplotě 25–30 °C s dobou preparace 29–34 dní. Výsledky naznačují, že délku procesu je vhodné přizpůsobovat druhu, délce rostlin a skutečnému průběhu prostupování glycerolem, nikoli ji stanovovat pevně.

Významným omezením bylo napadení plísněmi, které se nejčastěji objevovalo ve spodní části rostlin a uvnitř větších svazků. V některých případech bylo nutné napadené části odstranit, případně před jejich odstraněním provést dezinfekci. Pro omezení tohoto problému je vhodné používat zdravý materiál, kontrolovat spodní části rostlin a listové pochvy (případně spodní listy i s pochvami odstranit) a rostliny zakládat jednotlivě nebo v malých, dostatečně rozvolněných skupinách.

Vhodnost metody se mezi druhy lišila. U ječmene bylo možné dosáhnout velmi dobrých výsledků u kratších a zdravých vzorků, zatímco u delších rostlin se prostoupení klasů glycerinem zhoršovalo. Tritikále vykazovalo nedostatečný transport glycerolu do horních částí, zejména u dlouhých rostlin. Oves si zachoval dobrou mechanickou stabilitu lat, ale jeho výsledná barevnost byla méně vhodná a oba testované vzorky byly výrazně postiženy plísněmi.

Pro praktické využití lze proto doporučit čerstvý a zdravý materiál, přednostně odebraný v mléčně-žluté zralosti a čistý řez stébka. Rostliny je vhodné zakládat rozvolněně a během procesu kontrolovat jejich zdravotní stav, barevnost a postup prostupování glycerolem.

Celkově lze glycerolem stabilizované obilniny považovat za vhodný materiál pro prezentaci celého habitu rostlin ve výstavách, dioramatech a výukových programech. Největší praktický přínos představuje kombinace zachované pružnosti, odolnosti klasů a lat vůči rozpadu a možnosti manipulace s celou rostlinou. Pro další optimalizaci metody bude vhodné ověřit především způsoby omezení napadení spodních částí rostlin plísněmi a podmínky umožňující spolehlivý transport glycerolu do klasů u dlouhých rostlin.

V rámci doplňujících pokusů byla glycerolová stabilizace ověřena také u listů břečťanu obecného (*Hedera helix*) dvěma způsoby – ponořením listů do glycerolového roztoku a příjmem roztoku přes řapík. Současně byly sledovány různé koncentrace glycerolu a délka stabilizace. Výsledky ukázaly, že způsob aplikace i koncentrace ovlivňují především následné změny hmotnosti a barevnosti listů. Z praktického hlediska se jako zajímavý ukázal příjem glycerolu přes řapík, který při delším skladování vedl k menším barevným změnám než metoda ponoření. Současně se potvrdilo, že změny barevnosti pokračují i během následného skladování a jejich rozsah závisí na způsobu stabilizace, koncentraci glycerolu a době jeho působení. Dalším hodnoceným rostlinným materiálem byly větve břečťanu obecného (*Hedera helix*), tisů červeného (*Taxus baccata*), slivoní (*Prunus* sp.) a jabloní (*Malus* sp.) (okrasné červenolisté) dlouhé 50-80 cm. Z bylin to byly kontryhel (*Alchemilla*), orlíček (*Aquilegia*), šalvěj (*Salvia*), smil (*Helichrysum*) aj. Nejlepší výsledky byly dosaženy u výhonů slivoní (*Prunus* sp.) a jabloní (*Malus* sp.), jejichž listy byly po působení roztoku připraveného v poměru 1:1 a době působení 7 dnů vláčné a karmínově zbarvené. Vhodnou bylinou pro použití roztoku glycerolu byl také kontryhel (*Alchemilla*) preparovaný za shodných podmínek. Rostliny zůstaly vláčné, morfologie byla zachována ale barva výhonů se změnila z původní, světle zelené na světle žlutou.

Dalšími doplňkovými pokusy byla stabilizace mechorostů. Ploník obecný (*Polytrichum commune*) byl totiž v lidovém léčitelství používán při potížích močových cest. Pro mechorosty je typické, že mají často vizuálně velmi odlišnou podobu v suchém a vlhkém stavu. Cílem tedy bylo připravit preparáty, na kterých by bylo možné demonstrovat habitus mechové rostliny za vlhka. Preparáty se připravily naložením mechů do roztoku vody s glycerolem v poměru 2:1, po dobu 5 dnů a následným sušením.

Výsledné preparáty tvarově dokonale vystihují habitus mechorostů ve vlhkém stavu. Nevýhodou je však změna barevnosti (zejména při vystavení dennímu světlu), u většiny druhů směrem do žlutých tónů, u druhu *Polytrichastrum formosum* do rezavě hnědé (obr. 8a, 8b).

Obr. 8a: Srovnání vzorků mechorostů sušených (vlevo) a stabilizovaných glycerolem (vpravo)
vijožub zkroucený (*Tortella tortuosa*)



ploník ztenčený (*Polytrichastrum formosum*)



Obr. 8b: Srovnání vzorků mechorostů sušených (vlevo) a stabilizovaných glycerolem (vpravo)
měřík čerť (Plagiomnium undulatum)



zoubkočepka šedá (Racomitrium canescens)



Obecně lze však konstatovat, že použití glycerolu u většiny bylin (kromě výše jmenovaných) k požadovaným výsledkům nevede. Glycerol se do jemnějších rostlinných pletiv obvykle nedostane, nebo dochází k nežádoucí změně struktury pletiv a barvy.

3.3 Lyofilizace rostlin

3.3.1 Princip metody

Lyofilizace, označovaná také jako sušení mrazem nebo sublimační sušení, je nízkoteplotní dehydratační proces založený na sublimaci, tedy přímém přechodu vody z pevného skupenství (ledu) do plynného skupenství (vodní páry) bez průchodu kapalnou fází. K sublimaci vody dochází za podmínek teploty a tlaku pod trojným bodem vody, který je definován teplotou 0,01 °C a tlakem 611,65 Pa. Za těchto podmínek kapalná fáze vody neexistuje a led přechází přímo do plynné fáze. Absence kapalné fáze omezuje smršťování a strukturální kolaps rostlinných pletiv (Jennings, 1999).

Lyofilizace biologického materiálu probíhá ve třech navazujících fázích. První fází je předzmrazení, při kterém se voda obsažená v pletivech převádí do pevného skupenství. Následuje primární sušení, při kterém za sníženého tlaku a řízeného přívodu tepla dochází k sublimaci volného ledu (Kasper, Friess, 2011). V této fázi se odstraní přibližně 90–95 % celkového množství vody. Poslední fází je sekundární sušení neboli desorpce, při kterém se za zvýšené teploty a hlubokého vakua odstraňuje zbývající nekovalentně vázaná, hygroskopická voda z buněčných struktur (Franks, 1998).

Kvalita výsledného lyofilizovaného materiálu je významně ovlivněna průběhem předzmrazení. Při pomalém zmrazování vznikají větší ledové krystaly, které mohou mechanicky narušovat buněčné stěny a podporovat následné deformace. Rychlé zmrazení omezuje tvorbu velkých krystalů a přispívá k zachování původní mikrostruktury rostlinných pletiv. Nízká teplota současně omezuje oxidační a enzymatické procesy, které mohou vést k degradaci barev a sekundárních metabolitů.

Významnou předností lyofilizace botanického materiálu je zachování jeho prostorové struktury. Při běžném sušení dochází při odstraňování kapalné vody k působení povrchového napětí a kapilárních sil, které přitahují buněčné stěny k sobě a vedou ke strukturálnímu kolapsu. Lyofilizace rovněž přispívá k zachování pigmentů, omezení oxidačních procesů a zachování mikroskopické pórovité struktury pletiv. Při standardní lyofilizaci ovšem může dojít k nafouknutí částí květů, což bylo pozorováno např. u sedmikrásky, talovínu (obr. 9), sněženky, violky a jiných.

Obr. 9: Talovín (*Eranthis*) s nafouknutými korunními lístky



Lyofilizace v ledové matrici

Pro tvarově složité, jemné a mechanicky nestálé botanické exponáty (např. květy léčivých rostlin) byla vyvinuta modifikace standardního postupu označovaná jako „lyofilizace v ledové matrici“. Zatímco při klasické lyofilizaci je zmrazený rostlinný materiál vystaven působení vakua přímo, při lyofilizaci v ledové matrici je čerstvý květ před zmrazením zalit definovaným objemem destilované, případně odplyněné vody (obr. 10). Následným zmrazením vzniká souvislý ledový blok, který obklopuje rostlinný orgán a tvoří jeho vnější ochrannou strukturu.

