

Lekce 9A Narušení (disturbance)

- 1) narušení jako ekologický faktor,
- 2) hlavní typy narušení,
- 3) biotické změny druhového složení lesů,
- 4) klimatické změny a lesní ekosystémy,

9.1. Narušení jako ekologický faktor (např. Pickett & White 1985)

Definice (Barnes et al. 1998):

- jakákoliv samostatná událost v čase, která ničí ekosystémy, jejich složení, strukturu a funkce.

Skupiny narušení podle faktorů, které je způsobují:

- 1) **abiotická n.** (ohněň, vítr, tektonická a sopečná aktivita, záplavy)
- 2) **biotická n.** (hmyz, patogeni, člověk, velcí živočichové aj.).

Přímé a nepřímé vlivy:

- přímo narušuje stanoviště (např. matečnou horninu, půdu a hydrologickou soustavu), ničí organismy => změna druhového složení ekosystémů,
- ničením organismů narušuje mutualistické a kompetiční vztahy mezi nimi => častá změna průběhu a rychlosti sukcese,
- přirozená narušení regionálního (zemětřesení, vulkanismus) či lokálního (laviny, povodně, požáry) mění ráz krajiny.

Nad přirozeným narušením mnohdy stojí mnohonásobně silnější narušení způsobované člověkem:

- dřevo stromů je jako palivo a stavební materiál používáno téměř ve všech lidských společnostech více než 5000 let od doby bronzové po 2. polovinu 19. století,
- spalování dřevní hmoty přispívá 18 % k roční produkci CO₂ na planetě,
- moderní způsoby lesní těžby dřeva a pěstování lesních plantáží drasticky snižuje strukturu, skladbu a funkce lesa => např. obnova přirozeného bylinného patra po holosecích může trvat několik století.

Zdroje disturbance:

- 1) **exogenní** - mimo ekosystém (požár, vítr, imise, narušení vnesená zvířaty nebo patogenními organismy),
- 2) **endogenní** - původ v ekosystému (např. epidemie přirozeně se vyskytujícího hmyzu nebo patogenů).

Endogenní faktor, jako je odumírání stromů vyvolané patogeny nebo hmyzem, může vyvolat citlivost na působení fyzikálního faktoru, např. vítr. Naopak endogenní narušení je často vyvoláno narušením exogenním (např. suchem nebo imisemi stresované stromy mají sníženou odolnost vůči hmyzu nebo patogenům). Naopak odumřelé stromy po kalamitním výskytu herbivorů nebo patogenů mohou být např. zdrojem požáru.

Narušení mají určité zákonitosti:

- a) režim narušení určitého lesa je komplexním souborem méně častých případů velkého rozsahu (např. rozsáhlý zcela zničující požár) a častějších případů malého narušení (např. zlomy a vývraty jednotlivých stromů),

- b) jakákoliv disturbance může být výsledkem působení mnoha vzájemně propojených faktorů,
- c) přirozená narušení mnohdy obnoví ekosystém a diversitu krajiny (něco jiného jsou tzv. "cizí narušení", na které nejsou organismy adaptovány, např. akutní antropogenní narušení všeho druhu).

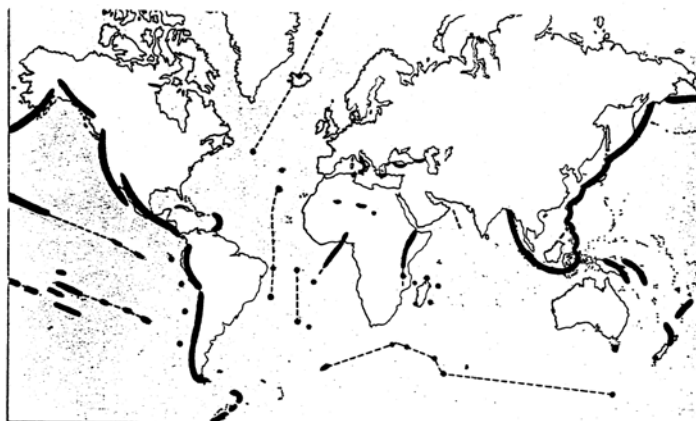
9.2. Hlavní typy narušení

9.2.1 Katastrofické a lokální pohyby částí povrchu

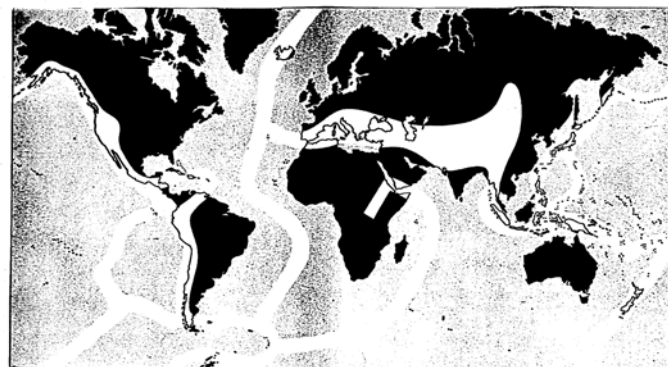
Běžné v oblastech s častým výskytem činných vulkánů a zemětřesení (Fig. pp. 154, 166, Bertin 1967) => časté sesuvy půdy a vylévání hornin.

Posledním nejznámějším výbuchem byla St. Helens (SZ pobřeží USA, Washington State) v r. 1980 - zničení lesů, potoků a jezer => sterilní krajina; za tři roky se objevilo 90% druhů původní flóry.

Zemětřesení a s tím spojené sesuvy půdy jsou běžné v temper. lesích Chile (sesuvy časté na plochách, které byly předtím narušeny požárem). Sesuvy jsou však běžné i v tropech - zničeno 38% v indo-malayské oblasti, 14% v amerických deštých lesích.



Distribution of the world's volcanoes



World distribution of earthquake zones (shown as white areas on map)

Katastrofická narušení povrchu vytváří vhodná stanoviště pro uchycení a vývoj vegetace:

- např. v jižní části Chile zemětřesení v r. 1960 vyvolalo vulkanickou aktivitu, která měla za následek velké sesuvy půdy => mnoho stanovišť pro obnovu lesů s *Notofagus*.

Příklad

Eroze a změny geomorfologie v říčním systému

- příkré svahy, silné zimní srážky, slabě vyvinuté půdy => předpoklad úžších vazeb mezi fyzikálními a ekologickými procesy v terestrických (horské polohy) a mokřadních ekosystémech (podél toku),
- srovnatelně méně dynamické bývají ploché nebo mírně zvlněné krajiny geologicky starších oblastí,
- **Fig. 21.7.** (Barnes et al. pp. 621) – propojení svahových procesů s erozivní činností vodní systému (Andrews Experimental Forest v Oregonu) => ovlivnění pohybu organické hmoty, půdy a vegetace po svahu a následně tokem => dlouhodobě epizodické procesy (suťové laviny jednou za 370 let, přívaly naplavenin jednou za 580 let) přenesou více minerálního materiálu než trvalé svahové procesy a povrchová eroze.

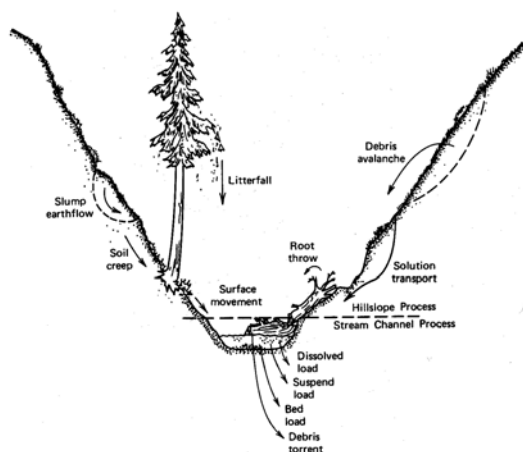


Figure 21.7 Hillslope and stream channel processes that transfer organic and inorganic material among coniferous forest ecosystems and between terrestrial and aquatic systems. (Modified from Swanson et al., 1982a. Courtesy of the Coniferous Forest Biome and Oregon State University. Drawing by M. F. Orlando.)

