

METODIKA HODNOCENÍ VIDITELNÉHO POŠKOZENÍ VEGETACE VYVOLANÉHO ÚČINKY PŘÍZEMNÍHO OZONU



Ing. RADEK NOVOTNÝ, Ph.D.
RNDr. VÁCLAV BURIÁNEK
Ing. VÍT ŠRÁMEK, Ph.D.

LESNICKÝ PRŮVODCE

Recenzovaná metodika

6/2009

METODIKA HODNOCENÍ VIDITELNÉHO POŠKOZENÍ VEGETACE VYVOLANÉHO ÚČINKY PŘÍZEMNÍHO OZONU

Recenzovaná metodika

Ing. Radek Novotný, Ph.D.

RNDr. Václav Buriánek

Ing. Vít Šrámek, Ph.D.

Strnady 2009

Lesnický průvodce 6/2009

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
Strnady 136, 252 02 Jíloviště
<http://www.vulhm.cz>

Odpovědný redaktor: Mgr. E. Krupičková
e-mail: krupickova@vulhm.cz

ISBN 978-80-7417-014-0
ISSN 0862-7657

METHODOLOGY FOR ASSESSMENT OF VEGETATION DAMAGE IN FOREST ECOSYSTEMS BY HIGH CONCENTRATIONS OF TROPOSPHERIC OZONE

Abstract

This methodology presents assessment of vegetation damage of forest ecosystems by ground ozone. The first part – text – brings a survey of problems concerning ozone arising in ground layer of atmosphere and its impact on vegetation of forest ecosystem. The second part contains photographic samples of damage symptoms found on various tree species and herbs in actual natural conditions, in forest stands, their margins, shrub ridges and adjacent meadows and pastures. Methods for differentiation of found symptoms from other causes of damage are described, including warning about possible mistaken substitution.

Klíčová slova: koncentrace ozonu, poškození lesních ekosystémů, vizuální hodnocení, symptomy poškození

Key words: ozone concentration, damage of forest ecosystems, visual assessment, symptoms of damage

Recenzenti: Ing. Jiří Bílý, Ph.D., MZe
Ing. Václav Rybář, LČR, s.p.

Adresa autorů:

Ing. Radek Novotný, Ph.D., RNDr. Václav Buriánek, Ing. Vít Šrámek, Ph.D.
Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
Strnady 136, 252 02 Jíloviště
e-mail: novotny@vulhm.cz; burianek@vulhm.cz; sramek@vulhm.cz

Autoři fotografií:

Václav Buriánek – 25
Leona Matoušková – 12, 13, 14
Radek Novotný – ostatní fotografie

Obsah:

CÍL METODIKY	7
Úvod	7
VLASTNÍ POPIS METODIKY	8
Ozon v zemské atmosféře	8
Vznik ozonu v přízemní atmosféře	8
Denní a sezonní chod koncentrací ozonu	9
Přízemní ozon v ČR	10
Vliv ozonu na dřeviny	10
Citlivost dřevin k působení ozonu	10
Vznik poškození	11
Symptomy poškození ozonem a jejich hodnocení	12
Posuzování symptomů	12
Hodnocení v terénu	17
Národní list citlivých druhů	18
PŘÍNOS METODIKY	43
POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	43
DEDIKACE	43
LITERATURA	44
Seznam použité související literatury	44
Seznam publikací, předcházejících metodice	47
SUMMARY	48

CÍL METODIKY

Problematika vlivu a účinků přízemního ozonu na ekosystémy je stále intenzivně zkoumána a studována na různé úrovni po celém světě. Součástí studia je i mapování viditelných symptomů vyvolaných působením přízemního ozonu na vegetaci. Pravidelné sledování probíhá v rámci národních i mezinárodních projektů a výzkumných aktivit a jedním z výstupů je tato metodika, která si klade za cíl stanovit základní pravidla a návod pro mapování a hodnocení viditelných symptomů poškození na vegetaci a pro rozlišování nalezených symptomů vyvolaných působením přízemního ozonu.

Úvod

Vedle kyselých depozic, které stále přispívají k postupné degradaci lesních půd, může být ozon významným imisním faktorem, působícím škody na lesích. V současné době se jedná o intenzivně studovanou složku imisí a to nejen v České republice nebo v Evropě, ale také např. v USA nebo v Japonsku.

Oproti „klasickým“ plynným škodlivinám (SO_2 , NO_x , HF a další) je problematika ozonu velmi komplikovaná. Tento plyn není přímo produkován člověkem – nelze tedy jednoduše redukovat jeho produkci. Negativním jevem je jak úbytek ozonu v ozonoféře (stratosférický ozon), tak jeho nárůst v přízemní vrstvě atmosféry (troposférický ozon). Působení ozonu v rostlinných buňkách nezanechává jednoznačná rezidua, podle kterých by bylo možné odlišit jeho vliv od přirozených oxidačních stresů. Na rozdíl od jiných plynných škodlivin u ozonu neexistuje přímá závislost mezi vysokými koncentracemi O_3 v atmosféře a poškozením rostlin. Jiné typy stresů (př. sucho, vlhkost vzduchu, srážky, přítomnost dalších imisí) mohou vliv ozonu jak umocňovat, tak oslabovat.

Současné imisní limity založené na kumulativním indexu AOT40 představují pouze potenciální možnost vzniku poškození. Reálný vliv ozonu na rostliny je v přírodních podmínkách často omezen dalšími faktory, které limitují jeho vstup do listů uzavřením průduchů. Na druhou stranu je velmi málo známo o významu dlouhodobého narušování energetické bilance dřevin, které ozon nesporně způsobuje, či o jeho působení na různé složky lesních ekosystémů. Viditelné poškození listů a jehlic tak zdaleka nemusí být tím nejvýznamnějším problémem, který zvýšené koncentrace ozonu způsobují.

Z těchto i dalších důvodů není dosud možné jednoznačně stanovit rizika, která zvýšené koncentrace ozonu pro lesy představují, a to i přes obrovský objem prací, které věda v posledních 20 – 30 letech tomuto problému věnovala. I proto má velký význam identifikace skutečných poškození, která lze na vegetaci v jejím přirozeném prostředí pozorovat. Vizuální hodnocení poškození rostlin ozonem je poměrně komplikované a ve sporných a nejasných případech je vhodné provést doprovodné biochemické a anatomické analýzy. V praxi jsou tak identifikovaná poškození popisovaná často jako „ozonu odpovídající“ (ozone-like symptoms) nikoliv jako ozonem způsobená. Přesto se viditelné škody na listech dřevin a přízemní vegetace vyznačují určitými charakteristickými znaky, které jejich hodnocení, byť s určitou dávkou nejistoty umožňují. Tato publikace by měla sloužit jako praktická metodická pomůcka pro rozeznávání těchto symptomů.

VLASTNÍ POPIS METODIKY

Ozon v zemské atmosféře

Vznik ozonu v přízemní atmosféře

Většina atmosférického ozonu (cca 90 %) se nachází ve stratosféře ve výšce 12 – 50 km nad zemským povrchem, přičemž koncentrovaný je zejména ve výškách 20 – 30 km nad zemským povrchem (ozonosféra). V této vrstvě hraje ozon důležitou roli při pohlcování nebezpečného ultrafialového záření, kterému brání při pronikání na zemský povrch. Jeho úbytek ve stratosféře (tzv. ozonová díra) je tedy nežádoucím a negativním jevem. Zbytek ozonu se nachází v přízemní vrstvě atmosféry – troposféře, kde jeho zvýšené koncentrace mohou nepříznivě působit na živé organismy (rostliny, zvířata i lidi) i na různé materiály (textilie, gumu, kůži, nátěrové hmoty apod.) (SCHÜLERDUDEN 1998, SHARP 1990).

Molekula ozonu je složena ze tří atomů kyslíku. Vzniká při působení atomárního kyslíku na kyslík molekulární. Je to však molekula nestabilní, snadno se opět rozpadá na molekulu kyslíku a atomární kyslík. Díky přítomnosti atomárního kyslíku má velmi silné oxidační účinky a řadí se tak k jedněm z nejsilnějších oxidačních činidel. Ozon je za běžných podmínek bezbarvý plyn, se stoupající koncentrací získává modrou barvu. Koncentrovaný ozon je tmavě modrý a má pronikavý charakteristický zápach (řecké „ozein“ znamená páchnout).

Ve zvýšených koncentracích je silně jedovatý. Bod tání ozonu je $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$, bod varu $-112\text{ }^{\circ}\text{C}$, měrná hmotnost ozonu je $2,143\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (PRIWITZER et al. 2004, SHARP 1990).

Ozon vzniká fotochemickými reakcemi v atmosféře za spolupůsobení ultrafialového záření ($\lambda \approx 280 - 430\text{ nm}$), proto je také někdy označován za fotochemickou škodlivou látku. Prekurzory vzniku ozonu jsou oxidy dusíku (NO_x), oxid uhelnatý (CO), metan (CH_4), těkavé organické látky (VOC – Volatile Organic Compounds) pocházející z antropogenních i přirozených zdrojů, případně aerosoly minerálních nebo ropných olejů, zejména nenasycených, které umožňují vznik peroxyradikálů oxidujících oxid dusnatý na oxid dusičitý. Na reakcích se podílí celá řada dalších složek v atmosféře, klíčovou roli hraje volný radikál $\text{OH}\cdot$. Ozon je nejdůležitějším plynem, který se účastní fotochemických reakcí v atmosféře a je základní složkou tzv. fotochemického smogu (COLBECK, MACKENZIE 1994, SEINFELD 1996, WARNECK 1988). Jeho podíl ve fotochemickém smogu je až 90 %. Dalšími složkami fotochemického smogu jsou např. peroxyacetylnitrát (PAN), peroxybenzoylnitrát (PBN), formaldehyd nebo peroxid vodíku (STROH 2004).

