

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta pedagogická

Katedra biologie

ROSTLINY A STRES: KYSELÉ DEŠTĚ
(didaktické zpracování tématu na úrovni střední
školy)

Diplomová práce

Autor: Jan Hradecký

Vedoucí práce: Mgr. Rostislav Černý, CSc.

České Budějovice 2008

ANOTACE

Jan Hradecký

Vedoucí DP: Mgr. Rostislav Černý, CSc.

Jihočeská univerzita, pedagogická fakulta, katedra biologie

Studijní obor: Učitelství biologie a tělesné výchovy pro střední školy

Diplomová práce 2008

Rostliny a stres: Kyselá dešť (didaktické zpracování tématu na úrovni SŠ)

V teoretické části je zpracováno téma Rostlina a stres, které popisuje reakce rostlin nejen na působení kyselého deště, ale také na působení různých jiných stresorů. Kyselému dešti je věnována celá kapitola, která zpracovává hlavní problémy spojené s jejich vlivem na rostliny. Dále je udělán rozbor středoškolské literatury, která se daným tématem zabývá.

Práce zahrnuje nejen teoretickou část, týkající se daného tématu, ale její součástí jsou výkladový list, pracovní listy, listy laboratorních prací a kontrolní opakovací test. Výkladový list slouží učitelům, jako výukový materiál, pracovní listy jsou doprovodné listy k výkladu a slouží studentům jako studijní materiál, listy laboratorních prací vedou studenty při praktickém ověřování a kontrolní test na závěr shrnuje, co si studenti zapamatovali.

Annotation

Jan Hradecký

Thesis manager: Mgr. Rostislav Černý, CSc.

University of South Bohemia, Pedagogical faculty, Department of Biology

Field of study: Teaching of Biology and Physical Education at High-Schools

Diploma thesis 2008

Plants and Stress: Acid Rains (Methodical Processing of the Subject at the Level of High-Schools)

The theoretical part of this thesis deals with the topic of Plants and Stress describing and discussing not only reactions of plants to acid rains, but also to exposure to other various kinds of stress. The topic of acid rain is discussed in an entire chapter in which the main problems caused by its influence on plants are described. This is followed by a dissection of high-school literature and sources that are focused on the subject.

Apart from the theoretical part, the thesis also contains: 1) an explanatory sheet to be used by teachers as a teaching material; 2) students' worksheets to support teachers' explanation and to be used as subsequent learning materials; 3) laboratory exercise worksheets designed to lead students during a practical examination; 4) a final test checking what students have learned.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Rostliny a stres: kyselá dešť (didaktické zpracování tématu na úrovni střední školy)“ vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Rostislava Černého, CSc. a použil jen literatury uvedené v seznamu literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Litvínově dne 24. března 2008

Podpis:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Mgr. Rostislavu Černému, CSc. za trpělivost, obětavou pomoc a odborné vedení, které mi poskytl při vypracování mé diplomové práce.

OBSAH

| | |
|--|----|
| 1. Úvod | 8 |
| 2. Teoretický přehled | 9 |
| 2.1 Rostlina a stres | 9 |
| 2.1.1 Stres a stresor v rostlinné říši | 9 |
| 2.1.2 Působení vnějších negativních faktorů na rostliny, abiotické stresory | 13 |
| 2.1.2.1 Půda | 13 |
| 2.1.2.1.1 Živiny | 13 |
| 2.1.2.1.2 Nedostatek kyslíku | 16 |
| 2.1.2.1.3 Toxické látky | 16 |
| 2.1.2.1.4 Kyselé půdy | 18 |
| 2.1.2.2 Voda | 20 |
| 2.1.2.2.1 Vodní stres – sucho | 20 |
| 2.1.2.3 Vzduch | 21 |
| 2.1.2.3.1 Teplota | 21 |
| 2.1.2.3.2 Záření | 22 |
| 2.1.2.3.3 Obsah škodlivých plynů | 23 |
| 2.1.3 Odezvy rostlin na biotické stresory, biotické stresory | 25 |
| 2.1.3.1 Antropogenní vlivy | 25 |
| 2.1.4 Stres rostlin v přírodních podmínkách | 26 |
| 2.1.4.1 Vliv větru | 26 |
| 2.1.4.2 Sníh, laviny, led a námraza | 26 |
| 2.1.4.3 Vodní režim v extrémeh | 27 |
| 2.2 Kyselý déšť | 27 |
| 2.2.1 První poznatky o kyselém dešti | 27 |
| 2.2.2 Co je kyselý déšť | 28 |
| 2.2.2.1 Jiné znečišťující látky | 29 |
| 2.2.2.2 Měření kyselosti | 30 |
| 2.2.2.3 Kritické zátěže | 30 |
| 2.2.3 Jak kyselý déšť ovlivňuje svět kolem nás | 31 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.2.3.1 | Narušení rovnováhy života | 32 |
| 2.2.3.2 | Okyselení půd | 32 |
| 2.2.3.3 | Poškození lesů | 34 |
| 2.2.3.4 | Ohrožení našich zdrojů potravy | 35 |
| 2.2.3.5 | Škody na našem zdraví | 36 |
| 2.2.4 | Řešení problému | 37 |
| 2.2.4.1 | Šetření energií a alternativní zdroje energie | 37 |
| 2.2.4.2 | Omezení emisí SO ₂ z průmyslových zdrojů | 38 |
| 2.2.4.3 | Snížení emisí NO _x z elektráren | 38 |
| 2.2.4.4 | Snižování emisí motorových vozidel | 39 |
| 2.3 | Analýza středoškolských učebnic k tématu Stres rostlin vlivem kyselých dešťů | 40 |
| 3. | Metodika | 43 |
| 4. | Výsledky | 45 |
| 4.1 | Výkladový text pro učitele | 45 |
| 4.1.1 | Úvodní poznámka k textu | 45 |
| 4.1.2 | Vlastní výkladový text | 46 |
| 4.1.3 | Výkladový text v praxi | 58 |
| 4.2 | Pracovní list | 59 |
| 4.2.1 | Úvodní poznámka k pracovnímu listu | 59 |
| 4.2.2 | Pracovní list (prázdný) | 60 |
| 4.2.3 | Pracovní list číslo 1 (doplňný) | 64 |
| 4.3 | Zásobník laboratorních prací | 68 |
| 4.3.1 | Zhodnocení laboratorních prací | 77 |
| 4.4 | Opakovací test pro střední školu | 79 |
| 4.4.1 | Opakovací test pro střední školu (nevyplněný) | 79 |
| 4.4.2 | Opakovací test pro střední školu (vyplněný) | 81 |
| 4.4.3 | Výsledky opakovacího testu | 83 |
| 5. | Diskuze | 87 |
| 6. | Závěr | 90 |
| 7. | Seznam použité literatury | 91 |

1. ÚVOD

V současné době se trendy ve vzdělávání na středních školách ubírají určitým směrem, který si školy tvoří samy. Některé školy se ubírají cestou uměleckou, jiné se zabývají například ekologií. V souvislosti s tvorbou školních vzdělávacích programů (ŠVP) podle schválených rámcových vzdělávacích programů (RVP) je všem školám umožněno směřovat své studenty směrem podle vlastního uvážení, čímž vyvstává možnost do jisté míry ovlivnit myšlení studentů.

Téma této diplomové práce vyplynulo ze současných globálních problémů lidstva, jako jsou například oteplování planety, růst populace, znečišťování vod a v neposlední řadě také kyselá deště. Situace ve světě je dnes taková, že nestačí pouze práce jedince k tomu, aby se zlepšily životní podmínky a problémy, které souží populaci Země. Pokud chtějí lidé zlepšit své životní podmínky a zachránit okolní přírodu, musí se s tím začít už od útlého věku. Toto myšlení se musí budovat již u žáků základních a středních škol.

Snahou této diplomové práce je navrhnout pracovní listy pro žáky středních škol. Touto formou se práce snaží přiblížit studentům problematiku kyselých dešťů a názorně ukázat, jakým způsobem jsou rostliny kyselými srážkami ovlivňovány a jak se jim brání. Kyselá deště jsou problémem, za který si lidé mohou sami. Hlavní příčinou kyselé deponice je totiž vliv na přírodu, který se nazývá antropogenní, vliv člověka. Rostliny jsou stejně jako živočichové vystaveny stresovým faktorům prostředí. Těmto faktorům se pak brání pomocí stresové reakce, jejíž schéma je v práci také rozepsáno.

2. TEORETICKÝ PŘEHLED

Cílem tohoto snažení je přiblížit studentům jeden z globálních problémů lidstva a ukázat jim, jak tento problém ovlivňuje svět kolem nás, především pak rostliny. Jedná se o působení kyselých dešťů na rostliny. Rostliny se tímto působením dostávají do stavu, který lze nazvat stresem.

2.1 Rostlina a stres

2.1.1 Stres a stresor v rostlinné říši

Co ve skutečnosti znamená stres pro rostliny a co může stres způsobit? Trpí vůbec rostliny stresem? Dovedou se rostliny stresu bránit, dokáží se mu přizpůsobit nebo jednoduše uhynou?

Rostliny jsou v průběhu svého života vystaveny velmi proměnlivým podmínkám vnějšího prostředí. Ty mohou nejen zpomalovat jejich životní funkce, ale také poškozovat orgány a v krajním případě vést i k jejich uhynutí. Nepříznivé vlivy vnějšího prostředí závažně ohrožující rostlinu se označují jako stresové faktory - stresory. Termín stres je obvykle používán pro souhrnné označení stavu, ve kterém se rostlina nachází pod vlivem stresorů. Nejde při tom nikdy o nějaký ustálený a snadno definovaný stav, ale spíše o dynamický komplex mnoha reakcí. (Procházka a kol., 2003)

Životní prostředí rostlin je charakterizované vnějšími podmínkami, které jsou buď pro jejich růst, vývoj a rozmnožování vhodné anebo jsou méně vhodné a nutí rostliny měnit a přizpůsobit se stávajícím podmínkám prostředí. Ke změnám morfologie a funkcí dochází nejen pod vlivem proměnlivého prostředí, ale někdy i v optimálních podmínkách např.: u některých genetických mutací. Změny rostlin, které jsou v obou případech spojené s vlivem stresorů, ale probíhají na různých úrovních se nazývají modifikace a mutace. (Bláha, 2003)

Modifikace je nedědičná fenotypická změna, která trvá do vyznění příčiny, jež ji způsobuje. Rostlina například změní habitus pod vlivem vnějších podmínek, ale její

potomstvo má původní tvar těla. Modifikace může být často velice výrazná. Ukázkou toho je například vodní rostlina lakušník vodní (*Batrachium aquatile*), která tvoří morfologický typ listu podle toho, zda je rostlina pod vodou, na vodě či nad vodou. Pod vlivem vnějšího prostředí jsou často vytvářeny i velice neobvyklé tvary, jak je patrné například u kořenového systému buku lesního (*Fagus sylvatica*) v místě postiženém erozí v lokalitě u Hukvald. (Bláha, 2003)

Mutace je naopak trvalá genetická změna, tj. změna, která se předává na potomstvo. Mimo jinou řadu příčin může být také způsobena vlivem stresorů, kdy tlak vnějšího prostředí je tak velký, že dosavadní fyziologický stav rostliny je již nevýhodný pro dané prostředí. (Bláha, 2003)

Nepříznivé vlivy vnějšího prostředí mohou zpomalovat životní funkce rostlin, poškozovat jednotlivé orgány rostlin či dokonce navodit odumření rostliny. Podle Bláhy (2003) „Každý rostlinný druh toleruje určité rozpětí jednotlivých faktorů a interval mezi maximální a minimální tolerovanou hodnotou se nazývá ekologická valence faktoru. Optimum je taková hodnota faktoru, při které se organizmus nejlépe vyvíjí. Optimum nemusí být vždy uprostřed ekologické valence, vlivem konkurence se často posouvá a může být i značně blízko letálních hranic.“

Pro jednotlivé vlivy prostředí lze s určitou opatrností stanovit meze, které už nejsou pro vývoj a růst rostliny optimální. Na živé organismy však nikdy nepůsobí pouze jednotlivé faktory vnějšího prostředí, ale celý komplex vlivů, abiotických (fyzikálních a chemických) a biotických faktorů (živých organismů, včetně člověka), které vstupují do vzájemných interakcí. Proto není možné definovat přesně hranici, kdy se jedná jen o silný tlak komplexu negativních vnějších podmínek, vůči kterým je rostlina ještě přizpůsobena a je schopna se s nimi v průběhu vegetace vyrovnat, a od kdy již rostlina strádá, tj. kdy je již nutná obranná reakce rostliny či dokonce změna genetické výbavy. (Bláha, 2003)

Negativní vnější vlivy – stresory, působí na celou rostlinu, tj. na kořeny, nadzemní část i na vyvíjející se semena. Rostliny, respektive rostlinné druhy, jsou přizpůsobeny k vykonávání všech velmi důležitých životních funkcí za poměrně značného kolísání faktorů vnějšího prostředí. Při působení stresorů může rostlina dosáhnout nového rovnovážného stavu na základě činnosti kompenzačních procesů. Při nezvládnutí vlivu stresorů dojde až k uhynutí rostliny. (Bláha, 2003)

„Negativní fyzikální a chemické vlivy vnějšího prostředí (abiotické stresory) a negativní biologické vlivy (biotické stresory) se mohou uplatňovat vnitrodruhově (intraspecificky) mezi rostlinami stejného druhu nebo mezidruhově (interspecificky) mezi

rostlinou a ostatními organizmy, zejména viry, bakteriemi, houbami, hmyzem, jinými rostlinnými druhy, vyššími živočichy a člověkem. Působení biotických a abiotických stresorů se často vzájemně doplňuje. Výsledkem je pak oslabená rostlina s méně kvalitním semenem. Stresory se tak nepřímo projevují i v životních pochodech rostlin následující generace, přestože již původní negativní vlivy již nepůsobí,“ píše Bláha (2003).

Pokud proměnlivost negativních faktorů vnějšího prostředí překročí určitou mez = toleranci rostliny, lze hovořit o působení stresu na rostliny. To znamená, že se objeví poruchy struktur jednotlivých funkcí a následně i orgánů rostliny. Stres je tedy definice stavu, v němž se rostlina nachází pod vlivem stresorů, jak bylo již řečeno. (Bláha, 2003)

Skupina reakcí, které se spustí pod vlivem stresorů, se nazývá stresová reakce. Součástí stresové reakce jsou čtyři: poplachová fáze, restituční fáze, fáze rezistence a fáze vyčerpání. (Procházka a kol., 2003)

Poplachová fáze je zahájena bezprostředně po účinku stresoru, někdy také kombinací stresorů, kdy jsou jejich působením narušeny buněčné struktury a životní funkce rostliny. V restituční fázi, nedojde-li ovšem k překročení letální meze rostliny a k jejímu úhynu, začnou pracovat kompenzační mechanismy. Tyto mechanismy směřují ke zvýšené odolnosti rostliny ve fázi rezistence vůči působícím stresorům. Při dlouhodobém a intenzivním vlivu stresorů nemusí být zvýšená odolnost rostliny vždy trvalého charakteru a může dojít opět k jejímu poklesu ve fázi vyčerpání. (Bláha, 2003)

Bláha (2003) toto shrnuje následovně: „Výsledkem stresové reakce je určitá úroveň adaptační schopnosti. Při zvýšení úrovně odolnosti vůči abiotickým faktorům, které může být třeba jen přechodné, se užívá názvu aklimatizace. Řada rostlinných druhů se dokáže vyhnout působení stresů, většinou však se rostlina pokouší o nastolení tolerance vůči stresu.“

Z hlediska obecně biologického rozděluje Bláha (2003) působení stresoru na různých úrovních rostliny a v různých časových úrovních takto:

- na úrovni organely: působí na úrovni aktivity jejích enzymů. Řádově se jedná o změny ve zlomcích sekund, které stačí na podstatné ovlivnění funkcí organely,
- na úrovni buňky či pletiva: jedná se většinou o období hodiny až týdne, které je nezbytné na podchycení a změření reakce rostliny,
- na úrovni individuální rostliny: konečný efekt se zde měří většinou po delším časovém úseku, obvykle po roce, což představuje životní cyklus rostliny nebo vegetační období rostliny,

- na úrovni celého rostlinného společenstva: zde se jedná o mnohaletou záležitost,
- na úrovni ekosystému: zde jsou většinou změny sledovatelné řádově až po stovkách let.

Nutné je také zmínit, že veškeré biologické regulace adaptací rostlin ve stresových podmínkách se uskutečňují vždy na molekulární úrovni. Vliv stresorů má význam pro vývoj jedinců (ontogenezi) a pro fylogenezi (kmenový vývoj) druhů. Důležité je také uvědomění si, že co je pro jeden rostlinný druh jako stresové prostředí nebo faktor, může být pro jiný rostlinný druh jako naprosto přirozený faktor. Například rozchodník (*Sedum*) nalezneme na vyschlých a vysluněných skalách, kde nenajdeme třeba sítinu (*Juncus*). (Bláha, 2003)

Podle Bláhy (2003) se často zapomíná na to, že rostlina nemá pouze nadzemní viditelnou část, ale i neméně důležitý kořenový systém, na který působí také řada nejrůznějších stresorů. Jen pro představu Bláha (2003) uvádí pokus, jako příklad některých stresorů, na kořenový systém pšenice: „Na kořenový systém pšenice jsem použil jako stresový faktor sucho a nízké pH. Jedna rostlinka vyrůstala ve zcela přirozených podmínkách a druhá ve změněných. Výsledky byly zcela jasné, ve stresových podmínkách byl kořenový systém méně vyvinutý než v podmínkách přirozených.“

Kořeny jsou stresory ovlivňovány stejně jako ostatní části rostliny. V nepříznivých podmínkách u kořenového systému dochází ke změnám v příjmu živin, které se často projeví i změnou části nadzemní, což však v tomto případě je až změna druhotná. Dochází pak k tomu, že z nadzemní části rostliny se přesouvají zásobní látky, které jsou pak využívány na tvorbu nových kořenů. Vlivem stresorů se tedy mění i jednotlivé znaky kořenů. Tyto změny pak mohou ovlivnit i vlastnosti semen, zejména u citlivějších druhů. Mění se také poměr kořenů a nadzemní části rostliny. (Bláha, 2003)

„Kořeny tedy ovlivňují růst nadzemní biomasy a nepřímo se podílí na formování generativních orgánů, s čímž souvisí i vlastnosti semen a následně celé generace. Semena ze stresovaných rostlin jsou obvykle méně nebo úplně neživotoschopná, často se změnami anatomické stavby, především v části oplodí a osemení. Ovlivněna je také energetická zásoba embrya. Změna vlastností semen, která jsou pod vlivem negativních vnějších podmínek, má za následek také změnu všech fyziologických funkcí rostlin následné generace,“ píše Bláha (2003).

Obecně řečeno, rostlina čelí stresovým situacím tak, že existují společné obranné reakce u rostlin, jako je tvorba stresových proteinů, stresových fytohormonů a

osmoregulačních sloučenin s ochrannou funkcí, které vznikají nebo se aktivují při působení abiotických a biotických stresorů.

2.1.2 Působení vnějších negativních faktorů na rostliny, abiotické stresory

2.1.2.1 Půda

2.1.2.1.1 Živiny

Půda je přírodní útvar, který je představován systémem minerálních látek tvořeným za účasti klimatu, povětrnostních vlivů a živých organismů, zvětráváním geologického substrátu z povrchových zvětralin zemské kůry a zbytku organismů. Jedná se o velice složitý komplex anorganických a organických součástí přírody. Struktura, složení a vlastnosti půdy jsou dány vzájemným působením jednotlivých složek. (Hnilička, 2003)

V půdě se vyskytuje celá řada prvků pocházejících z mateční horniny. Ty, které rostlina využívá pro svoji výživu ve větším množství, jsou označovány jako makrobiogenní prvky (makroelementy). Ionty prvků, které rostlina potřebuje ke svému životu pouze ve stopových množstvích, jsou mikrobiogenní prvky (mikroelementy). Důležité pro růst a vývoj rostliny je, aby tyto skupiny živin byly v půdě zastoupeny v optimálním poměru a formě. (Hnilička, 2003)

Procházka a kol. (2003) popisuje stav živin v půdě a jeho vliv na metabolismus následovně: „Mimořádné předávkování živinami má za následek podobné efekty jako například přesolení. Naopak nedostatek živin se projevuje tím, že limitujícím faktorem pro rostlinu je vždy prvek, který je minimálně dostupný, což vyplývá ze zákona minima. Důležitý je vliv extrémních hladin živin na metabolismus rostlin, který může ovlivnit jak metabolické procesy, tak také kvalitu semen. Významnou roli zde hraje především dusík, který ovlivňuje nejen obsah energie, ale také právě kvalitu semen. Je známo, že jak extrémně vysoká, tak i nízká hladina dusíku vede k průkaznému snížení fotosyntézy a tím i tvorby asimilátů.“

Nedostatek dusíku se projevuje nápadně na vzhledu rostliny. Bez dusíku se nemohou syntetizovat bílkoviny, rostliny vytvářejí malé listy a celá rostlina je zakrnělá. Malé rostlinky rostou pomalu a listy postupně blednou, až nakonec zelená barva listů přejde ve žlutou, která je projevem odumírání listu. Další projev nedostatku dusíku se pozná podle růstu a vývoje

kořenů, které jsou u mladých a vyvíjejících se rostlin nitkovité, kdežto při jeho dostatku jsou krátké, silné a bílé. Dochází také k redukci tvorby semen. Vzniklá semena jsou drobná, méně kvalitní, s nižší klíčivostí. (Larcher, 1988)

Nadbytek dusíku se u rostlin projevuje bujným růstem listů. Listy mají až namodralou barvu, jsou méně vyvinuté a vodnaté. Pletiva listů a stonků jsou řídká, dřevité části stonků špatně vyzrávají a rostliny poléhají, protože neudrží přebujené listy. Rostliny nekvetou nebo shazují nedostatečně vyvinuté květy. Projev na kořenech je patrný jejich zkrácením. (Hnilička, 2003)

Nedostatek fosforu se projevuje již v nejranějších stádiích vývoje rostlin. Listová zeleň má zarudlý odstín, listy se prodlužují, jejich žilnatina je slabá a málo vyzrálá. U starších rostlin listy od špiček hnědnou, zasychají a rychle odumírají, podobně jako by měly nedostatek vody. Kořeny jsou v tomto případě nažloutlé a málo rozvětvené. (Hnilička, 2003)

Nadbytek fosforu Hnilička (2003) popisuje takto: „Nadbytek tohoto prvku způsobuje poruchy v přijímání vápníku a hořčíku. Listová zeleň mezi žilkami listů mizí v ostrůvcích a tvoří se mozaika bledých skvrn. Později tyto skvrny hnědnou a v místě hnědých skvrn se listová čepel rozpadá a vytvářejí se otvory. Celé listy pak zasychají a opadávají.“

Nedostatek vápníku je možné v současné době spatřit u zemědělských plodin. Jeho projevy jsou patrné především na kořenech. Nemá-li rostlina dostatek vápníku, jsou její kořeny krátké, velmi rozvětvené, nitkovité a s rozšířenými konci. Celé mladé listy zasahuje žloutenka, u starších listů postupuje žloutenka mezi žilky. Výhonky rostlin hnědnou, pak zčervenají a nakonec hynou. (Hnilička, 2003)

Nadbytek vápníku se v přirozených podmínkách v půdě projevuje složením rostlinného společenstva. Rostliny zde trvale rostoucí jsou na půdní poměry s vyšším obsahem vápníku adaptovány a naopak půdy tohoto typu jsou pro ně žádoucím prostředím. Nadbytek vápníku se může projevit u rostlin, které se sem dostávají z jiných biocenóz a mají jiné nároky na půdní složení. (Hnilička, 2003)

Larcher (1988) zmiňuje: „Kalcifyty neboli kalcifilní rostliny (vápnobytné nebo kalcitrofní rostliny) jsou rostliny, které rostou výhradně na stanovištích, kde je matečnou horninou vápenec (CaCO_3), a nerostou na podkladech silikátových. Mezi kalcifilní rostliny je možné zařadit například pěchavu vápnomilnou (*Sesleria caerulea*) nebo lomikámen latnatý (*Saxifraga paniculata*).“

Jiná skupina rostlin roste pouze na místech s nevápenatým povrchem. To jsou rostliny kalcifobní (vápnostřezné). Mezi tyto rostliny patří např. rosnatka okrouhlohlístá (*Drosera rotundifolia*) nebo vřes obecný (*Calluna vulgaris*). (Larcher, 1988)

Základním projevem nedostatku síry je chloróza mladších listů. Působí-li nedostatek síry delší dobu, celé listy začínají žloutnout. Procházka a kol. (2003) poznamenávají, že deficit síry u rostlin je vzácný, což uvádí do spojitosti s kyselými dešti. Při nadbytku síry přestávají listy růst, jsou malé s namodralým odstínem, a stonky rostlin zatvrdnou. Při trvalejším nadbytku síry se listy stáčejí dovnitř, vytvářejí se na nich hrbolky a od okrajů hnědnou. Špičky výhonků jsou světle žluté. (Hnilička, 2003)

K významným prvkům patří železo. U železa je důležité, v jaké iontové formě (jaké je jeho mocenství) se nachází. Dvojmocné železo (Fe^{2+}) je v porovnání s trojmocným železem (Fe^{3+}) toxické i v malých koncentracích. Procházka a kol. (2003) zdůrazňuje, že železo je v rostlině a půdě zcela nezbytné pro tvorbu chlorofylu. V případě jeho nedostatku jsou rostliny chlorotické. Škodlivý vliv nadbytku železa se projevuje až při dlouhodobém působení, kdy se rostlina brání tvorbou četných kořenů. Nestačí-li tento obranný mechanismus, rostlina hyne. (Hnilička, 2003)

Dalším důležitým prvkem je hořčík. Procházka a kol. (2003) píše: „Význam hořčíku v půdě je mnohostranně spojen s fotosyntézou, a to nejen jako složky chlorofylu, ale také pro jeho podíl při utváření gran v chloroplastech, kde je lokalizováno až 20% veškerého Mg.“ Hnilička (2003) popisuje nedostatek hořčíku v rostlinách velmi charakteristickým jevem, nazývaným intervenální chloróza, která se začíná projevovat u starších tj. spodních listů. Je patrné žloutnutí mezi žilnatinou na listové čepeli, žlutá barva se mění na oranžovou a přes oranžovou až na koncovou fialovou. To končí nektrózou listu.