9.2.2. Požár

.....

9.2.3. Vítr

Vítr má vliv na strukturu, skladbu a funkce lesa jak v regionálním, tak lokálním měřítku v závislosti na jeho frekvenci a intenzitě.

Hurikány s katastrofickou disturbancí (stovky až tisíce ha) se vyskytují zejména na západním a východním pobřeží Severní Ameriky; **tornáda** převažují ve vnitrozemí:

- perioda výskytu tornád je 1.200-10.000 let v různých částech Severní Ameriky,
- rychlost proudění v hurikánech dosahuje přes 200 km.h^{-1} , tornáda $> 450 \text{ km.h}^{-1}$.

Příklady

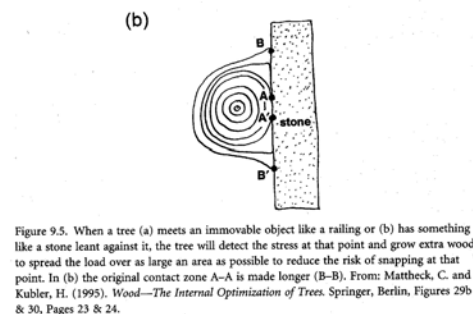
Hurikán Andrew (jižní Florida, 1992):

- poškození 50 km širokého pásu o délce 100 km,
- v borech bylo 25-40% stromů zlomeno v 1-6 m výšky nebo vyvráceno (2-3x více zlomeno než vyvráceno),
- vysoké, mohutné listnaté dřeviny v “hammock” ekosystémech byly vyvráceny a polámany z 20-30 %,
- porosty s *Taxodium distichum* byly poškozeny mírně,
- mangrovy byly vyvráceny a zlámány z 80-95%,
- vytvořily se podmínky pro šíření invazní druhů (*Melaleuca quinquenervia*, *Schinus terebinthifolius* – pepper tree, *Casuarina* spp.).

Lokální větry ($90\text{--}150 \text{ km.h}^{-1}$) s vichřicemi způsobují vývraty a lámání jednotlivých stromů nebo jejich skupin a poškozuji malé plochy (desítky až stovky m^2) (dia 454–456, Asama, Japonsko) => vytváření malých děr (gaps), které jsou běžnou součástí dynamiky lesa (viz Lekce 11).

Zlomy:

- s výškou stromu se prodlužuje páka, na kterou vítr tlačí => se silou větru dochází postupně k odlamování větví a snižování výšky stromu a tedy plochy koruny,
- pevnost kmene se zvyšuje činností kambia zpevňováním více namáhaných částí kmene, které jsou na bocích kmene (viz Fig. 9.5b., Thomas pp. 251).



Vývraty

Dřeviny s hlubšími koř. systémy (Fig. 9.7., Thomas pp. 254):

- stromy se kymácí ve větru → vznikají praskliny v půdě na návětrné straně, horizontální kořeny jsou postupně vytahovány a trhají se (Fig. 9.7.a, b) → po vytažení a zpřetrhání kořenů se začne kořenový bal otáčet v půdní jámě a strom se začne naklánět (Fig. 9.7.c) → tlak větru s nakláněním klesá, ale zvyšuje se vliv váhy kmene a ten spadne (Fig. 9.7.d),
- porosty na vlhkých půdách jsou náchylné na vývraty, neboť zde klesá **tření** mezi kořenovým balem a okolní půdou,
- jak strom mohutní a zvyšuje tlak na půdu (zvyšuje se **tření**), průměr kořenové talíře (root plate) se zmenšuje ve srovnání s malými stromy (malé stromy - koř.

talíř je >15-ti násobek poloměru kmene, velké stromy - cca 3 násobek poloměru kmene).

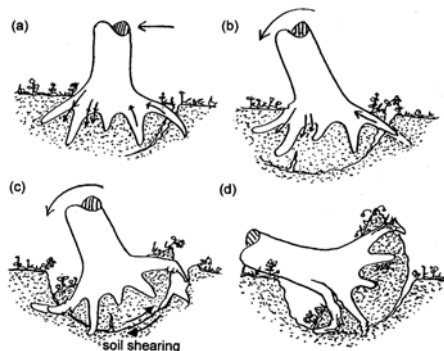


Figure 9.7. Windthrow of a tree I. The pictures show four stages in the process for a tree with comparatively deep roots where the tree falls by the root ball rotating in an earthen socket. After Coutts from Mattheck, C. and Breloer, H. (1994). *The Body Language of Trees: a Handbook for Failure Analysis. Research for Amenity Trees*, No. 4, HMSO, London.

Druhy s mělkými kořenovými systémy (např. *Picea abies*) se vyvracejí odlišně:

- vznik prasklin v půdě na návětrné straně, horizontální kořeny jsou postupně vytahovány a trhají se (Fig. 9.8.a, Thomas pp. 255) → celý kořenový talíř se pak otočí kolem své závětrné strany a strom spadne (Fig. 9.8.b),
- strom drží vzpřímený svou vahou, půdou vázanou na kořenový talíř a délkou kořenů zejména na závětrné straně stromu; tření mezi koř. balem a okolní půdou zde nehraje velkou roli.

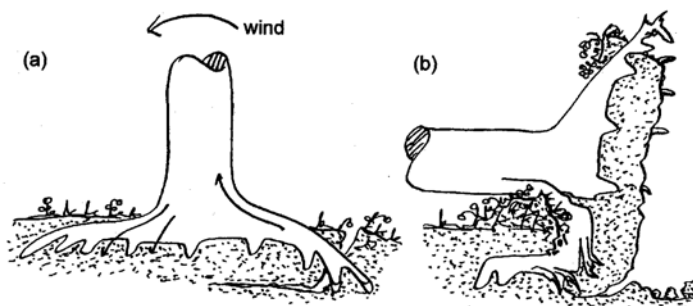


Figure 9.8. Windthrow of a tree II. A tree with shallow roots falls in the same way that a coat stand topples over. The weight of the tree and root plate must be lifted as it pivots over the edge of the root plate. From: Mattheck, C. and Breloer, H. (1994). *The Body Language of Trees: a Handbook for Failure Analysis. Research for Amenity Trees*, No. 4, HMSO, London.

Další adaptace k ochraně proti poškození větrem a regeneraci po vyvrácení:

- dřeviny vytvářejí více kořenů na návětrné straně než na závětrné a nejméně v pravém úhlu ke směru převládajících větrů => netvoří kořeny tam, kde je nepotřebují,
- soliterní nebo okrajové stromy mají lépe vyvinutý koř. systém než stromy v porostu,
- vyvrácené stromy jsou často schopny tvořit koř. výmladky z živých kořenů a z nich pak vytvářet nové větvičky se kmeny,
- z pařezů zlomených stromů také vyrůstají nové výhony z adventivních pupenů.

9.2.3.1. Principy větrného poškození

Turbulence větru při jakémkoliv povrchu je přirozenou vlastností větrného proudění a je závislá na charakteru povrchu:

- les je hrubý povrch => to vyvolává větší turbulence ve srovnání se zemědělskou krajinou,
- turbulence jsou organizovány do souvislých větrných poryvů (Fig. 16.7., Barnes et al. pp. 429) → při pohybu přes les (hrubý povrch) se stávají nestabilními → tvorba příčných vírů, které se se zvyšující se rychlostí rozbíjí a působí také vertikálně,
- víry mají až 10x větší sílu než má vítr o průměrné rychlosti.

