FAKULTA
PŘÍRODOVĚDNĚ-HUMANITNÍ
A PEDAGOGICKÁ TUL

Bakalářská práce

Charakterizace hydrofobních struktur rostlinných povrchů

Studijní program: B0114A300075 Přírodopis se zaměřením na vzdělávání
Studijní obory: Přírodopis se zaměřením na vzdělávání
Zeměpis se zaměřením na vzdělávání

Autor práce: **Markéta Šedivá**
Vedoucí práce: Ing. Pavel Kejzlar, Ph.D.
Katedra materiálu

Liberec 2023

FAKULTA
PŘÍRODOVĚDNĚ-HUMANITNÍ
A PEDAGOGICKÁ TUL

Zadání bakalářské práce

Charakterizace hydrofobních struktur rostlinných povrchů

Jméno a příjmení:	**Markéta Šedivá**
Osobní číslo:	P20000386
Studijní program:	B0114A300075 Přírodopis se zaměřením na vzdělávání
Specializace:	Přírodopis se zaměřením na vzdělávání Zeměpis se zaměřením na vzdělávání
Zadávající katedra:	Katedra chemie
Akademický rok:	2021/2022

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na téma smáčivost, samočistící jev, rostlinné povrchy.
2. V terénu provedení sběru vytipovaných rostlin vykazujících hydrofobní povrchy.
3. Provedení fotodokumentace a identifikace.
4. Pomocí dostupných metod charakterizovat strukturu vybraných povrchů a změřit úhel smáčivosti.
5. Sumarizovat výsledky a stanovit závěry.

Rozsah grafických prací:	dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy:	40 až 50 stran
Forma zpracování práce:	tištěná/elektronická
Jazyk práce:	čeština

Seznam odborné literatury:

1. BHUSHAN, Bharat. Biomimetics: lessons from nature – an overview. In: Phil. Trans. R. Soc. A 367 [online]. Royal Society Publishing, 2009, 1445–1486. DOI: 10.1098/rsta.2009.0011.
2. BHUSHAN, Bharat, Yong CHAE HUNG a Kerstin KOCH. Micro-, nano-and hierarchical structures for superhydrophobicity, self-cleaning and low adhesion. In: CHAE JUNG, Yong. Phil. Trans. R. Soc. A. London: Royal Society Publishing, 2009, s. 1631-1672. DOI: 10.1098/rsta.2009.0014.
3. YAN, Y. Y., N. GAO a W. BARTHLOTT. Mimicking natural superhydrophobic surfaces and grasping the wetting process: A review on recent progress in preparing superhydrophobic surfaces. In: Advances in Colloid and Interface Science, Volume 169, Issue 2. Elsevier B.V., 2011, 80–105. DOI: 10.1016/j.cis.2011.08.005.
4. BARTHLOTT, Wilhelm, Christoph NEINHUIS, David CUTLER, Friedrich DITSCH, Iris MEUSEL, Inge THEISEN a Hiltrud WILHELM. Classification and terminology of plant epicuticular waxes. In: Botanical Journal of the Linnean Society. 126. London, 1998, 237–260.
5. KOCH, Kerstin a Wilhelm BARTHLOTT. Superhydrophobic and superhydrophilic plant surfaces: an inspiration for biomimetic materials. In: Phil. Trans. R. Soc. A 367 [online]. London: Royal Society Publishing, 2009, 1487–1509. DOI: 10.1098/rsta.2009.0022.
6. NOSONOVSKY, Michael a Bharat BHUSHAN. Hierarchical roughness optimization for biomimetic superhydrophobic surfaces. In: Ultramicroscopy 107. Elsevier B.V., 2007, 969–979. DOI: 10.1016/j.ultramic.2007.04.011.
7. SOLGA, Andreas, Zdenek CERMAN, Boris STRIFFLER, Manuel SPAETH a Wilhelm BARTHLOTT. The dream of staying clean: Lotus and biomimetic surfaces. In: Bioinspiration & Biomimetics, vol. 2, number 4. 2007, s. 126-134. DOI: 10.1088/1748-3182/2/4/S02. D

Vedoucí práce:	Ing. Pavel Kejzlar, Ph.D. Katedra materiálu
Datum zadání práce:	10. června 2022
Předpokládaný termín odevzdání:	26. dubna 2023

L.S.

prof. RNDr. Jan Picek, CSc.
děkan

prof. Ing. Josef Šedlbauer, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 10. června 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

14. července 2023 Markéta Šedivá

Poděkování

Hlavní díky patří vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlovi Kejzlarovi Ph.D. díky němuž jsem objevila tohle známé/neznámé téma, které mě mohlo hlouběji pohltit do oblastí které jsou mi blízké. Děkuji za odborné vedení a poskytnutí cenných informací a rad, které stály za zrodem této práce, se kterou je spojeno mnoho zajímavých zjištění a setkání. Děkuji také konzultantce RNDr. Martině Štrojsové, Ph. D, která sdílela mé nadšení pro botaniku po celé studium a taktéž mi věnovala mnoho času a rad.

Tímto dále děkuji Všem, co mi vyšli vstříc při praktickém bádání v laboratořích CXI.

Nemohu opomenout ani svou rodinu, jakožto rodiče, partnera a přátele, ti všichni mě během celého studia podporovali, naslouchali mi a věřili v mé sny spojené s tímto studiem. Nikdy na mě nezanevřeli a měli se mnou mnoho trpělivosti a bez nich by tato práce nikdy nevznikla. Speciální poděkování patří i Mgr. Zdeňku Kropáčkovi, který mě jakožto znalec v širokém biologickém oboru, který si za svůj dlouhý život prošel, podporoval jako kdyby člena své rodiny, děkuji za to osudové setkání.

Anotace

Tato bakalářská práce spojuje široké biologické téma. Hlouběji se zajímá o rostliny, jako o svatý grál, který tu byl téměř od pradávna a jako o prostředek, který nám ukazuje novou cestu v našich výzkumech. Cílem práce bylo pozorování struktur listů a okvětních lístků zprvu vlastníma očima, poté pod makroskopickou lupou, a nakonec pod objektivem rastrovacího elektronového mikroskopu. Na základě všech těchto pozorování byly zdokumentovány fotografie a vznikla tak práce podobná atlasu s obsahem 15 rostlin u nichž nechybí popis, zajímavosti, u vybraných fytoterapie, popis struktury krystaloidů a kontaktní úhel smáčivosti. Na závěr jsou podobné strukturu vzájemně porovnány. Výzkum dokazuje, jak jsou rostliny křehké zároveň a přitom odolávají náročným podmínkám a dokážou vyvinout struktury těžko napodobitelné, kterými nás předčí.

Klíčová slova

rostlinné povrchy, hydrofobní povrchy, smáčivost, elektronová mikroskopie, epikutikulární vosky, krystaloid

Annotation

This bachelor's thesis combines a broad biological topic. It is more deeply interested in plants, as a holy grail that has been around almost since archaic times and as a means to show us a new way in our researches. The goal of the work was to observe the structures of leaves and petals first with your own eyes, then under a macroscopic magnifying glass, and finally under the lens of a scanning electron microscope. On the basis of all these observations, photographs were documented and thus a work similar to an atlas was created with the content of 15 plants, which do not lack a description, points of interest, for selected phytotherapy, a description of the structure of the crystalloids and the contact angle of wettability. Finally, similar structures are compared to each other. Research proves how fragile plants are at the same time and at the same time they withstand demanding conditions and can develop structures that are difficult to imitate, with which they surpass us.

Key words

plant surfaces, hydrophobic surfaces, wettability, electron microscopy, epicuticular waxes, crystalloid

Obsah

Seznam obrázků 9

Seznam použitých zkratek a symbolů 13

ÚVOD 14

TEORETICKÁ ČÁST 16

1 Smáčivost povrchů, povrchové napětí 16

1.1 Kde hledat nesmáčivé povrchy 18

1.2 Metody měření smáčivosti 18

1.2.1 Kapková metoda 18

1.2.2 Wilhelmyho metoda 19

1.2.3 Bublinová metoda 20

1.2.4 Metoda nakloněné roviny 20

1.2.5 Metoda kapilární síly 21

1.3 Superhydrofobní povrch 21

1.3.1 Samočistící jev (lotosový efekt) 22

1.4 Povrch růže vs. lotosu 22

1.5 Epikutikulární vosky 23

1.5.1 Obecná charakterizace typů krystaloidů hydrofobních povrchů 24

1.5.2 Orientace a uspořádání krystaloidů 27

1.5.3 Souvislost typu krystaloidů s čeledí 27

1.5.4 Chemické složení kutikulárních vosků 27

1.6 Transport hydrofobních polymerů do rostlinného apoplastu 28

2 Rostliny – stavba listu 30

PRAKTICKÁ ČÁST 33

3 Postup vytipování vzorků a přípravy 33

3.1 Postup při testování a mikroskopování vzorků ... 33
4 Výsledky – rostlinné druhy ... 34
4.1 Lichořeřišnice větší ... 34
4.2 Kosatec sp. ... 36
4.3 Špirlice ... 38
4.4 Pámelník bílý ... 40
4.5 Merlík bílý ... 42
4.6 Locika kompasová ... 44
4.7 Vrba kroucená ... 46
4.8 Lotos indický ... 48
4.9 Kapusta kadeřavá ... 50
4.10 Růže sp. ... 52
4.11 Vlaštovičník větší ... 54
4.12 Eukalyptus cinerea (silver dollar) ... 56
4.13 Lupina mnoholistá ... 58
4.14 Kontryhel sp. ... 60
4.15 Violka zahradní ... 62
5 Diskuse ... 64
ZÁVĚR ... 68
Seznam použitých zdrojů ... 69

Seznam obrázků

Obr. 1: Vzájemné působení sil kapalina, vzduchu a pevné látky na utváření tvaru kapky vody …….....17

Obr. 2: Chování kapky vody na površích: hydrofilní, hydrofobní, superhydrofobní ……..… 17

Obr. 3: Kapková metoda; úhel smáčivosti kapky na rovném povrchu ……... 19

Obr. 4: Wilhelmyho metoda; tvorba a měření menisků ve fázi vytahování destičky z kapaliny. …..…… 19

Obr. 5: Bublinová metoda; fáze vytváření vzduchové bubliny a měření postupujícího úhlu ….. ……...20

Obr. 6: Metoda nakloněné roviny; postupující a ustupující úhel .....…… 20

Obr. 7: Metoda kapilární síly; tvorba a měření menisku při ponoření do kapaliny.....……. 21

Obr. 8: Mechanismus odstraňování nečistot na běžném povrchu vs. superhydrofobním povrchu (Barthlott, et al. 1997)……. 22

Obr. 9: Příklad vzhledu papilózních voskových struktur; mikro (šedá) + nano (zelená)……. 22

Obr. 10: Pozorovatelné jevy při kontaktu kapky s povrchem……..……. 23

Obr. 11: Granule – Aegiceras corniculatum, měřítko 5 μm (Barthlott, et al. 1998, str. 243)... 24

Obr. 12: Krystaloidy deskovitého tvaru, měřítko 1 μm – a) ucelené (špirlice sp), b) neucelené (locika kompasová), c) membránové (vrba kroucená)……. 25

Obr. 13: a) tyčinky, (Sceletium compactum, měřítko 10 μm, Barthlott, et al. 1998, str. 245), b) tubuly (pámelník bílý, měřítko 2 nm)…….. 26

Obr. 14: Vlákna – Drosera burmanni, měřítko 2 μm (Barthlott, et al. 1998, str. 246)……. 26

Obr. 15: Polymorfimus – kapusta kadeřávek (měřítko 1 μm)…….. 26

Obr. 16: Rostlinná buňka; apoplast……..……...28

Obr. 17: Stavba kutikuly, převzato a upraveno z (Cultiva 2023)…..……31

Obr. 18: Stavba listu, převzato a upraveno z (CK-12, 2023)……32

Obr. 19: Zázemí pro měření úhlu smáčivosti (kapková metoda, tříbodové měření) ……...… 33

Obr. 20: Lichořeřišnice větší (Tropaeolum majus), zleva – spodní strana listu, květy a listy..35

Obr. 21: Spodní strana listu, seskupené tubuly (měřítko 1 μm)…….. 35

Obr. 22: Kontaktní úhel smáčivosti 143°……..……35

Obr. 23: Kosatec (Iris), listy……..37

Obr. 24: Neucelené destičky na povrchu listu (měřítko 1 μm)……37

Obr. 25: Průduch s krystaloidy (měřítko 10 μm) ……37

Obr. 26: Kontaktní úhel smáčivosti 134°……..37

Obr. 27: Špirlice sp. (Sarracenia), pasti/listy.…….. 39

Obr. 28: Vnitřní strana pasti, žebrování (měřítko 10 μm) ..……...….. 39

Obr. 29: Vnitřní strana pasti, detail destičky (měřítko 1 μm) ……..39

Obr. 30: Kontaktní úhel smáčivosti 111°……..39

Obr. 31: Pámelník bílý (Symphoricarpos albus), listy……..41

Obr. 32: Tubuly na povrchu listu (měřítko 1 μm) ……...41

Obr. 33: Detail průduchů na listu (měřítko 10 μm) …… 41

Obr. 34: Kontaktní úhel smáčivosti 135°……..41

Obr. 35: Merlík bílý (Chenopodium album) …… 43

Obr. 36: Neucelené destičky na povrchu listu (měřítko 1 μm) …… 43

Obr. 37: Kontaktní úhel smáčivosti 137°……..……43

Obr. 38: Locika kompasová (Lactuca serriola) ……45

Obr. 39: 39: Neucelené destičky na povrchu listu (měřítko 1 μm) ……..45

Obr. 40: Kontaktní úhel smáčivosti 135°……..45

Obr. 41: Vrba kroucená (Salix Erythroflexuosa), listy…… 45

Obr. 42: Membránové destičky, spodní strana listu (měřítko 1 μm) ……... 47

Obr. 43: Kontaktní úhel smáčivosti 140°……..47

Obr. 44: Lotos indický (Nelumbo nudifera), listy + detail objemnější kapky na listu……. 49

Obr. 45: Papilózní struktura, svrchní strana listu (měřítko 20 μm) …… 49

Obr. 46: Detail papily s krystaloidy (měřítko 1 μm) ……49

Obr. 47: Tubuly na svrchní straně listu (měřítko 200 nm) ……...49

Obr. 48: Kontaktní úhel smáčivosti 161°, převzato z (Fota-kis 2008) …… 49

Obr. 49: Kapusta kadeřavá (Brassica oleracea varianta sabellica), převzato od (Grulich 2020) ……...…51

Obr. 50: Polymorfní křehká struktura, svrchní strana listu (mě-řítko 1 μm) ……... 51

Obr. 51: Detail krystaloidu (měřítko 1 μm) …… 51

Obr. 52: Kontaktní úhel smáčivosti 131°……..51

Obr. 53: Růže sp. (Rosa), květ…….……. 53

Obr. 54: Svrchní strana okvětního lístku, žebrování (měřítko 10 μm) …… 53

Obr. 55: Kontaktní úhel smáčivosti 126°……..53

Obr. 56: Vlaštovičník větší (Chelidonium majus), list……..…..…….. 55

Obr. 57: Tubuly na povrchu listu (měřítko 200 nm) ……55

Obr. 58: Kontaktní úhel smáčivosti 135°……..55

Obr. 59: Vlevo Eukalyptus cinerea (silver dollar) ……... 57

Obr. 60: Vláknité krystaloidy na povrchu listu (měřítko μm) …… 57

Obr. 61: Kontaktní úhel smáčivosti 130°……..57

Obr. 62: Lupina mnoholistá (Lupinus polyphyllus), květy a listy…… 59

Obr. 63: Membránové destičky na povrchu listu (měřítko 1 μm) ……... 59

Obr. 64: Kontaktní úhel smáčivosti 133°……..59

Obr. 65: Kontryhel sp. (Alchemilla), list…….. 61

Obr. 66: Membránové destičky na povrchu listu (měřítko 1 μm) ……...… 61

Obr. 67: Kontaktní úhel smáčivosti 135°…… 61

Obr. 68: Violka zahradní (Viola × Wittrockiana),převzato od (Prančl 2012) ……. 63

Obr. 69: Kopulovité struktury na povrchu okvětního lístku (měřítko 10 μm) …….63

Obr. 70: Kontaktní úhel smáčivosti 131°……..63

Seznam použitých zkratek a symbolů

al. – alifatické

CO_2 – oxid uhličitý

DÚ – dynamický kontaktní úhel

ep. – epikutikulární

PKÚ – postupující kontaktní úhel

SEM – rastrovací/skenovací elektronový mikroskop

SÚ – statický kontaktní úhel

UKÚ – měření ustupujícího kontaktního úhlu

ÚVOD

Během studia se mi naskytla možnost blíže nahlédnout do světa rostlin, který mě vždy dost fascinoval, z různých úhlů, a to i doslova. Poznávání neskončilo jen na pouhé „lásce“ k přírodě, ale pokračuje touhou předávat praktické, vědou obohacené poznatky dál. Na rostliny už se až na výjimky nepohlíží jen jako na materiál, krmivo nebo producenty kyslíku, ale jako na něco, z čeho čerpáme inspirace i pro tvorbu technologií, k čemuž mě taktéž inspirovalo studium právě na technicky zaměřené univerzitě. Co se týče samotné hydrofobicity, tak je inspirací pro tvorbu samočistících nátěrů, střech apod., takže to, co tu bylo odpradávna, až teď pomalu zvládáme v plném rozsahu využívat a je třeba pokračovat i v popularizaci takových témat.

Hydrofobní neboli vodoodpudivé povrchy rostlin se vyvinuly, protože se potřebovaly chránit před vnějšími vlivy. Proto si během evoluce vyvinuly struktury, kterými se chrání, jak na mikrometrové, tak na nanometrové úrovni. Buď se chrání před přímým kontaktem vody s pokožkou nebo před nečistotami, které by mohly pokožku jakkoliv narušovat. Rostliny se vždy přizpůsobovaly a stále přizpůsobují prostředí a odlišným podmínkám. Hydrofobní povrchy jsou tedy složitou strukturou, která může pomoci zadržovat nebo odpuzovat kapky vody i bez přímého kontaktu s pokožkou. Při struktuře zaměřené na odpuzování pomáhá odnášet i nečistoty, kvůli kterým by mohlo docházet k rozvoji houbových a dalších chorob nebo by svými nánosy bránily správné funkci fotosyntézy.

Tímto se pomalu dostáváme k samočistícímu efektu, se kterým je přímo spojená rostlina uctívána buddhisty, lotos (lat. *Nelumbo*). Pozornost upoutal především tím, že vyrůstá z bahnité půdy na dně řeky, a přesto zůstává perfektně čistý. Listy i květy lotosu stojí na vrcholu hydrofobních struktur rostlin, jelikož si dokázaly vytvořit struktury nejen na mikrometrové úrovni, ale i na nanometrové a k tomu jsou chráněny voskovitou vrstvou, takže se skrze tyto překážky dostanou k pokožce maximálně 3 % nečistot a vody. Podrobnější vhled do struktury lotosu, kterou oči nevidí a její funkčnosti, je rozepsán v kapitole *1.3.1 Samočistící jev (lotosový efekt)* a *4.8 Lotos indický* .

Cílem této práce je především představit struktury rostlin z takového úhlu pohledu, který je pro oči a pro běžné mikroskopy neviditelný, a dokázat tak, že i na pohled obyčejná rostlina může skrývat neobyčejné struktury. Ráda bych toto téma (především snímky z elektronového mikroskopu) rozšířila mezi dětmi i dospělými, tedy mezi širokou veřejnost, jelikož s mnoha rostlinami se denně setkávají, ať už jen tak, že kolem nich projdou nebo se o ně zají-

mají z konkrétních důvodů. Také se chci pokusit objasnit, proč se určité struktury u rostlin vytvořily a zda je to pravidelným znakem vzhledem k prostředí či k čeledi, nebo je to způsobeno úplně jiným faktorem.

TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část se věnuje povrchům listů z hlediska hydrofobních a superhydrofobních struktur a jejích vzniku od fyzické po chemickou stránku. K tomu neodmyslitelně patří i základní jednotka = stavba listu.

1 Smáčivost povrchů, povrchové napětí

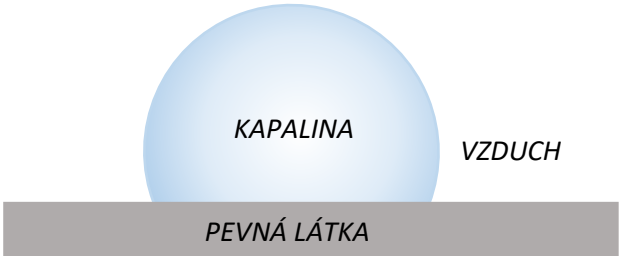
Povrchové napětí kapky je určováno interakcemi mezi složkami molekul. V objemu kapky působí mezimolekulární síly na molekulu ze všech stran stejně. Na povrchu kapky však na vnější straně chybí molekuly kapaliny. Molekuly na povrchu jsou k sobě vázány pevněji než molekuly uvnitř, protože nejsou přitahovány ze všech stran. To znamená, že pro předmět je obtížnější proniknout povrchem než se pohybovat uvnitř objemu. (Ossila, 2023)

Smáčivost je jev, který je pozorovatelný u jakéhokoliv povrchu, se kterým přijde voda do kontaktu. Některé povrchy voda smáčí snadno, zatímco jiné vůči kapkám vody vykazují odpor. Dle publikace *Superhydrophobic Surfaces: Insights from Theory and Experiment* (Chattopadhyay 2020) byl fenomén povrchové smáčivosti známý už v historii, avšak nikdy nebyl řádně a logicky popsán. Vědecké vysvětlení pro obecnou smáčivost poprvé vyšlo na svět v roce 1612 díky Galileu Galileovi. Termíny, jako je povrchové napětí a kontaktní úhel, přišly až o 200 let později díky Thomasovi Youngovi.