Základním principem této modifikace je posunutí sublimační fronty mimo vlastní povrch rostlinného orgánu. Sublimace nezačíná přímo na jemném povrchu okvětních lístků, ale na vnějším povrchu vytvořeného ledového bloku a postupuje směrem ke středu matrice. Rostlinný materiál je tak během kritické fáze sušení obklopen ledem, který současně působí jako vnější mechanická opora (exoskelet) a jako tepelný pufr (izolant).

Obr. 10: Ledová matrice s testovanými druhy



Hlavní inovativní přínos metody spočívá ve stabilizaci jemných částí rostliny v průběhu sublimace. U klasické lyofilizace je tvar jemných částí závislý především na vnitřním ledovém skeletu rostlinných pletiv. Okvětní lístky, pestíky, tyčinky a další jemné struktury mohou být při poklesu tlaku a postupném odstraňování ledu náchylné ke kroucení, deformaci nebo povadnutí. Vnější ledová matrice naproti tomu fixuje rostlinné pletivo v prostoru až do pokročilé fáze sušení a omezuje změny jeho polohy a tvaru.

Dalším efektem ledové matrice je omezení rizika lokálního tepelného šoku a strukturálního kolapsu. Při klasické lyofilizaci je rostlinný materiál přímo vystaven tepelné energii přiváděné z vyhřívaných polic (Ratti, 2001). Ledová matrice působí jako tepelný pufr a tlumí lokální změny teploty. Sublimační fronta postupuje přes vnější vrstvu čistého ledu směrem k rostlinnému materiálu, čímž je rostlinný orgán chráněn před přímým tepelným působením.

Nevýhodou této modifikace je větší množství ledu, který musí být během procesu odstraněn. Zatímco při klasické lyofilizaci se odstraňuje především voda obsažená v rostlinném materiálu, u ledové matrice je nutné odstranit také přidanou destilovanou vodu. To prodlužuje primární fázi sušení a zvyšuje časovou i energetickou náročnost procesu.

3.3.2 Potřebné vybavení

Pro realizaci lyofilizace botanického materiálu je zapotřebí vybavení umožňující přípravu, rychlé zmrazení a následné sublimační sušení vzorků. Pro přípravu rostlinného materiálu jsou využívány nerezové sušicí misky nebo police určené pro lyofilizátor. Materiál se na ně ukládá v jedné vrstvě s dostatečnými rozestupy, aby nedocházelo ke vzájemnému kontaktu vzorků a aby byl zajištěn rovnoměrný přenos tepla a odvod vodních par. U prostorově složitých květů je nutné zabránit stlačení korunních lístků.

Pro předzmrazení botanického materiálu je využívána hlubokomrazicí komora s nastavenou teplotou přibližně $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzorky se do předchlazené komory vkládají bezprostředně po přípravě. Podle objemu a hustoty materiálu se nechávají zmrazit zpravidla po dobu 6–12 hodin, aby celá struktura dosáhla stabilizované nízké teploty.

Vlastní proces sublimačního a desorpčního sušení probíhá v laboratorně-poloprovozním lyofilizátoru např. Amaru (Lyotrade). Zařízení je vybaveno sušicí komorou s vyhřívanými policemi, vakuovým systémem a integrovaným desublimačním kondenzátorem. Před zahájením procesu je nutné kondenzátor předchladit na provozní teplotu, která se podle nastavení zařízení pohybuje přibližně v rozmezí -30 až $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Současně se kontroluje čistota sušicí komory, těsnost dveří a funkčnost vakuového systému.

Pro přípravu ledové matrice je dále zapotřebí destilovaná, případně odplyněná voda. V původním technologickém postupu je doporučeno použití krystalicky čisté vody předchlazené přibližně na $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Voda slouží k vytvoření souvislého ledového obalu kolem rostlinného materiálu.

Po ukončení lyofilizace je pro bezpečné vyjmutí exponátů vhodný systém řízeného zavzdušnění suchým vzduchem nebo inertním plynem, například dusíkem. Vysušený materiál je následně nutné chránit před vzdušnou vlhkostí, například uložením do hermeticky uzavíratelných nádob, případně do výstavních krytů. Pro omezení vlhkosti lze použít také silikagel.

3.3.3 Technologický postup

A. Příprava a výběr rostlinného materiálu

Rostlinný materiál se odebírá ve vhodném stadiu fyziologické zralosti. Pro přípravu exponátů se vybírají zejména plně rozvinuté květy bez známek vadnutí nebo mechanického poškození. Sběr se provádí za suchého počasí, aby se omezilo množství povrchové vlhkosti. Z materiálu se odstraní mechanické nečistoty, poškozené části a případné nadbytečné listy. Pokud se na povrchu nachází voda, materiál se šetrně osuší. Připravené vzorky se následně uloží na nerezové misky v jedné vrstvě. Vzorky by se neměly vzájemně dotýkat a u prostorově tvarovaných květů je nutné zabránit stlačení korunních lístků.

B. Vytvoření ledové matrice

U inovované varianty lyofilizace byla do formy nalita přibližně 5 mm vrstva destilované vody, zmrazena při $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vytvořena tak spodní ledová základna. Na ni byl umístěn rostlinný materiál a následně zalit předchlazenou destilovanou vodou (cca $4\text{ }^{\circ}\text{C}$). V některých případech došlo k přimrznutí květu či květenství k ledové základně, což napomohlo jeho stabilizaci před zalitím vodou a následným zmrazením. Pokud materiál ke spodní vrstvě nepřimrzl a plaval na

hladině, byl zcela ponořen pomocí druhé plastové misky, která byla položena na hladinu a zatížena. Tím bylo zajištěno úplné ponoření vzorku.

Připravené misky se vzorky se bezprostředně po úpravě vloží do hlubokomrazicí komory předchladené na přibližně $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rychlé zmrazení omezuje tvorbu velkých ledových krystalů a přispívá k zachování struktury rostlinných pletiv. Vzorky se v komoře ponechají dostatečně dlouho, aby došlo k úplnému a homogenizovanému zmrazení celé struktury. Orientační doba stabilizace je 6–12 hodin v závislosti na objemu a druhu rostlin.

Při přípravě matrice je nutné zajistit rovnoměrné obklopení rostlinného orgánu ledem a současně minimalizovat riziko vzniku trhlin nebo mechanického poškození rostliny v důsledku rozpínání ledu.

C. Příprava lyofilizátoru

Před přenesením vzorků se uvede do provozu desublimační kondenzátor lyofilizátoru Amaru a nechá se předchladit na provozní teplotu přibližně -30 až $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Současně se zkontroluje čistota sušicí komory, stav těsnění a funkčnost vakuového systému.

D. Transfer zmrazených vzorků

Zmrazené vzorky se z mrazicí komory přenesou do sušicí komory lyofilizátoru v co nejkratším čase. Cílem je zabránit částečnému rozmrznutí rostlinných pletiv a kondenzaci vzdušné vlhkosti na jejich povrchu. Zároveň se odstraní druhá plastová miska.

E. Primární sušení – sublimace

Po uzavření komory se aktivuje vakuový systém. Pracovní tlak se sníží hluboko pod trojný bod vody na 40–70 Pa. Za řízeného přívodu tepla dochází k sublimaci ledu. Vodní pára vznikající sublimací proudí z materiálu ke studenému desublimačnímu kondenzátoru, kde přechází zpět do pevného skupenství. Teplo je do vzorků přiváděno prostřednictvím vyhřívaných polic. Rychlost ohřevu musí být řízena tak, aby nedocházelo k nadměrnému zvýšení tlaku vodní páry v komoře. U klasické lyofilizace trvá primární fáze podle původního postupu často přibližně 24–48 hodin. U lyofilizace v ledové matrici je vzhledem k většímu množství sublimovaného ledu proces delší a může dosahovat přibližně 48–72 hodin v závislosti na tloušťce matrice. Konec primární fáze je charakterizován odstraněním volného ledu.

F. Sekundární sušení – desorpce

V závěrečné fázi se odstraňuje zbývající nekovalentně vázaná hygroskopická voda z buněčných struktur. Tento proces vyžaduje dodání energie zvýšením teploty při současném udržování hlubokého vakua. U zařízení Amaru je podle použitého postupu sekundární sušení součástí primárního sušení.

G. Ukončení procesu a skladování

Po dokončení sušení se vypne ohřev polic a vakuový systém. Komora se následně řízeně zavzdušní suchým vzduchem nebo inertním plynem, například dusíkem. Řízené zavzdušnění omezuje prudké nasátí vlhkého okolního vzduchu do vysušených porézních pletiv.

