

VNITŘNÍ STAVBA JEHLIC – NÁMĚTY NA POZOROVÁNÍ A POROVNÁVÁNÍ

OPEN ACCESS



Needle Anatomy – Suggestions
for Observation and
Comparison

OLGA ŠEVČÍKOVÁ, olga.sevcikova@upol.cz, Univerzita Palackého,
Pedagogická fakulta, Katedra biologie, Olomouc

Abstract

Most woody plants belonging to the order Pinales have needles. Their anatomy has adapted to external conditions – mainly the deficit of water during winter. In cross section, the needles are different in shape, but the leaf anatomy of coniferous species is quite similar. However, there are inter-species differences in arrangement of hypodermis, in the type of mesophyll, in the number and arrangement of resin ducts, and in the number of vascular bundles. Needles are a suitable material for Biology lectures. Their advantage is their availability every season of the year. This paper offers some options for the observation of needle anatomy, recognition of species differences, and the use of an anatomical identification key.

Klíčová slova

jehlice, anatomie, mikroskopické pozorování, výuka biologie

Keywords

needle, anatomy, microscope observation, Biology lectures

ÚVOD

Jehlice je zvláštním typem listu, jejíž stavba je přizpůsobená vnějším podmínkám. Jehlice jsou až na výjimky (např. modřín, metasekvoje, tisovec) neopadavé a musí tedy překonávat období zimního sucha (Larcher, 1988). To nastává hlavně při teplých a jasných zimních dnech, kdy ohřívání větví podporuje transpiraci. Doplnění ztracené vody ze zmrzlé nebo velmi chladné půdy není možné, a proto mohou stromy trpět deficitem vody. Hlavní adaptace jehlic tedy směřují ke snížení výparu vody. Toho je dosaženo zmenšením plochy listu, silnými povrchovými strukturami s přítomností dřevoviny (ligninu) v buněčných stěnách a průduchy zahloubenými pod úroveň pokožky.

Jehlicovité listy se vyskytují u většiny dřevin, které patří do řádu borovicotvaré (*Pinales*). Z evolučního hlediska řadíme tento řád do větve *Euphyllphytina* (rostliny s megafylními listy, tj. plochými listy s větvenou žilnatinou s přítomností listových mezer ve stéle stonku) i přesto, že jehlicovité listy jsou malé s minimálně vyvinutou žilnatinou – 1 nebo 2 žilky

(Tomescu, 2009). Podle Nováka & Skalického (2012) jsou jehlicovité listy původně megafylního typu, ale setkáváme se u nich se sekundární mikrofylií. Stejný názor zastává i Hrabovský (2021), který používá pro jehlici označení pinofyl a uvádí, že vznikl redukcí megafylního listu na jeden mikrofylní úsek.

Učivo o stavbě listu je součástí učebnic přírodopisu současných nakladatelství. Pozornost je věnovaná především vnitřní stavbě bifaciálního listu, anatomie jehlic je zařazena jen výjimečně. Spadicky se v učebnicích přírodopisu vyskytuje fotografie průřezu jehlicí borovice lesní s popisem základních struktur. Přitom jehlice je v mnoha ohledech vhodným materiálem pro vytvoření dočasného preparátu a následné pozorování vnitřní stavby. Příčné řezy jehlicí se snadno zhotoví pomocí ručního mikrotomu (případně můžeme řezat jehlici v bezové duši). Na příčném řezu jsou jasně rozlišitelné jednotlivé struktury, a je tedy možné porovnávat jejich utváření u různých druhů jehličnanů. Zároveň může učitel na příkladu jehlice ukázat a vysvětlit její

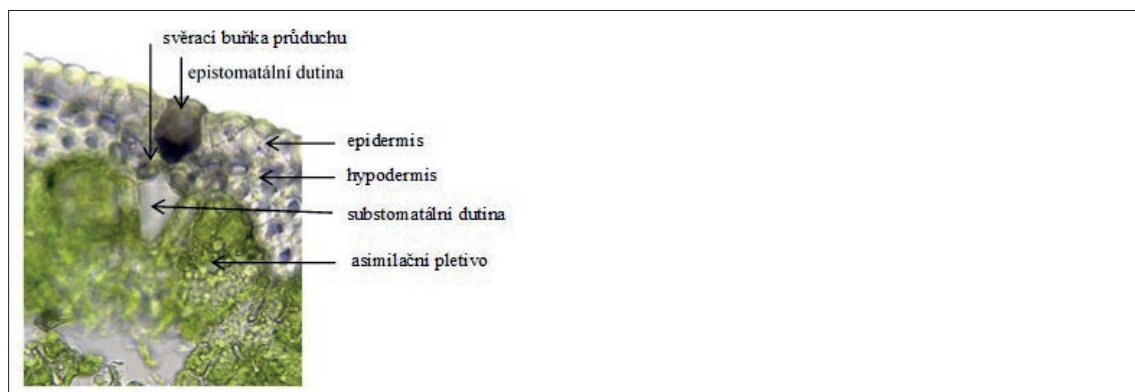
adaptace k podmínkám prostředí. Výhodou práce s jehlicemi je jejich celoroční dostupnost, navíc se mnohé druhy jehličnanů vyskytují v parcích. Úlohy navržené v tomto příspěvku mají vést žáky ke zdokonalení v systematickém pozorování mikroskopem a práci s určovacím klíčem.

