

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra biologie

**Tematika vztahu mezi rostlinami a atmosférou v aktuální výuce
přírodopisu na 2. stupni základních škol**

Bakalářská práce

Tomáš Čekal

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Renata Ryplová, Dr.

České Budějovice

2012

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledky obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum:

Podpis studenta:.....

Poděkování

Děkuji paní **Mgr. Renatě Ryplové, Dr.** za podnět k této práci, trpělivé vedení a cenné rady při zpracování zvoleného tématu.

Dále můj dík patří ředitelům základních škol **PaedDr. Jaroslavu Nádvorníkovi, Mgr. Liboru Novotnému, Mgr. Aleně Pohnánové, Mgr. Věře Vitáčkové** a učitelům přírodopisu, kteří mi umožnili uskutečnit praktickou část mé bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tematikou vztahu mezi rostlinami a atmosférou v aktuální výuce přírodopisu na 2. stupni základních škol. Práce je rozdělena na dvě hlavní části, a to teoretickou a praktickou.

V teoretické části je rozebírána problematika tří okruhů v bakalářské práci dále sledovaných, a to: 1. Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku, 2. Vliv atmosféry na rostliny 3. Význam rostlin pro atmosféru.

V praktické části je pak obsažen monitoring výskytu jednotlivých okruhů v učebnicích základní školy (pomocí tabulek) a dále analýza znalostí problematiky těchto okruhů u žáků 9. ročníků ZŠ provedená na základě didaktického testu, který je zpracován formou grafů.

Klíčová slova: fotosyntéza, dýchání, rozklad rostlinných těl, teplota ovzduší, vlhkost vzduchu, znečištění ovzduší, ozon, transpirace, pohlcování polutantů.

Abstract

This bachelor thesis focuses on the relation between plants and atmosphere in the current education of Science on the second stage of basic schools. The thesis is divided into two main parts, a theoretical and a practical one.

The theoretical part analyses an issue of three spheres which are furthermore observed in this bachelor thesis, namely: 1 Plants in relation to carbon cycle, 2 Influence of the atmosphere on plants, 3 Significance of plants for the atmosphere.

The practical part consists of monitoring of the presence of separate spheres in the basic school textbooks (with the help of charts) and analysis of the 9th grade basic school pupils' knowledge in these spheres carried into effect based on the didactic test. The monitoring is worked up in the form of diagrams.

Keywords: photosynthesis, breathing, plant bodies decomposition, air temperature, air moisture, air pollution, ozone, transpiration and absorption of pollutants.

Obsah:

1. Úvod	1
2. Literární přehled – teoretická část	2
2. 1 Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku	2
2. 1. 1 Fotosyntéza	2
2. 1. 1 Rostliny C3	3
2. 1. 2 Rostliny C4	3
2. 1. 3 Rostliny CAM	4
2. 2 Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku	5
2. 2. 1 Dýchání	5
2. 2. 2 Koloběh uhlíku na pevninách	5
2. 2. 3 Podíl oceánů na koloběhu uhlíku	6
2. 2. 4 Respirace horského lesního ekosystému	6
2. 3 Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku	7
2. 3. 1 Rozklad rostlinných těl	7
2. 3. 2 Cyklus uhlíku	7
2. 3. 3 Rozpad lesa	8
2. 4 Vliv atmosféry na rostliny	8
2. 4. 1 Vliv teploty ovzduší	8
2. 4. 2 Teplotní klima porostu	9
2. 4. 3 Rozmezí teplot pro udržení života a funkční rozmezí teplot	9
2. 4. 6 Redukce tepla odrazem záření a ochlazováním při transpiraci	10
2. 4. 7 Teplotní odolnost a funkce orgánů	10
2. 5 Vliv atmosféry na rostliny	11
2. 5. 1 Vliv vlhkosti vzduchu	11
2. 6 Vliv atmosféry na rostliny	12

2. 6. 1 Vliv hladiny CO ₂	12
2. 6. 2 Primární fyziologické odezvy na působení CO ₂	13
2. 6. 3 Sekundární fyziologické odezvy na působení CO ₂	14
2. 6. 4 Terciární fyziologické odezvy na působení CO ₂	14
2. 7 Vliv atmosféry na rostliny	15
2. 7. 1 Znečištění ovzduší imisemi – např. ozon, SO ₂ , NO _x , prach	15
2. 7. 2 NO _x – oxidy dusíku	15
2. 7. 3 Ozon	16
2. 7. 4 Oxid siřičitý	16
2. 7. 5 Tuhé imise	17
2. 8 Význam rostlin pro atmosféru	18
2. 8. 1 Ochlazování atmosféry transpirací	18
2. 8. 2 Transpirační orgán	19
2. 8. 3 Klimatizační zařízení	19
2. 8. 4 Transpirace vody rostlinami	20
2. 9 Význam rostlin pro atmosféru	20
2. 9. 1 Pohlcování polutantů	20
2. 9. 2 Vliv polutantů na rostliny	20
2. 9. 3 Další polutanty pohlcované rostlinami	21
2. 10 Význam rostlin pro atmosféru	22
2. 10. 1 Výdej těkavých látek do atmosféry	22
2. 10. 2 Atmosférické emise isoprenoidu	22
2. 10. 3 Emise methanu	23
3. Metodika	24
4. Výsledky	25
4. 1 Monitoring sledovaných témat v učebnicích pro základní školy	25
4. 2 Ověřování znalostí problematiky u žáků na 2. st. ZŠ	41

4. 3 Zadání testu.....	42
4. 4 Vyhodnocení didaktického testu.....	44
5. Diskuze	49
6. Závěr.....	53
7. Seznam použité literatury	54

1. Úvod

Vzhledem ke globálním změnám klimatu a scénářům budoucího vývoje klimatu nabývá problematika vztahů mezi rostlinami a atmosférou v současné době na aktuálnosti. Je proto důležité, aby o tomto tématu měli širší povědomí i žáci základních škol.

Cílem mé bakalářské práce je monitoring současného stavu vědomostí u žáků základních škol a monitoring frekvence výskytu problematiky vztahů mezi rostlinami a atmosférou v učebnicích používaných v současnosti.

V úvodní teoretické části je rozebírána problematika tří okruhů v bakalářské práci dále sledovaných, a to:

1. Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku (fotosyntéza, dýchání, rozklad rostlinných těl).
2. Vliv atmosféry na rostliny (vliv teploty ovzduší, vlhkosti vzduchu, hladiny CO₂, znečištění ovzduší imisemi – např. ozon, SO₂, NO_x, prach).
3. Význam rostlin pro atmosféru (ochlazování atmosféry transpirací, pohlcování polutantů, výdej těkavých látek do atmosféry).

V praktické části je pak obsažen monitoring výskytu jednotlivých okruhů v učebnicích základní školy a dále zběžná analýza znalostí problematiky těchto okruhů u žáků 9. ročníků ZŠ provedená na základě didaktického testu.

Dané téma jsem si zvolil proto, že bych se chtěl učitelství v budoucnosti věnovat a monitoring učebnic mě zajímal. Předpokládám, že v učebnicích bude nejpodrobněji zpracován první okruh témat, a to rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku. Další hypotéza je, že v didaktickém testu respondenti nejlépe zvládnou otázky vyplývající z nejpodrobněji zpracovaného okruhu. Dále se budu snažit zjistit, zda se liší odpovědi žáků sledovaných škol podle toho, které učebnice jsou na dané škole používány k výuce.

2. Literární přehled – teoretická část

V této teoretické části bude pojednáno o těchto tématech: Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku (fotosyntéza, dýchání, rozklad rostlinných těl), Vlivu atmosféry na rostliny (vliv teploty ovzduší, vliv vlhkosti vzduchu, vliv hladiny CO₂, vliv znečištění ovzduší imisemi, a Významu rostlin pro atmosféru (ochlazování atmosféry transpirací, pohlcování polutantů a výdej těkavých látek do atmosféry).

2. 1 Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku

2. 1. 1 Fotosyntéza

Vztah mezi rostlinami a atmosférou je všeobecně vnímán především z pohledu koloběhu uhlíku – zejména jeho fotosyntetické asimilace z atmosféry a jeho pozdějšího uvolňování zpět do atmosféry v procesu dýchání a rozkladem rostlinných těl.

Fotosyntetická vazba atmosférického oxidu uhličitého je základním procesem primární produkce v ekosystému. Fotosyntéza zelených rostlin znamená vstup energie a uhlíku do biomasy ekosystému. Z jejích produktů se vytváří postupně veškerá organická hmota v ekosystému a je po stránce energetické základem a hnací silou všech životních procesů v biosféře. Všechny organické sloučeniny obsažené ve všech organismech byly vytvořeny ze sloučenin, které byly kdysi primárními produkty fotosyntézy. Také veškerá energie, kterou všechny organismy využívají k dalším životním procesům, byla nejprve svázána fotosyntézou z pohlceného slunečního záření (Slavíková, 1986). Fotosyntéza se skládá v podstatě ze dvou procesů: z vazby zářivé sluneční energie včetně rozkladu vody a z transportu CO₂ z atmosféry a jeho zabudováním karboxylačními procesy, které využívají tuto energii. Transport CO₂ do rostliny se děje difúzí, hlavním přímým regulačním systémem jsou při něm průduchy. Jejich difúzní vodivost závisí na jejich počtu, velikosti a především otevření, které je určováno souhrou vlivu vnitřní koncentrace CO₂, vodního potenciálu, vlhkosti vzduchu, světla, teploty, růstových látek aj. Vlastnosti průduchů jsou důležitým ekologickým znakem různých ekologických skupin rostlin. Jsou výsledkem dlouhodobých adaptací rostlin na stanovištní podmínky. Tak např. *xerofyty* a *heliofyty* mají listy s větším počtem poměrně menších průduchů než *hygrofyty* a *sciofyty*. Podle karboxylačních enzymů, které vytvářejí různé primární produkce karboxylace, rozdělujeme rostliny do

tří skupin. Tyto skupiny se od sebe liší nejen fyziologicky, ale také ekologicky. Jsou to skupiny rostlin C3, C4 a CAM.

2. 1. 1 Rostliny C3

Převážná většina cévnatých rostlin patří mezi C3 rostliny. Jsou to prakticky všechny rostliny mírného klimatu (Slavíková, 1986). Soubor reakcí fixujících CO₂ a zabezpečujících zároveň i regeneraci substrátu je označován jako Calvinův cyklus. (Procházka a kol., 1998) U většiny rostlin je akceptorem CO₂ *ribulóza-1,5-bisfosfát* (RuBP). Karboxylaci katalyzuje enzym *RuBP-karboxyláza*. Produkt této reakce, šestiuhlíkatá molekula, se ihned rozpadá za tvorby dvou molekul kyseliny *3-fosfoglycerové (PGA)*. Každá z těchto molekul obsahuje tři atomy uhlíku a celý proces se proto také nazývá C3-cestou asimilace. *PGA* je redukována na *glyceraldehyd-3-fosfát (GAP)* v několika krocích vyžadujících *ATP (adenosintrifosfát)* a *NADPH₂ (nikotinamidadenindinukleotitfosfát)*. To je poslední krok při vyzdvižení přijatého CO₂ na energetickou hladinu uhlíkatých sloučenin. *GAP* proudí do hotovostní zásoby uhlíkatých sloučenin s různou délkou řetězců uhlíku (C3-C7), které poskytují materiál pro syntézu různých látek (cukrů, škrobu, karboxylových kyselin, aminokyselin) a pro regeneraci akceptoru (Larcher, 1988).

2. 1. 2 Rostliny C4

Primární fixace CO₂ enzymem *Rubisco (ribulóza-1,5-bisfosfátkarboxyláza/oxygenáza)* je typickým rysem fotosyntézy rostlin typu C3. Výrazně odlišný způsob fotosyntetické redukce CO₂ se vyskytuje u rostlin C4. Zde dochází k vazbě HCO₃⁻ na *fosfoenolpyruvát* enzymem *fosfoenolpyruvátkarboxylázou* (PEPkarboxyláza - PEPc) za vzniku oxalacetátu, tedy čtyřuhlíkaté sloučeniny, a proto označení rostlin jako C4. Fixace CO₂ zde probíhá doslova dvakrát. Atmosférický CO₂ je nejprve fixován v buňkách mezofylu, a to v cytoplasmě PEPkarboxylázou. Vzniklý *oxalacetát* se mění na *malát* nebo *asparát* (podle druhu rostlin) a je pak transportován do buněk pochev cévních svazků. Zde je dekarboxylací uvolněn CO₂ a znovu fixován, tentokrát cyklem Calvinovým. Specifita metabolismu rostlin C4 spočívá tedy i v tom, že představuje funkční spojení přenosu CO₂ do buněk pochev cévních svazků s jeho hromaděním v místech karboxylace RuBPkarboxylázou. Tímto způsobem dosahuje komplex strukturních a funkčních znaků rostlin C4 rychlé prvotní fixace CO₂ buňkami mezofylů i při nízkých koncentracích CO₂ a na druhé straně při nezměněných vnějších

podmínkách zajišťuje srovnatelné rychlosti fixace CO₂ RuBPKarboxylázou zvýšením koncentrace CO₂ v buňkách pochev cévních svazků.

Při růstu listu rostliny C₄ dochází k tvorbě Rubisco (*ribulóza-1,5-bisfosfátkarboxyláza/oxygenáza*) od samotného počátku diferenciacie buněk cévních svazků. Teprve o 2 až 4 dny později se začíná syntetizovat PEPc, to v těch meristematických buňkách, z nichž se postupně vyvíjejí buňky sousedící se svazky cévními. Předpokládá se, že biochemická kompartmentace je patrně tím vývojovým signálem, který určuje následnou strukturní diferenciaci. Například u druhu *Atriplex rosea*, který má metabolismus typu C₄, probíhá v mladých listech fixace CO₂ jen Calvinovým cyklem. Teprve když listy dosáhnou asi ¾ své konečné velikosti, začne v mezofylových buňkách fixace PEPkarboxylázou (Dengler et. al., 1995 in Procházka a kol., 1998).

2. 1. 3 Rostliny CAM

U rostlin C₄ je fixace anorganicky vázaného uhlíku v cyklu C₄ a C₃ oddělena prostorově, u rostlin CAM probíhá fixace typu C₄ ve tmě a fixace Rubisco (*ribulóza-1,5-bisfosfátkarboxyláza/oxygenáza*) v cyklu C₃ na světle. Tato adaptace se vyskytuje nejčastěji v čeledích *Crassulaceae*, *Cactaceae*, *Bromeliaceae* a *Orchidaceae* z důležitých užitkových rostlin mají tento typ metabolismu ananas a agáve. Rostliny CAM (z ang. C *Crassulacean* a *acid* m *etabolism*) otevírají průduchy v noci, kdy klesá teplota, část vzdušné vlhkosti kondenzuje a voda je pro rostlinu dostupnější. Oxid uhličitý vstupuje otevřenými průduchy do rostlinných pletiv, rozpouští se a HCO₃⁻ je v cytoplazmě vázán PEPkarboxylázou na PEP (*fosfoenolpyruvát*) za vzniku *oxalacetátu*. Ten je v cytoplazmě redukován na *malát*, redukující kofaktor při této reakci je *NADH*(*nikotinamidadeninukleotid*). Vznikající *malát* je transportován do vakuoly, kde se hromadí a snižuje pH ve vakuole, které v noci dosahuje až hodnoty 1,5 (acid metabolism). Ve dne jsou průduchy zavřeny, *malát* je transportován z vakuoly do cytoplazmy, kde je dekarboxylován. Uvolněný CO₂ je v chloroplastech vázán na *ribulóza-1,5-bisfosfát* (reakci katalyzuje Rubisco) a vstupuje do metabolických cest sacharidů (Pavlová, 2005).

2. 2 Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku

2. 2. 1 Dýchání

V procesech fotosyntetické asimilace CO₂ se tvoří sacharidy, které představují základní zdroj energie a organicky vázaného uhlíku. Energie uložená v sacharidech je řízeně uvolňována v procesech, které se souhrnně nazývají dýchání neboli respirace. Získává se v nich redukční síla v NADH (*nikotinamidadenindinukleotidu*), energie ve formě ATP (*adenosintrifosfátu*) a substráty pro syntézu dalších důležitých metabolitů. Respirace konvenčně zahrnuje *glykolýzu*, *Krebsův* cyklus a transport elektronu v dýchacím řetězci. Za normálních podmínek se respirace jako celek vně projevuje spotřebou O₂, uvolňováním CO₂ a vznikem H₂O (Pavlová, 2005).

Každá vyšší zelená rostlina obsahuje buňky (i pletiva a celé orgány – např. kořeny), které musí získávat energii rozkladem organických látek – dýcháním. A dokonce celé rostliny jsou na tento zdroj energie odkázány v prvních fázích svého růstu (při klíčení) nebo v noci či za podmínek jinak nepříznivých pro fotosyntézu. Proto je dýchání nezbytnou podmínkou života rostlin (Procházka a kol., 1998).

Konečným produktem respirace rostlin je oxid uhličitý (CO₂), který je uvolňován do okolní atmosféry. Dýchání je nezbytné nejen pro tvorbu vlastní biomasy rostliny, ale i pro samotnou fotosyntézu. Respirací se „ztrácí“ až polovina produktů fotosyntézy, ale přesto označení „ztráta“ neodpovídá významu těchto procesů a jejich úloze v metabolismu rostlin (Procházka a kol., 1998). V současnosti, kdy zejména vlivem antropogenních aktivit dochází k nárůstu koncentrace CO₂ v atmosféře, je důležité poznat a kvantifikovat všechny součásti globálního uhlíkového cyklu tedy i respirace (Marek a kol., 2011).

2. 2. 2 Koloběh uhlíku na pevninách

Toky uhlíku, k nimž dochází na pevninách, a ně navazující vrstvě vzduchu, jsou hodně umělou představou vytrženou z globálního cyklu uhlíku na naší planetě. Tímto vyčleněním však můžeme lépe pochopit některé základní toky uhlíku, které se pak v trochu složitější formě uplatňují v globálním cyklu. Sledujeme proto CO₂ ze vzduchu. Ty jsou v procesech označovaných jako fotosyntéza pohlcovány rostlinami, které z nich při využití energie slunečního záření vytvářejí energeticky bohaté organické látky (cukry, bílkoviny a tuky). Všechny živé organismy včetně rostlin dýchají. To znamená,

že část svých uhlíkatých sloučenin rozkládají na vodu a CO₂. Tím se CO₂ po svých proměnách v organismech vrací do atmosféry (Nátr, 2006).