Po otevření komory se exponáty ihned vyjmou a manipulace s nimi musí být velmi opatrná, protože vysušené rostlinné materiály jsou extrémně křehké a hygroskopické. Pro další uchování

se ukládají do hermeticky uzavíratelných nádob, případně do finálních výstavních nebo dekoračních krytů. Materiál je nutné chránit před vzdušnou vlhkostí a UV zářením.

3.3.4 Testované druhy rostlin

Tabulka č. 3 zobrazuje seznam testovaných druhů rostlin a jejich částí v průběhu řešení projektu.

Tabulka 3: Seznam testovaných druhů pro lyofilizaci

České jméno	Vědecké jméno	Rostlinná část	Termín sběru
boubelík velkokvětý	<i>Platycodon grandiflorus</i>	květenství	červenec
čemeřice nachová	<i>Helleborus purpurascens</i>	květ	květen
jetel luční	<i>Trifolium pratense</i>	květenství	květen
kontryhel	<i>Alchemilla</i> sp.	listy	květen
kostival lékařský	<i>Symphytum officinale</i>	květenství	květen
mateřídouška vejčitá	<i>Thymus pulegioides</i>	kvetoucí výhon	červenec
černohlávek velkokvětý	<i>Prunella grandiflora</i>	květenství	červenec
divizna černá	<i>Verbascum nigrum</i>	květenství	červenec
saturejka horská	<i>Satureja montana</i>	kvetoucí výhon	červenec
třapatkovka nachová	<i>Echinacea purpurea</i>	květenství	červenec
měsíček lékařský	<i>Calendula officinalis</i>	květenství	červenec
orlíček obecný	<i>Aquilegia vulgaris</i>	květ	červenec
plicník lékařský	<i>Pulmonaria officinalis</i>	květenství	květen
sedmikráska obecná	<i>Bellis perennis</i>	květenství	květen
šišák bajkalský	<i>Scutellaria baicalensis</i>	květenství	červenec
talovín zimní	<i>Eranthis hyemalis</i>	květ	březen

Příklady druhů rostlin, které byly lyofilizovány standardní metodou a metodou v ledové matrici zobrazují obr. 11 až 13.

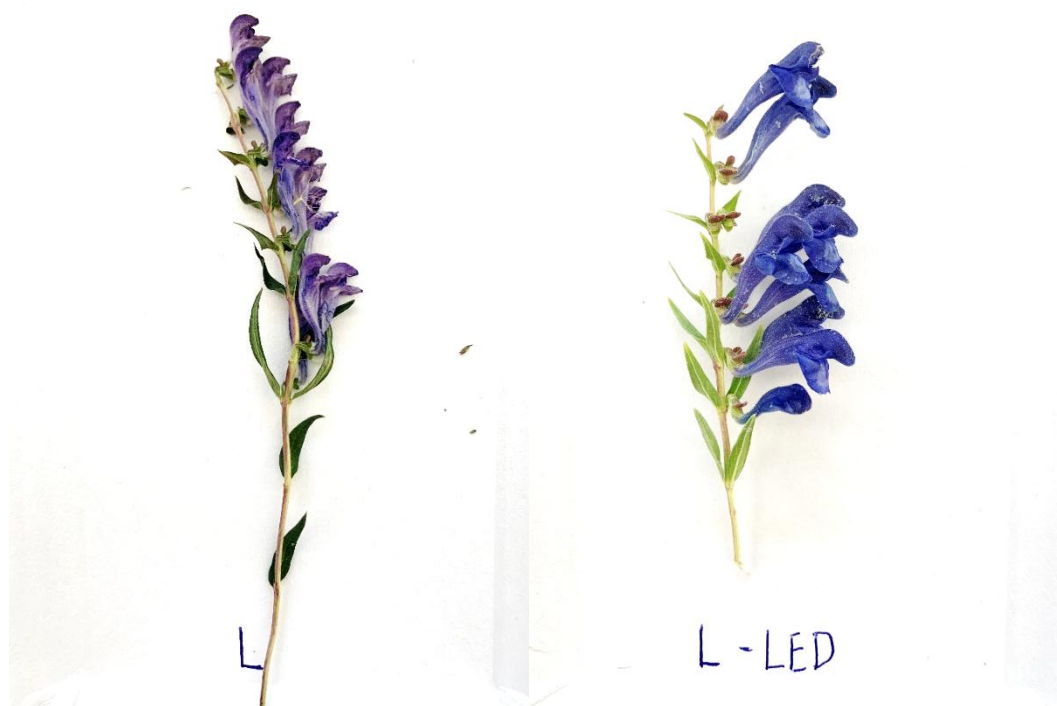
Obr. 11: boubelík (*Platycodon*) po standartní lyofilizaci (L) a lyofilizaci v ledové metrice (L-LED)



Obr. 12: mateřídouška (*Thymus*) po standartní lyofilizaci (L) a lyofilizaci v ledové metrice (L-LED)



Obr. 13: Šišák (*Scutellaria*) po standartní lyofilizaci (L) a lyofilizaci v ledové metrici (L-LED)



3.3.5 Zhodnocení a doporučení

Lyofilizace představuje vhodnou metodu konzervace léčivých rostlin a dalšího botanického materiálu, u kterého je požadováno zachování původního tvaru, prostorové struktury a barevnosti. Ve srovnání s konvenčním sušením omezuje strukturální kolaps pletiv, podporuje zachování původního trojrozměrného tvaru a prostorové struktury rostlinného materiálu a díky nízkým teplotám omezuje degradaci termolabilních pigmentů a některé oxidační a enzymatické procesy.

Klasická lyofilizace představuje technologicky jednodušší variantu. Rostlinný materiál je po přípravě přímo zmrazen a následně vložen do vakuové komory. Výhodou je menší množství ledu, které je nutné sublimovat, kratší doba procesu a nižší energetická a finanční náročnost. Tato metoda je vhodná zejména pro materiál, který si dokáže zachovat svůj tvar i po odstranění vnitřního ledového skeletu (např. čemeřice, třapatkovka).

Lyofilizace v ledové matrici představuje sice technologicky náročnější modifikaci, ale jejím hlavním přínosem je zvýšení mechanické stability rostlinného materiálu během sublimace. Ledová matrice působí jako vnější mechanická opora, fixuje rostlinný orgán v prostoru a omezuje deformace jemných částí. Současně působí jako tepelný pufr a snižuje riziko lokálního přehřátí a strukturálního kolapsu. Kritickým bodem může být samotná příprava matrice. Při nesprávném průběhu zmrazování může v důsledku rozpínání ledu vzniknout vnitřní pnutí, které může jemný rostlinný materiál mechanicky poškodit nebo způsobit vznik trhlin

v ledovém bloku. Příprava matrice proto vyžaduje přesnější manipulaci než klasická lyofilizace.

Lyofilizaci v ledové matrici je vhodné využít především u tvarově složitých, jemných a mechanicky nestabilních botanických exponátů, kde je prioritou maximální zachování původní prostorové struktury (z léčivek např. orlíček, šišák, sedmikráska). Její použití je však nutné spojit s precizní přípravou ledové matrice a počítat s delší dobou procesu a vyššími energetickými a tím i finančními nároky.

3.4 Konzervace rostlin v pryskyřici

3.4.1 Princip metody

Tato metoda je založena na trvalém a nezvratném uzavření biologického materiálu do transparentní, pevné polymerní matrice. Konzervace rostlin je prováděna zalitím sušeného rostlinného materiálu do syntetické pryskyřice (obr. 14).

Existují dva základní typy pryskyřice lišící se principem vytvrzování. Jednosložková UV pryskyřice je vytvrzována působením UV záření (UV lampa či sluneční záření) a je vhodná spíše pro drobné výrobky a šperky. Tato metodika se zabývá využitím epoxidové pryskyřice, což je dvousložkový systém, sestávající ze syntetické pryskyřice (složka A) a tvrdidla (složka B). Smísením těchto dvou složek v přesném poměru dochází k vytvrzování, tedy k nevratné exotermické chemické reakci (polymerizaci), při níž materiál přechází z kapalného do pevného skupenství. Výsledný blok se vyznačuje vysokou mechanickou odolností.