VNITŘNÍ STAVBA JEHLICE

Povrchové struktury jehlice (epidermis a hypodermis)

Stavba pokožky (epidermis) jehlice odráží její hlavní funkci, tj. omezování ztrát vody. Pokožka je proto tvořená silnostěnnými buňkami, jejichž vnější stěna je pokrytá silnou a dobře pozorovatelnou kutikulou. Díky chemickému složení kutikuly (obsahuje vosky a kutin, tedy hydrofobní látky) je výrazně omezený výpar vody z povrchu jehlic. U řady buněk v jehlici dochází k lignifikaci buněčných stěn, zejména v buňkách pokožky, hypodermis a ve svěracích buňkách průduchů. Míra lignifikace může podle Lukjanovy & Mandre (2008) záviset na podmínkách prostředí. Na výživnějších půdách s dobrým zásobním vodou je lignifikace intenzivnější než u jehlič-

nanů rostoucích na suchých nevyživných půdách. Půdy s nedostatkem živin (hlavně dusíku a fosforu) zřejmě představují pro jehličnany stresové prostředí, na které reagují mimo jiné snížením tvorby a ukládání ligninu do buněčných stěn. Pro jehlice je typický zvláštní druh průduchů, tzv. gymnospermní průduchy (Prabhakar, 2004), které jsou umístěné v paralelních řadách probíhajících ve směru osy jehlice a zahloubené pod úroveň pokožky. V prohlubni nad průduchem (epistomatální dutina) se vlivem omezeného proudění vzduchu zvyšuje koncentrace vodní páry oproti okolní atmosféře. Tím se snižuje gradient koncentrace vodní páry mezi hypostomatální dutinou (vnitřní prostor jehlice pod průduchem) a epistomatální dutinou nad průduchem (zde přiléhá vnější vzduch), což přispívá ke snížení transpirace (Votrubová, 2010; Procházka, Macháčková, Krekule et al., 1998). K omezení ztrát vody z jehlice pomáhá také hromadění vosku v prohlubních nad průduchy. Díky uspořádání průduchů do podélných řad vypadají voskové zátky jako bílé proužky na jehlici – typické pro jedle a douglasku. Podle nových výzkumů spočívá výhoda voskových zátek i v ochraně průduchů před tvorbou vodního filmu, který by bránil přísunu CO_2 do listu (Šantrůček, 2022).



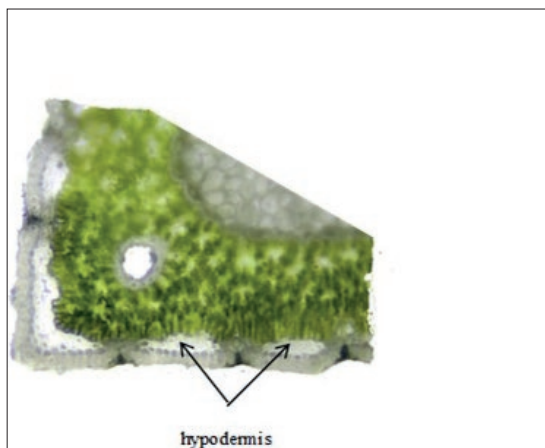
Obr. 1 Zanořený (gymnospermní) průduch v pokožce jehlice borovice černé (*Pinus nigra*). Zvětšení 40x10. Foto autorka.

Ochrannou funkci pokožky zvyšuje vrstva silnostěnných buněk pod pokožkou nazývaná hypodermis. Hypodermis bývá vyvinutá jako souvislá vrstva sklerenchymatických buněk, přerušovaná vrstva (nevyskytuje se v místech, kde jsou řady průduchů), případně u některých zástupců (tis červený) není vůbec vytvořena.

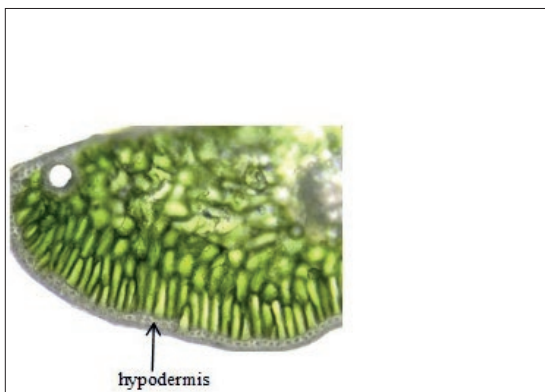
U některých rodů jehličnanů se vyskytují mezidruhové rozdíly v utváření hypodermis. Např. v jehlicích jedlí můžeme pozorovat hypodermis jako souvislou vrstvu, izolované buňky nebo ostrůvky buněk (Bercu, Broasca & Popoviciu, 2010). U jehlic borovic je zase proměnlivý počet vrstev, případně i tvar hypodermálních buněk (Businský, 2008).