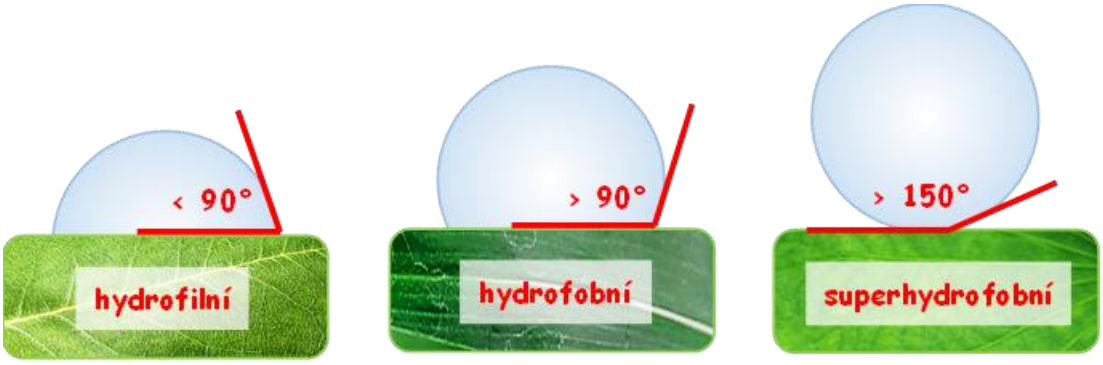
Kontaktní úhel nám udává, jak dobře (nebo jak špatně) se bude kapalina šířit po povrchu. Kontaktní úhel může být velký nebo malý v závislosti na fyzikálních vlastnostech zkoumaných materiálů. (Ossila, 2023)

Jakmile se kapka vody dostane do kontaktu s povrchem, nabízí se tři oddělená rozhraní mezi pevnou látkou, kapalinou a plynem (obr. 1) která formulují kontaktní úhel. Existují i superhydrofilní povrchy, jelikož je ale hlavním cílem práce efekt opačný, je zmíněna hydrofilita pouze obecně. Hydrofilní se jeví povrch, pokud kapka neudrží svůj kulovitý tvar a ihned se rozvolní a rozteče po povrchu (obr. 2). Kontaktní úhel hydrofilního povrchu je menší než 90°. Hydrofobní povrchy už mají vyvinuté určité struktury, díky kterým si kapka zachovává tvar, avšak stále se po povrchu nekutálí (obr. 2). Kontaktní úhel je na takových površích větší než 90°. Pro srovnání, lidská kůže je mírně hydrofobní s přibližně 90° kontaktním úhlem (Kino 2023). Superhydrofobní povrchy už mají složitější strukturální stavbu a často se jedná o vztah nejenom mezi pevnou látkou a kapalinou, ale i plynem, který je uzavírán ve vzduchových

kapsách (obr. 2). Kapky jsou tedy schopny si udržet kulovitý tvar a jsou téměř nepřilnavé k povrchu. Kontaktní úhel superhydrofobního povrchu přesahuje 150°.



Obr. 1: Vzájemné působení sil kapalina, vzduchu a pevné látky na utváření tvaru kapky vody



Obr. 2: Chování kapky vody na površích: hydrofilní, hydrofobní, superhydrofobní

Teoretické úvahy o smáčivosti dle Hollowaye (1970) v publikaci *Characterization and Distribution of Water-repellent, Self-cleaning Plant Surfaces* o (Barthlott, et al., 1998) ukazují, že hydrofobní povrch se vyznačuje tím, že mezi svrchní strukturou listu a aplikovanou kapkou vody je uzavřen vzduch.

Jak je již zmíněno v úvodu, rostliny se těmito strukturami snaží chránit před ulpíváním nečistot (včetně patogenů, z nichž se mohou rozvinou choroby, které rostliny zahubí) a přílišným zamokřením (voda na povrchu může fungovat jako inhibitor fotosyntézy, jelikož oxid uhličitý (CO_2) proniká přes vodu 10 000krát pomaleji než přes vzduch (Papierowska, et al. 2018).

To, co především stojí za vodoodpudivou schopností, jsou epikutikulární vosky (viz kapitolu *1.5 Epikutikulární vosky*). Tato vosková struktura se však snadno poškodí mechanickým odíráním a negativní dopad na ni má stejně tak déšť, který způsobuje erozi – tedy zarovnání povrchu. Poškozené voskovité krystaly jsou však rostliny schopny do určité míry zregenerovat – tedy opravit. Vždy záleží na konkrétní struktuře epikutikulárních voskových krystalů, jelikož některé jsou uzpůsobeny tak, že i po jejich poškození se voda nedostane přímo do kontaktu s pokožkou a je zachována primární ochranná funkce. Kdežto jiné voskové struktury krystalů jsou tak jednoduché, že voda po poškození snadno pronikne k pokožce, místo se stane

smáčitelným, a to následně může zapříčinit mnoho dalších poškození v oblasti odhalených buněk.

Na rozdíl od mechanické abraze je prokázáno, že déšť a s ním spojená eroze má největší dopad na poškozování struktury epikutikulárních voskových krystalů, a to z toho důvodu, že kapky vody narážejí pouze na nejvyšší části voskových krystalů a poté je voda distribuována i přes další krystaly. Vezmeme-li v úvahu kinetickou energii dešťových kapek a poměrně nízkou rychlost regenerace voskových krystalů, tak dospějeme k závěru, že opravdu největší poškození způsobuje právě déšť. I jemný déšť tedy krystaly poškodí (např. *Brassica oleracea*, Baker a Hunt 1986) – brukvovité odrůdy mají podobné struktury a splňují jen minimální předpoklady pro vodoodpudivost, jelikož krystaly tvoří jen volnou vrstvu na pokožce, a tak velmi snadno podléhají erozi (viz obr. 49).

1.1 Kde hledat nesmáčivé povrchy

Hydrofobní struktury nalezneme především v bylinném patře, konkrétně se nejčastěji vyskytují u trav, dále u geofytů (rostliny, které především přezimují v podobě hlíz, cibulek nebo oddenků) a samozřejmě u vodních a bahenních druhů.

1.2 Metody měření smáčivosti

Metod měření smáčivosti je nespočet, jelikož každá se zaměřuje na trochu jiné parametry a týká se různých povrchů na kterých ji lze aplikovat.

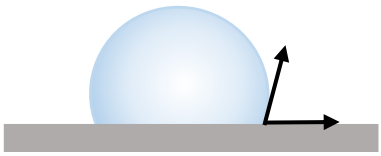
1.2.1 Kapková metoda

Princip kapkové metody je uveden na obr. 3. Kapka vody o určitém objemu je nanesena na pevný povrch pomocí pipety nebo injekční jehly . Tato metoda může být využita jak v „provizorních podmínkách“, tak na přístrojích přímo k tomu určených až plně automatizovaných a specializovaných. V současnosti se využívá digitální kamery, která kapku zaznamenává a obraz se následně přenáší do softwaru, ve kterém je úhel vyhodnocován. Při využití této metody lze měřit buď statický kontaktní úhel (SÚ) nebo dynamický kontaktní úhel (DÚ). (Zielecka 2004)

Hodnoty SÚ se mohou výrazně lišit v závislosti na časovém intervalu mezi umístěním kapky na pevný povrch a časem měření. Naměřené hodnoty SÚ jsou ovlivněny odpařováním kapaliny, absorpcí kapaliny porézním substrátem a dalšími chemickými nebo fyzikálními interakcemi s povrchem. Dalším faktorem ovlivňujícím přesnost je velikost. Průměr „základny“

kapky by se měl pohybovat v rozmezí 2–6 mm, aby bylo zajištěno, že SÚ je nezávislý na objemu kapky a s tím spojenou gravitací nebo povrchovým napětím. V případě velmi malých kapiček je SÚ výrazně ovlivněn povrchovým napětím kapaliny, vznikají velmi kulovité kapičky a tím jsou hodnoty nadhodnoceny. V případě příliš velkých kapek se gravitace stává dominantním faktorem a hodnoty SÚ jsou podhodnoceny. (Zielecka 2004)

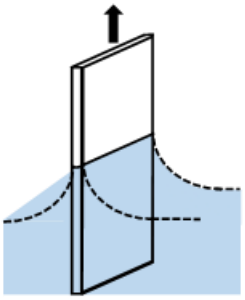
Princip DÚ spočívá v tom, že injekční jehla zůstává v kapce, zatímco objem kapky se zvyšuje při konstantním průtoku. Kapka postupuje po pevném povrchu a neustále smáčí novou oblast povrchu. Jak se kapka posouvá, postupující kontaktní úhel (PKÚ) lze měřit ručně nebo automaticky. Pro měření ustupujícího kontaktního úhlu (UKÚ) jehla také zůstává v kapce a kapka ustupuje společně se zmenšujícím se objemem kapky. Hodnota UKÚ je vždy nižší ve srovnání s hodnotou PKÚ. Rozdíl mezi hodnotami se nazývá hystereze DÚ a je většinou důsledkem drsnosti povrchu tělesa. (Zielecka 2004)



Obr. 3: Kapková metoda; úhel smáčivosti kapky na rovném povrchu

1.2.2 Wilhelmyho metoda

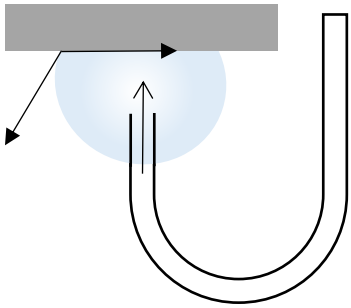
Wilhelmyho metoda (obr. 4) je založena na měření síly, která je potřebná k překonání odporu kapaliny, když je pevná deska ponořena nebo vytahována z kapaliny o známém povrchovém napětí. Během pokusu na základě adheze i koheze vznikají menisky. Díky několika úrovním se tedy měří různá rozhraní. Ve srovnání s metodou přisedlé kapky je měření síly často přesnější (Zielecka 2004)



Obr. 4: Wilhelmyho metoda; tvorba a měření menisků ve fázi vytahování destičky z kapaliny

1.2.3 Bublinová metoda

Principem této metody je hydratování vzorku v kapalině a jehla s háčkem se používá k aplikaci vzduchové bubliny nebo nemísitelné kapaliny na vzorek. Je třeba dbát na to, aby vzorek zůstal co nejrovnější a nebyl během nastavování pomačkaný nebo zkroucený, protože by to mohlo narušit základní linii. Hákovitá jehla/trubička se umístí tak, aby výstup byl těsně pod

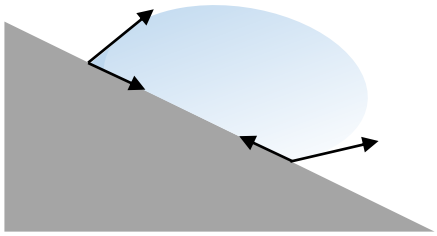


Obr. 5: Bublinová metoda; fáze vytváření vzduchové bubliny a měření postupujícího úhlu

povrchem vzorku a vytvoří se vzduchová bublina (obr. 5). Postupující a ustupující měření lze také provést umístěním jehly do bubliny a zvětšením a zmenšením jejího objemu. Analýza dat se provádí podobně jako standardní měření kontaktního úhlu. (Prydatko el. al. 2018)

1.2.4 Metoda nakloněné roviny

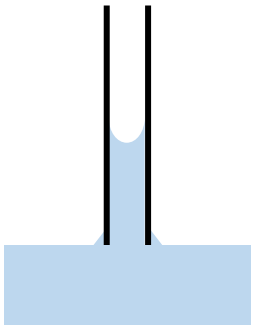
Při metodě naklápění roviny je kapka aplikována nejprve na rovném povrchu. Poté je nakláněn, dokud není nakloněn do kritického úhlu také označovaného jako kluzný úhel, který iniciuje pohyb kapky díky výslednici sil z náklonu (obr. 6). Od chvíle pohybu se zde měří postupující a ustupující kontaktní úhel. (Goswami, et al. 2021)



Obr. 6: Metoda nakloněné roviny; postupující a ustupující úhel

1.2.5 Metoda kapilární síly

Kapilární skleněná trubička je v kontaktu s vodou = dotýká se jen jejího povrchu. Voda smáčí dno trubičky a vytváří postupující stykový úhel, což uvnitř trubičky vytváří kulovitý meniskus. Konkávní zakřivení menisku vytváří vzestupný Laplaceův tlak. Voda zpočátku rychle stoupá, pak se zpomaluje, a nakonec se zastaví tam, kde se hydrostatický tlak vody v trubici rovná Laplaceovu tlaku v rozhraní vzduch-kapalina (obr. 7). Pokud bude voda v trubičce klesat, jedná se o velmi nesmáčivý povrch. (Extrand 2016)



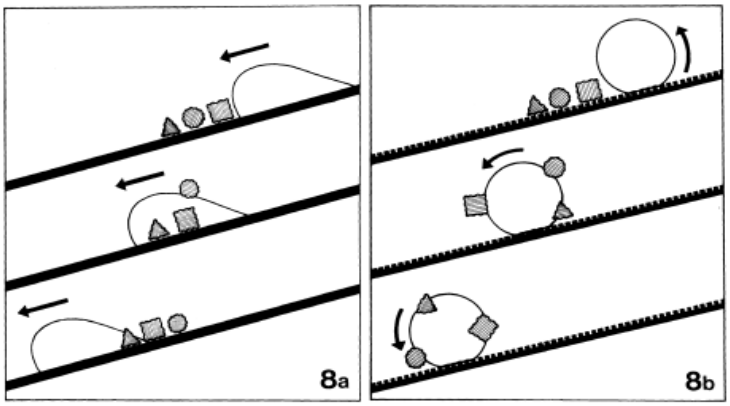
Obr. 7: Metoda kapilární síly; tvorba a měření menisku při ponoření do kapaliny

1.3 Superhydrofobní povrch

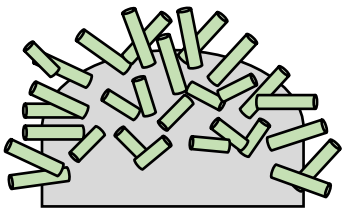
Superhydrofobní povrchy vykazují extrémní vodoodpudivé vlastnosti. Tyto povrchy s vysokým kontaktním úhlem nad 150° také vykazují samočistící efekt (Bhushan, et al. 2009). Listy některých rostlin, jako jsou lotosové listy, jsou známé jako superhydrofobní a samočisticí díky hierarchické drsnosti povrchu. Fenomén samočištění je široce známý jako „lotosový efekt“. Při nízké hodnotě hystereze kontaktního úhlu se kapičky mohou kutálet a navíc klouzat, což usnadňuje odstranění částic kontaminantů. Povrch listu je velmi drsný v důsledku tzv. papilózních epidermálních buněk, které tvoří papily. Kromě drsnosti v mikroměřítku je povrch papil také taktéž zvrásněný, je složený z trojrozměrných epikutikulárních vosků. Vosky lotosu bývají tvořeny tubuly. Na jiných listech lze objevit vosky také ve formě destiček nebo jiných morfologií (Bhushan, et al. 2009). Kapky vody na těchto površích snadno sedí na vrcholu nanostruktur, protože vzduchové bubliny jsou uzavřeny v „komůrkách“ struktur pod kapkou vody. Když se kapky vody na listech odvalují, odstraňují z jejich povrchu veškeré nečistoty, což vede k samočištění. Bylo zjištěno, že téměř všechny superhydrofobní a samočistící povrchy rostlin se skládají ze struktur na dvou úrovních (Barthlott, et al. 1998). Voda na takovém povrchu tvoří kulovou kapku a jak kontaktní plocha, tak adheze, k povrchu jsou dramaticky sníženy (Bhushan, et al. 2009).

1.3.1 Samočistící jev (lotosový efekt)

Jako modelový povrch pro zkoumání samočistícího jevu slouží listy lotosu indického/pravého (*Nelumbo nucifera*). Listy lotosu zůstávají čisté, i když jejich přirozeným biotopem jsou bahnité vody a jejich unikátní povrch jim zajišťuje nejenom to, ale i udržení se na hladině. Pro samočistící schopnost je třeba, aby povrch byl drsný ze dvou hledisek-měřítek. Listy jsou tedy opatřeny strukturami na dvou úrovních → mikrometrotrovými a nanometrovými strukturami epidermálních vosků včetně krystaloidů, které mají papilózní tvar. Pod kapkou vody jsou navíc uzavřeny vzduchové bubliny (= velmi nízká adheze), které jí nedovolí proniknout až k pokožce. Ve skutečnosti se jen 2-3 % vodních kapek dostane do přímého kontaktu s pokožkou listu. Po povrchu tedy kapky vody snadno kloužou (kutálí se) a odvádí s sebou i nečistoty (obr. 8). Vzduchové bubliny jsou uzavřeny v „komůrkách" které jsou tvořeny výše zmíněnými mikro a nano strukturami (obr. 9). Všechny tyto aspekty dohromady tvoří super-hydrofobní povrch, na němž kapky vody udržují kulovitý tvar, mezi kapkou a povrchem listu je kontaktní úhel vyšší než 150° (plocha doteku je tedy velmi malá).



Obr. 8: Mechanismus odstraňování nečistot na běžném povrchu vs. super-hydrofobním povrchu (Barthlott, et al. 1997)

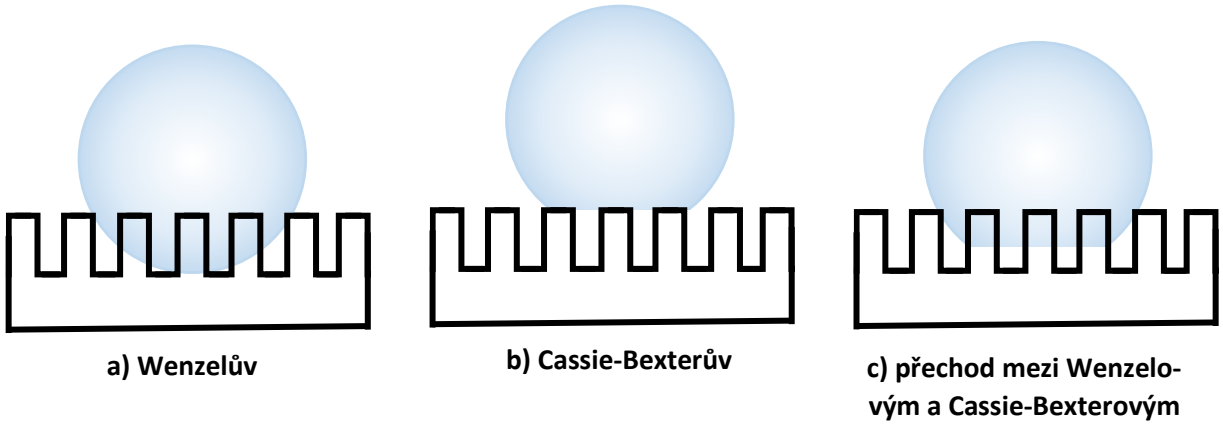


Obr. 9: Příklad vzhledu papilózních voskových struktur; mikro (šedá) + nano (zelená)

1.4 Povrch růže vs. lotosu

Stejně jako u lotosového listu má okvětní lístek růže hydrofobní povrch. To, co chci zmínit je fakt, že kapky vody na okvětních listech růže se dokážou udržet i v převrácené poloze směrem k zemi. Voskový povrch pokrývají hierarchicky strukturované nanoútvary jakožto kuželovité papily. Rozdíl je ve velikosti těchto struktur – mají 16 μm v průměru oproti 11 μm u lotosového listu (Brazil 2019). To znamená, že voda je schopna proniknout mezi mezery nanoútvarů a přilnavost vody je tím pádem mnohonásobně zvýšena. Tento stav přichycení se nazývá Wenzelův jev (obr. 10, a). Zatímco kapky, které se odvalují z lotosového listu díky drobnější

struktuře a vzduchovým kapsám představují Cassie-Baxterův jev (obr. 10, b), (jsou pojmenovány po vědcích, kteří definovali tyto různé jevy smáčení). Výše zmíněné jevy jsou v literatuře nejpoužívanější, a proto jsou zmiňovány i v této práci, jelikož jsou logicky vysvětlitelné. Přechod mezi Wenzelovým a Cassie-Bexterovým jevem (obr. 10, c) i přes mnoho výzkumů není jasně definovatelný, ale domněnkou, se kterou se taktéž ztotožňuji, zůstává, že k tomuto jevu může dojít při poškození struktur, při silném dopadu kapky na povrch, při odlišném tlaku během kondenzace nebo odpařování vody, či v důsledku otřesů/vibrací (Chattopadhyay 2020).



Obr. 10: Pozorovatelné jevy při kontaktu kapky s povrchem

1.5 Epikutikulární vosky

V předchozí kapitole byly představeny epikutikulární vosky jako hlavní činitel při ochraně pokožky listu. Zároveň bylo důležité zmínit, jakými způsoby jsou tyto vosky narušovány, včetně toho, co jejich narušení může způsobit.

Tato kapitola se věnuje podrobněji vzniku těchto okem neviditelných vosků, které se vyznačují specifickými tvary a uskupeními a jejich podrobným strukturám při zkoumání na rastrovacím elektronovém mikroskopu.

Za první studii epikutikulárních vosků vděčíme chirurgovi, botanikovi a mykologovi v jedné osobě a tím byl Heinrich Anton de Bary, který provedl první komplexní studii v roce 1871. Za pomocí světelného mikroskopu, který se již v určité oblasti podobal dnešním mikroskopům, prozkoumal cca 60 druhů epikutikulárních vosků a rozdělil je do 4 kategorií. První skupinu tvořily „vrstvy“ či „krusty“, druhou skupinu „tyčky“, třetí skupinu „granule“ a poslední skupinu „nahromaděný pokryv“ – jakési šupiny. (Barthlott, et al. 1998).

Po vynalezení převratného přístroje, jímž byl rastrovací elektronový mikroskop (SEM – anglicky *scanning electron microscope*) se otevřely další dveře do mikroskopického světa rostlin. De Baryho klasifikace byla využita jako základ a byla postupně revidována, nakonec

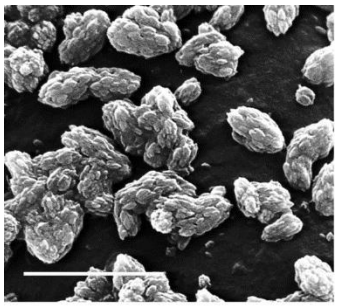
bylo vše převzato několika dalšími autory (Barthlott, et al. 1998). Ve výsledku všechny tyto výzkumy došly k představení 6 typů voskových struktur a z toho dalších 19 variant – 4 varianty vrstev a krust, 5 variant tyčinkových struktur, 3 varianty granulových, 3 varianty šupinových pokryvů, 2 varianty amorfních vrstev a 2 varianty destičkovitých struktur (Barthlott, et al. 1998).