Vedle makrobiogenních prvků rostlina potřebuje ke svému růstu a metabolismu i prvky mikrobiogenní, jinak také stopové. Jsou to takové prvky, které rostlina potřebuje jen ve velmi malém množství. (Larcher, 1988)

Hnilička (2003) mezi tyto prvky řadí například bór. Z kovů do této skupiny patří například měď a zinek. Nedostatky těchto prvků se dají také pozorovat vizuálně a projevují se především chlorózou.

Kromě obsahu živin můžeme z chemických a fyzikálních vlastností půdy, které významně ovlivňují růst a vývoj rostliny, uvést mimo jiné i nedostatek kyslíku v půdních pórech, přítomnost toxických látek, půdní reakci (pH faktor), obsah solí apod. Tyto uvedené vlastnosti půdy ovlivňují jednotlivé životní pochody rostlin.

2.1.2.1.2 Nedostatek kyslíku

Nedostatek kyslíku, neboli anoxie, vzniká zavodněním nebo utužením půdy (např. u jílovitých půd – těžké půdy), způsobuje zpomalení růstu kořenové soustavy a omezení celé řady rostlinných funkcí a vlastností. (Hnilička, 2003)

K anoxii dochází tím, že kyslík je z půdních kapilár vytěsněn vodou, k čemuž dochází jednak při dlouhodobém působení vody v období záplav, ale také při krátkodobém podmáčení při oblevách nebo dlouhotrvajících deštích. To způsobuje zhoršený transport kyslíku a pokles jeho koncentrace. Pokud je půda zcela bez kyslíku, začínají převládat v půdní mikroflóře anaerobní mikroorganismy a tím i redukční reakce. Výsledkem těchto procesů je pak hromadění dvojmocného železa, manganu, kyseliny mléčné, kyseliny máselné a ovlivnění koloběhu dusíku. (Hnilička, 2003)

Některé rostlinné druhy se dokázaly nedostatku kyslíku v zavodněné půdě velice dobře přizpůsobit. Dle Larchera (1988) jde především o mokřadní rostliny a rostliny z lužních lesů jako rákos obecný (*Phragmites australis*), puškovec obecný (*Acorus calamus*), sítiny (*Juncus*) a dřeviny porostů mangrovů, které jsou adaptovány na dlouhodobé zaplavení a tedy půdní anoxii.

Hnilička (2003) píše, že tyto rostliny se adaptují vytvořením systému intercelulár (mezibuněčných prostor) tvořících až 60% z celkového objemu pletiv ve stoncích a kořenech. Porosty mangrovů se podmínkám periodického zaplavení půdy přizpůsobily tím, že mají vytvořeny kolíkovité dýchací kořeny (pneumatofory), vysokou osmotickou hodnotu buněčné šťávy a nízkou transpiraci, tedy výdej vody v podobě vodní páry přes průduchy a kutikulu a přebytečné soli zkrátka vyplavují.

Podobně jako u zaplavených půd lze pozorovat adaptační efekt i u půd utužených. Utužená půda a s ní související nedostatek kyslíku je stresorem městské zeleně. Podle Hniličky (2003) je následkem nedostatku kyslíku u městských rostlin špatný zdravotní stav a hynutí stromů. Dochází k uhnívání kořenů, které může být příčinou ztráty stability a pádu stromu.

2.1.2.1.3 Toxické látky

V důsledku okyselování půd se do půdního roztoku stále častěji uvolňují ionty těžkých kovů, zejména Cd, Pb, Hg, Zn a Ni, které jsou s výjimkou velmi nízkých koncentrací pro rostliny toxické. (Larcher, 1988). Hnilička (2003) uvádí: „Půdy s vyšší koncentrací iontů

těžkých kovů se objevují na matečných horninách, které jsou z našeho hlediska obvykle rudami. Přítomnost těchto kovů narušuje otevírání průduchů, narušuje dýchání, snižuje fotosyntézu a růst, atd. Na takových půdách rostou pouze specializované rostliny, nazývané obvykle metalofyty a jsou využívány jako indikátory těchto hornin.“

Procházka a kol. (2003) uvádí: „Toxické kovy, zejména zinek, olovo a kadmium, se dostávají do půdy ve větších množstvích usazováním prachu z průmyslových procesů, z výfukových plynů, z kontaminovaných odpadních vod a hnojiv.“

Rostliny, které rostou s přirozeně vysokou koncentrací těžkých kovů, si vytvořily adaptační mechanismy. Jedním ze způsobů zneškodnění těžkých kovů je jejich zabudování do buněčné stěny nebo jejich vazba na chemické komplexy uvnitř buňky. Komplexně vázané toxické ionty jsou transportovány do vakuoly, kde jsou inaktivovány vysokou koncentrací organických kyselin. (Hnilička, 2003)

Podle Hniličky (2003) se rostlina na jedné straně sama brání toxickým účinkům těžkých kovů, ale na druhé straně existuje zajímavý předpoklad, že některé rostliny dovedou využít tento stresující faktor ve svůj prospěch. Do svého těla kumulují velké množství těžkých kovů, a tím se stávají méně chutnými pro býložravce. Tato schopnost je založena geneticky, může však být upravena adaptačně.

Jedním z nejrizikovějších těžkých kovů je olovo. Z těžkých kovů je nejrozšířenější a vyskytuje se v půdě, vodě i biosféře. Olovo se do ekosystému dostává se srážkami. Průmysl, aplikace průmyslových hnojiv, pozemní, ale i letecká doprava, jsou hlavními zdroji kontaminace přírody olovem, za kterou je zodpovědná lidská společnost. Olovo se v rostlině ukládá v buněčné stěně, a tím se znemožňuje jeho pohyb uvnitř rostliny. V malých koncentracích může olovo stimulovat růst. Ve vyšších koncentracích narušuje metabolismus vápníku, snižuje příjem oxidu uhličitého, působí na buněčné dělení a omezuje příjem vody. Velmi vysoké koncentrace olova vedou ke vzniku chlorózu a listy jsou zakrnělé. Kromě zvýšeného obsahu olova uvnitř rostliny, může být kontaminován olovem i povrch těla rostliny. (Hnilička, 2003)

Hnilička (2003) píše o dalším prvku: „Mezi prvky, které negativně ovlivňují rostliny patří i hliník (Al). Hliník jako prvek patří mezi nejčastěji se vyskytující kovy zemské kůry, přičemž se jeho rozpustnost výrazně zvyšuje s klesajícím pH prostředí. Při pH nižším než 4,5 se objeví v půdním roztoku rozpustné sloučeniny a ionty hliníku uvolněné z půdních struktur, které jsou pro mnohé organizmy toxické již v mikromolárních koncentracích. Proto se v kyselých půdách stal hliník jedním z hlavních toxických faktorů prostředí pro pěstování

kulturních rostlin. Kyselost půdy se může zvyšovat buď přirozeně, vyplavováním zásaditých iontů z půdy nebo nesprávnými agrotechnickými zásahy a kyselými dešti.“

Toxicita hliníku je faktor, který nejvíce limituje růst a produktivitu rostlin na kyselých půdách, jichž je na Zemi přes 40% veškeré orné půdy (Kochian, 1995 cit. Procházka a kol., 2003).

Mezi první viditelné příznaky stresu hliníkem tedy patří zpomalení až zastavení růstu kořenů a jeho morfologické změny. Změny v morfologii kořenů se mohou projevit již několik hodin po aplikaci hliníku. Zastavení tvorby kořenových vlásků, zvýšené zakládání bočních kořenů, značně dezorganizovaná struktura a inhibice růstu jsou charakteristické pro rostliny pěstované v podmínkách, kdy stresorem je hliník. Kořenové vrcholy postupně žloutnou, hnědnou až černají. Kromě inhibice růstu primárních kořenů způsobuje hliník u nadzemních částí rostliny černání žilnatiny listů, listových stopek a stonků. U prvních dvou listů se objevuje chloróza, tmavozelené zbarvení ostatních listů a jejich stáčení. (Hnilička, 2003)

2.1.2.1.4 Kyselé půdy

Kyselé půdy, tedy půdy s nízkým pH, což je symbol pro vyjádření koncentrace vodíkových iontů záporným exponentem, který vyjadřuje stupeň kyselosti nebo zásaditosti půdního prostředí. Půdy s nízkým pH způsobují redukcii kořenové hmoty, příjmu živin a vody a omezují jejich distribuci do jednotlivých částí rostlin. V přirozených podmínkách je většina půd v humidních (vlhčích) oblastech mírně kyselá až neutrální. Extrémně kyselou půdní reakci mají v přírodě například vrchovištní rašeliny a výrazně zásaditou reakci mají slané a alkalické půdy aridních (suchých) oblastí. Půdní reakce je podmíněna nejenom složením půdy v závislosti na matečné hornině a jiných vnějších přirozených faktorech, ale je také významně ovlivněna činností člověka. (Hnilička, 2003)

Je obecně známo, že: „Okyselování půd je celosvětovým problémem. V současnosti na Zemi kyselé půdy představují přibližně jednu miliardu hektarů půd. Část z nich je možno rekultivovat a využít pro zemědělství. Česká republika má podle literárních pramenů přibližně 30% kyselých půd,“ jak také uvádí Hnilička (2003).

Hnilička (2003) upozorňuje: „Snižování hodnot půdní reakce vlivem zemědělské výroby je způsobeno mnoha faktory, jakými jsou např. kyselá deště. Neměli bychom však také zapomínat, že pH není hodnotou stálou, ale je to dynamicky se měnící hodnota, která je spojena i se střídáním ročních období, se srážkami a teplotou v dané oblasti. Půdní reakce se také mění v závislosti na jednotlivých půdních horizontech. Je známo, že v humidních

oblastech bývají působením dešťových srážek vyplavovány kationty do nižších vrstev půdy, čímž dochází ke snížení pH půdy na jejím povrchu. V aridních oblastech, kde naopak dochází ke vzlínání vody a rozpuštěných minerálů, se pH půdy naopak zvyšuje.“

Kořeny mají v případě nízkého pH v porovnání s rostlinami ze standardních podmínek změněnou morfolgickou strukturu. V tomto případě dochází k omezování délky kořenového systému a tvorby kořenového vlášení. Zmenšení kořenového systému u citlivějších rostlin má za následek snížení suchovzdornosti rostlin v době vegetace. (Hnilička, 2003)

Při porovnání působení nízkého pH na kořenový systém byly objeveny rozdíly v toleranci mezi rostlinami. I když většina rostlin je amfitolerantních, tj. jsou schopny existovat v širokém rozpětí pH faktoru, nejlépe se vyvíjejí a rozmnožují při určitých hodnotách pH faktoru. Rostliny, podle stupně tolerance k půdní reakci, je možné rozdělit do tří základních skupin.

- první skupina je představována rostlinami kterým vyhovuje pH do 6,7. Tyto rostliny nazýváme acidofyty (acidofilní rostliny). Do této skupiny je možné zařadit třeba kostřavu ovčí (*Festuca ovina*), biku hajní (*Luzula luzuloides*), rosnatku okrouhlostou (*Drosera rotundifolia*), ale také rašeliníky (*Sphagnum spp.*). Vřes obecný (*Calunna vulgaris*) a janovec metlatý (*Sarothamnus scoparius*) se vyvíjejí nejlépe při pH 4 až 5, ale porostou i při neutrální půdní reakci a snesou i reakci slabě zásaditou,

- další skupina rostlin, která je v našich podmínkách nejrozšířenější, nejlépe roste při pH kolem 7,0. rostliny z této skupiny nazýváme neutrofyty, čili rostliny neutrofilní,

- poslední skupina rostlin roste nejlépe v prostředí, kde je pH od 7,2. Rostliny na základě uvedené půdní reakce nazýváme alkalofyty nebo bazifyty (alkalofilní čili bazifilní rostliny). Mezi alkalofyty je možné zařadit ostřici nízkou (*Carex humilis*), bělozářku liliovitou (*Anthericum liliago*), třemdavu bílou (*Dictamnus albus*) a podběl lékařský (*Tussilago farfara*). Jsou bazitolerantní a nejpříznivější pH je pro ně v oblasti neutrální až zásadité. Ze zemědělských plodin je to různé. Vůči nízkému pH je rezistentní hrách (*Pisum sativum*) a naopak je velmi citlivá kukuřice (*Zea mays*). Obecně platí, že při půdním pH pod hodnotu 5, je již snížen výnos u většiny plodin. (Hnilička, 2003)

Hnilička (2003) popisuje: „Rostliny při poklesu pH omezují své základní metabolické procesy. Při nepříznivé půdní reakci se uzavírají průduchy, a tím se zákonitě sníží rychlost fotosyntézy a transpirace. Rychlost fotosyntézy je dále limitována tvorbou chlorofylů, která se také snižuje. V důsledku omezení fotosyntézy dochází i k omezení růstu nadzemní biomasy a tvorby výnosu. Rostliny rostoucí na kyselých půdách, jsou adaptovány především k tolerování nepříznivých vlivů nízkého pH, jako je tolerance k vysoké koncentraci hliníku, manganu a železa.“

2.1.2.2 Voda

2.1.2.2.1 Vodní stres – sucho

Sucho, nedostatek vody, nebo-li vodní stres, je nejvíce limitující stresor pro rostliny. Snižuje aktivitu všech enzymů v rostlině a zpomaluje růst rostliny. Příčinou nedostatku vody dostupné pro rostliny jsou nejčastěji klimatické poměry a průběh počasí. Vlastní příjem vody rostlinou je závislý také na obsahu živin a solí v půdě, ale i na půdní reakci. Vodní stres je často ovlivněn i zasolením. (Larcher, 1988)

Při působení vodního stresu se snižuje především růst a fotosyntéza. Důležitou úlohou vody je udržování turgidity. Důležitá role turgoru je při otevírání průduchů, pohybu listů a květních obalů. Je známo, že při snižování turgoru dochází nejdříve k redukci prodlužování listů a teprve později k redukci fotosyntézy. Růst je tedy na snižování turgoru citlivější než fotosyntéza. (Hnilička, 2003)

„S rychlostí fotosyntézy souvisí i transpirace. V případě, že v humidních oblastech není k dispozici dostatek srážek, počínají rostliny omezovat otevírání průduchů a zkracují i dobu jejich otevření,“ zveřejňuje Hnilička (2003).

Rostlina může trpět suchem např. v zimním období. Nedostatek vody je dán tím, že rostliny nejsou schopny přijímat vodu v pevném stavu, ale pouze v kapalném skupenství. Voda zmrzlá v půdě a obsažená ve sněhové pokrývce je pro ně nepřístupná. Proto často v zimních měsících nedojde ke zmrznutí rostlin, spíše k jejich vyschnutí. Rostliny suchých oblastí se s vysycháním vypořádaly pomocí specializovaných pletiv, v nichž mohou uchovávat vodu. (Larcher, 1988)

2.1.2.3 Vzduch

2.1.2.3.1 Teplota

Sluneční záření není pro rostliny pouze zdrojem světelné energie, ale mění teplotu vzduchu obklopujícího rostliny a ohřívá i jejich povrch. Na rostliny nepůsobí jen teploty v optimálních hranicích, ale také teploty extrémní. Rostliny mohou být poškozovány jak teplotami vysokými, tak i teplotami blízkými 0°C či pod bodem mrazu, kdy hovoříme o chladu nebo mrazu. (Larcher, 1988)

„Jednotlivé rostlinné orgány jsou různě tolerantní vůči teplotním stresorům. Obecně lze říci, že generativní orgány jsou extrémními teplotami více poškozovány než orgány vegetativní. Je známo, že květenství v přezimujících pupenech a semeníky v květech reagují velice citlivě na nízké teploty. Na straně druhé nejsou k extrémně vysoké teplotě květy citlivější než listy. Dormantní semena, tedy semena v klidovém stavu, jsou odolná, ale již klíčící semena a vzcházející rostliny již tuto vlastnost ztrácejí. Kořeny a podzemní části stonku jsou citlivější na oba teplotní extrémy. Pupeny v porovnání s listy zase vykazují vyšší odolnost, a tak bychom mohli pokračovat dále,“ píše Hnilička (2003)

Nízká teplota

Většina rostlin našeho klimatického pásma může být vážně poškozena za teplot pod bodem mrazu, kdy skupenská změna stavu vody má dalekosáhlý vliv na všechny fyziologické funkce. Přesto i u nás se můžeme setkat s druhy, u kterých již při mnohem mírnějším poklesu teplot (pod + 10°C) lze pozorovat stresové reakce. (Procházka a kol., 2003)

Hnilička (2003) konstatuje: „Při působení nízkých teplot rostlina zrychluje dýchání, jako důsledek působení stresoru. Dýcháním se rostlina snaží kompenzovat poškození a přizpůsobit se novým podmínkám, dochází však k porušení rovnováhy mezi jednotlivými metabolickými pochody a v důsledku toho odumírání buněk. Nízké teploty také snižují fotosyntézu a transpiraci, průduchy se totiž za chladu otevírají pouze částečně.“

Vysoká teplota

Dalším stresorem působícím na rostliny je vysoká teplota.

Při zvýšení teploty zhruba nad 40°C dochází u většiny druhů rostlin k zásadním změnám ve fyzikálně-chemických vlastnostech buněčných membrán a proteinů, které přestávají plnit své základní funkce. „K nejdříve postiženým pravidelně patří tylakoidní membrány v chloroplastech,“ tvrdí Procházka a kol. (2003)

Podle Hniličky (2003) dochází za vysoké teploty k uzavírání průduchů, kterými rostlina reguluje transpiraci. Na druhé straně se sníží příjem CO₂ a tedy i rychlost fotosyntézy a poté i růst rostlin. Sníží se aktivita dýchání. Aklimatizační reakce začíná již za hodinu po začátku působení stresoru.

Rostlina se brání přehřátí redukcí tepla. Teplo je rostlina schopna redukovat odrazem záření a ochlazováním v průběhu transpirace. Rostliny jsou schopny stáčet listy tak, aby na ně dopadlo co nejméně slunečního záření (např. *Eucalyptus*). Dále jsou některé rostlinné druhy schopny skládat listové čepele k sobě nebo ohýbat listy. V průběhu transpirace rostlina nejenom vydává vodu, ale ve svém bezprostředním okolí zvyšuje relativní vlhkost vzduchu a tedy zároveň i okolní vzduchovou masu ochlazuje. (Hnilička, 2003)

2.1.2.3.2 Záření

Rostliny, tak jako živočichové, vnímají chemické složení ovzduší, intenzitu a kvalitu dopadajícího slunečního záření, ale také vlivy počasí, a pod. Ve srovnání s živočichy si rostliny musely vytvořit vlastní adaptační mechanismy, aby byly schopny přežít i v extrémních teplotách či intenzitách slunečního záření. Podobné situace řeší živočichové přemístěním se, ale rostlinám není takový pohyb umožněn. (Larcher, 1988)

Sluneční záření a jeho spektrální složení je pro rostliny zdrojem nejenom tepelné energie, ale také energie nutné pro fotosyntézu. Přesto můžeme hovořit o stresu způsobeném slunečním zářením. Stres vyvolaný slunečním zářením je možné rozdělit do dvou skupin. První skupina je představována extrémními hodnotami intenzity slunečního záření pro danou určitou rostlinu. Druhou skupinu stresorů představuje ultrafialové záření. (Hnilička, 2003)

V závislosti na světle dělíme rostliny na světlomilné a stínomilné. Rostliny světlomilné jsou adaptovány na vyšší světelnou intenzitu. Listy světlomilných rostlin mají vertikálně umístěné chloroplasty. Další rozdíly proti stínomilným rostlinám je možné nalézt v anatomické stavbě listu. U těchto rostlin mají listy silnější epidermis, vyšší palisádové buňky, silnější vrstvu mezofylových buněk a také silnější buněčné stěny a více škrobových zrn v chloroplastech. Dále mají listy relativně více trichomů. Jak je tedy patrné, je mezi

rostlinami stínomilnými a světломilnými celá řada anatomických i morfologických rozdílů. (Hnilička, 2003)

Hnilička (2003) poukazuje na to, že i světломilné rostliny mohou být poškozeny vyšší intenzitou světelného záření, na kterou jsou v přírodních podmínkách běžně adaptovány. Stane se to například tehdy, když si předpěstujeme sadbu rostlin v přistíněném skleníku či v bytě. Rostlina pak vytvoří typ listu přizpůsobený na stín a na prudkém slunci dochází k poničení pletiv. Naopak rostliny přizpůsobené vysoké intenzitě světla a přenesené do podmínek silně zastíněných, nemají dostatečně vysokou intenzitu fotosyntézy a mohou být v růstové depresi. Nadměrné světelné záření pochopitelně ničí i pletiva světломilných rostlin, pokud překročí meze tolerance rostliny.