Denní a sezonní chod koncentrací ozonu

Koncentrace přízemního ozonu vykazují významnou časovou a prostorovou variabilitu. Ta závisí na mnoha faktorech: zeměpisné poloze, nadmořské výšce, expozici ke světovým stranám, ročním období, synoptické situaci apod. Za ideální podmínky pro fotochemický vznik ozonu se všeobecně pokládá vysoká teplota, vysoká intenzita solární radiace, nízká rychlost větru, nízká relativní vlhkost vzduchu a absence atmosférických srážek (FINLAYSON-PITTS, PITTS 2000).

Ozon je typicky letní škodlivinou s maximálními koncentracemi dosahovanými v období od dubna do září. Posledních dvacet let je zřejmé, že roční cyklus ozonu ve středních zeměpisných šířkách vykazuje dva základní typy sezonního chování. Jde o výskyt jarních maxim (duben – květen), která jsou typická pro oblasti vzdálené od zdrojů emisí, a letních maxim (srpen – září) charakteristických pro obydlené a průmyslové oblasti, která jsou důsledkem lokální fotochemické produkce způsobené dostatkem prekurzorů ozonu (MONKS 2000, VINGARZAN 2004). Meziroční změny koncentrací ozonu způsobené meteorologickými podmínkami jsou v současné době mnohem větší než změny způsobené koncentracemi jeho prekurzorů (GARDNER, DORLING 2000). Roční chod koncentrací ozonu vykazuje minimum v zimním období.

Denní chod koncentrací ozonu je charakteristický minimálními hodnotami před východem slunce a zvyšujícími se koncentracemi v průběhu dne. Špičkové hodnoty O_3 jsou dosahovány v odpoledních hodinách, obecně mezi 11. a 17. hodi-

nou. Ve městech je denní chod koncentrace ozonu velmi výrazný, protože se zde vyskytuje i dostatek sloučenin, které ozon odbourávají (SUNDBERG et al. 2006). V lokalitách vzdálených od zdrojů znečištění a ve vyšších polohách není denní chod tak výrazný, zato se zde vyskytují zvýšené koncentrace delší dobu.

Přízemní ozon v ČR

V současné době jsou koncentrace ozonu standardně měřeny automatickými analyzátory s kontinuálním měřením. Referenční metoda stanovená nařízením vlády č. 350/2002 Sb. stanovuje koncentraci ozonu na základě absorpce ultrafialového záření o vlnové délce 254 nm (absorpční fotometrie). V České republice se koncentrace přízemního ozonu měří již od roku 1992 v rámci národní sítě pro monitorování kvality venkovního ovzduší. V současné době měří celkem 72 stanic, z toho 60 stanic spravuje ČHMÚ. Ozon se měří stanicemi automatizovaného imisního monitoringu (AIM). Měření je kontinuální, základní hodnoty jsou 30minutové průměrné koncentrace. Výsledky měření jsou pravidelně publikovány v podobě datové i zpracované v grafech a mapách v datových a grafických ročenkách ČHMÚ (www.chmi.cz).

Vliv ozonu na dřeviny

Citlivost dřevin k působení ozonu

Obecně lze říci, že listnaté dřeviny jsou vůči ozonu citlivější než dřeviny jehličnaté. V experimentech byla prokázána relativně vysoká citlivost třešně *Prunus serotina* (SCHAUB et al. 2005), břízy (SKELLY et al. 1998, TOWNSEND 1974, PÄÄKKÖNEN et al. 1998), olše a topolů (SKÄRBY et al. 1998). U topolů navíc existuje řada klonů s různou citlivostí k ozonu (KELLER, BÜHLMANN 1987). Za citlivé jsou považovány také jasan, javor klen a buk (DITTMAR et al. 2004). GÜNTHARDT-GOERG et al. (2000) považují habr, jeřáb a jasan za relativně odolné listnáče. Z jehličnatých dřevin je poměrně citlivá borovice kleč (*Pinus mugo*).

V podmínkách střední Evropy je na hlavních hospodářských dřevinách výskyt vizuálních symptomů běžný u buku. U smrku jsou nekrózy jehlic spíše vzácné a vyskytují se pouze v letech s vysokou zátěží ozonem. Z jehličnatých dřevin je relativně citlivější borovice (MATYSSEK et al. 1997), naopak jako relativně odolnou označují GRULKE et al. (1996) sekvoji obrovskou.

Je ovšem nutné zdůraznit, že poškození ozonem viditelné na listech dřevin nemusí nutně charakterizovat skutečnou míru imisní zátěže a narušení zdravot-

ního stavu. Kromě poškození listů ozon nepříznivě ovlivňuje celkovou energetickou bilanci stromů. Značná část fotosyntetické produkce i rezerv je uvolňována na odstraňování oxidačního stresu a snižuje se tak celková odolnost vůči dalším nepříznivým faktorům (JONES et al, 2004). Kromě celkového snížení produkce je také blokován např. rozvoj kořenů a ukládání zásobních látek (LUX et al. 1997), což může vést k poškození dalšími stresovými faktory (ŠRÁMEK 1999). UDDLING et al. (2006) prokázali negativní vliv ozonu na resorpci dusíku z listů břízy před jejich podzimním opadem.

Na základě experimentů a hodnocení citlivosti a výskytu symptomů u studovaných druhů byl sestaven Evropský list citlivých druhů. Některé státy vytvářejí také Národní listy citlivých druhů. Jedná se o druhy bylin, keřů i stromů, u kterých je při působení ozonu vysoká pravděpodobnost vzniku viditelných symptomů.

Vznik poškození

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

Zvýšená koncentrace těchto látek vyvolává obrannou antioxidační reakci – tvorbu etylénu, polyaminů a flavonoidů, které jsou také součástí obranných mechanismů. Probíhá také tvorba stresových proteinů, které jsou téměř shodné s proteiny tvořenými při napadení rostliny patogenními organismy. Již po několika dnech po fumigaci byly zjištěny změny např. u nejmladšího jehličí smrkových sazenic – chloroplasty se kumulovaly v okrajových částech buněk mezofylu, současně došlo k narušení distribuce proteinů a nukleových kyselin a docházelo k destrukci buněk mezofylu (EVANS, MILLER 1972). Pokud koncentrace ozonu převyšuje obrannou kapacitu rostlin, dochází k narušení transportních cest a iontové homeostáze buněk (SKÄRBY et al. 1998). Výsledkem je snížení množství chlorofylu a ztráta efektivity fotosyntézy, zejména v přímo osluněné části asimilačních orgánů (MIKKELSEN, RO-POULSEN 1994). Při dlouhodobém působení vyšších koncentrací ozonu dochází již k poškození buněčných součástí. V buňkách bývají patrné strukturální změny charakteristické pro senescenci, jako je zvýšení hustoty cytoplazmy, ztmavnutí a zmenšení chloroplastů, zmenšení či absence škrobových zrn, redukce membrán thylakoidů a zvýšené množství plastoglobulů. Některé rysy se ovšem od běžné

senescence odlišují – v tonoplastu se formují vesikuly, obsah vakuol přestává být homogenní a dochází k jeho kondenzaci či k vysrážení fenolických látek. S postupujícím poškozením dochází k plazmolýze jednotlivých buněk a k celkovému narušení buněčných struktur (GÜNTHARDT-GOERG et al. 2000). Epi-dermální buňky kolabují později než buňky mezofylu. Při odumírání buněk svrchního mezofylu se poškození viditelně projevuje chlorózami a nekrotickými skvrnami na listech. Následuje předčasné stárnutí a opad asimilačních orgánů.

Symptomy poškození ozonem a jejich hodnocení

Posuzování symptomů

Poškození ozonem se viditelně projevuje zejména změnami zbarvení asimilačních orgánů, mohou se vytvořit i nekrózy na listové ploše. Viditelné příznaky negativního vlivu ozonu se na zasažených listech objevují zpravidla řádově za několik týdnů až měsíců po příjmu ozonu (EVANS, MILLER 1972, GÜNTHARDT-GOERG, VOLLENWEIDER 2003). V takovém případě označujeme symptomy jako vyvolané chronickým působením ozonu. Zcela výjimečně může dojít i k akutnímu poškození, rozvoj symptomů je pak rychlý, trvá řádově několik hodin až dnů po expozici ozonu.

U listnatých dřevin mají vizuální symptomy poškození nejčastěji podobu nepravidelných chlorotických, červených nebo červenohnědých, hnědých nebo až téměř černých teček, skvrn nebo bronzového zbarvení listů. Charakteristické je poškození interveniálních, mezižilních ploch, žilnatina zasažena není nebo je zasažena jen naprosto výjimečně. Nejdříve se poškození objevuje na středně starých a starších listech, teprve později i na listech mladších. Poškození je zpočátku patrné pouze na svrchní, osluněné straně listů, pouze na konci vegetační sezony a při vysokých koncentracích ozonu se může poškození projevit i na spodní straně listů.

