

Lesy ve změněných klimatických podmínkách

R. Pokorný: Forests under Changed Climatic Conditions. Život. Prostr., Vol. 33, No. 3, 130-134, 1999.

The most important environmental factors determining distribution, species composition, and growth of forests are the amount and distribution of precipitation and water availability during the year. The presumptions of climatic change development are much more variable, but redistribution of precipitation and hydrological extremes i. e. flooding and water deficit would certainly appear. The dominant position in species composition takes over tree species with high tolerance and adaptability. On a basis of water use efficiency results it is possible to pronounce the hypothesis, that higher CO₂ concentration in the atmosphere can compensate water deficit in soil.

Množství a dostupnost vody, stejně tak její rozložení v průběhu roku, jsou důležité faktory vnějšího prostředí ovlivňující rozšíření, druhové složení a růst lesních porostů. Jakým způsobem je konkrétně ovlivňován vodní režim porostů lesních dřevin faktory vnějšího prostředí a jak je, naopak, vnější prostředí ovlivňováno lesními porosty v současnosti, je poměrně dobře známo. Jaký dopad však budou mít předpokládané změny klimatu na růst, druhové složení, rozšíření a vodní režim porostů? K jakým předpokládaným změnám může vůbec dojít? Jak mohou lesní porosty ovlivnit nepříznivý vývoj klimatických změn? To jsou otázky, na které se snaží odpovědět řada vědeckých týmů celého světa.

Nejednoznačnost odpovědí na podobné otázky spočívá v určité míře nepřesnosti modelování předpokládaného vývoje změn klimatu, v podcenění, nebo dokonce opomenutí některých nepřímých nebo zpětných vazeb mezi jednotlivými prvky, které by mohly značně zvýšit, či naopak, snížit jejich dopad nejen na lesní porosty, ale vůbec na živé organismy a jejich životní prostředí.

Pro přechod z obecnější roviny na úroveň ekofyziologickou uvádíme i obecné vztahy mezi rozšířením, druhovým složením a produktivitou porostů v závislosti na vlhkosti, a dále vliv sucha nebo nadbytku vody na fyziologické procesy probíhající v lesních dřevinách. Obecnější výklady o vodním režimu porostů, koloběhu vody mezi oceány, atmosférou a pevninou do tohoto příspěvku nezahrnujeme. Cílem je předpovědět, jaký vliv by mohly mít předpokládané klimatické změny na zmíněné parametry a naopak.

Rozšíření, druhové složení a růst lesních porostů v závislosti na vlhkostních poměrech

Voda je nepostradatelná pro všechny živé organismy. Rozšíření porostů, jejich druhové složení a produktivita jsou řízeny množstvím vody (Kozłowski, 1982). Druhým, neméně důležitým modifikačním klimatickým faktorem v tomto ohledu, je teplota.

Například v rovníkovém pásu, kde jsou v průběhu roku průměrné teploty obdobné, lze nalézt rozdíly ve vegetačních typech od polopouští až po deštné pralesy. Jak vzrůstá množství srážek, vzrůstá i počet druhů dřevin. Kde je více srážek a kratší období sucha, tam se objevují dokonce vždyzelené lesní porosty. Nejvlhčí částí rovníkové zóny bez suchých období podporují tvorbu bujných dešťových porostů (Walter, 1973 in Kozłowski, 1982). V tomu odpovídajících suchých létech, vlhkých zimách, nebo mediteránním typu klimatu se vyskytují obdobné dominantní růstové formy s téměř shodným umístěním podél rozšíření vlhkostního gradientu od ca 1600 do 80 mm ročního úhrnu srážek (Mooney, Dunn, 1970 in Kozłowski, 1982). Vždyzelené porosty dominují na konci gradientu vlhkosti. Směrem k suššímu konci gradientu jsou porosty nahrazovány hustými vždyzelenými keři, pak společenstvím opadavých zákrsků v období sucha a konečně opadavými listnatými keři a sukulenty (Mooney a kol., 1970 in Kozłowski, 1982).

Druhová diverzita je větší v deštných lesích než v ostatních typech lesů. V níže položených deštných lesích je dokonce mnohem více druhů stromů a keřů

než bylinných druhů. Větší druhová diverzita je spojena s reprodukcí. Druhové složení porostů závisí nejen na celkovém množství srážek, ale také na jejich rozložení v průběhu sezóny. V temperátní zóně dominují mezofytní druhy během několika vlhkých let, ale během několika suchých let jejich převaha ustupuje (Weaver, Albertson, 1936 in Kozłowski, 1982). Růstu stromů zabráňuje v širším měřítku především aridita, která charakterizuje průměrně třetinu zemského povrchu. V souvislosti s teplotou je si také třeba uvědomit, že množství srážek dostatečné v teplém klimatu jen pro stepní vegetaci může v chladnějších oblastech stačit i pro rozvoj lesů.