Asimilační pletivo jehlice – mezofyl

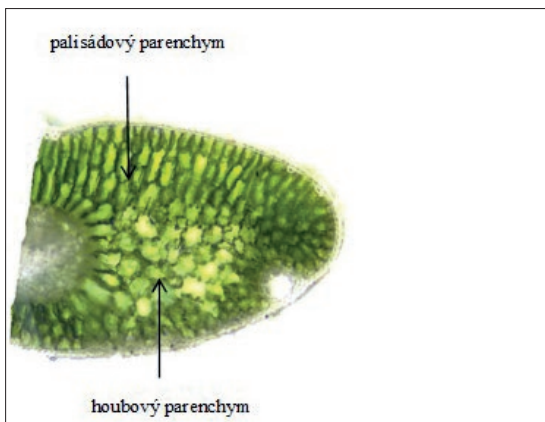
Největší rozsah na příčném řezu jehlicí zaujímá asimilační pletivo (mezofyl), které může mít dvojitou podobu. Homogenní mezofyl je tvořený vzájemně stejnými válcovitými buňkami a vyskytuje se např. u jehlic borovic a smrků (Dörken & Stützel, 2012; Ghimire, Lee, Yang & Heo, 2015). Buňky homogenního mezofylu mají laločnaté buněčné stěny s výběžky orientovanými dovnitř buněk (Vinter, 2008; Votrubová, 2010). Tím se výrazně zvětšuje vnitřní povrch listu, na kterém probíhá výměna CO_2 mezi vzduchem v intercelulárách a buňkami mezofylu. Na rozhraní intercelulár a buněčných stěn mezofylových buněk přechází CO_2 z plynné fáze, kde difunduje relativně rychle, do kapalného prostředí, kde se jeho transport významně zpomalí. Stejně tak v cytoplazmě buňky se CO_2 pohybuje pomalu k chloroplastům. Zvětšení povrchu buněk mezofylu prostřednictvím vchlípenin jejich buněčných stěn tedy zajišťuje snadnější přesun CO_2 do středu buněk. Druhým typem utváření asimilačního pletiva je diferenciací na palisádový a houbovitý parenchym (heterogenní mezofyl). Takovou stavbu mají např. jehlice tisu, jedle, douglasky, jalovce (Turler, Birchler & Woessner, 2010; Bercu, Broasca & Popoviciu, 2010). V tomto případě lze dobře rozpoznat hlavně palisádový parenchym, jehož buňky jsou protáhlé a postavené kolmo k pokožce jehlice. Shodnou orientací jako buňky pak mají také interceluláry tvořící systém paralelních kanálků, které usnadňují pronikání světelného záření hlouběji do listu.



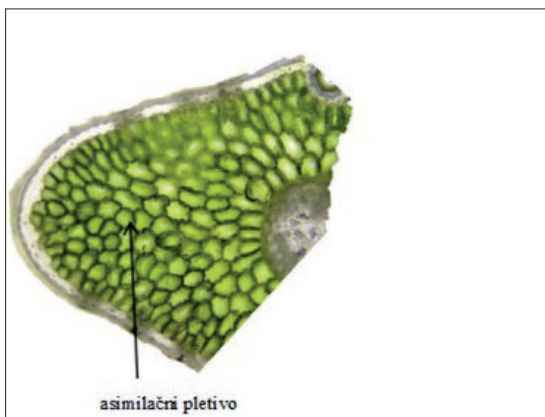
Obr. 2 Přerušovaná hypodermis v jehlici borovice tuhé (*Pinus rigida*). Zvětšení 10x10. Foto autorka.



Obr. 3 Souvislá hypodermis v jehlici jedle kavkazské (*Abies nordmanniana*). Zvětšení 10x10. Foto autorka.



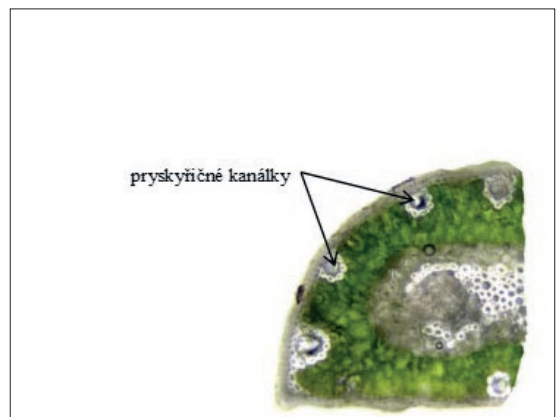
Obr. 4 Homogenní asimilační pletivo (mezofyl) v jehlici smrku ztepilého (*Picea abies*). Zvětšení 10x10. Foto autorka.