Obranný mechanismus rostlin spočívá např. ve stáčení celých listů nebo jsou v buňkách chloroplasty umístěny hranou k záření. Dále je rostlina schopna vytvořit povrchy s vysokou odrazivostí či naopak povrchy, které propouštějí málo záření. Při vysoké intenzitě světla dále dochází k uzavírání průduchů a působení i na světlosběrný systém a elektronové transportní řetězce a může tedy docházet ke snižování intenzity fotosyntézy. (Hnilička, 2003)

2.1.2.3.3 Obsah škodlivých plynů

Oxid siřičitý, oxidy dusíku, fluorovodík a ozón

Na rostlinu nepůsobí z atmosférických jevů pouze sluneční záření, ale také obsah a koncentrace látek v ovzduší a ozón. Škodlivé látky se do ovzduší dostávají nejenom z přirozených zdrojů, jako jsou např. přirozené požáry savan, lesů, vulkanická činnost sopek či samovolný únik plynů z rašelinišť, ale také průmyslovou činností člověka. Činností člověka se do atmosféry dostávají především oxidy síry, dusíku a dříve používané freony. Obecně některé z těchto látek nazýváme skleníkové plyny. K poškození rostlin těmito škodlivými látkami dochází při součinu jejich koncentrace a doby působení. Tento vztah je však lineární pouze v jistém rozmezí, přičemž spodní hranice je určována prahovou koncentrací. V současné době je velká pozornost věnována těm látkám, které se do ovzduší dostávají činností člověka. (Larcher, 1988)

Nejvýznamnějším takovým stresovým faktorem je bezesporu oxid siřičitý – SO₂. Rostliny mají epidermální (pokožkové) buňky kryté voskovou kutikulou, která představuje efektivní bariéru pro vstup SO₂ a většiny znečišťujících látek do rostliny, určitou výjimku

tvoří oxidy dusíku. Hlavní vstupní branou pro SO_2 jsou průduchy, kterými se v průběhu dne při vhodné vlhkosti, dostává tento plyn do buněk. Při určité vlhkosti vzduchu způsobuje i nízká koncentrace oxidu zvětšování svěracích buněk a následné otevření průduchů. Tímto způsobem se do buňky dostane velké množství oxidu siřičitého a rostlina zároveň ztratí transpirační množství vody. (Hnilička, 2003)

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 ionty, jejichž naprostá většina vstupuje do chloroplastů. Tam se v menších koncentracích neprojevují škodlivě, neboť za dostatku záření dochází právě v chloroplastech k redukci anorganických sloučenin síry a k jejich zabudování do organických vazeb. Ve vyšší koncentraci však siřičitanové ionty blokují činnost karboxylačního enzymu RUBISCO, a tím je inhibován i průběh sekundárních procesů fotosyntézy. (Procházka a kol., 2003)

Hnilička (2003) doplňuje: „Thylakoidní membrány se zvětšují a u některých rostlinných druhů dochází ke zmenšování či zcela k vymizení gran. Počíná se také měnit tvar chloroplastů. Jestliže stres pokračuje, stává se stroma drsnějším, v konečném stádiu dochází k degradaci chlorofylu. Na základě těchto změn v anatomické stavbě chloroplastů, dochází ke snižování intenzity fotosyntézy, která může být také porušena poškozením fotosyntetických přenašečů elektronů.“

Mezi další škodlivé faktory je možné zařadit oxidy dusíku a fluorovodík. Ve většině případů dochází k akutnímu poškození, které je na první pohled patrné. Jedná se především o ztrátu listové zeleně, neboť dochází k etiolizaci, tj. odbarvení listů, a dále k výskytu plošných nekrotických pletiv a orgánů či odumření celých rostlin. Stromy mají oslabený růst a zejména menší kambiální přírůstky. V průběhu let řídne olistění a dodávka vody letorostům ve vrcholcích korun je stále obtížnější. Usychají větve a postupně odumírá celý strom. (Hnilička, 2003)

Aklimatizační reakce zahrnuje zvýšení aktivity enzymů metabolismu síry a také zvýšení tlumící (pufrační) kapacity buněk. Tato kapacita je závislá na dostatečném zásobení rostliny bazickými kationty (Ca^{2+} , Mg^{2+}). Nedostatek těchto prvků je běžný na acidifikovaných půdách, ke kterým patří většina našich lesních půd. (Procházka a kol., 2003)

2.1.3 Odezvy rostlin na biotické stresory, biotické stresory

Biotické faktory jsou vlastně živé organismy, které obývají určité životní prostředí a vstupují do různých vztahů s ostatními organismy a prostředím. Ovlivňují se v rámci jednoho druhu i mezidruhově a svými životními aktivitami mění i neživé prostředí, které osidlují. Podle vlivu na ostatní jedince či populace dělíme vztahy mezi nimi obecně na neutrální, pozitivní nebo negativní. Jsou-li účinky určitých organismů na jiné organismy negativní, pak o nich hovoříme jako o biotických stresorech. Mezi biotické stresory je možné zařadit patogenní organismy, jako jsou např. viry, bakterie, houby, také ale hmyzí a živočišné škůdce a samozřejmě i rostliny. Jedním z největších biotických stresorů je člověk. (Hnilička, 2003)

Organismy se ovlivňují v rámci jednoho druhu i mezidruhově. Vnitrodruhové vztahy rostlin jsou mezi jedinci jednoho druhu, kdy se jedná nejčastěji o vztahy reprodukční, ale mohou mít i jiný charakter a přecházet v celé škále od neutrálních přes pozitivní až po antagonistické, vrcholící v konkurenčním boji o živiny, prostor a sluneční záření. Mezidruhové vztahy pak Hnilička (2003) definuje jako vztahy mezi jedinci či populacemi rozličných druhů.

Jako nejpodstatnější biotický faktor pro tuto diplomovou práci je uveden člověk a jeho vztah k prostředí.

2.1.3.1 Antropogenní vlivy

Antropogenní vlivy nelze jednoznačně označit jako negativní vztahy mezi člověkem a ostatní přírodou. Mezi antropogenní vlivy lze zahrnout i vztahy pozitivní a neutrální. Pokud člověk má úlohu stresora a vstupuje do negativních vztahů s ostatními organismy, pak je to hlavní rozsah a komplexnost vlivů člověka, která povyšuje záporné antropogenní vlivy na nejdůležitější negativní biotické vztahy a člověka samotného na nejdůležitější biotický stresor přírody. Prostřednictvím zemědělství, průmyslu, urbanizace a dopravy ovlivňují lidé globální život na Zemi. Činností člověka jsou znečišťovány povrchové i podzemní vody a atmosféra, je znehodnocována půda, narušována ozónová vrstva a jsou zásadně ovlivňovány přirozené ekosystémy. Každý rok díky člověku ubývá množství druhů organismů a snižuje se tím druhová rozmanitost biocenóz na Zemi. (Hnilička, 2003)

2.1.4 Stres rostlin v přírodních podmínkách

2.1.4.1 Vliv větru

Vítr působí stresem na rostliny mechanicky vysušováním a v součinnosti s unášenými prachovými částicemi tzv. korazí (obrušování pomocí např. unášeného písku). Účinek větru se nejsilněji projevuje na volných planinách, na hřebenech a návětrných úbočích hor. Nad hranicí lesa v tzv. pásmu "boje" se vyskytují ojedinělé stromy, jejichž koruny bývají silně pokrouceny a větve směřují ve směru převládajících větrů. Vytvářejí se tak vlajkové formy dřevin. Lesní hranice bývá často snížena na hřebenech a vrcholcích, které nedosahují výšky lesní hranice dané geografickou polohou. Jedním z hlavních důvodů bývají větry a tento jev se nazývá vrcholový fenomén. (Holubec, 2003)

2.1.4.2 Sníh, laviny, led a námraza

S přibývajícím nadmořskou výškou a zeměpisnou šířkou nabývá na významu sníh jako ekologický faktor. Vysoká a setrvalá pokrývka zajišťuje rostlinám stabilní podmínky, ochranu proti nízkým teplotám a stabilizuje vodní režim. Nadnulové teploty však při dlouhotrvající sněhové pokrývce, zejména v nižších polohách, umožňují růst některým patogenním houbám jako je plíseň sněžná (*Fusarium nivale*). V našem subkontinentálním klimatu sněhová pokrývka opakovaně několikrát během zimy taje a znovu mrzne, dochází k lokálnímu přemokření horní vrstvy půdy nad zamrzlým horizontem a zamrzání rostlin do ledu. Tyto sekundární projevy nestálé sněhové pokrývky stresují rostliny, poškozují pletiva citlivých rostlin a jsou bránou infekce pro mikroorganismy. (Holubec, 2003)

Významným stresovým faktorem pro dřeviny jsou námrazy a mrznoucí déšť. Námrazy a jinovatky jsou běžné v našich horách na větrných stanovištích. Visí na větvích ve směru větru jako záclony. Mrznoucí déšť obaluje větve čirým ledem o mocnosti i přes 10 cm a způsobuje svojí velkou vahou ještě větší škody než námrazy. (Holubec, 2003)

Podle Larchera (1988) obecně platí: „Se zvyšující se nadmořskou výškou nebo zeměpisnou šířkou v arktických a antarktických polohách rostliny zmenšují rozměry a zaujmají kompaktnější polštářovitý charakter růstu. Četné druhy po vyrašení ale pozdním jarním mrazům podléhají.“

2.1.4.3 Vodní režim v extrémech

Voda a teplo podmiňují pásmovité rozložení vegetace (zonaci) na zemském povrchu i střídání různých společenstev o různých nárocích na vlhkost. Množství vody, které rostlina má k dispozici v půdě, během roku kolísá a rostliny jsou tomuto kolísání přizpůsobeny. Podle nároků na vodu se rostliny dělí na tři základní skupiny: vlhkomilné (hygrofyty), suchomilné (xerofyty) a se středními nároky (mezofyty). (Holubec, 2003)

„Rostliny si vytvořily mnoho důmyslných adaptací na ekonomické hospodaření s vodou. Uchování vázané vody v pletivech sukulentů umožňuje vodní pletiva v listech, stoncích, kmenech nebo kořenech. Během deštivého období rostliny načerpají vodu do vakuol, která se za sucha postupně uvolňuje a rostliny ztrácejí turgor nebo se srašťují. Za suchého období jsou schopny vodu minimálně odpařovat a průduchy otevírají v noci. V našich podmínkách jsou to především tučnolisté netřesky (*Sempervivum sp.*) a rozchodníky (*Sedum sp.*)“ uvádí Holubec (2003).

2.2 Kyselý déšť

2.2.1 První poznatky o kyselém dešti

Průmyslový věk nám přinesl hospodářský, sociální i technologický pokrok. Přinesl ale také kyselý déšť. Hlavní vinu na tom má rostoucí tempo spalování fosilních paliv při získávání tepla a elektřiny i to, že jsme stále větší měrou závislí na používání motorových vozidel.

Kyselý déšť není novým jevem. Robert Agnus Smith, který jako první dozíral na znečišťování ve Spojeném království (Velké Británie a severního Irsku), již v roce 1872 vydal 600 stránkovou knihu o tomto problému. Když objevil souvislost mezi zčernalou oblohou nad průmyslovým Manchesterem v Anglii a silně kyselými dešťovými srážkami, začal používat termín kyselý déšť. Ale Smithovy myšlenky zůstaly bez povšimnutí a uplynulo téměř sto let, než se tomuto jevu začala znovu hlouběji věnovat pozornost. (Sawyer, 1990)

Za počátek odhalení účinků kyselého deště je tak obecně považován článek švédského vědce Svante Odéna, který v roce 1967 publikoval ve stockholmském deníku Dagens Nyheter

zjištění, že dešť je kyselý v důsledku lidské činnosti, a že ryby z mnoha jezer zmizely kvůli okyselení vody kyselým deštěm. Pikantní na tomto zjištění byla skutečnost, že ve Švédsku se nikdy uhlí nepálilo a domácí zdroje emisí byly v málo zalidněné a vždy k přírodě přátelské zemi velmi malé. Osudné okyselení jezer v celé jižní Skandinávii bylo způsobeno kyselým deštěm, který se do těchto zemí dostával dálkovým přenosem zejména z Velké Británie, Polska a Německa, tedy ze zemí s průmyslem postaveným na energii získané pálením uhlí v elektrárnách. (Hruška, 2001)

Většina zemí však v kyselém dešti a okyselování prostředí problém neviděla. Teprve v roce 1979 došlo k prvním mezinárodním krokům zaměřeným k omezení kyselého deště. Cílem těchto kroků bylo omezit emise síry a dalších znečišťujících látek v Evropě. (Sawyer, 1990)

2.2.2 Co je kyselý dešť

Fosilní paliva, která se ukládala po tisíciletí, obsahují chemické prvky jako uhlík (C), uhlovodíky (C_xH_4), síru (S) a dusík (N), které se kdysi nahromadily v tělech původních živých organismů. Při spalování paliv (např. uhlí, ropy, topných olejů a plynu) unikají oxidační produkty obsahující oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhličitý a uhelnatý ve formě kouřových plynů. (Sawyer, 1990)

Hlavními zdroji kyselého deště jsou oxid siřičitý (SO_2), který vzniká zejména spalováním uhlí, a oxidy dusíku (NO_x), jež dnes vznikají hlavně spalováním v automobilových motorech. (Hruška, 2001)

SO_2 je bezbarvý plyn dráždící dýchací cesty, který vypouštějí především elektrárny, průmyslové a výrobní závody při spalování uhlí a topných olejů. Uniká také z hutí při vypalování železných i jiných kovových rud. V neposlední řadě je zdrojem SO_2 také sopečná činnost. Dobře se rozpouští ve vodě a tento roztok se dále chová jako slabá kyselina. (Vacík a kol., 1995)

Zdroje sloučenin NO_x jsou přirozené a antropogenní. Za přirozený zdroj dusíkatých sloučenin v atmosféře je pokládána bakteriální, sopečná a bouřková činnost a další procesy probíhající v biosféře. Antropogenními zdroji jsou spalovací procesy, zejména spalování fosilních paliv a automobilová doprava, důležitým zdrojem dusíkatých sloučenin, zejména amoniaku, je také zemědělství. (Hůnová, 2004)

Sawyer (1990) uvádí: „Jako NO_x označujeme tři sloučeniny dusíku a kyslíku (NO , N_2O a NO_2), což jsou též bezbarvé plyny vznikající při spalování uhlí, topných olejů a ropy. NO_x unikají jak ze stacionárních zdrojů, například elektráren, tak z motorových vozidel.

Znečišťující atmosférické příměsi se během svého transportu atmosférou působením řady fyzikálních a chemických procesů přeměňují a postupně jsou z atmosféry odstraňovány ve formě suché nebo mokré atmosférické depozice. Suchá atmosférická depozice ukládá atmosférické příměsi na zemský povrch působením sedimentace, adsorpce, absorpce a dalších fyzikálních pochodů ve formě plynné nebo ve formě částice, tzv. pevného spadu. Část atmosférických příměsí je z atmosféry vymývána tzv. mokrymi procesy buď vymýváním oblačnými elementy, nebo vymýváním padajícími srážkami. S oběma formami se pak na povrchu setkáváme ve formě tzv. mokrého spadu, označovaného též jako kyselý déšť.

Mokrý spad se projevuje též ve formě mlhy, kterou označujeme jako horizontální srážky. Při vysoké koncentraci síranu a dusičnanů mohou vznikat jemné částice, které spolu s prachem nebo sazemí tvoří tzv. aerosoly. Kolem nich se mohou srážet drobné vodní kapičky, které tvoří mlhu. Tyto kapičky jsou mnohem menší než normální dešťové kapky a pomocí běžných dešťoměrů je nelze prokázat.

K suchému spadu dochází obecně velmi blízko u zdrojů emise. Mokrý spad se často projevuje až tisíce kilometrů po směru větru od zdrojů emise. Jinými slovy, kyselý déšť může být „vyvážen“ jednou zemí a „dovážen“ jinými zeměmi. S ohledem na typ počasí a geografickou polohu exportují některé země soustavně podstatně více nečistot než jich importují a naopak.“

Nejdůležitější roli v okyselování půd mají kyselina sírová a kyselina dusičná. Přítomnost těchto kyselin ve srážkové vodě snižuje pH srážek (tedy je okyseluje). Po dopadu na zem startuje kyselá srážková voda řetěz reakcí vedoucí k okyselení půd a povrchových vod, tedy ke stavu zvanému acidifikace. Zelenka (2000) charakterizuje acidifikaci jako snižování pH dané složky prostředí (voda, půda), nejčastěji jako důsledek kyselých dešťů, doprovázené následně snižováním odolnosti složky prostředí vůči dalším změnám pH. (Hruška, 2001)

2.2.2.1 Jiné znečišťující látky

Pod souhrnný název kyselý déšť Sawyer (1990) dále zahrnuje i jiné znečišťující látky v ovzduší: „Kromě látek, které přímo přispívají ke kyselému dešti patří k nejzávažnějším také

uhlovodíky, které se označují též jako těkavé organické sloučeniny, dále pak přízemní nebo troposférický ozón a amoniak.

Zdrojem značné části uhlovodíků jsou motorová vozidla, rafinérie ropy i výroba a používání rozpouštědel. Tyto látky mohou reagovat s NO_x při působení slunečního záření (fotochemické reakce) a vytvářet tzv. fotooxidanty. Za jeden z nejškodlivějších fotooxidantů se považuje ozón (O_3). Podobně jako mokrá spad je ozón druhotnou znečišťující látkou, protože jej nevytváří přímo žádný zdroj znečištění. Troposférický ozon jako produkt antropogenního znečištění však není možno zaměňovat se stratosférickou ozónovou vrstvou, která chrání zemi před škodlivým ultrafialovým zářením.“

Amoniak je nejdůležitější sloučenina dusíku s vodíkem. Dříve byl označován jako čpavek. Za běžných podmínek je to bezbarvý, štiplavě páchnoucí plyn. V přírodě amoniak vzniká rozkladem dusíkatých organických látek. V chemických reakcích má převážně zásaditou povahu. Amoniak se používá jako kapalné dusíkaté hnojivo, k výrobě kyseliny dusičné a dusíkatých hnojiv. K jeho zdrojům patří továrny na dusíkatá hnojiva a intenzivní zemědělská výroba. (Vacík a kol., 1995)

2.2.2.2 Měření kyselosti

Vzrůst kyselosti a pokles zásaditosti lze měřit pomocí stupnice pH. Stupnice pH sahá od pH 14 (extrémní zásaditost) až pod pH 1 (extrémní kyselost). Neutrální reakci přísluší pH 7. Protože je to stupnice logaritmická, znamená například, že hodnotě pH 3 odpovídá desetkrát větší kyselost než pH 4, ale pouze jedna desetina kyselosti ve srovnání s pH 2. (Sawyer, 1990)

Destilovaná voda má teoreticky pH 7, normální dešťová voda není nikdy úplně čistá, protože se dostává do styku s chemickými prvky, jež jsou přirozeně přítomné v prostředí. Déšť v oblastech vzdálených od průmyslových center má pH 5,6. V mnohých oblastech severní Ameriky a západní a střední Evropy je pH sněhu a deště 4,3 i nižší. (Sawyer, 1990)

2.2.2.3 Kritické zátěže

Základní látky obsažené v kyselém dešti nejsou samy o sobě přímo škodlivé. Síra a dusík jsou například přirozeně přítomné v prostředí. Síra se sem dostává z moří a oceánů s mořskou solí a vodní tříští nebo v plynné formě ze sopečných výbuchů a procesů v půdě. Dusík do atmosféry přechází z bouřkových výbojů, sopečných výbuchů a biologických

procesů jako např. rozkladu rostlinného materiálu. Příroda je schopna absorbovat a využívat tyto látky, když vznikají pomalu a v malých koncentracích. (Sawyer, 1990)

Látky přispívající ke kyselé reakci dešťových srážek mohou být i cennými živinami pro růst rostlin. Když se v důsledku lidské činnosti v atmosféře zvyšuje obsah kyselých látek, které zde nemohou být neutralizovány, dochází pak k okyselení atmosférických srážek. Různé oblasti jsou různě postižovány podle své schopnosti neutralizovat zvýšené vstupy kyselých látek. Mělké dosud nevyvinuté a přirozeně kyselé půdy s nedostatkem zásaditě reagujících složek nejsou schopny odolávat ani malým vstupům kyselých látek, jejichž původ je mimo vlastní ekosystém. Naproti tomu půdy vytvořené například na vápencovém podkladu mohou i po dlouhá období neutralizovat poměrně silné kyselé vstupy. (Sawyer, 1990)

Sawyer (1990) to dále vyjadřuje jinak: „Každé stanoviště nebo ekosystém má pro kyselý spad vlastní práh, při jehož překročení dochází k poškození. Vědci označují tuto hranici termínem kritická zátěž. Ta byla definována Nordickou radou v roce 1986. Podle této definice se kritickou zátěží rozumí největší zátěž kyselého spadu, která ještě nezpůsobí chemické změny, jež by dlouhodobě (během 10 až 25 let) vedly ke škodlivým účinkům v nejcitlivějších ekologických systémech.

Na totéž množství kyselého spadu mohou jednotlivé ekosystémy reagovat různě. Vědci se snaží dále upřesnit odhady kritických zátěží. To je potřebné. Kritické zátěže jsou klíčem k určení, o kolik je třeba omezit naše emise, má-li se předejít zbytečnému a škodlivému okyselování prostředí.“

2.2.3 Jak kyselý déšť ovlivňuje svět kolem nás

„Podobně jako jiné formy znečištění, ani kyselý déšť není jasně viditelný. Nelze jej postřehnout ani v oblastech, kde působí již řadu let. Když jsou však jeho účinky již patrné, je rozsah jím vyvolaných škod obvykle již vážný a možná nevratný,“ zmiňuje na úvod Sawyer (1990)

Látky, které se dostávají do ovzduší, emise, reagují s dalšími látkami ovzduší a mění své složení a vlastnosti. Působí pak jako imise na organismy a na neživé prostředí přímo, nebo například ve formě srážek (kyselé deště). Zvyšují kyselost půd a vod, způsobují odumírání, až hynutí lesů, znehodnocování produkce, vymírání života ve vodních nádržích, působí

nepříznivě na lidské zdraví, jsou příčinou rychlé koroze různých materiálů. (Seymour, 1993)

2.2.3.1 Narušení rovnováhy života

Okyselování jezer a řek přímo souvisí s kyselostí dešťových srážek. Vliv zde má však také schopnost okolní půdy neutralizovat kyselost dešťových srážek dříve, než se dostanou do vodních zdrojů povodí, přítomnost lesních celků, tání sněhu nebo husté dešťové srážky. Když má půda vysoký obsah zásaditých látek, může účinně neutralizovat kyseliny. Půda pak má velkou pufrací kapacitu. Voda, která se do podzemních horizontů povodí dostala průsakem půdou s nízkou pufrací kapacitou, bude proto kyselější než ta, která prosakovala půdou, jejíž pufrací kapacita je vysoká. (Sawyer, 1990)

Stromy mohou přispívat k procesu okyselování tím, že pohlcují a tím ve skutečnosti odstraňují neutralizující chemické látky z půdy. Jakákoliv kyselá látka, která se zachytila na listech stromů, se deštěm po opadání listů rovněž dostane do půdy. (Seymour, 1993)

Okyselení vyvolává další problémy v prostředí, jako např. zvýšené uvolňování těžkých kovů v půdách. Je tomu tak proto, že kovy jako hliník, zinek nebo olovo jsou v kyselém prostředí více rozpustné. V okyselených půdách jsou tyto kovy pohyblivější a mohou se z těchto půd vymývat a dostávat do vodních zdrojů povodí. Vysoký obsah hliníku pak v okyselených jezerech a řekách, který se často objevuje po silných dešťových srážkách a tání sněhu, je významnou příčinou úhynu ryb. (Sawyer, 1990)

Sawyer (1990) jasně dokladuje na zkoumání druhů rozsivek, že proces okyselování souvisí s rozvojem průmyslu: „Rozsivky jsou drobné řasy, jejichž různé druhy snášejí různé úrovně kyselosti. Zkoumáním jejich zkamenělých zbytků, které se ukládaly ve vrstvách v jezerních sedimentech, bylo možno zjistit přibližné časové údaje o tom, kdy okyselování jezera začalo. Vědci z University College v Londýně např. objevili, že v oblasti Galloway ve Skotsku se pět šestin jezer začalo okyselovat během posledních 150 let. Teprve v sedimentech, které se ukládaly po roce 1850, tedy od počátku průmyslového rozvoje, se objevují částice sazí a těžkých kovů.“

2.2.3.2 Okyselení půd

Půdní reakce je dána přítomností a aktivitou vodíkových iontů, které se ve vodných roztocích spojují s molekulou vody a tvoří s ní anionty H_3O^+ (hydroxoniové nebo oxoniové

ionty). V půdním roztoku rozpuštěné kyseliny a koloidní acidoidy uvolňují vodíkové ionty (disociace), rozpuštěné zásady a bazoidy se s nimi slučují (asociace). (Richter, 1997)

K okyselení půdy dle Richtera (1997) dochází:

- v důsledku odstranění bází z organických koloidů, jílových minerálů a z amorfních gelů,
- z nitrifikačních procesů,
- vlivem intenzivní biologické činnosti půdy (tvorba H_2CO_3),
- hnojením fyziologicky kyselými hnojivy,
- kyselými spady (SO_2 , NO_x , HF aj.).