S růstem souvisí čistá primární produkce porostů, která se pohybuje od 3000 g.m^{-2} v oblastech s dostatkem a dobrou distribucí srážek do 250 až 1000 g.m^{-2} v semiaridních oblastech a pouze mezi 25 až 400 g.m^{-2} v aridních oblastech (Fisher, Turner, 1978 in Kozłowski, 1982).

Vliv nedostatku nebo nadbytku vody na fyziologické procesy lesních dřevin

• Nedostatek vody

Vodní deficit se u lesních dřevin rozvíjí poměrně snadno, dokonce i u stromů rostoucích na vlhkých půdách, neboť převažuje transpirace (výdej vody listy) nad absorbcí vody. Vodní deficit ovlivňuje klíčení semen, způsobuje sesychání listů, kmenů, kořenů, plodů a šišek. Vysychání pletiv ovlivňuje otevřenost průduchů, fotosyntézu, výměnu plynů, růst, produkci pylu a semen, ovlivňuje transpiraci, absorpci vody a minerálních iontů. Pokles fotosyntézy během suchého období je výsledkem zvýšeného odporu k difúzi CO_2 k chloroplastům a poklesem fotosyntetické kapacity. Vodní deficit inhibuje růst letorostů, produkci dřeva a růst kořenů. Tvorbou plodů a semen může být inhibována v kterémkoli stádiu reprodukčního růstu. Vodní deficit může vyvolat zastavení růstu, vadnutí až odumření listů, letorostů a větví, výsušné trhliny i odumření celého stromu. Přizpůsobení se některých druhů dřevin se děje v podstatě dvojím způsobem – vyhnutím se suchu, nebo tolerancí k suchu, přičemž mechanismů je několik.



Vyhnutí se suchu je výsledkem jedné nebo více adaptací listoví, kmenů nebo kořenů. Mezi nejdůležitější z nich patří redukce počtu a velikosti listů (menší výparná plocha, tenčí hraniční vrstva), zmenšením počtu, velikosti a vnořením průduchů, rychlé uzavírání průduchové štěrbin, nadbytek povrchových vosků listoví, opad listoví během suchého období, intenzivní rozvoj kořenového systému, kapacity pro fotosyntézu, živých dřevních buněk a silný rozvoj palisádového mezofylu. Některé druhy během suché periody osmoticky regulují turgor v listu.

• Nadbytek vody

Když je půda zaplavena, je drasticky redukována především výměna plynů mezi půdou a atmosférou

(Armstrong, 1979 in Kozłowski, 1982). Již v průběhu několika hodin po zaplavení mikroorganismy spotřebují prakticky všechny kyslík z vody i půdy, přitom zaplavená půda není kyslíkem ochuzena rovnoměrně. V několika vrchních mm je půda okysličena více. Provdzdušnění se stává ještě větším problémem u rostlinných společenstev rostoucích na půdách s jemnou texturou (Stone a kol., 1954 in Kozłowski, 1982). Kromě toho i kompaktní ztuhlá půda velice redukuje dostupnost kyslíku kořenům (Yelenosky, 1964 in Kozłowski, 1982). Ve spojení s erozí je odstranění vrstvy půdy z okolí stromu méně škodlivé než její navýšení.

Slabá provzdušněnost půdy spojená s jejím zaplavením vyvolává četné změny, jak v půdě samotné, tak ve stromech, u nichž je na druhé straně ovlivněn růst. V půdě dochází k akumulaci řady různých toxických sloučenin, např. etanolu, acetaldehydu a dalších (Fulton, Erickson, 1964 in Kozłowski, 1982) produkovaných kořeny. Ostatní, včetně sulfidů (Culbert, Ford, 1972 in Kozłowski, 1982), většího množství CO_2 (Hook a kol., 1971 in Kozłowski, 1982) a rozpustných kovů a manganu (Wang, a kol., 1967a in Kozłowski, 1982) jsou produkovány vodou nasycenou půdou. Organické produkty metabolismu anaerobních mikrobu zahrnují zejména metan, etan, propylen, mastné kyseliny, hydroxy- a dikarboxylové sloučeniny, nenasycené kyseliny, aldehydy, ketony, diaminy a heterocyklické sloučeniny. Etylen produkují vodou nasyceny rostliny (Kawase, 1972a in Kozłowski, 1982) a mikrobiální metabolismus v zamokřených půdách (Bird, Lynch, 1974 in Kozłowski, 1982).