2. 2. 3 Podíl oceánů na koloběhu uhlíku

Je evidentní, že cyklus uhlíku na Zemi musí zahrnovat také oceány, které pokrývají asi dvě třetiny povrchu Země. Tyto obrovské objemy vody se v cyklu uhlíku uplatňují v zásadě dvěma způsoby: Kromě fyzikálního rozpouštění CO₂ dochází v mořích také k jeho fotosyntetické fixaci mořským fytoplanktonem, tedy řasami a sinicemi. Fytoplanktonem se pak živí mořští živočichové. Přitom i zde všechny organismy dýchají, takže část fotosynteticky fixovaného CO₂ je uvolněna do vod a z nich pak částečně až do atmosféry (Nátr, 2006).

2. 2. 4 Respirace horského lesního ekosystému

V horském lesním ekosystému je uloženo velké množství uhlíku, a to jak v půdě, tak i v nadzemní biomase. Největší zásoba uhlíku v horském lesním ekosystému se nachází v půdě, která spolu s kořeny obsahuje 52 % uhlíku celého ekosystému. Na respiraci se však největší měrou (43-47 %) podílí listoví, což ukazuje na jeho velkou respirační aktivitu. Je nutné si však uvědomit, že během dne v listoví probíhá fotosyntéza, která převažuje nad respirací (Marek a kol., 2011). Na lesní ekosystémy se tedy můžeme oprávněně dívat jako na obrovskou soustavu pump, které nasávají vzdušný uhlík z atmosféry do biomasy a půdy prostřednictvím asimilace a vypouštějí ho zpět do atmosféry respirací (Marek a kol., 2011).

Při měření rychlosti dýchání můžeme získat rozdílné výsledky mezi rychlosti příjmu O₂ a rychlostí výdeje CO₂. Důvodem je to, že substrát pro dýchání může být tvořen velmi různými sloučeninami. Nejčastěji jsou to sice sacharidy, ale mohou to být i bílkoviny, tuky, organické kyseliny apod. A právě v závislosti na chemickém složení substrátu se mění i hodnota tzv. respiračního koeficientu, který je definován jako poměr mezi množstvím vytvořeného CO₂ ku množství spotřebovaného O₂ (Procházka a kol., 1998).

2. 3 Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku

2. 3. 1 Rozklad rostlinných těl

Lesy vstupují do uhlíkové bilance tím, že vážou významné množství organického uhlíku v biomase živých stromů a půdě (včetně opadu a humusových horizontů), ve stojícím i ležícím odumřelém dřevu a v přízemní vegetaci (Marek a kol., 2011).

Na zásobách uhlíku a uhlíkové bilanci lesa se významně podílí i mrtvé dřevo, ponechané k zetlení. Pro stanovení zásob uhlíku v mrtvém dřevě je vedle jeho objemu a hustoty (závisející na druhu dřeviny, z níž dřevo pochází) rozhodující stupeň rozkladu dřeva. Rychlost uvolňování uhlíku z mrtvého dřeva ponechaného k rozkladu závisí na druhu dřeviny a porostním mikroklimatu, způsobu vzniku mrtvého dřeva (např. postupným chřadnutím, vlivem imisí, žírem kůrovce aj.). Podstatný vliv na dynamiku rozkladu mrtvého dřeva má odkornění, případně jeho kontakt s půdním povrchem (Marek a kol., 2011).

2. 3. 2 Cyklus uhlíku

V sušině biomasy vyšších zelených rostlin je průměrně 45 % uhlíku. Rychlost obratu uhlíku v terestrických ekosystémech je určována především rychlostí fotosyntetického příjmu oxidu uhličitého primárními producenty ze vzduchu, dále dobou setrvání uhlíku ve vytvořených organických látkách, dobou setrvání v opadu odumřelých částí rostlin, popř. v detritu, a tím také rychlostí jejich rozkladu, popř. dobou setrvání ve formě humusu. Proto je rychlost obratu uhlíku určována v podstatě klimatickými podmínkami, tj. průběhem hodnot ozáření, teplot a zásobením vodou během roku (Slavíková, 1986).

Pád jednotlivého stromu bude asi častější než větrná smršť či požár. Každá taková příhoda je ale zároveň ve svém důsledku zdrojem stability. Tyto události mají velký vliv na koloběh uhlíku. Především se odstraní rozsáhlá část biomasy, která je později přístupná rozkladu. V dlouhodobém horizontu je důležité si uvědomit, že požár, větrný polom nebo těžba významně ovlivní dlouhodobou bilanci uhlíku. Jednorázově totiž uvolní velké množství uhlíku.

Les se po každém narušení stává čistým zdrojem uhlíku. Jsou zde velké rozdíly, například čerstvě sklizená pařezina bývá zdrojem uhlíku pouze po několik let, poté

ukládání uhlíku v biomase předčí ztráty způsobené dýcháním. Naopak holosečná těžba dospělého lesa porost posune do role čistého zdroje uhlíku na několik desetiletí. Produktivita porostu je závislá na intenzitě hospodaření (prořezávky, probírky, hnojení). Zdá se, že přeměna listnatého lesa na jehličnatý může podnítit zvýšenou akumulaci uhlíku a naopak. Je to dáno především tím, že rychlost růstu jehličnatých dřevin je vyšší než listnatých, a navíc se opadané jehličí rozkládá hůře než listí (Oulehle a Hruška, 2009).

2. 3. 3 Rozpad lesa

V současnosti například dochází k rozpadu lesa v Britské Kolumbii v Kanadě na území velikém 130 tisíc km². Příčinou jsou požáry a následné invaze hmyzu. Na základě modelování bylo spočteno, že takto postižený les uvolní mezi lety 2000 a 2020 asi 990 Mt CO₂, což odpovídá celkovým kanadským emisím z dopravy za 5 let (Oulehle a Hruška, 2009).

Ekosystémy tropických deštných lesů mají největší biomasu ze všech ekosystémů vůbec (průměrně 20 kg C.m⁻²). Rychlost rozkladu opadu i mineralizace *detritu* jsou velké, takže se nehromadí rozkládající se detrit, ani se netvoří povrchový humusový horizont, i když obsah uhlíku v půdě není zanedbatelný. Koloběh uhlíku je uzavřen a má poměrně rychlý obrat beze ztrát. V tomto typu ekosystému je největší podíl uhlíku vázán v nadzemní biomase dřevin.

Opadavé listnaté lesy v mírném (temperátním) pásmu a na severu na ně navazující boreální jehličnaté lesy mohou sloužit jako příklad lesních ekosystémů, které mají směrem do vyšších zeměpisných šířek (směrem k pólům) klima s klesající sumou záření a teplotou, se zvyšující se vlhkostí a zkracující se vegetační dobou. Rychlost rozkladu opadu i mineralizace detritu se s klesající teplotou směrem k pólům snižuje, a tím se i zvyšuje doba setrvání uhlíku v detritu. Proto největší podíl uhlíku v těchto ekosystémech je v nadzemní biomase dřevin a v pomalu se rozkládajícím detritu (Slavíková, 1986).

2. 4 Vliv atmosféry na rostliny

2. 4. 1 Vliv teploty ovzduší

Nezbytným faktorem pro fyziologické procesy, tedy pro život a existenci rostlin, je teplota ovzduší (Slavíková, 1986). Rostliny jsou *poikiloternní* organismy, tzn. že

jejich vlastní teplota má tendenci přibližovat se teplotě okolí. Nicméně toto teplotní vyrovnávání není úplně přesné. Protože nadzemní části rostlin vyměňují energii se svým okolím, může se jejich teplota od teploty vzduchu značně lišit. Proto musí být tepelná výměna rostlin vždy dána do souvislosti s energetickou bilancí stanoviště (Larcher, 1988).

2. 4. 2 Teplotní klima porostu

V porostech probíhá výměna energie hlavně v úzkém pásmu blízko horního povrchu porostu. V této aktivní vrstvě (účinný povrch porostu) jsou teplotní rozdíly mezi různými rostlinnými částmi nejpatrnější a časová proměnlivost teplot je největší. V této oblasti se listy a větve během dne nejvíce ohřívají a po západu slunce nejrychleji ochlazují. Bylo zjištěno, že v horkém letním dni je teplota aktivního povrchu v lesích mírného pásma asi o 4 °C vyšší než teplota vzduchu a povrchová teplota luk může být vyšší než teplota vzduchu až o 6 °C. Pod listovým zápojem a v hustých porostech je intenzita záření značně snížena a zpětné záření z atmosféry je omezeno překrýváním listů. Celkový proces přeměny energie je utlumen, takže uvnitř porostu jsou teploty stálejší. V hustých tropických lesích kolísají teploty během dne a roku v menším rozmezí než 10 °C (Larcher, 1988).

2. 4. 3 Rozmezí teplot pro udržení života a funkční rozmezí teplot

Dostatečná, ale nikoli nadměrná teplota je základním předpokladem života. Každý životní pochod probíhá jenom v jistém teplotním rozmezí a má svou optimální pracovní teplotu, pod níž a nad níž jeho účinnost klesá. A tak lze pro každý rostlinný druh a pro každé stadium individuálního vývoje rostlin určit charakteristické “kardinální teploty” (Larcher, 1988).

Závislost životních funkcí rostlin na teplotě je různá a druhově specifická. Každá teplotní závislost má svou hodnotu minimální, optimální a maximální. Rostliny se širokou amplitudou teplot se nazývají rostliny *eurytermní* (Slavíková, 1986). U těchto rostlin v aktivním stadiu se teploty pro udržení života pohybují zpravidla od -5 °C do zhruba +55 °C, avšak růstově a produkčně aktivní jsou rostliny jen mezi zhruba 5 °C a 40 °C. Mezi vodními rostlinami, zvláště stélkatými, se vyskytují *stenotermní* druhy specializované na život ve velmi úzkých a často extrémních teplotních rozmezích. Například sněžné a ledovcové řasy mohou prospívat jen při teplotách blízkých bodu mrazu (Larcher, 1988).

2. 4. 6 Redukce tepla odrazem záření a ochlazováním při transpiraci

Nebezpečně vysoké teploty rostlin – ovšem s výjimkou požárů – se vyskytují pouze při intenzivním slunečním ozáření. Zvýšená *reflexe* zabraňuje přehřátí, když rostlina stáčí listy tak, aby na ně dopadalo méně záření. Mezi druhy čeledí *Caesalpiniaceae* a *Mimosaceae* existují stromy, jež při teplotách vzduchu nad 35 °C skládají listové čepele a snižují tak jejich absorpci záření na polovinu – i v případě, kdy jsou dobře zásobeny vodou. Jiný ochranný prostředek proti přehřátí je ochlazování při transpiraci. Pokud mohou být listy pouštních a stepních rostlin zásobovány intenzivně vodou, zůstávají chladnější než vzduch o 4 – 6 °C a v extrémních případech až o 10 – 15 °C, bez tohoto mechanismu snižování tepla by byly poškozeny (Larcher, 1988).

2. 4. 7 Teplotní odolnost a funkce orgánů

Různé orgány, a dokonce i pletiva uvnitř těchto orgánů, se v teplotní odolnosti navzájem velmi liší. Reprodukční orgány jsou obecně zvláště citlivé na chlad, mezi ně patří *primordia* květenství v přezimujících pupenech a semeníky v květech. Na horko nejsou květy citlivější než listy. Semena v klidovém stadiu jsou obvykle velmi odolná, ale když začnou klíčit, brzy tuto odolnost ztrácejí, semenáčky jsou obvykle velmi citlivé. Kořeny a podzemní orgány prýtu jsou citlivé jak na chlad, tak na horko. *Geofyty* přezimují pod zemí, takže odolnost jejich hlíz, cibulí a oddenků vůči chladu je kritickým bodem pro přežití rostliny. U dřevin nezřídka určuje odolnost celé rostliny vůči drsným zimním podmínkám odolnost dřevnatých částí kořenového systému, jestliže odumřou tyto části, odumře nutně celý prýt. Nadzemní část prýtu je citlivá nejméně – jak na chlad, tak na horko.

Bazální pupeny jsou naopak velmi odolné vůči horku. Pupeny jsou důležité pro přežití rostliny, ztráta listů neznamená zánik rostliny, pokud jí zůstanou zdravé pupeny, pokud však současně odumře mnoho pupenů, je její stav kritický. I pak je ale mnoho silně poškozených rostlin ještě schopno vyrašit z odolnějších rezervních pupenů. Stromy, které jsou nuceny regenerovat tímto způsobem častěji, bývají zakrnělé a keřovité (Larcher, 1988).

2. 5 Vliv atmosféry na rostliny

2. 5. 1 Vliv vlhkosti vzduchu

Vlhkost vzduchu definujeme jako obsah vodní páry ve vzduchu. Do vzduchu se dostává při vypařování z aktivních povrchů, které obsahují vodu (Žalud, 2010) Vzduch obklopující rostlinu může obsahovat různé množství vodní páry. I zdánlivě suchý, nenasyčený vzduch obsahuje vodní páru. Absolutní (momentní) množství vodní páry můžeme vyjádřit buď parciálním tlakem, nebo hmotově. Vzduch však může obsahovat vodní páru jen do svého maximálního nasycení (maximálního napětí vodní páry), kdy je v dynamické rovnováze s vodní hladinou o stejné teplotě. Vzduch obklopující rostliny obvykle nebývá úplně nasycen vodními parami, a proto odebírá vodu ve formě vodní páry rostlinám, které jí obsahují různé množství. Transpirace je tím větší, čím menší je relativní vzdušná vlhkost a čím větší je deficit vodní páry. Při velmi nízké relativní vlhkosti vzduchu (10 až 20 %) se však transpirace téměř zastavuje, protože se uzavřely průduchy (Šebánek a kol., 1983).

Četní autoři prokázali vliv vlhkosti vzduchu na regulaci průduchů a tím na transpiraci rostlin (Stålfelt, 1929; Lange a kol., 1971; Schulze a kol., 1972; Slavík, 1973; Lösch, 1977 in Penka, 1985). Nechybí však ani autoři, kteří popírají přímý vliv vlhkosti vzduchu na výdej vody rostlinami (Meidner a Mansfield, 1968 in Penka, 1985). Kauzální vysvětlení vlivu vlhkosti vzduchu na výdej vody rostlinou je různé. Někteří autoři předpokládají, že reakce průduchů na vlhkost vzduchu je pravděpodobně hydroaktivní reakcí na vodní deficit v nitru *epidermis* (Stålfelt, 1955; Sheriff a Key 1977 in Penka, 1985) a nikoliv hydropasivní reakcí způsobenou *peristomatární* transpirací. Názory o hydroaktivní reakci na vodní deficit ve vnitru pokožky jsou podporovány i výsledky Zjalavova, který zjistil, že plocha pokožky cibule – *Allium cepa* se snižovala při snížení vlhkosti vzduchu a zvyšovala se při zvýšení vlhkosti vzduchu. Tyto změny pokožky jsou způsobeny změnami vnitřních *fibrilárních* prostorů stěn buněk pokožky (Penka, 1985).

Všichni autoři upozorňují na to, že vliv vlhkosti vzduchu na výdej vody rostlinou je ovlivněn více faktory. Davies a Kozlowski aj. uvádějí, že reakce průduchů na vlhkost vzduchu je zřetelně ovlivněna hustotou toku fotonů. Účinek vlhkosti vzduchu na průduchy byl při nízké hustotě toku záření vyšší než při vysokých hustotách. Jiní připomínají společný vliv vlhkosti vzduchu a teploty na výdej vody

roślinami (Schulze a kol., 1972; 1974; 1975 in Penka, 1985) nebo vliv vodního deficitu, vodního potenciálu *mezofylových* a *epidermálních* buněk, anebo adaptační schopnosti v různých ekologických podmínkách apod. (Penka, 1985).

Suchozemské rostliny pěstované při příliš vlhkém ovzduší mají *internodia* (článek stonku mezi dvěma uzlinami) a řapíky prodloužené, čepele tenčí a větší a průduchy většinou hojnější a větší. Vznik trnů a mechanických pletiv se vlhkým vzduchem potlačuje. Netřesk (*Sempervivum*) normálně tvořící přízemní růžice dužnatých listů vyhání ve vlhku dlouho lodyhu se střídavě postavenými listy. Na stoncích a listech bramboru (*Solanum tuberosum*) se při velké vlhkosti vzduchu tvoří tzv. *intumescence* - bradavky z bělostného kyprého pletiva (Šebánek a kol., 1983).

2. 6 Vliv atmosféry na rostliny

2. 6. 1 Vliv hladiny CO₂

2. 6. 1. 1 Koncentrace CO₂ v atmosféře

V posledních deseti letech činila průměrná rychlost nárůstu koncentrace CO₂ v atmosféře 1,9 +- 0,5 ppm za rok. Vzhledem k biochemické podstatě fotosyntézy vede zvýšení koncentrace CO₂ v atmosféře ke stimulaci její rychlosti a naopak k potlačení rychlosti fotorespirace, a to zejména u C₃ – rostlin. To se následně projeví zvýšenou tvorbou asimilátů, zvýšenou rychlostí růstu rostlin a produkcí jejich biomasy. Tento zjednodušený závěr však v sobě nezahrnuje komplexní vazby mezi koncentrací CO₂, fotosyntézou, minerální výživou a ostatními fyziologickými procesy (Marek a kol., 2011).

Ve sklenících, pařeništích, ale také v porostech polních plodin a zejména v lesních či sadových podrostech může koncentrace CO₂ stoupat až k hodnotám 800 μmol mol⁻¹. Takové zvýšení je reálné zejména v noci (Nátr, 2000). Zvýšení koncentrace CO₂ bezprostředně ovlivní karboxylační reakce odehrávající se v chloroplastech rostlinných buněk v časovém měřítku sekund či minut, zatímco asimilace a transpirace listů je ovlivněna zvýšenou koncentrací CO₂ v časovém měřítku hodin či týdnů. Růst je zvýšenou koncentrací CO₂ ovlivněn v časové škále týdnů a měsíců. Konečný důsledek zvýšené koncentrace CO₂ se projeví s časovou prodlevou let či desetiletí (Marek a kol., 2011).

2. 6. 2 Primární fyziologické odezvy na působení CO₂

2. 6. 2. 1 Fotosyntéza

Je patrné, že vyšší koncentrace CO₂ působí výrazná zvýšení rychlosti fotosyntézy zejména při vyšších ozářenítech. Ovšem zvýšení koncentrace CO₂ se příznivě projeví i při nižších ozářenítech, což je významné pro fotosyntézu v době krátce po rozednění a před setměním (NÁTR, 2000).