„Půdní reakce má výrazný vliv na úrodnost půdy. V silně kyselých půdách se nedaří některým užitečným bakteriím velmi důležitým pro optimální průběh biochemických reakcí v půdě (*Rhizobia*, *Azotobacter chroococum*, nitrifikační bakterie aj.). Dochází ke vzniku příznivých podmínek pro činnost plísní, hub apod., které jsou pro úrodnost půdy méně vhodné. Vysoká kyselost půdy nepříznivě ovlivňuje efektivnost využití některých hnojiv. V tomto prostředí je také aktivován hliník a řada těžkých kovů, jejichž přebytek rostlinám škodí a vede k jejich začlenění do potravního řetězce. Účinným opatřením k odstranění půdní kyselosti je pravidelné vápnění,“ popisuje Richter (1997).

Kyseliny, jež se do půdy dostávají kyselým deštěm, vyplavují z půdy prvky, které jsou důležité pro udržení vyvážené hodnoty půdní kyselosti a které jsou současně nezbytnými živinami pro vegetaci. Jedná se zejména o prvky, jež se souhrnně nazývají bazické kationty. Tyto prvky jsou schopny po nějakou dobu vyrovnávat (neutralizovat) přísun kyselin z atmosféry. Při této reakci jsou ale nevratně odnášeny z půd do podzemních a povrchových vod. (Hruška, 2001)

Hruška (2001) uvádí: „Vedle množství depozice závislém na imisních poměrech a druhové skladbě a věku lesa rozhodují o stupni okyselení další faktory. Jedním z nich jsou přirozené vlastnosti půd, zejména množství bazických kationtů (tedy Ca, Mg, Na, K) v půdě. Jejich hlavním zdrojem v půdách je zvětrávání podložních hornin a jejich celkové množství určuje odolnost vůči kyselé depozici. Čím víc je v půdách bazických kationtů, tím jsou půdy odolnější, protože mohou déle neutralizovat přísun kyselin z atmosféry. Nejméně odolné jsou horské půdy, které mají malou mocnost a přirozeně nízké množství bazických kationtů. To je spolu s drsným klimatem a vysokým přísunem kyselin důvod, proč se devastující vliv kyselých dešťů nejdříve objevuje v horských oblastech.“

Zásoby bazických kationtů vznikaly v půdách zvětráváním podloží zejména v období od poslední doby ledové, tedy asi 10 000 let. V důsledku změn druhové skladby původních lesních porostů na smrkové monokultury (okyselování půdy rozkladem jehličnatého opadu v kombinaci se zvýšenou kyselou depozicí) byly ale zásoby bazických kationtů vyčerpány v průběhu zhruba poslední stovky let, hlavně však v posledních několika desetiletích. Místo nich dnes kyselý déšť uvolňuje z půd velké množství toxického hliníku a dalších kovů, které by se normálně (bez kyselého deště) nevyluhovaly. Tyto kovy jsou přijímány kořeny stromů z půdního roztoku a významně přispívají k úhynu lesa.“

2.2.3.3 Poškození lesů

Dřeviny jsou citlivé k dlouhodobým účinkům znečištění ovzduší, protože rostou pomalu a žijí dlouho. Znečištění postihuje růst a vývoj dřevin několika způsoby. Znečištění má nepřímý vliv na zdraví dřevin tím, že ovlivňuje rozdělení živin a těžkých kovů v půdě, jichž zde může být buď nadbytek nebo nedostatečný přísun, nebo mohou být též narušeny půdní procesy. Zdraví dřevin může být výrazně narušeno i v případě malých změn v prostředí, protože tyto často působí po dlouhá časová období a hromadí se. (Sawyer, 1990)

Vysoké koncentrace hliníku v půdním roztoku působí problémy kořenovému systému smrků. Ionty hliníku (Al) totiž můžou vytlačit kationty vápníku (Ca), hořčíku (Mg) a draslíku (K) na výměnných místech buněčných membrán kořenů, čímž je narušena iontová rovnováha. To vede k odumírání takto postižených orgánů (v typickém případě jemných kořenů) a následně i k špatnému příjmu živin, vody a celkovému oslabení rostliny. Hliník například nejčastěji blokuje příjem hořčíku. Stromy s nedostatkem hořčíku pak trpí chlorózou, tedy žloutnutím jehlic kvůli nedostatku zeleného barviva nutného k zachytávání sluneční energie. Tento mechanismus je typický pro lesní půdy v celé střední Evropě i jižní Skandinávii. (Hruška, 2001)

Postižené stromy se stávají extrémně náchylnými vůči suchu, mrazu a dalším vlivům. Popsané mechanismy stromy výrazně oslabují, ale jen zřídka jsou bezprostřední příčinou úhynu. Tou bývá obvykle klimatický stres (náhlá změna teploty v zimě, dlouhotrvající sucha nebo mrazy) nebo hmyzí či houbový škůdce, kterému by se zdravý les obvykle ubránil jen s malými ztrátami. Imise nejčastěji působí podobně jako AIDS. Svoji oběť fatálně oslabí, ale přímo neusmrtí. Smrt přijde ve formě choroby, se kterou by se zdravý organismus dokázal vypořádat. (Hruška, 2001)

Znečištění vzduchu může ovlivnit nejen zdravotní stav jednotlivých stromů, ale i samu strukturu lesa. Často je porušena rovnováha při mezidruhové konkurenci, kdy druhy tolerantnější vůči znečištění začnou převládat. To dále vede ke změnám druhového složení rostlin, typických pro lesní ekosystémy. (Sawyer, 1990)

Sawyer (1990) mluví o tzv. souboru příznaků odumírání stromů: „Na koruny stromů působí plyny, aerosoly a částice popsané dříve, které tvoří kyselý déšť. Dochází k:

- odumírání stromové koruny,
- ztrátě listí a jehličí,
- stromy se stávají náchylnější a snižuje se jejich odolnost vůči suchu, onemocnění, mrazu atd.,
- přímému poškození jehličí, listů a kůry,
- oslabení stromu nedostatkem živin a nadbytkem jedů,
- ztrátě živin z listů (vyloužením) např. vápníku, hořčíku,
- snížení klíčivosti semen.

Pokud přesuneme pozorování do půdy pod stromy, dochází k:

- okyselení horních vrstev půdy,
- změnám organického života,
- mobilizaci těžkých kovů,
- poškození jemných vlasových kořínků,
- snížení příjmu vody a živin kořeny,
- vyloužení živin např. vápníku, hořčíku.

Kyselá mlha, která obsahuje snad desetinásobné množství kyseliny ve srovnání s jinými formami srážek, zvláště škodlivě působí v kombinaci s ozónem. Soudí se, že tyto dva druhy znečištění působí synergicky, jejich společné působení vyvolává u stromů daleko větší poškození, než ke kterému by došlo, kdyby působily zvláště, jednotlivě.“

„Příznaky odumírání a špatného zdravotního stavu jsou ovlivněny prakticky všechny rozšířené druhy jehličnanů a listnatých dřevin v Evropě podobně jako některé komerčně významné druhy v severní Americe,“ shrnuje Sawyer (1990)

2.2.3.4 Ohrožení našich zdrojů potravy

Zatím není bezpečně prokázáno, že by následkem okyselení byla ohrožována zemědělská produkce. Ale to je sotva důvodem k optimismu, protože kyselý spad může škodit

vyšším rostlinám ať již omezováním jejich růstu nebo přímým fyzickým poškozováním. Lidstvo je ve zdrojích potravy závislé na necelé desítce druhů plodin. Kdyby pouze jediné plodiny začalo ubývat z důvodu narůstajícího okyselení půd, mohlo by to vážně ohrozit zdroje potravin. (Sawyer 1990)

Sawyer (1990) poukazuje na výsledky studií provedené na Imperial Colledge Centre for Environmental Technology (ICCET): „Výsledky výzkumu ukázaly, že kyselý déšť může plodiny poškozovat i nepřímo. Vystavení malým nebo středním úrovním znečištění SO_2 nebo NO_2 může působit stimulačně na savý hmyz, např. mšice. Závěry studie naznačují, že v souvislosti se znečištěním ovzduší se patrně zvýší škody na plodinách a hospodářské ztráty vyvolané některými hmyzími škůdci.“

2.2.3.5 Škody na našem zdraví

Znečištění ovzduší způsobuje také již delší dobu vážné škody na lidském zdraví. Již koncem 19. století a zvláště pak od poloviny 20. století přispívá znečištění ovzduší v průmyslových aglomeracích a velkoměstech v Evropě a ve Spojených státech k vysoké úmrtnosti. Nadměrné úrovně SO_2 vyvolaly vážné dýchací problémy. Specifickým dokladem toho byl londýnský velký smog v roce 1952. Kouř z domů a místních elektráren způsobil smrt 4 000 lidí. V úmrtních listech lze nalézt svědectví o tom, že podráždění průdušek vyvolalo nadměrnou tvorbu hlenu. Postižení se buď udusili z nedostatku kyslíku nebo došlo k úmrtí na infarkt, když se postižené osoby snažily popadnout dech. V úřední zprávě se uvádí, že kyselina sírová vytvořená z oxidu siřičitého navíc pravděpodobně zesílila škodlivé účinky ostatních složek smogu. (Sawyer, 1990)

Dýchací funkce mohou být též narušovány NO_x , oxidem uhelnatým a ozónem. Například při studii provedené v USA bylo zjištěno, že NO_2 snižuje u dětí dýchací účinnost. Oxid uhelnatý snižuje schopnost červených krvinek přenášet kyslík a u citlivých jedinců může též zhoršit chronické dýchací a srdeční potíže. Ozón při koncentracích, které jsou dnes časté ve Spojených státech, omezuje objem vzduchu, který může osoba vydechnout a urychluje stárnutí plic. (Sawyer, 1990)

Další negativní působení kyselého deště popisuje Sawyer (1990) jako nepřímé působení na zdraví: „Pronikání těžkých kovů do těla je toho stále častějším příkladem. Těžké kovy mohou škodit tím, že se v lidském těle spíše zachycují, než se odtud vylučují. Když se do těla dostávají s potravou i v malých množstvích po dlouhou dobu, může dojít k nárůstu nebezpečných koncentrací v ledvinách a játrech. V okyselených půdách se mobilizuje (stává

se rozpustné) větší množství těžkých kovů ve srovnání s normálními podmínkami. Ty pak pronikají do rostlin (osmotickou činností kořenů) a dále pak do pasoucích se zvířat a konečně do člověka.

Dalším kovem, jehož pohyblivost se může zvýšit v okyselených půdách, je hliník. Ten je uváděn do souvislosti se vznikem nebo rozvojem Alzheimerovy choroby, která je určitou formou presenilní demence. Norský centrální statistický úřad provedl studii, která ukázala na značný výskyt této choroby v jižních oblastech Norska, kde se následkem kyselého spadu zvýšilo okyselení půdy i koncentrace hliníku v jezerech.“

2.2.4 Řešení problému

Lepší je prevence než léčba a to platí o znečištění ovzduší stejně jako v jiných případech. Byly již vykonány například určité pokusy s opatřeními zaměřenými proti okyselení, ale neukázaly se dostatečné. Do řek, jezer, půd a lesů se rozprašováním z letadel přidávalo vápno. Jeho schopnost pufovat, neutralizovat a dokonce působit proti kyselým vstupům zlepšila například ve Švédsku okyselené prostředí pro rostliny a živočichy. Tyto jeho účinky však mohou být jen krátkodobé a kromě toho je to nákladný způsob. Jediným řešením zde je výrazné snížení úrovně znečištění ovzduší. Způsoby, jak toho dosáhnout, jsou známy. Jsou to rozumné plánování, strategie a dále pak moderní technologie. Někdy zavedení čistých technologií sice vyžaduje značné finanční náklady, ale výsledný prospěch pro prostředí a lidské zdraví mohou tyto náklady zčásti nebo zcela vyrovnat. (Sawyer, 1990)

2.2.4.1 Šetření energií a alternativní zdroje energie

Nejjednodušší cestou k omezení emisí SO_2 a NO_x z průmyslových zdrojů je omezení rozsahu spalování fosilních paliv při získávání tepla a energie. Jedním ze způsobů, jak toho dosáhnout, je úsporně nakládat s energií. Sawyer (1990) upřednostňuje:

- zavádění technických zlepšení zajišťujících účinnější spalování paliva,
- vyvíjení energeticky účinnějších výrobků jako domácích spotřebičů, které pro svůj provoz potřebují méně energie,
- izolování budov tak, aby se na jejich vytápění spotřebovalo méně energie,

- přechod na paliva, která neobsahují síru, jako např. zemní plyn (methan) nebo na používání obnovitelných zdrojů energie jako slunce, větru, přílivu, spádové vody nebo přirozeného tepla zemské kůry (geotermální energie) k výrobě elektřiny může rovněž snížit množství spalovaných fosilních paliv.

2.2.4.2 Omezení emisí SO₂ z průmyslových zdrojů

Většina emisí SO₂ pochází z velkých stacionárních průmyslových zdrojů. Úroveň jejich emisí lze snižovat před nebo po spálení fosilních paliv (hlavně uhlí a nafty. (Sawyer, 1990)

Macek (1985) uvádí: „Odsíření paliva lze uskutečnit odstraněním síry před jeho spálením buď čištěním uhlí nebo metodami chemického čištění, a to buď během zplynování nebo zkapalňování (přeměny uhlí na plynné nebo kapalné palivo). Při čištění uhlí se toto nejprve drtí, aby bylo možno oddělit nespalitelné látky, jako je písek nebo hlína. Současně se oddělí též část síry. Tímto způsobem lze docílit odstranění až 35 % síry.

Při zplynování nebo zkapalňování se uhlí přemění na hořlavý plyn nebo kapalinu. Během této konverze lze odstraňovat síru. Rovněž ropu lze odsířit.

Technologie fluidního spalování (spalování ve vlnosku) umožňuje snížit množství emitovaného SO₂ během spalování uhlí. Uhlí se spaluje s vápencem, což jej zbavuje obsahu síry. Tímto způsobem lze z uhlí odstranit téměř veškerou síru. Ropu lze též spalovat ve fluidním loži.

Odsiřováním kouřových plynů se odstraňují sirnaté plyny vzniklé při spalování před jejich vypuštěním do ovzduší. Plynné spaliny lze čistit buď suchými nebo mokkými metodami. Lze dosáhnout 80 až 90 % odstranění síry. Mokré odsiřovací metody také snižují úlet tuhých částic a částečně zachycují též NO_x.“

2.2.4.3 Snížení emisí NO_x z elektráren

Fosilní paliva spalovaná v běžných elektrárnách obsahují jen málo dusíku. Oxidy dusíku vznikají až když se do spalovacího procesu zavede vzduch. K jejich omezení lze příslušná zařízení a technologie nasazovat buď v průběhu spalovacího procesu nebo po něm. (Hůnová, 2004)

Úprava spalovacích systémů představuje nenákladný prostředek ke snížení emisí. Může se k tomu využít snížení teplot nebo omezování množství vzduchu dodávaného do spalovacího prostoru. Při technologiích s upraveným spalováním vzniká o 25 až 50 % méně NO_x než u běžných technologií. Dalším způsobem je katalytická redukce nebo třeba využití močoviny k přeměně NO_x na dusík, oxid uhelnatý a vodu. (Sawyer, 1990)

2.2.4.4 Snížení emisí motorových vozidel

Vozidla emitují směs znečišťujících látek. Tvorby kyselého deště se nejvíce účastní NO_x , uhlovodíky a ostatní těkavé organické látky. Jiné nečistoty jako oxid uhličitý a olovo jsou závadné ze zdravotního hlediska. Lze je omezit jak technickými, tak i jinými prostředky, z nichž některé se již v rozsáhlé míře používají. (Hůnová, 2004)

Dvou nebo trojcestné katalytické zařízení je v základě krabice zapojená do vedení výfukových plynů vozidla, která omezují nečistoty přítomné ve výfukových plynech. Dvoucestné zařízení odstraňuje uhlovodíky (HC) a oxid uhelnatý (CO) tím, že je přeměňuje na vodní páru a oxid uhličitý (CO_2). Trojcestný katalyzátor dosahuje téhož, ale přeměňuje navíc též oxidy dusíku na dusík (N_2). Vozidla opatřená katalyzátory mohou používat pouze bezolovnatý benzín. Ale tomu se má dávat v každém případě přednost, protože emise olova jsou zdravotním nebezpečím zejména pro malé děti. (Sawyer, 1990)

„K omezení emisí vozidel lze použít též různých netechnických prostředků systémového řešení dopravy. K nejúčinnějším patří používání veřejné dopravy, jízdních kol a chůze. Při jízdě do zaměstnání osobním vozem se například spotřebuje šestkrát více paliva na osobu ve srovnání s použitím autobusu. Snížení emise vozidel by se též dosáhlo, kdyby vzrostl podíl množství zboží dopravovaného po železnici nebo lodní dopravou vůči silniční dopravě,“ doplňuje Sawyer (1990).

2.3 Analýza středoškolských učebnic k tématu Stres rostlin vlivem kyselých dešťů

V dnešní době jsou kyselá deště již velmi ožehavým tématem. Řadí se ke globálním problémům planety a dá se říci, že pouze v této souvislosti se s nimi ve středoškolské literatuře setkáme. Ve výběru literatury se nesmíme omezit pouze na učebnice, které se týkají botaniky. Musíme mít na paměti právě ekologické dopady, a proto vybírat i z učební literatury, která se ekologií zabývá přímo.

Co se týká tématu Stres rostlin, je to horší. Studenti se s pojmem stres ve smyslu rostlinné říše vůbec nesetkají. V dostupné středoškolské literatuře, se daný pojem nevyskytuje. Literatura, která se zabývá kyselým deštěm, tento pojem také nevyužívá. V takové literatuře se píše o negativním vlivu kyselých dešťů na prostředí a rostlinstvo ve smyslu, že dochází k úhynu lesů, jehličnanů, v přírodním prostředí. Reakce rostlin na tento typ stresu jsou zmíněny pouze zřídka nebo vůbec ne.

Daným tématem se učebnice (Braniš 1999, Kincl a kol. 2000, Kvasničková 1994, Kubát a kol. 2003, Šlégl 2002, Jelínek 1997, Jelínek 2006, Hančová 2008) zabývá hlavně ve smyslu ekologie nebo vůbec. Stres rostlin nebyl zmíněn v žádné z dostupných učebnic.

Kincl a kol. (2000) popisuje ve své knize v kapitole Rostlina a prostředí základní biotické a abiotické faktory prostředí, které ovlivňují rostlinu. Zmiňuje zde vztahy, teplotu, energetické faktory, atmosférické faktory, vodu a další. Co se však týká kyselých srážek a vlivu těchto srážek na rostliny, tak Kincl pouze rozděluje rostliny v závislosti na pH půdy na acidofyty, neutrofyty a alkalofyty.

Opravdu poutavá kniha Kvasničkové (1994) zmiňuje kyselá deště v kapitole Ohrožování základních složek biosféry, kde se věnuje znečištění ovzduší: „Látky, které se dostávají do ovzduší, se nazývají emise, reagují s dalšími látkami ovzduší a mění své složení a vlastnosti. Působí pak jako imise na organismy a na neživé prostředí přímo nebo např. ve formě kyselých srážek. Kyselá deště zvyšují kyselost půd a vod, způsobují odumírání až hynutí lesů, znehodnocování zemědělské produkce, vymírání života ve vodních nádržích, působí nepříznivě i na lidské zdraví a jsou příčinou rychlé koroze různých materiálů.“ Jinde se Kvasničková kyselým srážkám bohužel nevěnuje.

Šlégl (2002) se dostává k problémům se znečištěním prostředí přes globální problémy světa. Postupně se pak jednotlivým problémům věnuje, avšak okyselení nebo kyselá deště

zůstávají zapomenuty. Kyselý dešť nakonec uvádí v kapitole Problémy životního prostředí a jejich řešení. Zde se samostatně věnuje v první řadě SO_2 , vzniku H_2SO_4 v přírodě a s ní spojenými kyselými dešti. Okrajově Šlégl (2002) rozvádí příčiny kyselých dešťů: „U rostlin dochází k rozkladu chlorofylu. SO_2 se tak značnou měrou podílí na odumírání lesů, přičemž spolupůsobí ozon a jiné vlivy. Silnější poškození nastává u jehličnatých lesů, protože na jejich jehlice působí SO_2 více let. Jehličnaté lesy jsou kromě toho náchylnější k nemocem a škůdcům. Kyselý dešť se dostává do půdy, kde způsobují změnu chemických vlastností např. vyluhování hliníku, sníženou dostupnost živin, a vedou i ke změnám edafonu. Následkem bývají poruchy ve výživě rostlin, což se projeví sníženou odolností k chorobám a snížením výnosů.“

Biologie v kostce od Hančové (2008) zahrnuje samostatné okruhy biologie jako je obecná biologie, mikrobiologie, botanika, mykologie, ekologie a genetika. Kapitola Botanika neobsahuje žádnou zmínku o poškození rostlin kyselým deštěm. Hančová (1999) píše o znečištění ovzduší v kapitole Ochrana a tvorba životního prostředí. O vzniku kyselých dešťů uvádí: „ SO_2 vzniká při spalování fosilních paliv obsahujících síru (hnědé uhlí). Jeho rozpouštěním ve srážkové vodě vznikají kyselý dešť.“ Jejich vliv na rostliny však ve své knize vynechává.

Zřejmě nejrozsáhleji se kyselými srážkami zabývá Braniš (1999). V kapitole Ovzduší a klima seznamuje studenty s hlavními globálními problémy. Zde uvádí část Znečištění ovzduší, kde popisuje zdroje znečištění a rozděluje je na přirozené a nepřirozené. V souvislosti s nepřirozenými vlivy znečištění ovzduší Braniš (1999) zmiňuje i kyselý srážky: „Přítomnost silných anorganických kyselin ve srážkové vodě byla prokázána již dávno. Produkty spalovacích procesů, zejména SO_2 a NO_x , postupně v atmosféře oxidují a reagují s vodou na kyselinu sírovou a dusičnou a v podobě sněhu, deště, rosy a námrazy dopadají na zem jako kyselý srážky.“ Krátce se také zaměřuje na vlivy kyselých srážek a na odsíření jako řešení problému. Jako další řešení problému a jedinou účelnou cestu vidí ve snížení koncentrace škodlivin vznikajících při spalování sirnatého uhlí a omezení tohoto způsobu výroby elektrické energie, čehož je možné dosáhnout především úsporami elektrické energie a přechodem na alternativní zdroje energie. Kyselým dešťům se Braniš (1999) také věnuje v kapitole Znečištění vody, kde se ale zabývá především vlivem na živočichy a v kapitole o půdě, kde se věnuje vlivu kyseliny dusičné a kyseliny sírové, které kontaminují půdu a urychlují proces podzolizace.

Jelínek (2006) píše o kyselých deštích hned dvakrát. Nejprve v kapitole Ekologie rostlin a hub, kde uvádí dopad SO_2 na rostliny: „ SO_2 působí předčasný opad listů, především

u jehličnanů. Jedovatě působí zvláště na lišejníky. Spolu s oxidy dusíku, halogenvodíky a chlorem je příčinou kyselých dešťů, okyselení půd a povrchových vod. V kyselých půdách je narušena mykorrhiza, stromy špatně rostou a odumírají.“ Podruhé se jimi zabývá v kapitole Člověk a prostředí, kde pouze shrnuje problémy znečištění ovzduší a v souvislosti s nimi uvádí SO_2 a NO_x jako hlavní látky pro vznik kyselých srážek.

3. METODIKA

Úvodní kapitola práce shrnuje teorii, kterou bylo třeba nastudovat. Teoretická část je rozdělena na 2 celky z nichž jeden je „Rostlina a stres“ a druhý „Kyselý déšť“, ve kterých je vždy rozebrána tematika daného problému.

Práce dále pokračuje analýzou středoškolské literatury, která se věnuje tématice stresu rostlin a působení kyselých dešťů na rostliny. Tímto rozbohem se snaží přijít na to, jak hluboko mají studenti látku probranou, respektive co vše mají o kyselých deštích a jejich vlivu na naši flóru vědět.