Zaplavení ovlivňuje stromy ve všech stádiích vývoje, již od počátku klíčení. Mezi první reakce na zaplavení stromů v porostech patří redukce absorpce vody a předně uzavření průduchů, což vede k potlačení fotosyntézy. Průduchy se rychle zavírají spíše na adaxiální straně povrchu listu, a to i u dřevin tolerantních k zaplavení. Stomata se začínají znovu otevírat po kritické době, a po omezení zaplavení pokračují v otevírání. I když, několik průduchů nebývá zpravidla otevřeno vůbec a jeví se permanentně poškozenými (Kozłowski, Pallardy, 1979 in Kozłowski, 1982). Postupné změny následují v poklesu propustnosti kořenových membrán, redukcii zásobování minerály, morfologickou změnou kořenů a kmenů, inhibici růstu letorostů, kmene a kořenů, žloutnutí, skvrnitosti, odumření a opadu listů. Když je zaplavení náhlé a dlouhotrvající, stromy často zcela odumírají. Rozdíly mezi některými druhy jsou spojeny ponejvíce se změnou stomatálních charakteristik, což má další vliv na fotosyntézu a přírůstek suché hmotnosti (Pereira, Kozłowski, 1977 in Kozłowski, 1982).

Předpokládané klimatické změny

Klimatický systém Země tvoří v podstatě pět složek:

atmosféra, hydrosféra, kryosféra, biosféra a geosféra. Je-li tento systém v rovnováze, pak je množství energie vydané zemským povrchem a atmosférou do vesmíru stejné, jako množství energie přijaté sluneční radiací. Mezi činitele ovlivňující tuto rovnováhu patří především tzv. radiačně aktivní plyny, které nazýváme také "skleníkovými plyny" (vodní pára, oxid uhličitý, chlorofluorované uhlovodíky a příbuzné látky, metan a oxid dusný), aerosoly, odrazivost a sluneční záření. Voda, její vypařování a kondenzace představují hlavní cesty přenosu energie do atmosféry i v rámci ní.

V současné době existují počítačové modely (MGC – modely globální cirkulace), které vycházejí více-méně z delších časových řad měření a stanovení koncentrací CO_2 v zemské atmosféře. Změny různých klimatických faktorů se pak odvíjejí především z prognóz vývoje tohoto skleníkového plynu, neboť mezi koncentrací skleníkových plynů a typem klimatu byl nalezen velice těsný vztah (paleoanalogie). Je téměř nadmíru jisté, že koncentrace CO_2 se zvyšuje (roční přírůst 0,5 %, současná koncentrace 353 ppm), a v časovém horizontu několika nejbližších desetiletí se až zdvojnásobí. Změny, které lze očekávat i v globálních vlhkostních poměrech (Leggett, 1992):

- Zvýšení průměrného množství srážek v globálním měřítku (velmi pravděpodobné) v důsledku vyšší evaporace (výparu) z teplejšího zemského povrchu.
- Zvýšení množství srážek v pásmu vyšších zeměpisných šířek (pravděpodobné). Oteplení způsobí zvýšené pronikání teplého a vlhkého vzduchu směrem k pólům.
- Globální zvýšení průměrné teploty na zemském povrchu (velmi pravděpodobné). Odhaduje se v rozptěti 1,5 – 4,5 °C. Největší nejistota je spojena s vlivem oblačnosti a jejími radiačními důsledky.
- Výrazné oteplení polárních oblastí v zimním období a omezení mořského zalednění (velmi pravděpodobné).
- Zvýšení hladiny světového oceánu (pravděpodobné).
- Letní kontinentální oteplení a sucho (pravděpodobné v dlouhodobém výhledu). Některé studie předpovídají trvalé výrazné snížení vlhkosti půdy v letním období, týkající se vnitrozemských oblastí mírného podnebného pásma. Sucho bude vyvoláno dřívějším ukončením jarního tání a deštivého období spolu s dřívějším nástupem letního vysušování půdy.

Hlavní nejistoty v předpovědích reakce globálního klimatu na skleníkové ovlivnění jsou způsobeny nedostatečnou znalostí zpětnovazebných vztahů mezi biogeochemickými a fyzikálními procesy v systému naší planety. Žádný současný model nebere, ani však nemůže brát, v úvahu všechny doposud známé zpětné vazby, neboť složitost celého systému je značná. Poten-

ciálně nejsilnější empiricky potvrzenou zpětnou vazbu vytváří vodní pára, led, sníh a oblaka (Lashof, 1989 in Legget, 1992).

