



EAFRD – Evropský zemědělský fond pro rozvoj venkova:
“ Evropa investuje do venkovských oblastí ”



PROGRAM ROZVOJE VENKOVA

Seminář České lesnické společnosti v rámci
PROGRAM ROZVOJE VENKOVA – OSA I
opatření I.3.1 Další odborné vzdělávání a informační činnost
na téma:

Biodiverzita lesů v ČR

12/015/1310b/180/000065

Modul C

Přednášející:

doc. Ing. Radek Pokorný, Ph.D. (MENDELU); Ing. Vincenc Zlatník (ÚHÚL);
RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc. (MENDELU); Dr. Ing. Jaromír Macků (ÚHÚL)
Ing. Roman Bystřický, Ph.D. (ÚHÚL);



partneři projektu ČLS



POSOUZENÍ VLIVU LESŮ NA VZNIK BLESKOVÝCH POVODNÍ

1. ÚVOD

Česká republika byla v posledních 15 letech konfrontována s několika přírodními katastrofami mimořádných rozměrů způsobenými vodou - povodněmi. Povodně v letech 1997, 2002, 2006, 2009, 2010 způsobily mnohomiliardové škody na majetku fyzických i právnických osob. Některé z nich postihly rozsáhlé části státu, jiné byly regionálně vymezené, ale velmi ničivé.

Existuje několik druhů povodní. Nejčastější jsou říční povodně, které vznikají v důsledku rozvodnění větších vodních toků. Z hlediska působení mají regionální, nadregionální až celostátní účinek. Realizace protipovodňových opatření si vyžaduje koordinaci a soustředění různých opatření a prostředků přesahujících lokální působnost a i finanční možnosti případné lokální autority.

Z hlediska celospolečenského stoupá nebezpečnost „bleskových“ povodní vznikajících v důsledku krátkodobých a velmi intenzivních srážek, kdy během 1-6 hodin může spadnout až 100 mm srážek. Rychlý přísun srážek nestačí půda vsakovat a voda rychle odtéká po povrchu, odnáší části půdy a způsobuje erozi. I když zasažená plocha není velká, voda proudí velmi rychle, má velkou ničivou sílu a způsobuje velké škody (ČHMÚ 2013).

Tento druh srážek a povodní se může v podmínkách ČR teoreticky objevit téměř všude a svým pravděpodobnějším lokálním rozsahem a důsledky si vynucuje aktivity na straně operativních opatření, ale také preventivní kroky na lokální úrovni.

Tyto povodně se v různé míře dotýkají také lesů, kde dochází k značnému poškození zejména lesní dopravní sítě a proto cílem tohoto příspěvku je poukázat na některé souvislosti a možnosti omezení účinků povodní prostřednictvím lesů.

2. PŘÍVALOVÉ SRÁŽKY

Podle Unucka (UNUCKA 2010) jsou přívalové srážky jevem mimoměřítkovým. Rozlišení nejlepších NWFS (Numerical Weather Forecast System) modelů je 3 x 3 km, a i to je někdy příliš hrubé. Významným problémem je také fakt, že odtok srážkové vody se za takových situací odehrává mimo koryta toků a nasazení různých hydrologických modelů nevede k požadovaným výsledkům.

Podle Unucka (UNUCKA 2010) jsou přívalové srážky jevem prostorově a časově omezeným a tedy problematickým hned z několika hledisek:

- Je velmi obtížná předpověď lokality spadu a úhrnu v mm pomocí meteorologických modelů,
- Je obtížně měřitelný přesný celkový úhrn takového typu srážky srážkoměrnou sítí,
- Je nutná rychlá reakce orgánů státní správy nebo samosprávy na tento jev kvůli záchraně osob a majetku.

K dalším nepříznivým faktorům patří také charakteristiky reliéfu krajiny. Čím větší je sklonitost území, tím rychleji voda stéká ze svahů do koryt malých toků, v níž rychle stoupá a

získává svou kinetickou energii. Významným faktorem je retenční schopnost krajiny (ČHMÚ 2013).

Pro realizaci protipatření je tedy důležité identifikovat území, kde se dá s velkou měrou pravděpodobnosti očekávat deficit v retenční kapacitě území a kde vznikne problém tuto srážku pojmout a transformovat na méně ničivé formy odtoku (odtok podpovrchový, soustředěný odtok v korytech toků a inundacích) (UNUCKA 2010).

3. VLIV LESA NA POVODNĚ

Pokud jde o vliv lesa na vznik a průběh povodní, nejdůležitější je schopnost lesa měnit povrchový odtok na podpovrchový a stabilizace a ochrana lesní půdy před vodní erozí. Podle Hegga (HEGG 2008) les ovlivňuje odtok srážek zejména jejich zasakováním do půdy. Lesní půdy zpravidla vykazují větší retenční schopnost a kapacitu pro příjem vody nežli půdy nelesní. Důvodem je existující vrstva organické hmoty, přirozená stavba lesní půdy, její nízké zhutnění a vysoký podíl půdních pórů různé velikosti. Kromě toho lesní vegetace odpaří mnohem více vody než vegetace nelesní.

Jiným faktorem je také intercepce, kde dochází k zachycení určitého objemu srážek ještě v korunách stromů na listech a jehlicích. Spolu s transpirací tak může být za normálních podmínek do atmosféry vráceno až 70 % celkového objemu srážek.

Klíčovým faktorem pro ovlivňování odtoku z lesů je podle Hegga (HEGG 2008) půdní typ a mateřská hornina, ze které se tato půda vyvinula. Mělké půdy na nepropustném podloží vykazují malou retenční schopnost. Les tuto kapacitu sice zvyšuje, ale jenom omezeně.

V jistém smyslu paradoxně popisuje Hegg vliv lesa na půdách s propustným podložím. Tyto půdy vykazují vysokou retenční schopnost a srážky jsou okamžitě odváděny do nižších půdních horizontů ještě před tím, než dojde k nasycení těchto půd. Vliv existence lesa na průběh odtoku je také malý podobně jako u lokalit s nepropustným podložím.

Lesy na půdách s průměrnou retenční kapacitou a se zpomalenou propustností naopak vykazují relativně významný vliv na vznik povodní. Existence lesa v tomto případě velikost povrchového odtoku ovlivňuje významně.

Pokud je ale půda nasycená již z předchozích období a znovu se vyskytnou lokální extrémní srážky nebo celkový objem srážek překročí jistou hranici, tak zalesněná a nezalesněná území nevykazují žádné významnější rozdíly ve velikosti povrchového odtoku a území pod těmito lokalitami je vystaveno nebezpečí vzniku „bleskové/přívalové“ povodně.