Obr. 5 Heterogenní asimilační pletivo (mezofyl) v jehlici douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*). Zvětšení 10x10. Foto autorka.

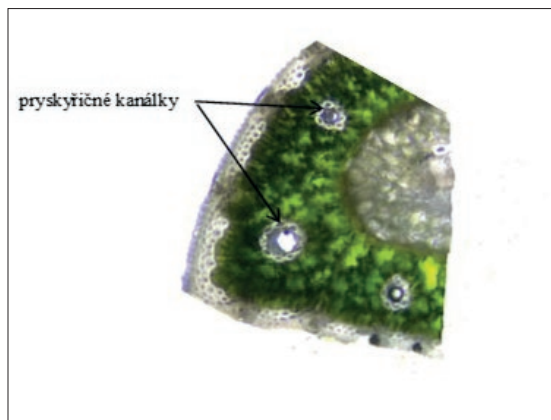
Pryskyřičné kanálky

Pryskyřičné kanálky vznikají jako schizogenní mezibuněčné prostory v asimilačním pletivu jehlic a jsou ohraničené dvěma typy buněk – vrstva tenkostěnných buněk žlaznatého epitelu směřujícího dovnitř kanálku je obklopená pochvou z tlustostěnných buněk. Buňky žlaznatého epitelu vylučují komplex sekundárních metabolitů s ochrannou funkcí – pryskyřice, silice (Lin, Sampson & Ceulemans, 2001). Počet a umístění pryskyřičných kanálků jsou velmi důležitými rozlišovacími znaky pro určování jednotlivých druhů jehličnanů. Businský (2008) rozlišuje

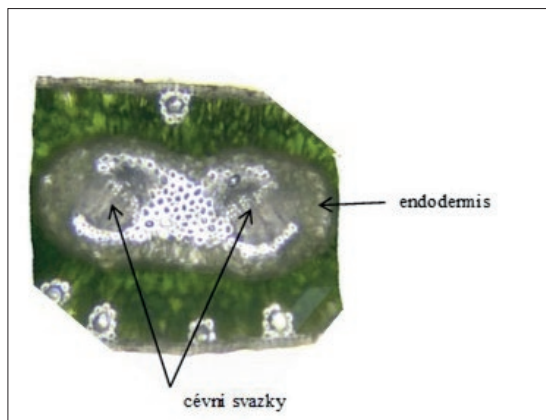


Obr. 6 Externální pryskyřičné kanálky v asimilačním pletivu jehlice borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Zvětšení 10x10. Foto autorka.

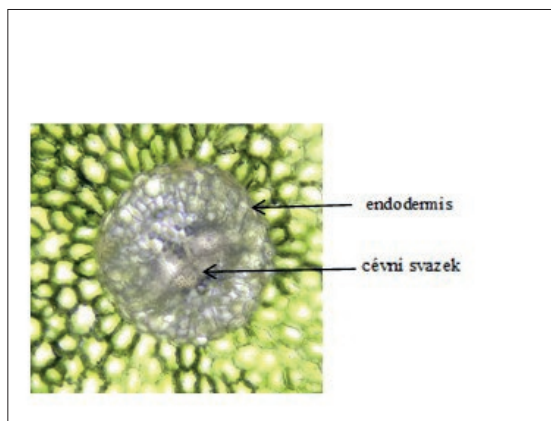
čtyři polohy pryskyřičných kanálků v asimilačním pletivu – externální se dotýkají hypodermis, internální se nacházejí u endodermis, mediální se vyskytují uvnitř asimilačního pletiva a septální zaujímají celý prostor od hypodermis k endodermis.



Obr. 7 Mediální pryskyřičné kanálky v asimilačním pletivu jehlice borovice černé (*Pinus nigra*). Zvětšení 10x10. Foto autorka.



Obr. 9 Dva cévní svazky v jehlici borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Zvětšení 10x10. Foto autorka.



Obr. 8 Cévní svazek v jehlici smrku pichlavého (*Picea pungens*). Zvětšení 10x10. Foto autorka.

Vodivé elementy

Transfúzní pletivo se nachází ve středu jehlice a je obklopené endodermis. Toto pletivo zajišťuje přesun vzniklých organických látek z asimilačního pletiva do buněk lýkové části cévního svazku (Vinter, 2008). Cévní svazky jsou bočné, jejich dřevní část (xylém) je orientovaná k svrchní straně jehlice a lýková část (floém) ke spodní. U téměř všech druhů jehličnanů je v jehlicích jeden nebo dva cévní svazky.