Již párkrát byl zmíněn termín „voskový krystal“, jež byl a stále je hojně využíván v literatuře a zároveň Barthlott & Wollenweber (1981) navrhují termín „krystaloid“ což je pro tyto účely výstižnější. Tyto krystaloidy se skládají z různých chemických sloučenin (viz kapitolu *1.5.4 Chemické složení kutikulárních vosků*). Krystaloidy jsou voskové výčnělky vystupující z voskovitého filmu. Každý typ je charakteristický určitým tvarem, velikostí a orientací. Většinou jsou charakteristické pro určité rostlinné rody či druhy, ale je možné objevit i více typů na jednom povrchu, tomu se říká *synoptismus*. Zároveň některé povrchy jsou schopny tvořit krystaloidy na základě měnících se podmínek. To znamená, že jejich struktura je proměnlivá, a tomuto jevu říkáme *morfismus*. (Barthlott, et al.1998, s. 242).

1.5.1 Obecná charakterizace typů krystaloidů hydrofobních povrchů

Granule

Nevyskytují se často, a stále se spekuluje o jejich zařazení mezi krystaloidy. Samotné krystaloidy bývají zaoblené a mohou být dokonce i duté (Barthlott, et al.1998). Granule zobrazuje obr. 11.

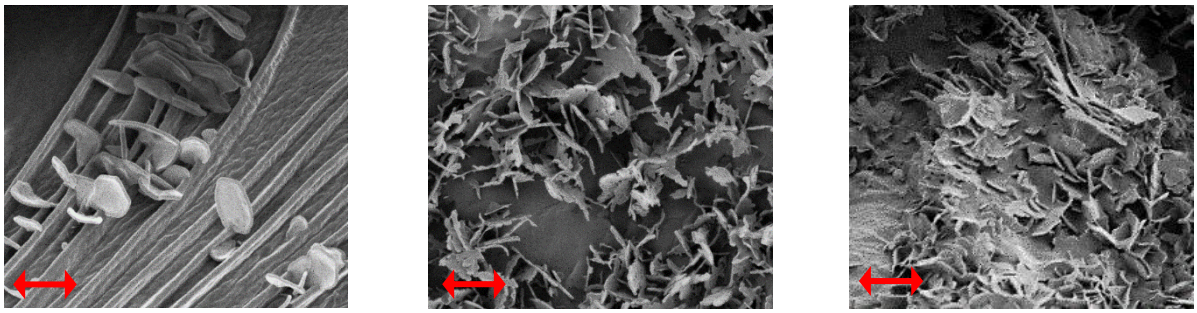


Obr. 11: Granule – Aegiceras corniculatum, měřítko 5 µm (Barthlott, et al. 1998, str. 243)

Destičky a desky

Tento typ je nejrozšířenější a je tedy vypozorovatelný u většiny druhů rostlin ze skupin mechů, kapradin a krytosemenných rostlin. S povrchem jsou jednotlivé krystaloidy spojené užší stranou, tvary jsou ale proměnlivé a stejně tak jejich délka a šířka. Destičky lze dále dělit dle jejich detailního tvaru na ucelené a neucelené. Ucelené destičky nemají okraje nijak narušené a dále diferenciované (obr. 12, a), kdežto neucelené destičky mají okraje různě narušeny a působí

„neuhlazeně“ (obr. 12, b). Poslední skupinou jsou membránové destičky, které jsou charakteristické velmi tenkými vláknitými destičkami, které působí až „roztrhaně“ (obr. 12, c). V neposlední řadě rozlišujeme i desky, které mají polygonální tvar a okraje ucelené. Od ucelených destiček se liší proměnlivou velikostí a připojením k podkladu pod různými úhly. (Barthlott, et al.1998).

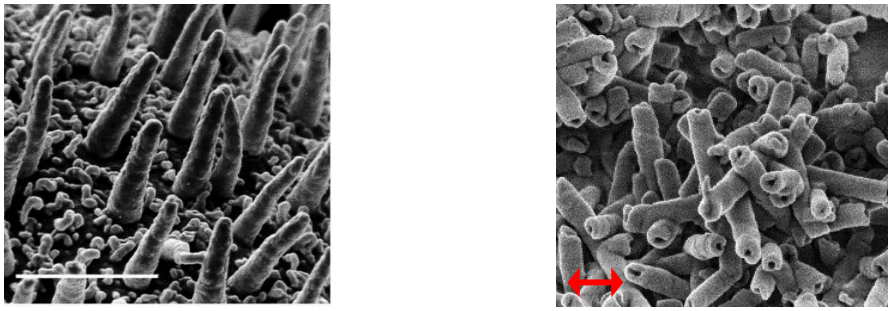


Obr. 12: Krystaloidy deskovitého tvaru, měřítko 1 µm – a) ucelené (špirlice sp), b) neucelené (locika kompasová), c) membránové (vrba kroucená)

Tyčinky a tubuly

Rozlišují se především díky tvaru na řezu, tzn, zda je kruhový, trojúhelníkový nebo mnohoúhelníkový (polygonální). Dále na první pohled rozeznáme jejich celkový tvar, zda jsou tyčinky (obr. 13, a) rovné, svinuté, vrstevnaté, rýhované apod., nebo zda se jedná o tubuly, které jsou viditelně duté, i kdyby jen do určité části. Polygonální krystaloidy v hranaté formě připomínají běžné minerální krystaly, taktéž jsou přímé a tvoří shluky, kdežto krystaloidy na řezu trojúhelníkové bývají často zahnuté a taktéž tvoří shluky. Krystaloidy, které tvoří tyčinky na řezu kulaté, jsou k podkladu připevněny kolmo. Je snadné je zaměnit s tubuly (tyčinky s otvory) pokud jsou např. poškozeny a mají tedy zakryté otvory. Dalším typem jsou svinuté tyčinky. Svinuté bývají po celé délce a často se větví. Posledním typem tyčinek jsou příčně vrstvené (připomínají krápníky). (Barthlott, et al.1998).

Tubuly jsou charakteristické svým otvorem na konci a neproměnlivou délkou (obr. 13, b). Tubuly tvořené především nanocosanem jsou kulovité, tvoří shluky a jsou typické zejména pro nahosemenné rostliny, avšak mohou se vyskytovat i u určitých krytosemenných. Tubuly tvořené sloučeninami p-diketony shluky netvoří a bývají na koncích trychtýřovité.

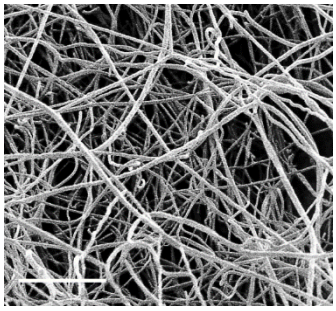


a) tyčinky **b) tubuly**

Obr. 13: a) tyčinky, (Sceletium compactum, měřítko 10 µm, Barthlott, et al. 1998, str. 245), b) tubuly (pámelník bílý, měřítko 2 nm)

Vlákna

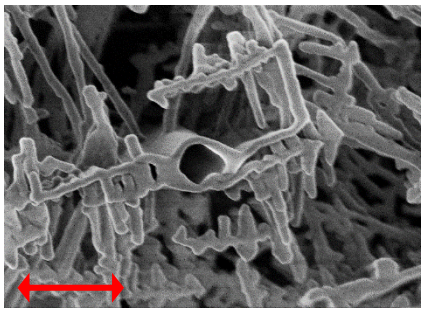
Velmi dlouhé a spletité krystaloidy, jejichž uskupení připomíná plstěný obal, jsou typické pro tropickou masožravou rostlinu rosnatku Burmannovu (*Drosera Burmanii*). Poměr mezi jejich délkou a šířkou je 100:1. (obr. 14, Barthlott, et al.1998).



Obr. 14: Vlákna – Drosera burmanni, měřítko 2 µm (Barthlott, et al. 1998, str. 246)

Ostatní

Patří mezi ně ty, které mívají proměnlivou délku nebo tvoří mnoho vrstev. Jsou totiž schopné polymorfismu, to znamená, že tvoří krystaloidy různých typů a tvarů (obr. 15).



Obr. 15: Polymorfimus – kapusta kadeřávek (měřítko 1 µm)

1.5.2 Orientace a uspořádání krystaloidů

Uspořádání a orientace krystaloidů se nedá zcela určit u každého typu. Pravidelnost v uspořádání lze pozorovat například u destiček, které jsou často paralelně uspořádány, zatímco tubuly mohou tvořit shluky. Obecně lze ale usoudit, že uspořádání závisí na konkrétním povrchu (rozmístění a velikost průduchů, přítomnost trichomů apod.) a dalších vlastnostech, které jsou zmiňovány v souvislosti s klimatem a prostředím.

1.5.3 Souvislost typu krystaloidů s čeledí

Voskovité vrstvy se vyskytují téměř u všech zástupců rodu Mimosaceae nebo Caryophyllaceae, zatímco u jiných rodů se vyskytují jen u určitých zástupců. Proč se tedy hydrofobní struktury tvoří jen u některých druhů, musí být zapříčiněno jiným faktorem. (Barthlott 1997, s. 239). Tím faktorem jsou klimatické podmínky, jako je množství srážek, vlhkost vzduchu, sluneční záření, aerosoly ve vzduchu, teplota vzduchu a podobně.

1.5.4 Chemické složení kutikulárních vosků

Již více než 50 let bylo intenzivně studováno chemické složení vosků a u několika rostlin popsáno. Složení je zkoumáno obecně, a ne zvlášť u intrakutikulárních a epikutikulárních vosků (Koch, et al. 2006).

Rostlinné vosky jsou komplexní alifatické (organické sloučeniny) a cyklické (organické sloučeniny s uzavřeným uhlíkovým řetězcem) směsi. Jak je to s chemickým složením, je stručně a celkem jasně uvedeno v publikaci *„Classification and terminology of plant epicuticular waxes“* (Barthlott, et al. 1998, s. 254–258) a ze zmíněných stránek v publikaci využívám stěžejní informace pro následující odstavec. U ep. vosků, které tvoří destičky a desky, převládají primární alkoholy, ale nalezeny byly i triterpenoidy (terpeny). Polygonální tyčinky jsou převážně tvořeny speciálními triterpenoidy, klasické tyčinky jsou z esterů, aldehydů a triterpenoidů a příčně rýhované jsou tvořeny ketony. Obecně u tubulů převažují dioly nebo nanokosany. Vosky tvořící vlákna jsou charakteristické flavonoidy.

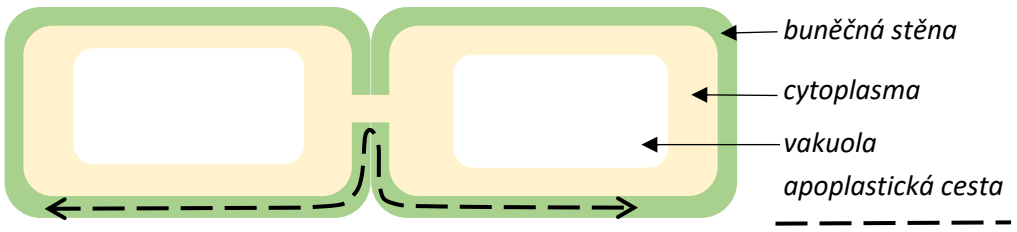
Obecně lze tedy rozdělit alifatické sloučeniny na přirozeně se vyskytující, ale zároveň nedominantní ve voskovém složení – mezi ně se tedy řadí hydrouhličitany, estery, primární alkoholy, mastné kyseliny a aldehydy. Mezi méně běžné, ale často dominantní al. sloučeniny ve voskových strukturách patří ketony, beta-diketony a sekundární alkoholy. Z cyklických sloučenin jsou to již zmíněné triterpenoidy a flavonoidy. (Koch, et al. 2006)

1.6 Transport hydrofobních polymerů do rostlinného apoplastu

Co je apoplast?

Apoplast (obr. 16) zahrnuje mezibuněčný prostor, buněčné stěny a xylém. Skrze něj probíhají pro rostlinu důležité funkce a procesy , jako je transport živin a vody, syntéza celulózy a syntéza molekul, které se podílejí na obraně rostlin proti biotickým i abiotickým stresům.

Rostlinný apoplast obsahuje čtyři hydrofobní polymery – lignin, suberin, kutin a kutan, které jsou klíčové pro odolnost vůči stresu, řízení difúze s rozpuštěnými látkami a posílení buněčné stěny. Některé z těchto polymerů jsou široce využívány v průmyslu a produktech každodenního života, jako je veškeré zboží obsahující dřevo (lignin) a vinný korek (suberin). Navzdory důležitosti těchto polymerů zůstává několik aspektů jejich tvorby neznámých. (Farvardin, et al. 2020)



Obr. 16: Rostlinná buňka; apoplast

Lignin

Lignin chrání rostliny před environmentálními stresy a umožňuje jim vybudovat sofistikovaný systém transportu rozpuštěných látek, který odolává vysoce negativním vodním vlivům a poskytuje strukturální pevnost. Skládá se z určitých monolignolů, esterů a tricinu. Byly navrženy čtyři modely pro transport ligninu do apoplastu. Aktivní transport přes ATP-nosiče, transport prostřednictvím vezikul, pasivní difúze přes membránu nebo usnadněný transport. Je pravděpodobné, že je zapotřebí více než jeden transportní mechanismus. Rozdíly taktéž nastávají u každé rostliny nebo na základě změn v prostředí. (Herburger, et al. 2021)

Suberin

Podobně jako lignin je suberin strukturním a ochranným polymerem v rostlinném apoplastu. Hraje podstatnou roli při regulaci příjmu vody a živin a odolává půdním mikrobům v kořenech; ve stoncích suberin posiluje a chrání tkáně. Suberin obsahuje některé monolignoly a

kyseliny (p-kumarová a ferulová kyselina. Stručně ABC pumpy/transportéry poloviční velikosti jsou považovány za dominantní mechanismus pro export prekurzorů suberinu. (Herburger, et al. 2021)

Kutin

Je zodpovědný za hydrofobní vrstvu no rostlinách. Kutin tvoří polyesterovou vrstvu jako suberin, ale obsahuje méně fenolických látek a kratších hydroxy mastných kyselin. ATP transportéry mohou být zodpovědné za transport kutinových prekurzorů z cytoplazmy do apoplastu. Avšak na rozdíl od ligninu a suberinu musí hydrofobní prekurzory kutinu projít hydrofilní buněčnou stěnou, aby se staly součástí nejzevnější vrstvy kutikuly. Za tento trans-buněčný transport by mohly být údajně zodpovědné LTP transportéry a kutinsomy. (Herburger, et al. 2021)

Kutan

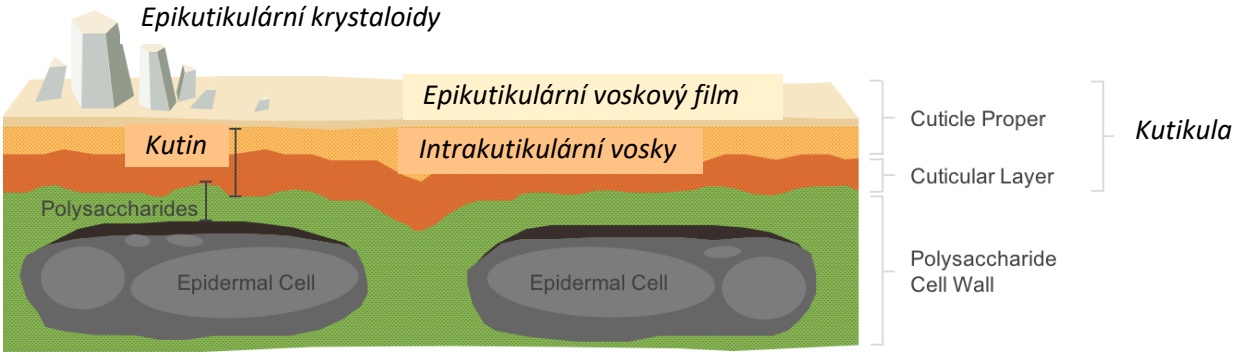
Dle Booma je kutan polyether, který údajně považován za polymer vyskytující se u rostlin přizpůsobených suchu. Informace o transportu však chybí. (Herburger, et al. 2021)

2 Rostliny – stavba listu

List je vysoce organizovaná „továrna“ – orgán složený z několika typů specializovaných pletiv, z nichž každé má své vlastní povinnosti. Produktem není méně než biomasa a další prvky, které podporují téměř veškerý život na Zemi (ačkoli nesmíme zapomínat, že zhruba polovinu fotosyntetické produktivity Země tvoří řasy a sinice, oba evoluční předchůdci rostlin). (CK- 12, 2023).

Začněme od vnějšku. Tenká vrstva tvořená těsně semknutými buňkami na svrchní i spodní straně listu se nazývá epidermis = krycí pletivo. Tato vrstva je velmi důležitá z hlediska ochrany před vnějšími vlivy i organismy, výměny důležitých složek a prvků mezi rostlinou a prostředím včetně kontrolování výparu vody, taktéž z hlediska přenosu slunečního záření. Epidermis je speciální tím, že tvoří voskovou svrchní vrstvu = **kutikulu** z kutinu (obr. 17) – látky podobné vosku obsažené v buněčných stěnách. Epidermis a její vlastnosti jsou proměnné v závislosti na aktuálních podmínkách. To znamená, že svrchní a spodní část listu se může do určité míry lišit. Rozdíly tvoří také lokalita a zdejší podmínky (sucho, vlhko, dostatek či nedostatek slunečního záření apod.). Z epidermis mohou taktéž vyrůstat trichomy (tj. chloupky), které buď rostlinu do určité míry chrání před konzumací nebo jí pomáhají zadržovat vodu. (CK- 12, 2023).

Povrch listů rostlin je pokryt ochrannou bariérou tvořenou kutinovým polyesterem a **epikutikulárními** vosky (obr. 16). Vrstvy kutikuly jsou produkovány epidermis během raných růstových fází. Kutikula tvoří velmi účinnou bariéru proti ztrátě vody při transpiraci. U některých rostlin jsou schopny chránit DNA buněk odrazem nebo absorpcí UV-záření a snížit záření vysoké intenzity světla rozptylem a odrazem (Koch, et al. 2006). Její velmi úspěšnou strategií proti různým patogenům (např. bakterie a plísně) je samočistící vlastnost (více v kapitole *1.3.1 Samočistící jev (lotosový efekt)*. Dle (Koch, et al. 2006) za některé vlastnosti rostlinné kutikuly jsou zodpovědné především vosky. **Intrakutikulární** vosky (obr. 16) fungují hlavně jako bariéra při transpiraci vody, zatímco epikutikulární vosky silně ovlivňují smáčivost a odraz světla. Epikutikulární vosky jsou někdy viditelné jako bílý nebo sivý povrch (např. na švestkách a hroznech, zelí apod.). Několik výzkumů na SEM ukázalo, že většina epikutikulárních vosků tvoří trojrozměrné struktury s různými morfologickými variacemi.



Obr. 17: Stavba kutikuly, převzato a upraveno z (Cultiva 2023)

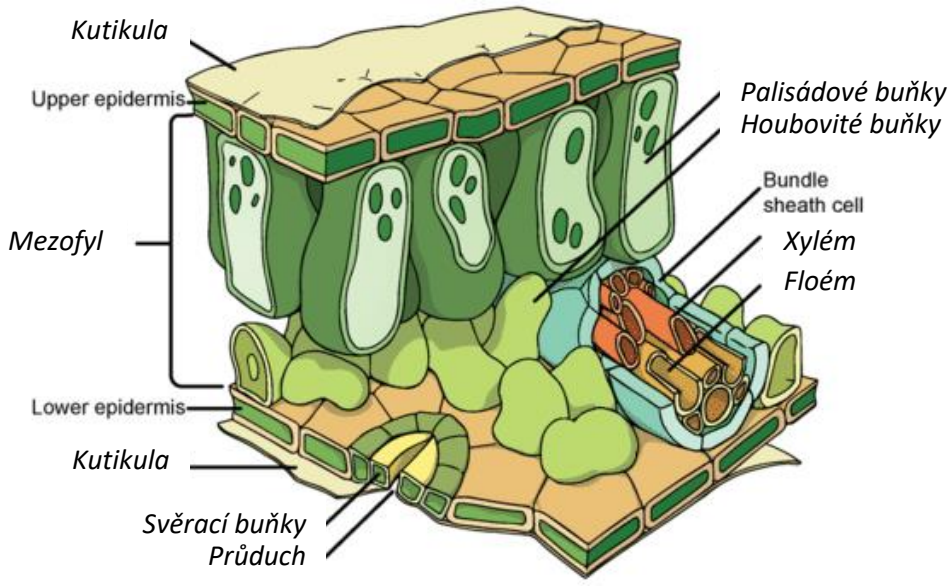
Díky přítomnosti kutikuly jsou zajišťovány důležité výměny plynů, jako je absorpce oxidu uhličitého a zároveň vylučování kyslíku. Tyto funkce probíhají především prostřednictvím průduchů, které se vyskytují ve větším počtu na spodní straně listu, ale u rostlin plovoucích na vodě jsou logicky častější na svrchní straně.

Průduchy (obr. 18) jsou tvořeny dvěma specializovanými ochrannými buňkami ze sklerenchymu (jejich buněčné stěny jsou sekundárně zesílené celulózou, hemicelulózou a ligninem). Sklerenchym je spirálovitě stočen kolem buněk, aby nedocházelo ke zvětšování jejich objemu. Epidermální buňky kolem buněk průduchů je udržují semknuté pěvně při sobě, takže se dokážou od sebe jen odklánět a vytvořit tak požadovaný otvor. Za denního světla nebo vysoké vlhkosti vzduchu, kdy je pro fotosyntézu potřeba CO_2 a ztráta vody může být minimalizována, ochranné buňky využívají aktivní transport ke změně koncentrace vodíkových a draselných iontů tak, aby voda proudila do buněk. Tlak se tedy zvyšuje a díky osmóze se buňky od sebe odklání, aby vytvořily otvory. Naopak, uzavírání průduchů je řízeno signály vedoucích od kořenů, když je nedostatek vody. Za těchto podmínek se v kořenech uvolňuje hormon, kyselina abscisová (ABA), která se váže na receptory v membránách průduchových buněk a mění příjem a koncentraci iontů. Následné snížení koncentrací iontů v cytoplazmě vede ke ztrátě vody osmózou, průduchy se „uvolní“ a uzavřou (semknou se k sobě). (CK- 12, 2023).