4. KRITICKÉ BODY A POVODÍ

Pro možnost realizace preventivních opatření je nutné v první řadě identifikovat území, která mohou být nebezpečná. Problematikou identifikace zranitelných území – kritických povodí - se zabývá více autorů. Pro výběr potenciálně kritických povodí byly využity postupy a práce kolektivu pracovníků Dr. Drbala z Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M z Brna, zejména Metodický postup pro identifikaci kritických bodů www.povis.cz/mzpj/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf.(Obr.1)

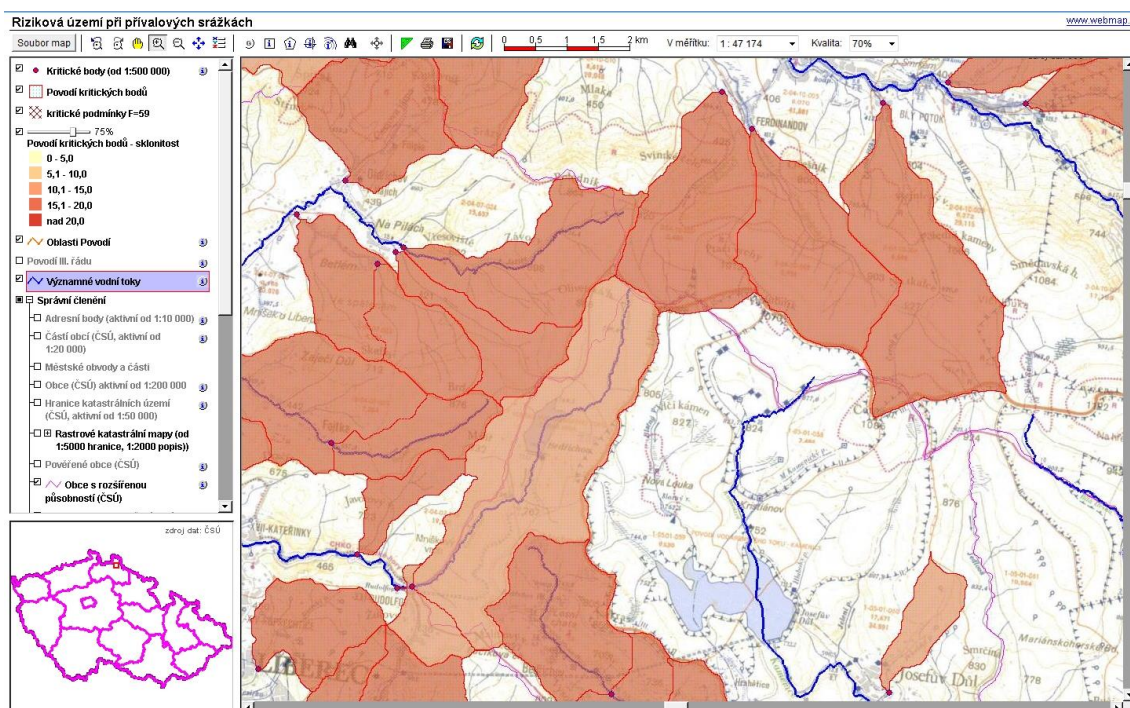
Podle tohoto materiálu jsou povodně způsobené přívalovými dešti charakteristické:

- velkou nahodilostí,

- velmi obtížně stanovitelnou pravděpodobností výskytu, přičemž se mohou vyskytnout kdekoli v ČR,
- velmi omezenou možností předpovědi příčinných srážek,
- tím, že jsou lokálně omezené a jejich účinek je zesilován nesprávnými způsoby užívání území,
- obtížně řešitelným problémem mobility prostředků a kapacit na účinnou prevenci pro tisíce urbanizovaných lokalit v ČR.

Tento způsob vychází z posouzení vizualizace stupně potenciálních dopadů povodňového nebezpečí z přívalových srážek a umožňuje tak semikvantitativní vyjádření míry rizik pro zastavěná území obcí.

Způsob identifikace zranitelných území podle Unucky využívá hydrografické distribuované modely typu MIKE SHE, GSSHA, SIMWE, TOPMODEL apod. Výhodou těchto distribuovaných modelů je zejména detailnější parametrizace území a menší zatížení chybou na úrovni vstupních srážek - primární data z družic nebo meteorologických radarů se neinterpolují.



Obr. 1. Kritická povodí podle Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM Brno

Oba postupy se lesa dotýkají jen okrajově nebo vůbec ne a neřeší další charakteristiky lesů ovlivňující jejich retenční schopnost. Jde zejména o posouzení retenčního potenciálu lesů na základě lesnické typologie, nebo vliv věku, dřevinné složení a původnosti porostů.

5. NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ

Výchozím impulsem pro zpracování tohoto materiálu byl požadavek MZe na vypracování materiálu „Podklady pro revizi lesnických opatření Programu rozvoje venkova po roce 2013“, který řešil přípravu podkladů pro revizi opatření Programu rozvoje venkova. Jedním z témat byla také ostatní lesnická infrastruktura - retenční nádrže, hrazení bystřin a úpravy vodních toků. Po zvážení všech informací bylo rozhodnuto, že ÚHÚL nebude řešit přímo technické

parametry retenčních nádrží nebo hrazení bystřin a úprav vodních toků, protože jde o komplexní systémy s mnoha vstupujícími činiteli, kde konkrétní řešení vyžaduje jednak detailní místní znalost a jednak projektanta, který dokáže zvážit všechny okolnosti a najít optimální variantu.

Z hlediska potřeb a optimalizace využití omezených zdrojů na dotace bylo důležité stanovit povodí, která je nutné řešit. Primárním cílem návrhu bylo určit potenciální povodňové nebezpečí v povodích IV. řádu, kde ohrožují lidská osídlení pod nimi především z hlediska povodňových rizik. Výběr konkrétních povodí byl realizován na základě jednoduchých kritérií a s využitím již ověřených postupů.

Realizované řešení využívá postup a navržená kritéria podle Dr. Drbala, ale nerealizuje ho v plném rozsahu, maximálně ho zjednodušuje i s rizikem možného zvýšení nepřesnosti výsledků.