Z časového hlediska odhadu budoucích změn může být značná nejistota připsána oceánickým změnám v teplotě, proudění, produkci a absorpci uhlíku, složení mořského fytoplanktonu (producentem dimethylsulfidu tvořícího kondenzační jádra), a hlavně setrvačnosti v důsledku velké tepelné kapacity oceánů.

Další z nedostatků prognóz vývoje budoucích změn je možno najít v častém předpovídání "průměrných změn", přičemž pro lesní porosty a živé organismy vůbec je třeba znát spíše "extrémy", ke kterým by mohlo dojít. Také změny předpokládané v širším měřítku se mohou v měřítku lokálním značně lišit. Jednou takovou lokální prognózou pro jižní část Evropy je oteplení v zimě o 2 °C, v létě mezi 2 °C až 3 °C. Pravděpodobné je zvýšení srážek v zimním období a naopak, pokles v období letním o 5 až 15 %, a snížení půdní vlhkosti v létě o 15 až 25 %. Stejně tak průtoky vodních toků se v létě sníží (Houghton, 1998).

Existují důkazy, že lesy mají rozhodující význam na složení atmosféry v kratším časovém rozpětí (léta až desetiletí), dlouhodobější (desetiletí až století) je vliv oceánů.

Klimatické změny a jejich vliv na lesní porosty

Les působí v krajině jako stabilizační složka, neboť vyrovnává klimatické extrémy. Rozdíly mezi porostem a volnou plochou jsou v tomto ohledu leckdy značné v neprospěch volné plochy. Porost ovlivňuje teplotu a vlhkost okolí, proudění vzduchu, podmiňuje tvorbu srážek apod. Nad lesem se z listové plochy stromů vypařuje mnohem více vody než nad travinnými porosty nebo nad holou půdou. Na druhé straně, značná listová plocha lesních porostů umožňuje větší záchyt vody z horizontálních srážek a kondenzaci vodní páry při ochlazení listů. Les také odráží 12 až 15 % dopadajícího slunečního záření; travinný porost odráží kolem 20 % a pouštní písek až 40 %. Z toho je při průchodu



korunovou vrstvou porostů pohlceno až 95 % fotosynteticky aktivní radiace. Vzhledem k tepelné energii se stromy chovají jako černé těleso.

Hlavní význam porostů lesních dřevin však nespočívá pouze v záchytu sluneční energie, ale především v jejich schopnosti vázat vzdušný CO₂ v procesu fotosyntézy a uložit ho v delším časovém období do své biomasy. Tento proces je modifikován vlhkostními poměry a využitím vody při asimilaci CO₂. Z výsledků měření koeficientu efektivity využití vody vyplývá, že při zdvojnásobení vzdušné koncentrace CO₂ se počet

molů vody spotřebované na asimilaci jednoho molu CO₂ snižuje. Tato efektivita je spojena s otevřeností nebo zavřeností průduchů (průduchovou vodivostí) a je druhově specifická. K pozitivním změnám došlo u většiny zkoumaných dřevin, například procentický nárůst efektivit využití vody byl pro topol (*Populus deltoides*) +115 až 294 %, třešeň (*Prunus avium*) +12 až 141 %, dub (*Quercus ilex*) +151 %, buk (*Fagus sylvatica*) +62 % a borovice (*Pinus sylvestris*) +50 %. Tomu více méně odpovídalo snížení vodivosti průduchů od -70 až -92 % pro topol až po -20 % u borovice. Větší efektivita využití vody je vyšším odporem průduchů podporována. Naopak, větší listová plocha tvořená v podmínkách zvýšeného CO₂ tuto efektivitu snižuje. Na základě menší průduchové vodivosti lze předpokládat i snížení transpirace porostů. Transpirace porostů závisí na teplotě, proudění vzduchu a nasycení vzduchu vodní párou, proto by se v závislosti na předpokládaných změnách průměrné teploty a vlhkosti vzduchu pravděpodobně taktéž snížila. Příčná měření v tomto ohledu však stále v dostatečné míře chybí.

Snadnější přísun vody bude pravděpodobně umožněn i nárůstem biomasy kořenového systému, která vzrostla v poměru k nadzemní biomase např. u smrku ztepilého (*Picea abies*) o 5 až 24 %, u smrku sitky (*Picea sitchensis*) o 0 až 23 %, u třešně (*Prunus avium*) o 15 až 19 %, ovšem u jiných druhů převážně listnatých dřevin se poměr ve prospěch biomasy kořenů neprojevil.