Mesofyl (nachází se mezi svrchní a spodní pokožkou, obr. 18) zahrnuje pletiva, která tvoří většinu vnitřní části listu. Tato pletiva jsou odpovědná za procesy spojené s fotosyntézou, takže většina je tvořena tenkostěnnými parenchymatickými buňkami nebo kolenchymatickými buňkami s chloroplasty. U vyšších rostlin a kapradin tvoří mezofyl dvě různé vrstvy – horní a spodní. Horní, palisádová vrstva s buňkami obsahujícími velké množství chlorofylů, zachycuje většinu slunečního záření, a tudíž zajišťuje největší část z procesu fotosyntézy. Tato část je tvořena několika vrstvami protáhlých buněk, jelikož kratší strany směřují k vrcholu. Intercelu-

lární (mezibuněčný) prostor téměř chybí, aby se maximalizovala dostupnost surovin při fotosyntéze tím, že dochází přímo k difúzi CO_2 a přesunu H_2O. Spodní houbovitá vrstva parenchymu obsahuje různě tvarované zaoblené buňky s méně chloroplasty a většinou tvoří jednu vrstvu (obr. 18). Buňky mají větší intercelulární prostory, ale jsou propojeny s průduchy. Tato vrstva umožňuje difúzi kyslíku, vodní páry a oxidu uhličitého (především transpirace), když jsou průduchy otevřené. (CK- 12, 2023).

Pletiva vodivá (což je i žilnatina listů) jsou zodpovědná za transport látek mezi kořenem a prýtem (N. A. Campbell, J. B. Reece 2006). Vnitřní vrstva cév – xylém, transportuje vodu a minerály z kořenů a stonku do listů. Xylém (obr. 18) se skládá z mrtvých buněk se zesílenými buněčnými stěnami, které jsou jedinou funkční částí buněk. Buňky se nazývají tracheidy neboli cévice a tracheje neboli cévy, jsou protáhlého tvaru a uspořádány kratšími stěnami k sobě. Cévice mají kratší stěny perforované, kdežto cévy jsou bez přepážek. I perforované stěny umožňují volnému proudění molekul vody bez narušení vodíkových můstků (= koheze) při transpiračním tahu. Vnější vrstvu tvoří floém (obr. 18), který už je tvořen živými buňkami, jež se nazývají sítkové buňky. Taktéž tvoří dlouhé trubice, kterými se transportuje sacharóza vytvořená v listech a další minerály do dalších částí rostliny. Ačkoli jsou buňky živé, tak neobsahují jádro, vakuoly a ribozomy. U krytosemenných rostlin jsou kratší strany perforovány – jsou to takzvaná sítková políčka, která usnadňují a zároveň usměrňují tok živin z buňky do buňky. Podél každé sítkové buňky se nachází buňky průvodní, které jsou vzájemně propojeny plasmodesmaty (kanálky). Buňky průvodní nevedou živiny, ale vypomáhají sítkovým buňkám, nahrazují jim chybějící jádro a další organely. (CK- 12, 2023).



Obr. 18: Stavba listu, převzato a upraveno z (CK-12, 2023)

PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část se věnuje metodám a postupům zkoumání. Obsahuje ucelené výsledky a informace o rostlinách z různých hledisek včetně vlastních zjištěných a zkoumaných hodnot.

3 Postup vytipování vzorků a přípravy

Výběr vhodných rostlin podléhal především kritériu, aby jejich povrchy (tzn. list nebo okvětní plátek) byly hydrofobní. Vytipování a sběr vzorků tedy probíhal i na základě odborných dat ze článků v elektronické podobě. Ověření nebo nová zjištění vhodných povrchů bylo zkoumáno dvěma způsoby. Po dešti při terénním průzkumu bylo zkoumáno, jak se dešťové kapky zadržely na povrchu (zda je úhel smáčivosti již od pohledu větší než 90° či jak se kapky z povrchu odvalují), nebo obdobně bylo zkoušeno pomocí pipety nanášení kapek vody na povrchy a byla sledována smáčivost.

3.1 Postup při testování a mikroskopování vzorků

Vybrané vzorky listů byly charakterizovány na dvou stanovištích. Smáčivost byla hodnocena kapkovou metodou pomocí SeeSystem na Katedře materiálu FS TUL (obr. 19), zatímco mikrostruktura povrchu byla zdokumentována pomocí skenovacího elektronového mikroskopu ZEISS Ultra Plus v Laboratoři mikroskopie Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace TUL.

Vzorky určené pro měření kontaktního úhlu byly pomocí oboustranné lepicí pásky přilepeny na podložní sklíčko. Na jejich povrch byly naneseny pomocí pipety tři kapky o objemu 3 µl a tyto byly vyfotografovány a následně byl změřen úhel smáčivosti.

Vzorky určené pro charakterizaci mikrostruktury povrchu byly přilepeny na hliníkové terčíky. Jejich povrch byl zvodivěn naprášením 2 nm platiny. Pro studium struktury pomocí SEM bylo zapotřebí nastavit nízké urychlovací napětí (0,5-2 kV) a velmi nízké proudy (1-5 pA) aby nedošlo k poškození voskových struktur.

Obr. 19: Zázemí pro měření úhlu smáčivosti (kapková metoda, tříbodové měření)

4 Výsledky – rostlinné druhy

Zde je uvedeno 15 druhů rostlin u nichž byla pozorována struktura kutikuly a úhel smáčivosti. Informace jsou rozšířeny o základní popis a zajímavá fakta včetně fotografií, což dohromady tvoří ucelený svazek o rostlině ze známých i méně známých směrů.

4.1 Lichořeřišnice větší

Lichořeřišnice větší neboli kapucínka, latinsky *(Tropaeolum majus)*, patřící mezi čeleď lichořeřišnicovité *(Tropaeolaceae)* je zpravidla letnička. Tzn. že její vegetační období vrcholí především v létě, ale některé kultivary mohou být i trvalky. Lichořeřišnice pochází z Jižní Ameriky a Střední Ameriky, od Mexika po Chile a byla objevena v rovníkových oblastech v 16. století. Byla označována jako „indiánská řeřicha“ díky obsahu hořčičného oleje, který je podobný tomu, který produkuje řeřicha lékařská *(Nasturtium officinale),* (Mahr 2022). Květy a listy jsou jedlé, mají lehce pikantní chuť připomínající již zmíněnou řeřichu a často doplňují saláty.

Podle Susan Mahr (Mahr 2022) se vyznačuje intenzivně zbarvenými květy od odstínů žluté až po červené. Obvykle mívají 5 okvětních lístků a vždy mají vzadu trychtýřovitý nektarový výběžek. Po odkvětu se tvoří 3dílné ledvinovité tobolky. Listy mají specifický štítovitý, téměř kruhový tvar, mohou připomínat listy leknínů. Jsou světle zelené se světlou žilnatinou, která vychází z centrálního řapíku (obr. 20).

Popis: „V našich klimatických podmínkách jednoletá bylina, 15–40 cm vysoká, lodyha plazivá, větvená, až 3 m dlouhá, listy řapíkaté, štítovité, celokrajné až mělce laločnaté, lysé, květy 5četné, stopkaté, koruna oranžová, červená, žlutá i lososově růžová, korunní lístky volné, nehetnaté, dolní na bázi brvité. Plodem je tobolka“ (Kovář 2007).

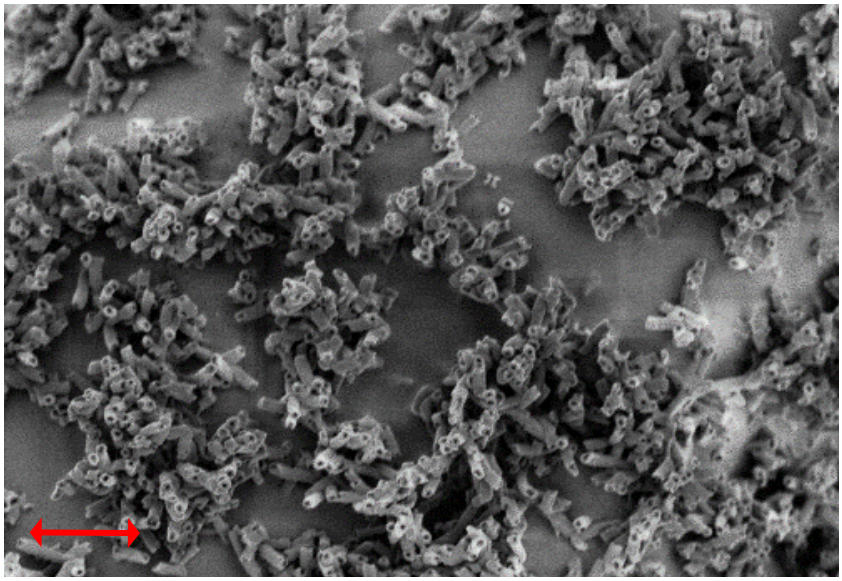
Fytoterapie dle Hentricha a Janče (2008b, s. 20): Pro léčebné účely se využívají semena, květy, listy a čerstvá šťáva. Nať se sbírá během celé vegetační doby, semena jsou však zralá až v září/říjnu. Léčivými látkami jsou isothyokyanát benzylnatý, silice, draslík, olej, bílkoviny. Jejich účinky se využívají v oblasti urogenitální (antibiotický účinek na stafylokoky, streptokoky, *Proteus vulgaris, Escherichia coli, Salmonella* sp. a další bakterie), ale i ve spojení s potížemi v oblasti dýchacích cest.

Velmi rozšířená je lichořeřišnice v podobě tinktury, která do jisté míry působí jako náhrada za antibiotika v prvotní fázi infekce a obecně se využívá k podpoře silné imunity.

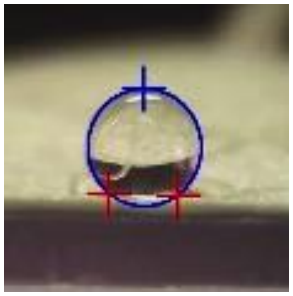
Struktura ep. vosků: Struktura vykazuje jasné tubuly (tyčinky s dutinou uvnitř), které jsou seskupovány do shluků. Nevyznačují se žádnou pravidelnou orientací nebo seskupováním. Mezi shluky však vznikají větší prostory bez pokrytí krystaloidy (obr. 21).

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila cca 143° což téměř spadá do kategorie superhydrofobní (nad 150°) do které lichořeřišnice běžně patří (obr. 22). Nižší úhel mohl být naměřen kvůli poškození povrchu listu nebo delšímu prostoji mezi utržením a měřením → povadnutí.

Obr. 20: Lichořeřišnice větší (Tropaeolum majus), zleva – spodní strana listu, květy a listy



Obr. 21: Spodní strana listu, seskupené tubuly (měřítko 1 µm)



Obr. 22: Kontaktní úhel smáčivosti 143°

4.2 Kosatec sp.

Kosatec, latinsky *Iris*, patří do čeledi kosatcovité – *(Iridaceae),* (obr. 23). Zahradní kultivary kosatců mohou pocházet z různých zemí a zároveň různých podnebných oblastí. Bez květenství se nesnadno rozlišují, ale díky existenci mnoha zahradních kultivarů často přesné určení ani nelze. Kosatec, z něhož byl odebrán vzorek, je s největší pravděpodobností kosatec německý, latinsky *Iris germanica*.

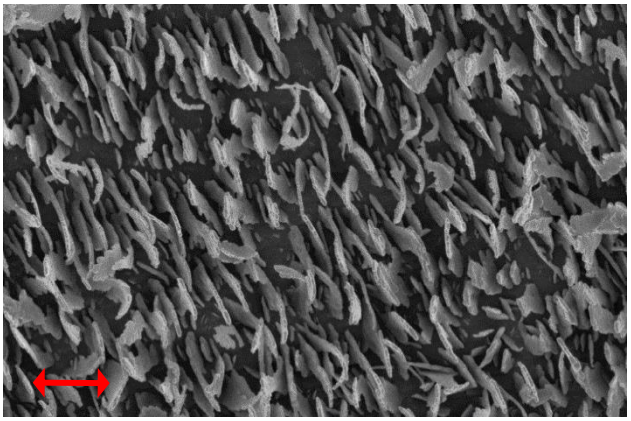
Popis: „Vytrvalá bylina vysoká 0,3–1 m; oddenek je dužnatý, plazivý, větvený. Z oddenku vyrůstají mečovité, 30–70 cm dlouhé a 2–3,5 cm široké, špičaté, šedozelené listy; mezi listy vyrůstá oblá, v horní části někdy větvená lodyha nesoucí vějířek květů. Květy jsou velké, na bázi obalené obvejčitými listeny toulce, které jsou na bázi bylinné, v horní části suchomázdřité; okvětní trubka je 1,7–2,5 cm dlouhá, cípy okvětí jsou 5,5–9 cm dlouhé, modré nebo modrofialové či bílé, u kultivarů v různých pastelových barvách, vnější cípy jsou rozestálé a špičkami dolů ohnuté, na střední žilce s nápadným bílým, na bázi žlutavým kartáčkem chlupů, vnitřní okvětní cípy směřují šikmo vzhůru a špičkami jsou k sobě skloněné; tyčinky mají nitku stejně dlouhou jako prašník; semeník je spodní, lupenitá ramena čnělky jsou světle modrofialová, 4–5 cm dlouhá. Tobolky jsou elipsoidní, 5–6 cm dlouhé.“ (Grulich 2014)

Fytoterapie dle Hentricha a Janče (2008a, 248–251): Léčivou částí je loupaný oddenek, který obsahuje silice s ironem – iron vzniká až při sušení. Kosatec se pro své účinky využívá i ve směsích, nelze ale konzumovat listy, jelikož požití vyvolává zvracení. Mezi další přítomné látky patří třísloviny, škroby, cukry, olej, sliz, flavonový glykosid, iridin, fytoncidya atd. Léčivé využití je hlavně při vykašlávání, ale i při zanícení sliznic. Účinky působí i mírně projímavě, močopudně a žlučopudně. Obecně se využívá při migrénách, nevolnostech, pásovém oparu, otocích apod.

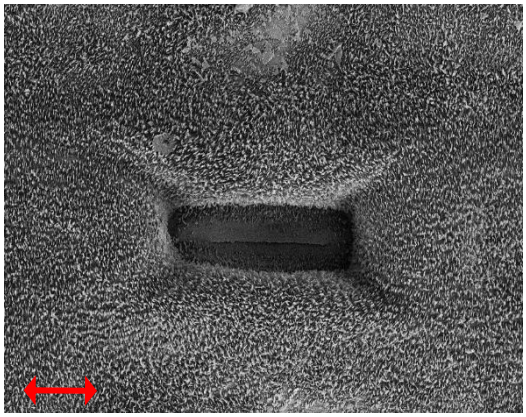
Struktura ep. vosků: Struktura povrchu kosatce se vyznačuje neucelenými paralelně orientovanými destičkami (obr. 24). Destičky nejsou orientované stejným směrem po celém listu, ale vždy jen v určité oblasti. Přibližná délka destičky je cca 1 µm, šířka cca 0,5 µm. Například kolem průduchů, které tvoří prohlubně a záhyby, se jejich orientace mění (obr. 25). Destičky jsou velmi blízko u sebe, pokožka tedy není téměř vidět. Jejich velikost a tvar se liší, hloubka zůstává celkem stejná, ale šířka a délka se mění, stejně tak se liší tar v podobě neucelených okrajů (připomínají nastrouhanou slupku)

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem změřila na cca 134°, tímto tedy spadá do hydrofobních povrchů, ale je velmi blízko superhydrofobitě (obr. 26).

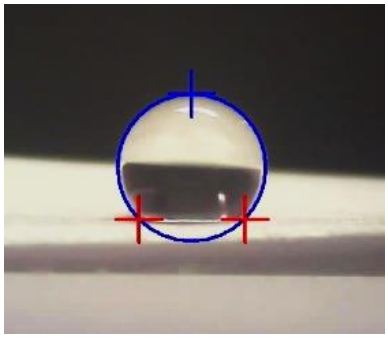
Obr. 23: Kosatec (Iris), listy



Obr. 24: Neucelené destičky na povrchu listu (měřítko 1 µm)



Obr. 25: Průduch s krystaloidy (měřítko 10 µm)



Obr. 26: Kontaktní úhel smáčivosti 134°

4.3 Špirlice

Špirlice, latinsky *Sarracenia*, z čeledi špirlicovité *(Sarraceniaceae)* pochází z východní části Severní Ameriky a soustředěna je především v severní Floridě a v jižních částech Georgie a Alabamy. Jejich přirozeným prostředím jsou břehy potoků, vlhké louky a savany, ale daří se jim i na plném slunci (Brittanica 2022).

Listy rostoucí z oddenku mohou být dlouhé kolem 10 cm (obr. 27), ale mohou dosahovat i přes 100 cm (např. *Sarracenia flava*). Jejich rodové jméno v anglickém jazyce *„pitcher"* pochází od faktu, že listy prakticky představují džbán pro kořist. Listy pasivně zachycují kořist, která je lákána svým specifickým zbarvením a tvarem a případně i produkujícím pachem.

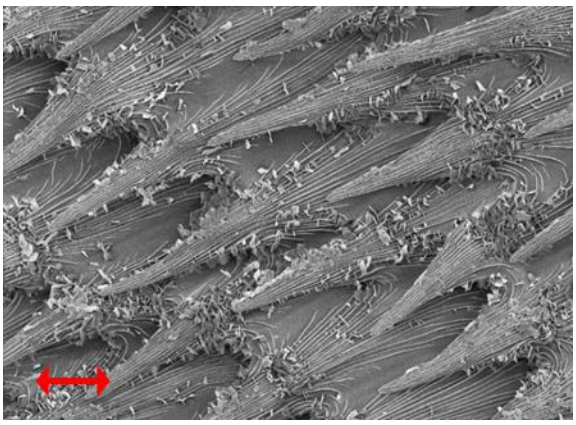
Květy specifického tvaru směřují k zemi a díky uspořádání tyčinek a pestíků se rostlina vyhýbá samosprašování a předává své geny další květině, se kterou se včela setká.

Zajímavosti: Pokud do pasti (dovnitř džbánovitého listu) vleze hmyz nebo jiný organismus, tak velmi pevné trichomy směřující směrem dolů a kluzké stěny mu brání vylézt zpět a snadno tedy klouže pastí dolů. Vyčerpaný organismus se nakonec utopí v kapalině na dně. Enzymy a další trávicí bílkoviny rozkládají tělo organismu (nejčastěji hmyzu), což umožňuje rostlině absorbovat dusičnany a další užitečné živiny, které nahrazují nedostatek živin ze špatných půdních podmínek.

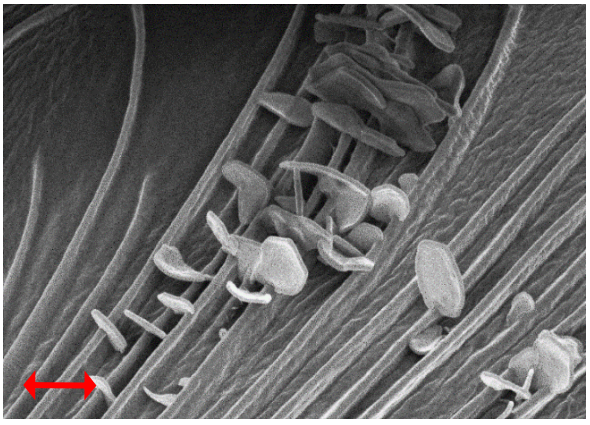
Struktura ep. vosků: Struktura na obrázku zachycuje vnitřní stranu pasti (obr. 28)**.** Vyznačuje se výstupky s podélným žebrováním směřujícími do útrob pasti. Mezi výstupky se nachází vyústění pro trávicí enzymy a produkci vosku. Na žebrování lze pozorovat i určité destičky různých velikostí s ucelenými okraji (obr. 29), hloubka se pohybuje kolem 1 nm. Celá struktura je postavena na tom, aby hmyz, který se dostane do pasti neměl možnost

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila na cca 111°, pasti špirlice jsou úzké a zakulacené, proto se úhel měřil velmi obtížně, a tudíž je pravděpodobně ve skutečnosti vyšší (obr. 30).

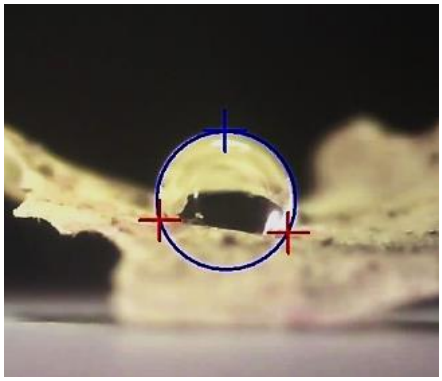
Obr. 27: Špirlice sp. (Sarracenia), pasti/listy



Obr. 28: Vnitřní strana pasti, žebrování (měřítko 10 µm)



Obr. 29: Vnitřní strana pasti, detail destičky (měřítko 1 µm)



Obr. 30: Kontaktní úhel smáčivosti 111°

4.4 Pámelník bílý

Pámelník bílý, latinsky *Symphoricarpos albus* z čeledi zimolezovité *(Caprifoliaceae).* Latinský název je odvozen od „nést spolu“ což odkazuje na plody které rostou ve shluku. Všechny přirozené druhy pámelníku pocházejí ze Severní Ameriky s výjimkou jednoho druhu ve střední Číně. Pámelník je keřovitého vzrůstu, využívá se často jako živý plot v parcích nebo kolem pozemku, je hodně rozvětvený a snadno se zastřihuje. (Brittanica 2013)

Listy jsou protilehlé, oválně eliptické až vejčité až téměř kulaté na krátkém, jemně chlupatém řapíku (obr. 30). Svrchní část je tmavě zelená, spodní část je bledší, sivá a pokrytá trichomy. Všechny druhy mají zvonkovité, narůžovělé nebo bílé pětičetné květy a plodem jsou dvousemenné bílé bobule. Bobule jsou mírně jedovaté, pro ptáky jsou ale vítanou potravou.