Všechna povodí IV. řádu byla analyzována z hlediska výměry, sklonitosti, lesnatosti a nadmořské výšky. Jako klíčové charakteristiky pro posouzení a výběr kritických míst povodí jsou podle materiálu www.povis.cz/mzp/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf ve vztahu k přívalovým srážkám definovány:

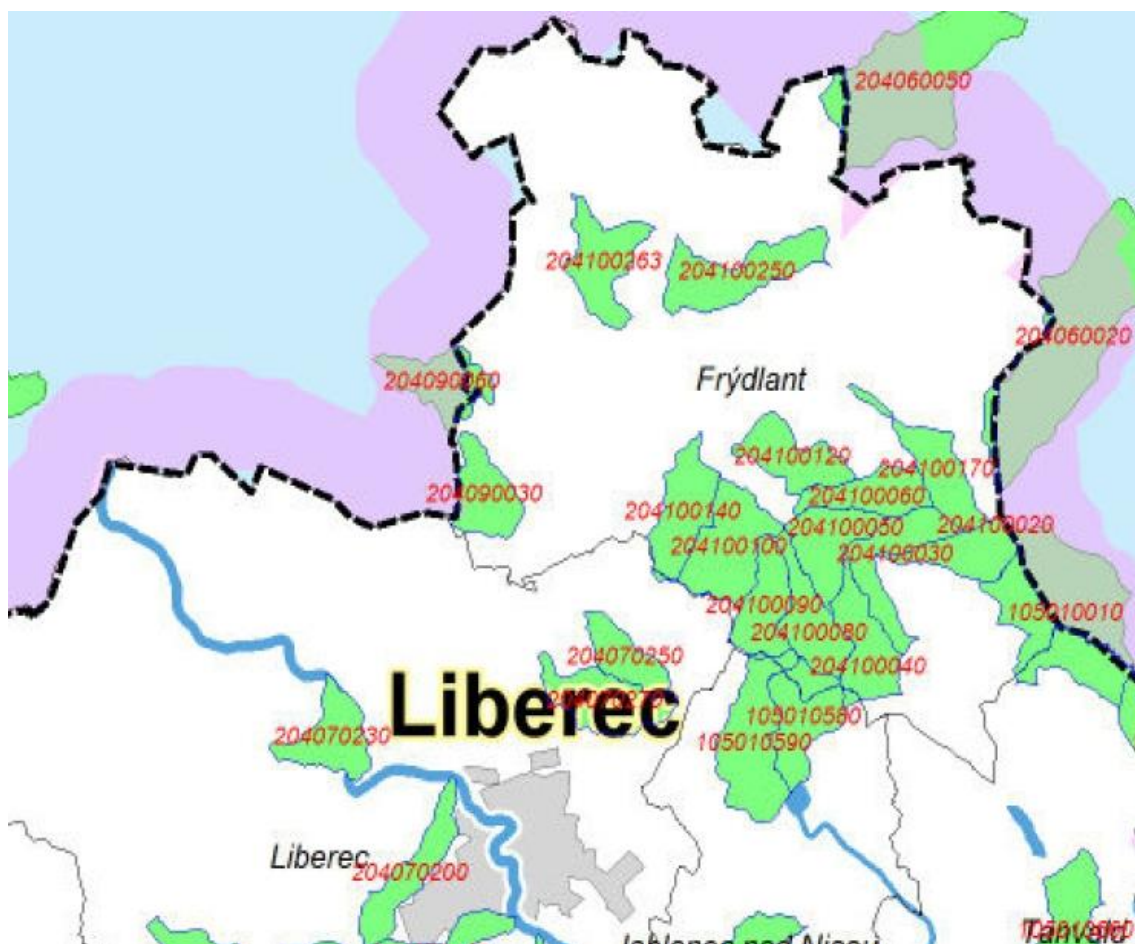
- velikost přispívající plochy 100–1000 ha (celková velikost povodí IV. řádu),
- průměrný sklon přispívající plochy rovný nebo větší 10 %,
- podíl plochy lesa rovný nebo větší 40 %.

Důvodem pro úpravu kritérií byla skutečnost, že výše uvedený postup byl využit pro stanovení kritických míst ve vztahu k přívalovým srážkám především pro intravilán a intenzivně obhospodařovanou zemědělskou půdu, ale ne pro lokality s vyšším stupněm zalesnění, které mají významně jiný vliv na povrchový odtok. Dalším významným rozdílem je skutečnost, že v rámci podpory výstavby a realizace retenčních nádrží a ostatních vodohospodářských staveb se řeší celé povodí na rozdíl od výchozího materiálu.

Do celkového výběru se dostala všechna povodí v rozsahu 100–1000 ha. Dalším vylučovacím kritériem byla lesnatost. Z výběru byla vyloučena povodí IV. řádu, s lesnatostí do 40 %. Vyloučena byla dále povodí s průměrným sklonem do 10 %. Pro posouzení sklonitosti byl využit digitální model terénu, který už byl předklasifikován do několika intervalů – 0–10, 11–20, 21–33, 34–50, 51–70, 71–80, 81–90, 91–100 %.

6. VÝSLEDKY

Na základě výše navrženého postupu pro identifikaci ploch rozhodujících z hlediska tvorby povrchového odtoku s nepříznivými účinky pro zastavěné části obcí –rizikových/kritických povodí zůstalo z celkem cca. 8200 povodí IV. řádu po zpracování kolem 1500 povodí, která je možno považovat za potenciálně nebezpečná a která je nutno řešit komplexněji, tj. řešit úpravy toků, hrazení bystřin nebo realizovat výstavbu retenčních nádrží, případně realizovat i jiná potřebná opatření na ochranu osob a majetku. Výsledek je zpracován numericky – ve formě tabulky – i graficky ve formě mapového výstupu. Ukázka mapového výstupu je na obr. 2.



Obr.2. Kritická povodí podle ÚHÚL- výřez části území

7. ZÁVĚR

Z hlediska ochrany přírody a krajiny jsou povodně přirozeným jevem a jejich možné účinky na společenstva rostlin a živočichů a na jejich biotopy nejsou považovány za povodňové škody. Z hlediska společenského jsou povodně považovány za nežádoucí. Za speciálně problematické se považují povodně vznikající v důsledku přívalových až katastrofických srážek, protože teoreticky se mohou v podmínkách ČR objevit téměř všude. Absolutní ochranu před negativními dopady povodní nelze efektivně zajistit, lze jen eliminovat podíl škod ve vazbě na vhodně zvolenou míru ochrany. Prvním krokem je identifikace ploch/povodí IV řádu, rozhodujících z hlediska tvorby povrchového odtoku s nepříznivými účinky pro zastavěné části obcí. První vhodné postupy jsou již k dispozici. Na základě těchto postupů byla provedena první identifikace těchto kritických povodí.

Problematika určení rizikových povodí IV. řádu z hlediska povodní a přívalových srážek je prozatím v počátcích a bude vyžadovat další práci. Vzhledem k celospolečenské závažnosti povodní je nutné pokračovat ve zpřesňování výsledků a využití všech lesnických podkladů jako je třeba lesnická typologie. Jak již bylo výše naznačeno, lesy mají významnou úlohu při posuzování retenční schopnosti krajiny a lesnickými opatřeními je možné tento potenciál ovlivnit. Je potřebná další spolupráce s organizacemi mimo rezort a detailnější prověření všech postupů a modelů. Podklady a možnosti na to jsou, jde jen o to je využít.