2. 6. 2. 2 Respirace

Na základě shrnutí studia desítek rostlinných druhů učinili Gonzales-Meler a Seidow závěr, že kultivace rostlin v atmosféře s dvojnásobnou koncentrací CO₂ (700 μmol mol⁻¹) vede k potlačení mitochondriální respirace v průměru o 15 až 20 %. Výsledky experimentů jsou však velmi rozdílné a mohou mimo jiné záviset na stáří listů či jejich vývojovém stadiu. U některých druhů obilovin byl naopak zaznamenán až 20 % nárůst respirace. Vysoká variabilita odezvy dýchání na zvýšenou koncentraci CO₂ spočívá zejména 1) ve změnách obsahu nestrukturních sacharidů, 2) ve změnách rychlosti růstu a struktury rostlinné biomasy, 3) ve složení biomasy, 4) v přímé chemické interakci mezi CO₂ a enzymy dýchacího řetězce, 5) v přímé chemické vazbě CO₂ na různé buněčné komponenty, 6) v míře temnotní fixace CO₂ a 7) v míře biosyntézy etylenu (Marek a kol., 2011).

2. 6. 2. 3 Vodivost průduchů

Zvýšení koncentrace CO₂ vyvolává u většiny rostlin přivření průduchů. Biolog Drake a jeho kolektiv shrnuli výsledky 41 pokusů s 28 druhy rostlin a zjistili, že průměrné snížení vodivosti průduchů při zdvojnásobení atmosférické koncentrace činí 20 %. Výjimečně se však objevují práce, v nichž obdobný pokles vodivosti průduchů nebyl prokázán (Nátr, 2000). Zvyšující se koncentrace CO₂ přivírá průduchy a naopak ve vzduchu bez oxidu uhličitého mají listy některých rostlin průduchy otevřené i v noci. Ovšem takový stav se v přírodě nevyskytuje. Štěrbínami průduchů také prochází většina molekul vodní páry při transpiraci. To znamená, že přivření průduchů omezuje rychlost transpirace, tedy množství vodní páry unikající z listů do vzduchu. Zvýšení koncentrace CO₂ ve vzduchu snižuje otevřenost průduchů, tedy jejich vodivost, a tím snižuje množství vydávané vodní páry (Nátr, 2011). Z výsledků studia herbářových položek rovněž vyplývá, že v průběhu posledních 200 let došlo vlivem zvyšující se koncentrace

CO₂ v ovzduší ke snížení hustoty průduchů, tj. jejich počtu na jednotku listové plochy, o 40 % (Marek a kol., 2011).

2. 6. 3 Sekundární fyziologické odezvy na působení CO₂

2. 6. 3. 1 Transpirace

Sekundární funkce CO₂ souvisí s jeho účinky na otevřenost průduchové štěrbin, čímž je ovlivněn přísun CO₂ do listu, ale i výdej vodní páry listem do okolního prostoru. Přivření průduchové štěrbin v rostlinách kultivovaných v atmosféře se zvýšenou koncentrací CO₂ má za následek pokles transpirace vyjádřené na jednotku listové plochy. Některé experimentální práce však dokládají, že velké zvýšení celkové listové plochy v podmínkách zvýšené koncentrace CO₂ může vést k nárůstu rychlosti transpirace vztahované na jedince, resp. k nárůstu celkové *evapotranspirace* ekosystémů (Pokorný a kol., 2001; McMurtrie a kol., 2008 in Marek a kol., 2011). Přivření průduchové štěrbin a následné snížení rychlosti výdeje vody z listů v podmínkách zvýšené koncentrace CO₂ vede k menšímu snížení vodního potenciálu listů rostlin v průběhu dne. Zvýšená koncentrace CO₂ tedy v tomto smyslu do jisté míry chrání rostliny před nadměrným vysycháním, a to zejména v období sucha, a tím snižuje negativní účinky vodního stresu (Marek a kol., 2011).

2. 6. 4 Terciární fyziologické odezvy na působení CO₂

2. 6. 4. 1 Růstové reakce

Zvýšená koncentrace CO₂ v atmosféře je většinou spojena nejen s nárůstem tvorby biomasy, ale také s její prostorovou *realokací*, odrážející se ve změně poměru nadzemní/podzemní biomasa a celé struktury stromu (Urban, 2003 in Marek a kol., 2011). Zvýšená tvorba biomasy je publikována nejméně v 70 % prací, zvláště je zmiňován nárůst velikosti listů a počtu listů/jehlic na rostlině, změna větvení, větší výškový a tloušťkový přírůst kmene i biomasy kořenů (Jarvis, 1998; Zak a kol., 2000 in Marek a kol., 2011).

2. 7 Vliv atmosféry na rostliny

2. 7. 1 Znečištění ovzduší imisemi – např. ozon, SO₂, NO_x, prach

Intenzita působení imisí na rostliny je vysoká především tehdy, když: 1. stanoviště rostliny je v blízkosti zdroje emisí, 2. stanoviště leží ve směru převládajících větrů od zdroje, 3. stanoviště je umístěno v krajinné depresi (v uzavřeném údolí), kde dochází ke kumulaci emisí, 4. doba, po kterou imise na rostlinu působí, je relativně dlouhá. Intenzita působení imisí na rostliny je především funkcí koncentrace toxických látek a doby jejich působení (Slavíková, 1986). K atmosférickým nečistotám obzvláště nebezpečným pro rostliny patří SO₂, halogenidy vodíku (HF, HCL), ozón a peroxiacetylnitrát - vznikající při silném ozáření z výfukových plynů vozidel a průmyslových kouřových zplodin (Larcher, 1988).

Plynné imise mohou působit na rostliny buď bezprostředně – vnikají jako plyny do listových pletiv, kde přímo ovlivňují metabolické pochody rostlin. Zdá se, že toxicita plyných imisí působí především na regulaci výměny plynů, porušuje funkce průduchů. Působení plyných imisí je tím větší, čím snadněji pronikají otevřenými průduchy do intercelulárních prostor. Proto v období vlhka, kdy bývají průduchy otevřeny, a je tedy jimi umožněna difúze do listů, působí plynné imise intenzivněji než v období sucha tepla, kdy rostlina má průduchy většinou uzavřeny nebo přivřeny. Změny v rychlosti fotosyntézy jsou prvním měřitelným indikátorem začínající intoxikace rostliny (Slavíková, 1986).

2. 7. 2 NO_x – oxidy dusíku

Oxid dusnatý (NO) a dusičitý (NO₂) unikají do atmosféry emisemi z půdy, při spalování biomasy, a zejména činností spalovacích motorů. Vznikají oxidací atmosférického dusíku N₂, takže se vytvářejí při jakémkoli spalování. Tyto plyny nepatří mezi skleníkové plyny, ale mohou jejich koncentraci ovlivňovat svými chemickými reakcemi. Působením slunečního záření na oxidy dusíku vzniká ozon v přízemní vrstvě atmosféry. Jde vesměs o fotodisociaci NO₂ na NO a atom kyslíku O, který sloučením s molekulou kyslíku O₂ vytváří ozon O₃. (Nátr, 2006). Vlivem působení dusíkatých látek dochází ke změně skladby rostlinného a následně i živočišného ekosystému. Některé druhy rostlin využívají zvýšené mineralizace, a stávají se tak dominantními v dané lokalitě, ve které potlačují jiné druhy, u kterých

vede zvýšený obsah dusičnanů ke snížení růstu. Tento jev může nastávat jak v suchozemských, mokřadních či vodních ekosystémech. U vodních systémů může docházet navíc k odčerpání kyslíku rostlinami, kterým vyšší podíl dusičnanů svědčí. Nedostatek kyslíku ve vodě pak vede k úhynu vodních živočichů (Ochodek a kol., 2007).

2. 7. 3 Ozon

Ozon proniká do rostliny průduchy a již v mezibuněčných prostorech se v kontaktu s vlhkými buněčnými stěnami velmi rychle rozkládá, čímž způsobuje poškození buněčných struktur membrán a narušuje tak metabolismus buněk. Jedním z hlavních škodlivých efektů ozonu je inhibice fotosyntézy přímým snižováním aktivity enzymů fixace oxidu uhličitého, přičemž se rovněž snižuje i obsah chlorofylů (Uhlířová a kol., 2003).

Při dlouhodobém působení vyšších koncentrací ozonu dochází již k poškození buněčných součástí. V buňkách bývají patrné strukturální změny charakteristické pro senescenci, jako je zvýšení hustoty cytoplazmy, ztmavnutí a zmenšení chloroplastů, zmenšení či absence škrobových zrn, redukce membrán thylakoidů. S postupujícím poškozením dochází k plazmolýze jednotlivých buněk a k celkovému narušení buněčných struktur (Günthardt-Goerg a kol. 2000 in Novotný a kol., 2009). Epidermální buňky kolabují později, než buňky mezofylu. Při odumírání buněk svrchního mezofylu se poškození viditelně projevuje chlorózami a nekrotickými skvrnami na listech. Následuje předčasné stárnutí a opad asimilačních orgánů. Poškození ozonem se viditelně projevuje změnami zbarvení asimilačních orgánů (chlorózy, červenání, hnědnutí, černání) a nekrotizací (Novotný a kol., 2009).

U listnatých dřevin mají vizuální symptomy poškození nejčastěji podobu nepravidelných chlorotických, červených nebo červenohnědých skvrn nebo bronzové zbarvení listů. Nejdříve se poškození objevuje na středně starých a starších listech, teprve později i na mladších. U jehličnatých dřevin jsou na jehlicích patrné bezbarvé až žlutavé nebo zelenožluté bodové chlorózy, které nejsou ostře ohraničené. Četnější jsou na starších ročních jehlicích (Novotný a kol., 2009).

2. 7. 4 Oxid siřičitý

Oxid siřičitý se sice v atmosféře Země vyskytoval i před industriální érou (z vulkanických emisí), ovšem v současné době se jeho koncentrace mnohonásobně

zvýšila, hlavně v důsledku spalování uhlí s velkým obsahem síry.

Oxid siřičitý vstupuje do listů hlavně otevřenými průduchy a difúzí v intercelulárách se snadno šíří ke všem buňkám listového mezofylu. Po proniknutí buněčnou stěnou se rychle rozpouští a mění na siřičitanové anionty, jejichž naprostá většina vstupuje do chloroplastů. Tam se v menších koncentracích neprojevují škodlivě, neboť za dostatku záření dochází právě v chloroplastech k redukci anorganických vazeb. Ve vyšší koncentraci však siřičitanové ionty blokují činnost karboxylačního enzymu Rubisco (*ribulóza-1,5-bisfosfátkarboxyláza/oxygenáza*), a tím je inhibován i průběh sekundárních procesů fotosyntézy. V odolnosti k toxickému působení SO₂ existují velké mezidruhové rozdíly. Nejvíce ohroženy bývají druhy s dlouhověkými listy, zejména jehličnaté stromy, a také některé stélkaté rostliny s růstovou aktivitou v zimním období. V zimě bývá zpravidla koncentrace SO₂ nejvyšší (Procházka a kol., 1998). Na základě měření bylo zjištěno, že první příznaky intoxikace (snížení intenzity fotosyntézy, a tím růstu a produkce) při dlouhodobém působení byly již při koncentraci 0,05 ppm SO₂. Při 0,15 ppm až 0,2 ppm SO₂ nastává již výrazné akutní poškození rostlin. V některých průmyslových oblastech však koncentrace SO₂ stoupá až na 1 ppm. V takovém prostředí nastává velmi silná inhibice růstu a dochází k otravám rostlin a jejich pozdějšímu úhynu. Úhyn rostlin urychluje pak druhotně i to, že rostliny rostoucí pod vlivem imisí SO₂ mají většinou sníženou rezistenci k nízkým teplotám v zimě (sníženou mrazuvzdornost) a k letnímu suchu. Jsou také častěji napadány parazity a škůdci, např. smrkové porosty v Jizerských horách byly napadány obalečem modřínovým (Slavíková, 1986). Je známo, že lišejníky jsou vhodné jako ukazatele jakosti ovzduší. Pouhé 1 % koncentrace SO₂ poškozující vyšší rostliny, vyvolává u lišejníků respirační poruchy, rozpad chlorofylu a inhibuje růst (Larcher, 1988).

2. 7. 5 Tuhé imise

Tuhé imise jsou popílek a prachové částice, které pokrývají většinou povrch listů v takové vrstvě, že průduchy na listech jsou překryty, nebo i ucpány. Touto depozicí tuhých imisí je zcela mechanicky zabráněno difúzí plynů do listů a z listů. To má za následek snížení všech funkčních pochodů rostlin, při nichž je nutná výměna plynů: fotosyntézy, transpirace, dýchání. Např. u rostlin kukuřice bylo zjištěno, že usazené tuhé částice – popílek (tzv. depozit), se velmi často deštěm splavují z povrchu listových čepelí do listových pochev, kde se rozpuštěný depozit usazuje a koncentruje a po

vyschnutí vytváří tuhou hmotu, která pevně a trvale ulpívá na rostlině. Ve výjimečných případech může být vliv tuhých emisí na rostliny i příznivý. Tento příznivý vliv byl pozorován u *kalcikolních* rostlin, které rostly v dosahu prachu vápenek (Slavíková, 1986).

2. 8 Význam rostlin pro atmosféru

2. 8. 1 Ochlazování atmosféry transpirací

Rostliny si z vodních roztoků, které přijímají a rozvádějí po celém těle, ponechávají sloučeniny obsažené v roztocích a určité relativně malé množství vody (cca 2 %). Ostatní převážnou část přijaté vody (cca 98 %) vydávají (ztrácejí) do vnějšího prostředí buď ve formě plynné (transpirace), nebo ve formě kapalné (gutace) (Penka, 1985). Uvolňování vody ve skupenství plynném z nadzemní části rostliny do okolní atmosféry se děje transpirací. Uvolnit molekulu vody z kapalné fáze do plynné fáze vyžaduje dodat jí tzv. výparné teplo (asi 2,44 MJ. kg⁻¹). Transpirací ztrácí rostlina část své energie (výparné teplo) a tím se ochlazuje. Snížená teplota listů zpětně ovlivňuje rychlost transpirace (Kincl a Krpeš, 2006).

Velmi důležitým faktorem intenzity transpirace jsou průduchy (stomata), kterými se voda vypařuje do ovzduší. Výdej vody stomaty do ovzduší se nazývá stomatární transpirace (Šebánek a kol., 1983). Což je jev, při němž se voda z listu do prostředí uvolňuje ve formě par difuzí přes skuliny průduchů (Slavík a kol., 1965). Kutikulární transpirace je výdej kutikulou pokožky, u níž jde o odpařování vody celým povrchem listů přes kutikulu (Šebánek a kol., 1983). Kutikulární transpirace je zpravidla nižší než 10 % celkové transpirace listu (Kincl a Krpeš, 2006). Kutikulární transpirace ovlivňuje pokles vlhkosti vzduchu, např. snížením vzdušné vlhkosti z 95 % na 50 % se kutikulární transpirace zvýší 5-6 krát (Šebánek a kol., 1983). Tato transpirace má význam jen u rostlin s tenkou kutikulou. Stomatární transpirace je na rozdíl od kutikulární regulovatelná otevíráním a zavíráním průduchů. Příčinou transpirace je negativní pokles (gradient) vodního potenciálu mezi transpirujícím povrchem listu a k němu přilehlou vrstvou vzduchu se značným deficitem vodní páry (Slavík a kol., 1965).

2. 8. 2 Transpirační orgán

Hlavním transpiračním orgánem jsou především listy rostliny. Pokud trvá transpirace, jsou listy zřídka plně nasyceny vodou, a proto jejich vodní potenciál zůstává na nízké úrovni. Čím intenzivněji probíhá transpirace, tím větší spád vodního potenciálu nastává mezi rozvětveným systémem cév v listu a jeho transpirujícím povrchem. Intenzivní vypařování vody má význam i při ochlazování rostlinného těla (Penka, 1990).

2. 8. 3 Klimatizační zařízení

Rostliny představují nejvýkonnější klimatizační zařízení na Zemi. Ani největší člověkem zvládnutý energetický zdroj se nemůže poměřovat s energetickým výkonem této transpirační klimatizace. Ukažme na příkladu průměrné vegetační sezóny na Šumavě, o jaké množství energie se jedná. Za vegetační sezónu o délce 152 dní transpirace průměrně přeměňuje 156 kWh/m^2 , tedy přibližně $1 \text{ kWh/m}^2/\text{den}$, to je $1000 \text{ MWh/km}^2/\text{den}$. Tisícimegawattový elektrárenský blok by tedy v nepřetržitém 24hodinovém provozu byl schopen vyrobit energii na chlazení pouhých 24 km^2 . Špičkový příkon slunečního tepla je asi 1000 W/m^2 , z něj se transpirací přemění asi 700 W/m^2 . Znamená to, že by ve špičce na každých 3 km^2 musely pracovat dva tisícimegawattové elektrárenské bloky. Při rozloze dnešních elektráren by byly kontinenty elektrárnami plně pokryty (Šíř a kol., 2004).

Transpirací se přemění asi 35 % veškeré tepelné energie, která dopadne na pevninu ze Slunce ve vegetační sezóně v mírném klimatickém pásmu. Je proto vysoce pravděpodobné, že celoplanetární cirkulace atmosféry je silně ovlivňována transpirací na kontinentech. Nedostatek vody na kontinentech způsobuje zastavení transpirace, selhání transpiračního chlazení a následné přehřátí zemského povrchu a atmosféry (Pokorný, 1997; Kravčík a kol., 2001 in Šíř a kol., 2004).

Každá jednotlivá rostlina představuje ventil, kterým se přepouští voda z půdy zpět do atmosféry. Ventil se otvírá a zavírá tak, aby se do latentního tepla na výpar vody přeměnil přebytek energie, který by zahřál rostlinu nad optimální teplotu. Výsledkem fungujícího transpiračního chlazení rostlinného pokryvu je udržování teploty přízemní vrstvy vzduchu pod optimální teplotu (asi $25 \text{ }^\circ\text{C}$). Vzestup teploty vzduchu nad tuto hranici značí, že transpirační chlazení je nedostatečné. Buď proto, že není v půdě k dispozici voda, nebo proto, že půda je nedostatečně zakryta transpirující vegetací (Šíř

a kol., 2002; Tesař a kol., 2001 in Šíř a kol., 2004). Transpirační chlazení rovněž zabraňuje průniku tepla do půdy a jejímu přehřívání (Šíř a kol., 2004).