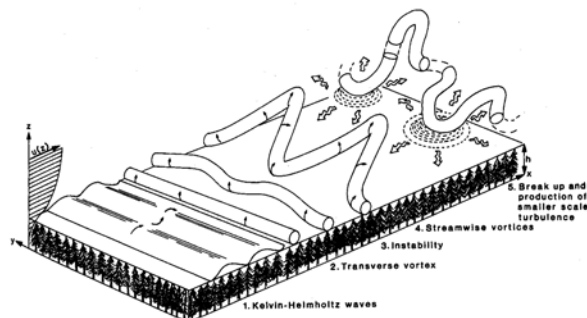


Figure 16.7. Idealized diagram of the formation of coherent gusts over a forest. 1) The rapid change of wind speed (u) at the top of the canopy ($z=h$) is unstable and leads to the emergence of Kelvin-Helmholtz waves. 2) The waves become transformed into across-wind vortices. 3) These vortices are unstable and begin to distort. 4) The distortion produces coherent gusts aligned in the direction of the wind. The gusts propagate across the forest and if strong enough, lead to wind damage. 5) Eventually the gusts become distorted and break up. (After Finnigan and Brunet, 1995. Reproduced by permission of the British Forestry Commission.)

Změny v druhové skladbě a prostorové struktuře lesa nebo náhlé snížení výšky lesa (selektivní nebo holosečná těžba), změny v topografii terénu => další turbulence a zvýšení rychlosti větru:

- lesní okraje, komunikace a jiné otevřené plochy způsobují nahoru směřující zlomy větru a zvýšení pravděpodobnosti většího poškození (Fig. 16.8., Barnes et al. pp. 430)
- síla větru na okraji porostu je větší než uvnitř porostu.

Lokality, v kterých dochází ke zvýšení rychlosti větru v horských oblastech (viz např. a-o systémy):

- 1) horské hřebeny, horní části svahů,
- 2) pozvolné a hladké závětrné svahy během silné vichřice,
- 3) prohlubně a sedla hlavních hřebenů,
- 4) úzká údolí a otevřené prostory ve tvaru V tvoří větrné kanály,
- 5) okraje porostů lámající větrné proudy (Fig. 16.8., Barnes et al. pp. 430)

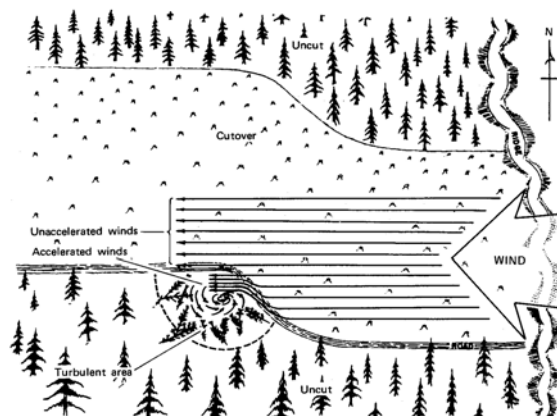


Figure 16.8. Windthrow of standing trees following a harvest cut. A change in the direction of the cutting boundary that was parallel to the prevailing winds acts to funnel wind into standing timber, causing a pocket of blowdown. Routt National Forest, northwestern Colorado. (After Alexander, 1964. Reprinted with the permission of the Society of American Foresters.)

9.2.3.2. Regenerace ve vlnách (Fig. 16.9., Barnes et al. pp. 433)

Obnova subalpinských druhů *Abies* (např. *Abies lasiocarpa*, *A. balsamea* – severovýchod USA, *A. mariesii* – hory centrálního Japonska a Hokkaido; dia – 470, 465-7, 480-1, Asama, centrální Japonsko) je příkladem druhů obnovujících se po poškození větrem ve vlnách:

- korunová úroveň je přerušovaná srpovitými pruhy mrtvých stromů,
- každý pruh je tvořen pásem stojících mrtvých stromů s živým dospělým lesem na jedné straně a mladým regenerujícím se na straně druhé,
- vlny regenerace se pohybují lesem => stromy porostního pláště postupně odumírají a jsou lámány větrem a nahrazovány semenáči,
- vlny se pohybují ve směru převládajícího větru rychlostí 0.37-3.3 m za rok,
- odumírání stromů je pravděpodobně způsobováno větrem (zimní vysoušení, letní ochlazování, poškození nánosy jínovatky => lámání větví, vývraty), malou úživností a údržností mělkých kamenitých horských půd,
- silný vítr kymácí stromy => lámání kořenů na ostrých kamenech na svazích => průnik houbových chorob do dřeva,
- nastupující semenáče vytváří dospělý porost do 60-80 let.

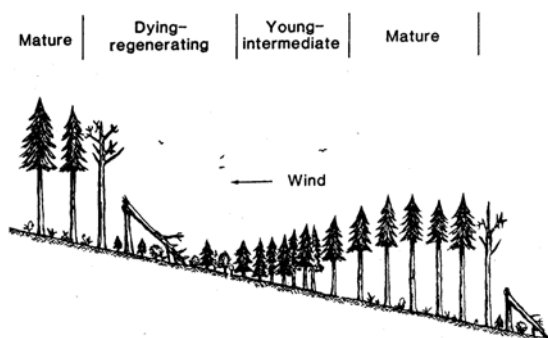


Figure 16.9. Diagrammatic cross section through a regeneration wave. Fir regeneration is initiated in and along the edges of the mature stand and released as the trees die. (After Sprugel and Bormann, 1981. Reprinted with permission from *Science* 211:390-393, © 1981 by the American Association for the Advancement of Science.)

9.2.4. Záplavy a činnost proudící vody

Povodňové vody modelují koryta toků (eroze a sedimentace) a tím mění i skladbu a strukturu a dynamiku pobřežních lesů.

Geomorfologické procesy povodní, transport a depozice sedimentů, erozní a abrazivní síly ledu a pohybující se vody vytváří jistou fyziografickou uniformitu podél toků (Fig. 10.11., Barnes et al. pp. 247):

- odlišnosti v důsledku zeměpisné polohy, velikosti a rychlosti toku, druhu unášeného materiálu, fyziografie a matečné horniny přilehlé krajiny,
- toky přirozeně meandrují => erodují vnější břeh a sedimentují unášený materiál níže podél toku na vnitřní straně říčního koryta,
- hrubší sedimenty během povodní vytvářejí nové terasy nad úroveň stávajícího pobřežního terénu, které bývají relativně vysoké a dobře odvodňované => stanoviště **galeriových (pobřežních) lesů** s mohutnými převislými korunami,
- pobřežní druhy musí tolerovat periodické zaplavení a naopak vysychání při výrazném poklesu vody v korytě toku,
- písek a jíl jsou ukládány za přirozenými pobřežními hrázemi a vytvářejí špatně propustné zóny a mokřadní bažiny prvního dna (Fig. 10.12., Barnes et al. pp. 248),
- za prvním dnem je série den a teras, které jsou podstatně méně zaplavovány než první dno,
- podél toku se vytvářejí deprese slepých ramen a jezer, kde se uchycují druhy adaptované na dlouhodobé zaplavení, tj. anaerobní podmínky.

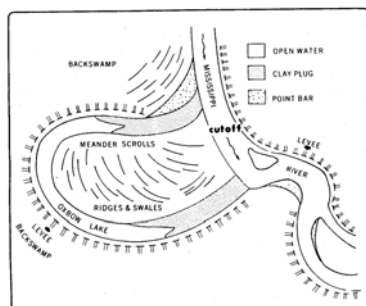


Figure 10.11. Diagram of typical section of Mississippi River floodplain near False River, Louisiana. Physiographic features include: (1) natural levees adjacent to the channel; (2) ridge-and-swale topography (meander scrolls) associated with lands on and between former point bar/levee deposits as the channel migrated laterally and downslope; (3) oxbow lake where former channel has been cut off; (4) backswamps of lower topography behind the levees, and (5) point bars on inside curve of channel where deposition is rapid. (After Brinson, 1990. Reproduced from *Forested Wetlands* with kind permission of Elsevier Science-NL, Amsterdam, The Netherlands.)