Obr. 14: Vzorky vybraných květů zalitých v pryskyřici (zleva fialky s bílými a fialovými květy, divizna velkokvětá, sedmikráska chudobka)



Základním předpokladem pro úspěšné využití této metody je absence vody v rostlinných pletivech (Magullion, 1975). Zbytková vlhkost může negativně ovlivnit vytvrzování a vzhled výsledného odlitku a může přispívat ke vzniku zákalu, bublin nebo dlouhodobé degradaci biologického materiálu. Z tohoto důvodu musí zalévání předcházet dokonalá dehydratace materiálu. V této metodice se pro vysušení rostlinných materiálů využívá sušení v silikagelu (viz kapitola 4.1). Tento postup umožňuje výrazné snížení obsahu vody v rostlinném materiálu a při správném provedení poskytuje dostatečně suchý materiál pro následné zalévání. Zároveň napomáhá zachování původního tvaru a barvy rostlinného materiálu, což umožňuje vytvářet realistické 3D exponáty.

Důležitým aspektem je volba vhodného typu epoxidové pryskyřice. Na trhu je dostupné velké množství produktů, důležité je především správně zvolit vhodný typ dle požadavků na finální výrobek. Jedná se především o otázku rozměrů, protože každá nabízená pryskyřice má definovanou maximální vrstvu, ve které je možné ji odlít. Při překročení tohoto limitu dochází k exotermické reakci, která může způsobit tvarovou deformaci vyráběného exempláře a tepelné poškození rostlinného vzorku. Je možné pracovat v postupně odlévaných vrstvách, jedná se však o časově náročný postup.

Při práci bez profesionálního odvětrávacího zařízení (vakuové komory) představuje významný problém vznik drobných vzduchových bublin. Tyto bubliny jsou do směsi vneseny buď mechanicky během míchání složek nebo unikají z pórů samotné rostliny. Volba pryskyřice s nízkou viskozitou a delším časem vytvrzování umožňuje vzduchovým bublinám lépe unikat a stoupat k povrchu, což může snížit jejich množství v hotovém výrobku.

Jedním z hlavních technologických limitů epoxidových pryskyřic a organických pigmentů je jejich postupná degradace vlivem dlouhodobého působení ultrafialového (UV) záření, tepla a působením kyslíku. Působením těchto faktorů postupem času dochází ke žloutnutí epoxidové pryskyřice (Wu et al., 2022) a postupnému vyblednutí původních rostlinných barviv. Pro zpomalení těchto procesů je vhodné volit pryskyřice s UV ochranou, které bývají označovány jako UV stálé či UV stabilní.

3.4.2 Potřebné vybavení

Pro přípravu rostlinného vzorku je potřebný jemný štětec pro dokonalé očištění od zbytků silikagelu.

Pro přípravu epoxidové pryskyřice pro zalévání je klíčový především výběr vhodného produktu pro tento typ výrobku. Je nutná také kontrola doby použitelnosti, ve většině případů se jedná o 1 až 2 roky od data výroby (pokud produkt nebyl otevřen). Dále je potřebná přesná digitální váha s přesností na desetiny gramu, neboť míchání složek probíhá zásadně na základě hmotnostního poměru. Vhodné je použití plastových kelímků či silikonových odměrek. K míchání se používají plastové či silikonové špachtle s rovným okrajem, není vhodné používat elektrická míchadla (nadměrná tvorba vzduchových bublin). Vhodnou pomůckou je také preparační jehla nebo dřevěné párátko pro manuální uvolňování bublin zachycených na povrchu rostliny.

Pro zalévání rostlinného materiálu a následné snadné vyjmutí odlitků je nejvhodnější využít silikonové formy. Podstatné je přizpůsobit tvar a velikost formy danému rostlinnému vzorku, vnitřní povrch formy by měl být dokonale hladký, příklad vhodné a nevhodné formy (s hrubým povrchem) viz obr. 15. Silikonové formy je možné využívat opakovaně, ale po určitém počtu použití může docházet k poškození povrchu a tím i horší kvalitě odlitků.

Z hlediska bezpečnosti práce a ochrany zdraví je nutné, aby proces zalévání probíhal ve velmi dobře větrané místnosti nebo u lokálního odsávání, jelikož se při polymerizaci uvolňují těkavé organické látky. K nutnému vybavení patří ochranné brýle, nitrilové rukavice a také ochrana dýchacích cest (např. filtr A2 proti plynům a výparům), dle specifikace v bezpečnostním listu konkrétního výrobku. Nevytvrzená epoxidová pryskyřice by neměla přijít do přímého kontaktu s pokožkou.

Obr. 15: Výsledek vhodně (vlevo) a nevhodně (vpravo) zvolené formy pro odlití vzorku



3.4.3 Technologický postup

A. Příprava rostlinného materiálu

Rostlinný materiál musí být před procesem zcela zbaven vlhkosti, k čemuž se využívá důkladné vysušení v silikagelu v uzavřené nádobě (viz kapitola 3.1) nebo procesu lyofilizace (viz kapitola 3.3). V rámci našeho testování trvalo sušení rostlinných částí v silikagelu přibližně 1–3 týdny v závislosti na robustnosti tkání. Po opatrném vyjmutí a oprášení jemným štětcem zůstává zachován skelet buněčných stěn a původní tvar, avšak pletiva jsou vysoce porézní a plná vzduchu. Tento vzduch má tendenci unikat do pryskyřice a znehodnocovat vizuální kvalitu odlitku.

B. Míchání pryskyřice a odvzdušnění

Požadované množství složky A se odváží do čisté nádoby. Následně se do této naváží i složka B (tvrdidlo) v poměru stanoveném výrobcem – poměr je většinou udáván hmotnostně. Směs se míchá velmi pomalými, táhlými pohyby po dobu 3–5 minut, aby se do kapaliny vneslo co nejméně vzduchu. Důležité je promíchat směs dostatečně, včetně dna a stěn nádoby. Namíchaná pryskyřice se nechá několik minut odstát při pokojové teplotě. Většina větších vzduchových bublin během této doby přirozeně vystoupá k hladině, kde praskne.

C. Vytvoření kotevní vrstvy a fixace vzorku

Do silikonové formy se odlíje první podkladová vrstva pryskyřice o síle 3–5 mm. Lití se provádí velmi tenkým pramínkem a z co nejmenší výšky. Rostlinný vzorek se opatrně umístí do podkladové vrstvy a podle potřeby se lehce přitlačí tak, aby pod ním nezůstala vzduchová kapsa

(obr. 16). Lehký rostlinný materiál se přirozeně udržuje u hladiny, důležité je zkontrolovat, aby pod vzorkem nezůstala vzduchová kapsa. Drobné bublinky je možné uvolnit preparační jehlou či párátkem.

Obr. 16: Proces instalace květů do silikonové formy



D. Finální zalévání

Podkladová vrstva se vzorkem se ponechá částečně vytvrdit v pokojové teplotě (několik hodin až den). Důležité je zakrytí formy, aby se na odlité vrstvě neusadily prachové částice či jiné nečistoty. Poté se připraví další dávka pryskyřice postupem popsáním v kroku B. Exponát se zalévá extrémně pomalu a tenkým pramínkem, ideálně mimo samotnou rostlinu, aby hladina pryskyřice přirozeně stoupala a postupně rostlinu zaplavovala odspodu.

E. Vytvrzování

Forma se zakryje proti usedání prachu a umístí do stabilního prostředí s pokojovou teplotou, mimo dosah slunečního záření. Proces úplného vytvrzení trvá u pomalu reagujících hmot obvykle 48 až 72 hodin. Finální doba vytvrzování závisí na konkrétním systému, teplotě a tloušťce odlitku a musí se řídit pokyny výrobce. Po dokončení polymerizace se odlitek vyjme z formy. Hotové odlitky by měly být i přes UV stabilizaci primárně skladovány a vystavovány mimo přímý dosah slunečního světla a jiných zdrojů UV záření.

3.4.4 Testované druhy rostlin

V rámci testování byla metoda zalévání do epoxidové pryskyřice vyzkoušena na sortimentu léčivých rostlin i dalších druhů, důležitá byla především rozmanitost barev. Konzervovány byly především květy a jiné drobné části rostlin. Tabulka č. 4 zobrazuje seznam testovaných druhů rostlin a jejich částí v průběhu řešení projektu.