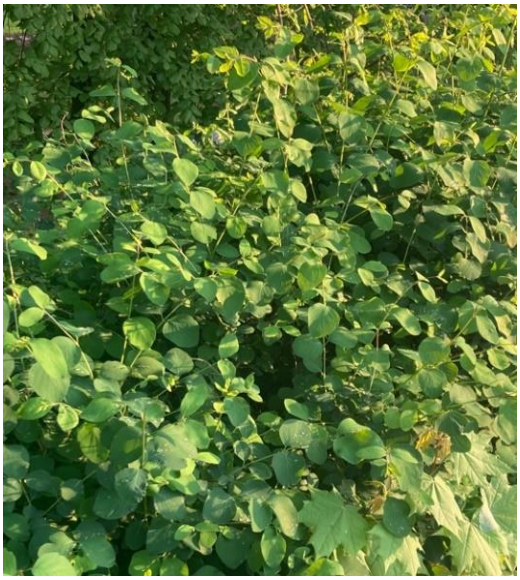
Popis: „opadavý, bohatě větvený, 0,5–2,5 m vysoký keř. Mladé větve hnědé, starší s šedou borkou. Listy vstřícné, krátce řapíkaté, lysé, čepel vejčitá až okrouhlá, 2–8 cm dlouhá, 1–4 cm široká, celokrajná. Květy vyrůstají v hustých hroznech nebo svazečcích, jsou pravidelné, pěticípé. Kalich miskovitý, jednotlivé cípy trojúhelníkovité, asi 1 mm dlouhé. Koruna téměř bílá až růžová, zvonkovitá, 5–7 mm dlouhá, tyčinky z koruny nevyčnívají. Plodem jsou bílé až mírně narůžovělé, dužnaté bobule“ (Houska 2007).

Ekologie: Pámelník bílý je vysazován v parcích, sadech, sídlištích a kolem cest, odtud zplaňuje a šíří se do okolí obcí, podél komunikací apod. Někdy se může šířit i za hranice svého vysazení. Zplaňující populace jsou známy především ze starých bouraček domů. Kvete od června do srpna (Houska 2007).

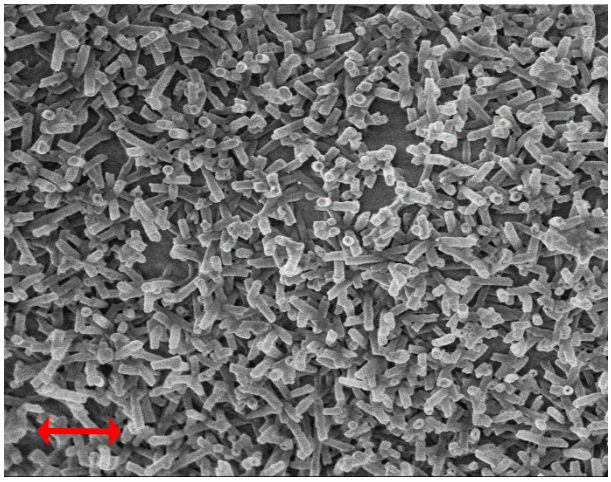
Fytoterapie dle (WRI 2023): Saponiny obsažené v rostlině mohou být toxické, ale dříve se pámelník používal zevně jako mycí prostředek, jelikož látky jsou užitečné pro ošetření pokožky a dokáže zahubit parazity. Obklad z rozmělněných listů nebo oplach vyrobený z listů se přikládal na vnější poranění, aby se zabránilo infekci a podpořilo se hojení.

Struktura ep. vosků: Struktura je charakterizována vysokou pokryvností tubulárními krystaloidy (obr. 31). Téměř není vidět na samotnou pokožku, pokrývají povrch včetně oblasti průduchů (obr. 32). Tubuly nejsou uspořádány do shluků ani netvoří konkrétní strukturu, pouze téměř celostně pokrývají pokožku a směřují do různých směrů, jako je pro tubuly typické.

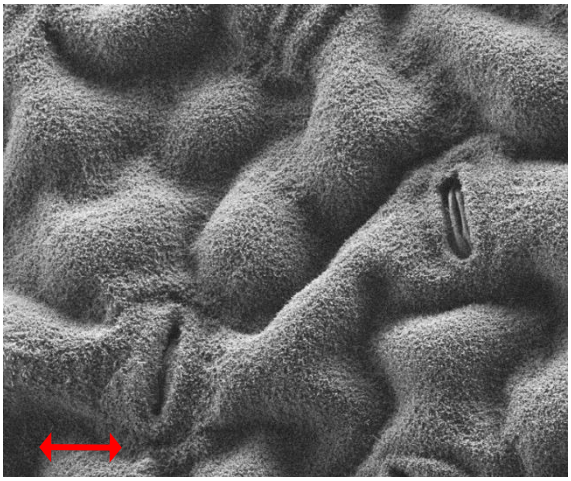
Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila na cca 135°, což se blíží superhydrofobitě. Naměřený úhel se často liší na různých listech, podle opotřebení (např. deštěm) a stáří. (obr. 33)



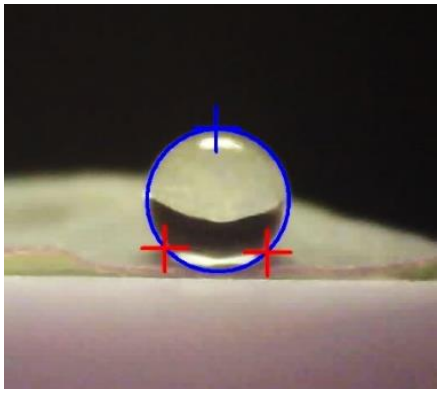
Obr. 31: Pámelník bílý (Symphoricarpos albus), listy



Obr. 32: Tubuly na povrchu listu (měřítko 1 µm)



Obr. 33: Detail průduchů na listu (měřítko 10 µm)



Obr. 34: Kontaktní úhel smáčivosti 135°

4.5 Merlík bílý

Merlík bílý, latinsky *Chenopodium album,* z čeledi laskavcovité *(Amaranthaceae)* je vzpřímená jednoletá bylina s charakteristickými listy ve tvaru husí nohy, podle čehož je právě rod *Chenopodium* pojmenován. Je znám především jako škodlivý plevel s globálním rozšířením, vyskytuje se od 70° severní šířky do 50° jižní šířky, včetně ve všech afrických zemích.

Rostlina může dorůstat až do 2 m, má silný stonek s často červenými pruhy. Listy jsou střídavé, zelené až tmavě zelené se sivým povrchem, spodní strana je světlejší. Sivý povrch je dán drobnými strukturami, které se vyskytují buď na obou stranách listu, na stonku, nebo jen na jedné straně listu anebo mohou zcela chybět. (obr. 35)

Popis: „Jednoletá, pomoučená bylina. Stonek 10–200 cm vysoký, olivově zelený se žlutozelenými nebo načervenalými pruhy. Listy střídavé, delší než širší, vejcovitě kosočtvercové, laločnatě zubaté. Horní listy kopijovité až úzko kopijovité, celistvo okrajové. Květy v klubkách, uspořádané ve vrcholových metlinách“ (Mižík 2008).

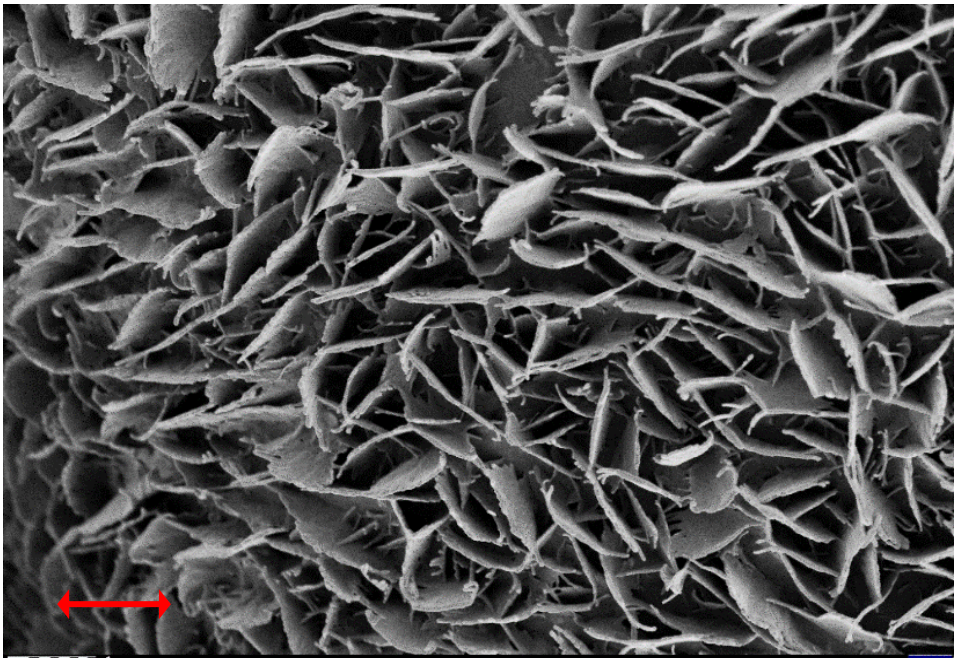
Ekologie: „Vyskytuje se v polních kulturách jako jeden z nejhojnějších plevelů. Dále v biotopech jako jsou rumištní plochy, navážky zeminy, zahrady. Kvete v červnu až září“ (Mižík 2008).

Zajímavosti: V Nepálu a severní Indii se pěstuje jako obilnina s listová zelenina. V rozvojových oblastech se semena využívají na mouku nebo se vaří s dalšími přísadami na kaši, nebo se používá také k přípravě kvašených a alkoholických nápojů. (Brittanica 2015)

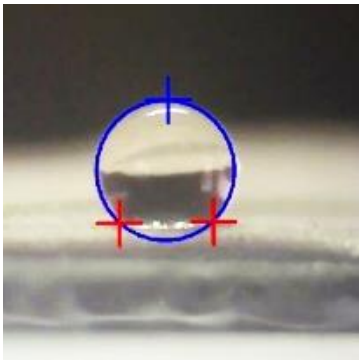
Struktura ep. vosků: Strukturu představují destičky s neucelenými okraji bez určité orientace (obr. 36). Destičky jsou větší než např. u kosatce. Téměř se spojují do sebe, některé jsou do sebe zakleslé, jiné se překrývají a zamezují tak průniku většině kontaminantů na pokožku. Díky hustotě jejich pokryvu mezi destičkami vznikají vzduchové kapsy, které napomáhají hydrofobním účinkům.

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila na cca 137° což je blízko superhydrofobitě a na některých listech je určitě možné ji naměřit (obr. 37). Kapky vody se po listech snadno kutálí a udržují si svůj tvar také díky drobným strukturám na povrchu, které lze snadno setřít prstem.

Obr. 35: Merlík bílý (Chenopodium album)



Obr. 36: Neucelené destičky na povrchu listu (měřítko 1 µm)



Obr. 37: Kontaktní úhel smáčivosti 137°

4.6 Locika kompasová

Locika kompasová, latinsky *Lactuca serriola,* z čeledi hvězdnicovité *(Asteraceae)* je jednoletá nebo dvouletá rostlina. Je nevětvená, kromě míst s kvetoucími stonky. Centrální stonek je světle zelený a směrem od listů ze spodní strany může být několik ostnů. Střídavé, tmavě zelené laločnaté listy se směrem k vrcholu zmenšují. Každý list má pár laloků, který objímá stonek. Stonky i listy obsahují bílou tekutinu zvanou latex. (obr. 38)

Z centrálního stonku a horních bočních stonků vyrůstají světle žluté květy. Každý květ se skládá z cca 20 světle žlutých paprskovitých okvětních plátků, které jsou na konci zubaté. Doba květu se pohybuje od poloviny léta do podzimu. Plodem každého květu je poté nažka stejná jako u pampelišek.

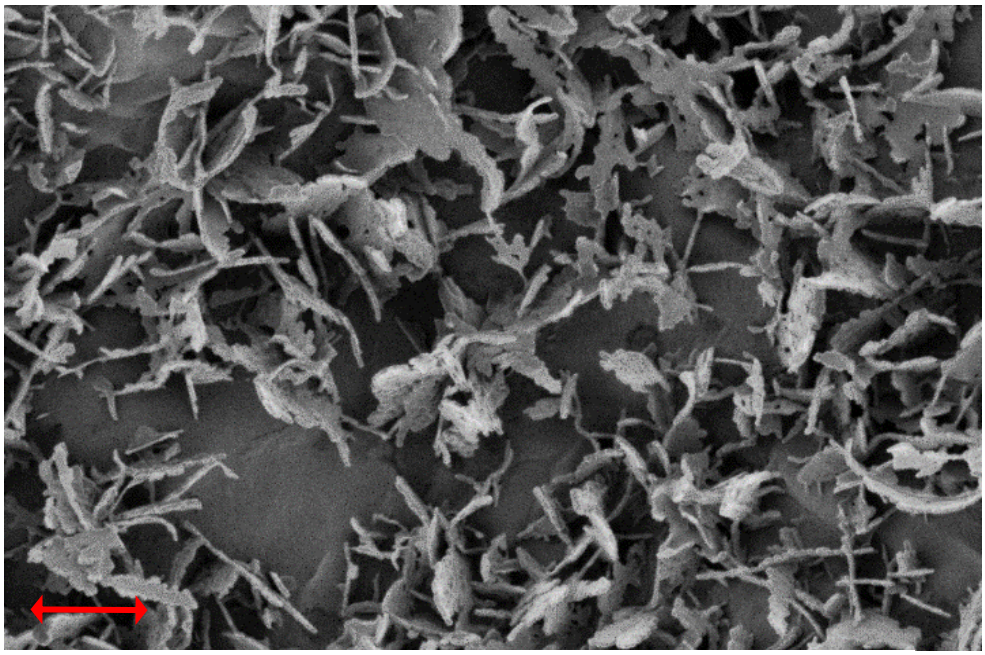
Ekologie: „Roste často na místech ovlivněných člověkem, podél cest, v lomech, na rumištích, ve spárách, na navážkách. Je odolná vůči suchu, dává přednost osluněným nebo jen mírně zastíněným polohám. Kvete od července do října“ (Cibulka 2009).

Popis: „Jednoletá nebo dvouletá bylina, vysoká 30–180 cm. Bělavá lodyha je přímá, plná, olistěná, v horní části větvená, někdy červeně naběhlá. Listy jsou střídavé, přisedlé, tuhé, sivozelené, na rubu na střední žilce osténkaté. Přízemní listy jsou obkopinaté, peřenodílné, vzácně celistvé, lodyžní listy jsou obvykle svisle skloněné v severojižním směru, jsou méně členěné, přisedlé srdčitou nebo hrálovitou bází, s úkrojky zakončenými zuby nebo osténky. Úbory skládají mohutné latovité květenství, jsou složeny z 8–15(–35) květů. Zákrov je za květu úzce válcovitý, zákrovní listeny jsou na špičce často nafialovělé, za plodu jsou nazpět ohnuté. Květy jsou pouze jazykovité, světle žluté. Nažky jsou šedohnědé, na vrcholu osténkaté, s dlouhým úzkým zobánkem zakončeným jednoduchým chmýrem“ (Cibulka 2009).

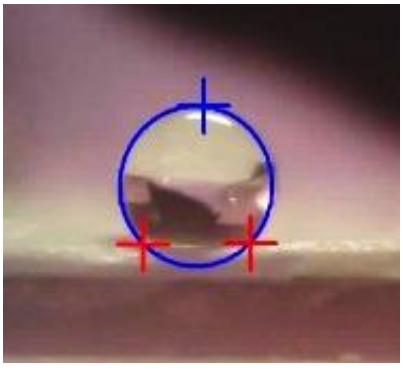
Struktura ep. vosků: Krystaloidy jsou charakterizovány destičkami s neucelenými okraji (obr. 39). V tomto případě jsou okraje velmi rozrušené. Žádná orientace ani shluky nejsou pozorovány. Jsou místa destičkami více pokrytá a místa méně pokrytá. Díky neucelenému a „potrhanému“ povrchu locika zachytává mnoho patogenů.

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem měřila na svrchní straně listu, naměřená hodnota byla 135° což se opět blíží superhydrofobitě (obr. 40). Kapky vody po listech snadno stékají.

Obr. 38: Locika kompasová (Lactuca serriola)



Obr. 39: Neucelené destičky na povrchu listu (měřítko 1 µm)



Obr. 40: Kontaktní úhel smáčivosti 135°

4.7 Vrba kroucená

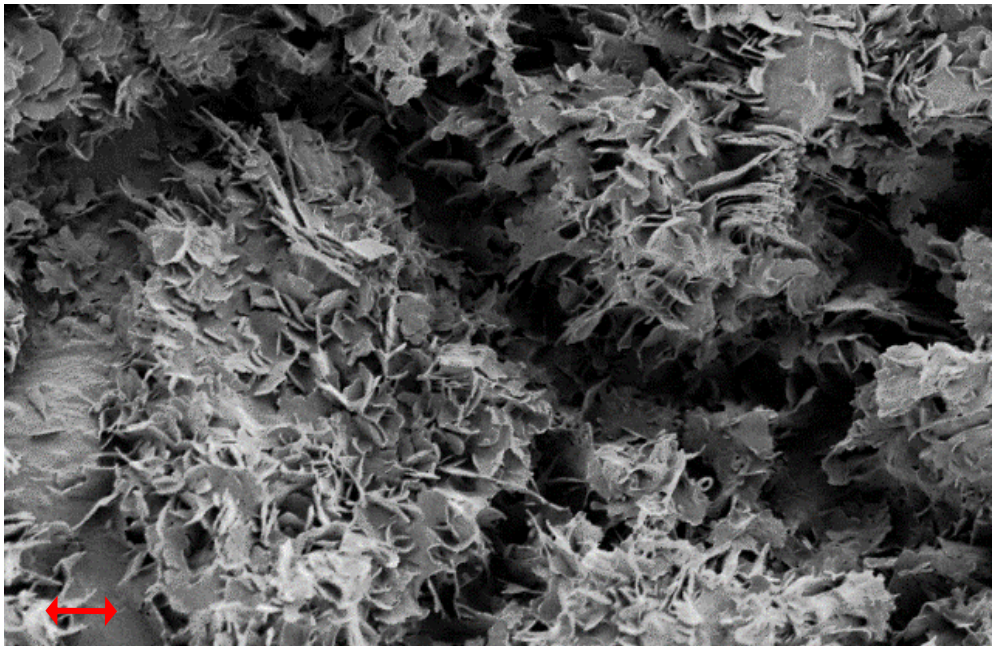
Vrba kroucená, latinsky *Salix Erythroflexuosa* z čeledi vrbovité *(Salicaceae)* je opadavý strom nízkého vzrůstu. V raném růstu mají větve zářivou oranžovo-červenou barvu, která zvyšuje jejich okrasnou hodnotu. Zkroucené větve nesou na jaře kopinaté zelené listy, které jsou také kroucené (obr. 41). Tato převislá vrba později tvoří žluté jehnědy.

Obecné informace o rodu: Většina druhů vrb je původem z mírných oblastí. Jsou ceněné pro okrasu, využívané pro stín na zahradách a využívají se v dřevozpracujícím průmyslu. Produkují látku zvanou salicin, zdroj kyseliny salicylové, který se využívá v lécích proti bolesti. Všechny druhy mají střídavé, obvykle úzké listy a květenství jehnědy. Plodem jsou dlouhé, ochlupené tobolky. (Brittanica 2023)

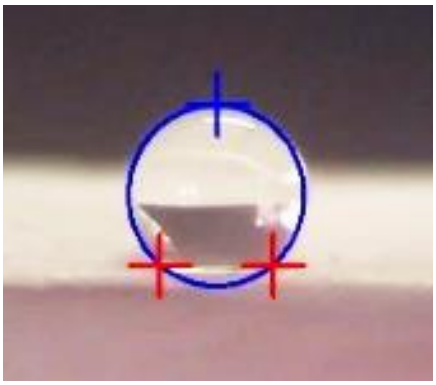
Struktura ep. vosků: Struktura povrchu vrby je rozčleněna na dvě měřítka. Jak je vidět na fotografii, tak je povrch brázděn a zároveň zvlášť pokryt krystaloidy deskovitého typu. Celkově struktura připomíná, že jednotlivé destičky se postupně odlučují z celistvého filmu a vytváří krustu, tudíž je vhodné je označovat jako membránové destičky (obr. 42). Destičky jsou na sobě hustě nahloučené tudíž mezi nimi vznikají vzduchové kapsy, které pomáhají udržovat kapku vody pouze na povrchu krystaloidů, případně zbytek vody odteče skrze brázdy. Při transpiraci naopak struktura pomáhá zadržovat vlhkost ve shlukách destiček.

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem měřila na spodní straně listu a naměřená hodnota byla 140° což je velmi blízko superhydrofobitě (obr. 43).