2. 8. 4 Transpirace vody rostlinami

Rostliny vytranspirují na 1 m² listové plochy za vegetační období různé množství vody (Šebánek a kol., 1983). List zdravé rostliny v optimálních podmínkách může odpařit za 20 - 60 minut tolik vody, kolik sám váží. Přitom stačí většinou snížení obsahu vody v listu na 60 % k tomu, aby se nenávratně poškodily životně důležité struktury (integrita membrán v buňce) a nastala smrt (Procházka a kol., 1998). Za parných dnů projde rostlinou za 1 hodinu více vody, než kolik sama váží (Šebánek a kol., 1983). Tak např. jediná rostlina kukuřice vypaří za období vegetace asi 150 kg vody a 1 m² pšeničného porostu za 4 měsíce vegetace 200 až 250 kg vody, zelí 350 kg vody (Kincl a Krpeš, 2006). Chmelový porost 500 až 700 kg vody (Šebánek a kol., 1983). Jedna bříza s 200 000 listy za horkého dne 300 až 400 kg, z plochy o rozměrech 100 000 m² (tj. jeden hektar) vzrostlého bukového lesa se vypaří denně 25 000 až 30 000 kg, tj. za celé léto 3 600 000 kg vody. Z toho patrně, proč vysazujeme lesy tam, kde chceme ovlivnit klima krajiny (Kincl a Krpeš, 2006). Největší spotřebu vody na transpiraci mají v době kvetení, kdy jejich transpirační plocha je maximální (Šebánek a kol., 1983).

2. 9 Význam rostlin pro atmosféru

2. 9. 1 Pohlcování polutantů

Polutant je plynná, kapalná či pevná chemická látka, která má v určitých koncentracích a délce působení škodlivý vliv na živé organismy (např. na rostliny). Polutanty lze rozdělit na primární vypuštěné různými zdroji přímo do atmosféry a sekundární, které se vytvářejí sekundárně v atmosféře reakcí primárních polutantů, např. vznik troposférického O₃ fotochemickými reakcemi. Polutanty mohou být antropogenního nebo přírodního původu (Hrudová, 2011).

2. 9. 2 Vliv polutantů na rostliny

Akutní expozice, když je rostlina vystavena působení vysoké koncentrace škodliviny v krátkém čase a projevuje se např. poškozením listů. Chronická expozice představuje dlouhodobé působení relativně nízkých koncentrací škodliviny, nedochází

k časnému vzniku viditelných příznaků na rostlině, ale dojde k redukci výnosu. Přímá expozice zasahuje zpravidla nadzemní orgány. Nepřímá expozice je označení pro působení škodliviny přes půdní prostředí (Hrudová, 2011).

Koncentrace rizikových prvků v rostlinách může být výrazně ovlivněna jejich příjmem z atmosféry. Podíl příjmu z atmosféry převládá u málo pohyblivých prvků, a to Pb (olova) a Hg (rtuťi), zatímco u Cd (kadmia) je zpravidla dominantní příjem z půdy. Biologové Dalenberg a van Driel zjistili, že v laboratorních podmínkách za použití izotopů, že u travních porostů, špenátu, mrkve a zrna pšenice bylo atmosférickou *depozicí* přijato 73 – 95 % Pb (olova). Příjem Cd (kadmia) byl velmi nízký a projevil se pouze v zrnu pšenice.

Přístupnost jednotlivých rizikových prvků z atmosféry je ovlivněna jejich rozpustností a přítomným nosičem. Biologové Lum a jiní uvádějí, že odlišnou přístupnost prvků z celkových srážek. Nejvyšší přístupnost byla zjištěna u Cd (kadmia) 85 %, nižší u Pb (olova) 43 % a nejnižší u Zn (zinku) 26 %. Pouze část prvku, který dopadne na rostlinu, je přijata, zbytek může být odstraněn např. smyvem nebo zachycen na povrchu (Tlustoš a kol., 2006).

Vlastní příjem se skládá ze dvou fází, nemetabolické, při které dochází k proniknutí prvku kutikulou do mesofylu, a metabolické, působící proti koncentračnímu spádu a umožňující přechod prvku přes plazmalemu (Kabata-Pendias a Pendias, 2001 in Tlustoš a kol., 2006). Intenzita absorpce rizikových prvků závisí především na druhu plodiny, tloušťce kutikuly, stáří listu, vlhkosti povrchu listů a konkrétním prvku (Marschner, 1995 in Tlustoš a kol., 2006). Druhy rostlin se liší složením epikutikulárních a intracelulárních lipidů a mají tedy odlišnou propustnost. Kadmium, zinek a měď pronikají z povrchu listů do rostlinných pletiv lépe než olovo, které bývá adsorbováno do epikutikulárních lipidů na povrchu listů (Prasad a Hagemeyer, 1999 in Tlustoš a kol., 2006).

2. 9. 3 Další polutanty pohlcované rostlinami

Peroxyacetylnitráty (PAN) vznikají fotochemickou reakcí produktů spalování benzínu z výfukových plynů automobilů. Jejich největší výskyt je tedy zaznamenáván ve smogových oblastech. Tyto látky mají silnou oxidační aktivitu a pro rostliny jsou toxické. K nápadným příznakům poškození patří vybělení a bronzovatění rubu listů.

Citlivými plodinami jsou rajče, paprika, celer, fazol, salát, jetel, petunie, astra, oves a lipnice roční.

Oxid uhelnatý (CO) je obsažen ve výfukových plynech, svítiplynu, kouři aj. Rostliny poškozují jen zřídka, protože je poměrně rychle oxidován na oxid uhličitý (CO₂) a následně přeměněn v procesu fotosyntézy. K poškození rostlin může dojít např. při úniku plynu z potrubí, kdy poškozují kořeny stromů a projevuje se zčernalením kořenů. Rostliny jsou k poškození citlivější za vegetace.

Poškození fluorovodíkem frekventovanější. Do ovzduší se dostává z hliníkáren, oceláren, výroben fosforečných hnojiv případně cihelen. Není stálý a při styku s vodou rychle reaguje za vzniku kyseliny fluorovodíkové, která má silné korozivní účinky. Příznakem poškození rostlin fluorovodíkem je *chloróza*, bronzovatení listů, hnědnutí vrcholů listů, zčernalení listů až *defoliace* - *odlistění* (Hrudová, 2011).

2. 10 Význam rostlin pro atmosféru

2. 10. 1 Výdej těkavých látek do atmosféry

Terpeny jsou přírodní uhlovodíky, vznikající jako metabolity některých rostlin, převážně stromů, a zejména jehličnanů. Ty, které významně ovlivňují chemické procesy v atmosféře, se vyznačují nepříliš vysokými body varu (155-185 °C) a nízkou polaritou molekuly, která je příčinou jejich relativně vysoké těkavosti. Zvláštní postavení mezi *isoprenoidy* má *isopren*. V lesním ovzduší lze nalézt i relativně vysoké koncentrace *β-pinenu*, *limonenu*, ale i dalších terpenů, jako jsou *kamfen*, *3-karen*, *myrcen*, *tricyklen*, *1,8-cineol*. Základním faktorem, který ovlivňuje okamžité emise terpenů z rostlin, je teplota.

Stále nevíme, proč některé rostliny terpeny produkují. Předpokládá se, že jde o určitou formu chemické obrany před hmyzem a cizopasníky. Tyto sloučeniny působí i jako chuťová bariéra pro býložravce (Večera, 2001).

2. 10. 2 Atmosférické emise isoprenoidu

Těkavé *isoprenoidy* patří ke skupině biogenních sloučenin, které je možné obecně zařadit mezi těkavé (VOC) nebo polotěkavé (SVOC) organické sloučeniny. V globálním měřítku je produkce tohoto druhu *isoprenoidů* významná a zásadním

způsobem ovlivňuje chemii atmosféry. Emise z rostlin principiálně kontrolují oxidační kapacitu kontinentální oblasti troposféry. Tyto biogenní uhlovodíky ovlivňují koncentrace OH radikálů a oxidu uhelnatého v atmosféře. Byly také identifikovány jako významné výchozí reaktanty při okyselení životního prostředí. Zejména lesní porosty emitují do atmosféry velká množství těchto reaktivních uhlovodíků. Terpeny a isopren se ze živých i z odumřelých stromů uvolňují do atmosféry v takovém množství, že i přes narůstající průmyslové znečištění představují hlavní zdroj uhlíku v atmosféře. Biogenní emise řádově převyšují emise antropogenně emitovaných organických sloučenin (Večera, 2001).

2. 10. 3 Emise methanu

Význam methanu (CH_4) pro lidstvo je nedozírný. Je hlavní složkou zemního plynu, který se stále větší měrou podílí na zajištění energie. Kromě toho byl, je a bude velmi důležitý pro všechno živé na Zemi, protože jako skleníkový plyn spoluvytváří trvalý skleníkový efekt, a tím se podílí i na udržování teploty příznivé pro naše formy života (Nátr, 2008).

Podíl methanu na změnách globálního klimatu je specifický také tím, že zvyšování teploty a vlhkosti urychluje jeho uvolňování z mokřadu a vegetace. Tato pozitivní zpětná vazba je však modifikována negativní zpětnou vazbou, kde rozhodující úlohu sehrávají chemické procesy v atmosféře. V suchých podmínkách se sice snižují emise methanu, ale zároveň se snižuje i rychlost jeho reakcí s hydroxylovým radikálem. Sucho však zvyšuje počet lesních požárů, jimiž se do atmosféry dostává i zvýšené množství oxidu uhelnatého, který však také velmi rychle reaguje s hydroxylovým radikálem. Tím ovšem je tohoto radikálu k dispozici méně i pro rozklad methanu. Výsledkem je podstatně menší pokles koncentrace methanu v atmosféře, než odpovídá poklesu jeho emisí.

Jeden z nejvýznamnějších zdrojů methanu tedy představují mokřady. Methan v nich vzniká anaerobní degradací organických látek. Právě mokřady s trvale vysokou hladinou vody nebo oblasti s častým zaplavováním vytvářejí v půdě anoxické (bezokyslíkaté) podmínky, které jsou příznivé pro tvorbu methanu. Jeho emise do atmosféry pak probíhá difuzí, vybubláním nebo intercelulárními prostory ve stoncích rostlin (Nátr, 2008).

3. Metodika

V kapitole Monitoring sledovaných témat v učebnicích pro základní školy bylo vybráno šest řad učebnic, a to Fraus – Přírodopis pro základní školy a víceletá gymnázia pro 6. – 9. ročník, Fortuna – Ekologický přírodopis pro 6. - 9. ročník, SPN - Přírodopis pro 6. – 9. ročník základní školy, Prodos – Přírodopis pro 6. – 9. ročník, Nová škola - Přírodopis - učebnice pro 6. – 9. ročník a Scientia - Přírodopis pro 6. – 9. ročník základní školy. V nich jsem sledoval výskyt jednotlivých zadaných témat a zpracoval je do tabulek.

Pro další část své bakalářské práce jsem na základě prostudovaných učebnic a svých znalostí sestavil didaktický test, který obsahoval 10 otázek. Vytvořené otázky měly formu uzavřené otázky s možností jedné nebo více odpovědí, pouze jedna otázka byla otevřená.

Monitoring spontánních znalostí žáků byl uskutečněn na čtyřech základních školách v Sedlčanech a okolí (1. ZŠ Sedlčany, kde vyučují podle řady učebnic nakladatelství Fraus – Přírodopis pro základní školy a víceletá gymnázia, 2. ZŠ Propojení vyučují podle řady učebnic Fortuna – Ekologický přírodopis pro 6. - 9. ročník, ZŠ Kosova Hora používají na výuku řadu učebnic SPN - Přírodopis pro 6. – 9. ročník základní školy a ZŠ Petrovice používají učebnice Fraus). Celkový počet respondentů byl 142.

Sběr dat na školách probíhal v průběhu měsíců květen až červen a byl vždy uskutečněn v dopoledních vyučovacích hodinách. Vyplnění didaktického testu nepřesáhlo 10 minut.

Sebraná data ze všech vyplněných testů jsem utřídil, zanalyzoval, statisticky zpracoval do grafů a vyvodil závěry. Didaktické testy jsem zhodnotil procentuálně. Pro tuto práci jsem použil nástroje Microsoft Office Word 2007.

4. Výsledky

4.1 Monitoring sledovaných témat v učebnicích pro základní školy

Tabulka I (řada učebnic Fraus)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku	
Ročník:	Fotosyntéza
6.	<p>1. Fotosyntéza je schopnost zelených rostlin za pomoci světla přeměňovat neústrojné (anorganické) látky na látky ústrojné (organické) a uvolňovat do ovzduší kyslík.</p> <p>2. Uvolňováním kyslíku do ovzduší a snižováním obsahu oxidu uhličitého v atmosféře se vytvořily vhodné podmínky pro život složitějších organismů.</p> <p>3. Producenti (zelené rostliny) vytvářejí (produkují) z vody a oxidu uhličitého, za přítomnosti světla a chlorofylu živiny – cukry. Mají schopnost provádět fotosyntézu.</p> <p>4. Řasy přijímají jako potravu vodu s rozpuštěnými neústrojnými látkami a oxid uhličitý. Z těchto látek tvoří na světle látky složitější a z nich budují své tělo. Tak rostou.</p>
7.	<p>1. Všechny rostliny mají v přírodě naprosto nezastupitelnou funkci. Mají schopnost fotosyntézy, takže dokážou přeměňovat anorganické (neústrojné) látky v látky organické.</p>
8.	
9.	<p>1. Množství kyslíku v atmosféře se začalo výrazně zvyšovat v důsledku činnosti organismů, zvláště fotosyntetizujících mořských sinic a řas.</p> <p>2. Atmosférický CO₂ spotřebovávají zelené rostliny při fotosyntéze. Naopak při dýchání se tento plyn uvolňuje zpět do atmosféry.</p>

Tabulka II (řada učebnic Fraus)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku		
Ročník	Dýchání	Rozklad rostlinných těl
6.	<p>1. Rostliny, živočichové i člověk vdechují kyslík a vydechují oxid uhličitý a vodní páry.</p>	
7.		
8.		
9.	<p>1. Atmosférický CO₂, které zelené rostliny při fotosyntéze spotřebovávají, se naopak při dýchání uvolňuje zpět do atmosféry.</p>	<p>1. Odumřelá těla organismů (biomasa) přecházejí do půdy, kde se rozkládají a stávají se součástí humusu.</p>

	2. Naopak při dýchání se tento plyn CO ₂ uvolňuje zpět do atmosféry.	2. Rozklad zbytků těl je složitý proces, na jehož konci je opět CO ₂ , který z půdy uniká zpět do atmosféry.
--	---	---

Tabulka III (řada učebnic Fraus)

Vliv atmosféry na rostliny - 1		
Ročník:	Vliv teploty ovzduší	Vliv vlhkosti vzduchu
6.		
7.	<p>1. Světlo, teplota, voda a dostatek minerálních látek vytvářejí vnější podmínky, které nejvíce ovlivňují růst rostliny.</p> <p>2. Ke klíčení semen jsou nutné určitá vlhkost, teplota a dostatek kyslíku.</p> <p>3. Rostliny mírného pásu reagují např. na změnu teploty tak, že orgány nadzemní části odumřou a rostlina nepříznivé období přečkává v tzv. vegetačním klidu.</p>	<p>1. K přijímání vzdušné vlhkosti u některých tropických rostlin slouží tzv. vzdušné kořeny.</p> <p>2. Ke klíčení semen jsou nutné určitá vlhkost, teplota a dostatek kyslíku.</p> <p>3. Šupiny šišek reagují na vlhkost prostředí. Za vlhka jsou pevně semknuté k sobě a v suchu se rozevírají.</p>
8.		
9.		

Tabulka IV (řada učebnic Fraus)

Vliv atmosféry na rostliny - 2		
Ročník:	Vliv znečištění ovzduší imisemi – např. ozon, SO₂, NO_x, prach	Vliv hladiny CO₂
6.	<p>1. Většina lišejníků je citlivá na látky znečišťující ovzduší. Proto se určité druhy uplatňují jako ukazatelé čistoty ovzduší – bioindikátory.</p> <p>2. Na znečištění ovzduší jsou nejcitlivější druhy lišejníků s keříčkovitou stélkou.</p> <p>3. Některé druhy lišejníků slouží jako ukazatelé čistoty ovzduší.</p>	
7.	<p>1. Jedle bělokorá: Citlivě reaguje na znečištěné prostředí, a proto tento krásný strom z našich lesů mizí.</p> <p>2. Smrk ztepilý - je poměrně citlivý na znečištění ovzduší.</p>	
8.		
9.	1. Mezi nejnebezpečnější látky, které se mohou dostat se spaliny do ovzduší, patří oxidy síry.	

Tabulka V (řada učebnic Fraus)

Význam rostlin pro atmosféru			
Ročník:	Ochlazování atmosféry transpirací	Pohlcování polutantů	Výdej těkavých látek do atmosféry
6.			
7.	<p>1. Funkce listů: průduchy v listech zajišťují výměnu plynů mezi rostlinou a vnějším prostředím; průduchy se odpařuje voda.</p> <p>2. Prostřednictvím průduchů dochází k výměně kyslíku a oxidu uhličitého mezi prostředím a rostlinou, ale i k odpařování vody ve formě vodních par.</p>		<p>1. Průduchy umožňují výměnu plynů a vodních par mezi rostlinou a prostředím.</p> <p>2. Prostřednictvím průduchů dochází k výměně kyslíku a oxidu uhličitého mezi prostředím a rostlinou, ale i k odpařování vody ve formě vodních par.</p>
8.			
9.			

Tabulka VI (řada učebnic SPN)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku	
Ročník:	Fotosyntéza
6.	<p>1. Zelené rostliny jsou nejdůležitější organismy. Je tomu tak proto, že jedině ony dovedou využívat energii vyzařovanou Sluncem a přeměňovat neústrojné (anorganické) látky na látky ústrojné (organické).</p> <p>2. Jak jsme si již uvedli v první kapitole, dovedou zelené rostliny přeměňovat anorganické – neústrojné látky (vodu, oxid uhličitý, minerální látky) na látky organické – ústrojné (cukry, tuky, bílkoviny). Tuto přeměnu (děj) nazýváme fotosyntéza.</p> <p>3. Při fotosyntéze rostlina uvolňuje do ovzduší kyslík.</p> <p>4. Rostlina přijímá z půdy minerální látky a vodu, ze vzduchu oxid uhličitý. Světelná energie přijatá chlorofylem umožní složité chemické děje.</p>
7.	1. Řasy mají v přírodě velký význam: Při fotosyntéze uvolňují obrovské množství kyslíku – říkáme, že jsou jeho významnými producenty.
8.	
9.	1. Většina kyslíku vznikla činností zelených rostlin – fotosyntézou.

Tabulka VII (řada učebnic SPN)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku		
Ročník:	Dýchání	Rozklad rostlinných těl
6.	<p>1. Listy rostlině umožňují dýchání, odpařování vody a tvorbu ústrojných látek.</p> <p>2. Rostlina, stejně jako živočichové, dýchá. Při dýchání spotřebovává ze vzduchu kyslík. Dýchá všemi částmi svého těla. Největší podíl na dýchání rostlin mají listy.</p> <p>3. Při dýchání přijímá rostlina průduchy kyslík. Ten použije k uvolnění energie z organických látek.</p> <p>4. Dýchat musí rostlina neustále, ve dne i v noci.</p> <p>5. Zelené rostliny jsou důležité také proto, že ve dne dodávají do ovzduší kyslík. Ten potřebuje velká většina organismů k dýchání.</p>	
7.		
8.		
9.		