Zkusme si tedy představit, vzhledem k předchozím předpokladům klimatických a fyziologických změn, k jakým změnám v rozšíření, druhovém složení a růstu lesních porostů může dojít. Rozšíření lesních porostů a všech organismů je podmíněno růstovými podmínkami. Stromy, stejně jako všechny organismy, se snaží vyhnout extrémním podmínkám (jeden z obranných mechanismů), ovšem rychlost migrace, zejména dlouhověkých rostlin, se pohybuje kolem stovek metrů za rok, tj. v rozpětí 10 až 100 km za století. Přitom pravděpodobnost rozsáhlých a rychlých klimatických změn je mnohokrát větší než pravděpodobnost přizpůsobení se dřevin těmto změnám. Druhové složení tak je a bude podmíněno ekologickými nároky daného druhu dřeviny a rychlostí přizpůsobení se změněným podmínkám vnějšího prostředí. Jak sme uvedli, oba extrémny jak sucho, tak zaplavení vedou k poškození různých částí nebo odumření dřeviny. V druhovém složení lesních porostů tak získají dominantní postavení druhy s širší ekologickou valencí a adaptabilitou. Předpokládané změny v půdní vlhkosti budou souviset se srážkami a zeměpisnou šířkou. Přitom se zvýrazní zejména extrémny, tj. přivalové deště a záplavy na straně jedné a přísušky a suchá období na straně druhé, zmenší se počet dnů s menším množstvím srážek. Změna klimatu však extrémnější podmínky přinese jednoznačně. Je-

dině, na co se lze ptát je, bude-li zvýšené množství CO₂ sloužící jako substrát pro fotosyntézu, kompenzovat nedostatek vody v půdě. Známe jsou některé výsledky kompenzace nedostatku světelného záření při krátkodobém účinku zvýšeného CO₂ (Marek a kol., 1997). Na základě výsledků stanovení efektivit využití vody lze pak vyslovit obdobnou hypotézu, že nadměrné množství substrátu může do jisté míry u některých druhů dřevin kompenzovat její nedostatek. Spojíme-li obě hypotézy, bylo by možno pěstovat porosty v hustších sponech, kde dochází k silnějším kompetičním vztahům v boji o světlo, vodu a minerální látky. Výsledky také ukázaly, že zvýšení koncentrace CO₂ často zrychluje růst mladých rostlin. Tento účinek obecně klesá s časem a stářím rostliny a zdá se, že se málo uplatňuje v případě stromů.

Předpokládané globální změny klimatu přinesou mimo jiné také změny v množství, intenzitě a časovém rozložení srážek během roku, ke kterým jsou lesní porosty mimořádně citlivé. Dominantní postavení v druhovém složení lesů zaujmou druhy dřevin s vyšší tolerancí a adaptabilitou k tomuto faktoru. Na základě výsledků stanovení efektivit využití vody těmito druhy lze předpokládat, že nedostatek vody v půdě může být kompenzován zvýšeným množstvím CO₂ v atmosféře sloužící jako substrát pro fotosyntézu. Tyto a podobné hypotézy v současnosti ověřují a potvrzují či vyvracejí četné vědecké týmy, které se započaly v poměrně nedávné době zabývat dlouhodobějšími účinky zvýšené koncentrace CO₂ na lesní porosty. Dnes vysazený strom by se měl konce příštího století přirozeně dožít. Proto je nutno říci již s mnohaletým předstihem pro zachování podmínek trvale udržitelného rozvoje, jak, kde a které druhy dřevin a v jaké hustotě vysazovat a pěstovat.

Literatura

- Houghton, J., 1998: Globální oteplování. Academia Praha.
Kozlowski, T. T., 1982: Water Supply and Tree Growth. *Forestry Abstracts*, 43, 2, p. 57–161.
Leggett, J., 1992: Nebezpečí oteplování Země. Academia Praha.
Marek, M. V., Šprtová, M., Kalina, J., 1997: Uhe Photosynthetic Irradiance of Norway Spruce Exposed to Long-term Elevation of CO₂ Concentration. *Photosynthetica*, 33, 2, p. 259–268.

Ing. Radek Pokorný (1971), odborný pracovník Laboratoře ekologické fyziologie lesních dřevin, ÚEK AV ČR, Poříčí 3b, 603 00 Brno. E-mail: eradek@brno.cas.cz