Literatura

DRBAL K. et al. Metodický návod pro identifikaci KB. VVV TGM. Brno. 2009

http://www.povis.cz/mzp/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf

UNCKA J. et al. Bleskové povodně - návrh metodiky stanovení ohrožení území a varovného systému. GIS Ostrava 2010. http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_5_5.pdf

HEGG C. (2006): Waldwirkung auf Hochwasser. LWF Wissen Ber. Bayer. Landesanst. Wald Forstwirtschaft. 55: 29-33. http://www.waldwissen.net/wald/schutzfunktion/wasser/wsl_waldwirkung_hochwasser/index_DE

Markart, G.; Kohl, B. (2009): Wie viel Wasser speichert der Waldboden? Abflussverhalten und Erosion. BFW-Praxisinformation 19, 25 – 26

http://www.waldwissen.net/wald/schutzfunktion/wasser/bfw_wasserspeicher_boden/index_DE

Kolektiv.Prívalové povodně. ČHMÚ

http://www.povis.cz/mzp/Privalove_povodne.pdf

Kontakt:

Ing. Roman Bystrický, PhD.

ÚHÚL Brandýs nad Labem

Pobočka Jablonec n. N

Jungmannova 10

Jablonec n. N.

466 01

Tel: +420/480/032 329

Mob.+420/725/156 214

E-mail: bystricky.roman@uhul.cz

www.uhul.cz

OD SCÉNÁŘŮ KLIMATICKÉ ZMĚNY K ADAPTAČNÍM OPATŘENÍM V LESÍCH ČR

1. ÚVOD

Dopady změny klimatického systému Země na vegetaci a její adaptaci je třeba sledovat a hodnotit na úrovni globální a úrovni regionální. Obě úrovně spolu úzce souvisí, adaptační opatření jsou zcela rozdílná.

Odborníci z NASA a Kalifornského technologického institutu ve společné studii tvrdí, že klimatické změny ovlivní zásadním způsobem 40 procent ekosystémů na planetě ještě během tohoto století. Pokusili se zmapovat, které oblasti tyto změny zasáhnou nejsilněji a dospěli podle serveru Bits of Science (leden 2012) k šokujícím závěrům.

Klimatické změny povedou podle vědců k rozsáhlým proměnám výskytu lesů, stepí, tunder, pouští nebo zalednění. I tam, kde není poušť či naopak led, se očekává proměna 30 procent vegetace. Mezi oblastmi, kde se změna klimatu promění nejvýrazněji, patří rozsáhlé oblasti na severní polokouli: sever USA a [Kanada](#), většina Evropy, Sibiře, sever Číny a pak také oblast Himálají.

Projekce jsou založeny na **modelu nárůstu globálních průměrných teplot o dva až čtyři stupně Celsia do konce století**. Pokud se tato předpověď naplní, dosáhnou teploty úrovně maxim z meziledových dob. Ačkoli se tedy neděje nic, co by Země už nezažila, odborníci upozorňují, že tentokrát probíhá růst teplot přibližně 100krát rychleji. Rychlá změna zkracuje čas pro možné přizpůsobení rostlin a živočichů a naopak zvyšuje riziko jejich vyhynutí.

Jen v letech 1999 – 2009 bylo na úrovni regionálních studií zpracováno v ČR:

- 29 projektů řešících dopad globální klimatické změny (GKZ)
- 88 projektů řešící opatření stability a ozdravení lesních porostů bez přímé příčinnosti GKZ
- 37 projektů, které nějakým způsobem přispívají k řešení výše uvedených projektů
- 19 zahraničních projektů řešených v ČR

Je však třeba hledat odpověď na otázku: Jaká opatření ve smyslu předběžné opatrnosti ke snížení vlivu globální klimatické změny na lesní ekosystémy byla uplatněna? Pro všechny lesy účinky vlivu klimatu nebudou lineární a obecně dost posilující než vyrovnávací. Rychlost reakce bude závislá na uspořádání přírodní a lidské adaptaci. Lidská intervence bude rychle přizpůsobena změnám v biomu a rozšíření druhů v regionech, které budou ovlivněny hospodařením. Proces přizpůsobení pravděpodobně proběhne pomaleji v přírodních lesích, kde přímá intervence člověka chybí.

Je možné, že řídicím faktorem je daná setrvačnost neobhospodařovaných lesních systémů bez poškození. Tyto lesy mohou ukazovat nízkou zranitelnost a nízkou klimatickou citlivost.

Lesy mohou setrvat a jevit nízkou zranitelnost a klimatickou citlivost, ale mohou být dost klimaticky citlivé způsobem ne okamžitě zřejmým. Pak jejich zranitelnost se může stát redukcí kvality (degradace) právě když lesy setrvávají ve svém bytí. Zvýšení poškození může ale rychle vést ke strukturálním změnám s náhradou plevelných druhů. Perspektivně v kontextu se všemi přímými a nepřímými vlivy klimatické změny a její interakce lze konstatovat, že potenciál zranitelnosti lesů je vysoký.

2. PŘEHLED ETAP A NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ NA ÚROVNI HOSPODÁŘSKÉ ÚPRAVY LESŮ

2.1. Závěry a doporučení pro zpracování rámcových směrnic hosp. LHP (seminář lesnické typologie ÚHÚL Brandýs n.L., 1994)

Na podkladě Závěrečné zprávy výzkumného úkolu OLH MZe ČR „Posun lesních vegetačních stupňů v ČR v souvislosti s regionálním scénářem klimatické změny“ (Macků, J., 1994), ÚHÚL Brandýs nad Labem přijal (seminář 1.–2.2. 1994) následující závěry a doporučení pro zpracování rámcových směrnic hospodaření LHP:

- 1) Cílem je na úrovni současných poznatků aplikovat opatření, která povedou ke snížení rizika negativních vlivů klimatické změny na lesní ekosystémy.
- 2) Byla přijata varianta „předběžné opatrnosti“ bez ohledu na to, zda bude splněn předpoklad regionálního scénáře klimatické změny.
- 3) Konstatuje se stávající destabilizace lesních ekosystémů a její dlouhodobý charakter. Tato skutečnost přináší do úvah o budoucím vývoji lesů a způsobech hospodaření novou dimenzi, tj. zajistit ekologickou stabilitu a podstatu lesa vůbec ve smyslu strategie trvale udržitelného rozvoje LH.
- 4) Předpokladem pro využití mapových podkladů regionálního scénáře klimatické změny je jejich digitalizace.
- 5) Na úrovni základních rozhodnutí prosazovat:
 - podporu jemnějších a přírodě blízkých způsobů hospodaření
 - v cílové skladbě dřevin zůstává základem spektrum domácích dřevin s cílem zvýšení biodiverzity lesních ekosystémů s využitím ekologického optima lesních dřevin.Na příkladech to znamená:
 - omezit smrk především na kyselých a sušších stanovištích 3. a částečně i 4. zonálních LVS,
 - zvýšit zastoupení dubu zimního v 3. a 4. LVS,
 - zvýraznit podíl buku a jeho stabilizační úlohu obecně,
 - zvýšit zastoupení vhodných ekotypů borovice,
 - na lokalitách se samovolnou obnovou jasanu ponechat jeho zastoupení v obnovním cíli,
 - zásadou zůstává maximální využití vhodných ekotypů dřevin a jejich lokálních populací (ekodémů),
 - introdukce dřevin je opodstatněná pouze u ověřených ekotypů a na vytypovaných stanovištích (s přihlédnutím k ustanovení zákona 114/92 Sb.)
- 6) Zdůrazňuje se vazba na zásady vnitřní a vnější porostní prostorové úpravy, uplatnění kostry ekologické stability a prvků ÚSES včetně výstupů průzkumu ochrany lesů a jeho díla – mapy dlouhodobých opatření ochrany lesů.