U jehličnatých dřevin jsou na jehlicích patrné bezbarvé (světlé) až žlutavé nebo zelenožluté bodové chlorózy, které nejsou ostře ohraničené a často mají nepravidelný tvar. Četnější jsou na starších ročních jehlicích, protože účinek ozonu bývá kumulativní a se stářím jehlic symptomů přibývá a zvyšuje se jejich intenzita. Bodové chlorózy mohou při intenzivním nebo dlouhodobém působení přejít do plošek až nekros na větší ploše jehlic (HARTMAN et al. 1988, SKELLY et al. 1998, UHLÍŘOVÁ, KAPITOLA 2004).

Zvýšený výskyt symptomů bývá pozorován na osluněných částech korun či větví, při hodnocení přízemní vegetace se symptomy vyskytují častěji na slunci vystavených stanovištích (porostní okraje, paseky, remízky, meze apod.), tj. exponovaných k J, JZ, JV, popř. Z. Na zastíněných částech korun stromů a keřů, na zastíněných listech, na lokalitách exponovaných na S, SV, SZ nejsou viditelné symptomy patrné nebo jsou zaznamenány pouze výjimečně.

Všechny zmíněné vizuální symptomy nemusí být jednoznačně specifické pro ozon a mohou být způsobeny i jiným typem stresu. Přesto se poškození způsobená ozonem vyznačují některými charakteristickými rysy. Mezi ně patří:

- Symptomy se vyskytují na osluněných částech rostlin, vznikají tam, kde jsou listy a jehlice vystaveny přímému slunečnímu záření. Na slunci odvrácených částech symptomy vyvolané účinky ozonu zpravidla chybí. Vyhledávat symptomy v dospělých lesních porostech je proto problematické. Šetření je nutno zaměřit na dobře viditelné a zároveň plně osluněné části bylin, keřů a stromů.
- Stínový efekt – pokud se listy rostoucí těsně u sebe překrývají, zastíněné části listů zůstávají zelené, bez viditelných příznaků poškození a to i na osluněných stanovištích (obr. 1a + 1b).
- Věkový efekt – starší a středně staré listy jsou poškozeny dříve a více než listy rašící a mladé. Symptomy je proto vhodné vyhledávat na plně rozvinutých, starších, osluněných listech. U jehličnatých dřevin přibývají symptomy se stářím jehlic (obr. 2).
- Příznaky poškození se objevují pouze na svrchní straně listů (obr. 3a + 3b). Teprve při silném poškození a ve druhé polovině vegetační sezony (pozdní léto, babí léto, začátek podzimu) mohou být v některých případech symptomy patrné i na spodní straně listů.
- Symptomy jsou patrné na ploše listů mimo listovou žilnatinu, ta zasažena není (obr. 4).
- Oxidativní stres působí předčasné stárnutí listů – může tedy dojít k jejich předčasné senescenci a opadu v době, kdy tomu meteorologické podmínky a průběh vegetační doby neodpovídají.



Obr. 1a + 1b:

Stínový efekt. I na osluněných listech zůstanou zelené, nepoškozené části, pokud jsou zakryty jinými listy. Zde na příkladu jasanu. Trnovský les, Slovinsko, srpen 2007

Shade effect. Green and undamaged parts are seen even on leaves exposed to the sun in case that they are covered by other leaves. Example of ash. Trnovský forest, Slovenia, August 2007



Obr. 2:

Věkový efekt na jehličnatých dřevinách – symptomy jsou čtenější na starších jehlicích. Borovice kleč, Lysá hora, Jeseníky, září 2007

Age effect on coniferous tree species – symptoms are more frequent on the older needles. Dwarf pine, Lysá hora Mt., Jeseníky Mts., September 2007



Obr. 3a + 3b:

Poškození se viditelně projevuje na svrchní straně listů, spodní strana zůstává bez symptomů. Habr obecný, Chlumec nad Cidlinou, 2004

Damage is visual on the upper part of leaves, lower part is without symptoms. European hornbeam



Obr. 4:

Poškození vyvolané působením přízemního ozonu nezasahuje listovou žilnatinu. Bez černý, Trnovský les, Slovinsko, srpen 2007

Damage caused by impact of ground ozone does not extend across the veins. European elder, Trnovský forest, Slovenia, August 2007

Existují také rizika a komplikace při hodnocení, na která je třeba při posuzování nalezených symptomů pamatovat a vyhnout se tak nesprávným závěrům:

- V hodnocení je výhodou určitá znalost problematiky, protože symptomy vyvolané ozonem je nutné hodnotit v souvislostech druh – stanoviště – okolní symptomy. V úvahu je třeba brát průběh počasí během roku, protože meteorologické podmínky značně ovlivňují vznik i odbourávání ozonu a tím mají zásadní vliv na jeho koncentraci v ovzduší a dobu jeho působení.
- Citlivost různých druhů dřevin i bylin se liší, druhově odlišné jsou tedy i projevy poškození, přestože jsou vyvolány stejnou příčinou. Navíc se může projevit i vnitrodruhová odlišnost v reakci na působení přízemního ozonu.
- Řada druhů má sklon k přirozenému zbarvování, většinou červenání listů (obr. 5), což může mást při vlastním hodnocení v terénu. Ne všechny druhy jsou



Obr. 5:

Přirozené červenání rašících listů dubu. Zde navíc platí také pravidlo, že mladší listy nebývají při působení ozonu poškozeny víc než listy starší. Nejedná se tedy o zbarvení vyvolané účinky ozonu. Latecaldo, Švýcarsko, srpen 2006

Natural reddening of flushing oak leaves. The younger leaves are not usually more damaged by ozone impact than the older ones. This coloration is not caused by ozone. Latecaldo, Swiss, August 2006

vhodné k posuzování vlivu a účinků přízemního ozonu. Mezi druhy s tendencí k přirozenému červenání listů patří v našich podmínkách zejména maliník a ostružníky (*Rubus* spp.), svída a dřín (*Cornus* spp.), krušina (*Frangula alnus*) nebo brusnice (*Vaccinium* sp.). Během léta a podzimu dochází také k červenání listů u celé řady bylin, např. u rodů *Rumex*, *Polygonum*, *Geranium*, *Taraxacum*, *Hieracium*.

Hodnocení v terénu

Při hodnocení viditelného poškození dospělých stromů a při hodnocení ve více či méně zapojených lesních porostech je zásadním problémem postavení pozorovatele, který nemůže hodnotit vrchní část koruny, kde se viditelné změny projevují nejčastěji. Proto hodnocení ozonu probíhá většinou na přízemní vegetaci, která odráží procesy probíhající v korunové vrstvě a v řadě případů reaguje i citlivěji než dospělé stromy (VOLLENWEIDER et al. 2003, MANNING, GODZIK 2004). Metodika sledování a hodnocení přízemního poškození byla rozpracována i v síti ploch evropského monitoringu zdravotního stavu lesů ICP Forests (UNECE 2004). Plošné hodnocení vlivu ozonu na přízemní vegetaci je však komplikováno variabilitou floristického složení v různých podmínkách a také tím, že vyhodnocování symptomů u většiny bylinných druhů nebylo experimentálně testováno (BUSSOTI, COZZI, FERRETTI 2006). Kvalita hodnocení tak do jisté míry závisí na zkušenostech pozorovatele (BUSSOTI et al. 2006) a vliv subjektivity hodnocení lze v řadě případů odstranit pouze důkladným proškolením nebo spoluprací s evropskými validačními centry.

Jako nejvhodnější termín pro terénní hodnocení viditelného poškození ozonem je považován konec léta před začátkem podzimních barevných změn listů. Přesný termín závisí na průběhu fenologických fází v různých zemích. V České republice je po několikaletých zkušenostech nejvhodnějším termínem zhruba první polovina září, popř. konec srpna. V zahraničí se uvádí, že poškození ozonem se objevuje již v časném letním aspektu, avšak v ČR nebyl zatím ve většině případů prokazatelný vliv ozonu na vegetaci v této době pozorován.

Jak nejlépe postupovat?

Při práci v terénu a hodnocení nalezených symptomů lze postupovat podle následujících základních pravidel:

- Je na listech patrné nějaké tečkování, skvrnky?
- Jsou vidět barevné změny – červenání, „bronzování“, hnědnutí?

- Jsou symptomy popsané výše patrné pouze na svrchní straně listů? (Vyjma pozdního léta, kdy mohou být i na spodní straně)
- Jsou symptomy pouze v interveniálním (mezižilním) prostoru listů? (Použij lupu nebo pohled proti obloze.)
- Jsou symptomy na listu rozmístěny rovnoměrně?
- Jsou symptomy více rozvinuté na starších listech? (Věkový efekt)
- Jsou na keři nebo stromu patrné listy s nepoškozenou zakrytou (zastíněnou) částí? (Stínový efekt)

Pokud jsou tyto otázky zodpovězeny kladně, mohou být nalezené symptomy považovány za viditelné poškození ozonem. Výše zmíněná základní pravidla jsou promítnuta také do vývojového diagramu (obr. 6), zpracovaného podle INNESE et al. (2001).