Fig. 10.12. (Barnes et al. pp. 248) – profilový diagram říčního údolí (jihovýchodní USA) vykazující jisté typické krajinné prvky:

- 1) výše položené okraje říčního koryta (**point bars**) se sedimentovaným materiálem,
- 2) hřbety nebo přirozené valy (**levees**) podél toků, kde se usazují hrubší sedimenty,
- 3) série den a teras ležící za hřbety.

Charakteristiky a vegetace jednotlivých geomorfologických prvků říčního okolí:

- první dno je charakterizováno hřbety a bažinami (s výškovým rozdílem až 2 m), slepými rameny,
- jemnější sedimenty jsou ukládány až za prvními valy z hrubších sedimentů => tvorba špatně odtékajících depresí s jílovitými a jemně písčitými půdami,
- druhé dno je méně a vždy krátce zaplavované, dobře odvodňované,

- pobřežní lesní vegetace odpovídá topografii, půdám, frekvenci a dobou trvání povodní.

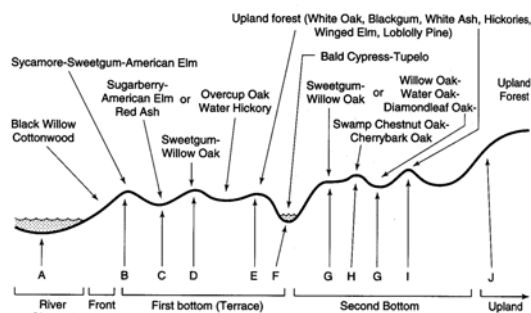


Figure 10.12. Generalized diagram illustrating the correspondence between alluvial floodplain landforms and forest types for rivers of the southeastern U.S. A. river channel; B, natural levee; C, backswamp or first terrace flat; D, low first terrace ridge; E, high first terrace ridge; F, oxbow; G, second terrace flats; H, low second terrace ridge; I, high second terrace ridge; J, upland. Vertical scale is exaggerated. (After Wharton et al., 1982.)

9.2.5. Hmyz a choroby (viz Lekce 5)

Ovlivňují sukcesi usmrcování nebo oslabováním jednotlivých stromů, jejich skupin nebo celých porostů:

- podkorní a dřevní hmyz, patogenní kořenové houby primárně zabíjejí stromy jednoho druhu nebo rodu a tím ovlivňují směr sukcese,
- často interagují s jinými narušeními, jako je požár a vítr; např. rozsáhlé poškození subalpinských lesů větrem v Coloradu v 1939 vedlo k přemnožení *Polygraphus polygraphus* (lýkohub matný, spruce bark beetle) ve 40. letech a zničení lesů o rozloze 290,000 ha (White River National Forest),
- **Fig. 16.10.** (Barnes et al. pp. 434) zobrazuje vztah mezi poškození požárem, větrem, chorobami a hmyzem a jeho vliv na vývoj porostu.

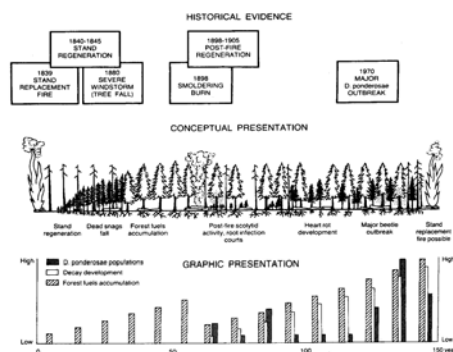


Figure 16.10. Model of disturbance interactions of fire, fungi, and the mountain pine beetle in development of lodgepole pine forests in south-central Oregon. Created following the stand-replacing fire of 1839, the young lodgepole pine stand undergoes thinning. The dead material, together with that from a severe windfall in 1880, fuels the slow-moving fire in 1898. This fire thins the stand, creating openings for new reproduction patches. It also wounds lateral roots and trunks of the residual trees thereby providing infection courts for white-rot fungi. These and others prepare the way for brown-rot fungi which, in time, weaken the trees so that they are susceptible to mountain pine beetle attack. Beetle-killed trees provide fuel for another stand-replacing fire. (After Gara et al., 1985.)

9.2.6. Těžba a pěstování lesů v českých zemích

Těžba uhlí byla až do konce 18. století malá (kováři, zámečníci a další pracovníci s ohněm) => velká spotřeba dřeva jako paliva. Navíc byly rozšiřovány pole a louky na úkor lesa v okolí obcí.

V druhé polovině 18. století převládala výběrná seč a toulavé pasečné hospodaření => velký úbytek lesa. V lesích, kde byla uplatňována hospodářská úprava se však těžilo do výše ročního přírůstu (spíše ojediněle).

V druhé polovině 19. století vrcholily masové přeměny více či méně přirozených listnatých lesů na smrkové (*Picea abies*) monokultury (ještě v první pol. 19. století se jednalo pouze o omezené výsadby smrku). Ke konci 19. století už se projeví různé škody na rozsáhlých smrkových monokulturách nižších poloh (hmyzí kalamity, patogeni, poškození ledem, sněhem, suchem, větrem) => hlavní negativní důsledky pěstování smrkových monokultur:

- trpí abiotickými a biotickými kalamitami,
- pod monokulturami dochází k degradaci půd (okyselování, vyluhování, tj. snížení obsahu živin aj.),
- špatná retence srážkové vody => dostatečně neplní vodohospodářskou funkci,
- zvýšené škody zvěří na porostech jsou způsobeny eliminací podrostu (nízká nabídka potravy pro zvěř),
- smrk jako horská dřevina není vhodná do nižších poloh (Obr. 18, Kubíková).

Mezi roky 1950 a 1985 vzrostla rozloha lesní půdy z 31,3 % na 33,2 % => třetina rozlohy státu.

Druhového složení lesů dominuje *Picea abies* (Tab. 2, Moldan pp. 155), trvale klesalo zastoupení listnatých dřevin.

Tab. 2 Změny zastoupení hlavních dřevin v % zalesnění

Období	1950	1951–60	1961–70	1971–80	1981–84
Smrk	27	34	50	56	59
Borovice	18	13	17	21	18
Dub	19	8	9	3	4
Buk	12	7	7	3	2

Věková struktura je posunuta do porostů středních věkových tříd. Je patrný nedostatek mýtních porostů a mladších věkových tříd.

Těžba dřeva stoupla od r. 1950 do 1980 o 126 % (Tab. 3, Moldan pp. 156) => lesy jsou trvale přetěžovány (např. v roce 1985 překročení o 15,5 %).

Tab. 3 Vývoj plánovaných a skutečných těžeb dřeva v ČR (ministerstvo lesního a vodního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu 1989)

Rok	1950	1960	1970	1980	1985	1987–2000 (předpoklad)
Těžba plánovaná mil. m ³	5,3	6,4	9,8	12,3	12,0	.
Těžba skutečná mil. m ³	7,4	8,0	10,2	13,6	13,9	11,5
% plánu	140	127	104	111	115	.

Hlavní negativní důsledky zvýšené těžby v ČR:

- používání těžké mechanizace => poškozování lesa, eroze a utužování půdy,
- zanedbávání pěstební činnosti => nevhodná skladba, prostorová a věková struktura lesních porostů,
- malé prosazování mimoprodukčních funkcí lesa (ochrana půdy, vodních zdrojů, fauny a flóry).