2.2. Oblastní plány rozvoje lesů (ÚHÚL Brandýs n.L., 1997–2002)

Na základě Územní studie změny klimatu pro ČR, element 2: Národní klimatický program ČR, US Country Studies Program (MACKŮ J. in MOLDAN B.-SOBÍŠEK B., 1995, MACKŮ J. in: VINŠ B. a kol., 1996) a výstupu grantu VaV/610/3/96 “Územní souvislosti péče o krajinu“ (KOPECKÁ, V., BUČEK A., 1999) byly použity výstupy z uvedených projektů.

Pro prognózu důsledků globálních klimatických změn v krajině ČR byl použit nedynamický korelativní model, založený na vztahu mezi současnými klimatickými charakteristikami a vegetací, využívající prognostické metody prostorových analogií. Upozorňuje se na oblast „motýlího efektu“, kde malé odchylky mohou mít velké následky.

Podle současných názorů se vegetační stupňovitost postupně ustálila v období staršího subatlantika, které začíná 800–500 let př.n.l. Současná vegetační stupňovitost odráží nejen současné klima, ale i kolísání klimatu a extrémy počasí v posledních dvou tisíciletích. Nelze však hovořit o změnách vegetačních stupňů, ale o „trendu změn vegetační stupňovitosti“, vyjadřující směr vývoje bioty v krajině v souvislosti se změnami klimatu. Výsledky modelování potvrdily, že na území ČR existují regionální rozdíly v klimatických charakteristikách vegetačních stupňů, které se projeví i v trendu posunu vegetační stupňovitosti v důsledku globálního oteplení. Trendy změn vegetační stupňovitosti podle regionálního modelu jsou mnohem výraznější než podle modelu celorepublikového.

Kritické změny lze očekávat především tam, kde dojde k posunu vegetačních stupňů s dominancí mezofilních střeoevropských druhů (3.–5. LVS do 1. až 2. LVS). Důsledky změn klimatických podmínek pro pěstování smrku ztepilého podle scénáře trendu posunu vegetačních stupňů k roku 2030 vedou v podstatě k závěru, že dobré a velmi dobré podmínky pro smrk zůstanou v oblastech jeho přirozeného rozšíření. Vyhodnocení scénářů trendu posunu vegetačních stupňů z hlediska podmínek pro pěstování buku ukazuje, že k roku 2030 budou zcela nevhodné podmínky pro buk především v těch oblastech, kde se i v současné době vyskytuje jen vyjimečně a nebo zde zcela chybí. Naopak, kde buk tvoří porostutvornou dřevinu nepředpokládá se katastrofické zhoršení podmínek pro existenci buku, ani výrazné omezení rozsahu území.

Uvedené poznatky byly zakotveny do Metodiky Oblastních plánů rozvoje lesů (MACKŮ J. a kol., 1996, 1999). Citace z kap. 7.1.1.6. Scénář globální klimatické změny a jeho dopad na LH: Cílem je reagovat na úroveň současných poznatků včetně scénářů podle klimatických modelů GISS a CCCM k časovým horizontům: současný stav, rok 2010 a 2030 (Kalvová, 1995 IN JANOUŠ, J. a kol. 2002)). Tohoto scénáře bylo využito pro zpracování mapového obrazu trendu posunu vegetačních stupňů na základě scénáře změn ročních průměrných teplot a srážek podle klimatického modelu GISS. V ročním průměru je k roku 2010 předpokládaná teplotní odchylka +0,98 a poměr srážek 1,038, k roku 2030 teplotní odchylka +1,96 a poměr srážek 1,075.

Kvalitativně jsou nejcitlivější azonální a intrazonální geobiocenózy nižších a nejvyšších LVS. Největší riziko zranitelnosti nesou smrkové monokultury ve 2. a 3. LVS. Nejlepší předpoklady adaptability mají geobiocenózy s největší ekologickou valencí (zpravidla živná řada) a populací autochtonních dřevin. Na tyto skutečnosti musí výstupy typologie lesů zareagovat a v rámcových směrnících hospodaření zdůrazňovat v cílové skladbě vedle podílu listnáčů i zastoupení především vhodných ekotypů lokálních populací dřevin (např. bo).

Stav a cíle: Současný stav druhové skladby lesů ČR oproti skladbě na úrovni přirozené potenciální vegetace je značně rozdílný jak po stránce kvantifikace jednotlivých druhů, např. původní zastoupení SM by činilo 11,2 % oproti současnému s s 55,8 %, tak po stránce rostorové a zejména po stránce kvalitativní, resp. genetické. Podstatné jsou pak také změny zstoupení dřevin nejen na úrovni LVS, ale také edafických kategorií, a tato skutečnost má pro citlivost, zranitelnost a adaptabilitu lesa mnohem větší vypovídací schopnost.

Citlivost porostního typu (PT) v rámci cílového hospodářství (CHS) se opírá o jeho ekologické nároky a stanovení limitů na základě scénářů globální klimatické změny (GKZ). Zranitelnost je charakterizována riziky při nichž dochází ke změnám, když se vychází s znalosti spektra těchto rizik. Adaptabilita jako reakce přizpůsobení PT na změny ekologických podmínek je závislá na jejich citlivosti a zranitelnosti.

2.3. Oblastní typologické elaboráty (ÚHÚL Brandýs n.L., 2004)

Na základě výstupů projektu VaV/740/1/01 Klimatická změna a klimatické fluktuace — normály vybraných klimatologických prvků na území ČR, dílčí projekt 02 Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na sektor lesního hospodářství (koordinátor JANOUŠ J., 2002) byla tato opatření zakotvena do Pracovních postupů oblastních typologických elaborátů (MACKŮ J. a kol., 2004): Citace z kap. 4.1.4. Scénáře klimatické změny (vektor srážkových a teplotních izochar pro roky 1990, 2010, 2020, 2030):

Problematicku dopadů změny klimatu na lesy a lesní hospodářství České republiky chápeme jako reakci porostů lesních dřevin na změněné stanovištní podmínky vlivem změn klimatických faktorů a na zvýšenou koncentraci CO₂. Tedy důsledkem změny klimatu je změněný potenciál stanoviště pro pěstování porostů lesních dřevin, a také změněné nároky a tolerance lesních dřevin ke stanovištním podmínkám.