Základem výsledků je subkapitola Výkladový text pro učitele. Tento textový materiál slouží pouze vyučujícím pro výklad. Obsahuje informace k dané problematice, které by měli studenti získat pro jejich základní orientaci v tématu a pro praktika. Tento výkladový text a metoda výkladu jsou pro další práci se studenty nezbytné.

Hlavní část práce zahrnuje teoretické a praktické přiblížení dané problematiky studentům. Důraz se klade na tři základní aktivity. Pro úvodní a průpravnou část při první aktivitě je tedy zvolena metoda rozhovoru (Maslowski, 1990), který v úvodním setkání učitel vede se studenty a pomocí trefných otázek společně dospějí k tématu hodiny. Základem hodiny pak je metoda výkladová (Maslowski, 1990). K výkladu učitele je vypracován Pracovní list, který dostane každý žák. Tento pracovní list slouží studentům jako studijní materiál a je výchozí pro další aktivitu, Laboratorní práce.

Pracovní list využívá problémovou metodu (Maňák, 1990), pomocí níž se snaží udržet aktivitu studentů po celý výklad. Obsahuje totiž prázdná místa, do nichž musejí studenti doplnit správné odpovědi, které získávají při výkladu. Otázky jsou v pracovním listu řazeny v návaznosti na to, jak učitel vykládá. Po vyplnění textu je studijní materiál úplný. Doba výkladu je stanovena na 45 minut, tedy na 1 vyučovací hodinu. Cílem pracovního listu je vtáhnout studenta do problematiky kyselých dešťů a stresu rostlin a aktivně ho zapojit do výkladu.

Po splnění první aktivity by měli být studenti připraveni na druhou, která zahrnuje laboratorní cvičení. Pro laboratorní cvičení byl zvolen soubor šesti úloh (záleží na šikovnosti skupiny), kterými se práce snaží studentům prakticky přiblížit a dokázat teoretickou část. Této činnosti je věnována celá laboratorní hodina, která na střední škole činí většinou 90 minut.

Laboratorní úlohy vycházejí z literatury zabývající se praktikami v biologii: Baer (1960), Jelínek (2006), Macháčková (2006) a Molisch (1975).

Na laboratorní cvičení navazuje třetí aktivita, písemný test s názvem Opakovací test pro střední školu. Ten obsahuje otázky týkající se problematiky kyselých dešťů a jejich vlivu na rostliny. Otázky jsou sestaveny tak, že odpovědi na ně by studenti měli najít v pracovním listu a v laboratorní práci. Test byl zpracován s využitím literatury Jelínek (2006) a Macháčková (2006). Pro porovnání byla vybrána kontrolní skupina, která pouze psala Opakovací test. To pro zjištění, jak míra přípravy ovlivnila vědomosti studentů.

4. VÝSLEDKY

4.1 Výkladový text pro učitele

4.1.1 Úvodní poznámka k textu

Tato část diplomové práce souží jako text učiteli, který chce ve svých hodinách rozšířit učivo o kyselých deštích a jejich vlivu na rostliny. Je zde popsána problematika tématu, podle níž učitel může jednoduše vést svůj výklad. Na výklad navazuje pracovní list, který dostane každý student, a který slouží pro větší poutavost a aktivitu studentů (viz. pracovní list).

Výkladový text je napsán normálním písmem velikosti dvanáct. Pro lepší orientaci jsou v textu tučně vyznačena důležitá slova, která tvoří základ výkladu a zároveň jsou to slova, která upozorňují učitele, že právě sděluje informaci související s doplňováním pracovních listů.

Dále obsahuje výkladový text části v závorkách psané kurzívou stejné velikosti jako hlavní text. Jedná se o části doplňující základní informace, které rozšiřují výklad nebo ujasňují některé myšlenky a vědomosti studentů.

Výkladový text je ještě obohacen o otázky, jež jsou v textu označeny v závorkách menší podtrženou kurzívou. Tyto otázky se týkají především vědomostí, které již studenti znají z dřívější výuky, a jejich úkol je opět zvýšení aktivity třídy, zamyšlení se nad problémem nebo zapojení studentů do výkladu. Otázky může samozřejmě každý učitel vytvořit vlastní podle toho, co žáky naučil a co sám ví, že mají znát z dřívějšího studia. Zde je také možné využít v dnešní době tak populárního internetu. Je možné například studenty před výkladem zaúkolovat samostatnou domácí prací týkající se vyhledávání informací na internetu a otázky pak směřovat na to, co je možné se na internetu o problematice dozvědět.

Na závěr výkladu je dobré zařadit alespoň krátkou informaci o tom, jakým způsobem budou organizována laboratorní cvičení.

4.1.2 Vlastní výkladový text

Stres rostlin (obecně)

Termín **stres** je obvykle používán pro souhrnné označení stavu, ve kterém se rostlina nachází pod vlivem stresorů. **Stresory** jsou nepříznivé vlivy vnějšího prostředí závažně ohrožující rostlinu, jinak se také označují jako stresové faktory. Rostliny jsou vystaveny těmto faktorům v průběhu svého života. Jejich vlivem mohou být nejen zpomaleny rostlinné životní funkce, ale také mohou být poškozeny orgány a v krajním případě vede působení stresorů až k uhynutí rostlin.

(Pozn.: Životní prostředí rostlin je charakterizované vnějšími podmínkami, které jsou buď vhodné nebo nevhodné a nutí tedy rostliny ke změně a přizpůsobení. Tyto změny jsou tedy spojené s působením stresorů a jsou označovány buď jako modifikace nebo mutace.

- **Modifikace** je nedědičná změna, která trvá do vyznění příčiny, jež ji způsobuje. To znamená, že rostlina změní habitus pod vlivem podmínek, ale její potomstvo má tvar těla původní.

- **Mutace** je naopak trvalá genetická změna, tj. která je předána na potomstvo. Vliv prostředí je zde ale jen jednou z mnoha příčin (viz. mutageny), kdy tlak vnějšího prostředí je tak velký, že dosavadní fyziologický stav rostliny je již nevýhodný pro dané prostředí.

Stresory

Jak bylo již řečeno, stresory jsou nepříznivé vlivy vnějšího prostředí závažně ohrožující rostlinu. Stresory se dělí na abiotické a biotické, které se v působení na rostlinu často vzájemně doplňují.

- **Abiotické stresory** jsou negativní fyzikální a chemické vlivy prostředí. Řadí se k nim:

- **Půdní prostředí:** V půdě se vyskytuje celá řada prvků pocházejících z matečné horniny. Jako stresový faktor zde může být jak předávkování živinami, tak také nedostatek živin. Mezi nejdůležitější prvky pro rostlinu jsou

uváděny kyslík, dusík, fosfor, vápník, také železo a hořčík. Nedostatek nebo nadbytek těchto prvků se projevuje různě.

- V půdním prostředí se z prvků daného problému týká především síra, jako jedna z hlavních složek kyselých dešťů v podobě SO₂.

S nedostatkem síry v půdě se v dnešní době již nesetkáte, ale nadbytek se projevuje tím, že listy přestávají růst, jsou malé s namodralým odstínem a stonky rostlin zatvrdnou. Při trvalejším nadbytku síry se listy stáčejí dovnitř, vytvářejí se na nich hrbolky a od okrajů hnědnou. Špičky výhonků jsou světle žluté.

- **Kyselé půdy:** Kyselost půdy se může zvyšovat buď přirozeně, vyplavováním zásaditých iontů z půdy nebo nesprávnými agrotechnickými zásahy a kyselými dešti.

Jedna z příčin, která přispívá k okyselení půd, je vegetace, hlavně stromy. Stromy pohlcují, a tím ve skutečnosti odstraňují z půdy neutralizační chemické látky. Jakákoliv chemická látka, která se zachytila na listech stromů, se deštěm po opadání listů rovněž dostane do půdy. Z toho tedy vyplývá, že nejen kyselé půdy ovlivňují negativně stromy, ale stromy působí na půdu stejným způsobem.

V půdě pod stromy dochází k: okyselení horních vrstev půdy; změnám organického života; mobilizaci těžkých kovů (Cd, Pb, Hg); poškození jemných vlasových kořínků; snížení příjmu vody a živin kořeny; vyloužení živin např. vápníku, hořčíku.

- Rostliny je možné rozdělit na základě tolerance k půdní reakci:

1) **acidofilní rostliny** – vyhovuje jim pH do 6,7 (rašeliníky, rosnatka okrouhlolistá, vřes obecný)

2) **neutrofilní rostliny** – v našich podmínkách je tato skupina nejrozšířenější; pH 7

3) **alkalofilní rostliny** – nejlépe se jim daří v prostředí, kde je pH od 7,2 (třemdava bílá, bělozářka liliovitá)

- **Rostliny při poklesu pH** omezují své základní metabolické procesy. Při nepříznivé půdní reakci se uzavírají průduchy, a tím se zákonitě sníží rychlost fotosyntézy a transpirace. Rychlost fotosyntézy je dále limitována tvorbou chlorofylů, která se také

snižuje. V důsledku omezení fotosyntézy dochází i k omezení růstu nadzemní biomasy a tvorby výnosu.

- **Shrnutí:** kyselá půdní reakce má výrazný vliv na úrodnost půdy; způsobuje redukci kořenové hmoty; redukce příjmu živin a vody; rostliny uzavírají průduchy; rostliny snižují rychlost fotosyntézy; snižuje se tvorba chlorofylů; snižuje se celkově biomasa rostliny.

- **Zasolení; Vodní stres** – sucho a zamokření; **Vysoká a nízká teplota;**

Záření a intenzita světla (*Jak se jim rostlina brání?*)

- Mechanicky působí **vítr** – vysušováním a v součinnosti s unášenými prachovými částicemi (*Pozn.: účinek větru se nejsilněji projevuje na volných planinách, na hřebenech a návětrných úbočích hor – vlajkové formy*)

- **Sníh, laviny, led a námraza**

- **Biotické stresory** jsou vlastně živé organismy, které obývají určité životní prostředí a vstupují do různých vztahů s ostatními organismy a prostředím. Jsou-li účinky těchto organismů na jiné organismy negativní, pak se o nich hovoří jako o biotických stresorech. Mezi biotické stresory je možné zařadit patogenní organismy, jako jsou např. viry, bakterie, houby, také ale hmyzí a živočišné škůdce a samozřejmě i rostliny. Jedním z největších biotických stresorů je člověk.

- **Antropogenní vlivy** (*Jaké znáte?*) – člověk působí jako biotický stresor prostřednictvím zemědělství, průmyslu, urbanizace a dopravy. Činností člověka jsou znečišťovány povrchové i podzemní vody a atmosféra, je znehodnocována půda narušována ozónová vrstva a jsou zásadně ovlivňovány přirozené ekosystémy.

Jak se rostlina vyrovná se stresem

Skupina reakcí, které se spustí pod vlivem stresorů, se nazývá **stresová reakce**. Součástí stresové reakce jsou čtyři: poplachová fáze, restituční fáze, fáze rezistence a fáze vyčerpání.

Poplachová fáze je zahájena bezprostředně po účinku stresoru někdy také kombinací stresorů, kdy jsou jejich působením narušeny buněčné struktury a životní funkce rostliny.

V **restituční fázi**, nedojde-li ovšem k překročení letální meze rostliny a k jejímu úhynu, začnou pracovat kompenzační mechanismy. Tyto mechanismy směřují ke zvýšené odolnosti rostliny ve **fázi rezistence** vůči působícím stresorům. Při dlouhodobém a intenzivním vlivu stresorů nemusí být zvýšená odolnost rostliny vždy trvalého charakteru a může dojít opět k jejímu poklesu ve **fázi vyčerpání**.

Kyselý déšť

Pokud mám začít mluvit o kyselých deštích, měl bych nejprve něco říci o pH. Vzrůst kyselosti a pokles zásaditosti lze měřit pomocí stupnice pH. Stupnice pH sahá od pH 14 (extrémní zásaditost) až pod pH 1 (extrémní kyselost). Neutrální reakci přísluší pH 7.

Čistá destilovaná voda má teoreticky pH 7, normální dešťová voda není nikdy úplně čistá, protože se dostává do styku s chemickými prvky, jež jsou přirozeně přítomné v prostředí. Déšť v oblastech vzdálených od průmyslových center má pH 5,6. V mnohých oblastech severní Ameriky a západní a střední Evropy je pH sněhu a deště 4,3 i nižší. (viz. stupnice)

Co je kyselý déšť

Kyselý déšť je definovaný jako typ srážek s pH nižším než 5,6. Fosilní paliva, která se ukládala po tisíciletí, obsahují chemické prvky jako uhlík (C), uhlovodíky (C_xH_4), síru (S) a dusík (N), které se kdysi nahromadily v tělech původních živých organismů. Při spalování paliv (např. uhlí, ropy, topných olejů a plynu) unikají oxidační produkty obsahující **oxid siřičitý**, **oxidy dusíku**, **oxid uhličitý** a **uhelnatý** a další komponenty ve formě kouřových plynů. (*Zde by byla vhodná otázka, která se týká vylučovaných produktů?*)

Hlavními zdroji kyselého deště jsou **oxid siřičitý** (SO_2), který vzniká zejména spalováním hnědého uhlí, a **oxidy dusíku** (NO_x), jež dnes vznikají hlavně spalováním v automobilových motorech. (*Otázka: jak vznikají?*)

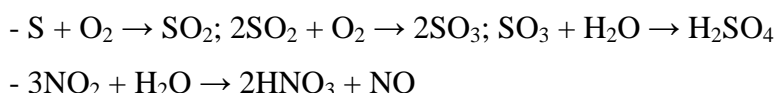
- **SO_2** je bezbarvý plyn dráždící dýchací cesty, který vypouštějí především elektrárny, průmyslové a výrobní závody při spalování uhlí a topných olejů.

Uniká také z hutí při vypalování železných i jiných kovových rud.

V neposlední řadě je zdrojem SO_2 také sopečná činnost. Dobře se rozpouští ve vodě a tento roztok se chová jako slabá kyselina.

- Zdroje sloučenin NO_x jsou přirozené a antropogenní. Za přirozený zdroj dusíkatých sloučenin v atmosféře je pokládána bakteriální, sopečná a bouřková činnost a další procesy probíhající v biosféře. Antropogenními zdroji jsou spalovací procesy, zejména spalování fosilních paliv a automobilová doprava.

- Nejdůležitější roli v okyselení prostředí mají **kyselina sírová** a **kyselina dusičná**, které se podílejí největší měrou na okyselení půd, protože vznikají právě z již zmíněných kyselinotvorných oxidů.



(Pozn.: Je důležité si uvědomit, že základní látky obsažené v kyselém dešti nejsou samy o sobě přímo škodlivé. Síra a dusík jsou například přirozeně přítomné v prostředí. Síra se sem dostává z moří a oceánů s mořskou solí a vodní tříští nebo v plynné formě ze sopečných výbuchů a procesů v půdě. Oxidy dusíku do atmosféry přechází z bouřkových výbojů, sopečných výbuchů a biologických procesů jako např. rozkladu rostlinného materiálu. Příroda je schopna absorbovat a využívat tyto látky, když vznikají pomalu a v malých koncentracích. Látky přispívající ke kyselé reakci dešťových srážek mohou být i cennými živinami pro růst rostlin. Když se v důsledku lidské činnosti v atmosféře zvyšuje obsah kyselých látek, které zde nemohou být neutralizovány, dochází pak k okyselení atmosférických srážek.)

Když bylo na začátku řečeno, že kyselý déšť je typ srážek, je nutné si uvědomit, že znečišťující atmosférické příměsi se během svého transportu atmosférou působením řady fyzikálních a chemických procesů přeměňují a postupně jsou z atmosféry odstraňovány ve formě suché nebo mokré atmosférické depozice.

- **Suchá atmosférická depozice** ukládá atmosférické příměsi na zemský povrch působením sedimentace, adsorpce, absorpce a dalších fyzikálních pochodů ve formě plynné nebo ve formě částic, tzv. pevného spadu.

- Kyselý déšť neboli **mokrá atmosférická depozice** vzniká vymýváním atmosférických příměsí. Mokrý spad se projevuje též ve formě mlhy, kterou označujeme jako horizontální srážky.

(Pozn.: K suchému spadu dochází obecně velmi blízko u zdrojů emise. Mokrý spad se často projevuje až tisíce kilometrů po směru větru od

zdrojů emise. Jinými slovy, kyselý déšť může být “vyvážen“ jednou zemí a “dovážen“ jinými zeměmi.)

Vliv dešťů na okyselení půdy

Již bylo řečeno, že k okyselování půd dochází vlivem kyselých dešťů, dále že jednou z příčin okyselení půdy je za přispění stromů, které pohlcují, a tím ve skutečnosti odstraňují z půdy neutralizační chemické látky.

Kyseliny, jež se do půdy dostávají kyselým deštěm, vyplavují z půdy prvky, které jsou důležité pro udržení vyvážené hodnoty půdní kyselosti, a které jsou současně nezbytnými živinami pro vegetaci. Jedná se zejména o vápník (Ca) a hořčík (Mg), menší roli hrají draslík (K) a sodík (Na). Souhrnně je nazýváme **bazické kationty**. Tyto prvky jsou schopny po nějakou dobu vyrovnávat (neutralizovat) přísun kyselin z atmosféry. Při této reakci jsou ale nevratně odnášeny z půd do podzemních a povrchových vod, půda ztrácí schopnost se dále bránit kyselým srážkám a dochází k jejímu snížení pH.

Poškozování lesů

Bazické kationty (*Otázka: které to jsou?*) byly v důsledku okyselování rozkladem jehličnatého opadu v kombinaci s kyselými dešti vyčerpány. Místo nich dnes kyselý déšť uvolňuje z půd velké množství toxického hliníku (Al) a dalších kovů (Cd, Pb, Hg), které by se normálně nevyluhovaly. Tyto kovy jsou přijímány kořeny stromů z půdního roztoku a významně přispívají k úhynu lesa.

Vysoké koncentrace hliníku v půdním roztoku působí problémy kořenovému systému smrků. Ionty hliníku totiž vytlačují kationty vápníku (Ca), hořčíku (Mg) a draslíku (K) pro rostliny důležité. To vede k odumírání takto postižených orgánů (v typickém případě jemných kořenů) a následně i k špatnému příjmu živin, vody a celkovému oslabení rostliny. Hliník například nejčastěji blokuje příjem hořčíku. Stromy s nedostatkem hořčíku pak trpí chlorózou, tedy žloutnutím jehlic kvůli nedostatku zeleného barviva nutného k zachytávání sluneční energie. Tento mechanismus je typický pro lesní půdy v celé střední Evropě i jižní Skandinávii.

Postižené stromy se stávají extrémně náchylnými vůči suchu, mrazu a dalším vlivům. Popsané mechanismy stromy výrazně oslabují, ale jen zřídka jsou bezprostřední příčinou

úhynu. Tou bývá obvykle klimatický stres (náhlá změna teploty v zimě, dlouhotrvající sucha nebo mrazy) nebo hmyzí či houbový škůdce, kterému by se zdravý les obvykle ubránil jen s malými ztrátami.

- Soubor příznaků odumírání stromů vlivem kyselých dešťů:

- odumírání stromové koruny; ztráta listů a jehličí; stromy se stávají náchylnější vůči škůdcům a snižuje se jejich odolnost k suchu, onemocnění, mrazu atd.; přímé poškození jehličí, listů a kůry; oslabení stromu nedostatkem živin a nadbytkem jedů; ztrátě živin z listů (vyloužením) např. vápníku, hořčíku; snížení klíčivosti semen.

Příznaky odumírání a špatného zdravotního stavu jsou ovlivněny prakticky všechny rozšířené druhy jehličnanů a listnatých dřevin v Evropě podobně jako některé komerčně významné druhy v severní Americe. Ohrožena jsou rovněž průmyslová odvětví vázaná na lesní hospodářství.

Řešení problému

Obecně se dobře ví, že je vždy lepší prevence než léčba. Proto si také lidé čistí zuby a chodí na kontroly, i když je zuby nebolí. O znečištění ovzduší to platí také.

Byly již vykonány například určité pokusy s opatřeními zaměřenými proti okyselování, ale neukázaly se dostatečné. Do řek, jezer, půd a lesů se rozprašováním z letadel přidával mletý vápenec (CaCO_3). Jeho schopnost pufrovat, neutralizovat a dokonce působit proti kyselým vstupům zlepšila například ve Švédsku okyselené prostředí pro rostliny a živočichy. Tyto jeho účinky však mohou být jen krátkodobé a kromě toho je to nákladný způsob.

Hlavním řešením a možná jediným je výrazné snížení úrovně znečištění ovzduší. Důležité je zavádění nových technologií do výroby, které se může zdát značně finančně náročné, ale výsledný prospěch pro prostředí a lidské zdraví může tyto náklady zčásti nebo zcela vyrovnat. Tyto technologie se týkají nejen odsíření tepelných elektráren.

- Šetření energií a alternativní zdroje energie: nejjednodušší cestou k omezení emisí SO_2 a NO_x z průmyslových zdrojů je omezení rozsahu spalování fosilních paliv při získávání tepla a energie.

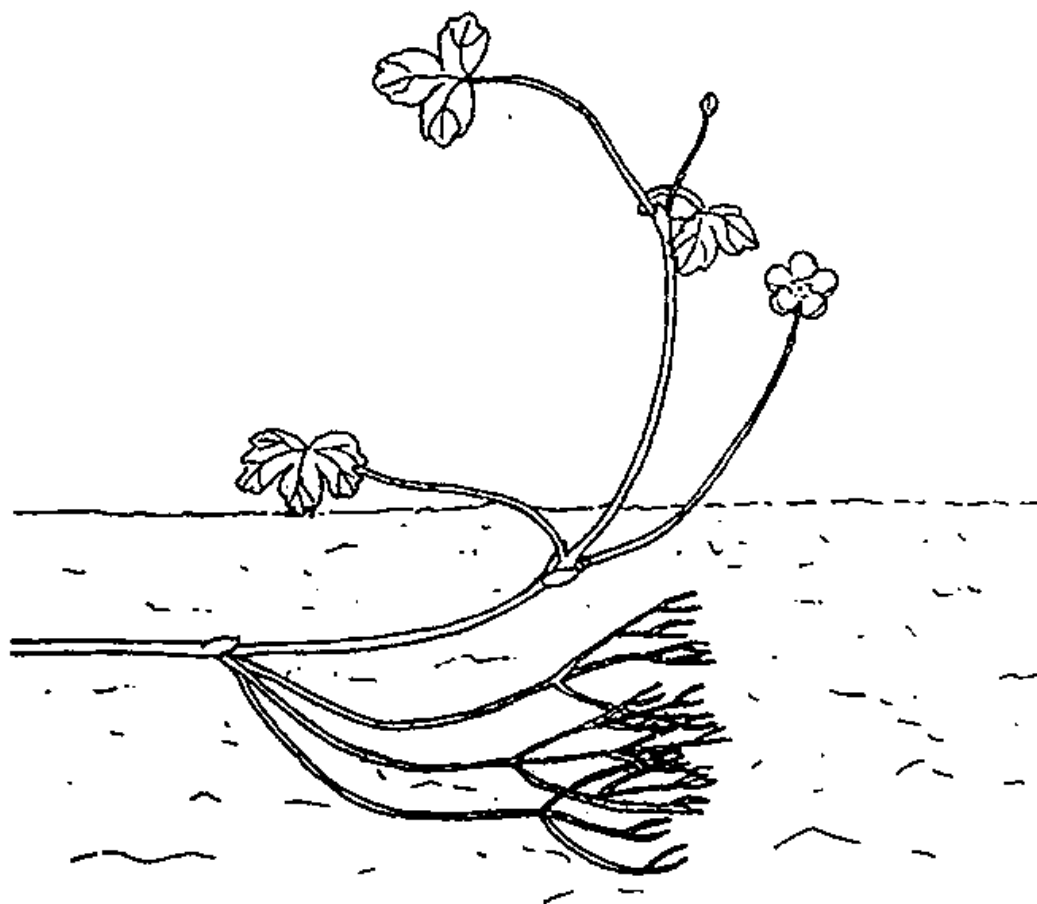
- **Omezení emisí SO₂ z průmyslových zdrojů:** většina emisí SO₂ pochází z velkých stacionárních průmyslových zdrojů. Úroveň jejich emisí lze snižovat před nebo po spálení fosilních paliv (hlavně uhlí a nafty).