Tabulka 4: Seznam testovaných druhů pro konzervaci epoxidovou pryskyřicí

České jméno	Vědecké jméno	Rostlinná část	Termín sběru
aksamitník rozkladitý	<i>Tagetes patula</i>	květ	říjen
aksamitník tenkolistý	<i>Tagetes tenuifolia</i>	květ	říjen
astříčka hladká	<i>Symphotrichum laeve</i>	květ	říjen
astříčka nízká	<i>Symphotrichum dumosum</i>	květ	říjen
astříčka srdcolistá	<i>Symphotrichum cordifolium</i>	květ	říjen
brutnák lékařský	<i>Borago officinalis</i>	květ	říjen
kalibrachoa	<i>Calibrachoa</i> sp.	květ	říjen
levandule lékařská	<i>Lavandula angustifolia</i>	květenství	říjen
lobelka modrá	<i>Lobelia erinus</i>	květ	říjen
máta korutanská	<i>Mentha × carinthiaca</i>	květenství	říjen
nestařec americký	<i>Ageratum houstonianum</i>	květ	říjen
ostálka velkokvětá	<i>Zinnia grandiflora</i>	kvetoucí stonek	říjen
řebříček obecný	<i>Achillea millefolium</i>	list	březen
sedmikráska obecná	<i>Bellis perennis</i>	květ	březen
smil řapíkatý	<i>Helichrysum petiolare</i>	výhon	říjen
šalvěj Greggova	<i>Salvia greggii</i>	květ	říjen
violka rohatá	<i>Viola cornuta</i>	květ	říjen
violka vonná	<i>Viola odorata</i>	květ	březen
vitálka položená	<i>Sanvitalia procumbens</i>	květ	říjen
zlatice prostřední	<i>Forsythia × intermedia</i>	květ	březen

3.4.5 Zhodnocení a doporučení

Tato metoda založená na zalévání sušených rostlinných vzorků do epoxidové pryskyřice je vhodná pro běžnou školní praxi, menší muzejní provozy a edukační centra, kde není dostupné nákladné laboratorní zázemí, ale je vyžadována tvorba odolných pomůcek určených k přímé manipulaci studenty a návštěvníky. Metoda vyžaduje trpělivost, pečlivost při manuálním odstraňování bublin a dodržování technologických kroků. Výsledné odlitky jsou vysoce vizuálně atraktivní (obr. 17).

Důležitým aspektem je volba vhodné pryskyřice, v rámci testování docházelo u některých produktů k vyšší tvorbě vzduchových bublin. Dle použitého produktu se také odlitky po delší době skladování (1 rok bez přímého slunečního záření) začaly lišit mírou změny barvy a docházelo ke žloutnutí pryskyřice. Jako vhodné se jeví např. pryskyřice Epox G300 (viz obr. 18 první zleva). Další možností optimalizace metody je použití bezbarvého akrylového laku s UV ochrannou složkou na povrchu hotového odlitku nebo na sušeném rostlinném materiálu před jeho zalitím. Vliv tohoto ošetření na stabilitu barvy, smáčení a přilnavost epoxidové pryskyřice a na uvolňování vzduchu z rostlinných pletiv by však bylo nutné experimentálně ověřit.

Obr. 17: Výstavní exponát ostálky velkokvěté (*Zinnia grandiflora*) v pryskyřici



Obr. 18: Žloutnutí pryskyřice při dlouhodobém skladování po 2,5 letech



Na povrchu odlitku se mohou vyskytnout drobné nerovnosti. Pomocí rychlého přejetí horkovzdušnou pistolí po povrchu čerstvě nalité pryskyřice by bylo možné množství vzduchových bublin snížit. Další nerovnosti a případné ostré hrany by mělo být možné po dokonalém vytvrzení odlitku eliminovat postupným mokrým broušením až do velmi jemných brusných papírů a následným použitím leštící pasty pro dosažení dokonale skelného efektu (Pratheeksha, Tanuja, 2024). V rámci našich experimentů však tyto postupy nebyly ověřovány.

Celkově lze metodu konzervace rostlin v epoxidové pryskyřici hodnotit jako zajímavou a vhodnou pro tvorbu vizuálně atraktivních exponátů s vysokou mechanickou odolností. Pokud je vzorek vhodně usušen a je zachován jeho přirozený tvar, tak zalitím do pryskyřice je tento

tvár fixován velmi dobře. U některých vzorků však byla pozorována postupná degradace barev rostlinných materiálů či žloutnutí pryskyřice, což může postupem času hodnotu exponátu snížit.

4. Porovnání metod preparace a konzervace

Výsledky ukázaly, že jednotlivé způsoby preparace a konzervace poskytují rozdílné možnosti podle charakteru rostlinného materiálu a požadavků na výsledný exponát. Při jejich celkovém hodnocení byly sledovány především zachování tvaru, barevnosti, náročnost přípravy a předpoklady pro dlouhodobé uchování.

Z hlediska zachování tvaru byly mezi metodami patrné rozdíly především u prostorově členitých a jemných rostlinných částí. Sušení v substrátech umožnilo u řady květů zachovat jejich trojrozměrný charakter, zatímco u některých materiálů se projevila deformace nebo změna mechanických vlastností. Glycerolová stabilizace poskytla materiálu větší pružnost, což se ukázalo jako významná výhoda zejména u celých rostlin a obilnin. Z testovaných obilnin byla v glycerolu nejlépe hodnocena pšenice, která si zachovala vhodné mechanické vlastnosti a celkový vzhled. Lyofilizace poskytla dobré zachování původní struktury a prostorového uspořádání, zatímco u exponátů konzervovaných v pryskyřici byla jejich tvarová stabilita podpořena mechanickým zpevněním celé matrice.

Barevnost se ukázala jako vlastnost výrazně závislá nejen na použité metodě, ale také na konkrétním druhu a výchozím zbarvení rostlinného materiálu. Výsledky proto neumožňují určit jednu metodu jako obecně nejvhodnější z hlediska zachování barvy. U některých rostlin byly rozdíly mezi metodami zřetelné již po ukončení preparace, u jiných byly změny méně výrazné. Při hodnocení barevnosti je však nutné počítat také s vlivem času. Ke změnám barvy může docházet postupně i po dokončení preparace a dlouhodobým působením okolních podmínek může původní barevnost pomalu slábnout nebo se měnit.

Z hlediska náročnosti přípravy se metody liší především požadavky na vybavení, čas a přesnost provedení. Sušení v substrátech a glycerolová stabilizace představují technologicky dostupnější postupy, zatímco lyofilizace vyžaduje specializované zařízení. Konzervace v pryskyřici je náročnější zejména na přesnost manuálního zpracování a přípravu výsledného odlitku. Praktická náročnost proto nesouvisí pouze s délkou procesu, ale také s přípravou materiálu a požadavky na následnou manipulaci.

Dlouhodobá stabilita představuje hledisko, které je nutné posuzovat nejen podle vlastností samotné metody, ale také podle podmínek následného uložení a vystavení. U suchých rostlinných exponátů představuje významný faktor především vlhkost prostředí, která může ovlivnit jejich mechanické vlastnosti i vzhled. Pro dlouhodobé výstavní využití lze proto vhodnost jednotlivých metod podpořit také vhodným způsobem prezentace. Jednou z možností je umístění exponátu do uzavřeného výstavního systému krytého sklem s použitím vhodného desikantu, který omezuje působení vzdušné vlhkosti a současně chrání exponát před přímým kontaktem a mechanickým poškozením. Takové řešení může být významné zejména u exponátů určených k dlouhodobému vystavení v muzeích a dalších paměťových institucích.

5. Uchovávání a péče o preparované exponáty

Dlouhodobá kvalita a životnost preparovaných botanických exponátů závisí nejen na způsobu jejich přípravy, ale také na podmínkách, ve kterých jsou následně uchovávány, prezentovány a manipulovány. U stabilizovaných, sušených i lyofilizovaných rostlinných materiálů je důležité zejména omezení působení vzdušné vlhkosti, prachu, přímého slunečního záření a mechanického namáhání (Tétreault, 2018; Cassar, 2013).

Preparované rostliny by měly být po dokončení procesu uchovávány v suchém a čistém prostředí s co nejstabilnějšími podmínkami. Zvláštní význam má relativní vlhkost vzduchu. Lyofilizovaný materiál je vzhledem ke své porézní struktuře náchylný k opětovnému přijímání vzdušné vlhkosti, což může vést ke změně tvaru, změkčení nebo ztrátě mechanické stability. (Ratti, 2001). U preparace rostlin glycerolem zůstává tato látka součástí rostlinných pletiv, je však rovněž hygroskopická a při zvýšené vzdušné vlhkosti může přijímat vodu z okolního prostředí (Campbell et al., 2000). To může způsobit zvýšení povrchové vlhkosti a případné vylučování glycerolu.