Tabulka VIII (řada učebnic SPN)

Vliv atmosféry na rostliny - 1		
Ročník:	Vliv teploty ovzduší	Vliv vlhkosti vzduchu
6.	<p>1. Podmínky růstu jsou: dostatek vody, minerálních látek, světla, tepla a vzduchu.</p> <p>2. Ke klíčení potřebuje semeno vodu, teplo a kyslík. Chybí-li některá z uvedených podmínek, rostlina nevyklíčí.</p>	<p>1. Náročnějším a zkušenějším pěstitelům můžeme doporučit pěstování citroníků. Rostliny pěstované v květináčích však musí být roubované, aby přinesly plody. Proto je lépe opatřit si rostlinu v zahradnictví. Vyžadují větší vzdušnou vlhkost, proto se jim příliš nedaří v bytech s ústředním topením.</p>
7.		<p>1. Tenura pochází ze suchých oblastí Afriky. Tyto pokojové rostliny jsou vhodné i do místností s ústředním topením, kde je nízká vzdušná vlhkost.</p> <p>2. Toulitka - některé druhy můžeme pěstovat doma. Vyžadují větší vzdušnou vlhkost.</p>
8.		

9.		
----	--	--

Tabulka IX (řada učebnic SPN)

Vliv atmosféry na rostliny - 2		
Ročník:	Vliv znečištění ovzduší imisemi – např. ozon, SO₂, NO_x, prach	Vliv hladiny CO₂
6.		
7.	<p>1. V naší republice je nečistotami ovzduší způsobenými zejména tepelnými elektrárnami zasaženo hodně lesů.</p> <p>2. Smrk pichlavý (často je pěstován jako stříbrná forma), byl dovezen ze Severní Ameriky. Je odolnější vůči znečištěnému městskému ovzduší.</p> <p>3. Některé druhy lišejníků velmi citlivě reagují na znečištění ovzduší. Jedním z citlivých druhů na znečištění ovzduší jsou provazovky.</p>	
8.		
9.	<p>1. Z pevných částic se do ovzduší dostávají prachové částice – popílek. (Ten může obsahovat nebezpečné kovové prvky, např. olovo a kadmium). Prachové částice dopadají na rostliny a ucpávají v listech průduchy.</p> <p>2. Jako bioindikátoru se pro znečištění ovzduší používal výskyt některých druhů lišejníků a pro stanovení přízemního ozonu speciálně vyšlechtěné druhy tabáku.</p> <p>3. Přízemní ozon s dalšími látkami je jedovatý pro rostliny. Podílí se především na odumírání zeleně.</p> <p>4. Současné znečištění ovzduší, především oxidem siřičitým a oxidy dusíku, způsobuje okyselování dešťových srážek. Kyselý dešť nepříznivě působí na celé ekosystémy. Poškozuje listy rostlin. Zhoršuje se zdravotní stav rostlin, některé odumírají. Postupně se mění druhové složení rostlin, a tím i podmínky pro další organismy.</p>	<p>1. Složení atmosféry se vyvíjelo a měnilo. Například množství kyslíku stoupalo s rozvojem zelených rostlin a klesal obsah oxidu uhličitého.</p> <p>2. Zvýšené množství oxidu uhličitého (i dalších plynů, např. amoniaku, metanu) brání vyzařování tepelné energie ze Země. Tomuto jevu říkáme skleníkový efekt. Tím postupně dochází ke zvyšování průměrné teploty vzduchu.</p> <p>3. V karbonu probíhaly rozsáhlé horotvorné procesy. Vytvářela se horstva, moře ustupovalo a při březích vznikaly velké močály. Teplé a vlhké klima a zvýšený obsah oxidu uhličitého, způsobený sopečnou činností, umožnil velký rozvoj zelených rostlin.</p>

	<p>5. Dalším typem srážek jsou tzv. vodorovné srážky – mlha, v zimním období námraza. Působení těchto srážek na rostliny je dlouhodobé, může trvat několik dní. Při zvýšeném obsahu škodlivin v ovzduší je poškození rostlin vlivem těchto srážek větší.</p>	
--	---	--

Tabulka X (řada učebnic SPN)

Význam rostlin pro atmosféru			
Ročník:	Ochlazování atmosféry transpirací	Pohlcování polutantů	Výdej těkavých látek do atmosféry
6.	1. Rostliny vypařují vodu a zvlhčují ovzduší.		
7.	1. Mechorosty jsou v naší přírodě běžnými rostlinami, ale s velkým významem. Odpařují vodu, kterou zadržely při dešti, a tak zvlhčují ovzduší.		
8.			
9.	1. Z půdy přijímají rostliny vodu s rozpuštěnými minerálními látkami a přebytek vody vypařují.	1. Zeleň snižuje prašnost prostředí, omezuje hlučnost, zvyšuje vlhkost vzduchu, snižuje teplotu prostředí.	1. Zeleň vylučuje látky (pryskyřičné povahy), které mohou odpuzovat hmyz a ničit některé bakterie.

Tabulka XI (řada učebnic Prodos)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku	
Ročník:	Fotosyntéza
6.	<p>1. V tělech zelených rostlin se při fotosyntéze přeměňují anorganické látky (oxid uhličitý a voda) na organické látky (cukr glukóza) a kyslík.</p> <p>2. Fotosyntéza je děj, při kterém účinkem světla za přítomnosti chlorofylu vznikají z anorganických látek látky organické (cukry).</p> <p>3. Při fotosyntéze se světelná energie přeměňuje na energii chemickou, ukrytou ve vytvořených organických látkách.</p>
7.	1. K buňkám vnitřních pletiv listů a stonků však musí pronikat vzduch obsahující oxid uhličitý pro fotosyntézu. Zároveň musí unikat z rostlinných těl voda jako vodní pára a kyslík vznikající při fotosyntéze. Proto se v pokožce vyvinuly průduchy.

	<p>2. Jehličnany tvoří jehličnaté lesy nebo jsou součástí lesů smíšených. Obnovují ovzduší (produkují kyslík a odnímají ze vzduchu oxid uhličitý).</p> <p>3. Listy jsou hlavními rostlinnými orgány, které vyrůstají na stonku. Probíhá v nich fotosyntéza.</p>
8.	
9.	<p>1. Autotrofní složkou ekosystému jsou rostliny. Ty jsou schopny z látek anorganických za využití světelné energie vytvořit procesem zvaným fotosyntéza látky organické.</p>

Tabulka XII (řada učebnic Prodos)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku		
Ročník:	Dýchání	Rozklad rostlinných těl
6.	<p>1. Dýchání (spotřeba kyslíku) probíhá neustále a u zelených rostlin probíhá za světla současně fotosyntéza ve větší kapacitě – více kyslíku se uvolňuje, než spotřebuje.</p> <p>2. Podstata dýchání spočívá v uvolnění energie z těchto organických látek. Organické látky reagují s kyslíkem, přičemž kromě uvolněné energie vzniká oxid uhličitý a voda.</p> <p>3. K dýchání jsou tedy potřebné látky, které si organismy vytvářejí fotosyntézou (zelené rostliny, organismy s chlorofylem), a kyslík.</p>	
7.	<p>1. Dýcháním v užším slova smyslu se rozumí rozklad organických látek v buňkách, při němž se uvolňuje oxid uhličitý, voda a energie. V širším slova smyslu dýcháním rozumíme výměnu plynů mezi organismem a prostředím.</p>	
8.		
9.		

Tabulka XIII (řada učebnic Prodos)

Vliv atmosféry na rostliny - 1		
Ročník:	Vliv teploty ovzduší	Vliv vlhkosti vzduchu
6.		
7.		

8.		
9.		

Tabulka XIV (řada učebnic Prodos)

Vliv atmosféry na rostliny - 2		
Ročník:	Vliv znečištění ovzduší imisemi – např. ozon, SO₂, NO_x, prach	Vliv hladiny CO₂
6.		
7.	1. Našim lesům nejvíce škodí oxid siřičitý v kouřových plynech.	
8.		
9.	1. V místech s vyšším obsahem oxidu siřičitého a oxidů dusíku v atmosféře usychají lesy. 2. Za nepříznivých rozptylových podmínek se tvoří smog. Smog negativně působí i na rostliny. 3. V místech ztenčení ozonové vrstvy působí na povrch Země podstatně silněji ultrafialové záření. To je nebezpečné pro rostliny, protože má vliv na vznik různých onemocnění.	

Tabulka XV (řada učebnic Prodos)

Význam rostlin pro atmosféru			
Ročník:	Ochlazování atmosféry transpirací	Pohlcování polutantů	Výdej těkavých látek do atmosféry
6.			
7.	1. Průduchy jsou tvořeny dvěma rohlíčkovitými svěřacími buňkami. Přijímá-li rostlina hodně vody, svěřací buňky se vyklenou a průduchová štěrbina se otevře. Nadbytečná voda se odpařuje z listu ven, dovnitř vniká vzduch. 2. Listy se staly hlavním orgánem, zabezpečují odstraňování nadbytečné vody.		
8.			
9.			

Tabulka XVI (řada učebnic Nová škola)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku	
Ročník:	Fotosyntéza
6.	<p>1. Fotosyntéza zelených rostlin je složitá přeměna anorganických látek na látky organické, ke které dodává energii světlo. Současně vzniká kyslík.</p> <p>2. Fotosyntéza probíhá především v zelených rostlinách. Rostliny využívají sluneční světlo jako zdroj energie. Rostliny přijímají živiny z atmosféry.</p> <p>3. Pro fotosyntézu zelených rostlin je nezbytný chlorofyl – zelené rostlinné barvivo. Energii slunečního světla zachycuje chlorofyl. Rostlina přijímá vodu a oxid uhličitý. S pomocí energie slunečního světla se oxid uhličitý a voda přemění na cukr a kyslík.</p> <p>4. Pouze organismy s chlorofylem dovedou vytvářet nové organické látky z anorganických v procesu fotosyntézy a při tom produkovat kyslík. Činnost zelených rostlin postupně měnila atmosféru.</p> <p>5. Význam řas: Atmosféra jim vděčí za značnou část kyslíku. V řase probíhá fotosyntéza. Fotosyntézou vznikají nové organické látky a kyslík.</p> <p>6. Kyslík, který řasy produkují při fotosyntéze, se dostává i do ovzduší.</p>
7.	1. Lesní porosty produkují při fotosyntéze velké množství kyslíku.
8.	
9.	<p>1. Zelené rostliny za pomoci světla vyrábějí fotosyntézou organické látky (glukózu) a kyslík.</p> <p>2. Oxid uhličitý je zdrojem uhlíku pro rostliny. Rostliny uhlík zabudovávají do organických látek.</p> <p>3. Oxid uhličitý z atmosféry je spotřebován zelenými rostlinami, které při fotosyntéze zabudovávají uhlík do organických látek</p>

Tabulka XVII (řada učebnic Nová škola)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku		
Ročník:	Dýchání	Rozklad rostlinných těl
6.	<p>1. Na kyslíku jsou dýcháním závislé rostliny.</p> <p>2. Kyslík je nezbytný pro dýchání. Vzniká činností rostlin.</p> <p>3. Oxid uhličitý se uvolňuje při dýchání. Rostliny ho přijímají ze vzduchu jako svoji hlavní živinu.</p>	
7.		
8.		
9.		1. Uhlík obsažený v tělech rostlin koluje v rámci potravního řetězce. Rozkladači rozkládají odumřelá těla všech

		organismů a produkty jejich vyměšování, přitom uvolňují do ovzduší oxid uhličitý.
--	--	---

Tabulka XVIII (řada učebnic Nová škola)

Vliv atmosféry na rostliny - 1		
Ročník:	Vliv teploty ovzduší	Vliv vlhkosti vzduchu
6.	1. Pro vyklíčení semeno potřebuje: vodu – teplo – vzduch. Pro většinu rostlin není rozhodující podmínkou klíčení světlo nebo tma.	1. Nižší rostliny mohou růst jen ve vysoké vlhkosti vzduchu nebo přímo ve vodě.
7.	1. Rajče jedlé je jednoletá rostlina, která pochází z Ameriky. Je poměrně náročné na teplo. 2. Fazol má větší nároky na teplo.	
8.		
9.		

Tabulka XIX (řada učebnic Nová škola)

Vliv atmosféry na rostliny - 2		
Ročník:	Vliv znečištění ovzduší imisemi – např. ozon, SO₂, NO_x, prach	Vliv hladiny CO₂
6.		
7.		
8.		
9.		

Tabulka XX (řada učebnic Nová škola)

Význam rostlin pro atmosféru			
Ročník:	Ochlazování atmosféry transpirací	Pohlcování polutantů	Výdej těkavých látek do atmosféry
6.			
7.	1. Vypařování vody z lesů zvlhčuje vzduch. Voda se		1. Vonné silice a další látky, které se uvolňují

	vrací do koloběhu. Zadržuje dešťovou vodu a nedovolí jí prudce odtéct z území.		z rostlin, zlepšují vzduch.
8.			
9.			

Tabulka XXI (řada učebnic Scientia)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku	
Ročník:	Fotosyntéza
6.	<p>1. Když roste les, odebírá si ze země vodu s anorganickými látkami, ale ze vzduchu oxid uhličitý. Louka či les vyrostly vlastně ze vzduchu, vody a malého množství anorganických látek.</p> <p>2. Při fotosyntéze vzniká z vody, oxidu uhličitého a živin rostlinná hmota. Sluneční záření dodává celému procesu energii. V listové zeleni neboli chlorofylu dochází ke zpracování a tvorbě organických látek.</p> <p>3. Kromě světla a živé buňky se zeleným barvivem, které umí světlo „zpracovat“, je základní podmínkou fotosyntézy voda a oxid uhličitý.</p> <p>4. Buňky, které v sobě obsahují barvivo – listovou zeleň neboli chlorofyl, jsou schopné využít energie světla a přeměnit vodu a oxid uhličitý na složené cukry, ze kterých rostliny vytvářejí svá těla.</p> <p>5. U fotosyntézy je důležité to, že při tvorbě cukru přebývá kyslík, který je vypouštěn do atmosféry. Např. jeden hektar lesa, tedy čtverec o hraně 100 m, ročně produkuje 15 tun kyslíku.</p> <p>6. Život na Zemi je založen na fotosyntéze. Rostliny za pomoci slunečního záření vystaví své tělo z vody, oxidu uhličitého a živin. Konečným zbytkem je opět voda, oxid uhličitý a další látky, které se vrací do přírody a mohou sloužit jako zdroj další fotosyntézy, při níž vzniknou nové rostliny.</p> <p>7. Činností živých organismů, schopných fotosyntézy (sinic, rostlin), se na Zemi vyvinulo stálé složení atmosféry. Obsah kyslíku v atmosféře nikdy nepoklesl tak hluboko, aby ohrozil život na Zemi.</p> <p>8. Mikroskopické řasy patří spolu se sinicemi k nejstarším obyvatelům naší planety. Mají obdobnou schopnost uvolňovat kyslík při fotosyntéze a také jim vděčíme za atmosféru Země.</p>
7.	<p>1. Význam rostlin je zdůrazněn jejich schopností přeměňovat anorganické látky v látky organické a zároveň produkovat kyslík.</p>
8.	
9.	<p>1. Jedna z nejdůležitějších metabolických drah celého vývoje Země vedla k vývoji fotosyntézy, a tím ke vzniku rostlinstva a kyslíkaté atmosféry.</p> <p>2. Uhlík při svém koloběhu prochází těly rostlin. Dostává se tam při fotosyntéze z oxidu uhličitého v atmosféře.</p> <p>3. Uhlík se vyskytuje na Zemi např. ve formě oxidu uhličitého (CO₂) v atmosféře. Ten je spotřebován rostlinou při fotosyntéze a uhlík se stane</p>

	součástí těla rostliny.
--	-------------------------

Tabulka XXII (řada učebnic Scientia)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku		
Ročník:	Dýchání	Rozklad rostlinných těl
6.		
7.		
8.		
9.		1. Rostlinné tělo po jejím odumření a rozkladu se vrátí opět do ovzduší jako CO ₂ . Rostlinné tělo však může i rašelinět a uhelnatět, stane se součástí litosféry.

Tabulka XXIII (řada učebnic Scientia)

Vliv atmosféry na rostliny – 1		
Ročník:	Vliv teploty ovzduší	Vliv vlhkosti vzduchu
6.		
7.		1. Význam mechorostů: Důležité je zadržování vody v jejich rostlinkách. Přispívají k udržení vody v krajině a vyšší vzdušné vlhkosti na loukách a v lesích. 2. Vzdušné kořeny, visící volně ze stonku rostliny, umožňují získávání vody ze vzdušné vlhkosti. Můžeme je nalézt u rostlin z tropických pralesů – má je i u nás často pěstovaná pokojová rostlina monstera. 3. Dřevnatá šištice (šiška) je schopna reagovat na vzdušnou vlhkost – za sucha se otevírá, navlhne-li, opět se zavře. To jehličnanům umožňuje uvolňovat semena za příhodných podmínek – je-li teplé počasí.
8.		
9.		

Tabulka XXIV (řada učebnic Scientia)

Vliv atmosféry na rostliny – 2		
Ročník:	Vliv znečištění ovzduší imisemi – např. ozon, SO ₂ , NO _x , prach	Vliv hladiny CO ₂
6.	1. Lišejníky jsou nejen prvními organismy na různých stanovištích, ale zároveň jsou velmi citlivé na znečištěné ovzduší. V takovém prostředí velmi rychle odumírají, takže jsou dobrým ukazatelem kvality životního prostředí.	
7.	1. Stejně jako lišejníky mohou mechorostry sloužit jako ukazatele znečištění ovzduší. Využívají se hlavně druhy rostoucí na kmenech stromů. 2. Smrk pichlavý: Je velice odolný vůči znečištěnému ovzduší, vysazuje se proto např. v Krušných horách. 3. V současné době je mnoho vysokohorských lesů poškozeno průmyslovými zplodinami. Největší škody způsobily především plyny, vznikající spalováním nekvalitního hnědého uhlí (hlavně oxid siřičitý) v tepelných elektrárnách, na smrkových porostech v Krušných horách, Krkonoších a Orlických horách	
8.		
9.	1. Oxidy dusíku – vznikají hlavně ve spalovacích motorech. Účastní se řady reakcí v atmosféře a zvyšují koncentrace přízemního ozonu. Poblíž dálnic a ve městech mohou vyvolávat usychání stromů.	