(Pozn.: Odsíření paliva lze uskutečnit odstraněním síry před jeho spálením buď čištěním uhlí nebo metodami chemického čištění nebo během zplynování nebo zkapalňování (přeměny uhlí na plynné nebo kapalné palivo). Při čištění uhlí se toto nejprve drtí, aby bylo možno oddělit nespalitelné látky, jako je písek nebo hlína. Současně se oddělí též část síry. Tímto způsobem lze docílit odstranění až 35 % síry. Odsiřováním kouřových plynů se odstraňují sirnaté plyny vzniklé při spalování před jejich vypuštěním do ovzduší. Plynné spaliny lze čistit buď suchými nebo mokrymi metodami. Lze dosáhnout 80 až 90 % odstranění síry. Mokrý odsiřovací metody také snižují úlet tuhých částic a částečně zachycují též NO_x.)

- **Snížení emisí NO_x z elektráren:** fosilní paliva spalovaná v běžných elektrárnách obsahují jen málo dusíku. Oxidy dusíku vznikají až když se do spalovacího procesu zavede vzduch. Úprava spalovacích systémů představuje nenákladný prostředek ke snížení emisí. Může se k tomu využít snížení teplot nebo omezování množství vzduchu dodávaného do spalovacího prostoru. Při technologiích s upraveným spalováním vzniká o 25 až 50 % méně NO_x než u běžných technologií.

- **Snížení emisí motorových vozidel:** samozřejmě, že v dnešní době je již povinností opatřit automobil katalyzátory, které omezují nečistoty přítomné ve výfukových plynech. Dochází k přeměnám CO na CO₂ a H₂O, a také důležitějších pro téma týkající se kyselých dešťů NO_x na N₂. K omezení emisí vozidel lze použít též různých netechnických prostředků nebo systémového řešení dopravy (železnice, doprava lodní, MHD). K neúčinnějším patří používání veřejné dopravy, jízdních kol a chůze.

Obrázky k výkladu:

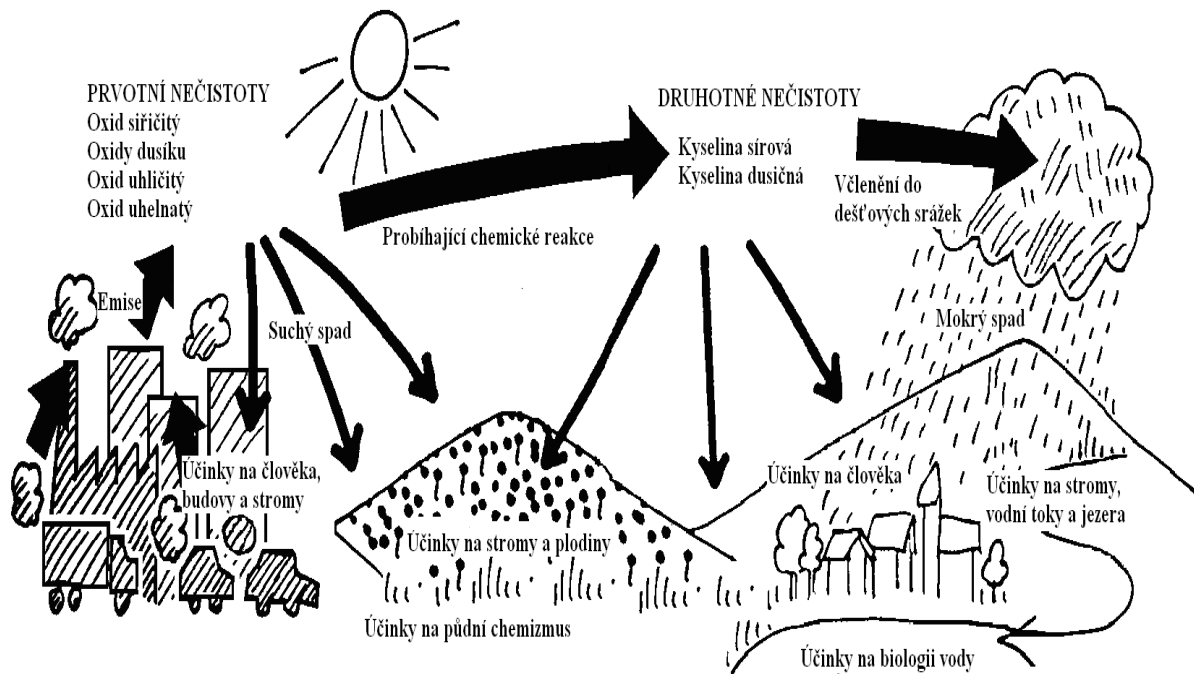


Obr. 1. Utváření odlišného typu listů vlivem prostředí na jedné rostlině. (Lakušník vodní) (Bláha, 2003)



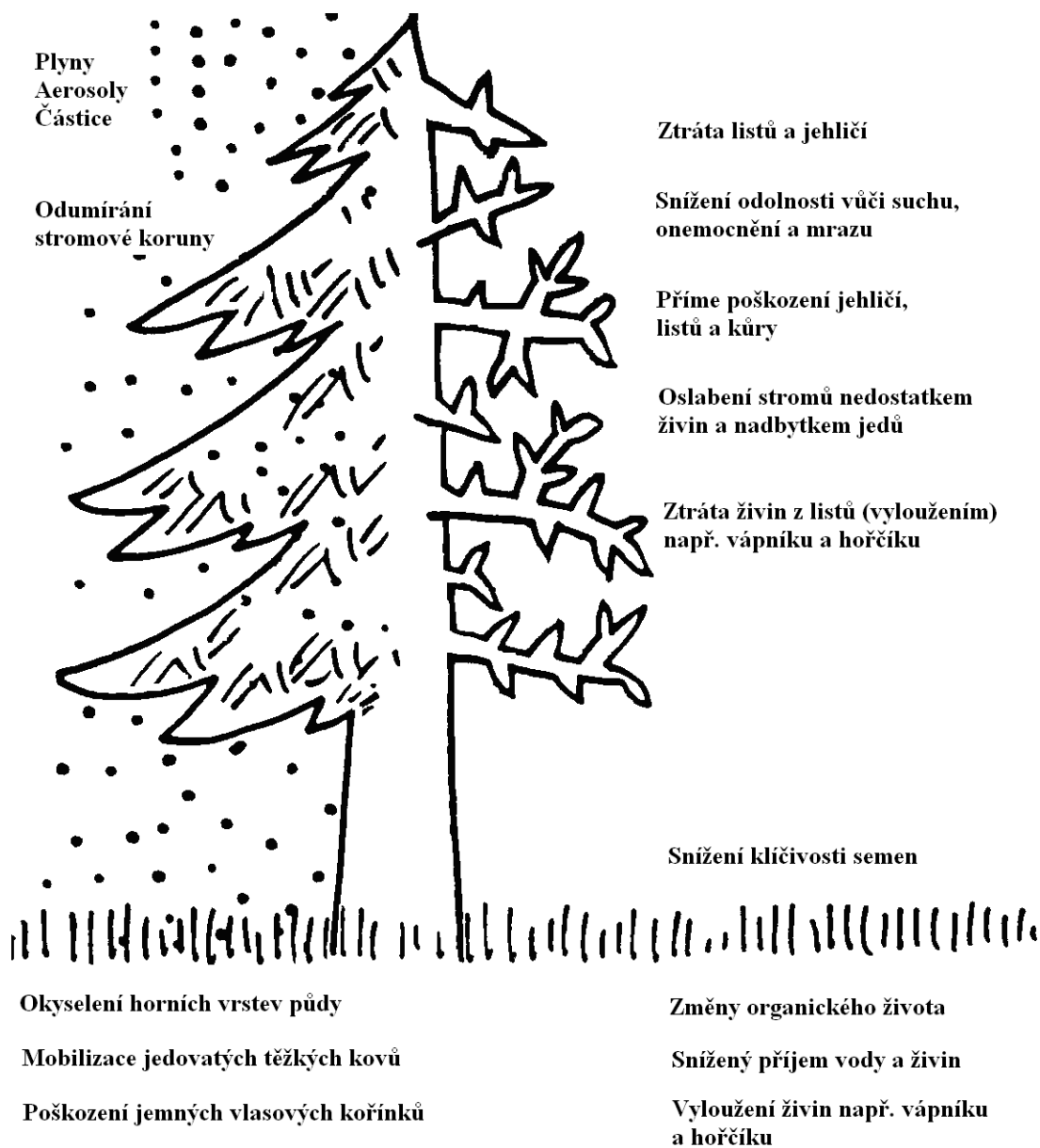
Obr. 2. Stupnice pH. (Macháčková, 2006)

Schéma vzniku okyselování prostředí



Obr. 3 Základní cesty znečišťování ovzduší a kyselého deště. (Sawyer, 1990)

Typické příznaky škod vyvolaných kyselým deštěm na stromech a pod nimi:



Obr. 4 Typické příznaky škod vyvolaných kyselým deštěm na jehličnatých stromech. (Sawyer, 1990)

4.1.3 Výkladový text v praxi

Metoda výkladu je v současné době zřejmě nepoužívanější výukovou metodou. (Maslowski, 1990) V rámci diplomové práce bylo možno vyzkoušet tento text při výkladu v praxi. Jako největší úskalí by se dala uvést časová náročnost. Záleží totiž na kvalitě vědomostí skupiny, se kterou se daná problematika probírá. V případě, že se jedná o skupinu, která je řekněme ekologicky zaměřena a má dobré základy z chemie, dá se výklad zvládnout zcela bez problémů včetně zajímavostí, které jsou v textu uvedeny. Pokud tomu tak není, často se učitel uchýlí k výkladu například základů chemie a hlavní text pak lze jen těžko stihnout.

Uvedené otázky v textu jsou pouze orientační. Jisté je, že učitel, který danou třídu sám učí, zná přesně vědomosti studentů, a tudíž může volit otázky podle nich. Tyto otázky slouží k poutavosti a jisté dynamičnosti výkladu a setkaly se spíše s pozitivním hodnocením vzhledem k tomu, že se díky nim nejednou rozpoutala diskuze týkající se problematiky. Metoda rozhovoru má velké přínosy v tom, že žáci vyjadřují své názory, což je patrně to nejcennější ve vzdělávacím procesu. Problém je pouze v časové náročnosti.

4.2 Pracovní list

4.2.1 Úvodní poznámka k pracovnímu listu

Pracovní list se snaží obohatit prostý výklad učitele. Studenti jsou díky němu nuceni být aktivní po celou dobu výkladu, což lze hodnotit jako pozitivní. Pracovní list totiž přímo navazuje na výklad, na základě kterého si žáci vyplňují jednotlivé chybějící části v textu.

Problém může nastat, pokud studenti nejsou zvyklí na takový styl výuky a nikdy se s ním nesešli. Předpokládá se, že studenti středních škol již zcela bez problémů zvládnou číst jednotlivé úseky pracovního listu, a zároveň se dokáží soustředit na výklad, ze kterého by měli zvládnout pochytit podstatné informace. Přesto se může stát, že v úvodním vyplňování dojde k určitým nesrovnalostem. Zde je nutné, aby vstoupil do práce učitel, který navede a vysvětlí systém práce.

Práce s pracovním listem tedy spočívá v tom, že si studenti vždy přečtou poznámku, která je očíslovaná od jedné do třinácti, poslouchají výklad, při němž se vlastně dozvědí obsah prázdných částí v pracovním listu, ty doplní a pokračují stejným způsobem až k poslednímu bodu. Na závěr výkladu je tedy pracovní list úplný a slouží dále studentům místo výpisků (možnost nalepení do sešitu).

Tato práce se může jevit jako časově velmi náročná. Vzhledem k obsahu výkladové části zde nakonec dojde k velké úspoře času, protože si studenti nemusejí dělat dlouhé výpisky, ale pouze doplňují text, který má v úplné formě poznámky nahradit. Další výhody této práce jsou, že zároveň může učiteli sloužit jako zpětná vazba a kontrola srozumitelnosti jeho výkladu nebo kontrola práce studentů při hodině.

Při testování pracovního listu v praxi bylo často nutné pro úplné vyplnění textu usměrňovat studenty k jeho doplnění, protože se zaměřili především na výklad, který chvílkami přecházel spíše ve výklad s diskuzí. Důležité bylo, že studenti projeví zájem a byli dostatečně motivováni na laboratorní práci. Velmi zajímavá byla část na konci výkladu, kdy se rozvinula debata o tom, jak člověk může ovlivnit zlepšení stavu kyselých dešťů a okyselování. Toho se využilo později v laboratorních pracích, kde byl studentům poskytnut prostor pro vlastní názor a vyjádření.

4.2.2 Pracovní list (prázdný)

Vypracujte tento list ve spolupráci s učitelem dle informací, které vám budou sděleny.

1) Globální problémy lidstva jsou takové problémy, které mají mezinárodní charakter, řeší se smlouvami a nebo dohodami různých organizací. Jejich řešení má dlouhodobý charakter.

Napište některé z těchto problémů:

-;;

2) Termín stres je obvykle používán pro souhrnné označení stavu, ve kterém se rostlina nachází pod vlivem Jejich vlivem mohou být (týká se orgánů rostlin) Jejich působení může vést až k (týká se celých rostlin)

3) Abiotické stresory jsou: a).....; b).....; c).....; d).....

Biotické stresory jsou: a).....; b).....; c).....; d).....

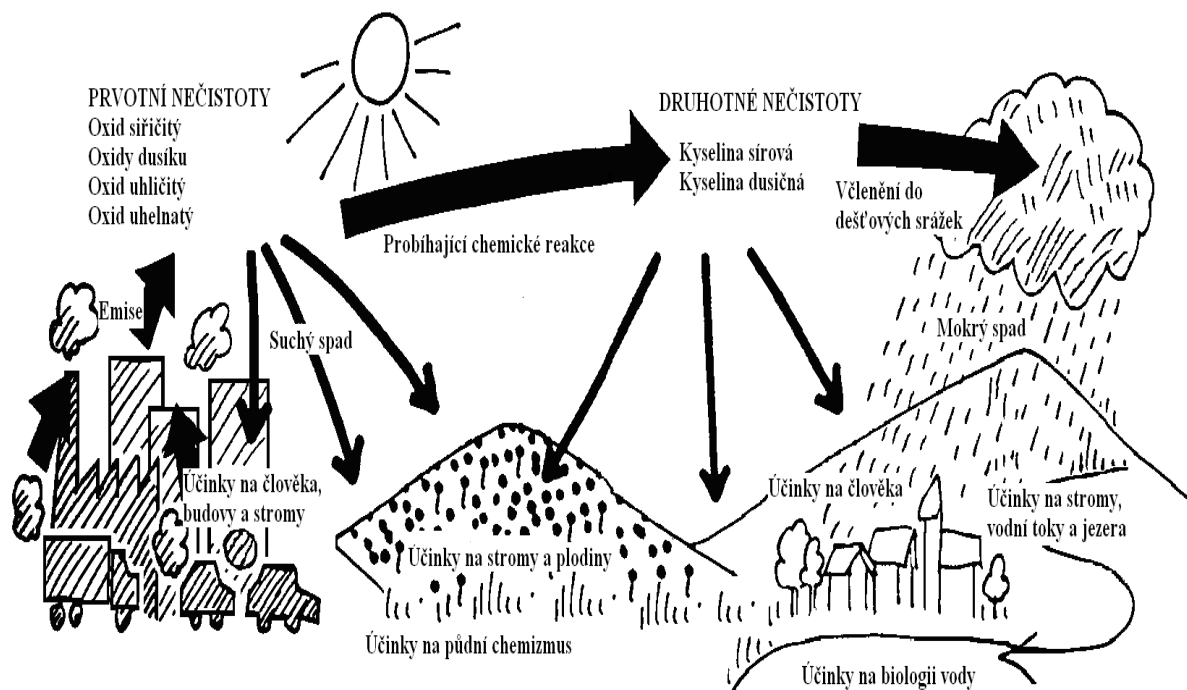
4) Okyselení půd způsobují Jejich účinkem dochází k K okyselení půdy mohou přispět i

5) V půdě pod stromy dochází při okyselení půdy k:;;

6) Pokles pH způsobuje u rostlin:;;

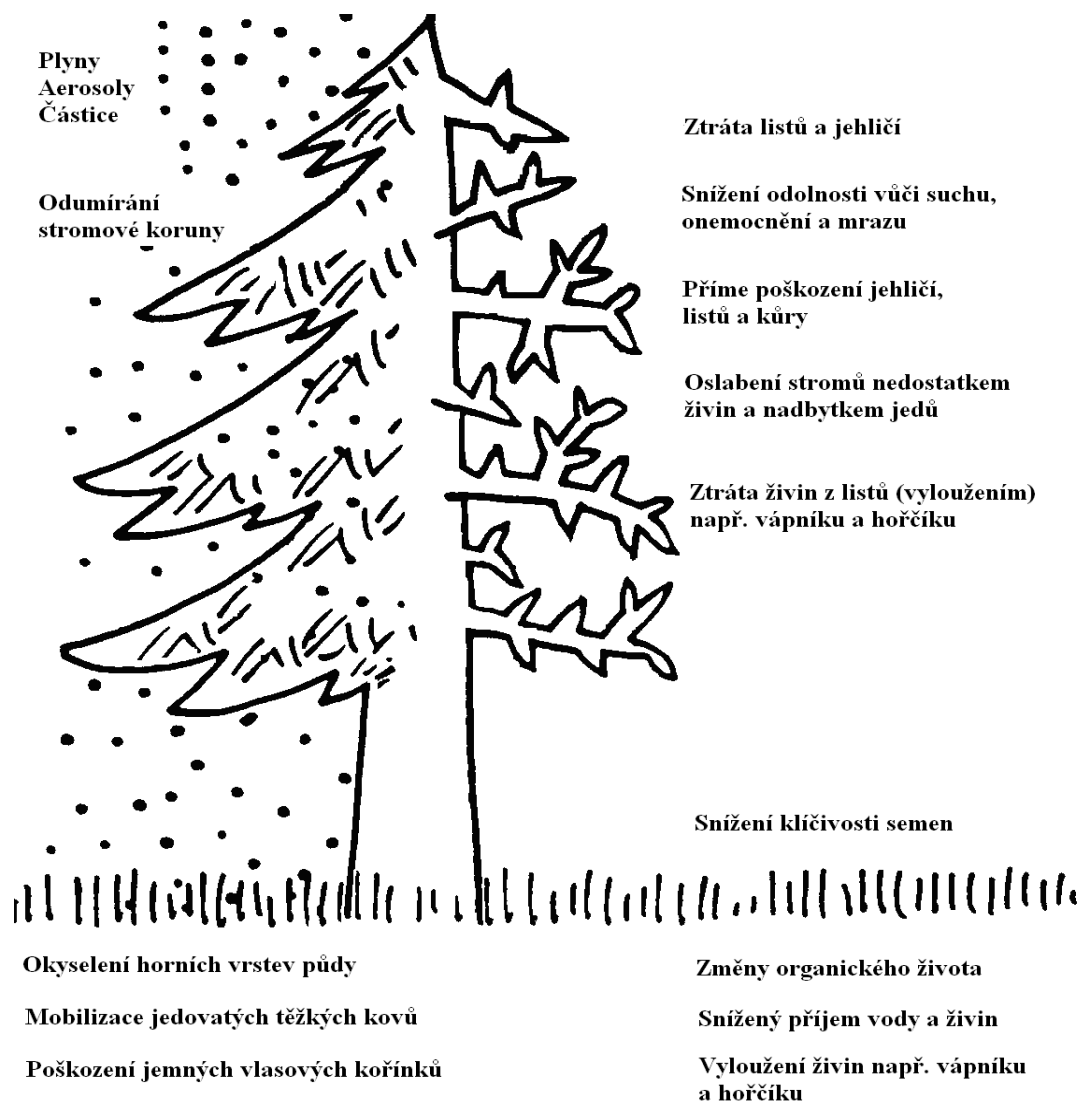
7) Skupina reakcí, která se spustí pod vlivem stresorů se označuje jako Fáze stresové reakce jsou:;;

Schéma vzniku okyselování prostředí



Základní cesty znečišťování ovzduší a kyselého deště. (Sawyer, 1990)

Typické příznaky škod vyvolaných kyselým deštěm na stromech a pod nimi:



Typické příznaky škod vyvolaných kyselým deštěm na jehličnatých stromech. (Sawyer, 1990)

4.2.3 Pracovní list číslo 1 (doplňný)

Vypracujte tento list ve spolupráci s učitelem dle informací, které vám budou sděleny.

1) Globální problémy lidstva jsou takové problémy, které mají mezinárodní charakter, řeší se smlouvami a nebo dohodami různých organizací. Jejich řešení má dlouhodobý charakter.

Napište některé z těchto problémů:

-skleníkový efekt...;globální oteplování...;kyselé deště...

2) Termín stres je obvykle používán pro souhrnné označení stavu, ve kterém se rostlina nachází pod vlivemstresorů..... Jejich vlivem mohou být (týká se orgánů rostlin)

.....poškozeny orgány..... Jejich působení může vést až k (týká se celých rostlin)

.....úhynu rostliny.....

3) Abiotické stresory jsou: a)půdní prostředí.....; b)zasolení.....; c)teplota.....; d).....intenzita světla.....

Biotické stresory jsou: a) ...viry...; b)živočišní škůdci...; c)antropogenní vlivy...;

d)parazitě (houby, bakterie).....

4) Okyselení půd způsobujíkyselé deště..... Jejich účinkem dochází

k.....vyplavování zásaditých iontů z půdy..... K okyselení půdy mohou přispět i

.....stromy.....

5) V půdě pod stromy dochází při okyselení půdy k: ...okyselení půdy...; ...mobilizaci těžkých

kovů...; ...poškození jemných vlasových kořínků...; ...snížení příjmu vody a živin kořeny...;

...vyloužení živin např. vápníku, hořčíku...

6) Pokles pH způsobuje u rostlin: ...omezení základních metabolických procesů...; ...uzavírání

průduchů...; ...snížování rychlosti fotosyntézy...; ...snížování tvorby chlorofylů...; ...snížování

výnosu a biomasy...

7) Skupina reakcí, která se spustí pod vlivem stresorů se označuje jako...stresová reakce...

Fáze stresové reakce jsou: ...poplachová...; ...restituční...; ...rezistenční...; ...vyčerpání...

8) Destilovaná voda má teoreticky pH7.... Normální dešťová voda je ovlivněna stykem s chemickými látkami v ovzduší, proto její pH je ...5,6... Pro kyselý déšť je typické pH pod ...5,6....

9) Hlavními zdroji kyselého deště jsou SO_2 a NO_x .

- SO_2 vzniká: a) antropogenní činností – spalování ...*hnědého uhlí*... a ...*ropy*...

b) přírodní činností – zdrojem je ...*sopečná činnost*...

- NO_x vzniká: a) antropogenní čin. – především vlivem ...*automobilové dopravy*....

b) přírodní činnost – činnost ...*sopečná*... a ...*bouřková*...

- tyto oxidy mají největší význam při okyselování, protože snadno reagují s vodou a vytváří tak kyselinu*sírovou*..... a kyselinu*dušičnou*.....