5.1 Podmínky skladování, manipulace a prezentace

Pro dlouhodobé uchování je vhodné umístit preparáty do suchého, čistého a pokud možno stabilního prostředí. Neměly by být vystaveny přímému slunečnímu záření ani výrazným změnám teploty a relativní vlhkosti. Přímé sluneční záření může postupně ovlivňovat barevnost rostlinného materiálu, zatímco zvýšená vlhkost podporuje změny fyzikálních vlastností preparátu a může vytvářet vhodné podmínky pro rozvoj mikroorganismů. U volně vystavených preparátů je nutné počítat také s usazováním prachu. Prach může ulpívat zejména na jemných strukturách květů a listů a jeho následné odstraňování může vést k jejich mechanickému poškození. Z tohoto důvodu je pro dlouhodobou prezentaci vhodnější ochranný kryt, například skleněná vitrína, dóza nebo jiný uzavíratelný transparentní systém.

U exponátů uložených v uzavřeném prostoru lze podle potřeby využít také desikant, například silikagel. Jeho úkolem je omezovat množství vzdušné vlhkosti uvnitř uzavřeného prostoru. Při použití desikantu je nutné zabránit jeho přímému kontaktu s exponátem a současně umožnit dostatečnou výměnu vodních par mezi exponovaným prostorem a prostorem obsahujícím desikant.

S preparovanými rostlinami je nutné manipulovat šetrně, přestože vykazují vyšší mechanickou odolnost. Při přenášení celých rostlin je vhodné uchopovat především jejich pevnější spodní část nebo konstrukční podstavec, nikoli rostliny samotné. Při instalaci do výstavních prostor je vhodné předem připravit způsob uchycení tak, aby nebylo nutné rostlinu opakovaně upravovat nebo mechanicky namáhat. U křehkých struktur je výhodné zajistit stabilní fixaci spodní části stébela nebo stonku.

Pravidelná kontrola by měla být zaměřena především na stav rostlinného materiálu, případné změny barevnosti, výskyt plísní, mechanické poškození a u uzavřených systémů také na stav desikantu. Pokud dojde k jeho nasycení vlhkostí, je nutné jej regenerovat nebo vyměnit. U glycerolem stabilizovaných rostlin je vhodné sledovat také případné zvýšení povrchové vlhkosti nebo vznik kapek glycerolu.

Při čištění není přímo na rostlinný materiál vhodné používat vodu ani jiné kapaliny. Prach je vhodnější odstraňovat suchým a šetrným způsobem, případně jej raději ponechat na povrchu, pokud by jeho odstranění znamenalo riziko poškození jemných struktur.

Pro výstavní a výukové účely lze preparované rostliny prezentovat několika způsoby podle požadované míry ochrany. Nejjednodušší možnost představuje volná instalace ve vitríně nebo jiném krytém výstavním prostoru. Tento způsob umožňuje dobře vyniknout celkovému habitu rostliny, ale poskytuje pouze omezenou ochranu před prachem a změnami vzdušné vlhkosti.

Pro jednotlivé menší exponáty lze využít uzavíratelné skleněné nádoby nebo dózy. Ty umožňují vytvořit kolem preparátu relativně stabilní mikroprostor a současně zachovávat jeho vizuální dostupnost. Do uzavřeného prostoru lze podle potřeby integrovat desikant.

Pro trojrozměrné exponáty, u nichž je současně požadována mechanická fixace, ochrana před okolním prostředím a estetická prezentace, byl navržen specializovaný výstavní a prezentační systém.

5.2 Výstavní a prezentační systém pro trojrozměrné stabilizované botanické preparáty

5.2.1 Princip a konstrukční řešení

Pro dlouhodobou prezentaci trojrozměrných stabilizovaných a lyofilizovaných léčivých rostlin a dalších botanických exponátů byl navržen doplňkový ochranný systém využívající uzavřený mikroprostor. Jeho cílem je současně chránit exponát před mechanickým poškozením a prachem a umožnit regulaci vlhkosti uvnitř uzavřeného prostoru. Systém kombinuje sériově vyráběnou skleněnou dózu z borosilikátového skla s těsnícím víčkem a individuálně navržený podstavec vyrobený technologií 3D tisku.

Základním konstrukčním principem je instalace dózy v obrácené poloze. Skleněná část tvoří průhledný ochranný kryt a plastové víčko slouží jako základna celého systému. Do víčka je vložen 3D tištěný podstavec, který zajišťuje fixaci exponátu a současně vytváří prostor pro desikant. V geometrickém středu podstavce je integrována vertikální fixační trubička s vnitřním průměrem 10 mm. Do tohoto prostoru lze aplikovat fixační materiál, do kterého se následně upevní spodní část stébla nebo stonku preparátu. Tímto způsobem lze zajistit stabilní a kolmé umístění rostliny a současně omezit mechanické namáhání při manipulaci s celým exponátem. Konkrétní typ fixačního materiálu je vhodné volit podle vlastností preparátu. Pro účely návrhu systému bylo uvažováno využití tavného termoplastického lepidla, případně jiného snadno aplikovatelného fixačního materiálu umožňujícího případné pozdější vyjmutí nebo výměnu preparátu.

V těle 3D tištěného podstavce je vytvořen samostatný prostor pro umístění silikagelového desikantu. Tento prostor je propojen s vnitřním objemem ochranné dózy pomocí větracích otvorů nebo spár. Principem je pasivní sorpce vodní páry silikagelem uvnitř uzavřeného prostoru. Desikant tak pomáhá omezovat změny relativní vlhkosti, které by mohly nepříznivě ovlivňovat stav preparátu.

V navrženém řešení jsou po obvodu horní části podstavce vytvořeny vertikální větrací spáry o šířce 1,0 mm a výšce 10,0 mm s roztečí 17,5 mm. Jejich účelem je umožnit průchod vodní páry mezi prostorem preparátu a prostorem s desikantem a současně omezit možnost vypadávání desikantu do výstavního prostoru. Použití konkrétního typu polymeru pro 3D tisk, stejně jako přesné parametry tisku, je nutné uvést podle finální konstrukční a materiálové specifikace výrobku.

5.2.2 Potřebné vybavení a materiál

Pro sestavení výstavního systému jsou zapotřebí:

- skleněná dóza z borosilikátového skla (např. SIMAX) s těsnicím víčkem,
- 3D tištěný podstavec podle konstrukční dokumentace (příloha 1),
- fixační materiál pro upevnění stébka nebo stonku,
- silikagelový desikant o zrnitosti 2 – 5 mm,
- preparovaný botanický materiál,
- případně označení exponátu a informační štítek.

Pro dlouhodobé používání systému je vhodné používat takový typ silikagelu, jehož velikost částic odpovídá konstrukci větracích otvorů a který lze po nasycení regenerovat nebo snadno vyměnit.

5.2.3 Technologický postup montáže a instalace

Do prostoru určeného pro desikant se vloží suchý nebo regenerovaný silikagel. Množství desikantu se stanoví podle vnitřního objemu uzavřeného prostoru a požadované doby účinnosti. Desikant nesmí být v přímém kontaktu s botanickým exponátem. Po naplnění se podstavec vloží do těsnicího víčka skleněné dózy a ověří se jeho stabilní usazení. Spodní část stébka nebo stonku se upraví tak, aby ji bylo možné zasunout do centrální fixační trubičky. Do fixačního prostoru se aplikuje zvolený fixační materiál a preparát se následně umístí do požadované polohy. Po dobu tuhnutí fixačního materiálu je nutné rostlinu stabilizovat tak, aby zůstala ve správné vertikální poloze a nedošlo k jejímu vychýlení.

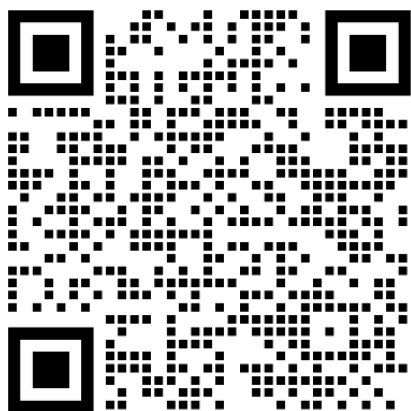
Před uzavřením se vnitřní povrch skleněné dózy očistí od prachu a případných otisků. Skleněný kryt se následně nasadí na připravené víčko s upevněným exponátem a podstavcem. Po uzavření vzniká chráněný mikroprostor, v němž lze pomocí silikagelu omezovat působení vzdušné vlhkosti. Ukázka uchycení rostlinného exponátu v podstavci je v příloze 2.

Součástí prezentace může být označení exponátu obsahující český a případně latinský název rostliny, způsob její stabilizace a další základní informace. Pro rozšíření informací lze využít QR kód odkazující na digitální dokumentaci. Ta může obsahovat podrobnější informace o druhu, způsobu preparace, podmínkách stabilizace, konstrukci prezentačního systému nebo další obrazové a technické materiály.