Obr. 41: Vrba kroucená (Salix Erythroflexuosa), listy



Obr. 42: Membránové destičky, spodní strana listu (měřítko 1 µm)



Obr. 43: Kontaktní úhel smáčivosti 140°

4.8 Lotos indický

Lotos indický/pravý, latinsky *Nelumbo nudifera,* z čeledi lotosovité *(Nelumbonaceae)* je celosvětově obdivován díky své schopnosti zachovat listy čisté, ačkoliv přirozeným prostředím rostliny jsou bahnité vody (jezera a pomalu tekoucí vody). Pochází z kontinentální části Asie (pravděpodobně z Indie), ale nyní je široce rozšířen v Číně, Japonsku a taktéž od severovýchodní Afriky po severovýchodní Austrálii. Již nejméně 6000 let je spojován s indickou kulturou a náboženstvím jako posvátná květina. (Brittanica 2023)

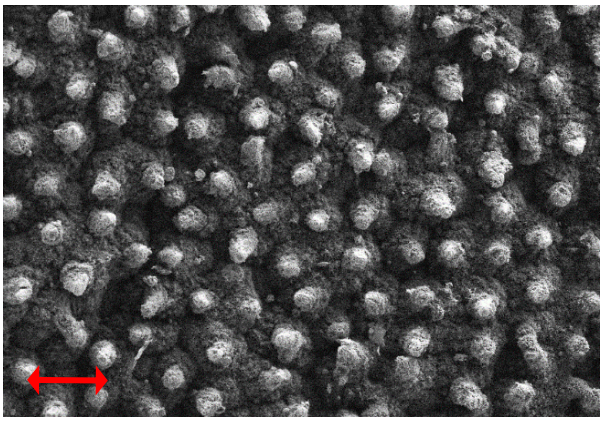
Popis: „Vytrvalá rostlina s oddenkem rostoucím v bahnitém dně. Z oddenku vyrůstají listy na řapících 50–100 cm dlouhých (obr. 44); čepel je zvednutá nad vodní hladinu, štítovitá, okrouhlá nebo ledvinitá, může mít 10–50(–90) cm v průměru, je sivá, na povrchu jakoby voskova, což podmiňuje nesmáčivost. Květy jsou jednotlivé, mají (10–)15–20 cm v průměru, jsou uspořádány ve spirále; okvětní lístky jsou vejčité, bílé nebo růžové, špičaté, 4 vnější jsou 1,5–3 cm dlouhé a 2–2,5 cm široké, vnitřní (bývá jich 10–16) jsou 7–10 cm dlouhé a 3,5–4,5 cm široké; tyčinek je mnoho, jsou asi 2,5 cm dlouhé a mají tenkou nitku; květní lůžko je trychtýřovité, za plodu se zvětšuje až do délky 4–5 cm a šířky 4,5–6 cm. Plody jsou nažky, jednotlivě ponořené v lůžku, elipsoidní, více než 1 cm dlouhé, tmavohnědé“ (Grulich 2011).

Zajímavosti: Rostlina se vyznačuje superhydrofobním povrchem, který zajišťuje, že kapičky vody stékají z listů a odnáší s sebou částice, které jsou zanášeny kontaminovanou vodou apod. Lotosový list má v zásadě dvě úrovně struktury – hrbolky v mikroměřítku a krystaloidy v nanoměřítku. Lotosový list může mít kontaktní úhel až 170° díky výše zmíněné struktuře. Díky tomu se jen 2-3 % dešťových kapek dostane do kontaktu s pokožkou lotosového listu díky voskovitému složení a vzduchu zachycenému mezi dešťovou kapkou a mikro- a nanostrukturou listu.

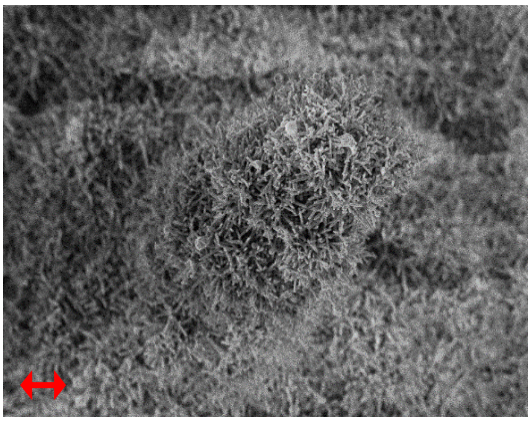
Struktura ep. vosků: Struktura je fenomenální příkladem hierarchické struktury. Výběžky zvané papily jsou rozprostřeny po celém povrchu a představují útvary mikrometrového měřítka (obr. 45, obr. 46). Ty jsou zvlášť pokryty tubulárními krystaloidy v nanoměřítku (obr. 47). Tubuly jsou úzké, dlouhé a velmi těsně nahloučené, není tedy možné pozorovat pokožku. Mezi tubuly vznikají téměř neporušitelní vzduchové kapsy.

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel se pohybuje kolem 150° a výše, což jednoznačně spadá do superhydrofobních rostlin (obr. 48). Struktura je tak geniálně sestrojena, že udrží i kapku většího objemu v kulovitém tvaru, aniž by smočila pokožku a zároveň odnese nečistoty (viz obr. 8). Díky znatelnému poškození vzorku listu jsem naměřila pouze 126°.

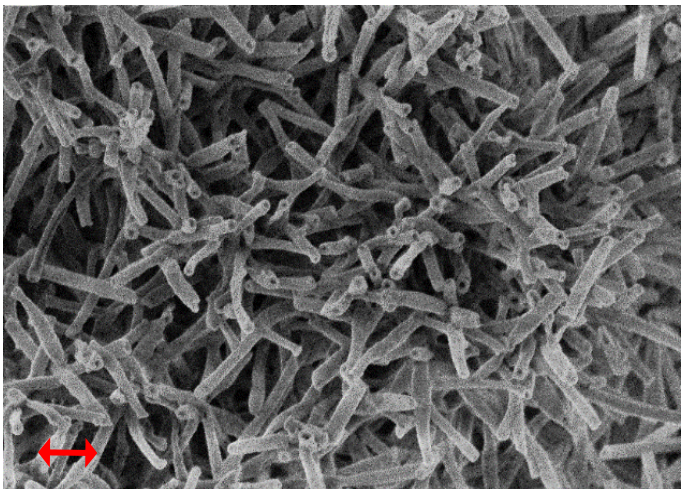
Obr. 44: Lotos indický (Nelumbo nudifera), listy + detail objemnější kapky na listu



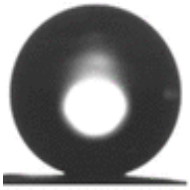
Obr. 45: Papilózní struktura, svrchní strana listu (měřítko 20 µm)



Obr. 46: Detail papily s krystaloidy (měřítko 1 µm)



Obr. 47: Tubuly na svrchní straně listu (měřítko 200 nm)



Obr. 48: Kontaktní úhel smáčivosti 161°, převzato z (Fotakis 2008)

4.9 Kapusta kadeřavá

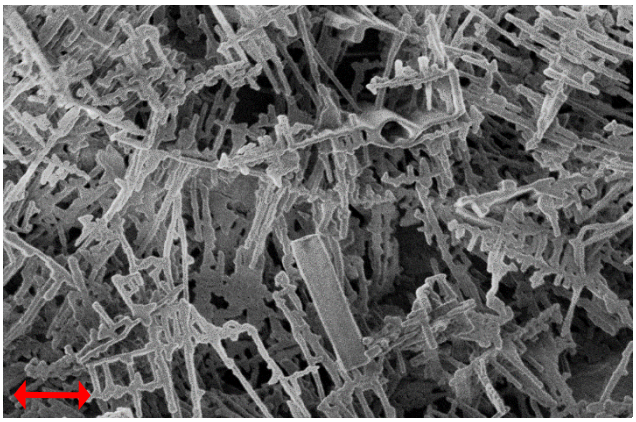
Kapusta kadeřavá (kadeřávek), latinsky *Brassica oleracea varianta sabellica,* z čeledi brukvovité *(Brassicaceae)* je dvouletá nebo víceletá rostlina pěstovaná jako košťálová zelenina, která netvoří hlávky. Kapusta kadeřavá je podobná zelí s kadeřavými zelenými listy se sivým povrchem (obr. 49). Obvykle se pěstuje jako jednoletá rostlina, sklízí se po jednom vegetačním období a může dosáhnout výšky až 1 m. Předpokládá se, že pochází z Řecka (zde se alespoň pěstovala už cca 400 let před naším letopočtem a odrůda se poté rozšířila po Evropě i dalších kontinentech (Grulich 2020).

Popis: „Obvykle dvouletá, řidčeji i vytrvalá bylina vysoká 0,5–1 m; lodyha je přímá, neztlustlá, nedřevnatí nebo dřevnatí až těsně před koncem vegetace. Listy jsou střídavé, soustředěné v horní části lodyhy, čepel je v obrysu obvejčitá, prohnutá dolů podél střední žilky, bohatě kadeřavá na okraji zvlněné a hustě nerovnoměrně vroubkovaná, čepel je vejčitá až podlouhlá, 1,5–7 cm dlouhá a 1–2,5 cm široká, na líci lysá, na rubu alespoň na žilkách krátce pýřitá, na bázi klínovitá, celokrajná nebo na okraji drobně ostře pilovitá, na vrcholu špičatá. Květenství je hrozen; kališní lístky jsou 0,7–1,2 cm dlouhé, přitisklé ke koruně; korunní lístky jsou nehetnaté, 1,2–2,5 cm dlouhé žluté; tyčinek je 6; semeník je svrchní. Plody jsou +/- válcovité šešule, 5–8(–14) cm dlouhé, s vyniklou střední žilkou na chlopních; semena jsou široce elipsoidní“ (Grulich 2020).

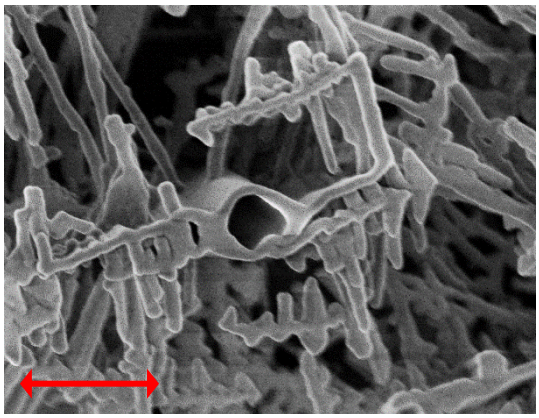
Struktura ep. vosků: Krystaloidy na listech brukvovitých tvoří velmi neobvyklé a těžko popsatelné tvary, proto se obecně označují jak polymorfismy (obr. 50). Snímek dokonale zachycuje krystaloid, který může do jisté míry připomínat páteř, průměr kruhového otvoru (obr. 51) je 525 nm. Je dutý, tedy by mohl být tubulární, ale vybíhají z něj další ramena, příčně větvená a různě dlouhá. Jsou v celkem silné vrstvě, na pokožku skrze není vidět.

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila na 131°, pravděpodobně by mohl být i vyšší, ale povrch listu se snadno dotykem poškodí (obr. 52). Kapky vody díky zvláštní ale funkční stavbě v kulovitém tvaru odvalují, jelikož nemají moc šance se dostat mezi polymorfní ramena.

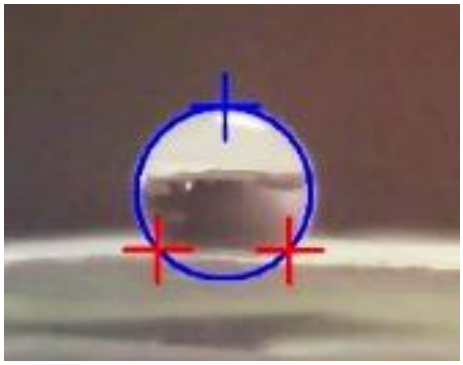
Obr. 49: Kapusta kadeřavá (Brassica oleracea varianta sabellica), převzato od (Grulich 2020)



Obr. 50: Polymorfní křehká struktura, svrchní strana listu (měřítko 1 µm)



Obr. 51: Detail krystaloidu (měřítko 1 µm)



Obr. 52: Kontaktní úhel smáčivosti 131°

4.10 Růže sp.

Růže, latinsky *Rosa* spadá do čeledi růžovité, latinsky *Rosaceae*. Na světě existuje přes 100 druhů, které patří do čeledi *Rosaceae*. Pěstují se a šlechtí v různých kultivarech, jako pnoucí, keřové apod., využívají se pro zahradničení i floristiku. Růže jako taková je obecně symbolem pro lásku a vášeň. Mnoho růží se pěstuje pro své krásné květy, které se pohybují v barvě od bílé přes různé tóny žluté a růžové až po tmavě karmínovou a kaštanovou a většina z nich má nádhernou vůni, která se liší podle odrůdy a klimatických podmínek (Brittanica 2022).

Popis: Růže jsou vzpřímené, pnoucí nebo keřové, jejichž lodyhy jsou obvykle hojně pokryty ostny různých tvarů a velikostí, běžně nazývanými trny. Listy jsou střídavé a zpeřené, obvykle oválného tvaru a okraje bývají pilovité. Květy divokých růží mají obvykle pět okvětních lístků, zatímco květy zahradních kultivarů růží mají mnoho okvětních lístků ve více řadách (obr. 53). Velikost květů růží se pohybuje od drobných miniatur o průměru 1,25 cm až po hybridní květy měřící více než 17,5 cm. Bobulovité plody se obvykle pohybují na barevné škále mezi červenou a oranžovou barvou. (Brittanica 2022)

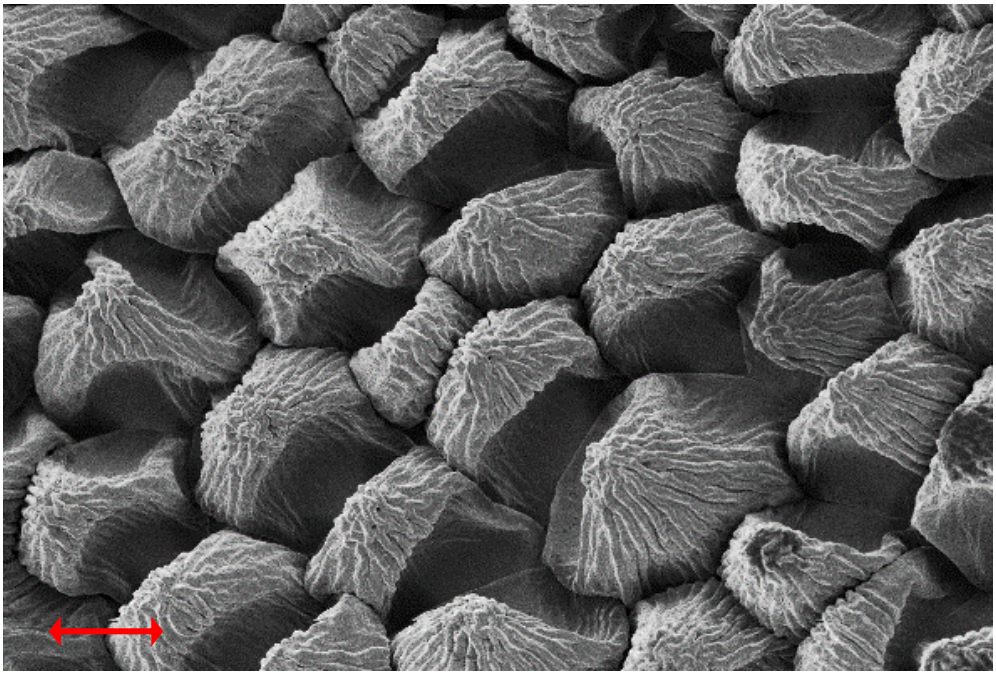
Zajímavosti: „Růže je podle fosilních důkazů stará 35 milionů let. Je rozšířená po celé severní polokouli, od Aljašky do Mexika včetně severní Afriky. Zahradní kultivace růží začala před 5000 lety, pravděpodobně v Číně. Byly používány jako konfety při oslavách, pro lékařské účely a jako zdroj parfému. Římská šlechta založila na jihu Říma velké veřejné růžové zahrady. Po pádu římské říše se zdálo, že popularita růží rostla a klesala v závislosti na trendech v zahradnictví.“ (Sazenička 2022)

Fytoterapie dle Hentricha a Janče (2008c, s. 146-149): V Bulharsku je pěstována pro výrobu růžového oleje. Květ obsahuje třísloviny, antokyany, flavonoidy, sliz, vosky a silici. Růžový květ se mírně využívá díky svým protiprůjmovým účinkům, dále se dá využívat jako kloktadlo při bolestech v krku na podporu vykašlávání a dalších i silných zánětech dýchacích cest. Její účinky dokážou dát do pořádku i narušenou střevní mikroflóru po užívání antibiotik, silnou menstruaci i mimomenstruační krvácení. Dále posiluje a detoxikuje játra, činnost nervů a její účinky jsou rozšířeny i v kosmetickém průmyslu.

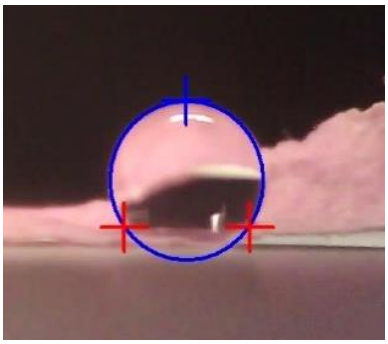
Struktura ep. vosků: Struktura je tvořena kulovitými útvary s žebrováním (obr. 54). Růže je známá tím, že na listech drží kapky vody i směrem k zemi. Žebrování začíná vždy odshora útvaru, nebo lze říct, že se zde sbíhá.

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila na 126°. Svým kulovitým tvarem s žebrováním tvoří lehce hydrofobní rozhraní (obr. 55).

Obr. 53: Růže sp. (Rosa), květ



Obr. 54: Svrchní strana okvětního lístku, žebrování (měřítko 10 µm)



Obr. 55: Kontaktní úhel smáčivosti 126°

4.11 Vlaštovičník větší

Vlaštovičník větší, latinsky *Chelidonium majus*, z čeledi makovité *(Papaveraceae)* pochází z listnatých lesů Evropy a Asie a je jediným zástupcem rodu. Kdysi ceněná rostlina bylinkářů Starého světa pro svou pověstnou schopnost odstraňovat bradavice. Vlaštovičník je trvalka, produkuje úzké, tenké semenné lusky s mnoha malými lesklými černými semeny, jsou atraktivní pro mravence, což napomáhá šíření semen. (Brittanica 2017).

Popis: „Vytrvalá bylina, oranžově mléčící, 30–90 cm vysoká, lodyha přímá, větvená, roztroušeně chlupatá, listy řapíkaté, měkké, čepel lichozpeřená, lístky vejčité, vroubkované, na líci sytě, na rubu sivě zelené (obr. 56). Květy v 2–6květém okolíku, 1–2 cm v průměru, 4četné, korunní lístky žluté. Plodem je tobolka.“ (Hoskovec 2007a)

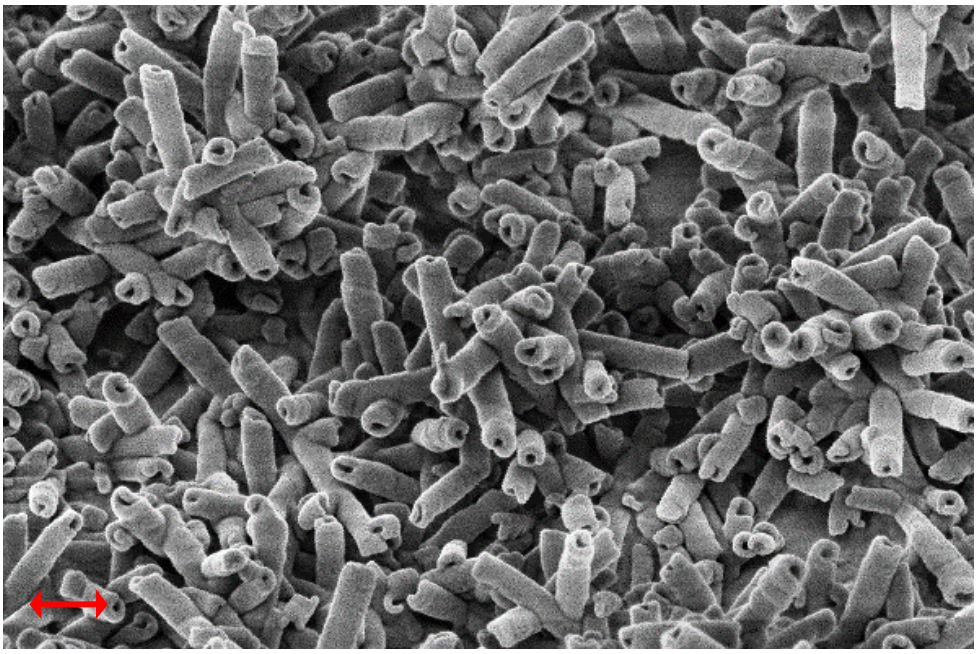
Mágové a alchymisti přezdívali vlaštovičníku bylinou nebes, jelikož pro ně obsahovala všechny 4 živly (oheň, země, vzduch, voda) rovným dílem (Janča 1997)

Fytoterapie dle Hentricha a Janče (1997, s. 80-83): Léčivou částí je především kvetoucí nať, někdy i oddenek s kořeny. Vlaštovičník obsahuje 21 alkaloidů, možná více, v kořeni jsou asi 1,5% a v nati 0,75%, už dle čeledi lze odhadnout, že mají blízko k opiovým alkaloidům. Jsou to např. chelidonin, protopin, berberin, alfa-allokryprin atd → jejich účinky jsou baktericidní. Další látky, které obsahuje jsou flavonoidy, aminy, enzymy a silice. Obecně léčivé látky působí jako rostlinné antibiotikum (= fytoncidně). Účinky mohou být centrálně sedativní a působit tlumivě na křečovité bolesti. Dále působí vnitřně na roztahování cév, snižuje krevní tlak, prohlubuje srdeční činnost, tonizuje dělohu, zvyšuje vylučování žluči, tlumí dráždivý kašel, reguluje menstruaci. Na vnější potíže působí v oblasti hnisajících ran, bércových vředů, nehojících sec ran včetně aplikace čerstvé šťávy na bradavice nebo koupele v silnějším odvaru proti plísním na nohou. Jeho využití je nutno konzultovat s lékařem, jelikož jeho účinky jsou velmi toxické při překročení dávky, nemá daleko od oměje nebo rulíku.

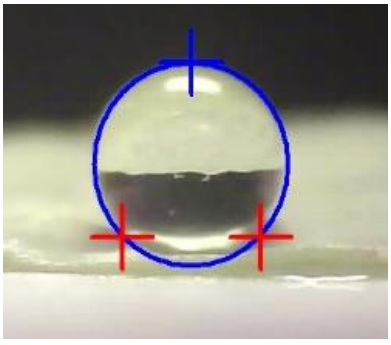
Struktura ep. vosků: Vosky krystalizují do tubulárních útvarů (obr. 57). Pokryvnost je velmi vysoká a zdá se, že do jisté míry tvoří i vrstvy. Obvod otvoru v tubulu je přibližně 144 nm a průměr otvoru 38 nm.

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila na 135° (obr. 58). Tubulární struktury mají vždycky vyšší kontaktní úhel, jelikož jsou velmi účinné díky svým tvarům a s tím spojeným mechanismům.