Vlivy těžby stromů obecně:

- intenzita a způsob těžby dřeva ovlivňuje konkurenční schopnost další generace dřevin,
- slabší, částečná těžba (proředění a kvalitativní těžba) upřednostňuje tolerantní druhy podrostu (např. *Picea rubens* v podrostu *Pinus strobus*),
- holosečné těžby podpoří invazní pionýrské druhy zejména, pokud je při těžbě obnažena minerální půda,
- selektivní těžba určitých druhů mění druhovou skladbu lesa a tedy směr sukcese.

Příklad

Rozdíl ve vlivu výběrné a holosečné těžby ve stejnověkových porostech (150 – 500 let) s dominancí *Pseudotsuga menziesii* (Cascades, Washington a Oregon):

- holoseč v době semenného roku vede k nástupu stejnověkého porostu (stejný vliv jako požár); semena se šíří z okolních porostů a vznikají skupiny s dominující douglaskou o velikosti 1-15 ha,
- výběrná těžba ve starých porostech douglasky vede k dominanci tolerantních druhů podrostu, ale méně komerčně využitelných.

9.3. Biotické změny druhového složení lesů

Vedle narušení jako je požár, větrné vichřice, těžba apod. je vnášení nových druhů rostlin a živočichů nebo jejich eliminace z ekosystému dalším významným narušením => může také iniciovat sekundární sukcese.

9.3.1. Eliminace druhů

Eliminace *Ulmus americana* grafíózou jilmů:

- introdukce choroby do Severní Ameriky proběhla v 1930 a během 50 let vyhynuly jilmy v bažinatých a záplavových lesích východu a středozápadu USA,
- jilm byl nahrazen mnoha druhy v závislosti na regionálních a lokálních stanovištních podmínkách (*Acer saccharum* na odtokových půdách v Illinois, hojně *Celtis occidentalis* a *Acer negundo* v jihovýchodní Iowa),
- v jihovýchodním Michiganu byl jilm pozdně sukcesním dominantním druhem opadavých bažinných lesů společně s *Acer rubrum*, *Betula alleghaniensis* a *Fraxinus nigra*; jilm je v současnosti v podrostu (10-15 %) uvedených dřevin; lépe se však obnovuje na úhorech nebo jiných otevřených stanovištích.

Porosty *Picea glauca* a *Abies balsamea* ve východní Kanadě a severových. USA byly epidemicky napadeny *Choristoneura fumiferana* (eastern spruce budworm):

- eliminace *Abies* a menší poškození *Picea glauca* a *P. mariana* => větší dominance smrků.

Vyhubením dravců (vlk medvěd, puma, rys) došlo v mnoha lesních oblastech k přemnožení jelenů, králíků a dalších býložravců => velké škody na podrostu a zamezení regenerace některých dřevin (např. *Prunus serotina* v Pennsylvanii, *Tsuga canadensis* na severu USA).

9.3.2. Introdukce druhu

Invaze nepůvodního silného konkurenta často vede k výraznému ovlivnění směru sukcese lesa:

- do Evropy byl introdukován *Quercus rubra*, *Pseudotsuga menziesii*, *Picea pungens*, *Pinus strobus*, *Robinia pseudoacacia* (Severní Amerika), *Pinus nigra* (jižní Evropa, Malá Asie), *Castanea sativa*, *Aesculus hippocastanum* (Balkánský poloostrov), *Juglans regia* (střední a západní Asie) aj.
- severovýchod a severní část centrálních USA – *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Acer platanoides*, *Pinus nigra*, *Larix europaea*,
- temperátní zóna jižní polokoule – *Pinus radiata*, *P. patula*, *P. elliottii* (ze S. Ameriky).

9.3.3. Stresový syndrom (Perry 1994)

Zejména lesy v Evropě a částečně také v Severní Americe vykazují stresový syndrom (hynutí stromů nebo pokles růstu):

- např. obaleč *Choristoneura fumiferana*, který vykazoval ve východní Kanadě pouze periody přemnožení se stal chronickým herbivorem; totéž začíná u *Choristoneura occidentalis*,
- intenzivně studováno v SRN a syndrom definován jako **snížená schopnost vytvářet a udržet asimilační aparát** (viz [dia 27, 36, 40](#) – *Pinus mugo*, Štiavica 1990, Nízké Tatry),
- jedním z podstatných příčin je oslabení stromů znečištěním ovzduší, nezdá se však být jedinou příčinou,
- projevem je náhlé a rozsáhlé odumírání dospělých stromů a porostů → mladé stromy nevykazují podobný trend a naopak nahrazují odemřelé úrovňové stromy,
- patogeni, přestože přítomni, jsou považováni za sekundární příčinu odumírání na primárně oslabených stromech.

Mueller-Dombois (1986, Mueller-Dombois & Fosberg 1998) se snaží o vysvětlení přes plošné přirozené odumírání („**periodic dieback**“) deštných lesů s *Metrosideros polymorpha* na Havaji (šedesátá a sedmdesátá léta 20. století, [Fig. 7-16](#) – dlouhodobé fluktuace lesa, Perry pp. 126):

- odumírání není způsobeno jedním faktorem, ale konvergencí dvou obecných faktorů: (1) stárnutí stejnověkových porostů (kohort) a (2) stres buď abiotický (např. sucho), biotický (např. patogeni) nebo oba typy,
- u stejnověkových porostů lze předpokládat vliv jak přirozeného stárnutí (odumírání), tak vliv člověka (např. znečištění ovzduší).

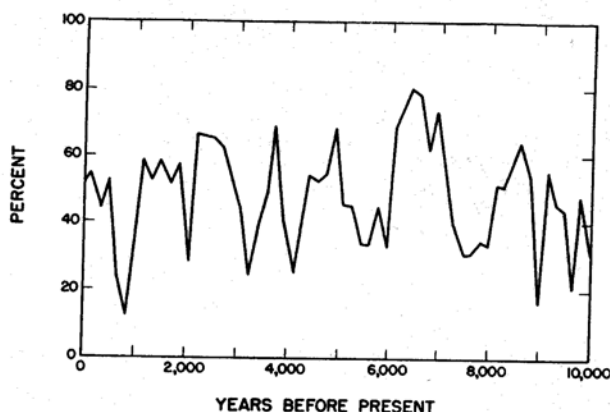


FIGURE 7-16. • The historic abundance of the Hawaiian tree *Metrosideros polymorpha* as estimated by pollen preserved in bogs. Source: Juvik, unpublished, reproduced in Mueller-Dombois, 1986. © 1986 by Annual Reviews, Inc.

9.3.4. Narušení zvířaty

Regenerace lesa byla narušována pasením skotu, koz, ovcí a prasat v lesích (běžné ve středověku v Evropě):

- chov prasat v lesích středozápadu a severovýchodu USA v první polovině 19. století vedl k eliminaci *Fagus* a *Quercus glauca* v lesích,
- dlouhodobé pasení v lesích vede často k vytvoření křovitých formací z druhů, které skot zcela nezlikviduje nebo travinných porostů (např. lesy evropského mediteránu a Afriky),
- lesní pastva vede i k omezení rizika požárů, neboť je v lesích nedostatek paliva,
- pokles stavů bizonů (plain bison, *Bison bison bison*) v Kanadě a šíření *Populus tremuloides* (Campbell et al. 1994) → v minulosti bylo šíření osiky v Kanadě potlačováno činností bizona → téměř postupně vyhuben (kolem r. 1870) z východu na západ tak, jak byla stavěna železnice → výrazné šíření osiky.