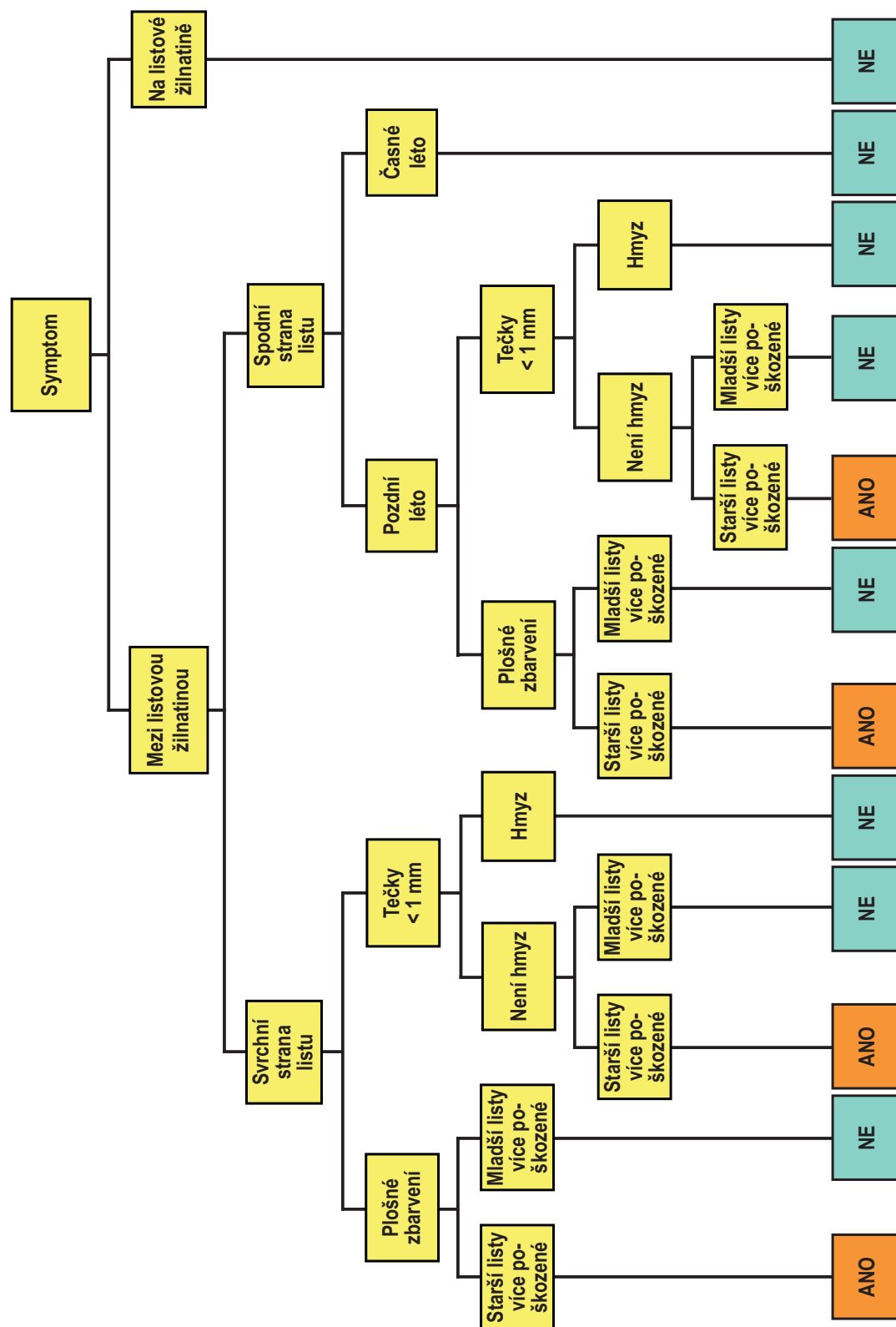
Malé, drobné tečky jsou u listnatých druhů symptomem, který je vůbec nejnáze identifikovatelným a určitelným symptomem vyvolaným účinkou ozonu. Barva teček je za běžných podmínek druhově odlišná a specifická, vlivem určitých meteorologických, stanovištních nebo fyziologických podmínek se může měnit a kolísat mezi různými odstíny nebo barvami. Nejčastěji je barva teček tmavě červená nebo tmavě hnědá (obr. 7 – 9).

Symptomy se zpočátku objevují zejména na okrajové, vnější části listů a u špičky, později se rozšiřují od báze listu po celé listové ploše. Stále platí pravidlo, že spodní strana zůstává bez symptomů pozorovatelných na svrchní straně (tím se liší zejména od symptomů vyvolaných houbovými nebo virovými chorobami) a že žilnatina listu není těmito symptomy zasažena (tím se liší např. od poškození hmyzem, který často saje právě na listové žilnatině). Starší listy jsou poškozeny více než listy mladší.

Národní list citlivých druhů

Seznam citlivých druhů vzniká postupně během opakovaného vyhledávání a hodnocení symptomů poškození vyvolaných přízemním ozonem. Jsou na něj zařazovány zejména druhy, které jsou pro hodnocení symptomů vhodné z různých důvodů, zejména:

- mohou být citlivé na poškození ozonem a snadno se na nich objeví viditelné symptomy,
- vykazují zcela charakteristické symptomy, které lze snadněji odlišit od dalších možných symptomů vyvolaných jinými škodlivými faktory,



Obr. 6:

Klíč k orientačnímu posouzení nalezeného symptomu, zda se může jednat o poškození vyvolané účinky přímého ozonu. Zpracováno podle INNESE et al. (2001)

Flowchart for the diagnosis of ozone-induced injury on broadleaved species. Processed according to INNESE et al. (2001)



Obr. 7:

Tečkování na listech v mezižilních prostorech patří mezi charakteristické symptomy poškození ozonem. Katalpa trubačolistá, Ljubljana, Slovinsko, srpen 2007

Stippling on leaves in interveinal spaces belongs to characteristic symptoms of ozone damage. Common catalpa, Ljubljana, Slovenia, August 2007

Obr. 8:

Červené tečkování na listech javoru klenu, další příklad čatého viditelného symptomu vyvolaného účinky přízemního ozonu. Latecaldo, Švýcarsko, srpen 2006

Red stippling on sycamore maple leaves, another example of frequent visible symptom caused by effects of ground ozone. Latecaldo, Swiss, August 2006



Obr. 9:

Jednotlivé tečky se postupně spojí do malých plošek. Topol, Latecaldo, Švýcarsko, srpen 2006

The individual dots gradually join together and create small areas. Poplar, Latecaldo, Swiss, August 2006

V následujícím seznamu jsou uvedeny druhy symptomatické v ČR. Tučně vyznačené jsou druhy velmi citlivé s výskytem typických a snáze identifikovatelných symptomů. První dva sloupce jsou stromy a keře, ve třetím jsou byliny.

- | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| • <i>Alnus viridis</i> | • <i>Prunus avium</i> | • <i>Artemisia vulgaris</i> |
| • <i>Carpinus betulus</i> | • <i>Salix aurita</i> | • <i>Centaurea jacea</i> |
| • Clematis sp. | • <i>Salix capraea</i> | • <i>Geranium sylvaticum</i> |
| • <i>Crataegus</i> sp. | • Sambucus nigra | • <i>Heracleum sphondylium</i> |
| • Fagus sylvatica | • Sambucus racemosa | • <i>Hieracium</i> sp. |
| • Fraxinus excelsior | • Symphoricarpos albus | • <i>Polygonum bistorta</i> |
| • <i>Picea abies</i> | • <i>Tilia cordata</i> | • <i>Rubus idaeus</i> |
| • Pinus mugo | • <i>Tilia platyphyllos</i> | • <i>Scrophularia nodosa</i> |
| • <i>Populus</i> sp. | • <i>Viburnum lantana</i> | • <i>Senecio nemorensis</i> |

Naopak, jako zcela nevhodné pro vyhledávání a hodnocení viditelných příznaků poškození ozonem jsou trávy a kapradiny. Obecněji řečeno nejsou k hodnocení příliš vhodné rostliny ze třídy jednoděložných (*Liliopsida*) a z nadoddělení kapradorostů (*Pteridophyta*).

Ověření/Potvrzení symptomů

K ověření nebo potvrzení nalezených symptomů, zda mohly být nebo byly vyvolány působením přízemního ozonu, je nutné provádět jejich konfrontaci s dostupnou dokumentací. Jedná se o různé atlasy poškození, o fotodokumentaci v odborných publikacích nebo na tuto problematiku zaměřených webových prezentacích. Vyšetření a hodnocení vzorků rostlinného materiálu provádějí také specializovaná validační centra, pro střední Evropu je určeno validační centrum ve Švýcarsku, v Birmensdorfu.

Dále je možné využít konzultace s podobně zaměřenými pracovišti v zahraničí a to buď na základě fotodokumentace nebo na základě shromážděných herbářových položek. K úspěšnému vyhledávání a hodnocení symptomů poškození vyvolaných působením ozonu přispívá také pravidelný trénink/výcvik v této problematice.

Buk lesní – *Fagus sylvatica* L.