Tabulka XXV (řada učebnic Scientia)

Význam rostlin pro atmosféru			
Ročník:	Ochlazování atmosféry transpirací	Pohlcování polutantů	Výdej těkavých látek do atmosféry
6.	1. Množství vody v krajině souvisí mj. s výskytem lesů, které vodu jednak zadržují, jednak odpařují do ovzduší.		
7.			
8.			
9.	1. Stromy mají velký povrch listů, ze kterých se odpařuje voda. Průměrný listnatý les dokáže odpařit nejméně šesti- i více-		

	<p>násobek vody, která by se odpařila, kdyby na místě lesa byla vodní hladina. A protože na odpar se spotřebovává velké množství energie, každý listnatý strom ochlazuje své okolí stejným výkonem jako několik naplno puštěných ledniček.</p>		
--	--	--	--

Tabulka XXVI (řada učebnic Fortuna)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku	
Ročník:	Fotosyntéza
6.	<p>1. Zrněnka se vyživuje jako všechny zelené rostliny: Z okolního prostředí přijímá vodu a oxid uhličitý. Z nich vlivem slunečního záření za přítomnosti zeleně listové (chlorofylu) vzniká v těle zrněnky jednoduchý cukr a do okolního prostředí se uvolňuje kyslík. Tomuto ději říkáme fotosyntéza (z řeckého: photos – světlo, synthesis – skladba). Fotosyntézou zrněnka poutá energii slunečního záření do cukru.</p> <p>2. Kapradiny- V zelených listech probíhá ve dne fotosyntéza a také se z nich odpařuje voda.</p> <p>3. Stromové patro zachycuje nejvíce světla, které umožňuje průběh fotosyntézy.</p> <p>4. Ve vodě je vždy obsažen také oxid uhličitý, který rostliny potřebují k fotosyntéze, a kyslík, který je nezbytný k dýchání všech organismů.</p> <p>5. V zelených rostlinách fotosyntézou vznikají organické látky, které jsou pak zdrojem energie pro ostatní organismy.</p> <p>6. Složení suchého vzduchu ve spodní vrstvě atmosféry – v troposféře – se v průběhu existence Země měnilo. Několik posledních desítek milionů let jeho objem tvoří 78 % dusíku, 21 % kyslíku a zbylé 1 % jsou vzácné plyny a oxid uhličitý (0,03 %). Na zachování rovnováhy mezi množstvím kyslíku a oxidu uhličitého se podílejí zejména organismy – rostliny fotosyntézou a všechny organismy dýcháním.</p>
7.	
8.	
9.	

Tabulka XXVII (řada učebnic Fortuna)

Rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku		
Ročník:	Dýchání	Rozklad rostlinných těl
6.	<p>1. Postupnou přeměnou cukru naopak zrněnka uvolňuje energii stále potřebnou k životu. Tento děj se nazývá buněčné dýchání. K dýchání je potřebný kyslík a do okolí se při tom uvolňuje oxid uhličitý.</p> <p>2. Listy rostlina i dýchá – přijímá z ovzduší kyslík potřebný pro buněčné dýchání a uvolňuje do okolí oxid uhličitý.</p>	
7.		
8.		
9.		<p>1. V korunách stromů žijí orchideje a jiné rostliny získávající vláhu z ovzduší a potřebné látky ze zbytků odumřelých rostlin.</p>

Tabulka XXVIII (řada učebnic Fortuna)

Vliv atmosféry na rostliny – 1		
Ročník:	Vliv teploty ovzduší	Vliv vlhkosti vzduchu
6.		<p>1. Mechové polštáře tvořené velkým množstvím mechových rostlinek zadržují hodně vody. Voda se z nich odpařuje postupně, pomalu, a tak v lese bývá větší vlhkost vzduchu než v okolí i v době sucha.</p>
7.	<p>1. Každá z pokojových rostlin má jiné nároky na prostředí. Potřebuje určité množství vláhy, složení půdy i množství světla a určitou teplotu prostředí v průběhu roku.</p>	
8.		
9.		<p>1. Tropické lesy ... Koruny stromů vytvářejí několik pater a často je při zemi ještě neproniknutelný podrost. Některé stromy dosahují výšky přes 50 m. Po jejich kmenech se dostává ke světlu mnoho popínavých rostlin. V korunách stromů žijí orchideje</p>

	a jiné rostliny získávající vláhu z ovzduší a potřebné látky ze zbytků odumřelých rostlin.
--	--

Tabulka XXIX (řada učebnic Fortuna)

Vliv atmosféry na rostliny – 2		
Ročník:	Vliv znečištění ovzduší imisemi – např. ozon, SO₂, NO_x, prach	Vliv hladiny CO₂
6.	<p>1. Lišejníky jsou proto velice citlivé na nečistoty ovzduší – a některé druhy (např. provazovka) vůbec nerostou tam, kde je vzduch znečištěný.</p> <p>2. Nahosemenné rostliny: Na větvích vyrůstají ještě krátké větvičky a z nich ve svazečku dva tuhé úzké listy – jehlice, které vydrží na stromě 3 – 6 let (ve znečištěném ovzduší pouze okolo 2 let).</p> <p>3. Nečistoty, které jsou v ovzduší, působí na jehlice stromů dlouhou dobu a poškozují je. Jehlice hnědnou a dříve opadávají. Strom tím ztrácí možnost výživy a postupně hyne. Značně citlivé na nečistoty v ovzduší jsou zejména jedle a smrky, hlavně v horských polohách.</p>	
7.	1. Smrk pichlavý jehličnan pocházející ze Severní Ameriky, pěstují se odrůdy s namodralými až sivými jehlicemi („stříbrný smrk,,); odolává znečištěnému ovzduší.	
8.		
9.	1. Zvýšené množství prachu a některých plynů (zejména oxidu siřičitého a oxidů dusíku) ovzduší znečišťuje. Škodlivě na rostliny, živočichy i na zdraví působí také ozon, který v přízemní vrstvě vzduchu vzniká působením slunečního záření na oxidu dusíku a nespálené uhlovodíky ve výfukových plynech.	

Tabulka XXX (řada učebnic Fortuna)

Význam rostlin pro atmosféru			
Ročník:	Ochlazování atmosféry transpirací	Pohlcování polutantů	Výdej těkavých látek do atmosféry
6.			
7.		1. Rostliny v parcích, zahradách i sídlištní zeleň naše prostředí nejen zkrášlují, ale také zachycují prach,	

		zvlhčují ovzduší, poskytují stín, snižují v parných dnech teplotu okolí, snižují hlučnost prostředí.	
8.			
9.			

4. 2 Ověřování znalostí problematiky u žáků na 2. st. ZŠ

Pro další část své bakalářské práce jsem na základě prostudovaných učebnic a svých znalostí sestavil didaktický test. Vytvořené otázky měly formu uzavřené otázky s možností jedné nebo více správných odpovědí, jedna otázka byla otevřená. Ověřování znalostí problematiky bylo uskutečněno na čtyřech základních školách v Sedlčanech a okol. Jako cílovou skupinu jsem si vybral žáky devátých ročníků čtyř základních škol. Celkem se mého výzkumu zúčastnilo 142 žáků.

V 1. ZŠ Sedlčany (škola A v grafu) vyučují podle řady učebnic nakladatelství Fraus – Přírodopis pro základní školy a víceletá gymnázia, 2. ZŠ Propojení (škola B v grafu) vyučuje podle řady učebnic Fortuna – Ekologický přírodopis pro 6. - 9. ročník, ZŠ Kosova Hora (škola C v grafu) používá na výuku řadu učebnic SPN - Přírodopis pro 6. – 9. ročník základní školy a ZŠ Petrovice (škola D v grafu) používají učebnice Fraus - Přírodopis pro základní školy a víceletá gymnázia.

4.3 Zadání testu

Otázky s jednou možností odpovědi!

1. Fotosyntéza je všeobecně známý děj. Kterou látku potřebnou k fotosyntéze přijímají rostliny ze vzduchu a kterou látku do ovzduší vydávají?

- a) přijímají oxid uhličitý (CO_2) a vydávají oxid uhelnatý (CO)
- b) přijímají kyslík (O_2) a vydávají oxid uhličitý (CO_2)
- c) přijímají oxid uhličitý (CO_2) a vydávají kyslík (O_2)
- d) ani jedna možnost není správná

2. Jaké látky přijímají rostliny ze svého prostředí při dýchání (respiraci) a jaké uvolňují?

- a) přijímají vodu (H_2O) a oxid uhličitý (CO_2) a uvolňují kyslík (O_2)
- b) přijímají oxid uhelnatý (CO) a uvolňují vodu (H_2O)
- c) přijímají oxid siřičitý (SO_2) a uvolňují vodu (H_2O)
- d) přijímají kyslík (O_2) a uvolňují oxid uhličitý (CO_2) a vodu (H_2O)

3. Pokud vykácíme smrkový les, zůstane na místě značné množství materiálu (větvě, jehličí, kůra a podobně). Nashromážděný uhlík (C) se potom vrátí do ovzduší jako oxid uhličitý (CO_2). Činností rozkladačů se uvolní:

- a) postupně a v malém množství
- b) najednou ve velkém množství
- c) rostliny uhlík neobsahují, takže jej nemůžou ani uvolňovat
- d) ani jedna možnost není správná

4. Jestliže jsou extrémně vysoké nebo nízké teploty, je příjem CO_2 rostlinami:

- a) zcela potlačen
- b) za extrémních teplot je příjem oxidu uhličitého (CO_2) nejvyšší
- c) normální, teploty na tento proces nemají vliv
- d) ani jedna možnost není správná

5. Jak rostliny reagují na nízkou vzdušnou vlhkost (na malý obsah vodní páry ve vzduchu)?

- a) důsledkem nízké vzdušné vlhkosti je otevírání průduchů
- b) důsledkem nízké vzdušné vlhkosti je zavírání průduchů
- c) rostliny vypařují velké množství vodní páry do atmosféry
- d) nízká vzdušná vlhkost nemá na průduchy žádný vliv

6. Proč je transpirace (vyučování vodní páry rostlinami) pro atmosféru důležitá?

- a) protože odcházející vodní pára spolu s dusíkem (N_2) jsou dvě hlavní složky, které tvoří atmosféru
- b) protože odcházející vodní páry oteplují atmosféru
- c) protože odcházející vodní pára spolu s kyslíkem (O_2) jsou dvě hlavní složky, které tvoří atmosféru
- d) protože odcházející vodní páry ochlazují atmosféru

7. Pokud se zvýší množství oxidu uhličitého (CO_2) v atmosféře, má to nějaký vliv na rostliny?

- a) ano, snižuje se rychlost fotosyntézy a přivírají se průduchy, tím vydávají rostliny více vodní páry transpirací
- b) ano, snižuje se rychlost fotosyntézy a otevírají se průduchy, tím vydávají rostliny méně vodní páry transpirací
- c) ano, zvyšuje se rychlost fotosyntézy a přivírají se průduchy, tím vydávají rostliny méně vodní páry transpirací
- d) ne, na rychlost fotosyntézy oxid uhličitý (CO_2) nemá žádný vliv

Otázky s více možnostmi odpovědí!

8. Jaké změny vyvolává dlouhodobé působení přízemního ozonu (O_3) na rostliny?

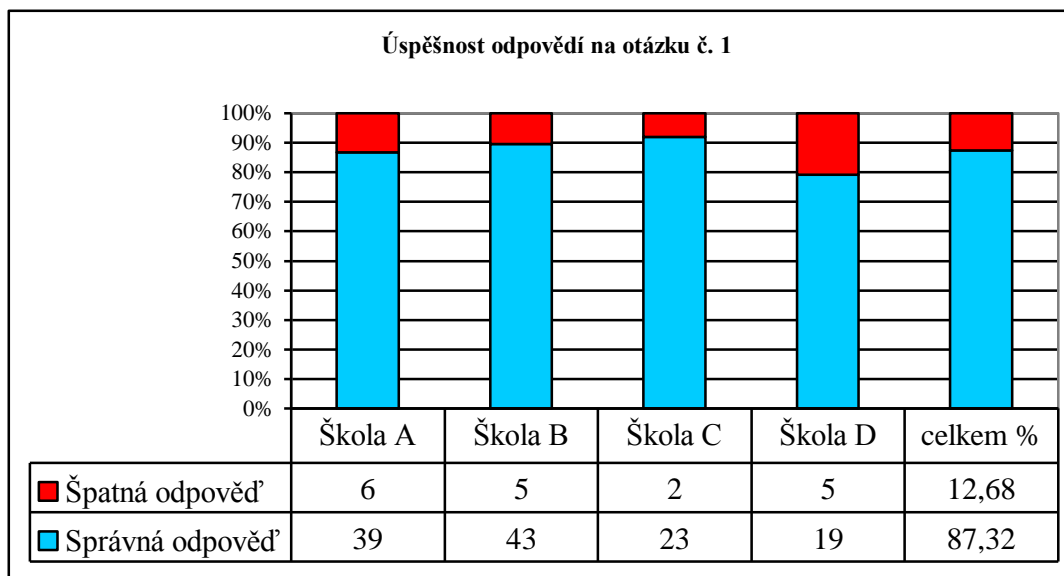
- a) u listnatých dřevin způsobuje poškození v podobě nepravidelných červených a červenohnědých skvrn nebo bronzové zbarvení listů
- b) u jehličnatých dřevin způsobuje, že jehlice žloutnou nebo jsou bezbarvé či zelenožluté
- c) působí pozitivně na růst rostliny a nezpůsobuje žádné žloutnutí listů nebo jiné skvrny na listech
- d) dlouhodobé působení přízemního ozónu nemá žádný vliv na rostliny

9. Jaká je zdravotně hygienická funkce lesa, neboli jak les napomáhá k čistotě ovzduší?

- a) zachycování prachových částic
- b) zachycování smogu
- c) les nezachycuje prachové částice ani smog, pouze uvolňuje látky s dezinfekčním vlivem a tlumí hluk, což působí léčebně
- d) les zachycuje pouze smog, prachové částice zachycovat neumí a tlumí hluk, což působí léčebně

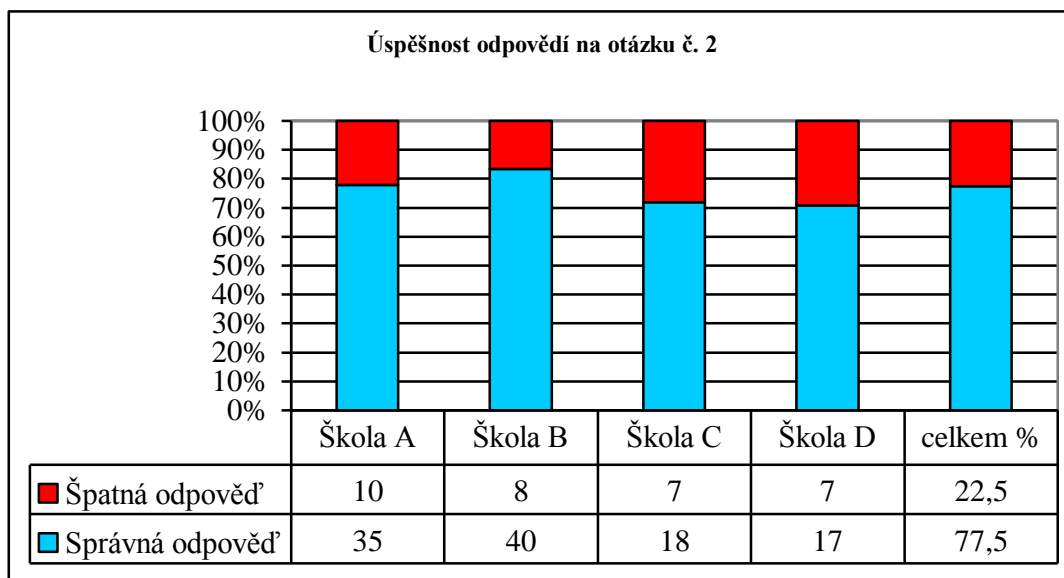
10. Jaké další plynné látky uvolňují rostliny do atmosféry, kromě oxidu uhličitého (CO_2) a kyslíku (O_2), které ovlivňují složení atmosféry? (Vypište)

4.4 Vyhodnocení didaktického testu



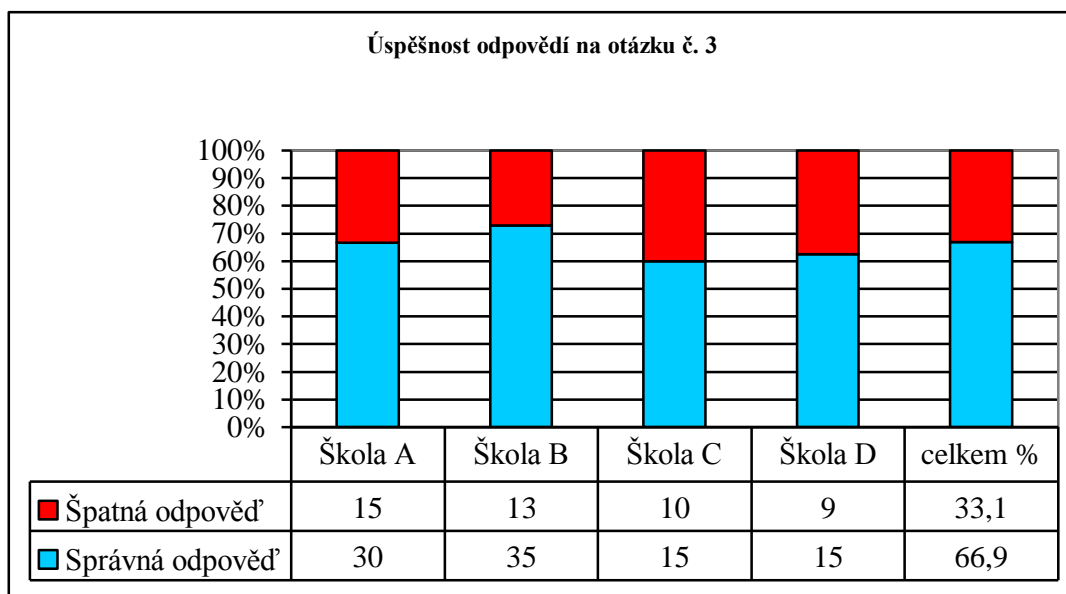
Obrázek č. 1: Graf č. 1 – Fotosyntéza je všeobecně známý děj. Kterou látku potřebnou k fotosyntéze přijímají rostliny ze vzduchu a kterou látku do ovzduší vydávají?

Z grafu na obr. č. 1 je patrné, že na první otázku odpovědělo správně 124 žáků ze 142. Tuto hodnotu můžeme vyjádřit i procentuálně, tedy správně odpovědělo 87,3 %.