9.4. Klimatické změny a lesní ekosystémy

Klima není dlouhodobě stálé, ani od posledního zalednění (před cca 18.000 lety). Je mnoho přírodních a antropických faktorů, které mají vliv na kolísání klimatu:

(1) faktory fungující na stupnici geologického času:

- variabilita oběžné dráhy Země a rotace kolem své osy,
- dlouhodobé změny v množství slunečního záření dopadajícího na Zemi,
- pohyb kontinentů vyvolávající změnu oceanických proudů a oblastí vulkanické aktivity,
- vliv velkých meteoritů,

- změny ve složení atmosféry;
- (2) faktory fungující na střední až krátkodobé stupnici:
 - vulkanická činnost,
 - variabilita v oceánickém proudění,
 - změny ve složení atmosféry.

9.4.1. Vulkanická činnost

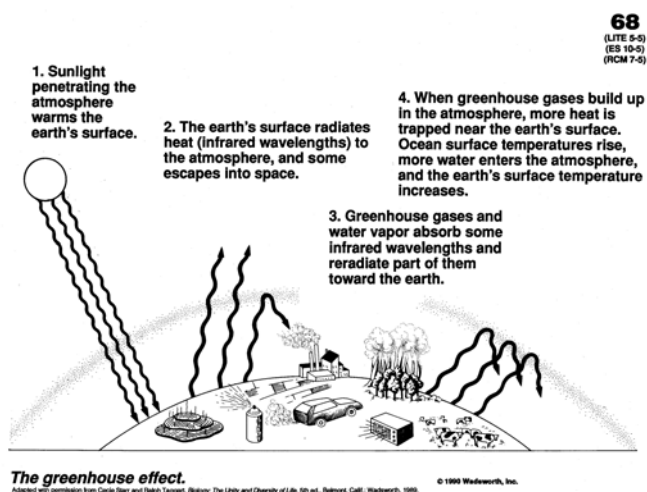
Uvolnění milionů tun popela a SO_2 do atmosféry $\Rightarrow$ brání průniku slunečního záření do spodních vrstev atmosféry. Např. důsledkem výbuchu sopky Mount Pinatubo (1991, Filipíny) byl pokles teploty o 0.3-0.4 °C.

9.4.2. Variabilita v cirkulaci oceánických proudů

Teplota povrchových vod přímo ovlivňuje teplotu a vlhkost přilehlých vzdušných mas $\Rightarrow$ pokud se hlavní oceánické proudy posunou nebo dojde k vertikálním změnám teploty oceánu, dojde ke změně v atmosféře a změně počasí:

- např. je El Niño - teplé proudění na jižní polokouli periodicky ovlivňuje počasí na jihu Severní Ameriky,
- Golfský proud se v době ledové pohyboval jižněji.

9.4.3. Obsah skleníkových plynů (Fig. 68, Miller)



Zvýšení CO_2 v atmosféře znamená zvýšení fotosyntézy a tedy vazbu C do biomasy rostlin na pevninách i v oceánech (mořích):

- většina vázaného C v biomase vodních biot končí v mořských sedimentech,
- vazba C v oceánech závisí na teplotě, vzestupu spodních vod na hladinu, koncentraci fytoplanktonu apod.,
- koncentrace CO_2 se ročně zvyšuje o 2 ppm,
- zvětšila se z 270-280 ppm (počátku 19. století) na 360 ppm (v 1995) (Fig. 7.13., Barnes et al. pp. 180).

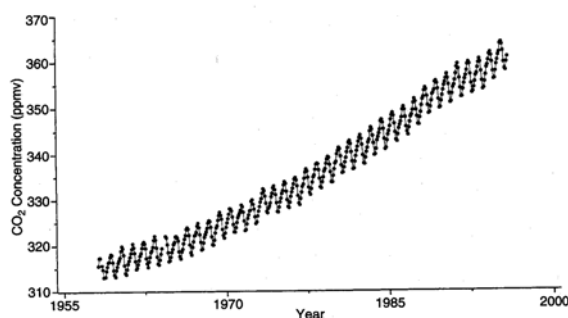


Figure 7.13. Changing atmospheric carbon dioxide concentrations for Mauna Loa site, which is a barren lava field of an active volcano, Hawaii, USA. The Mauna Loa record shows a 14.3 percent increase in the mean annual concentration, from 315.83 parts per million by volume (ppmv) of dry air in 1959 to 360.90 in 1995. (After Keeling and Whorf, 1996.)

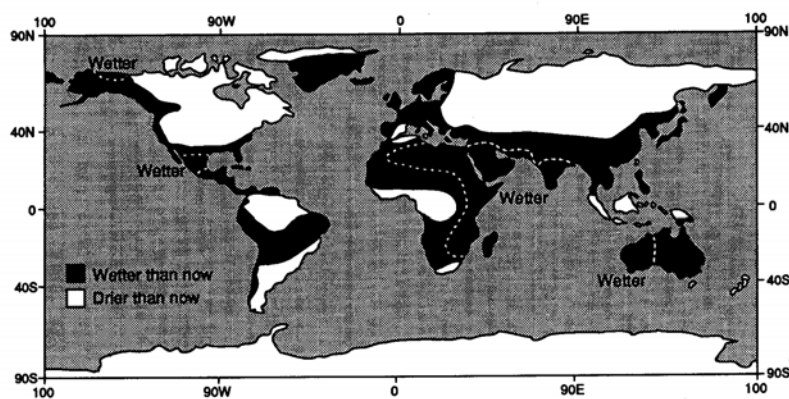
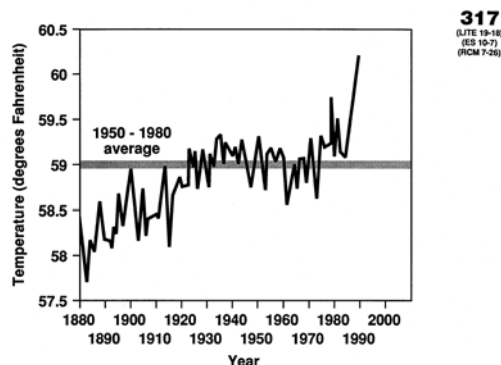


FIGURE 4-10. • A model prediction of how a change in climate will affect the distribution of precipitation. Source: Kellogg and Schwart, 1991, with permission of Westview Press.

Celkový **vzestup teploty** (např. **Fig. 317**, Miller 1994; $1^{\circ}\text{F} = 17.2^{\circ}\text{C}$) od r. 1800 je o 0.5°C ; od r. 1900 je vzestup v rozsahu $0.27\text{--}0.39^{\circ}\text{C}$. To však nemusí být celosvětový trend $\Rightarrow$ některá místa vykazují i mírné ochlazení; např. jihovýchod USA vykazuje trend snižující se teploty od 1895-1990 $\Rightarrow$ vliv zimního posunu polárního proudění (polární kontinentální typ proudění; viz Lekce 6, **Fig. 7.7.**, Barnes et al. pp. 164) kolem r. 1950 $\Rightarrow$ studený vzduch proniká na jih častěji.



Average global temperatures, 1880–1988.

© 1999 Wadsworth, Inc.

Celkové srážky by teoreticky mohly se zvýšením teploty stoupnout, neboť se zvýší evaporace => větší množství cirkulující vody. To je však závislé na skutečnosti, **kdy a kde srážky spadnou**:

- zimní oteplení ve vyšších zeměp. šířkách může znamenat více sněhových srážek, včetně jejich zmražení => vyřazení z cirkulace vody,
- zvýšení vlhkosti je závislé také na distribuci srážek; např. západní pobřeží S. Ameriky a Eurasie by mohly být vlhčí než jejich kontinentální části; tropické lesy Afriky a Asie by mohly být vlhčí než v současnosti, Amazonie sušší (Fig. 4-10, Perry pp. 62)
- jestliže se množství srážek v dané oblasti nezmění, ekosystémy budou sušší, neboť lze předpokládat při zvýšení teploty vyšší evapotranspiraci => větší výskyt požárů a citlivost vůči hmyzu (včetně zvýšení počtu generací hmyzu v daném roce).