Je zřejmé, že predikovaná změna klimatu se v uvedeném systému nejvíce projeví ve vztahu mezi klimatem a biocenózou, tedy ve vertikálním členění sítě typologického systému, v členění na lesní vegetační stupně. Zařazení daného stanoviště do příslušného LVS ve své podstatě vyjadřuje produkční potenciál stanoviště z hlediska klimatických podmínek pro danou dřevinu. Lesní vegetační stupně byly odvozeny od stanovištních nároků nejdůležitějších hospodářských dřevin a postihují spojitě klimatické podmínky stanoviště od poloh nejnižších až po nejvyšší. Lesní vegetační stupně jsou charakterizovány intervaly průměrné roční teploty, průměrného ročního úhrnu srážek, průměrné délky vegetačního období a nadmořské výšky. Za rozhodující pro zařazení do příslušného LVS je možné považovat ukazatele teploty a srážek. Délku vegetačního období je možné považovat za závislou na teplotě a nadmořská výška je spíše ukazatel informativní a nemusí být určující. Každý pokus, každý algoritmus propojení klimatického scénáře s kritérii určujícími LVS a stanovení posunů hranic LVS v důsledku klimatické změny znamenal významné poznatky pro vytvoření si představy o možném vlivu na lesy a lesní hospodářství.

Závěry shrnutí poznatků pro ČR a podklady pro přijetí opatření na principu předběžné opatrnosti:

- Dopad klimatické změny podle očekávaného scénáře bude znamenat vertikální posun klimatických podmínek o jeden až dva v současnosti vymezené zonální lesní vegetační stupně směrem k nižším vegetačním stupňům.
- Zvýšená koncentrace CO₂ sníží negativní dopad tohoto posunu, nejvýrazněji v nižších vegetačních stupních, a to zejména zvýšením tolerance dřevin ke stresu (ve velmi hrubém odhadu o 15 až 50 %).
- Dopad klimatické změny na lesy v měřítku konkrétního porostu lze stanovovat v maximálním měřítku přírodní lesní oblasti, generalizace pro větší území v rámci ČR by již byla značně spekulativní.
- Zhorší se podmínky pro pěstování smrkových porostů v současných středních polohách, nízké polohy budou z pěstování smrku zcela vyloučeny, a to vlivem klimatických podmínek a tlaku biotických činitelů.

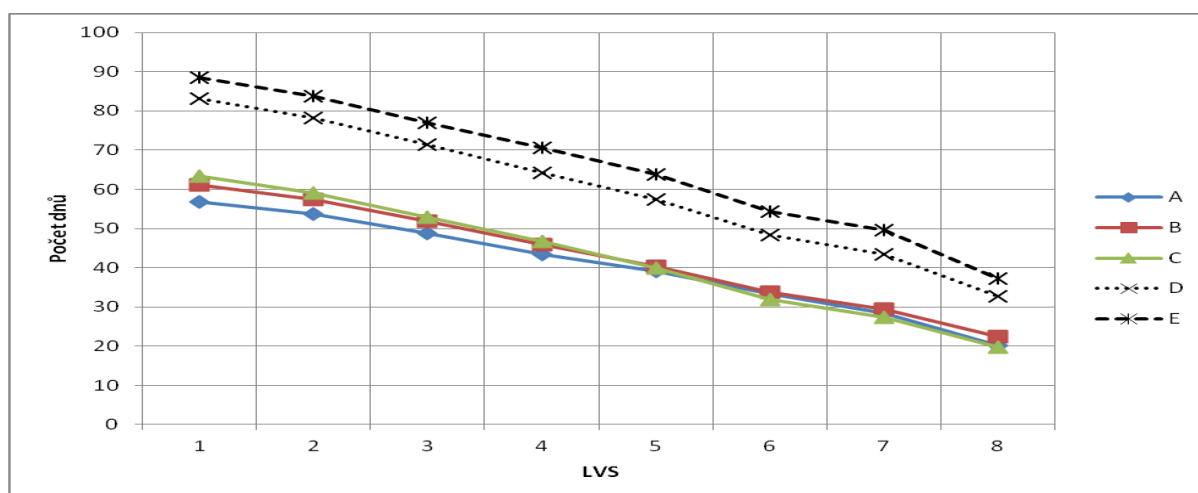
Závěrem lze konstatovat, že na základě současných poznatků, nástroje HÚL – především lesnická typologie a její aplikace v rámcovém plánování, nabízejí zcela reálné možnosti uplatnění navrhovaných opatření na principu předběžné opatrnosti. Praktická aplikace je ale podmíněna legislativou, resp. závazností navrhovaných opatření. Tak např. dílo OPRL má závaznost pouze doporučující (mimo podíl introdukovaných dřevin). Bez úpravy závaznosti navrhovaných opatření zůstávají pouze na vůli osvícených vlastníků lesa či lesních hospodářů.

2.4. Současné poznatky – Scénář klimatické změny dle modelu ALADIN.

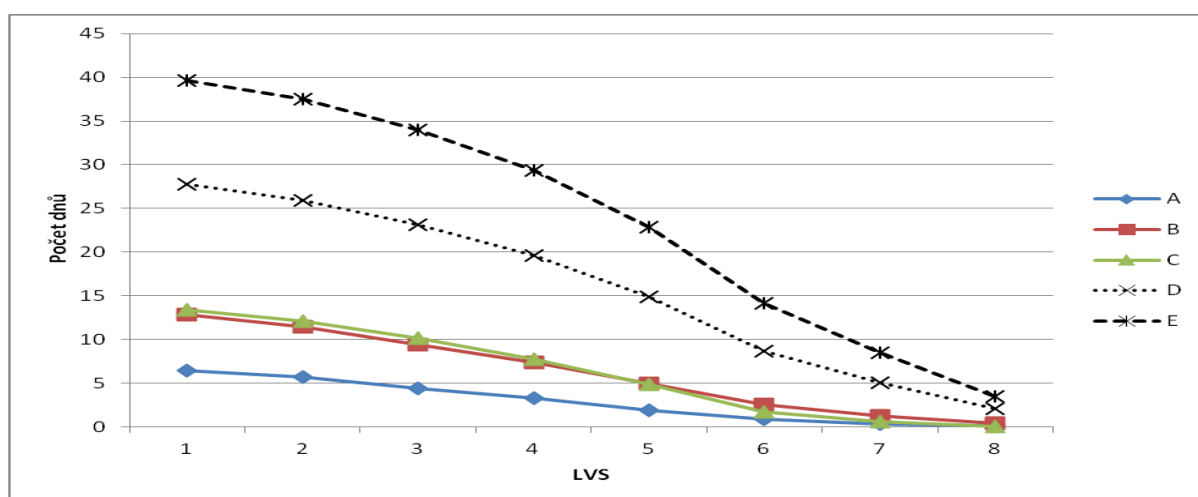
Zdrojem jsou podklady ČHMÚ dle modelu ALADIN pro časové periody 2011–2040, 2041–2070, 2071–2099 (ŠTĚPÁNEK, P., SKALÁK, P. and FARDA, A. 2008, ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P. and SKALÁK, P. 2009). První závěry byly formulovány ve výstupech Dopady změny klimatu a návrhy adaptačních opatření v sektoru lesnictví (JANOŠ, D., a kol. 2011). Výstupem jsou prostorové průměry základních klimatických charakteristik (průměrná denní teplota, denní úhrn srážek, průměrná denní rychlost větru, vlhkost vzduchu a sluneční záření) pro všechny lesní vegetační stupě (LVS), vyskytující se v jednotlivých PLO. Kromě těchto základních charakteristik byl zjišťován i výskyt tří klimatických extrémů – počet dní s denním úhrnem srážek menším než 1 mm, které se ve vegetačním období vyskytly v obdobích delších než 10 dnů za sebou (D10), počet dnů ve vegetačním období, kdy byla průměrná denní teplota vyšší než 30°C (T30) a počet teplotních zvrátů v předjaří (T zlom) – období, kdy se v zimních měsících vyskytla alespoň 5 dnů po sobě průměrná denní teplota vyšší než 5 °C a pak opět klesla pod bod mrazu.