VYUŽITÍ JEHLIC VE VÝUCE – POZOROVÁNÍ ANATOMICKÝCH A MORFOLOGICKÝCH ZNAKŮ JEHLIC

Námět 1: Tvar průřezu jehlicí vybraných druhů borovic v závislosti na počtu jehlic ve svazku

Jehlice borovic vyrůstají ve svazku na velmi zkrácených postranních větvičkách – brachyblastech. V závislosti na druhu borovice – ve světě existuje podle Businského (2008) přes 100 druhů – se můžeme setkat s jednou až pěti (ojedinele šesti) jehlicemi ve svazku. Borovice jednolistá (*Pinus monophylla*) původem z USA a Mexika má jediná na světě jen jednu jehlici na brachyblastu. Mezi druhy se dvěma jehlicemi ve svazku patří např. v naší republice původní borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a borovice kleč (*Pinus mugo*) a dále borovice černá (*Pinus nigra*) původní v Alpách a jižní Evropě. Tři jehlice ve svazku

jsou typické pro severoamerické borovice – např. borovice těžká (*Pinus ponderosa*), borovice tuhá (*Pinus rigida*) a borovice Jeffreyova (*Pinus jeffreyi*). Vzácným případem jsou čtyři jehlice ve svazku, které má např. severoamerická borovice čtyřlístá (*Pinus quadrifolia*). Pět jehlic ve svazku můžeme vidět u severoamerické borovice vejmutovky (*Pinus strobus*), borovice limby (*Pinus cembra*) původem z Alp, Tater a Karpat a asijské borovice himálajské (*Pinus wallichiana*).

Soubor jehlic tvořící svazek je u báze (v místě přisednutí k brachyblastu) oblý a tvoří na průřezu kruh. Je tedy možné pozorovat závislost mezi počtem jehlic ve svazku a průřezem jehlice. Úkolem pro žáky bude odvození tvaru průřezu jehlicí podle počtu jehlic ve svazku. Doporučuji pracovat s druhy borovic snadno dostupnými v přírodě nebo parcích

– borovice černá, borovice lesní, borovice tuhá, borovice himálajská, borovice vejmutovka. V této úloze se využijí žákovské znalosti z matematiky 6. ročníku (rovinné útvary, typy úhlů, kruhová výseč).

Pracovní list 1

Úloha 1: Určení druhu borovice podle počtu jehlic ve svazku a délky jehlic

U každé větvičky z předložených pěti druhů borovic určete počet jehlic ve svazku a změřte jejich délku pravítkem. Na základě zjištěných údajů a porovnáním s **tabulkou 1** určete druhové jméno borovice.

Tab. 1 Návodná tabulka k určení druhu borovice podle počtu jehlic ve svazku a délky jehlic

druh borovice	počet jehlic ve svazku	délka jehlic (cm)	výskyt
borovice černá	2	7–16	nepůvodní druh v ČR, vysazovaná v lesích, parcích, zahradách
borovice lesní	2	4–10	původní druh v ČR, přirozená stanoviště, vysazovaná v lesích, parcích, zahradách
borovice tuhá	3	10–25	nepůvodní druh v ČR, vysazovaná v parcích, zahradách
borovice himálajská	5	10–25 jehlice na větvičce svěšené	nepůvodní druh v ČR, vysazovaná v parcích, zahradách
borovice vejmutovka	5	12–25	nepůvodní druh v ČR, vysazovaná v lesích, parcích, zahradách

Úloha 2: Odvození tvaru průřezu jehlicí vybraných druhů borovic a jeho ověření pomocí skládačky

Úloha je založená na předpokladu, že soubor k sobě přitisklých jehlic ve svazku tvoří kruh. Tvar průřezu jehlicí je pak v závislosti na počtu jehlic ve svazku kruhová výseč s určitým středovým úhlem.

Definujte pojem plný úhel:

Vypočítejte velikost středového úhlu kruhové výseče pro:

- 2 jehlice ve svazku
- 3 jehlice ve svazku
- 5 jehlic ve svazku

Doplňte údaje do **tabulky 2** včetně vypočítaných hodnot středového úhlu.

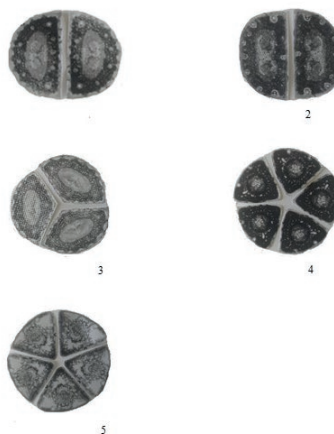
Tab. 2 Tabulka pro doplnění údajů o počtu jehlic a tvaru průřezu jehlicí vybraných druhů borovic

druh borovice	počet jehlic ve svazku	středový úhel kruhové výseče	nákres tvaru kruhové výseče
borovice černá			
borovice lesní			
borovice tuhá			
borovice himálajská			
borovice vejmutovka			

Pro ověření správnosti tvaru průřezu jehlicí borovic uvedených v **Tab. 2** si sestavte pět skládaček a nalepte je do pracovního listu.