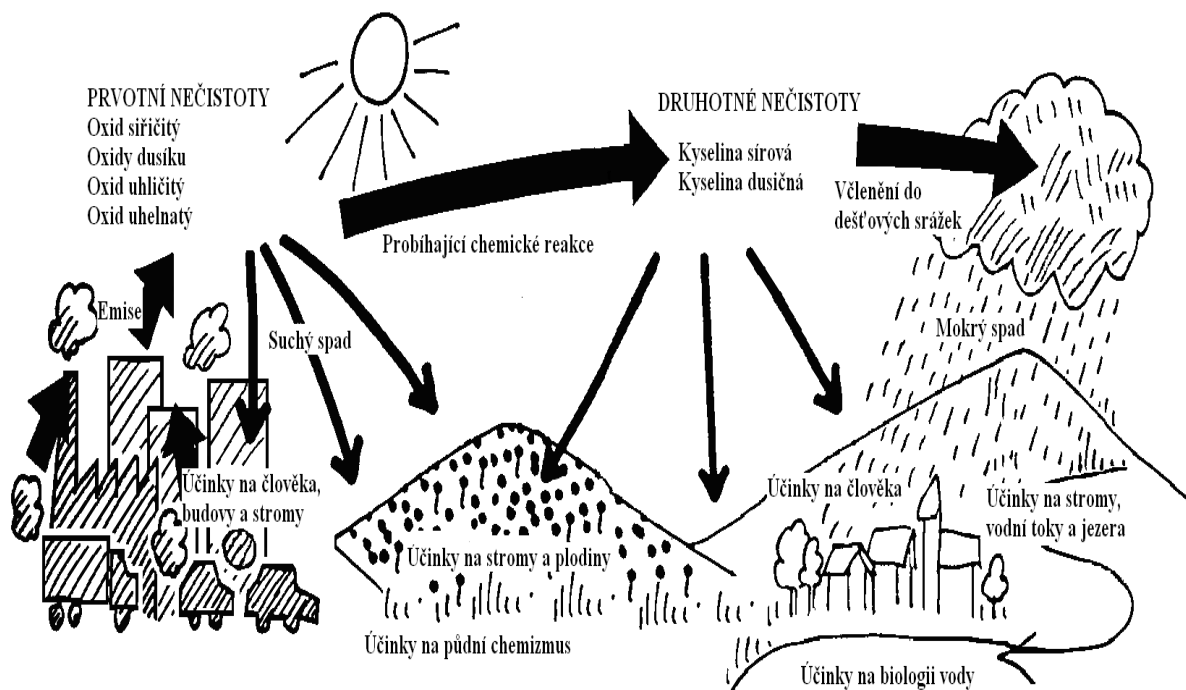
10) Kyseliny, které se do půdy dostávají s kyselým deštěm, vyplavují z půdy prvky (uved'te příklady): ...*vápník*..., ...*hořčík*..., ...*draslík*..., ...*sodík*..., které udržují vyváženou půdní kyselost a souhrnně se nazývají*bazické kationty*.....

11) Po vyčerpání bazických kationtů uvolňuje kyselý déšť z půdy toxické látky jako například: ...*hliník*..., ...*kadmium*..., ...*olovo*..., ...*rtuť*...

12) Soubor příznaků odumírání stromů vlivem kyselých dešťů zahrnuje: ...*odumírání stromové koruny*...; ...*ztrátu listů a jehličí*... Stromy se tak stávají náchylnější a snižuje se jejich odolnost vůči*suchu*.....,*mrazu*..... a například*parazitům*..... Dochází také ke snížení (týká se semen)*klíčivosti semen*.....

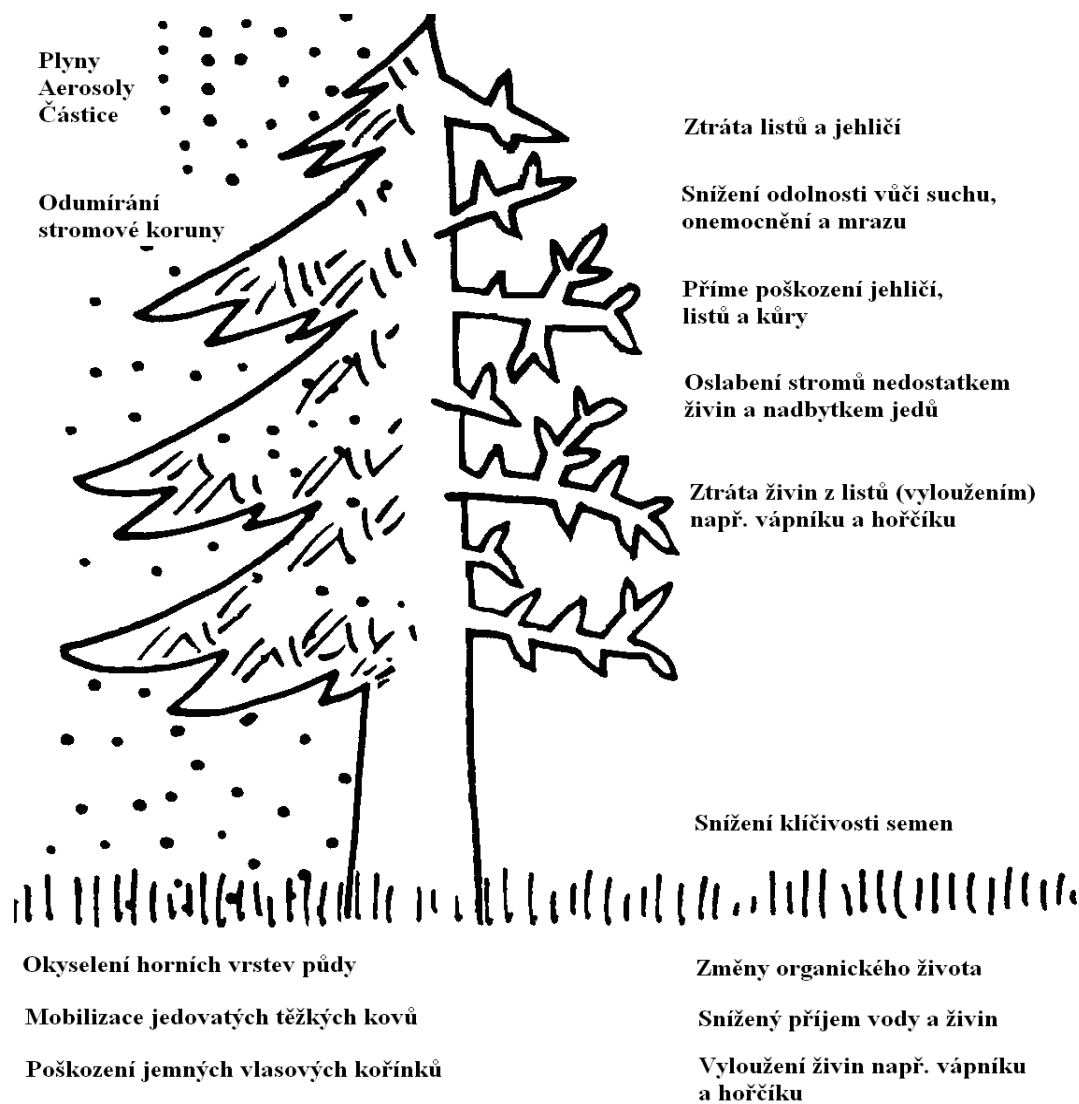
13) Hlavním řešením problému kyselých dešťů je snížení úrovně znečištění ovzduší. Zásadní cestou k omezení emisí SO_2 a NO_x je omezení*spalování fosilních paliv*..... při získávání tepla a energie. Technologie se zabývají především snižováním obsahu*síry*..... při spalování fosilních paliv tj. procesem*odsířením*..... Úprava spalování je samozřejmá i v případě NO_x . Automobily by měly být opatřeny*katalyzátory*..... Samozřejmostí je také užití netechnických prostředků jako je*chůze pěšky*..... a prostředků systémového řešení dopravy (uved'te)*železnice*.....,*doprava lodní*.....,*MHD*.....

Schéma vzniku okyselování prostředí



Základní cesty znečišťování ovzduší a kyselého deště. (Sawyer, 1990)

Typické příznaky škod vyvolaných kyselým deštěm na stromech a pod nimi:



Typické příznaky škod vyvolaných kyselým deštěm na jehličnatých stromech. (Sawyer, 1990)

4.3 Zásobník laboratorních prací

Soubor navržených laboratorních úloh má doplnit teoretické znalosti z vyložené látky. Studenti si díky nim mohou prakticky představit působení kyselých dešťů. Navrženo bylo celkem 6 úloh, kdy záleží na výběru učitele, které pro praktickou část zvolí. Při praktické části není důležité stihnout všech 6 laboratorních úloh, ale je dobré zvolit úlohy 1, 2, 4, jež se zabývají přímo vznikem a vlivem kyselých dešťů a úlohu číslo 3, která dokazuje jeden z ekologických způsobů řešení problému.

Úlohy byly čerpány a inspirovány z těchto prací: Baer (1960), Jelínek (2006), Macháčková (2006) a Molisch (1975) a některé z nich byly upraveny autorem.

Laboratorní pokus č. 1

Úkol: ověřit vznik kyselin reakcí vody a oxidů obsažených v dýmu.

Problematika: v atmosféře jsou neviditelné vodní páry. Jejich nahuštěním vznikají mraky nebo mlha (což jsou vlastně oblaka vytvořená při zemi). Ale ve vzduchu je také rozptýlen kouř (z továren, aut, domácností), který vzniká při spalování, při němž se látky slučují s kyslíkem a tvoří se oxidy. Některé oxidy reagují s vodní párou v atmosféře a konečným produktem reakce jsou kyseliny. (viz. výklad a pracovní listy)

Prostředí a doba pokusu: provádíme v laboratorních podmínkách; 10' - 15'.

Potřeby a materiál: zápalky, uzavíratelná sklenička (př. od dětské výživy), pH indikátor (roztok fenolftaleinu, lakmusový papírek).

Pracovní postup a organizace: žáci pracují buď jednotlivě nebo ve dvojicích. Práce je společná.

Do skleničky nalij vodu a změř její pH (buď přikápní 3 kapky indikátoru nebo změř pomocí lakmusového papírku a porovnej s barevnou stupnicí). Zapiš barvu a pH. Zapal najednou 2

zápalky a nech je hořet tak, aby kouř šel do skleničky. Po několika vteřinách sfoukni zápalky (ve skleničce, aby kouř šel stále dovnitř). Skleničku uzavři a pořádně protřepej. Proveď opět měření pH a zapiš výsledek (obdobně jako na začátku pokusu).

Výsledky měření:

1. měření pH a barva:

2. měření pH a barva:

Otázka a závěr: Je kyselější roztok před pokusem nebo po pokusu? Proč tomu tak je?
(odpovědi je možné nalézt také v pracovním listu)

(Macháčková, 2006)

Laboratorní pokus č. 2

Úkol: ověřte vliv oxidu siřičitého na rostliny

Problematika: jak již víte, hlavní složkou kyselého deště jsou převážně oxidy síry (SO_2) a oxidy dusíku (NO_x). Oxid siřičitý je nebezpečná látka, která vzniká jako produkt mnohých chemických reakcí v průmyslu (např. při výrobě chemických látek). Zdroje jsou tedy antropogenní (spalování hnědého uhlí a ropy) a přírodní (sopečná činnost). Oxid siřičitý se podílí na vzniku kyselého deště, je však také sám o sobě ekologickým jedem pro rostliny.

Prostředí a doba pokusu: provádíme v laboratorních podmínkách; 20' - 30'.

Potřeby a materiál: síra, spalovací lžice, skleněný válec, hodinové sklo, zelený list, korunní plátky růže.

Pracovní postup a organizace: žáci pracují ve dvojicích, možné jsou i skupinky 3-4 žáků. Práce je společná.

Na spalovací lžici zapálíme malé množství síry a lžici vložíme do skleněného válce. Do válce vložíme zelený list ze stromu. Skleněný válec přikryjeme hodinovým sklem. Pozorujeme změny na listu ve skleněném válci. Totéž provádíme i s květními plátky růže.

Pozn.: Pro lepší provedení pokusu je dobré zvolit list s tenkou vrstvou pokožky (mladší list). Dobré je použít rostliny neutrofilní až bazofilní. List je dobré před provedením pokusu mírně mechanicky poničit (propíchnutí špendlíkem, lehké rozmačkání).

Výsledky: 1) změny na listu

- list bez mechanického poškození

- list mechanicky poškozen

2) změny na korunních plátcích růže

Otázka a závěr: Co způsobují zplodiny zapálené síry na listech stromů?

(Molisch, 1975)

Laboratorní pokus č. 3

Úkol: důkaz "čistoty" dýmu při topení dřevem.

Problematika: jako ekologické se jeví topení dřevem. Při topení dřevem se do atmosféry uvolní jen tolik CO₂, kolik by se jej stejně uvolnilo při tlení. Na rozdíl od fosilních paliv, kdy se CO₂ ukládal miliony let, my jej teď vrhneme do atmosféry během jednoho lidského života. Co se týká síry, tak její obsah ve dřevě je prakticky mizivý. Obsah síry ve dřevě se udává ve výši 0-0,05 %, což v horším případě představuje 1/60 – 1/100 obsahu síry v hnědém uhlí (podle jeho kvality).

Hlavní přínosy, které energie z biomasy přináší, se charakterizují takto:

- snížení emisí skleníkových plynů
- uzavřený koloběh uhlíku,
- spalováním fosilních paliv se nezvratně zvyšuje podíl CO₂ v atmosféře,
- snížení emisí škodlivin (SO₂, NO_x a jiné).

Prostředí a doba pokusu: provádíme v laboratorních podmínkách; 20' - 30'.

Potřeby a materiál: zápalky, ztrouchnivělé dřevo (vysušené), pH indikátor (roztok fenolftaleinu, lakmusový papírek), kádinka s vodou

- vykuřovadlo: plechovka, kovové sítko, gumová hadička, skleněný vývod, balonek pro dmýchání.
 - Pozn.: Je dobré mít vykuřovadlo dobře zaizolované, aby dým neunikal mimo. Ve vykuřovadle se později spaluje usušené dřevo, při jehož hoření vzniká dosti dýmu.



Vyrobené vykuřovadlo. (Macháčková, 2006)

Pracovní postup a organizace: žáci pracují buď samostatně nebo ve dvojicích. Práce je společná

Do vykuřovadla připrav ztrouchnivělé dřevo (záleží na velikosti sítko). Zapal kousek ztrouchnivělého dřeva v ruce a vlož ho do sítko s ostatním dřevem v plechovce a přikryj víčkem. Balónkem rozdmýchej oheň v plechovce, čímž získáš dostatek dýmu. Tento dým chytej do kádinky s vodou. Po několika minutách nech vykuřovadlo vyhasnou a pomocí lakmusového papírku změř pH vody v kádince. Výsledek měření zapiš. Jako závěr uveď důkaz, jestli při spalování biomasy vznikají zplodiny, které se podílejí na vzniku kyselých dešťů.

Výsledky měření:

Závěr:

(Macháčková, 2006)

Laboratorní pokus č. 4

Úkol: ověřit působení kyselého deště na jehličí

Problematika: rostlinné buňky obsahují chloroplasty, v nichž je zelené barvivo chlorofyl. Součástí chlorofylu je hořčík. Kyselina sírová (kterou kyselý dešť obsahuje) reaguje s hořčíkem chlorofylu, což se projeví barevnou změnou jehlice. Ale kyselý dešť nepůsobí pouze změnou jehlic. Sawyer (1990) mluví o tzv. souboru příznaků odumírání stromů, který zahrnuje odumírání stromové koruny, ztrátu jehličí, snížení klíčivosti semen a především přímému poškození jehličí, které se v pokusu budete snažit prokázat.

Prostředí a doba pokusu: provádíme v laboratorních podmínkách; 30´.

Potřeby a materiál: smrkové jehličí, ředěná kyselina sírová (35%), Petriho miska, kádinka.

- Pozn.: Při tomto pokusu studenti pracují s ředěnou kyselinou sírovou (35%). Je ale důležité si uvědomit, že taková koncentrace v ovzduší není. V pokusu ji používáme pro jeho urychlení, abychom dosáhly co nejdříve daných projevů na jehlicích.

Pracovní postup a organizace: žáci pracují buď jednotlivě nebo ve dvojicích. Práce je společná.

Do Petriho misky umístí jehlice smrku a opatrně přilij ředěnou kyselinu sírovou. Pozoruj, co se s jehlicí stalo a výsledek zapiš do závěru.

- Pozn.: Pro urychlení pokusu je možno jehlice mírně rozmačkat nebo poškodit špendlíkem

Výsledek: jako výsledek zkus zakreslit tento pokus, ale v přírodních podmínkách (tj. dopad mokré kyselý deště na koruny jehličnanů). Do nákresu uveď také chemickou rovnici vzniku kyselého deště (uvědom si plyny, které se na vzniku kyselin v ovzduší podílejí).

Závěr:

(Molisch, 1975)

Laboratorní pokus č. 5

Úkol: důkaz přijímání vody stonkem a rozvod po těle rostlin cévami

Problematika: u některých typů dřevin je možné pozorovat cévy i pouhým okem. Cévy rozvádějí vodu po těle a vedou ji od kořene až do listů, proto také při okyselení půd jsou ovlivněny kyselinami jako první spodní listy. Tento pokus dokazuje, že cévy vedou vodu i s rozpuštěnými látkami od kořene do listů.

Prostředí a doba pokusu: provádíme v laboratorních podmínkách; 15' - 25'.

Potřeby a materiál: různé druhy větvíček ze stromů a keřů (nejlepší jsou vinná réva, chmel otáčivý, ořešák nebo různé druhy dubu, které mají široké cévy), nožík, červený inkoust, kádinka s vodou.

Pracovní postup a organizace: žáci pracují buď jednotlivě nebo ve dvojicích. Práce je společná.

Z různých připravených větvíček stromů a keřů odřež a připrav olistěné kousky větvíček dlouhé 4 - 6cm. Tyto větvíčky vlož do kádinky s vodou, kterou před tím obarví červeným inkoustem. Po uplynutí patnácti až dvaceti minut (záleží na zbývajícím čase) rozřež větvíčky na kousky po půl centimetru. Uvidíš, jak vysoko a jak rychle barevný roztok ve větévce vystoupil. Přitom zjistíš, že se zbarvilo pouze dřevo, nikoliv kůra a dřev. Stejně tak by voda stoupala cévami i v případě okyselené tekutiny.

Výsledky: uveď pro různé typy dřevin, jak vysoko vystoupala obarvená voda.

Závěr:

(Baer, 1960)

Laboratorní pokus č. 6

Úkol: důkaz přijímání a vedení vody až do žilnatiny okvětních lístků

Problematika: u některých typů dřevin je možné pozorovat cévy i pouhým okem. Cévy rozvádějí vodu po těle a vedou ji od kořene až do listů, proto také při okyselení půd jsou ovlivněny kyselinami jako první spodní listy. Tento pokus dokazuje, že cévy vedou vodu i s rozpuštěnými látkami od kořene až do okvětních lístků, kde samozřejmě v případě stresu okyselením může působit negativně.

Prostředí a doba pokusu: provádíme v laboratorních podmínkách; 15' - 20'.

Potřeby a materiál: sněženku podsněžník, kádinka s vodou, červený inkoust, nožík.

Pracovní postup a organizace: žáci pracují buď jednotlivě nebo ve dvojicích. Práce je společná.

Připrav si z rostlinky sněženky kousek, který bude mít část stonku a na horním konci květ. Takto upravenou rostlinku ponoř do kádinky s vodou, kterou před tím obarví červeným inkoustem. Žilnatina bílých okvětních lístků se stane viditelnou po obarvení červeným inkoustem poté, co se tento roztok díky cévám dostane až do okvětních lístků.

Závěr: zaznamenej, zdali se pokus vydařil a jak dlouho trvalo, než se roztok s inkoustem dostal do žilnatiny okvětních lístků sněženky.

(Molisch, 1975)

4.3.1 Zhodnocení laboratorních prací

Jako hlavní cíl bylo ukázat studentům vliv a vznik kyselých dešťů v praxi. K tomu byly využity především laboratorní úlohy jedna až čtyři.

Laboratorní úloha číslo jedna by se mohla zdát jako velice jednoduchá a pro využití na středních školách až zbytečná, projevila se však jako dostačující důkaz, že oxid siřičitý reaguje s vodou za vzniku kyselé látky.

Laboratorní úloha číslo dvě ukazuje studentům, že nejen kyselá dešť, ale i sám oxid siřičitý je pro rostliny škodlivý. Důkaz vlivu oxidu siřičitého na zeleném listu může být někdy patrný až po delší době. Závisí to na pokožkových buňkách rostliny, proto bylo nutné vybrat rostliny nejlépe podle návodu. Studenti se ptali, jestli takto působí oxid siřičitý na všechny typy rostlin. Nakonec došli k závěru, že záleží na stupni poranění pokožky. Pokus byl velmi patrný na květních plátcích růže, u kterých došlo k odbarvení. Při dotazu, proč tomu tak je, byla dostačující odpověď, že barvivo antokyan obsažený v korunních lístcích se vlivem oxidu siřičitého odbarvuje. Zajímavé bylo pro studenty zjištění, že po vyjmutí ze zplodin síry se korunním plátkům navrací zpět jejich původní barva.

Díky důkazu čistoty dýmu vznikajícím při laboratorní úloze číslo tři studenti často uváděli do Opakovacího testu v otázce č. 10 právě přechod na alternativní zdroje energie a topení biomasou.

Laboratorní úloha číslo čtyři dokázala studentům, že vliv kyselých dešťů je opravdu patrný na jehličnanech a jehličích. Zpočátku si studenti mylně mysleli, že jehlice má tak silnou kutikulu, že se přímému vlivu kyseliny sírové snadno ubrání. Po provedení pokusu většina studentů na podnět učitele vyhledala v dostupné literatuře obrázky poškozených jehličnatých lesů na území ČR se zájmem, jak vlastně vypadá les zdevastovaný kyselou depozicí. Tento zájem se jevil jako velmi pozitivní, protože takto vstoupila tato problematika více do podvědomí.

Díky laboratornímu pokusu číslo čtyři se rozpoutala ve skupině debata, která byla velmi přínosná z hlediska toho, že se vytvořily 2 skupiny. Jedna zastávala názor, že by se mělo začít s okamžitým čištěním ovzduší, druhá zastávala názor, že čištění již probíhá, a že nejde jen tak přestat využívat automobilovou dopravu a topit uhlím. Po vstupu učitele, který tuto debatu mírně usměrnil a formou lehce řízeného rozhovoru využil rozdělení skupiny na dva tábory, kdy jedné skupině dal za úkol přesvědčit pádnými argumenty druhou, že jejich pravda je ta správná, byla snaha debatu vést určitým směrem. Každá skupina měla krátký čas

na poradu, a poté svůj prostor pro přesvědčení druhé. To se však ani jedné nepodařilo, tak studenti dostali za úkol nastudovat dané téma doma za využití nejen literatury, ale také internetu a možnost pokračovat v debatě další vyučovací hodinu.

Další 2 laboratorní úlohy (pět a šest) zůstaly řekněme ve stínu debaty a studenti si pouze rychle vyzkoušeli, zdali je roztok opravdu veden dřevem nebo nikoliv. Pro nedostatek času pokusy příliš zdařené nebyly.

4.4 Opakovací test pro střední školu

4.4.1 Opakovací test pro střední školu (nevyplněný)

1) Při stresu se obecně rostlina nachází pod vlivem:

- a) stresorů
- b) hmyzu
- c) vody
- d) světla

2) Rostlinný stres je:

- a) příznivé působení vnějšího prostředí
- b) příznivé působení vnitřního prostředí
- c) stav, kdy se rostlina nachází pod vlivem nepříznivých podmínek vnějšího prostředí

3) Podtrhněte všechny abiotické stresory:

viry zasolení půda hmyz teplota parazité

4) V půdě pod stromy při působení kyselých dešťů dochází k (vyberte všechna správná tvrzení):

- a) okyselení půdy
- b) zlepšení růstu vlasových kořínků
- c) snížení příjmu vody a živin kořeny
- d) mobilizaci těžkých kovů

5) Rostliny při poklesu pH (vyberte 1 správné tvrzení):

- a) uzavírají průduchy
- b) zvyšují fotosyntézu
- c) zvyšují výnos

6) Doplněte větu a očísľujte fáze v pořadí, ve kterém probíhají:

Skupina reakcí, které se spustí pod vlivem stresorů, se souhrnně nazývá

Její fáze probíhají v pořadí: restituční poplachová vyčerpání rezistence

7) Hlavní složkou kyselého deště jsou:

- a) SO_2 , NO_x
- b) SiO_2 , CaCO_3
- c) HCl , NaOH
- d) FeS_2 , ZnS

8) Doplňte větu:

2 kyseliny, které pronikají do půdy jako součást kyselých dešťů se nazývají Tyto kyseliny z půdy vyplavují prvky, které se souhrnně označují jako K těmto prvkům patří např.: Pokud dojde k vyčerpání těchto prvků, pak kyselý déšť uvolňuje z půdy toxické látky jako např.:, které dále působí negativně na rostliny.