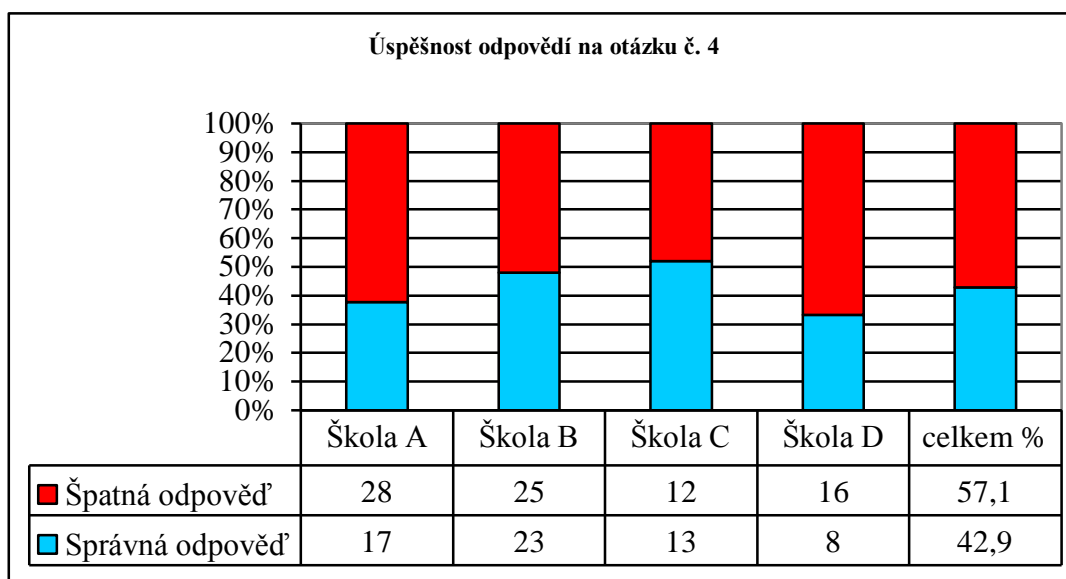
Obrázek č. 2: Graf č. 2 – Jaké látky přijímají rostliny ze svého prostředí při dýchání a jaké uvolňují?

Z grafu na obr. č. 2 je patrné, že na druhou otázku odpovědělo správně 110 žáků ze 142. Tuto hodnotu můžeme vyjádřit i procentuálně, tedy správně odpovědělo 77,5 %.



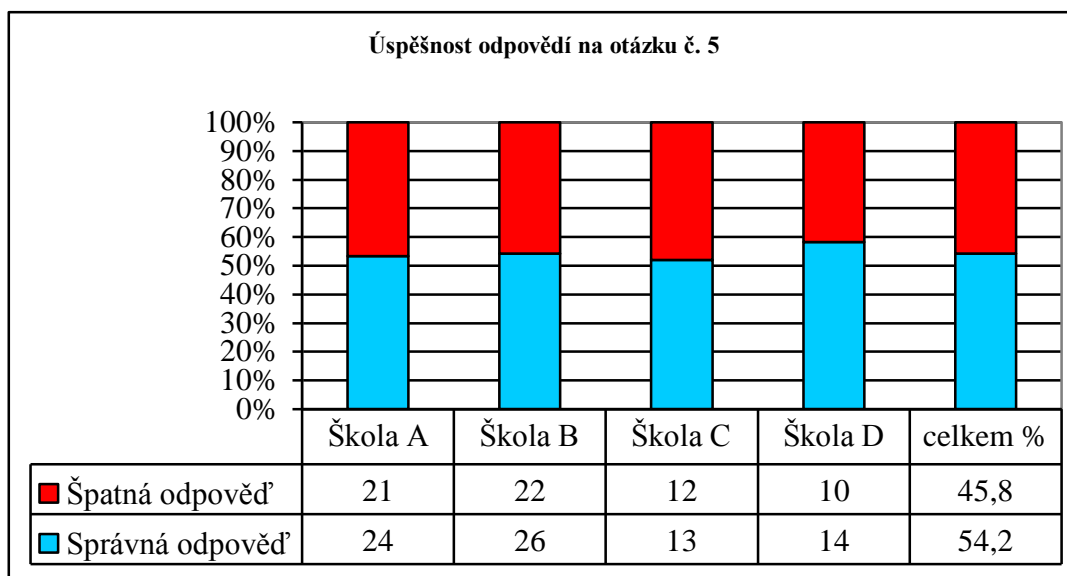
Obrázek č. 3: Graf č. 3 - Pokud vykáčíme smrkový les, zůstane na místě značné množství materiálu. Nashromážděný uhlík (C) se potom vrátí do ovzduší jako oxid uhličitý (CO₂). Činností rozkladačů se uvolní:

Z grafu na obr. č. 3 je patrné, že na třetí otázku odpovědělo správně 95 žáků ze 142. Tuto hodnotu můžeme vyjádřit i procentuálně, tedy správně odpovědělo 66,9 %.



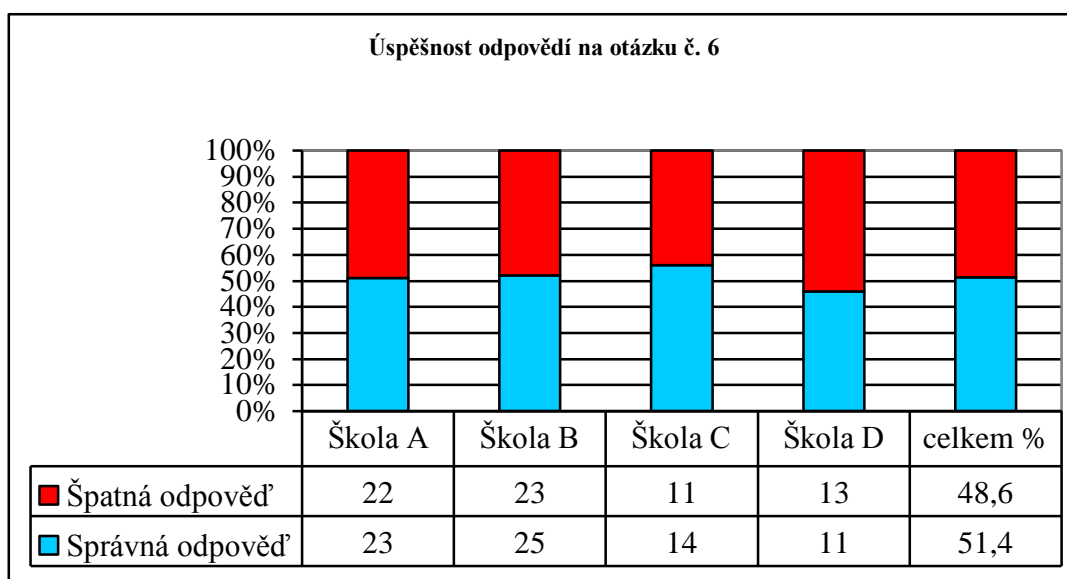
Obrázek č. 4: Graf č. 4 - Jestliže jsou extrémně vysoké nebo nízké teploty, je příjem CO₂ rostlinami:

Z grafu na obr. č. 4 je patrné, že na čtvrtou otázku odpovědělo správně 61 žáků ze 142. Tuto hodnotu můžeme vyjádřit i procentuálně, tedy správně odpovědělo 42,9 %.



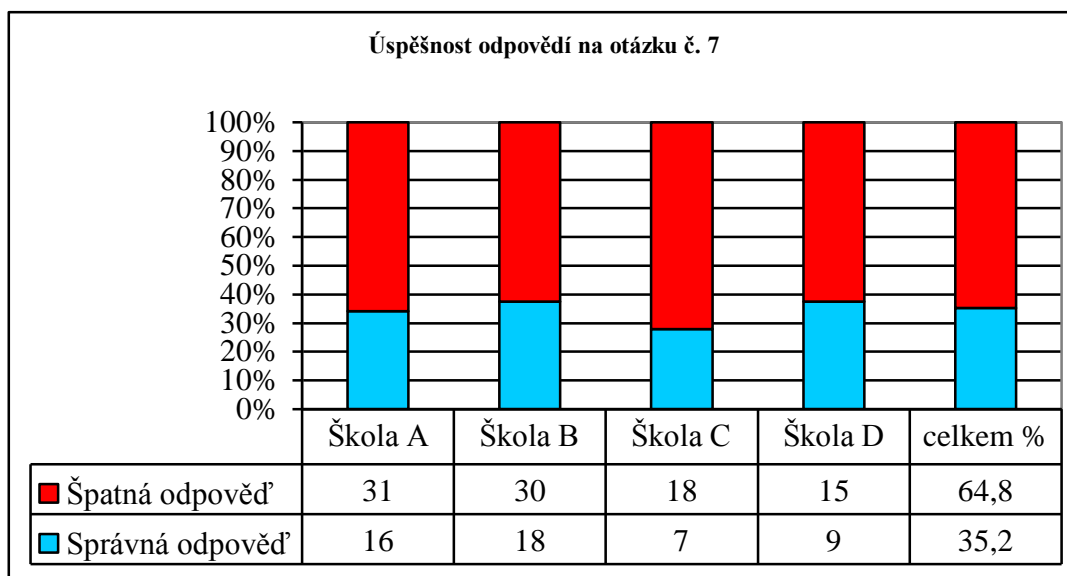
Obrázek č. 5: Graf č. 5 – Jak rostliny reagují na nízkou vzdušnou vlhkost (na malý obsah vodní páry ve vzduchu)?

Z grafu na obr. č. 5 je patrné, že na pátou otázku odpovědělo správně 77 žáků ze 142. Tuto hodnotu můžeme vyjádřit i procentuálně, tedy správně odpovědělo 54,2 %.



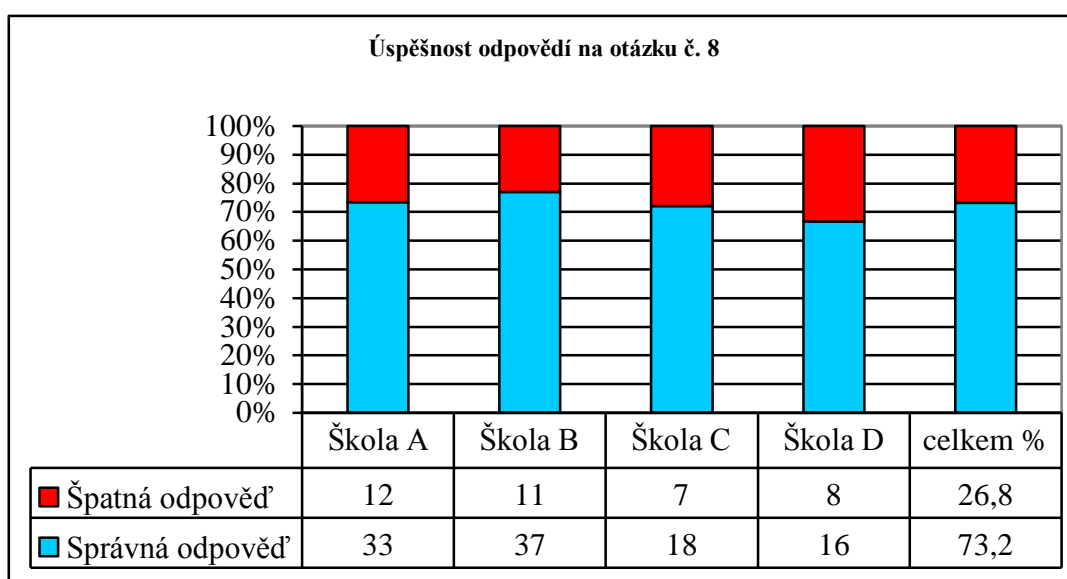
Obrázek č. 6: Graf č. 6 - Proč je transpirace (vyučování vodní páry rostlinami) pro atmosféru důležitá?

Z grafu na obr. č. 6 je patrné, že na šestou otázku odpovědělo správně 73 žáků ze 142. Tuto hodnotu můžeme vyjádřit i procentuálně, tedy správně odpovědělo 51,4 %.



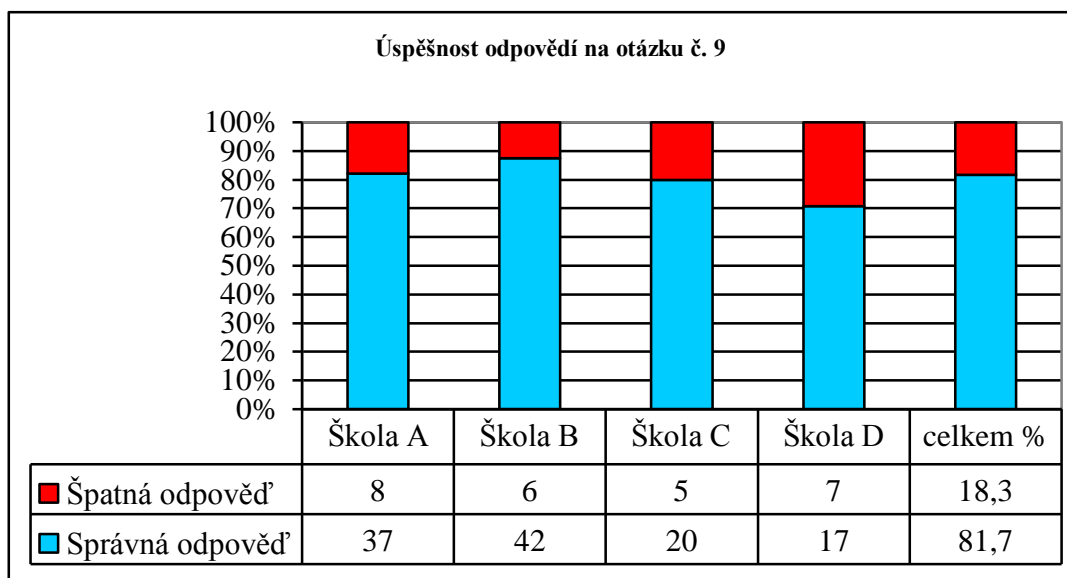
Obrázek č. 7: Graf č. 7 - Pokud se zvýší množství oxidu uhličitého (CO₂) v atmosféře, má to nějaký vliv na rostliny?

Z grafu na obr. č. 7 je patrné, že na sedmou otázku odpovědělo správně 50 žáků ze 142. Tuto hodnotu můžeme vyjádřit i procentuálně, tedy správně odpovědělo 35,2 %.



Obrázek č. 8: Graf č. 8 - Jaké změny vyvolává dlouhodobé působení přízemního ozonu (O₃) na rostliny?

Z grafu na obr. č. 8 je patrné, že na osmou otázku odpovědělo správně 104 žáků ze 142. Tuto hodnotu můžeme vyjádřit i procentuálně, tedy správně odpovědělo 73,2 %.



Obrázek č. 9: Graf č. 9 - Jaká je zdravotně hygienická funkce lesa, neboli jak les napomáhá k čistotě ovzduší?

Z grafu na obr. č. 9 je patrné, že na devátou otázku odpovědělo správně 116 žáků ze 142. Tuto hodnotu můžeme vyjádřit i procentuálně, tedy správně odpovědělo 81,7 %.

10. Jaké další plynné látky uvolňují rostliny do atmosféry, kromě oxidu uhličitého (CO₂) a kyslíku (O₂), které ovlivňují složení atmosféry? (Vypište)

Odpovědi žáků	Počet žáků
Vodní pára	60
Methan	23
Vůně	15
Zápach	8
Propan - butan	5
Odpovědi nebylo možné vyhodnotit	21
Neodpověděli	30

Obrázek č. 10: Tabulka č. 1 – Četnost odpovědí na otázku č. 10

Na otázku č. 10 odpovědělo pouze 20 žáků dvěma odpověďmi. Z důvodu složitosti vyhodnocení otázky (odpovědi vůně a zápach jsou nepřesné, mnozí žáci uvedli do odpovědi vulgární výrazy) nebylo možné tuto otázku graficky zpracovat.

5. Diskuze

Jednotlivá sledovaná témata vztahů mezi rostlinami a atmosférou se lišila podrobností zpracování, přehledností, srozumitelností a názorností - využíváním příkladů ze života, které by pomohly žákům dané téma zpřístupnit.

Nejvíce bylo vysvětleno v učebnicích první téma. Téma rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku - fotosyntéza - je vysvětleno ve všech učebnicích podrobně a srozumitelně, viz tabulky I, VI, XI, XVI, XXI, XXVI. Je nejvíce rozpracováno v učebnicích Scientia. Toto téma patří z hlediska zpracování k těm srozumitelně podaným a obsahově rozsáhlým. Také výsledky otázky č. 1 didaktického testu svědčí o tom, žáci uměli na tuto otázku o fotosyntéze odpovědět nejlépe, správných odpovědí bylo 87, 32 % ze všech respondentů viz obr. č. 1. Nejvíce správných odpovědí bylo ve škole C – 92 % a škola vyučuje podle řady učebnic SPN.

Téma dýchání je zpracováno méně podrobně, nejvíce se mu věnují učebnice řady SPN (tabulka VII) a Prodos (XII). V některých případech je téma vysvětleno na příkladu (Fortuna – příklad zrněnky, viz tabulka XXVII). Výsledky otázky č. 2 z didaktického testu byly nadprůměrné, 77,5 % respondentů odpovědělo správně, viz obr. č. 2. Nejlepší výsledky byly zaznamenány ve škole B – 83,33 %, která vyučuje podle učebnic Ekologický přírodopis nakladatelství Fortuna.

Další téma - rozklad rostlinných těl - je ve všech řadách učebnic zmíněno jen okrajově, většinou pouze jednou větou, spíše v souvislosti s jiným tématem. Nevyskytuje se v učebnicích Prodos a SPN. Výsledky otázky č. 3 z didaktického testu byly také nadprůměrné, správných odpovědí bylo 66,9 %, viz obr. č. 3. Nejlepších výsledků dosáhla škola B, a to 72,9 %, která používá učebnice nakladatelství Fortuna. Výsledky testu nepotvrzují hypotézu, že téma, které není v učebnicích podrobně zpracováno, žáci nemohou zodpovědět správně.

Vliv atmosféry na rostliny – konkrétně vliv teploty ovzduší na rostliny – je více objasněno v učebnicích Fraus (tabulka III), SPN (tabulka VIII) a Nová škola (tabulka XVIII), v ostatních řadách učebnic není samostatně realizováno. Na otázku o příjmu CO₂ rostlinami při vysokých nebo nízkých teplotách odpovědělo správně 42,9 % všech dotázaných, viz obr. č. 4. Tuto otázku nejlépe zodpověděli žáci školy C, 52 % správných odpovědí, ti jsou vyučovány podle učebnic SPN. Výsledky této otázky potvrzují hypotézu, že téma, které není v učebnicích podrobně zpracováno, žáci

nemohou zodpovědět správně.