Obr. 56: Vlaštovičník větší (Chelidonium majus), list



Obr. 57: Tubuly na povrchu listu (měřítko 200 nm)



Obr. 58: Kontaktní úhel smáčivosti 135°

4.12 Eukalyptus cinerea (silver dollar)

Eucalyptus cinerea se řadí mezi nejvíce oblíbeně odrůdy. Je neopadavým stromem (v našich klimatických podmínkách spíše keřem), jež dorůstá do výšky 2–3 m. Listy jsou kulovitého tvaru s modrozelenou barvou a stříbřitým nádechem (obr. 59). Údajně je odolný proti suchu a mrazu až do –12 °C, ale nejčastěji se pěstuje jako přenosná sezonní rostlina. (Gadar 2022)

Obecné info o eukalyptu: Eukalyptus neboli blahovičník, latinsky *Eucalyptus,* z čeledi myrtovité *(Myrtaceae)* je velký, rychle rostoucí stálezelený strom, který pochází z Austrálie a Tasmánie, nyní roste ale i v severní a jižní Africe, Indii a jižní Evropě. Strom může dorůstat až do 125-160 metrů. Existuje více než 300 druhů eukalypt a nejlépe rostou v oblastech s průměrnou teplotou 15°C. Eukalypty tvoří více než 75 % stromové populace Austrálie. V Austrálii je také známý v přesném překladu jako *„modrý gumový strom“.* (Wurger, et al. 2023)

Modrozelené listy nesou léčivé vlastnosti stromu. Zatímco listy jsou jedinou potravou pro koaly, obsahují také vonný těkavý olej, který má antiseptické, antibakteriální a další podobné vlastnosti. Mezi další složky listů patří třísloviny, fenolové kyseliny, flavonoidy (eukalyptin, hyperin, hyperosid, kvercitin, kvercitrin, rutin), seskviterpeny, aldehydy a ketony. Eukalyptový olej se získává procesem parní destilace, který odstraňuje olej z čerstvých, zralých listů a konců větví ze starších stromů (cca 25 druhů se v Austrálii pěstuje pro olej). Nejběžnějším druhem pěstovaným pro svůj léčivý olej je *Eucalyptus globulus*, jeho olej je hlavní složkou mnoha volně prodejných léků na nachlazení a kašel. (Wurger, et al. 2023)

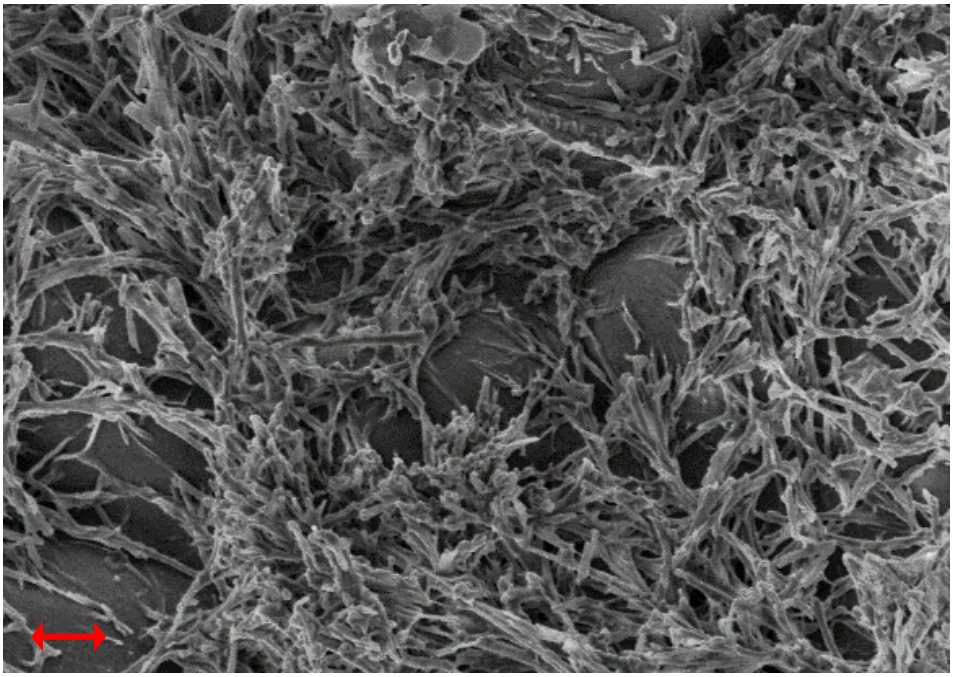
Baron Ferdinand von Miller, německý botanik a průzkumník, byl zodpovědný za to, že v 19. století poznal svět vlastnosti eukalyptu. Přirovnal jeho vůni k dezinfekčnímu prostředku a navrhl jeho využití proti horečce (především proti malárii). (Wurger, et al. 2023)

Fytoterapie dle Hentricha a Janče (2008a, s. 12-15): Silice, které k dostání v lékárnách působí silně antisepticky, dokážou zředit hleny a napomoct vykašlávání, jsou vylučovány močí i plícemi, tudíž se využívá i pro léčbu cest močových. Zevně dokáže hojit záněty, rány, využívá se i jako kloktadlo.

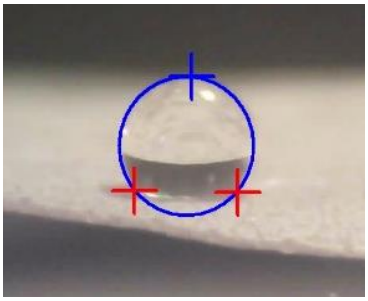
Struktura ep. vosků: Vosky jsou velmi neuspořádané a vláknité. Svým tvarem připomínají větve stromů (obr. 60). Jejich struktura se velmi snadno poškodí a i přesto, jak vzhledově působí, tak má hydrofobní účinky.

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila na 130°, vosky mezi sebou dokážou udržet vzduchové kapsy, ale při větším tlaku se poškodí a hydrofobní funkci ztrácí (obr. 61).

Obr. 59: Vlevo Eukalyptus cinerea (silver dollar)



Obr. 60: Vláknité krystaloidy na povrchu listu (měřítko µm)



Obr. 61: Kontaktní úhel smáčivosti 130°

4.13 Lupina mnoholistá

Lupina mnoholistá neboli vlčí bob, latinsky *Lupinus polyphyllus,* z čeledi bobovité *(Fabaceae)* pochází ze západních USA. Upřednostňuje půdy s nízkou úrodností, kamenité, písčité apod. Ve svém přirozeném prostředí má modrofialové květy. V zahradních podmínkách vznikl hybrid v barvách bílé, růžové, červené, fialové, žluté či má dvoubarvé květy. (Cao, et al. 2019)

Popis: „Vytrvalá bylina, 50–100(–160) cm vysoká. Lodyha je přímá, dutá. Listy jsou řapíkaté, (9–)12–15(–18)četné, dlanitě složené, kopinaté až obkopinaté, 8–12 cm dlouhé, nejširší v polovině až v horní třetině, svrchu lysé, na rubu přitiskle chlupaté. Květenství je hroznovité, až 40 cm dlouhé. Květy vyrůstají v 15–40 cm dlouhém hroznu, jsou bělavé, světle modré až fialové. Plodem je lusk hustě pokrytý trichomy.“ (Hoskovec 2007b).

Zajímavosti: Zpočátku byly lupiny vysazovány záměrně jako okrasné (zahradní) rostliny, později pro zlepšení a stabilizaci půdy a jako krmivo pro domácí a volně žijící zvířata. Vysazovaly se pro obohacení půdy o dusík, jelikož kořenový systém je v symbióze s bakterií vázající dusík *Bradyrhizobium sp.* Byly tedy vysazovány jako „zelené hnojivo“ (meziplodina) na obdělávaná pole. (Cao, et al. 2019)

Lupina je v České republice nešťastně rozšířena například na Šumavě i v Krkonoších, je invazním druhem. Produkuje totiž velké množství semen a vytlačuje tak původní rostliny i vzácné druhy z chráněných lučních oblastí, majitelé luk i lidé, kteří oblastmi prochází, jsou žádáni o včasné sečení a vytrhávání lupin, aby nezničily naši faunu docela.

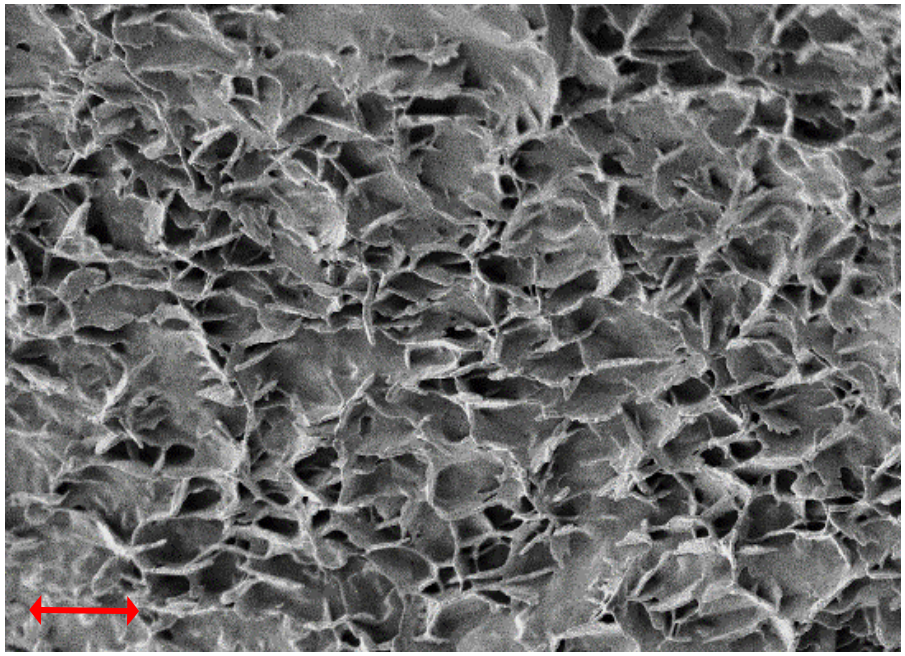
Fytoterapie: „Kvetoucí vrcholky, listy a lusky jsou užívány ve fytoterapii k léčbě diurézy, což může ulevit při vodnatelnosti, revmatismu, ischiasu a při dně. Krásné Římanky používaly mouku z bobů, aby oddálily tvorbu vrásek.“ (Mlčoch 2018)

Vlčí bob se možná dostane mezi žádané potraviny díky svým produktivním luskům. Vlčí bob je údajně velmi prospěšný pro sportovce díky vysokému obsahu bílkovin. Ten dosahuje podílu 35 až 40 %, čímž se dostává na úroveň sóji. Na rozdíl od sóji však disponuje pouze obsahem 10 % tuku. Dalším plusem je vysoký obsah vlákniny. (Hrubá 2020)

Struktura ep. vosků: Vytvořené krystaloidy budou s největší pravděpodobností membránové destičky. Nelze totiž snadno rozeznat kde se k pokožce připojují a zároveň jsou vzájemně srostlé. (obr. 63).

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila na 133°, díky trichomům a krystaloidům v „roztrhané“ podobě si zvládne zachovat dobrou hydrofobitu (obr. 64).

Obr. 62: Lupina mnoholistá (Lupinus polyphyllus), květy a listy



Obr. 63: Membránové destičky na povrchu listu (měřítko 1 µm)

Obr. 64: Kontaktní úhel smáčivosti 133°

4.14 Kontryhel sp.

Kontryhel, latinsky *Alchemilla,* z čeledi růžovité *(Rosaceae).*

Popis: Je to vytrvalá bylina, která může být vysoká od 10 cm až do 50 cm. Lodyha je pokryta trichomy. Listy jsou laločnaté se zubatým zakončením (obr. 65). Květenství tvoří okolík a plodem je češule. (Grulich 2013) Kontryhele se od sebe rozlišují velmi nesnadno, většinou to probíhá na základě rozdílů v květenství a květech. Ani po odborném prozkoumání se nepodařilo určit konkrétní druh, mohu se jen domnívat, že vzhledem k prostředí a nevětšímu rozšíření se jedná o kontryhel pastvinný *(Alchemilla monticola).*

Zajímavost: Svůj latinský původ rodového jména *Alchemilla* má díky svému využití v alchymii ve středověku. Ranní rosa z listů byla ceněnou ingrediencí pro mnoho alchymistických receptů a jedním z hlavních způsobů, jak sbírat ranní rosu, listy fungují trochu jako kalich, ve kterém se kapky vody udržují, svůj podíl na tom má i hydrofobní povrch. (Alchemillas Apotek 2022).

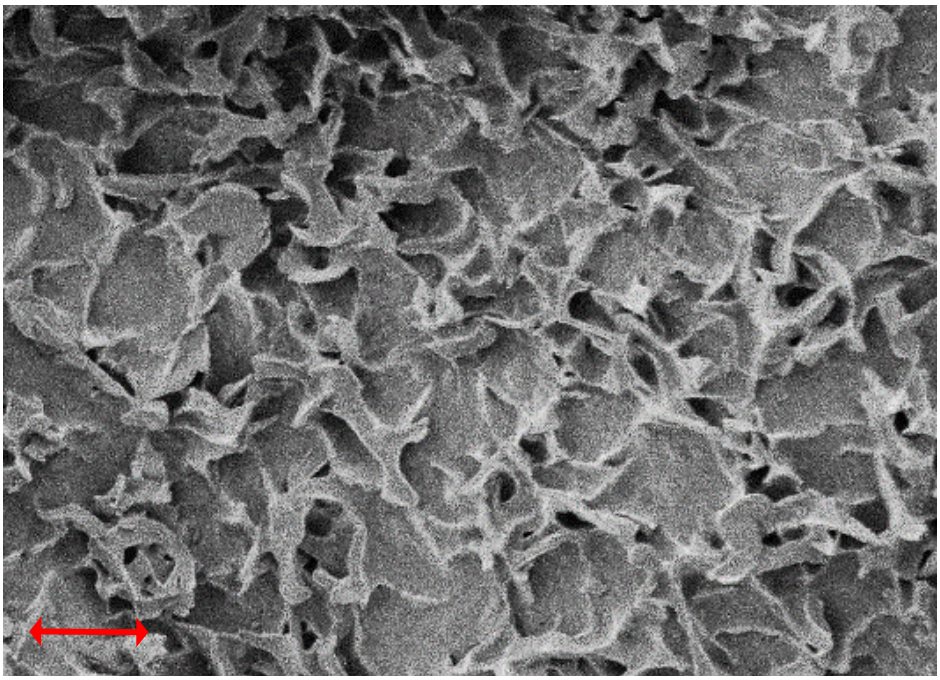
Linné v 18. století neměl tušení o problému nepohlavním rozmnožování kontryhelů a jméno *Alchemilla vulgaris*, které pro běžné středoevropské kontryhele použil, bylo v průběhu doby používáno pro více velmi podobných taxonů. V souvislosti s typifikací Linneových jmen bylo jméno *A. vulgaris* nedávno přiřazeno právě tomuto druhu, pro nějž se v naší botanické literatuře dlouhou dobu používalo jméno *A. acutiloba* aby se zamezilo záměnám (Grulich 2013). Na serveru Pladias.cz tedy *A. vulgaris* již nelze nalézt.

Fytoterapie dle Hentricha a Janče (2008a, s. 228-231): Sbírá se především kvetoucí nať, která obsahuje především hořčiny a třísloviny, dále organické kyseliny, minerální látky, silici a kyselinu salicylovou. Léčivé látky tlumí především menstruační krvácení a s tím spojené bolesti, mají pozitivní vliv i na psychiku při klimakterických potížích. Zevně se využívá při koupelích na hemoroidy a gynekologické záněty. Dále působí močopudně, podporuje trávení, prohlubuje spánek a zpevňuje podbřišek. U kontryhele nejsou známy žádné toxiny a kontraindikace ani při dlouhodobém využívání.

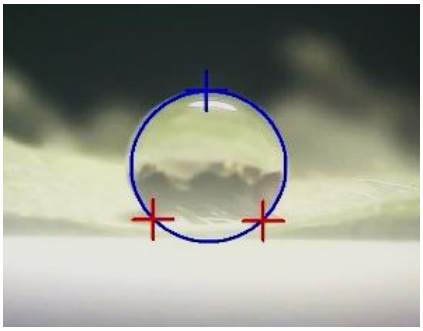
Struktura ep. vosků: Krystaloidy opět tvoří krusty až vrstvy bez příliš znatelných hranic mezi destičkami, je tedy vhodné je zařadit mezi membránové destičky (obr. 66). Struktury v SEM se díky napětí snadno hroutily.

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila na 135° (obr. 67) což odpovídá této struktuře, stejně jako u lupiny mnoholisté (obr. 64), během manipulace se snadno poškodí.

Obr. 65: Kontryhel sp. (Alchemilla), list



Obr. 66: Membránové destičky na povrchu listu (měřítko 1 µm)



Obr. 67: Kontaktní úhel smáčivosti 135°

4.15 Violka zahradní

Violka neboli maceška zahradní, latinsky *Viola* × *Wittrockiana*, z čeledi violkovité (Violaceae. Macešky se pěstují již tak dlouho a v tak rozmanitých formách, že jejich původ je nejistý. Četné formy, s jejich nápadnými barevnými variacemi jsou výsledkem domestikace. Maceška zahradní je hybrid, jedním z rodičů je *V. tricolor*, což je hojná rostlina evropských obilných polí, dalšími rodiči jsou *V. lutea* a *V. altaica*. Maceška rohatá (*V. cornuta*) je rodičem mnoha forem macešek. (Brittanica 2021)

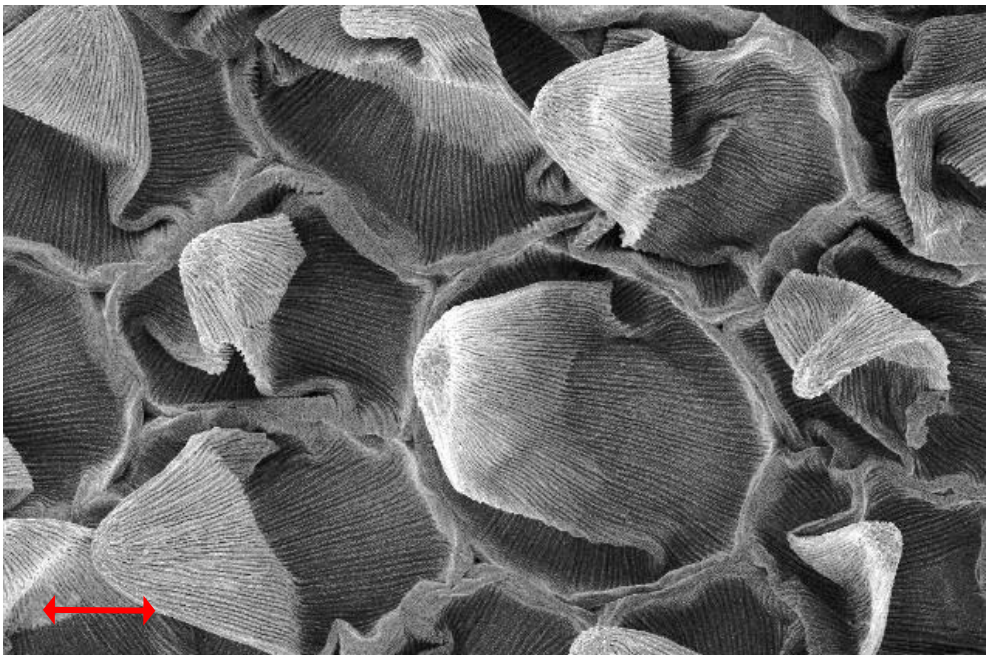
Popis: „Jednoleté, ozimé či dvouleté byliny, 15–20(–30) cm vysoké. Listy s řapíky kratšími než čepel; čepel vejčitá až podlouhlá, nejčastěji (4–)5–6(–7) cm dlouhá, oddáleně vroubkovaně pilovitá, tupá až zaokrouhlená; palisty velké, cca 3–5 cm dlouhé, hrubě zubaté nebo nepravidelně peřenoklané až peřenodílné. Kališní lístky až 2,5 cm dlouhé a 0,5 cm široké, s velkými přívěsky; koruna (3–)4,5–6(–8) cm vysoká, nejrůznějších barev, velmi často sametového vzhledu; ostruha obvykle kratší než kališní přívěsky. Tobolky velké, vejcovité, tupě trojhranné.“ (Prančl 2012)

Fytoterapie dle (Binu 2022): Macešky mají silný antimikrobiální účinek, olej je cenný při hojení poranění a infekcí. Macešky lze snadno přidat do domácích kosmetických produktů, jako jsou ručně vyráběná mýdla, jílové masky, pleťové krémy a zábaly na obličej. Jsou bohaté na antialergenní vlastnosti, jsou prospěšné pro zmírnění běžného nachlazení a chřipky. Macešky obsahují kyselinu salicylovou, může být použita buď jako maska nebo může být nastříkána na celý obličej jako mlha pro zklidnění podrážděné a suché pokožky.

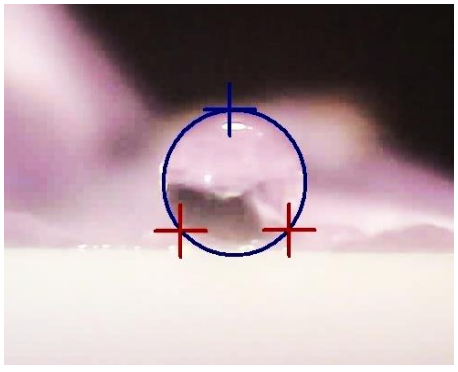
Struktura ep. vosků: Struktura spočívá v kopulovitých útvarech s úzkým žebrováním po celých útvarech.

Kontaktní úhel smáčivosti: Úhel jsem naměřila na 131°, struktura je velmi podobná jako u okvětního lístku růže. Během manipulace a při SEM se bez opatření struktura zhroutí a naměřené hodnoty tedy nemusí přesně odpovídat.

Obr. 68: Violka zahradní (Viola × Wittrockiana),převzato od (Prančl 2012)



Obr. 69: Kopulovité struktury na povrchu okvětního lístku (měřítko 10 µm)



Obr. 70: Kontaktní úhel smáčivosti 131°

5 Diskuse

Cílem této práce bylo vybrat zástupce rostlin vykazující se hydrofobním povrchem a zdokumentovat a popsat strukturu povrchu zajišťující nesmáčivost/samočistící vlastnosti.