Výpočet daného (teplotního, srážkového, atd.) pole probíhal na podkladě bodových pozorování. Pro výpočet byly použity technické řady stanic, tzn., že původní staniční řady byly podrobeny kontrole kvality, homogenizaci a byly doplněny chybějící hodnoty v měřeních. Samotný výpočet technických řad vychází z metody IDW, kdy použité údaje okolních stanic jsou nejprve standardizovány na nadmořskou výšku bodu, pro který počítáme novou řadu, a poté je váženým průměrem spočtena nová hodnota. Nastavení parametrů výpočtů se lišilo pro každý meteorologický prvek. Tyto staniční údaje byly interpolovány v ploše metodou univerzálního lineárního krigingu, před samotným výpočtem byly uplatněny lokální regresní závislosti dané veličiny na nadmořské výšce, kde váhovým koeficientem byla hodnota koeficientu determinace R^2 v každé buňce rastru. Vzhledem k zaměření projektu byl při řešení tohoto okruhu problémů kladen hlavní důraz na odhad vývoje klimatických stresových faktorů do konce tohoto století.

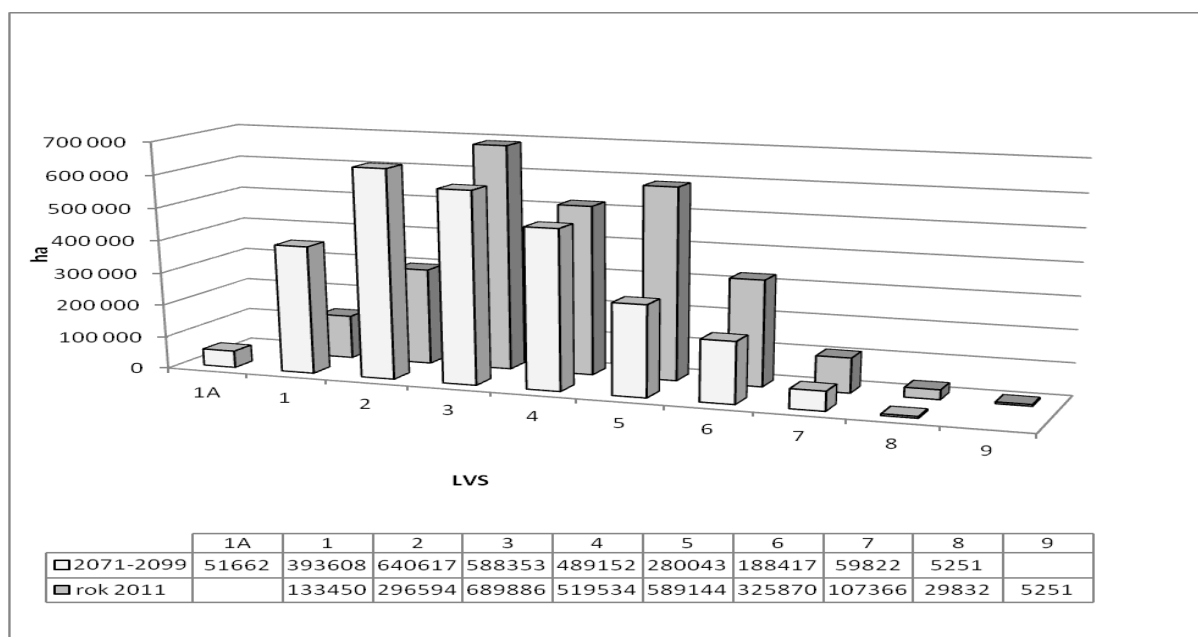
Pro odhad rizika pravděpodobnosti rozpadu smrkových porostů i nutnosti provádět v nich účinná adaptační opatření se ukázaly z testovaných výše uvedených základních klimatických prvků a odvozených stresových faktorů jako nejvhodnější stresové faktory D10 (Graf č.1) a T30 (Graf č. 2). Mezi obdobími A (1961–1990) až C (2010–2039) se sice zvyšoval, ale v obdobích D (2040–2069) a E (2070–2099) zase klesal; výraznější oteplení již omezilo vznik teplotního zlomu tím, že průměrné denní teploty již neklesaly při předjarních výkyvech pod nulu. Nicméně pro vystižení rozdílu mezi „starým klimatickým normálem (1961–1990) a právě proběhlým obdobím 1991–2009 se ukázal poměrně funkčním.



Graf č.1 Průběh hodnot 10D dle LVS a období A - E



Graf č. 2 Průběh hodnot T30 dle LVS a období A - E



Graf.č.3 Porovnání zastoupení LVS v roce 2011 a dle scénáře k roku 2071

3. DOPADY ZMĚNY KLIMATU NA SOUČASNÉ LESNÍ EKOSYSTÉMY A EFEKTIVNÍ ZALESŇOVÁNÍ

Pro obnovu lesa a vývoj lesních porostů má zásadní význam období E 2071–2099. Ke stanovení změn se využívá metoda biologické indikace, tj. informací o působení nebo přítomnosti některého činitele prostřednictvím jeho obrazu na živých organismech. Samotné biologické indikátory jen zřídka jednoznačně určují změnu stavu, změna je provázána vždy narušením celistvosti ekosystému, jeho stability. Základním indikátorem lesních ekosystémů je jeho dřevinný edifikátor.