Obr. 10a + 10b:

Svrchní (a) a spodní (b) strana bukových listů silně poškozených ozonem a intenzivním slunečním zářením. Pro buk je typické bronzové zabarvení listů po celé jejich ploše. Toto bronzování se při silnějším poškození mění na hnědé zbarvení. Na poškozených listech je patrný stínový efekt, spodní strana listů je bez symptomů poškození. Jizerské hory, srpen 2006

Upper (a) and lower (b) side of beech leaves heavily damaged by ozone and intensive insolation. Bronze coloration of the leaf area is typical for beech changing into brown under heavier damage. Shade effect is obvious on damaged leaves, lower side of leaves is without symptoms. Jizerské hory Mts., August 2006



Obr. 11a + 11b:

Silně poškozené bukové listy s výrazným stínovým efektem, spodní strana listů (b) bez poškození ozonem. Poškození na prostředním listu vpravo (b) není vyvolané účinky ozonu. Jizerské hory, srpen 2006

Heavy damaged beech leaves with distinct shade effect, lower part (b) without ozone damage. Damage on the middle leaf at right (b) is not caused by ozone. Jizerské hory Mts., August 2006



Obr. 12:

Bronzování na listech buku při slabším poškození. I zde je patrný stínový efekt na zakrytých částech listů. Jizerské hory, září 2007

Bronzing on beech leaves at slighter damage. Also here the shade effect is obvious on covered parts of leaves. Jizerské hory Mts., September 2007



Obr. 13:

Bronzování je charakteristický symptom na listech buku. Pokud je vyvolané působením ozonu, nachází se v mezižilních prostorech a jeho zbarvení je zpočátku červenavé až červenohnědé (bronzové), při intenzivnějším poškození tmavne (viz např. obr. 10 a 11). Jizerské hory, září 2007

Bronzing is characteristic symptom on beech leaves. In case of ozone impact bronzing is in interveinal space and its coloration is red to red-brown (bronze) at the beginning, under more intensive damage it is getting dark (see e. g. fig. 10 and 11). Jizerské hory Mts., September 2007



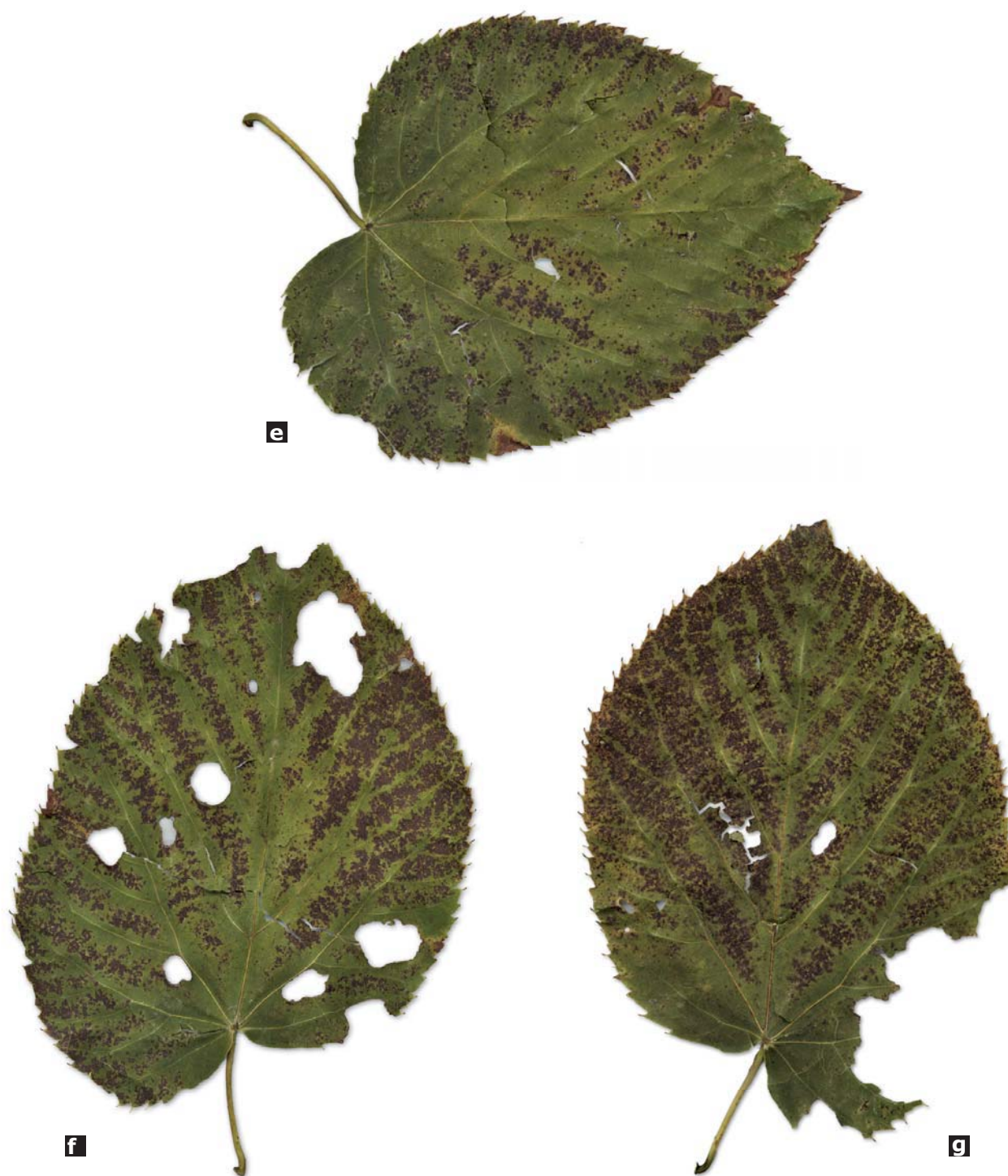
Obr. 14:

Detail levého listu z obrázku 13. Poškození ozonem se nachází v interveinálním prostoru listu. Poškození v blízkosti žilnatiny a na ní (šedé nekrózy) je biotického původu. Symptomy na obr. 12 – 14 byly potvrzeny také validačním centrem ve Švýcarsku jako vyvolané negativními účinky přízemního ozonu

Detail of the left leaf from fig. 13. Damage by ozone is in interveinal space of leaf. Damage near to veins and on it (grey necrosis) is of biotic origin. Also validation centre in Swiss confirmed that symptoms on fig. 12 – 14 were caused by negative effects of ground ozone.

Lípa srdčitá – *Tilia cordata* MILL.





Obr. 15a – 15g:

Různá intenzita a rozložení symptomů na listech lípy. U lípy je obvykle poškození ve formě tečkování a plošek, zbarvení červené nebo červenohnědé. Symptomy se začínají objevovat na obvodu listu a na jeho špičce (a), při silném poškození jsou symptomy rovnoměrně po celé listové ploše (d, e). Letenská pláň, Praha, srpen 2004

Different intensity and distribution of symptoms on linden leaves. Linden is usually damaged in the form of stippling and patches in red or red-brown colour. Symptoms are occurring at first on leaf periphery and its top (a), under heavy damage symptoms are evenly along the whole leaf (d, e). Prague, August 2004

Olše zelená – *Denus alnobetula* EHRH. C. KOCH



Obr. 16:

Poškození olše zelené na horském stanovišti ve výšce kolem 1 300 m n. m. Symptomy typické pro účinky ozonu jsou patrné zejména na listu vlevo. Jedná se o tečkování, které se postupně spojuje do větších plošek. Na listech vpravo je toto tečkování také patrné, mimo to se vyskytují symptomy vyvolané biotickými činiteli. Švýcarsko, Jeseníky, září 2003

Damage of European green alder on the mountain site in the height of 1,300 m a. s. l. Symptoms typical for ozone effects are evident mainly on the leaf at left – stippling gradually joins into greater patches. This stippling is also evident on the leaves at right, also symptoms caused by biotic factors occur. Jeseníky Mts., September 2003

Topol – *Populus L.*



Obr. 17:

Středně poškozený list topolu, na kterém je patrné tmavé tečkování v mezižilním prostoru. Šedé nekrózy mezi žilnatinou i na ní nejsou vyvolány účinky ozonu. Jizerské hory, září 2006

Mid-damaged leaf of poplar with evident dark stippling in interveinal space. Grey necrosis between veins and on it is not caused by ozone effect. Jizerské hory Mts., September 2006



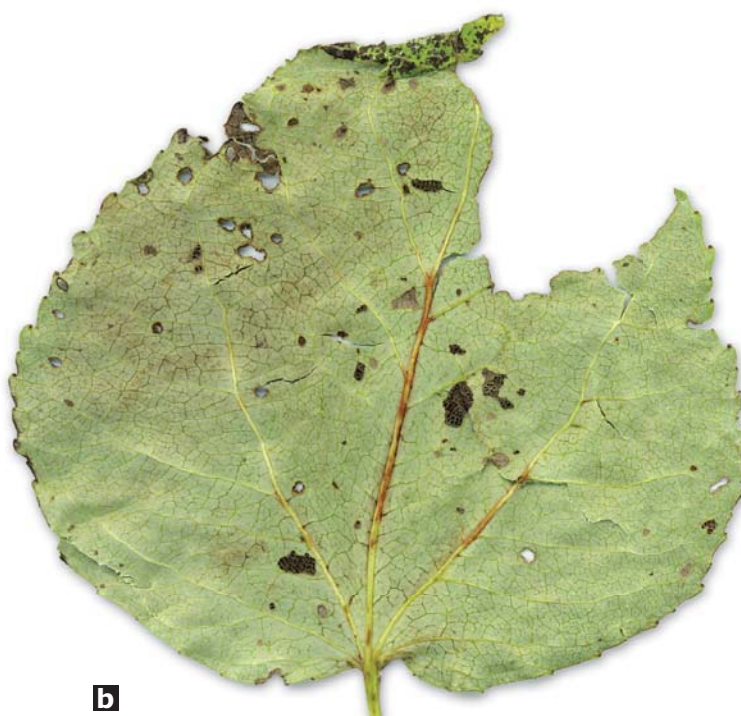
Obr. 18:

Nejvíce poškozené jsou listy, které jsou nejvíce vystaveny slunečnímu záření. Na zastíněných listech v pozadí je poškození minimální nebo se nevyskytuje. Jizerské hory, září 2006

Leaves the most exposed to insolation are damaged the most. Damage of shaded leaves at the background is minimal or none. Jizerské hory Mts., September 2006



a



b

Obr. 19a + 19b:

Silně poškozený list topolu, na kterém zbarvení vyvolané účinky ozonu přechází do tmavě hnědého až černého zbarvení na celé listové ploše. Spodní strana listu (b) tyto symptomy nemá, což je pro poškození vyvolané účinky ozonu charakteristickým znakem. Jizerské hory, září 2006

Heavy damage leaf of poplar where coloration caused by ozone effects changes into dark brown or black over all the leaf area. Lower side of leaf (b) is without these symptoms which is characteristic for damage caused by ozone effect. Jizerské hory Mts., September 2006

Jasan ztepilý – *Fraxinus excelsior* L.



Obr. 20:

Silně poškozený list jasanu ztepilého na jižně orientované mezi na okraji obce. Trnovský les, Slovinsko, srpen 2007

Heavy damaged European ash leaf on the south-oriented place. Trnovský forest, Slovenia, August 2007

Smrk ztepilý – *Picea abies* KARST.



Obr. 21:

Na jehličnatých dřevinách jsou viditelné symptomy rozpoznatelné zejména na starších jehlicích. Zde 3. ročník smrkového jehličí, Orlické hory, říjen 2005

On coniferous tree species visible symptoms are distinctive above all on older needles. Here is the 2nd needle year-class, Orlické hory Mts., October 2005

Borovice kleč – *Pinus mugo* TURRA



Obr. 22:

Při opakované zátěži přízemním ozonem výskyt symptomů se stářím jehlic stoupá. Jeseníky, září 2007

Occurrence of symptoms increases in dependence on needles age under repeated load by ground ozone. Jeseníky Mts., September 2007

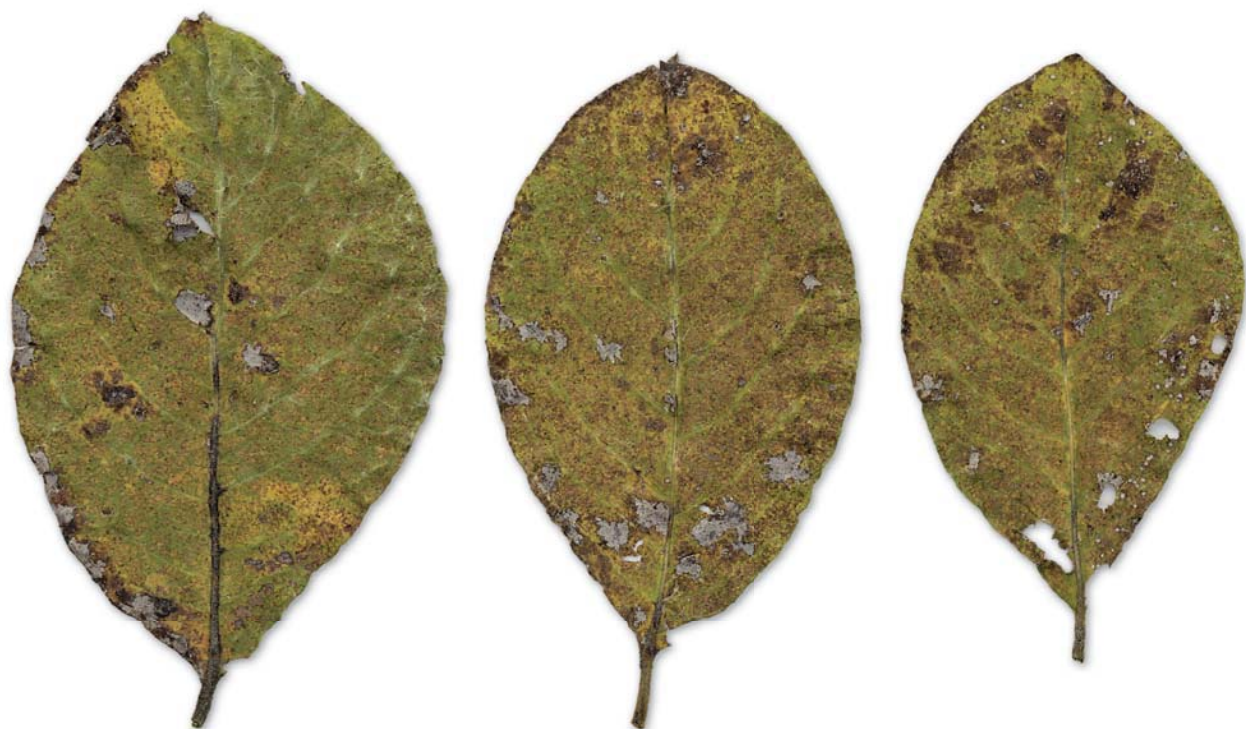


Obr. 23a + 23b:

Detail poškození staršího jehličí borovice kleče z předchozího obrázku. Pro poškození vyvolané účinky přízemního ozonu jsou typické nepravidelné tvary chlorotických skvrn a jejich neostře ohraničené okraje. Pro hodnocení je doporučeno použití lupy s cca desetinásobným zvětšením

Detail of damage of older dwarf pine needles from the preceding figure. Damage caused by effects of ground ozone shows typical irregular chlorotic mottling without sharp borders between green and yellow zones. Assessment is recommended to do with magnifier with ca 10 times magnification.

Vrba jíva – *Salix capraea* L.



Obr. 24:

Jako „ozone-like“ poškození bylo u tohoto vzorku označeno červené tečkování v mezižilních prostorech listové plochy. Slavkovský les, září 2004

For this sample red stippling in interveinal space of leaf area was marked as "ozone-like" damage. Slavkovský forest, September 2004

Šácholan – *Magnolia* L.



Obr. 25a + 25b:

Silné poškození šácholanu v blízkosti frekventované komunikace. Starší listy jsou poškozeny více než mladší (věkový efekt). Mníšek pod Brdy, září 2001

Heavy damage in vicinity of frequently used communication. Older leaves are damaged more than younger ones (age effect). Mníšek pod Brdy, September 2001

Bez černý – *Sambucus nigra* L.



Obr. 26:

Silně poškozené listy bezu černého na slunci exponované lokalitě na okraji obce. Žilnatina listů zůstává zelená, poškozeny jsou mezižilní prostory. Stíněné listy uvnitř keře (v pozadí) jsou poškozeny méně nebo vůbec. Detail viz obr. 4. Slovinsko, Trnovský les, srpen 2007

Heavy damaged European elder leaves on locality exposed to sun. Venation of leaves remains green, damaged is inter-venial space. Shaded leaves inside the shrub (at the background) are damaged less or not at all. Detail see fig. 4, Slovenia, Trnovský forest, August 2007

Pámelník bílý – *Symphoricarpos albus* L.



Obr. 27a + 27b:

Červené až červenohnědé zbarvení listů vyvolané účinky přízemního ozonu na listech pámelníku na slunci exponovaném stanovišti. Charakteristické je zasažení mezižilních prostor, spodní strana listů byla bez viditelného poškození. Slovinsko, Trnovský les, srpen 2007

*Red to red-brown coloration of leaves caused by effects of ground ozone on *Symphoricarpos albus* L. on side exposed to sun. Damage of interveinal space is characteristic, lower side of leaves was without visible damage. Slovenia, Trnovský forest, August 2007*



Obr. 27c + 27d:

Tento typ poškození je na pámelníku v podmínkách ČR poměrně typický. Slavkovský les, Horní Lazy, září 2004

*This type of damage is typical for *Symphoricarpos albus* L. in the CR conditions. Slavkovský forest, Horní Lazy, September 2004*

Ostružiník – *Rubus fruticosus* L.



Obr. 28a:

Silné poškození listů ostružiníku. Zřetelný je stínový efekt vlevo a přítomnost symptomů pouze na svrchní straně listu. Královéhradecko, září 2003

Heavy damage of bramble. Shade effect is distinctive at left and presence of symptoms only on the upper side of leaf. Královéhradecko region, September 2003



Obr. 28b + 28c:

Silně a slabě poškozený list ostružiníku s charakteristickými znaky vyvolanými účinky přízemního ozonu – stínový efekt, poškození na mezižilních prostorech listu, symptomy pouze na svrchní straně listu. Královéhradecko, září 2003

Heavy and slight damaged bramble leaf with characteristic features caused by effects of ground ozone – shade effect, damage on interveinal space of leaf, symptoms are only on the upper side of leaf. Královéhradecko region, September 2003

Pcháč různolistý – *Cirsium heterophyllum* (L.) HILL.