9) Kyselému dešti náleží hodnota pH:

- a) 8
- b) 7
- c) 5,6
- d) pod 5,6

10) Napište 2 způsoby řešení problému vzniku kyselých dešťů:

.....
.....

4.4.2 Opakovací test pro střední školu (vyplněný)

1) Při stresu se obecně rostlina nachází pod vlivem:

- a) stresorů
- b) hmyzu
- c) vody
- d) světla

2) Rostlinný stres je:

- a) příznivé působení vnějšího prostředí
- b) příznivé působení vnitřního prostředí

c) stav, kdy se rostlina nachází pod vlivem nepříznivých podmínek vnějšího prostředí

3) Podtrhněte všechny abiotické stresory:

viry zasolení půda hmyz teplota parazité

4) V půdě pod stromy při působení kyselých dešťů dochází k (vyberte všechna správná tvrzení):

- a) okyselení půdy
- b) zlepšení růstu vlasových kořínků
- c) snížení příjmu vody a živin kořeny
- d) mobilizaci těžkých kovů

5) Rostliny při poklesu pH (vyberte 1 správné tvrzení):

- a) uzavírají průduchy
- b) zvyšují fotosyntézu
- c) zvyšují výnos

6) Doplňte větu a očísľujte fáze v pořadí, ve kterém probíhají:

Skupina reakcí, které se spustí pod vlivem stresorů, se souhrnně nazývástresová.....

Její fáze probíhají v pořadí: 2 restituční 1 poplachová 4 vyčerpání 3 rezistence

7) Hlavní zdroje kyselého deště jsou:

- a) SO_2, NO_x
- b) $\text{SiO}_2, \text{CaCO}_3$
- c) HCl, NaOH
- d) FeS_2, ZnS

8) Doplňte větu:

2 kyseliny, které pronikají do půdy jako součást kyselých dešťů se nazývajísírová.....,dusičná..... Tyto kyseliny z půdy vyplavují prvky, které se souhrnně označují jakobazické..... K těmto prvkům patří např.:vápník.....,hořčík..... Pokud dojde k jejich vyčerpání těchto prvků, pak kyselý déšť uvolňuje z půdy toxické látky jako např.:hliník.....,olovo....., které dále působí negativně na rostliny.

9) Kyselému dešti náleží hodnota pH:

- a) 8
- b) 7
- c) 5,6
- d) pod 5,6

10) Napište 2 způsoby řešení problému vzniku kyselých dešťů:

.....omezení emisí SO_2 a NO_x tím, že se omezí spalování fosilních paliv.....
zavádění technologií na snižování obsahu síry při spalování fosilních paliv – odsíření

4.4.3 Výsledky opakovacího testu

Testu se zúčastnilo 81 žáků ze dvou středních škol a dohromady 4 tříd. K vyzkoušení práce byly vybrány třídy, které měli základy z ekologie a potřebné znalosti z chemie. V obou případech se jednalo o druhé ročníky gymnázií. Se 38 žáky byla látka probírána formou výkladu s vyplněním pracovních listů a vypracováním laboratorních úloh. 43 žáků se vypracování pracovních listů ani laboratorních úloh neúčastnilo.

Obě tyto skupiny nakonec psaly opakovací test pro střední školu. Žáci, kteří vyplňovali pracovní listy a vypracovávali laboratorní úlohy splnili test na 91%. Skupiny žáků, které čerpaly jen z vědomostí získaných na střední škole uspěly pouze ze 36%.

| Číslo otázky | Počet chybuujících žáků | Počet chybuujících žáků v % |
|--------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 8 | 20 |
| 4 | 20 | 53 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 8 | 20 |
| 7 | 2 | 5 |
| 8 | 12 | 32 |
| 9 | 4 | 11 |
| 10 | 2 | 5 |

Tabulka 1 špatně zodpovězených otázek u žáků, kteří vypracovali pracovní listy a laboratorní práce.

| Číslo otázky | Počet chybuujících žáků | Počet chybuujících žáků v % |
|--------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1 | 13 | 30 |
| 2 | 7 | 16 |
| 3 | 37 | 86 |
| 4 | 41 | 95 |
| 5 | 15 | 35 |
| 6 | 40 | 93 |
| 7 | 21 | 49 |
| 8 | 41 | 95 |
| 9 | 34 | 79 |
| 10 | 37 | 86 |

Tabulka 2 špatně zodpovězených otázek u žáků, kteří nevypracovali pracovní listy ani laboratorní práce.

Výše uvedené tabulky porovnávají počet chybujících studentů v opakovacím testu pro střední školy mezi těmi, kteří se zúčastnili vypracování pracovních listů a laboratorních úloh (Tabulka 1) a těmi, kteří čerpali z vědomostí získaných během studia na střední škole (Tabulka 2). Po testu byly se studenty obou skupin ještě ústně rozebírány jednotlivé otázky testu kvůli ujasnění, proč odpovídali právě tak, jak odpovídali.

Žáci, kteří neabsolvovali laboratorní cvičení společně s výkladem a vyplněním pracovního listu si prakticky nedokázali poradit s otázkami 3, 4, 6, 8, 9 a 10.

- Otázka č. 1: U této otázky žáci, kteří chybovali, volili nejčastěji odpověď, že se rostlina nachází pod vlivem hmyzu. Při dotazování shodně tvrdili, že neznají pojem stresor.
- Otázka č. 2: Zde chybovalo pouze sedm studentů, kteří odpovídali zcela nelogicky, že stres je příznivé působení vnějšího prostředí.
- Otázka č. 3: Tato testová otázka ukázala, že studenti vůbec neoperují s pojmem biotický a abiotický. Při závěrečném rozhovoru si otázku ujasnili až poté, co byla užitá slova živý a neživý. Někteří ze studentů si špatně přečetli zadání, kde je v otázce zvýrazněno slovo „všechny“ abiotické stresory, pak tedy odpovídali neúplně.
- Otázka č. 4: Tato otázka byla zřejmě pro studenty až příliš těžká. Pokud se skupina nezúčastnila laboratorních prací a výkladu, mohla ji doplnit pouze pomocí typování správné odpovědi. Vzhledem k tomu, že zde bylo nutné označit více správných možností, nedokázalo správně odpovědět 95% žáků.
- Otázka č. 5: Zadání bylo ulehčeno tím, že jako správná zde byla pouze jedna možnost. Z patnácti studentů, kteří zde chybovali, odpovědělo dvanáct, že při poklesu pH rostliny zvyšují fotosyntézu. Nikdo z nich však neuměl tuto odpověď zdůvodnit v závěrečném rozhovoru.
- Otázka č. 6: Vzhledem k tomu, že se studenti nedočetli ve středoškolské literatuře o pojmu stres rostlin, nevědělo čtyřicet ze třiačtyřiceti vůbec pojem stresová reakce. Ti kteří odpověděli správně, probírali stres v rámci semináře z tělesné výchovy v souvislosti se sportem.
- Otázka č. 7: Více než 50% studentů odpovědělo v této otázce správně. Ze špatných řešení převažovala odpověď HCl a NaOH. Jako důvod této odpovědi uváděli žáci, že znají kyselinu chlorovodíkovou z chemie. Při dotazu, jestli se o ní učili, že napomáhá vzniku kyselých dešťů, si studenti uvědomili, že tomu tak není.

- Otázka č. 8: Správně odpověděli pouze dva studenti, jinak byla otázka zodpovězena především neúplně. Více než polovina studentů z jedenačtyřiceti chybujících odpovědělo alespoň částečně správně. V tomto smyslu byla dobře část otázky o doplnění 2 kyselin způsobujících kyselý déšť, což svědčí o tom, že o kyselých deštích studenti přece jen něco vědí. Při rozboru otázky někteří uváděli, že v předchozí otázce odpověděli správně SO_2 a NO_x , proto odpověděli kyseliny správně.
- Otázka č. 9: Překvapivě odpovědělo správně pouze devět studentů. Zarážející ale již bylo, že z chybujících celá polovina odpověděla zcela bez myšlení, že kyselému dešti odpovídá hodnota pH 8. Druhá polovina uvedla smířlivější odpověď „c“, což je pH rovno 5,6.
- Otázka č. 10: Přesto, že jsou ekologické problémy jedním z průřezových témat v RVP, žáci nedokázali odpovědět, jak řešit problematiku vzniku kyselých dešťů. Správně odpovědělo jen šest z nich, když pouze dva žáci uvedli odpověď spojenou s omezením spalování uhlí. Jinak se ve správných odpovědích nejčastěji vyskytovala odpověď spojená se snížením automobilové dopravy.

Žáci, kteří absolvovali výklad s doplněním pracovních listů a laboratorní práce odpovídali na otázky opakovacího testu pro střední školu nejčastěji takto:

- Otázky číslo 1, 2 a 5 byly zodpovězeny naprosto bez chyby. Žáci si tedy díky aktivitám, kterých se zúčastnili, ujasnili a zažili pojem stres rostlin a stresor. Dále zjistili, že stresem netrpí pouze lidé, ale i například rostliny. Ve zjednodušené podobě se dá říci, že studenti při závěrečném rozboru odpovědí dokázali označit v souvislosti se stresem znaky odumírání rostlin nebo jejich částí jako třeba chloróza listů a další.
- Otázka č. 3: Nejčastější chybou zde bylo zřejmě nepozorné přečtení zadání. Studenti, kteří chybovali, neoznačili žádný z biotických faktorů, v tom měli jasno, ale chyby dělali hlavně v neúplné odpovědi.
- Otázka č. 4: Správná odpověď na tuto otázku vyplývá především z výkladu a z vypracování pracovního listu. Odpověď není zachycena v žádné z laboratorních úloh. To byl patrně důvod, že se tato otázka stala relativně nejtěžší z celého testu, což se projevilo nejen u skupiny, která se zúčastnila daných aktivit, ale i u skupiny, jež se jich nezúčastnila. Značná obtížnost zde vyplývá také z formulace otázky, kdy je nutné pro úspěšnost označit více správných odpovědí.

- Otázka č. 6: Pouze ve dvou případech z osmi chybujících studentů nebyla napsána odpověď „stresová reakce“. Hlavní nedostatek byl v seřazení jednotlivých fází stresové reakce, s nimiž se studenti setkali poprvé při výkladu a nebylo možno je procvičovat.
- Otázka č. 7: V této otázce chybovali pouze dva studenti, kteří při závěrečném rozboru odpovědí zdůvodnili své řešení tím, že si dali do spojitosti kyselý déšť a kyselinu chlorovodíkovou. Tito dva studenti nemysleli na primární schéma vzniku kyselých dešťů.
- Otázka č. 8: Tato otázka se lehce dotýká problematiky chemie a ekologie. Studenti zde odpovídali převážně dobře. Chybovalo dvanáct z nich a chyby měli povahu pouze částečného doplnění. Nesprávné odpovědi se týkali především uvedení 2 bazických prvků, které nedokázali studenti doplnit, přestože se již o neutralizaci učili. Překvapivé bylo zjištění, že si studenti zapamatovali, které toxické látky se při působení kyselých dešťů z půdy uvolňují.
- Otázka č. 9: Nikdo ze studentů neodpověděl, že hodnota pH kyselého deště je vyšší než 7. Až na čtyři žáky byla otázka zodpovězena správně. Chybující studenti operovali s číslem pH 5,6. Při rozboru odpovědí dospěli k závěru, že chybu udělali z nepozornosti, kdy odpověď „d“ je doplněna o slovíčko „pod“.
- Otázka č. 10: U dvou studentů, kteří zde chybovali, došlo spíše k nepochopení otázky. Jejich odpovědi totiž zahrnovali spíše odpověď na otázku „Vliv kyselého deště na člověka a okolí“. Mezi kladnými odpověďmi se nejčastěji vyskytovalo odsíření tepelných elektráren, chůze pěšky a cyklistika jako náhrada automobilové dopravy. Pět z dotazovaných odpovědělo správně, že jedno z řešení je za využití MHD. Zajímavá byla odpověď, že by vláda měla investovat do vývoje nových technologií (příklad: vodíkový pohon aut). V návaznosti na laboratorní úlohu číslo tři studenti také správně uvedli výrobu energie při spalování biomasy jako alternativní zdroj energie.

5. DISKUZE

Celá práce s výkladem, laboratorní cvičení i pracovní listy jsou určeny pro žáky středních škol. V dnešní době, kdy se každá základní i střední škola zabývá RVP a vlastními ŠVP je jasné, že nelze přesně stanovit, kdy danou tematiku probírat, a kdy dané téma studentům interpretovat. Proto se muselo přihlížet při vyhledávání skupiny, která práci podstoupí, na již probrané učivo jak v předmětu biologie, tak v předmětu chemie. Bylo totiž nutné vědět, že studenti už mají základní chemické vzorce a reakce zažity a dokáží je běžně použít v praxi.

Ekologie, jakožto vědní obor, je spíše vědou zastřešující a studenti, aby pochopili, co se vlastně v přírodě kolem nich děje, by měli znát obecné základy biologie a chemie. Jinak bychom se při výkladu bavili pouze o interpretování něčeho neznámého a k pochopení souvislostí by bez předchozích vědomostí nedošlo.

Pracovní listy, laboratorní práce a opakovací test byly experimentálně vyzkoušeny na dvou víceletých gymnáziích vždy ve druhém ročníku a druhém pololetí. Testování proběhlo v únoru 2008. Obě skupiny byly vybrány tak, aby měly již probrány základy botaniky, ekologie v rámci životního prostředí a chemie.

Celou práci je vhodné aplikovat na školské zařízení gymnaziálního typu, kde studenti již mají výše uvedené znalosti. Možné je také zvolit školy s ekologickým zaměřením. Například některé geodézie a průmyslová lycea, kde se vyučují základy chemie, botaniky a ekologie. Látku je dobré zařadit nejlépe do hodiny ekologie nebo botaniky. Vzhledem k tomu, že se práce týká vlivu kyselých dešťů na rostliny, tak by se dala v hodinách chemie použít pouze okrajově. Chemické reakce totiž nejsou hlavní náplní práce, tu představují především reakce rostlin.

Hlavní myšlenka práce navazuje na látku v učebnicích středních škol z botaniky a ekologie. V těchto učebnicích však není daná problematika přímo zachycena, ale ve většině středoškolské literatury se zaměřením na botaniku a ekologii se pojem kyselý déšť a jeho vznik vyskytuje. Pojem stres rostlin a reakce rostlin na působení kyselých dešťů, jež je stěžejním tématem diplomové práce je především rozšiřující látkou pro střední školy a středoškolské učebnice.

Vzhledem k nynějšímu zaměstnání autora bylo možno vyzkoušet dané pracovní listy včetně laboratorních prací také na základní škole a později toto zjištění porovnat. Velké úskalí

pracovních listů na základní škole bylo především v časové náročnosti. Žáci základních škol neudrží pozornost celou výkladovou hodinu. Díky pracovnímu listu, který žáci vypracovávali během výkladu, se podařilo celou látku zpracovat a odvykládat, čas na diskuzi však nezbyl žádný. Při laboratorních pracích žáci nebyli příliš zruční a bylo nutné využít pouze 3 jednodušší pokusy, díky kterým si žáci spíše vyzkoušeli, že s chemickými látkami se dá pracovat také při hodině přírodopisu. Žáci si uvědomili, že propojení chemie a přírodopisu je velmi těsné.

Vypracování pracovních listů žáky základních škol se ukázalo jako vhodné průřezové téma přírodopisu a chemie. Doporučeno však je použití až v devátém ročníku, kdy žáci mají již základy chemie. Vyzkoušení pracovních listů na základní škole bylo pouze ze zájmu autora, do výsledků diplomové práce použito nebylo.

Na střední škole se můžeme často setkat s nezájmem. Ten se odvíjí především od přílišné specializace studentů na téma a předmět, který je něčím oslovuje, a kterému by se rádi věnovali v dalším studiu. To platí především v případě gymnázií, kdy se předpokládá, že studenti budou v dalším vzdělávání pokračovat na vysoké škole.

Nezájem studentů o určité předměty je také dalším důležitým hlediskem při výběru skupiny pro praktické použití této práce. To je také důvod, proč byly zvoleny právě druhé ročníky. V prvním ročníku je to tak, že studenti ještě nemají potřebné základy k výkladu. Ve třetím a čtvrtém ročníku gymnázií se začínají studenti již více specializovat na předměty, kterým se budou věnovat v dalším studiu na vysoké škole a ostatní předměty již nechávají v pozadí. Právě proto se jeví druhé ročníky jako nejlepší volba. Samozřejmě záleží na uspořádání školních vzdělávacích plánů jednotlivých škol. Co se týká vhodnosti práce pro vyšší stupně gymnázií, je možné ji také zařadit do semináře z ekologie nebo biologie, které se dnes často vyskytují mezi volitelnými předměty na středních školách.

Velmi potěšující bylo zjištění, že se osvědčil cíl pracovního listu, který se především snažil vtáhnout studenty do dané tematiky. Studenti byli velmi pozorní a často se dotazovali. Při případných otázkách pokládaných učitelem, které doplňovaly výkladový text, reagovali velmi hbitě a bylo vidět, že při hodinách botaniky, které absolvovali v prvním ročníku gymnázia byla věnována pozornost právě nepříznivým vlivům. Pojem stres však zažitý nebyl a studenti zjištění, že rostliny trpí také stresem jako člověk, a že existují dokonce fáze stresové reakce, přijali se zájmem a otázkami, které se týkaly především porovnání stresu u člověka.

Při laboratorních úlohách, které jsou součástí diplomové práce, je hlavním problémem získat všechen pracovní materiál. Laboratoře obou středních škol byly velice dobře vybaveny a vybavení bylo také poskytnuto pro laboratorní práce. Jediné úskalí bylo při výrobě

vykuřovadla. Pro laboratorní práci č. 3 bylo velmi výhodné vytvořit tří členné skupinky, pro jednodušší zajištění materiálu. Mimo plechovek, z kterých si studenti sami vyrobili vykuřovadla bylo v obou skupinách materiálu dostatek.

Na obou testovaných školách byli studenti při vypracování laboratorních prací velice zruční a bylo vidět, že při jejich vzdělávání nejsou praktické znalosti opomíjeny. Často se vytýká, že jsou studenti pouze naplňováni teoretickými znalostmi a praxe se ve výuce objevuje jen zřídka. Testované školy tuto teorii nepotvrdily.

6. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout pracovní listy na téma Rostlina a stres: Kyselý déšť. Pracovní listy měly být vytvořeny zábavnou formou, aby co nejvíce oslovily studenty středních škol. Tyto listy se dají využít jako rozšiřující učivo pro studenty středních škol, které se věnují ekologii nebo také jako průřezové téma z ekologie nebo botaniky, jež spojuje předměty biologie a chemie.

Kyselý déšť se již dostali do podvědomí studentů středních škol, kteří mají podle zjištěných vědomostí přehled o tom, které plyny se podílejí na vzniku kyselých dešťů a při jakých antropogenních činnostech dané zplodiny vznikají. Vlivu kyselých dešťů se však autoři středoškolské literatury příliš nevěnují a stres rostlin jako pojem je studentům cizí.

Práce se snaží v teoretické části přinést ucelený obraz o tom, co to vlastně stres je a s jakými možnými vlivy se rostliny musejí vypořádat. Snaží se spíše zopakovat to, co studenti vědí o vzniku kyselých dešťů a ukázat, jak kyselý déšť ovlivňuje prostředí a především rostliny kolem nás. Pomocí laboratorních prací je snaha o poutavé přiblížení tématu, což bylo dosaženo i pracovním listem, který doprovází výklad učitele. Ke kontrole účinnosti výuky slouží opakovací test pro střední školu, kde se projevil výrazný rozdíl v úspěšnosti řešení. Studenti, kteří absolvovali výklad, vypracovávali pracovní listy a zúčastnili se laboratorních prací splnili opakovací test s úspěšností 91%. Proti tomu studenti, kteří se daných aktivit nezúčastnili a psali pouze opakovací test, uspěli jen ve 36%. Z toho se dá konstatovat kladný výsledek a přínos práce.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BAER H. - W., 1960: Biologické pokusy ve škole. 244 s., SPN, Praha.

BLÁHA L., BOCKOVÁ R., HNILIČKA F. et al., 2003: Rostlina a stres. 156 s., VÚRV, Praha.

BLÁHA L., 2003: Stres a stresor v rostlinné říši. In: BLÁHA L., BOCKOVÁ R., HNILIČKA F. et al.: Rostlina a stres., s. 5 – 9, VÚRV, Praha.

BRANIŠ M., 1999: Základy ekologie a ochrany životního prostředí. 169 s., Informatorium, Praha.

GRDIČOVÁ B., 1975: Praktikum z fyziologie rostlin. 243 s., SPN, Praha.

HANČOVÁ H., VLKOVÁ M., 2008: Biologie v kostce I. 176 s., Fragment, Brno.

HNILIČKA F., 2003: Působení vnějších negativních faktorů na rostliny, abiotické stresory. In: BLÁHA L., BOCKOVÁ R., HNILIČKA F. et al.: Rostlina a stres., s. 10 - 43, VÚRV, Praha.

HOLUBEC V., 2003: Stres a adaptace rostlin v přírodních podmínkách. In: BLÁHA L., BOCKOVÁ R., HNILIČKA F. et al.: Rostlina a stres., s. 44 - 55, VÚRV, Praha.

HRUŠKA J., CIENCIALA E., 2001: Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd - limitující faktor současného lesnictví. 159 s., Ministerstvo životního prostředí, Praha.

HŮNOVÁ I., JANOUŠKOVÁ S., 2004: Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší. 144 s., Karolinum, Praha.

JELÍNEK J., 1997: Biologie prokaryot, nižších a vyšších rostlin, hub. 255 s., Nakladatelství Olomouc, Olomouc.

- JELÍNEK J., 2006: Biologie pro gymnázia. 575 s., Nakladatelství Olomouc, Olomouc.
- KINCL L., KINCL M., JAKRLOVÁ J., 2000: Biologie rostlin pro 1. ročník gymnázia. 255 s., Fortuna, Praha.
- KVASNICHOVÁ D., 1994: Základy ekologie. 87 s., Scientia, Praha.
- LARCHER W., 1988: Fyziologická ekologie rostlin. 361 s., Academia, Praha.
- MACEK L., RAAB P., 1985: Omezování emisí oxidu siřičitého. 170 s., SZN, Praha.
- MACHÁČKOVÁ J., 2006: Kyselá dešť. Bedrník, 4: s. 17 – 19.
- MAŇÁK J., 1990: Nárys didaktiky. 138 s., Rektorát Masarykovy univerzity, Brno.
- MASLOWSKI O., 1990: Didaktika biologie. 145 s., Rektorát Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc.
- MÍCHAL I., 1994: Ekologická stabilita. 275 s., Veronica, Brno.
- MOLISCH H., BIEBL R., 1975: Botanická pozorování a pokusy s rostlinami. 250 s., SPN, Praha.
- PAPÁČEK M., SLIPKA J., 1997: Úvod do odborné práce. 88 s., Jihočeská univerzita České Budějovice, České Budějovice.
- PROCHÁZKA S., MACHÁČKOVÁ I., KREKULE J., ŠEBÁNEK J. et al., 2003: Fyziologie rostlin. 484 s., Academia, Praha.
- RICHTER R., 1997: Půdní úrodnost. 36 s., Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Praha.
- SAWYER J., 1990: Kyselá dešť. 46 s., SZN, Praha.

SEYMOUR J., 1993: Zelená planeta: ekologický program pro každého. 190 s., Mladá fronta, Praha.

SLAVÍKOVÁ J., 1986: Ekologie rostlin. 368 s., SPN, Praha.

ŠLÉGL J., KISLINGER F., LANÍKOVÁ J., 2002: Ekologie a ochrana životního prostředí. 157 s., Fortuna, Praha.

VACÍK J., BARTHOVÁ J., PACÁK J., STRAUCH B., SVOBODOVÁ M., ZEMÁNEK F. et al., 1995: Přehled středoškolské chemie. 365 s., SPN, Praha.

ZELENKA J., ŠTEJFA J., 2000: Enviromentální a ekologický slovník vybraných pojmů. 183 s., Gaudeamus, Hradec Králové.