Výběr exemplářů neprobíhal zcela náhodně, ale hlavním výběrovým kritériem byl tvar kapek na povrchu listů po dešti.

U zkoumaných exemplářů byla nejprve hodnocena smáčivost povrchu, k tomuto byl využita kapková metoda (droptest). Na každý vzorek byly naneseny tři kapičky, ty byly zdokumentovány a následně byl změřen úhel smáčivosti. Zjištěné úhly smáčivosti jsou uvedeny v souhrnné tabulce. Při měření smáčivosti bylo vypozorováno, že velký vliv na naměřené hodnoty má stav povrchu listu – hodnoty můžou být zkresleny v důsledku poškození povrchu při odběru, transportu, a také v průběhu vegetační periody. Z toho důvodu lze zjištěné hodnoty uvažovat pouze jako orientační, pro jejich zpřesnění by bylo zapotřebí provést významně vyšší počet měření na čerstvých vzorcích bez dlouhé prodlevy mezi sběrem a měřením a pro dokumentaci použít kameru s vyšším rozlišením a kvalitnější optikou.

U zvolených exemplářů byla studována struktura povrchu. Jelikož jsou povrchové útvary tak drobné, že na ně často nepostačuje rozlišovací schopnost optického mikroskopu, byly struktury pozorovány pomocí skenovacího elektronového mikroskopu. Velkou výhodou tohoto přístroje je právě rozlišovací schopnost, která umožňuje sledování i velmi drobných strukturních detailů. Skenovací elektronová mikroskopie však trpí i řadou nevýhod, s nimiž jsme se museli vypořádat.

Nevýhody při zpracování vzorků rostlin:

- Vzorky musí být elektricky vodivé (je nutné je před pozorováním pokovit tenkou vrstvičkou kovu, v našem případě platiny).
- Hustota energie dopadajících elektronů je v místě dopadu dost vysoká na to, aby poškodila senzitivní voskové nanostruktury (museli jsme pracovat s velmi nízkým urychlovacím napětím a proudy).
- V komoře se vzorky musí být vysoké vakuum, které zapříčiňuje deformaci buněk způsobenou rychlou ztrátou vody, což vede ke zhroucení buněčné membrány a změně morfologie. Tomuto jevu by bylo možné částečně zabránit například fixací pomocí glutaraldehydu, následnou substitucí vody pomocí ethanolové řady a vysoušením přes kritický bod (tyto metody vyžadují specifické vybavení a postupy,

kterými jsme bohužel nedisponovali. Také nelze jasně říci, zda by interakce s použitými chemikáliemi nemohla degradovat některé jemné struktury). Další možností by mohla být replikace povrchů, která by však mohla vést ke ztrátě drobných strukturních detailů.

Porovnání mezi stejnými typy krystaloidů (viz tab. 1)

K porovnání se především nabízí lichořeřišnice větší, pámelník bílý, lotos indický a vlaštovičník větší. Povrchy (listy) těchto rostlin sdílejí stejný typ krystaloidu – tubuly. Co se týče viditelnosti pokožky tak ta je nejvyšší u lichořeřišnice a v menší míře u pámelníku. Zároveň nejvíce podobné jsou si tubuly u lichořeřišnice a vlaštovičníku, jelikož jsou stejně těsně nahloučené a uskupení až vrstevnaté. Všechny 3 sdílejí ale jedno, tubuly jsou kratší a širší, kdežto tubuly lotosu jsou tenké a dlouhé, což na pohled působí opravdu křehce.

Merlík bílý, locika kompasová a kosatec sp. Nabízí další možnost porovnání. Všechny se vyznačují krystaloidy typu neucelených destiček. Kosatec se od zbylých 2 liší především tím, že destičky jsou paralelně orientovány, a ne roztroušeny do různých směrů. Tvarově si jsou však nejvíce podobné destičky lociky a kosatce, okraje jsou velmi narušené a působí „roztrhaně“. Pokožka je nejvíce viditelná na povrchu lociky, méně u kosatce a téměř vůbec u merlíku jehož krystaloidy jsou téměř pravidelně rozmístěny.

Vrba kroucená, lupina mnoholistá a kontryhel sp. sdílejí strukturu v podobě membránových destiček. Struktura vrby do jisté míry připomíná i samostatné destičky, ale vše je ve vrstvách těsně nahloučené, že se spíše nedají rozlišit. Nejpodobnější si je lupina a kontryhel, oba povrchy mají vysokou pokryvnost tenkými krustami, které se na pohled „slévají“ do sebe.

Možné srovnání nabízí i violka zahradní, růže sp. a špirlice sp., všechny 3 zmíněné mají struktury popsatelné jako „žebrování. Nejvýraznější (nejhlubší) má špirlice a violka. Nejblíže u sebe a zároveň nejtenčí je má violka, kdežto růže je má širší.

Porovnání kontaktního úhlu smáčivosti (viz tab.1

Z pámelníku, lotosu, lichořeřišnice a vlaštovičníku jsem naměřila nejvyšší kontaktní úhel u lichořeřišnice (143°), ačkoliv vzhledem k velkým mezerám mezi krystaloidy, bych to ani nepředpokládala. Bohužel list lotosu měl z těchto 4 nejnižší kontaktní úhel (126°), jelikož byl vzorek pravděpodobně příliš poškozen, jinak by byl jasný vítěz.

Kontaktní úhel z merlíku, lociky a kosatce má nejvyšší merlík (127°), tentokrát úhel odpovídá struktuře, jelikož od pohledu na strukturu má nejvyšší potenciál právě merlík.

Mezi lupinou, vrbou a kontryhelem má nejvyšší kontaktní úhel smáčivosti vrba (140°), struktura je propracovaná natolik, že mezi vrstvami jsou větší propojené drážky, které buď pomáhají odvádět vodu nebo naopak udržovat vzduchové kapsy. Lupina a kontryhel jsou na tom podobně, „destičky“ téměř splývají s podkladem.

Nejnižší kontaktní úhel má špirlice (111°), žebrování je celkem daleko od sebe, a tak to není žádná převratná struktura pro udržení kapky v kulovitém tvaru. Violka je na tom s kontaktním úhlem (131°) lépe než růže (126°) a to díky užším mezerám mezi žebrováním.

Tab. 1: Shrnutí úhlů smáčivosti a typů krystaloidů

ROSTLINA	**KONTAKTNÍ ÚHEL SMÁČIVOSTI**	**TYP KRYSTALOIDU**
lichořeřišnice větší	143°	tubuly
pámelník bílý	134°	tubuly
lotos indický	126°	tubuly
vlaštovičník větší	135°	tubuly
merlík bílý	137°	neucelené destičky
locika kompasová	135°	neucelené destičky
kosatec sp.	134°	neucelené destičky
vrba kroucená	140°	membránové destičky
lupina mnoholistá	133°	membránové destičky
kontryhel sp.	135°	membránové destičky
špirlice sp.	111°	destičky + žebrování
violka zahradní	131°	žebrování
růže	126°	žebrování
kapusta kadeřavá	131°	polymorfismus
eukalyptus	130°	vlákna

Další studium

Další výzkum by se rozhodně mohl zaměřit na studium povrchových struktur rostlin v průběhu vegetačního období až do jeho úplného konce, struktury by se mohly během vývoje jevit jako různorodé. Zajímavým podnětem, kterého se částečně měla týkat i tato práce, je srovnávání povrchových struktur mezi čeleděmi a mezi druhy v čeledích. Výzkum by se mohl týkat především studia rostlin z odlišných lokalit, srovnání struktur rostlin z oblastí bez antropogenních zásahů a rostlin z urbánních oblastí. Klima hraje velkou roli ve vybudování těchto miniaturních struktur. Velmi zajímavé srovnání by nabízelo zkoumání struktur z povrchů listů, květů či lodyh na jedné rostlině, krystaloidy by mohly mít odlišené seskupení nebo by se dokonce mohly objevit i jiné tvary. Díky zjištěným úskalím během mikroskopování by bylo při dalším studiu vhodné se zaměřit na přípravu vzorků tak, aby nedošlo k přílišné degradaci, které zkresluje jak úhel smáčení, tak struktury při SEM. S tím se pojí také využití dalších metod pro měření

smáčivosti, které by byly přesnější a možné by bylo i vzájemné srovnání. Co se týká rostlin, tak by případně mohl být výzkum rozšířen o další druhy, nebo je možné se zaměřit na určitý okruh (např. tropické, invazní, urbánní aj.).

ZÁVĚR

V rámci této bakalářské práce byly splněny vytyčené cíle. Především tedy zdokumentování a představení struktur díky SEM a dokázat tak, že nelze nalézt identické struktury na dvou rostlinách (stejně jako lidské otisky). Zároveň se mi podařilo téma prvotně rozšířit mezi širokou veřejnost v rámci projektu Noc vědců. Došla jsem však k závěru, že do jisté míry nelze rostliny rozdělit dle prostředí na základě jejich struktury epikutikulárních vosků. Hydrofobní struktury se vyskytují jak u rostlin suchomilných, tak vlhkomilných a dále se individuálně dělí na základě mikroklimatu. Tato klasifikace tedy pro zobecnění není důležitá ani vyžadována, jelikož jí dle výzkumů dosáhnout nelze.

Pro experimentální část byly nasbírány a připraveny vzorky 15 druhů rostlin, u nichž byla pomocí kapkové metody změřena smáčivost povrchu a následně zdokumentována a popsána mikro- (případně nanp-) struktura povrchů ze SEM. Nejvyšší kontaktní úhel se pohyboval kolem 143° a nejnižší kolem 111°, nejnižší požadavek pro hydrofobní smáčivost je 90°.

Výzkum dokázal, že rostlinné struktury jsou velmi náchylné k mechanickému poškození a dalším vlivům, ale zároveň dokážou pokožku účinně. Zároveň bylo prokázáno, že ačkoliv na pohled struktura nevypadá nejlépe, tak z hydrofobního hlediska funguje špičkově. Každá rostlina měla odlišné struktury, ale některé mohly být vzájemně porovnány.

Seznam použitých zdrojů

1. ACHEMILLAS APOTEK, 2023. Lady´s Mantle. In: *Alchemillas apotek* [online]. [vid. 15. 4. 2023]. Dostupné z: http://www.alchemillasapotek.com/water/alchemilla-vulgaris/
2. BAKER, E. A., HUNT, M. H., 1986. Erosion of waxes from leaf surfaces by simulated rain. *New phytologist* [online], roč. 102, č. 1 [vid. 20. 6. 2022]. ISSN 1469-8137. Dostupné z: https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-8137.1986.tb00807.x
3. BARTHLOTT, W., et al., 1998. Classification and terminology of plant epicuticular waxes. *Botanical Journal of the Linnean Society* [online], roč. 126, č. 3, s. 237–260 [vid. 20. 6. 2022]. ISSN 0024-4074. Dostupné z: https://academic.oup.com/botlinnean/article/126/3/237/2630991
4. BARTHLOTT, W., NEINHUIS, C., 1997. Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. *Planta* [online], roč. 202, s. 1–8 [vid 7. 9. 2022]. ISSN: 1432-2048. Dostupné z: https://link.springer.com/article/10.1007/s004250050096
5. BHUSHAN, B., et al., 2009. Micro-, Nano- and Hierarchical Structures for Superhydrophobicity, Self-Cleaning and Low Adhesion. *The royal society publishing* [online], roč. 367, č. 1894, s. 1631–1672 [vid. 7. 9. 2022]. ISSN 1471-2962. Dostupné z: https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2009.0014
6. BINU, S., 2022. Pansy Flower: 5 Astonishing Health Reasons To Add This Edible Flower Into Your Diet Regimen. In: *netmeds.com* [online]. [vid. 15. 6. 2023]. Dostupné z: https://www.netmeds.com/health-library/post/pansy-flower-5-astonishing-health-reasons-to-add-this-edible-flower-into-your-diet-regimen
7. BRAZIL, R., 2019. Nature's non-stick solutions. In: *Chemistry world* [online]. 15. 4. 2019 [vid. 25. 6. 2022]. Dostupné z: https://www.chemistryworld.com/features/superhydrophobic-materials-from-nature/3010321.article
8. CAO, L., et al., 2019. Lupinus polyphyllus Lindl. In: *GLANSIS* [online]. [vid. 12. 8. 2022]. Dostupné z: https://nas.er.usgs.gov/queries/greatlakes/FactSheet.aspx?Species_ID=2715
9. Celandine, 2017. In: *Encyclopedia Brittanica* [online]. [vid. 15. 2. 2023]. Dostupné z: https://www.britannica.com/plant/celandine
10. CIBULKA, R., 2009. Lactusa serriola L. In: *Botany.cz* [online]. [vid. 18. 2. 2023]. Dostupné z: https://botany.cz/cs/lactuca-serriola/
11. CK-12 Foundation: *Leaf Structure and Function – Advanced* [online]. Aktualizováno 20. 4. 20020 [vid. 15. 2. 2023]. Dostupné z: https://www.ck12.org/biology/leaf-structure-and-function-1501904322.92/lesson/Leaf-Structure-and-Function-Advanced-BIO-ADV/
12. CULTIVA, 2023. Cuticle Integrity Is Fundamental for a Healthy Plant and Quality Crop. In: Cultiva [online]. [vid. 13. 4. 2023]. Dostupné z: https://www.cultiva.com/what-is-the-plant-cuticle/
13. EXTRAND, W., CH., 2016. Origins of Wetting. *Langmuir* [online], roč. 32, č. 31, s. 7683–7992 [vid 11. 6. 2023]. ISSN: 1520–5827. Dostupné z: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.langmuir.6b01935

14. FARVARDIN, A., et al., 2020. The Apoplast: A Key Player in Plant Survival. *Antioxidants* [online], roč. 9, č. 7, s. 1–25 [vid 12. 4. 2023]. ISSN: 2076-3921. Dostupné z: https://www.mdpi.com/2076-3921/9/7/604
15. FOTAKIS, C., et al., 2008. Applications of ultrafast lasers in materials processing: fabrication on self-cleaning surfaces and scaffolds for tissue engineering. In: *SPIE* [online]. [vid. 15. 6. 2023]. Dostupné z: https://doi.org/10.1117/12.822435
16. GADAR. Eucylyptus cinerea, blahovičník, silver dollar tree. In: Gadar.cz [online]. [vid. 12. 8. 2022]. Dostupné z: https://www.gadar.cz/EUCALYPTUS-CINEREA-BLAHOVICNIK-SILVER-DOLLAR-TREE-20-semen-d1065.htm#
17. Goosefoot, 2015. In: *Encyclopedia Brittanica* [online]. [vid. 15. 2. 2023]. Dostupné z: https://www.britannica.com/plant/goosefoot
18. GRULICH, V., 2013. Alchemilla vulgaris. In: *Botany.cz* [online]. [vid. 17. 2. 2023]. Dostupné z: https://botany.cz/cs/alchemilla-vulgaris/
19. GRULICH, V., 2014. Iris x germanica. In: *Botany.cz* [online]. [vid. 17. 2. 2023]. Dostupné z: https://botany.cz/cs/iris-germanica/
20. GRULICH, V., 2020. Brassica oleracea var. sabellica L. In: *Botany.cz* [online]. [vid. 18. 2. 2023]. Dostupné z: https://botany.cz/cs/brassica-sabellica/
21. HERBURGER, K., XIN, A., 2021. Mini Review: Transport of Hydrophobic Polymers Into the Plant Apoplast. *Frontiers in Plant Science* [online], roč. 11, s. 1–8 [vid. 12. 4. 2023]. ISSN 1664-462X. Dostupné z: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.590990/full
22. HOSKOVEC, L., 2007a. Chelidonium majus. In: *Botany.cz* [online]. [vid. 18. 2. 2023]. Dostupné z: https://botany.cz/cs/chelidonium-majus/
23. HOSKOVEC, L., 2007b. Lupinus polyphyllus. In: *Botany.cz* [online]. [vid. 17. 2. 2023]. Dostupné z: https://botany.cz/cs/lupinus-polyphyllus/
24. HOUSKA, J., 2007. Symphoricarpos albus. In: *Botany.cz* [online]. [vid. 18. 2. 2023]. Dostupné z: https://botany.cz/cs/symphoricarpos-albus/
25. HRUBÁ, N., 2020 Lupina vlčí bob: v množství bílkovin nemá tato luštěnina konkurenci. In: Vegmania [online]. [vid. 12. 8. 2022]. Dostupné z: https://www.vegmania.cz/lupina/
26. CHATTOPADHYAY, S., DIXIT, P., PARVATE, S., 2020. Superhydrophobic Surfaces: Insights from Theory and Experiment. *The journal of physical chemistry B* [online], roč. 124, s. 1323–1360 [vid. 3. 7. 2022]. ISSN 1520-5207. Dostupné z: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcb.9b08567
27. JANČA, J., ZENTRICH, A. J., 1997. *Herbář léčivých rostlin 5*. Praha: Eminent. ISBN 80-85876-32-9.
28. JANČA, J., ZENTRICH, A. J., 2008a. *Herbář léčivých rostlin 2*. Praha: Eminent. ISBN 978-80-7281-368-1.
29. JANČA, J., ZENTRICH, A. J., 2008b. *Herbář léčivých rostlin 3*. Praha: Eminent. ISBN 978-80-7281-377-3.
30. JANČA, J., ZENTRICH, A. J., 2008c. *Herbář léčivých rostlin 4*. Praha: Eminent. ISBN 978-80-7281-378-0.

31. KINO Scientific Instrument, 2023. Contact Angle of Water on Smooth Surfaces and Wettability. In: *KINO Scientific Instrument* [online]. [vid. 11. 6. 2023]. Dostupné z: http://www.uskino.com/articleshow_113.html
32. KOCH, K., BARTHLOTT, W., 2006. Plant Epicuticular Waxes: Chemistry, Form, Self-Assembly and Function. *Natural Product Communications* [online], roč. 1, č. 11, s. 1067–1072 [vid. 3. 7. 2022]. ISSN 1555-9475. Dostupné z: https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1934578X0600101123
33. KOCH, K., ENSIKAT, J., 2008. The hydrophobic coatings of plant surfaces: Epicuticular wax crystals and their morphologies, crystallinity and molecular self-assembly. *Micron* [online], roč. 39, č. 7, s. 759–772 [vid. 20. 6. 2022]. ISSN: 1878-4291. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968432807002016
34. KOVÁŘ, L., 2007. Tropaleolum majus. In: *Botany.cz* [online]. [vid. 17. 2. 2023]. Dostupné z: https://botany.cz/cs/tropaeolum-majus/
35. MAHR, S., 2022. Nasturtium, Tropaeolum majus. In: *Wisconsin Horticulture* [online]. [vid. 12. 8. 2022]. Dostupné z: https://hort.extension.wisc.edu/articles/nasturtium-tropaeolum-majus/
36. MAHR, S., 2022. Nasturtium, Tropaeolum majus. In: *Wisconsin Horticulture* [online]. [vid. 12. 8. 2022]. Dostupné z: https://hort.extension.wisc.edu/articles/nasturtium-tropaeolum-majus/
37. MIŽÍK, P., 2008. Chenopodium album. In: *Botany.cz* [online]. [vid. 17. 2. 2023]. Dostupné z: https://botany.cz/cs/chenopodium-album/
38. NATURE'S RAINCOATS, 2023. Adaptation of plants to water. In: *Nature's raincoats* [online]. [vid. 7. 9. 2022]. Dostupné z: https://naturesraincoats.com/adaptation-of-plants-to-water/
39. OSSILA enabling science, 2023. Contact Angle: A Guide to Theory and Measurement. In: *OSSILA enabling science* [online]. [vid. 10. 6. 2023]. Dostupné z: https://www.ossila.com/pages/contact-angle-theory-measurement
40. Pansy, 2021. In: *Encyclopedia Brittanica* [online]. [vid. 15. 2. 2023]. Dostupné z: https://www.britannica.com/plant/pansy-plant
41. PAPIEROWSKA, E., et al., 2018. Contact angle measurements and water drop behavior on leaf surface for several deciduous shrub and tree species from a temperate zone. Trees [online], roč. 32, s. 1253–1266 [vid. 10. 6. 2023]. ISSN: 1432-2285. Dostupné z: https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-018-1707-y
42. PRANČL, J., 2012. Viola x wittrockiana. In: *Botany.cz* [online]. [vid. 17. 2. 2023]. Dostupné z: https://botany.cz/cs/viola-wittrockiana/
43. PRYDATKO, V., A., et al., 2018. Contact angle measurement of free-standing square-millimeter single-layer graphene. *Nature Communications* [online], roč. 9, s. 1–7 [vid 10. 6. 2023]. ISSN: 2041-1723. Dostupné z: https://www.nature.com/articles/s41467-018-06608-0
44. Sacred lotus, 2023. In: *Encyclopedia Brittanica* [online]. [vid. 10. 7. 2023]. Dostupné z: https://www.britannica.com/plant/sacred-lotus
45. SAZENICKA, 2022. Růže. In: Sazenička [online]. [vid. 12. 8. 2022]. Dostupné z: https://sazenicka.cz/ruze/

46. Snowberry, 2013. In: *Encyclopedia Brittanica* [online]. [vid. 15. 2. 2023]. Dostupné z: https://www.britannica.com/plant/snowberry#ref32246
47. The Salicaceae group, 2023. In: *Encyclopedia Brittanica* [online]. [vid. 15. 2. 2023]. Dostupné z: https://www.britannica.com/plant/Malpighiales/The-Salicaceae-group
48. WRIH, 2023. Snowberry. In: *White Rabbit Institute of Healing* [online]. [vid. 15. 4. 2023]. Dostupné z: https://www.whiterabbitinstituteofhealing.com/herbs/snowberry/
49. WURGER, J., ODLE, T., 2023. Eucalyptus. In: Encyclopedia.com [online]. [vid. 15. 2. 2023]. Dostupné z: https://www.encyclopedia.com/plants-and-animals/plants/plants/gum-tree
50. ZIELECKA, M., 2004. Methods of contact angle measurement as a tool for characterization of wettability of polymers. *Polimery* [online], roč. 49, č. 5, s. 327–332 [vid 11. 6. 2023]. ISSN: 0032-2725. Dostupné z: http://polimery.ichp.vot.pl/index.php/p/article/view/1756