Obr. 29a + 29b:

Poškození ozonem na listech pcháče – svrchní a spodní strana téhož listu. Červené zbarvení v mezižilních prostorech, spodní strana listů bez poškození. Slavkovský les, Horní Lazy, září 2004

*Damage by ozone on leaves of *Cirsium heterophyllum* (L.) HILL. – upper and lower side of the same leaf. Red colour in interveinal space, lower side of leaves without damage. Slavkovský forest, Horní Lazy, September 2004*

Kakost lesní – *Geranium sylvaticum* L.



Obr. 30a + 30b:

Středně silné až silné poškození na listech kakostu – svrchní a spodní strana téhož listu. Orlické hory, Luisino údolí, září 2004

*Medium-heavy to heavy damage on leaves of *Geranium sylvaticum* L. – upper and lower side of the same leaf. Orlické hory Mts., Luisino valley, September 2004*



Obr. 31a + 31b:

Středně silné poškození kakostu lesního. Svrchní a spodní strana listu. Střední Čechy, Kožlí, září 2004

*Medium-heavy of *Geranium sylvaticum* L. – upper and lower side of the same leaf. Central Bohemia, Kožlí, September 2004*

Sporné druhy/ symptomy vyvolané jinými faktory



Obr. 32:

Bříza bělokorá – *Betula pendula* ROTH. Drobné černé tečky mohou připomínat poškození vyvolané účinky přízemního ozonu. Literatura však u břízy uvádí jako typický symptom chlorotické tečky, body a plošky (světle zelené, žluto-zelené a žluté), které se objevují teprve v pozdním létě. Navíc je velmi obtížné rozlišit tyto symptomy pouhým okem od poškození vyvolaným suchem. V tomto případě se o poškození vyvolané ozonem nejedná. Orlické hory, Luisino údolí, září 2004

Silver birch – Betula pendula ROTH. Small black dots can remind damage caused by effects of ground ozone. However, typical symptoms according to references are chlorotic dots, points and patches (light-green, yellow-green and yellow) appearing in the late summer. These symptoms are hardly distinguished visually from damage caused by drought. In this case it is not damage caused by ozone. Orlické hory Mts., Luisino valley, September 2004



Obr. 33:

Šťovík tupolistý – *Rumex obtusifolius* L. Patří mezi obtížně hodnotitelné druhy, má sklony k přirozenému červenání. Symptomy vyvolané ozonem se u tohoto druhu projevují také červeným zbarvením. Zde se jedná o sporný symptom – na cca arové ploše byl pouze jediný trs s těmito symptomy, přitom symptomy účinky ozonu připomínají. Toto poškození bylo nakonec vyhodnoceno jako nevyvolané účinky přízemního ozonu. Střední Čechy, Melechov, srpen 2007

Rumex obtusifolius L. belongs to species assessable with difficulties, it tends to natural reddening. Symptoms caused by ozone manifest themselves also by red colour. Here the symptom is problematic – only one clump with these symptoms reminding ozone effects was found. Finally this damage was not evaluated as caused by effects of ground ozone. Central Bohemia, Melechov, August 2007



Obr. 34a + 34b:

Lípa srdčitá – *Tilia cordata* L. Kombinace poškození houbami (tmavé) a hmyzem (světlé). Poškození je dobře patrné na obou stranách listů, zasahuje i žilnatinu a má nápadně pravidelný kruhový tvar. Chřiby, Smradávka, září 2006

Tilia cordata L. Combination of damage by fungi (dark) and insect (light). Damage is well seen on both sides of leaves, attacks also veins and has markedly circular form. Chřiby, September 2006



Obr. 35:

Dub červený – *Quercus rubra* L. Červené zbarvení nejmladších listů během první poloviny vegetační doby, při jejich rašení a růstu je přirozenou vlastností více druhů. Starší listy jsou zelené, bez barevných změn. Nejedná se o barevné změny vyvolané ozonem. Setkat se s tímto typem barevné změny můžeme často také např. u maliníku, lísky nebo jilmu. Viz také obr. 5. Latecaldo, Švýcarsko, srpen 2006
Quercus rubra L. Red colour of the youngest leaves during the first half of vegetation period, during their flushing and growth is natural property for more species. Older leaves are green, without changes in colour. Changes in colour are not caused by ozone. These types of colour changes can be seen also at raspberry bush, hazel or elm. See also fig 5. Latecaldo, Swiss, August 2006



Obr. 36a + 36b:

Růže – *Rosa* sp. Poškození vyvolané houbami na listech růže rostoucí na okraji lesa. Královéhradecko, Býšť, srpen 2004
Rosa sp. Damage caused by fungi on rose leaves growing at the forest margin. Královéhradeckon region, Býšť, August 2004

PŘÍNOS METODIKY

V České republice nebyla zatím podobná metodika zpracována, tato publikace je tedy první svého druhu. Vychází ze zkušeností zahraničních pracovišť a navíc nově zpracovává poznatky získané při řešení projektů a zajišťování monitoringu lesních ekosystémů v reálných podmínkách lesních porostů na území ČR.

POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Metodika je určena pracovníkům výzkumných pracovišť, pedagogickým pracovníkům i studentům lesnických a přírodovědných oborů i pracovníkům zabývajícím se monitoringem a mapováním stavu lesních ekosystémů.

DEDIKACE

Metodika je výstupem z řešení projektu NAZV 1G57045 „Vliv zvýšených koncentrací ozonu a meteorologických faktorů na stabilitu smrkových a bukových porostů v ČR“, mezinárodních aktivit v rámci programu ICP Forests/Forest Focus a projektu MZe 0002070201 „Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnících se podmínkách prostředí“.

LITERATURA

Seznam použité související literatury

- BUSSOTTI F., COZZI A., FERRETTI M. 2006. Field surveys of ozone symptoms on spontaneous vegetation. Limitations and potentialities of the European programme. *Environmental Monitoring and Assessment*, 115: 335-348.
- BUSSOTTI F., SCHAUB M., COZZI A., GEROSA G., NOVAK K., HUG C. 2006. Sources of errors in assessing ozone visible symptoms on native vegetation. *Environmental Pollution*, 140: 257-268.
- COLBECK I., MACKENZIE A. R 1994. *Air Pollution by Photochemical Oxidants*. Amsterdam, Elsevier: 244 s.
- DITTMAR C., ELLING W., GÜNTHARDT-GOERG M., MAYER F. J., GILGE S., WINKLER P., FRICKE W. 2004. Ozonbelastung und Schadsymptome im Extremsommer 2003. *AFZ-Der Wald*, s. 683-685.
- EVANS L. S., MILLER P. R. 1972. Ozone damage to ponderosa pine: a histological and histochemical appraisal. *American Journal of Botany*, 59: 297-304.
- FINLAYSON-PITTS B. J., PITTS J. N. Jr. 2000. *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*. San Diego, Academic Press: 969 s.
- GARDNER M. W., DORLING S. R. 2000. Meteorologically adjusted trends in UK daily maximum surface ozone concentrations. *Atmospheric Environment*, 34: 171-176.
- GRULKE N. E., MILLER P. R., SCIOLI D. 1996. Response of giant sequoia canopy foliage to elevated concentrations of atmospheric ozone. *Tree Physiology*. 16: 575-581.
- GÜNTHARDT-GOERG M. S., MCQUATTIE C. J., MAURER S., FREY B. 2000. Visible and microscopic injury in leaves of five deciduous tree species related to current critical ozone levels. *Environmental Pollution*, 109: 89-500.
- GÜNTHARDT-GOERG M. S., VOLLENWEIDER P. Microscopy for differential diagnostic of foliar ozone symptoms. In: *Prezentace na 4th International Training Course Ozone Visible Injury*. Switzerland/Italy 25-27th August, 2003.
- HARTMAN G., NIENHAUS F., BUTIN H. 1998. *Farbatlas Waldschäden, Diagnose von Baumkrankheiten*. Stuttgart, Ulmer.
- INNES J. L., SKELLY J. M., SCHAUB M. 2001. Ozone and broadleaved species. A guide to the identification of ozone-induced foliar injury. [Ozon, Laubholz- und Krautpflanzen. Ein Führer zum Bestimmen von Ozonsymptomen.] Birmensdorf, Bern, Stuttgart, Wien Haupt, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL: 136 s.