5.2.4 Digitální podklady a otevřená dostupnost

Podklad pro konstrukční řešení 3D tištěného podstavce digitálně zpracoval Jozef Sedláček. Pro podporu opakovatelnosti a dalšího využití navrženého prezentačního systému je konstrukční dokumentace dostupná v digitální podobě v otevřeném online úložišti.

3D model podstavce je volně k dispozici ve formátu 3MF a lze jej stáhnout prostřednictvím následujícího QR kódu:



5.2.5 Zhodnocení a doporučení

Navržený výstavní a prezentační systém představuje praktické řešení pro dlouhodobou prezentaci jednotlivých trojrozměrných botanických preparátů. Kombinuje průhledný ochranný kryt, mechanickou fixaci exponátu a možnost pasivní regulace vlhkosti pomocí integrovaného desikantu.

Významnou výhodou je ochrana preparátu před prachem a přímým mechanickým kontaktem při současném zachování dobré viditelnosti exponátu. Integrovaný prostor pro silikagel umožňuje vytvořit uvnitř uzavřené dózy stabilnější mikroklimatické podmínky a v případě nasycení lze desikant vyměnit nebo regenerovat.

Modulární konstrukce současně umožňuje systém opakovaně sestavovat a přizpůsobovat různým typům botanických exponátů. 3D tištěný podstavec lze podle potřeby upravit změnou geometrie fixační části nebo prostoru pro desikant.

6. Praktické využití trojrozměrných rostlinných exponátů

Trojrozměrné rostlinné exponáty mohou najít uplatnění v řadě oblastí, ve kterých je důležité názorné a dlouhodobě dostupné představení rostlinného materiálu. Významné využití představují především výuka a vzdělávání, kde mohou exponáty sloužit jako názorná pomůcka při seznamování se stavbou rostlin, jejich morfologickými znaky, vývojovými stadii nebo rozdíly mezi jednotlivými druhy. Na rozdíl od obrazových materiálů umožňují přímé pozorování skutečného rostlinného materiálu a jeho prostorového uspořádání. Mohou být využity ve školách, při praktické výuce, demonstračních cvičeních i při tvorbě výukových sbírek.

Další významnou oblastí jsou muzea, botanické zahrady a další paměťové a výstavní instituce, kde mohou preparované rostliny sloužit jako součást dlouhodobých nebo tematicky zaměřených expozic. Jejich výhodou je možnost uchovat rostlinný materiál po delší dobu a prezentovat jeho charakteristické znaky i mimo období, kdy je rostlina přirozeně dostupná nebo kvete. Vhodně připravené exponáty mohou doplnit také sbírkové fondy a tematické instalace zaměřené například na významné druhy rostlin, jejich využití nebo vztah k určitému prostředí.

Trojrozměrné exponáty mají potenciál také v oblasti popularizace vědy a environmentálního vzdělávání. Pro veřejnost mohou představovat názorný prostředek k přiblížení rostlinné rozmanitosti, významu rostlin v ekosystémech nebo problematiky jejich ochrany. Prostorové exponáty mohou zvýšit názornost výstav a usnadnit návštěvníkům pochopení biologických souvislostí, které je obtížné zprostředkovat pouze prostřednictvím fotografií nebo textu.

7. Závěr

Na základě provedených pokusů lze konstatovat, že vhodnost jednotlivých metod preparace a konzervace závisí především na druhu rostlinného materiálu, jeho morfologii a požadavcích na vlastnosti výsledného exponátu. Pro praktické využití lze na základě získaných výsledků formulovat následující doporučení.

Sušení v silikagelu a dalších sušicích substrátech je vhodné především pro květy a další menší, prostorově členité části rostlin, u nichž je požadováno zachování přirozeného trojrozměrného tvaru. Z použitých substrátů se jednotlivé varianty lišily nicméně silikagel ve frakci 0,5-1 mm se jeví jako nejvhodnější substrát pro sušení druhů jako je sléz lesní a topolovka růžová. Tato metoda představuje také prakticky dostupný způsob přípravy exponátů bez potřeby specializovaného zařízení.

Glycerolová stabilizace se jeví jako vhodná zejména pro rostlinný materiál, u něhož je žádoucí zachovat určitou pružnost a omezit křehnutí nebo rozpadavost. Vždy je nutné počítat se změnou barevnosti. U obilnin je výhodou, že změna barevnosti při konzervaci glycerolem koresponduje s přirozenými barevnými změnami rostlin v průběhu zrání. U dlouhých stébel a klasů je však nutné počítat s požadavkem na dostatečné a rovnoměrné prostoupení glycerolem. Z testovaných obilnin poskytla nejlepší výsledek pšenice. Pokusy se stabilizací léčivého druhu břečťan popínavý, poskytují zachování tvaru a dobrou pružnost, nicméně dochází ke změnám v barvě.

Lyofilizaci lze doporučit tam, kde je hlavním požadavkem co nejvěrnější zachování původní struktury, tvaru a barevnosti rostlinného materiálu. Je vhodná zejména pro cennější nebo citlivé exponáty, u nichž je požadována vysoká kvalita výsledku. Mezi vhodné druhy rostlin se pro tuto metodu jeví např. šišák bajkalský. Širší využití metody však omezuje potřeba specializovaného zařízení a vyšší technologická náročnost.

Konzervaci v epoxidové pryskyřici lze doporučit především pro menší exponáty, u nichž je důležitá mechanická odolnost a možnost bezpečné manipulace. Ověřené druhy pro tento typ konzervace jsou z léčivek například máta (*Mentha*) či violka (*Viola*). Uzavření rostlinného materiálu do pryskyřice současně umožňuje vytvořit kompaktní exponát vhodný pro dlouhodobou prezentaci. Při tomto způsobu konzervace je však vhodné zohlednit také dlouhodobou barevnou stabilitu použité pryskyřice.

Pro dlouhodobé muzejní a výstavní využití je vhodné jednotlivé metody doplnit odpovídajícím způsobem uložení. Zejména u sušených a lyofilizovaných exponátů lze doporučit jejich umístění do uzavřeného výstavního systému krytého sklem a s použitím vhodného desikantu. Takové řešení může omezit působení vzdušné vlhkosti a zároveň chránit exponát před prachem a mechanickým poškozením.

8. Srovnání novosti postupů

Doposud publikované práce (Kučková, 2008; Leemans, 1991; Luňáčková, 1993) se soustředí na přípravu rostlinného materiálu zejména pro floristické využití, s menším důrazem na zachování původního vzhledu a charakteristických znaků. Za hlavní nový přínos práce lze považovat ověření několika různých postupů z hlediska jejich využití pro přípravu trojrozměrných rostlinných exponátů zejména z léčivých rostlin.

Lyofilizace v ledové matrici představuje významně inovovaný a perspektivní způsob preparace zejména u tvarově složitých a mechanicky citlivých rostlinných částí, protože ledová matrice poskytuje materiálu během procesu oporu a napomáhá zachování jeho přirozeného prostorového uspořádání.

Praktický význam má také nově ověřené **využití glycerolu při stabilizaci obilnin a mechů**, kde se prokázala možnost připravit exponáty s lepší mechanickou stabilitou a omezenou rozpadavostí. Tento přístup tak rozšiřuje možnosti využití glycerolové stabilizace i na materiál, u něhož může být klasické vysušení spojeno s lámáním jednotlivých částí a následnou ztrátou celistvosti exponátu (např. tis).

Třetím novým poznatkem je **převaha silikagelu mezi hodnocenými sušícími substráty**. U vybraných testovaných druhů léčivých rostlin poskytoval silikagel příznivé výsledky z hlediska zachování vzhledu a prostorového charakteru rostlinného materiálu a lze jej proto považovat za prakticky využitelný substrát pro přípravu trojrozměrných exponátů.

Jeho nevýhodou je však, ve srovnání s ostatními porovnávanými sušícími substráty, nejvyšší cena.

Novým autorským prvkem je pak návrh specializovaného 3D tištěného prezentačního systému s integrovanou komorou pro desikant (silikagel). Tento systém tvořený podstavcem a borosilikátovou dózou prodlužuje životnost exponátů pasivní regulací vzdušné vlhkosti. Tento model je veřejnosti volně dostupný ve formátu 3MF.