Ostatní možné následky dalšího zvyšování znečišťujících látek v atmosféře:

- omezení průniku slunečního záření atmosférou, změny v početnosti a distribuci mraků v atmosféře => změny planetárního albeda,
- narušení rovnováhy mezi srážkami a evaporací (menší srážky, větší výpar),
- oteplením dochází k tání pevninských ledovců => vzestup světových oceánů => zaplavování pevnin.

9.4.4. Změny v rozšíření lesů

Předpokládaný vzestup průměrné globální teploty během 21. století je 1.5-4.5 °C => vedle jiných důsledků by mohlo být výrazně ovlivněno rozšíření lesů:

- předpoklad, že dojde ke změně 55 % suchozemské vegetace na jiný typ => modely obecně předpokládají zvýšení plochy tropických lesů a snížení boreálních lesů (Table 4-1, Perry pp. 58).

Table 4-1. • Estimates of the percentage change in the extent of major vegetation zones with "double CO₂" temperature change*

Vegetation Type	% Change in Area with 2xCO ₂
<i>Prentice and Fung (1990)</i>	
Deserts	-62
Grasslands/shrubland	-25
Temperate forests	+27
Boreal forests	-14
Tropical forests	+54
Tundra	-44
<i>Smith et al. (submitted)</i>	
Deserts	-15
Grasslands/shrubland	+18
Temperate forests	+17
Boreal forests	-19
Tropical forests	+16
Tundra	-54
<i>Emanuel et al. (1985)</i>	
Deserts	+6
Grasslands	+18
Temperate forests	-3
Boreal forests	-27
Tropical forests	+9
Tundra	-46

Source: Adapted from King et al., 1990.

*Doubled CO₂ atmosphere refers (roughly) to an atmospheric concentration of greenhouse gases that is twice that of the preindustrial atmosphere. This point is expected to be reached sometime in the midtwenty-first century. Virtually all predictions of future temperature are based on the doubled CO₂ atmosphere, although greenhouse gases will almost certainly accumulate beyond that level if emissions are not controlled.

- předpokladem je, že léta se oteplí (včetně snížení srážek) více než zimy => dřeviny, jejichž severní hranice výskytu je limitována zimními minimálními teplotami (např. severní smíšené lesy – "aspen parkland" s *Populus tremuloides* a *P. balsamifera* a jižní bory – *Pinus rigida* S. Ameriky) se posunou na sever; např. "aspen parkland" cca o 600 km,
- posun stromů podél zeměpisné šířky a nadmořské výšky bude limitován možnostmi migrace, tzn. šíření semen (různě geografické překážky, antropické vlivy – např. města, vliv početnosti přirozených šířitelů semen – např. ptáků apod.); pro srovnání v periodě posledních 10.000 let stromy migrovaly podél zeměpisné šířky rychlostí cca 100-400 m za rok v závislosti na druhu.

9.4.5. Znečištění ovzduší a jeho vliv na lesy v ČR (Moldan 1990, Miller 1994)

Při pohybu podél povrchu Země je vzduch syčen různými znečištěními (Fig. 22-2, Table 22-1, Miller pp. 570) :

- (1) **primární z.** – produkty přírodních (vulkanické výbuchy, písečné bouře aj.) a člověkem podmíněných (emise automobilů, elektráren, továren aj.) procesů,
- (2) **sekundární z.** – vznikají vzájemným mísením a reakcí primárních znečištění a mísením a reakcí se základními komponenty vzduchu

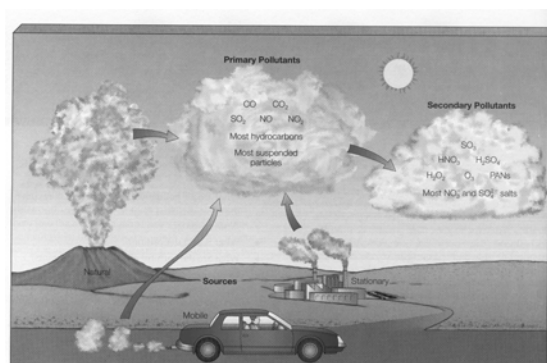


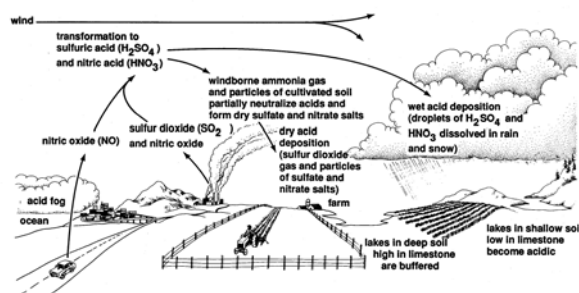
Figure 22-2 Primary and secondary air pollutants.

Class	Examples
Carbon oxides	Carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO ₂)
Sulfur oxides	Sulfur dioxide (SO ₂), sulfur trioxide (SO ₃)
Nitrogen oxides	Nitric oxide (NO), nitrogen dioxide (NO ₂), nitrous oxide (N ₂ O) (NO and NO ₂ are often lumped together and labeled as NO _x)
Volatile organic compounds	Methane (CH ₄), propane (C ₃ H ₈), benzene (C ₆ H ₆), chlorofluorocarbons (CFCs)
Suspended particles	Solid particles (dust, soot, asbestos, lead, nitrate and sulfate salts), liquid droplets (sulfuric acid, PCBs, dioxins, pesticides)
Photochemical oxidants	Ozone (O ₃), peroxyacyl nitrates (PANs), hydrogen peroxide (H ₂ O ₂), aldehydes
Radioactive substances	Radon-222, iodine-131, strontium-90, plutonium-239 (Table 3-1)
Toxic compounds	Trace amounts of at least 600 toxic substances (many of them volatile organic compounds), 60 of them known carcinogens

Vnější znečištění (vnitřní – viz např. obytné prostory) v průmyslových státech zahrnují převážně pět skupin (Table 22-1, Miller pp. 570): oxidy C, oxidy N, oxidy S, těkavé organické sloučeniny, pevné a tekuté částice (prach, sulfátové soli, kyselina sírová apod.). Většina z nich pochází ze spalování fosilních paliv.

Sekundární znečištění klesá na povrch buď v mokřím (kyselý déšť, sníh, mlha aj.) nebo v suchém (kyselé pevné částice) stavu => **kyselé depozice (kyselý déšť)** (Fig. 22-9/311, Miller pp. 578). V atmosféře se udrží pouze několik dní => lze tedy hovořit o regionálním charakteru daného zdroje znečištění.

311
(LITE 18-19)
(ES 9-10)
(RCM 7-17)



Acid deposition.

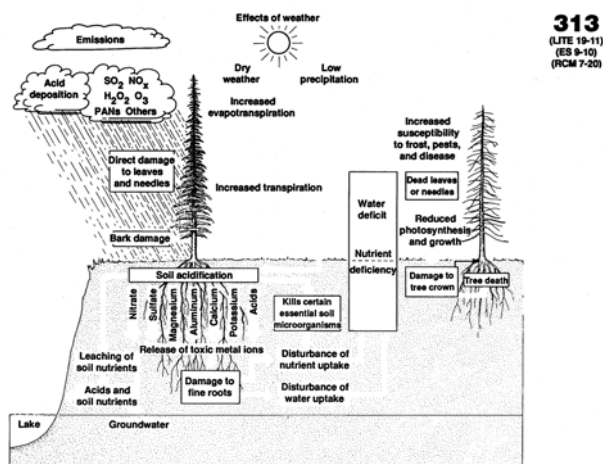
© 1990 Wadsworth, Inc.