- JONES M. E., PAINE T. D., FENN M. E., POTH M. A. 2004. Influence of ozone and nitrogen deposition on bark beetle activity under drought conditions. *Forest Ecology and Management*, 200: 67-76.
- KELLER T., BÜHLMANN U. 1987. Zur Verwendung der amerikanischen Aspe als Bioindikator für Ozon. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 138: 993-998.
- LUX D., LEONARDI S., MÜLLER J., WIEMKEN A., FLÜCKIGER W. 1997. Effects of ambient ozone concentrations on contents of non-structural carbohydrates in young *Picea abies* and *Fagus sylvatica*. *New Phytologist*, 137: 399-409.
- MANNING W. J., GODZIK B. 2004. Bioindicator plants for ambient ozone in Central and Eastern Europe. *Environmental Pollution*, 130: 33-39.
- MATYSSEK R., HAVRANEK W. M., WIESER G., INNES J. L. 1997. Ozone and the forests in Austria and Switzerland. In: Sandermann, H., Wellburn, A. R., Heath, R. L. (eds.): *Forest decline and ozone: a comparison of controlled chamber and field experiments*. Springer Ecological Studies, 127: 95-134.
- MIKKELSEN T. N., RO-POULSEN H. 1994. Exposure of Norway spruce to ozone increases the sensitivity of current year needles to photoinhibition and dessication. *New Phytologist*, 128: 153-163.
- MONKS P. S. 2000. A review of the observations and origins of the spring ozone maximum. *Atmospheric Environment*, 34: 3545-3561.
- PÄÄKKÖNEN E., VAHALA J., HOLOPAINEN T., KÄRENLAMPI L. 1998. Physiological and ultrastructural responses of birch clones exposed to ozone and drought stress. *Chemosphere*, 36: 679-684.
- PRIWITZER T., ČABOUN V., PAVLEDOVÁ H. 2004. Depozícia ozónu a jej vplyv na lesné dreviny. In: Šír, Tesař (eds.): *Atmosférická depozice 2004. Sborník ze semináře*. Praha
- SCHAUB M., SKELLY J. M., ZHANG J. W., FERDINAND J. A., SAVAGE J. E., STEVENSON R. E., DAVIS D. D., STEINER K. C. 2005. Physiological and foliar symptom response in the crowns of *Prunus serotina*, *Fraxinus americana* and *Acer rubrum* canopy trees to ambient ozone under forest conditions. *Environmental Pollution*, 133: 553-567.
- Schülerduden. *Die Ökologie*. Mannheim, Wien, Zürich: Duden-Verlag, 1998.
- SEINFELD J. H. 1996. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. New York, John Wiley & Sons.
- SHARP S. W. A. (ed.): *The Penguin Dictionary of Chemistry*. Penguin Group, England, 1990.
- SKÄRBY L., RO-POULSEN H., WELLBURN F. A. M., SHEPPARD L. J. 1998. Impact of ozone on forests: a European Perspective. *New Phytol*, 139: 109-122.
- SKELLY J. M., INNES J. L., SNYDER K. R., SAVAG J. E., HUG C., LANDOLT W., BLEUER P. 1998. Investigation of ozone induced injury in forests of southern

- Switzerland: field surveys and open-top chamber experiments. *Chemosphere*, 36: 995-1000.
- ŠRÁMEK V. 1999. Potenciální vliv ozónu na poškození březových porostů v Krušných horách. *Zprávy lesnického výzkumu*, 44/1: 5-10.
- STROH K. 2004. Bodennahes Ozon. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. Umwetterberatung Bayern, (BayLfU 2004-PS1). 8 s.
- SUNDBERG J., KARLSSON P. E., SCHENK L., PLEIJEL H. 2006. Variation in ozone concentration in relation to local climate in West Sweden. *Water, Air and Soil Pollution*, 173: 339-354.
- TOWNSEND A. M. 1974. Sorption of ozone by nine shade tree species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 99: 206-208.
- UDDLING J., KARLSSON P. E., GLORVIGEN A., SELLDÉN G. 2006. Ozone impairs autumnal resorption of nitrogen from birch (*Betula pendula*) leaves, causing an increase in whole-tree nitrogen loss through litter fall. *Tree Physiology*, 26: 113-120.
- UHLÍŘOVÁ H., HŮNOVÁ I., NOVOTNÝ R., LOMSKÝ B., HORÁLEK J. 2003. Oxidační stres v podmínkách horských smrčín. *Zprávy lesnického výzkumu*, 48: 200-205.
- UHLÍŘOVÁ H., KAPITOLA P. (eds.) 2004. Poškození lesních dřevin. *Lesnická práce*, 288 s.
- UNECE: Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part X/B. Assesment of Ozone Injury. UNECE, CLRTAP, 2004.
- VINGARZAN R. 2004. A review of surface ozone background levels and trends. *Atmospheric Environment*, 38: 3431-3442.
- VOLLENWEIDER P., OTTINGER M., GUNHARDT-GOERG M. S. 2003. Validation of leaf ozone symptoms in natural vegetation using microscopical methods. *Environmental Pollution*, 124: 101-118.
- WARNECK P. 1988.: *Chemistry of the Natural Atmosphere*. San Diego, Academic Press, Inc., www.chmi.cz

Seznam publikací předcházejících metodice a výstupů znalostí

- LOMSKÝ B., ŠRÁMEK V. 2004. Different types of damage in mountain forest stands of the Czech Republic- Journal of Forest Science, 50:533-537.
- NOVOTNÝ R., ŠRÁMEK V., BEDNÁŘOVÁ E., UHLÍŘOVÁ H. 2007. Sledování vlivu přízemního ozonu na lesní porosty v ČR. In: Ovzduší 2007. Program a sborník konference. Průhonice, Botanický ústav AV ČR, v. v. i.: 142-147.
- NOVOTNÝ R., ŠRÁMEK V., BURIÁNEK V. 2009. Evaluation of the ozone injury to ground vegetation within the plots of intensive monitoring in the Czech Republic. Lesnícky časopis - Forestry Journal, 56, v tisku.
- ŠRÁMEK V. 1999. Potenciální vliv ozonu na poškození březových porostů v Krušných horách. Zprávy lesnického výzkumu, 44: 5-10.
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., BEDNÁŘOVÁ E. 2007. Měření koncentrací přízemního ozonu pasivními dozimetry pro potřebu monitoringu zdravotního stavu lesů. Meteorologické zprávy, 60: 37-42.
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., BEDNÁŘOVÁ E., UHLÍŘOVÁ H. 2007. Monitoring of ozone risk for forests in the Czech Republic: Preliminary Results. The Scientific World Journal, 7(S1): 78-83.
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., ČAPEK M., BEDNÁŘOVÁ E., BURIÁNEK V., UHLÍŘOVÁ H., VEJPUŠTKOVÁ M., HŮNOVÁ I. 2008. Vliv zvýšených koncentrací ozonu a meteorologických faktorů na stabilitu smrkových a bukových porostů v České republice. Závěrečná zpráva projektu NAZV 1G57045. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.: 66 s.
- ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ R., UHLÍŘOVÁ H., BEDNÁŘOVÁ E., HŮNOVÁ I. 2007. Vliv ozonu na lesní porosty – mechanismus působení, vliv na dřeviny, ukazatele poškození. Zprávy lesnického výzkumu, 52: 138-147.
- UHLÍŘOVÁ H., HŮNOVÁ I., NOVOTNÝ R., LOMSKÝ B., HORÁLEK J. 2003. Oxidační stres v podmínkách horských smrčín. Zprávy lesnického výzkumu, 48: 200-205.
- UHLÍŘOVÁ H., KAPITOLA P. (eds.) 2004. Poškození lesních dřevin. Lesnická práce, 288 s.
- UHLÍŘOVÁ H., NOVOTNÝ R., MATUCHA M. 2003. Projevy poškození lesních dřevin pod vlivem abiotických stresů. In: Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Sborník příspěvků. Praha 8. 10. 2003. Praha, VÚRV, ČZU: 76-89.
- UHLÍŘOVÁ H., ŠRÁMEK V., PASHUTOVÁ J. 1997. Znečištěné ovzduší a lesy IV. – Oxidy dusíku a ozon. Zprávy lesnického výzkumu, 42/2: 28-32.

METHODOLOGY FOR ASSESSMENT OF VEGETATION DAMAGE IN FOREST ECOSYSTEMS BY HIGH CONCENTRATIONS OF TROPOSPHERIC OZONE

Summary

Ozone is one of the compounds that can be taken for immission factor damaging forests. This immission compound is intensively studied not only in the Czech Republic or Europe but also for example in the USA or Japan. Ozone appearance is very complicated; this gas is not directly emitted and therefore its concentrations cannot be simply reduced in the ground atmosphere.

Ozone impact leaves no clear residua in plant cells for differing its impact caused by natural oxidation stress or other harmful agents. Unlike other gas harmful substances, there is no direct dependence between ozone high concentrations in atmosphere and plant damage. Other types of stresses (e. g. drought, low air moisture, presence of other immissions) can either enhance or reduce ozone impact. That is why the ozone risk, i. e. which enhanced ozone concentrations are dangerous for forest, cannot be unambiguously defined.

It is very important to identify real damage that can be observed on vegetation in its natural environment. This brief methodology should serve as a tool for field work. Visual assessment of plant damage is quite complicated and cannot be precisely proved without biochemical and anatomical analyses. The identified damages are in practice described like ozone-like symptoms, not like caused by ozone. However, visual damages of tree species leaves and ground vegetation by ozone show some characteristic signs which their assessment, to a certain degree, makes possible.

Damage by ozone is visually manifested by colour changes in assimilation organs, as well as by appearance of necroses on leaf area. Visual signs of negative ozone impact appear on damaged leaves mostly within several weeks to months after ozone intake. Only exceptionally the damage is acute, and development of symptoms is then very fast lasting several hours or days after ozone exposition.

Ozone impact leaves no clear residua in the plant cells to differentiate its impact from that caused by natural oxidation stress or other harmful agents. Unlike for other harmful gas substances, direct dependence between high ozone concentrations in the atmosphere and plant damage does not exist. Other types of stress (e. g. drought, low air moisture, other imission) can either enhance or reduce the ozone impact. That is why the ozone risk, i. e. enhanced ozone concentrations dangerous for forest, cannot be unambiguously defined.

LESNICKÝ PRŮVODCE



Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i.
www.vulhm.cz