Obr. 10 Skládačky

1 – borovice černá (*Pinus nigra*), 2 – borovice lesní (*Pinus sylvestris*), 3 – borovice tuhá (*Pinus rigida*), 4 – borovice himálajská (*Pinus wallichiana*), 5 – borovice vejmutovka (*Pinus strobus*). Foto autorka.



Námět 2: Pozorování a porovnávání vnitřní stavby jehlic v mikroskopu u vybraných druhů jehličnanů

Ve vnitřní stavbě jehlic rozpoznáváme poměrně malé množství struktur, takže jsou vhodným materiálem pro srovnávání těchto znaků mezi různými druhy jehličnanů. Pro tento námět doporučuji ty druhy, které mají silné jehlice (viz Tab. 3), tedy zhotovení tenkých příčných řezů bude pro žáky snadné. Řezy jehlic připraví žáci pomocí ručního mikrotomu a žiletky nebo stačí jehlici vložit do bezové duše a řezat žiletkou. Zruční žáci zvládnou zhotovit řez jehlic přímo bez jejího upevnění do bezové duše. Řezy musí být vedené ve středu zkoumané jehlice, aby bylo možné pozorovat správně vyvinutá všechna pletiva, a to včetně předpokládaného počtu cévních svazků. Dörken & Stützel (2012) totiž zjistili, že např. u jehlic borovice lesní nebyly viditelné dva cévní svazky, pokud byl řez veden v bazální nebo distální části jehlice. Při pozorování dočasných preparátů z příčných řezů jehlicemi se z praktických důvodů zaměříme na struktury, které jsou viditelné, i když není řez perfektně tenký.

Prvním a velmi snadno pozorovatelným znakem je již tvar průřezu jehlicí; tento je rozmanitý v závislosti na druhu jehličnanu. U smrků je průřez jehlicí zaoblený nebo protáhlý kosočtverec, jedle mají oválný průřez jehlicí stejně jako douglaska tisolistá, u cedru lze pozorovat zaoblený pětiúhelník. Největší variabilitu tvarů příčných průřezů jehlic nalezneme u borovic (viz předchozí aktivita). Povrchové vrstvy jehlice (pokožka a hypodermis) jsou bezbarvé a na kvalitních tenkých řezech je možné pozorovat i počet vrstev buněk, které je tvoří. Asimilační pletivo je u jehlic borovic, smrků a cedru homogenní, u jehlic douglasky a jedlí je přítomen heterogenní

mezofyl. V zeleném asimilačním pletivu je dobře vidět jeden cévní svazek (smrk, cedr) nebo dva cévní svazky (borovice, jedle, douglaska) díky tomu, že jsou bezbarvé, a tedy k mezofylu kontrastní. Stejně tak vynikají pryskyřičné kanálky ohraničené proti mezofylu dvěma vrstvami bezbarvých buněk (vrstva tenkostěnných epitelových buněk a vrstva tlustostěnných buněk). U pěkných tenkých řezů je možné i pozorovat, zda jsou pryskyřičné kanálky obklopené ze všech stran asimilačním pletivem nebo se dotýkají povrchových vrstev.

Pracovní list 2

Úloha: Pozorování vnitřní stavby jehlic vybraných druhů jehličnanů

Zhotovte tenké příčné řezy ve střední části jehlic druhů uvedených v **tabulce 3**, připravte z nich dočasné preparáty a pozorujte mikroskopem při vhodném zvětšení. Zaměřte se na důležité rozpoznávací znaky – tvar průřezu jehlicí, utváření asimilačního pletiva, počet a umístění pryskyřičných kanálků. Zjištěné údaje zaznamenejte do **tabulky 3**.

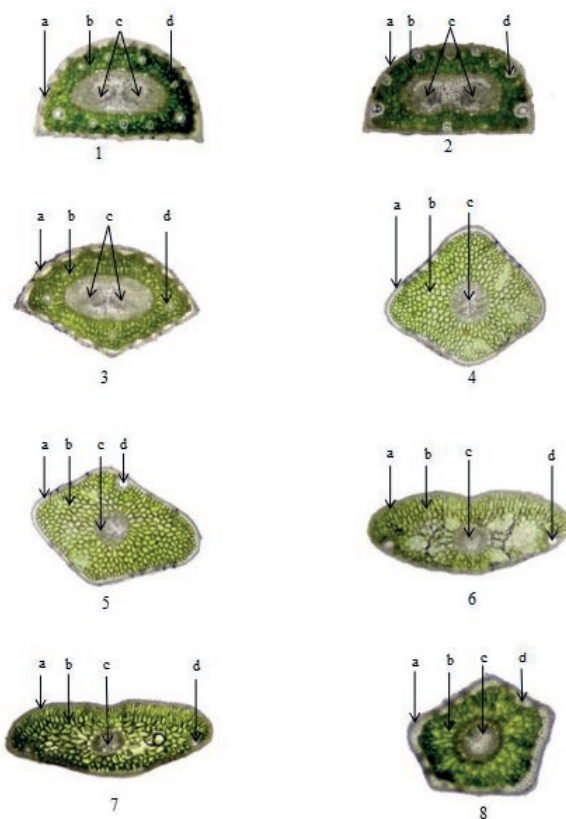
Nápověda pro vyplnění tabulky:

1. tvar průřezu jehlicí – využijte podobnost s rovinnými útvary (např. půlkruh, kosočtverec, elipsa, pětiúhelník),
2. asimilační pletivo vyberte ze dvou možností – stejnorodé nebo rozlišené na palisádový a houbový parenchym,
3. umístění pryskyřičných kanálků vyberte ze dvou možností – dotýkají se hypodermis nebo jsou uvnitř asimilačního pletiva.

Tab. 3 Porovnání anatomických znaků jehlic vybraných druhů jehličnanů

druh jehličnanu	tvár průřezu jehlicí	asimilační pletivo	počet cévních svazků	počet a umístění pryskyřičných kanálků
borovice černá				
borovice lesní				
borovice tuhá				
smrk pichlavý				
smrk ztepilý				
douglaska tisolistá				
jedle kavkazská				
cedr atlantský				

Na následujících obrázcích je popsána vnitřní stavba jehlic druhů uvedených v Tab. 3 jako srovnávací materiál pro učitele k ověření správnosti údajů, které žáci doplní do tabulky.



Obr. 11 Vnitřní stavba jehlic vybraných druhů jehličnanů. Zvětšení 4x10. Foto autorka.

Legenda: 1 – borovice černá (*Pinus nigra*), 2 – borovice lesní (*Pinus sylvestris*), 3 – borovice tuhá (*Pinus rigida*), 4 – smrk pichlavý (*Picea pungens*), 5 – smrk ztepilý (*Picea abies*), 6 – douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*), 7 – jedle kavkazská (*Abies nordmanniana*), 8 – cedr atlantský (*Cedrus atlantica*); a – povrchové vrstvy (epidermis a hypodermis), b – asimilační pletivo (mezofyl), c – cévní svazek/svazky, d – pryskyřičný kanálek

Námět 3: Určování druhů borovic podle zjednodušeného určovacího klíče

Jednotlivé druhy borovic se často rozpoznávají podle vnějších znaků – celkový vzhled stromu, utváření a barva borky, tvar a velikost šišek, počet jehlic ve svazku. K určení některých druhů borovic je však možné využít i anatomické znaky jehlic viditelné na příčném řezu. Předpokladem pro určování druhů borovic podle anatomických znaků je stejně jako

v námětu č. 2 příprava dočasných preparátů z tenkých příčných řezů jehlicí vedených jejím středem. Inspirací pro tvorbu klíče v tomto příspěvku byl klíč pro určování druhů borovic, jehož autorem je Jurčák (1983), a klíč od Hejného & Slavíka (1988, s. 290).

Pro práci s určovacím klíčem doporučuji především jehlice borovice černé, borovice lesní, borovice tuhé a borovice kleče.

Zjednodušený klíč k určení vybraných druhů borovic

1a	jehlice s jedním cévním svazkem, obrys cévního svazku je kruhový, průřez jehlicí je trojúhelník	2	
1b	jehlice se dvěma cévními svazky, obrys cévních svazků je oválný	3	
2a	pryskyřičné kanálky jsou uvnitř asimilačního pletiva, nedotýkají se povrchových vrstev		borovice limba
2b	pryskyřičné kanálky se dotýkají povrchových vrstev		borovice vejmutovka borovice himálajská
3a	průřez jehlicí je kruhová výseč s vnitřním úhlem 120°	4	
3b	průřez jehlicí je půlkruh	5	
4a	cévní svazky jsou blízko sebe (mezi nimi jsou tenkostěnné buňky)		borovice tuhá
4b	cévní svazky jsou oddálené (mezi nimi jsou tlustostěnné buňky)		borovice Jeffreyova
5a	pryskyřičné kanálky jsou uvnitř asimilačního pletiva	6	
5b	pryskyřičné kanálky se dotýkají povrchové vrstvy (hypodermis)	7	
6a	pryskyřičných kanálků je 6–15		borovice černá
6b	pryskyřičné kanálky jen 1–2		borovice pokroucená borovice Banksova
7a	pryskyřičných kanálků je 3–6		borovice kleč
7b	pryskyřičných kanálků je 7–15		borovice lesní