9. Seznam použité literatury

- Bulgari, R.; Negri, M.; Ferrante, A. 2015. Evaluation of postharvest storage and treatments in cut ruscus foliage. *Advances in Horticultural Science* 29(2/3): 103–108.
- Campbell, S. J.; Ogle, H. J.; Joyce, D. C. 2000. Glycerol uptake preserves cut juvenile foliage of *Eucalyptus cinerea*. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40(3): 483–492.
- Cassar, M. 2013. *Environmental Management: Guidelines for Museums and Galleries*. Routledge.
- Dhawan, S., Khandekar, R.G. 2025. Advanced Drying and Preservation Techniques for Flowers: A Review. *Journal of Ornamental Horticulture*, 28 (1):1-8. DOI 10.5958/2249-880X.2025.00002.4
- Dubois, P.; Joyce, D. 1992. Preservation of fresh cut ornamental plant material with glycerol. *Postharvest Biology and Technology* 2(2): 145–153.
- Franks, F. 1998. Freeze-drying of bioproducts: putting principles into practice. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 45(3): 221–229.
- Jain, R.; Janakiram, T.; Kumawat, G. L. 2016. Drying Techniques in Ornamental Plants. *Commercial Horticulture*, 501–512.
- Jennings, T. A. 1999. *Lyophilization: Introduction and Basic Principles*. CRC Press.
- Jezdinský, A.; Jezdinská Slezák, K.A.; Neugebauerová, J.; Híc, P.; Štorková, T.; Smékalová, K. 2024. Účinnost různých desikantů a sušících látek při sušení sedmikrásky. *Zahradnictví = Záhradnictvo: Měsíčník pro profesionální zahradníky. Odborný recenzovaný časopis* 23(7): 39–43. ISSN 1213-7596.
- Kasper, J. C.; Friess, W. 2011. The freezing step in lyophilization: Physico-chemical fundamentals, freezing methods and consequences on process performance and quality attributes of biopharmaceuticals. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 78(2): 248–263.
- Kučková, T. 2008. *Velká kniha sušených rostlin*. 1. vyd. Praha: Ottovo nakladatelství, 206 s. ISBN 978-80-7360-773-9.
- Leemans, T. 1991. *Handbuch der trockenblumen: Gestalten-Sammeln-Trocken*. Weltbild. ISBN 3-89350-370-6.
- Luňáčková, V. 1993. *Kouzlo suchých květin*. 1. vyd. Praha: Květ, 46 s. ISBN 80-85362-13-9.
- Magullion, S. 1975. Botanical Embedding. *Arnoldia* 36(6): 265–275.
- Pratheeksha, C. T.; Tanuja, R. N. 2024. Epoxy Resin Encapsulation: A Novel Approach for Preserving Dry Flowers and Ornamentals. Online. *Current Agriculture Trends: e-Newsletter* 3(5): 8–11. ISSN 2583-1933. Dostupné z:

<https://currentagriculturetrends.vitalbiotech.org/aadmin/articles/CAT-2024-3-5-8-11.pdf>. [cit. 2026-09-02].

Ratti, C. 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering* 49(4): 311–319.

Sahin, Ö.; Bulutcu, A. N. 2002. Dehydration Behaviour of Borax Pentahydrate to Anhydrous Borax by Multi-Stage Heating in a Fluidized. *Turkish Journal of Chemistry* 26: 89–96.

Shailza, S. J.; Grewal, H. S. 2018. Emerging Prospective of Floriculture Industry: Drying of Ornamental Plants and their Parts. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7(7): 1619–1633. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.707.190>

Singh, B.; Jain, R. I. T. U.; Sindhu, S. S.; Kumar, P. R. A. B. H. A. T.; Yadav, H. A. R. E. N. D. R. A.; Kumar, R. 2018. Standardization of glycerine preservation for ornamental foliage of different species suitable for value addition. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 88(12): 1879–1886.

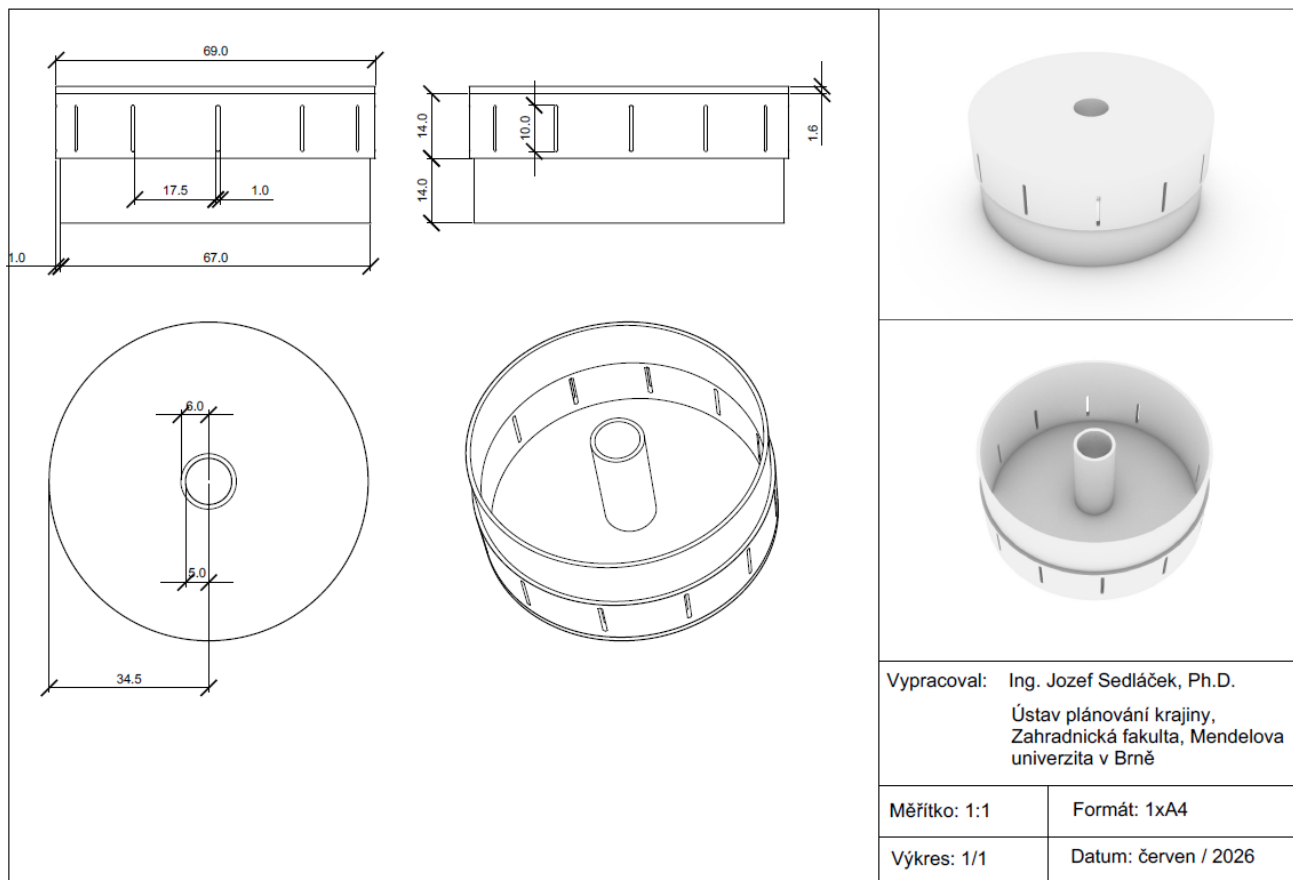
Tétreault, J. 2018. The evolution of specifications for limiting pollutants in museums and archives. *J. Can. Assoc. Conserv.* 43: 21–37.

Tyree, M. T.; Zimmermann, M. H. 2002. *Xylem Structure and the Ascent of Sap*. Springer Science & Business Media.

Wu, C.; Meng, B. C.; Tam, L.; He, L. 2022. Yellowing mechanisms of epoxy and vinyl ester resins under thermal, UV and natural aging conditions and protection methods. Online. *Polymer Testing* 114: 107708. ISSN 0142-9418. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107708>. [cit. 2026-09-02].

10. Přílohy

1: konstrukční dokumentace pro 3D tištěný podstavec



2: Ukázka uchycení rostliny do 3D podstavce se zásobníkem pro silikagel



Název: Příprava trojrozměrných rostlinných exponátů s využitím různých metod
preparace a konzervace rostlin

Autoři: Pavel Híc, Jarmila Neugebauerová, Tomáš Kopta, Magda Bábková Hrochová,
Tereza Štorková, Aleš Jezdinský, Katalin Angéla Jezdinská Slezák

Vydalo: Mendelova univerzita v Brně

Počet stran: 53

Vydání: první

Rok vydání: 2026

ISBN: xxxx