Kyselost srážek je vyjadřována hodnotou pH (např. Fig. 12-8, Miller pp. 319) → pH < 7 = kyselé reakce, pH > 7 = zásaditá (alkalická) reakce:

- běžné srážky v přírodě mají pH 5.0-5.6,
- typický déšť na východě USA je cca 4.3; v některých oblastech až 100 x větší kyselost než normální srážky, tj. pH 3 (ocet); některá města pH 2.3 (citronový džus).

Negativní důsledky kyselých srážek, zejména v případě, že pH klesne pod 5.1 (ve vodních ekosystémech pod 5.5):

- poškození soch, budov, ochranných vosků automobilů,
- kontaminace ryb některých jezer vysoce toxickou methylmědí => může se rozšířit do potravních řetězců a sítí; okyselení vody vede k přeměně měďnatých anorganických sloučenin z jezerních den na methylměď (lépe rozpustná v tuku zvířat),
- poškození (nekróza) asimilačního aparátu a slabších stromů, zejména jehličnanů ve vyšších nadmořských výškách, kde se hojně vyskytují kyselé mlhy, námrazy a mraky (Fig. 22-10, Miller pp. 579),



Harmful effects of air pollutants on trees.

© 1990 Wadsworth, Inc.

- znečištění ovzduší může zvyšovat citlivost stromů na jiná poškození (nízká teplota, hmyz, sucho, houbové choroby (Fig. 22-10, Miller pp. 579),
- kyselé srážky mohou bránit příjmu Ca a Mg z půdy uvolnění Al iontů do roztoku, ty pak poškozují kořeny stromů (Fig. 22-10); Al spláchnutý do jezer usmrcuje mnoho druhů ryb,
- okyselování může vést k nadměrnému zvyšování N v půdě => stimulace růstu rostlin a tedy zvýšené vyčerpávání dalších živin z půdy,
- znečištění ovzduší způsobuje respirační onemocnění (bronchitis, astma).

Škody jsou výrazné (jak na vegetaci, tak ve vodním prostředí) v oblastech s mělkými kyselými půdami. Lepší situace je v oblastech alkalických hornin => neutralizace kyselých srážek, pokud není znečištění silné a trvalé.

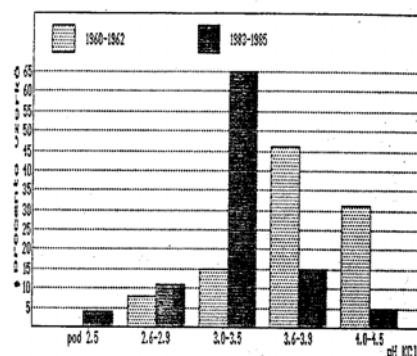
Emise mohou být unášeny na dlouhé vzdálenosti od zdroje:

- $\frac{3}{4}$ kyselých depozic v Norsku, Švýcarsku, Rakousku, Švédsku, Nizozemí a Finsku pochází z průmyslových aglomerací západní a střední (východní) Evropy,
- $> \frac{1}{2}$ imisí v jihovýchodní Kanadě a východních USA pochází z tepelných elektráren a továren sedmi amerických států (Ohio, Pennsylvania, Illinois, Missouri, West Virginia a Tennessee).

V Evropě je pouze 60 % lesů bez patrného poškození souvisejícího se znečištěním ovzduší. Největší devastace lesů v Evropě začala v padesátých letech v Krušných horách.

Hlavní negativní vlivy znečištění ovzduší na les:

- zvýšení kyselé atmosférické depozice => déšť se projevuje jako slabá kyselina sírová,
- snížení klíčivosti pylu v květech => snížení plodnosti dřevin,
- předčasný opad starších ročníků jehlic zejména u horských smrkových a klečových porostů => snížení množství asimilátů => snížení tloušťkového a výškového přírůstu,
- stoupající kyselost lesních půd (obr. 1, Moldan pp. 157) => vyplavování živin z půdy, vzestup koncentrací některých toxických prvků v půdě, úbytek koř. vlášení dřevin a poruchy ve výživě dřevin,
- snížená odolnost lesů vůči dalším faktorům prostředí (např. hmyz a patogeni).



Obr. 1 Změny v půdní reakci (výměnné kyselosti) lesních půd podle rozsáhlých statistických souborů opakovaných analýz z let šedesátých a osmdesátých na shodných lokalitách Čech a Moravy (Lesprojekt, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti (VÚLHM) 1989)

Stupeň poškození lesních porostů je dán především mírou defoliace (Table 4 – poškození konce 80. let, Modlan pp. 158):

- stupeň 0 => defoliace jednotlivých stromů do 10 %,
- 1-4 => každý další stupeň znamená defoliaci o 20 %.

Tab. 4 Defoliace smrku (porosty nad 60 let). Procentuální podíl jednotlivých stupňů poškození

	Stupeň defoliace					
	0	1	2	3 – 4	2 – 4	1 – 4
Rakousko	76,6	20,9	2,1	0,4	2,5	23,4
NDR	59,1	27,8	–	–	13,1	40,9
Polsko	40,9	30,1	25,0	4,0	29,0	59,0
Československo	33,9	47,5	15,3	3,3	18,6	66,0
Švédsko	30,7	41,1	25,5	2,7	28,2	69,3
Finsko	24,9	20,9	37,5	6,7	44,2	75,0
SRN	17,8	53,2	27,9	1,1	29,0	82,2

Vývoj poškození lesů (Table 5, Moldan pp. 159)

- rychlost odumírání lesů se zvyšuje, neboť lesy celého území jsou chronicky poškozovány (Krušné hory 15-20 let, Krkonoše a Jizerské hory 10-15 let, Orlické hory 7-10 let),
- na začátku 90. let bylo znečištěním ovzduší zasaženo cca 54 % rozlohy lesů.

Tab. 5 Vývoj poškození lesů v ČR (% porostní půdy státních lesů mimo lesy FMO)

Kraj	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000
Středočeský	—	—	21,6	39,7	47,9	53,5	58,4
Jihočeský	—	—	—	4,7	21,7	27,8	30,7
Západočeský	—	4,5	19,3	29,4	40,4	44,2	46,7
Východočeský	9,5	14,0	26,3	71,9	100,4	100,0	100,0
Severočeský	33,4	55,6	73,7	80,2	98,0	100,0	100,0
Jihomoravský	—	—	—	9,5	19,2	20,2	21,4
Severomoravský	3,6	12,9	51,8	96,0	96,4	96,4	96,3
ČR celkem	4,1	10,5	25,3	46,0	58,9	61,4	63,0

Literatura

- Bertin, L. 1967. *Larousse encyclopedia of the Earth*. P. Hamlyn, London, 419 pp.
- Campbell, C., Campbell, I. D., Blyth, C. B. & McAndrews, J. H. 1994. Bison extirpation may have caused aspen expansion in western Canada. *Ecography* 17: 360-362.
- Coutts, M.P. & Grace, J. (eds.) 1995. *Wind and trees*. Cambridge University Press, Cambridge, Cambridge, 485 pp.
- Moldan, B. (ed.) 1990. *Životní prostředí České republiky*. Academia, Praha, 284 pp.
- Mueller-Dombois, D. 1986. Perspectives for an etiology of stand-level dieback. *Ann. Rev. Ecology Syst.* 17: 221-243.
- Mueller-Dombois, D. & Fosberg, F.R. 1998. *Vegetation of the tropical Pacific islands*. Springer, Berlin, 733 pp.
- Perry, D.A. 1994. *Forest ecosystems*. The John Hopkins Univ. Press, Baltimore, 649 pp.
- Pickett, S.T.A. & White, P.S.(eds.) 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, New York, 472 pp.