Učebnice se více soustředí na zpracování tématu - vliv vlhkosti vzduchu, které podrobněji vysvětlují učebnice Fraus (tabulka III) a Scientia (tabulka XXIII). Tyto uvádějí obdobný příklad, a to působení vlhkosti na šišťice stromu. Fortuna (tabulka XXVIII) a Nová škola (tabulka XVIII) dané téma pouze vysvětlují. V učebnici Prodos téma nebylo samostatně zpracováno. Na otázku č. 5 - jak rostliny reagují na nízkou vzdušnou vlhkost - odpověděli respondenti správně v 54,2 %, viz obr. č. 5. Nejlépe z dotazovaných škol odpověděla škola D - 58,33 %, kde se žáci vyučují podle učebnic Fraus.

Tématu význam rostlin pro atmosféru - ochlazování atmosféry transpirací - je věnována pozornost téměř ve všech učebnicích, nejpodrobněji v SPN (tabulka X). Odpovědi na otázku o transpiraci byly průměrné, správně odpovědělo 51,4 % respondentů, viz obr. č. 6, z toho nejlépe žáci školy C, a to 56 % správných odpovědí.

Vliv hladiny CO₂ na rostliny povětšinou není uveden samostatně, nejpodrobněji je téma zpracováno v učebnicích SPN (tabulka IX). Výsledky otázky č. 7 didaktického testu dopadly z celého testu nejhůře, správně odpovědělo pouze 35,2 % žáků, viz obr. č. 7. Z toho lze usoudit, že téma je učebnicích málo zastoupeno. Nejlepší výsledky měla škola B – 37,5 %, která vyučuje podle učebnic Fortuna a škola D – 37,5 %, používá k výuce učebnice Fraus. I v tomto případě se potvrdilo, že v učebnicích málo zastoupené téma není žáky správně zodpovězeno.

Vliv znečištění ovzduší imisemi - toto téma je v současné době velmi důležité pro to, aby žáci pochopili vztah člověka k životnímu prostředí a jeho zásahy do prostředí a negativní dopady emisí a imisí. Předpokládal jsem, že se tomuto tématu budou věnovat autoři všech učebnic. Tato domněnka se splnila, téma je vysvětleno krátce a srozumitelně v 6. ročníku, navazuje se na něj podrobněji příklady v učebnicích 7. ročníku a v 9. ročníku jsou ukázány negativní dopady působení člověka na životní prostředí, jsou vysvětlovány kyselé deště apod. Tomuto tématu je tedy věnována pozornost téměř ve všech učebnicích, viz tabulky IV, IX, XIV, XXIV, XXIX. Také odpovědi na otázku č. 8 o vlivu imisí byly podle očekávání nadprůměrné, 73,2 % všech žáků odpovědělo správně, viz obr. č. 8. Nejlepší odpovědi byly zaznamenány od žáků školy B – 77,1 %, škola se učí podle učebnic řady Fortuna.

Některá témata jsou učebnicích zpracována pouze okrajově, například pohlcování polutantů – uvádějí ho jen v učebnicích SPN (tabulka X) a Fortuna (tabulka

XXX), a to velice stručně. Zajímavé je, že se tento fakt neprojevil v didaktickém testu, otázku č. 9 zodpovědělo správně 81,7 % respondentů, viz obr. č. 9. Nejlepších výsledků dosáhla škola B, která vyučuje podle učebnic řady Fortuna.

Téma výdej těkavých látek do atmosféry - je zmiňováno v učebnicích Fraus (tabulka V), SPN (tabulka X) a Nové škole (tabulka XX), hovoří se o vonných silicích. Odpovědi na tuto otázku jsem zpracoval pouze do tabulky, kde jsem znázornil četnost odpovědí žáků. Některé odpovědi nebylo možné vyhodnotit a 30 žáků na otázku neodpovědělo. Otevřená otázka byla pro žáky patrně složitá.

Vzhledem k výskytu jednotlivých témat v analyzovaných učebnicích jsem předpokládal, že s tímto budou souviset také odpovědi na didaktický test, který byl sestaven z jednotlivých témat. Podle hypotézy by nejlepší odpovědi měla být na témata, která byla v učebnicích nejpodrobněji zpracovaná, což byla fotosyntéza, dýchání, vliv znečištění ovzduší imisemi. Nejstručněji je uvedeno téma pohlcování polutantů, vliv hladiny CO₂ na rostliny a výdej těkavých látek do atmosféry. Výsledky didaktického testu částečně mé hypotézy potvrzují. Nejlépe zodpovězenou otázkou byla otázka č. 1, která se týkala fotosyntézy, nejhůře dopadla otázka č. 7, která se týkala vlivu hladiny CO₂ na rostliny. Překvapivě dobře dopadla otázka č. 9, týkající se pohlcování polutantů rostlinami, ačkoli toto téma nebylo v učebnicích nejlépe zpracované. Tento fakt může svědčit o tom, že téma je často uváděno v mediích, nebo že funkce lesa znají žáci poměrně dobře z praktického života. Výsledky monitoringu zběžných znalostí - didaktického testu - jsem zpracoval do grafů, z kterých lze porovnat výsledky jednotlivých škol podle počtu správných odpovědí. Počty správných odpovědí se vzhledem k počtu žáků zúčastněných z jednotlivých škol výrazně neliší. Podle předpokladu se lišil počet správných odpovědí v souvislosti se zpracováním v učebnicích, některá témata jsou v učebnicích uvedena podrobněji a srozumitelněji.

Pokud bych měl hodnotit výsledky didaktického testu jednotlivých zúčastněných škol, nejvyšší počet správných odpovědí dosáhla škola B, kde žáci odpověděli správně celkově pětkrát. Tato škola se vyučuje podle řady učebnic Fortuny – Ekologický přírodopis. Na druhém místě se umístila škola C, která vyučuje podle učebnic SPN a na třetím místě je škola D, která pro výuku používá učebnice Fraus. Domnívám se, že výsledky jednotlivých škol mohou být ovlivněné rozdílnými řadami učebnic. Četnost výskytu jednotlivých témat v učebnicích může tedy ovlivnit výsledky úrovně znalostí žáků.

Pro další průzkum navrhuji zaměřit se např. na správnost odpovědí podle četnosti uvádění v jednotlivých učebnicích. Po prostudování šesti řad učebnic bych některá témata navrhoval doplnit příklady z praktického života. Za úvahu stojí také rozšíření četnosti tématu vlivu rostlin na atmosféru.

6. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval tematikou vztahu mezi rostlinami a atmosférou. V první části práce je uvedena teorie vztahující se k této tematicce, postupně byla zpracována témata: rostliny ve vztahu ke koloběhu uhlíku, vliv atmosféry na rostliny a význam rostlin pro atmosféru.

Další část bakalářské práce je věnována monitoringu výskytu jednotlivých okruhů v učebnicích přírodopisu šesti řad, a to učebnicích Fraus, Nová škola, Scientia, Prodos, Fortuna a SPN. Výskyt témat je zaznamenán do tabulek, v nichž může být frekvence jednotlivých okruhů porovnána.

Poté byl výzkum zaměřen na ověření spontánních znalostí žáků 9. ročníků základní školy pomocí didaktického testu, který obsahoval deset otázek. Jednotlivé učebnice se ve zpracování sledovaných témat poměrně neliší, některá témata jsou ve všech učebnicích zpracována podrobně, například fotosyntéza, dýchání a vliv imisí na rostliny. Další témata jsou ve všech učebnicích zpracována jen okrajově, což je např. výdej těkavých látek, vliv hladiny CO₂ na rostliny a pohlcování polutantů. S tím souvisejí i odpovědi na didaktický test, při nichž byl ve větší míře potvrzen předpoklad, že podrobněji zpracovaná témata budou mít větší četnost výskytu správných odpovědí, kdežto témata zpracována pouze okrajově, budou zodpovězena nesprávně. Nejlépe se ze všech sledovaných respondentů odpovídali ti, kteří se vyučují podle Ekologického přírodopisu nakladatelství Fortuna.

7. Seznam použité literatury

Dengler N. G., R. E. Dengler, P. M. Donnelly, M. F. Filosa, 1995: Expression of the C4 pattern of photosynthetic enzyme accumulation during leaf development in the C4 dicot, *Atriplex rosea*. *American Journal of Botany* 82: 318–328.

Gunthardt-Goerg M. S., Mcquattie C. J., Maurer S., Frey B., 2000: Visible and microscopic injury in leaves of five deciduous tree species related to current critical ozone levels. *Environmental Pollution*, 109, 89-500.

Hrudová E., 2011: Abionozologie pro rostlinolékaře. [cit. 14. 5. 2012]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index.htm

Jarvis. P. G. (Ed.), 1998: *European Forests and Global Change. The Likely Impacts of Rising CO₂ and Temperature*. Cambridge: Cambridge University Press, UK, 383 pp.

Kabata-Pendias A., Pendias H., 2001: *Trace elements in soils and plants*. 3rd ed., Boca Raton, Florida, CRC Press, 413 s.

Kincl M., Krpeš V., 2006: *Základy fyziologie rostlin*. Ostrava, 220 s.

Kravčík M. a kol., 2001: *New theory of global warming, Strategies and technologies for Agenda 21 Implementation, Sustainable development international*, ICG Publishing Ltd, 53-57.

Lange O. L., Lösch R., Schulze, E. D., Kappen K., 1971: Response of stomata to changes in humidity. *Planta* 100: 76-86.

Larcher W., 1988: *Fyziologická ekologie rostlin*. Praha: Academia, 368 s.

Lösch R., 1977: Responses of stomata enviromental factors experiments with isolated epidermal strips of *Polypodium vulgare*. I. Temperature and humidity. *Oecologia* 29:85-97, Schulze, E. D. et. al., 1972: Stomatal responses of intact growing plants to changes in humidity. *Planta* 108: 259-270.

Lum K. R., Kokotich E. A., Schroeder W. H., 1987: Bioavailable Cd, Pb and Zn in wet and dry deposition. *Sci. Total Environ.*, 63: 161-173.

Marek M. V. a kol., 2011: *Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu*. Praha: Academia, 253 s.

Marschner H., 1995: *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, London, 889 s.

McMurtrie, R., et. al., 2008: Why is plant growth response to elevated CO₂ amplified when water is limiting, but reduced when nitrogen is limiting? A growth-optimisation hypothesis. *Functional Plant Biology* 35, 521-534.

Meidner H., Mansfield T. A., 1968: *Physiology of stomata*. New York: Ronald Press.

- Nátr L., 2000: Koncentrace CO₂ a rostliny. Praha: ISV, 257 s.
- Nátr L., 2008: Metan – rostliny a klima: Živa, 2/2008. [cit. 20. 5. 2012]. Dostupné z: http://www.natr.cz/publikace_casopisy/ZIVA_02_2008_Metan_natr.pdf
- Nátr. L., 2006: Země jako skleník. Proč se bát CO₂? Praha: Academia, 144 s.
- Nátr. L., 2011: Příroda, nebo člověk? Služby ekosystémů. Praha: Karolinum, 349 s.
- Novotný R., a kol., 2009: Metodika hodnocení viditelného poškození vegetace vyvolaného účinky přízemního ozonu. Lesnický průvodce 6/2009. [cit. 1. 6. 2012]. Dostupné z: http://www.vulhm.cz/sites/File/vydavatelstva_cinnost/lesnicky_pruvodce/lp_2009_06.pdf
- Ochodek T., Koloničný J., Branc M., 2007: Metodická příručka ke studii - Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu. VŠB – TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, 31s.
- Oulehle F., Hruška J., 2009: Lesy v globálním koloběhu uhlíku. Vesmír 88, 496, 2009/7. [cit. 15. 5. 2012]. Dostupné z: <http://www.vesmir.cz/clanek/lesy-v-globalnim-kolobehu-uhliku>
- Pavlová L., 2005: Fyziologie rostlin. Praha: Karolinum, 254 s.
- Penka M., 1985: Transpirace a spotřeba vody rostlinami. Praha: Academia, 256 s.
- Penka M., 1990: Lesnická botanika – I. Základy ekofyziologie rostlin – 2. svazek. Praha: SPN, 193 s.
- Pokorný J., 1997: Opomíjená makroenergetika krajiny. Ekologie a společnost, VII(6), 5-7.
- Pokorný R. a kol., 2001: Growth and transpiration of Norway spruce trees under atmosphere with elevated CO₂ concentration. Ekológia-Bratislava, 20, 14-28.
- Procházka S. a kol., 1998: Fyziologie rostlin. Praha: Academia, 484 s.
- Sheriff D. W., Key P. E., 1977: The response of diffusive conductance in wilted and unwilted *Atriplex hastata* L. leaves to humidity. Z. Pflanzenphysiol. 83: 463-466.
- Schulze, E. D. et. al.: The role of air humidity and leaf temperature in controlling stomatal resistance of *Prunus armeniaca* L. under desert conditions. I. A simulation of the daily course of stomatal resistance. Oecologia 17: 159-170. 1974; II. The significance of leaf water status and internal carbon dioxide concentration. Oecologia 18: 219-233, 1975
- Slavík B., 1973: Transpiration resistances in leaves of maize grown in humid and dry air. In: Slatyer O. R. (ed.): Plant response to climatic factors. UNESCO. Paris. Pp. 267-

- 269, Ståfelt M. G., 1929 : Die Abhängigkeit der Spaltöffnungsreaktionen von der Wasserbilanz. *Planta* 8: 287-340.
- Slavík B., a kol., 1965: *Metody studia vodního provozu rostlin*. Praha: ČSAV, 302 s.
- Slavíková J., 1986: *Ekologie rostlin*. Praha: SPN, 368 s.
- Ståfelt M. G., 1955: The Stomata as a hydrophotic regulator of the water deficit of the plant. *Physiol. Plant.* 8: 572-593.
- Šebánek J. a kol., 1983: *Fyziologie rostlin*. Praha: SZN, 560 s.
- Šíř a kol., 2004: Autoregulace hydrologického cyklu. [cit. 20. 5. 2012]. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/sbornikRackova03/sections/4/Sir.pdf>
- Šíř M., Tesař M. a kol., 2002: Regulační role rostlin v hydrologickém cyklu pramenných oblastí. In Hurlalová, T. et al. (eds): *Sborník konference „X. Posterový deň s medzinárodnou účasťou: Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra“*, Ústav hydrológie SAV.
- Tesař M. a kol. 2001: Soil water regime in head water regions-observation, assesment and modelling. *J. Hydrol. Hydromech.*, 49, 6, 355 – 375.
- Tlustoš P. a kol., 2006: Mechanismus příjmu rizikových prvků rostlinami a jejich hromadění v biomase. [cit. 14. 5. 2012]. Dostupné z: http://www.phytopsanitary.org/projekty/2005/VVF_05_2005.pdf
- Uhlířová H. a kol., 2003. Oxidační stres v podmínkách horských smrčín. *Zprávy lesnického výzkumu*, 48: 200-205.
- Urban O., 2003: Physiological impacts of elevated CO₂ concentration ranging from molecular to whole plants responses. *Photosynthetica* 41, 9-20.
- Večeřa Z., 2001: Isoprenoidy v atmosféře: *Chemické listy* 95. [cit. 20. 5. 2012]. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/archiv/2001/03-PDF/157-162.pdf>
- Zak D. R., 2000: Elevated atmospheric CO₂ fine roots and the response os soil microorganisms: A review and hypothesis. *New Phytologist* 147, 201-222.
- Žalud Z., 2010: *Bioklimatologie (doprovodné texty k přednáškám)*, Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav agrosystémů a bioklimatologie. [cit. 1. 6. 2012] Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_217_multitext/ke_stazeni/bioklimatologie/bioklimatologie_texty.pdf

Seznam použitých učebnic

- Cílek V. a kol.: 2000: Přírodopis IV. pro 9. ročník základní školy. Praha: Scientia, 136 s.
- Čabradová V. a kol.: 2003: Přírodopis pro 6. ročník základní školy a primu víceletého gymnázia. Plzeň, Fraus, 120 s.
- Čabradová V. a kol.: 2005: Přírodopis 7 učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia. Plzeň: Fraus, 128 s.
- Čabradová V. a kol.: 2007: Přírodopis 9 učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia. Plzeň: Fraus, 128 s.
- Černík V. a kol.: 1997: Přírodopis 1 pro 6. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: SPN, 112 s.
- Černík V. a kol.: 1997: Přírodopis 2 pro 7. ročník základní školy, botanika. Praha: SPN, 80 s.
- Černík V. a kol.: 1998: Přírodopis 8 r. ZŠ – Biologie člověka. Praha: SPN, 80 s.
- Černík V. a kol.: 2010: Přírodopis 9 pro základní školy - Geologie a ekologie. Praha: SPN, 104 s.
- Dobroruka L. a kol.: 1998: Přírodopis II pro 7. ročník základní školy. Praha: Scientia, 152 s.
- Dobroruka L. a kol.: 2001: Přírodopis III pro 8. ročník základní školy. Praha: Scientia, 159 s.
- Dobroruka L. a kol.: 2010: Přírodopis I pro 6. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: Scientia, 128 s.
- Drozdová E., 2000: Přírodopis 8 – biologie člověka. Brno: Nová škola, 136 s.
- Havlík I., 1998: Přírodopis 6 učebnice pro 6. ročník. Brno: Nová škola, 80 s.
- Havlík I., 1999: Přírodopis 7 učebnice pro 7. ročník. Brno: Nová škola, 88 s.
- Jurčák J. a kol.: 1997: Přírodopis 6. Olomouc: Prodos, 128 s.
- Jurčák J. a kol.: 1998: Přírodopis 7. Olomouc: Prodos, 144 s.
- Kantorek J. a kol.: 1999: Přírodopis 8. Olomouc: Prodos, 128 s.
- Kvasničková D. a kol.: 2000: Ekologický přírodopis pro 8. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: Fortuna, 40 s.
- Kvasničková D. a kol.: 2002: Ekologický přírodopis pro 9. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: Fortuna, 112 s.

- Kvasničková D. a kol.: 2004: Ekologický přírodopis pro 7. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: Fortuna, 96 s.
- Kvasničková D. a kol.: 2009: Ekologický přírodopis pro 6. ročník základní školy a nižší ročníky víceletých gymnázií. Praha: Fortuna, 128 s.
- Matyášek J., 2010: Přírodopis (učebnice vytvořená v souladu s RVP ZV) pro 9. ročník, Geologie a ekologie učebnice. Brno: Nová škola, 132 s.
- Vaněčková I. a kol: 2006: Přírodopis 8 učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia. Plzeň: Fraus, 128 s.
- Zapletal J. a kol: 2000: Přírodopis 6. Olomouc: Prodos, 95 s.