ZÁVĚR

Jehlice představuje jedinečný objekt, na kterém je možné velmi dobře ukázat souvislost mezi její vnitřní stavbou a podmínkami prostředí. Variabilita tvaru příčného řezu a anatomických znaků jehlic nabízí příležitost ke srovnávání rozdílů mezi rody a druhy jehličnanů. Jehlice jsou velmi vhodným materiálem pro mikroskopické praktikum, a to z několika důvodů – celoroční dostupnost, jednoduchá příprava dočasného preparátu, přehledná vnitřní stavba s jasně rozlišitelnými strukturami. Příspěvek přináší několik

námětů pro práci s jehlicemi vybraných druhů jehličnanů v mikroskopickém praktiku. Náměty přispívají k rozvoji schopností žáků připravit dočasné preparáty, samostatně pracovat s mikroskopem, systematicky pozorovat vnitřní stavbu rostlin a pracovat s určovacím klíčem.

Literatura

- BERCU, R., BROASCA, L., & POPOVICIU, R. (2010). Comparative anatomical study of some gymnospermae species leaves. *Botanica Serbica*, 34 (1), 21–28. Získáno z https://botanicaserbica.bio.bg.ac.rs/arhiva/pdf/2010_34_1_504_full.pdf
- BUSINSKÝ, R. (2008). *The genus Pinus L., Pines: Contribution to knowledge*. A monograph with cone drawings of all species of the world by Ludmila Businská. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví.
- Získáno z https://www.vukoz.cz/wp-content/uploads/2022/09/Acta-88_komplet-cz.pdf
- DÖRKEN, V. M., & STÜTZEL, T. (2012). Morphology, anatomy and vasculature of leaves in *Pinus* (*Pinaceae*) and its evolutionary meaning. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 207 (1), 57–62. Získáno z <https://doi.org/10.1016/j.flora.2011.10.004>
- GHIMIRE, B., LEE, CH., YANG, J., & HEO, K. (2015). Comparative leaf anatomy of some species of *Abies* and *Picea* (*Pinaceae*). *Acta Botanica Brasilica*, 29 (3), 346–353.
- Získáno z <https://doi.org/10.1590/0102-33062014abb0009>
- HEJNÝ, S., & SLAVÍK, B. (Eds.). (1988). *Květena ČSR 1*. Praha: Academia.
- HRABOVSKÝ, M. (2021). Revízia morfolologickej terminológie, 2. Vývojové štádiá listových orgánov. *Bulletin slovenskej Botanickéj spoločnosti*, 43 (2), 299–309. Získáno z http://sbs.sav.sk/SBS1/bulletins/docs/bulletin43_2/SBSB-2021-2_Hrabovsky.pdf
- JURČÁK, J. (1983). Vnitřní stavba jehlic borovic (*Pinus* L.) a klíč k určování. *Zprávy Československé botanické společnosti*, 18 (1), 69–74.
- LARCHER, W. (1988). *Fyziologická ekologie rostlin*. Praha: Academia.
- LIN, J., SAMPSON, D. A., & CEULEMANS, R. (2001). The effect of crown position and tree age on resin-canal density in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needle. *Canadian Journal of Botany*, 79 (11), 1257–1261. Získáno z <https://doi.org/10.1139/b01-108>
- LUKJANOVA, A., & MANDRE, M. (2008). Anatomical structure and localisation of lignin in needles and shoots of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in a habitat with varying environmental characteristics. *Forestry Studies*, 49 (1), 37–46. Získáno z <https://doi.org/10.2478/v10132-011-0061-2>

- NOVÁK, J., & SKALICKÝ, M. (2012). *Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika* (3. vyd.). Praha: Power-print.
- PRABHAKAR, M. (2004). Structure, Delimitation, Nomenclature and Classification of Stomata. *Journal of Integrative Plant Biology*, 46 (2), 242–252. Získáno z <https://www.jipb.net/EN/Y2004/V46/I2/242>
- PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREKULE, J. et al. (1998). *Fyziologie rostlin*. Praha: Academia.
- ŠANTRŮČEK, J. (2022). The why and how of sunken stomata. *Annals of Botany*, 130 (3), 285–300. Získáno z <https://doi.org/10.1093%2Faob%2Fmca055>
- TOMESCU, A. M. F. (2009). Megaphylls, microphylls and the evolution of leaf development. *Trends in Plant Science*, 14 (1), 5–12. Získáno z <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.008>
- TURLER, S., BIRCHLER, H. R., & WOESSNER, E. (2010). Conifer Needles. *The Microscope*, 58 (4), 177–179. Získáno z https://www.mccroneinstitute.org/uploads/Past50-Turler-etal_58-4_p177-179_2010-1476996629.pdf
- VINTER, V. (2008). Rostliny pod mikroskopem: základy anatomie cévnatých rostlin. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- VOTRUBOVÁ, O. (2010). *Anatomie rostlin* (3. přeprac. vyd.). Praha: Karolinum.
- Nomenklatura druhů jehličnanů byla sjednocena podle <https://www.biolib.cz>