Mapované typologické jednotky však neztrácejí smysl. Zůstávají a platí pro rámec vymezených ekologických podmínek trvalých i dynamických (co do intenzity), kam se řadí i klimatická změna. Konkrétní průvodní znaky procesu změny klimatu po poslední době ledové jsou známy jen povšechně. Především velmi citlivě reaguje dřevinná synuzie, jako edifikátor lesní geobiocenózy, různým stupněm vitality růstu. Dále změnou fytocenózy (druhovátá, abundance a dominance), změnou ekotopu, provázenou změnou humusové formy a koloběhu živin (pH, sorpční komplex, vytěšňování Al apod.). Stresovaná stadia lesních společenstev jsou provázána zpravidla sníženou fruktifikací dřevin, nižší klíčivostí a vitalitou semenáčků nebo úplnou neplodností semen a tím dochází k celkovému oslabení regeneračních schopností ekosystému.

Vlastní geneze globální klimatické změny na stresem zatížené ekosystémy je složitou záležitostí, zatím nedostatečně objasněnou. Především musí být jasno v tom, proč některé porosty na stejných stanovištních podmínkách hynou a jiné v odlišné PLO odolávají - jinak může dojít ke zcela zkresleným závěrům. Rozhodující roli hraje vedle makroklimatických podmínek zřejmě genetika porostu, vazba na ekotop a mezoklimatické podmínky. Takováto diferenciaci musí být podložena konkrétními údaji o původnosti porostů, makroklimatu a mezoklimatu daného území. Důvodem je vzájemný synergismus stresových faktorů a jejich obtížná kontrolovatelnost, v jakém stádiu se ekosystém nachází. Je zřejmé, že odolnost dřevin významně ovlivňuje trofnost půdy (podloží, ale i příznivá humifikace vlivem příměsí listnáčů) a příznivé vlhkostní poměry v závislosti na obsahu a kvalitě humifikace, resp. mineralizace.

Předpokládané makroklimatické změny dle scénáře modelu ALADIN, zejména období E mají za následek změnu ekologických podmínek charakterizující SLT. Znamená to vycházet z konstrukce potenciální přírodní vegetace, která je definována (TUXEN R., 1956 IN ZLATNÍK A., 1976) jako vegetace při odmyšlené činnosti člověka s diferenciací primátů dřevin. V našich podmínkách v návaznosti na vývoj vegetace v postglaciálu (vystřídaly se 4 typy klimatu) je pojem klimaxu postradatelný (ZLATNÍK A., 1976). V tomto smyslu je preciznější formulace vůdčí: ekologická řada – půda – vegetační stupeň.

Zásadní pro poznání strategie změn je trajektorie směru sledu stadia regresivní sukcese ve směru postupné degradace nebo soustavného poškozování až ničení pod působením nějakého rušivého faktoru takže nemůže být dosažena závěrečná fytocenóza. Podobně R. MIKYŠKA v duchu curiškompellierské školy nazval podrostový synuziální komplex hospodářsky změněných lesů facielními degradačními fázemi a považuje je za modifikace *as* a *subas*, vzniklé antropickými zásahy nebo kalamitou.

Případy následků kombinace vlivu člověka a klimatu označuje R. TUXEN jako **paraklimax**, A. ZLATNÍK jako **pseudozonální vegetaci**. Tato činnost má za následek buď udržování méně vyvinutého stavu vegetace nebo degradaci vegetace až na degradační stadia agregací, popř. až na klimatem nebo člověkem podmíněný ireverzibilní stav.

Obecně pak platí princip, že ve vyšších nadmořských výškách, tedy vyšších zonálních LVS je limitujícím faktorem teplota, srážek je relativní dostatek. V nižších polohách jsou naopak limitujícím faktorem převážně srážky. Negativní vliv zvýšené teploty se zde projevuje prostřednictvím zvýšené evapotranspirace. Čtvrtý LVS je možné obecně považovat za LVS se stejným vlivem teploty i srážek. Tudíž 4. LVS budeme považovat za rozmezí nárůstu významu teploty a poklesu významu srážek směrem k vyšším stupňům a naopak nárůstu významu srážek a významu teploty směrem k nižším LVS.

Zpracovaný scénář klimatické změny modelem ALADIN bude vyžadovat náročnou aplikaci ve vazbě na ekotop a mezoklimatické podmínky. Především na úrovni nižších LVS 1 a 2. a naopak na hranici lesa 8 a 9 LVS. Protože nejsou dosud k dispozici exaktní podklady ani na úrovni modelů, budeme je považovat za anomálie charakterizující riziko zachování podstaty lesa. V souvislosti s vyhodnocením scénářem období E se vyskytuje anomálie pseudozonální vegetace 1 LVS (ozn. 1A). Druhovú skladbu 1 LVS se podstatně nemění, lze doporučit vyšší zastoupení ceru. Významnější je dopad na zajištění kultur.

Zcela samostatným problémem je situace u azonálních společenstev, kde má rozhodující vliv změna charakteristik ekotopu. Především se jedná o azonální společenstva borů a luhů. Společenstva borů mají rozptýl od 2 LVS do 6 LVS, lužní pak 1–6 LVS. Na úrovni 7–9 LVS hraje zásadní roli otázka mezoklimatu, zpravidla vrcholového fenoménu včetně vazby na ekotop, zejména zranitelnosti půdního sola (mělké půdy) a nelze tedy předpokládat zásadní zvýšení hranice lesa.

Literatura

- Janouš, J. a kol. (2002): Projekt VaV/740/1/01 Klimatická změna a klimatické fluktuace – normály vybraných klimatologických prvků na území ČR, dílčí projekt 02 Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na sektor lesního hospodářství, 63 str.
- Janouš, D., a kol. (2011): Dopady změny klimatu a návrhy adaptačních opatření v sektoru lesnictví, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., 19 str. (3 přílohy).
- Kopecká, V., Buček, A. (1999): Modelování možných důsledků globálních klimatických změn na území České republiky, AOPAK Praha, 28str. 13 mapových příloh.
- Macků, J. (1994): ÚHÚL Brandýs nad Labem.: Metodika interpretace dopadů klimatických změn na lesní ekosystémy: 26 stran, 1994,(upravená verze závěrečné zprávy pro OLH – MZe ČR)
- Macků J. in Moldan B.-Sobišek B. (1995): Závěrečná zpráva projektu: Územní studie změny klimatu ČR, NKP ČR, 55 stran, I-III Dodatky
- Macků J. in: VINŠ B. a kol. (1996): Dopady možné změny klimatu na lesy v ČR, ČHMÚ Praha, 34 stran
- Macků, J. a kol., (1996, 1999): Metodika Oblastních plánů rozvoje lesů , ÚHÚL Brandýs n.L., , 119 str.
- Macků J. a kol., (2004): Pracovní postupy Oblastních typologických elaborátů ,ÚHÚL Brandýs n.L., 33 str + CD
- Štěpánek, P., Skalák, P. and Farda, A. (2008), RCM ALADIN-Climate/CZ simulation of 2020–2050 climate over the Czech Republic. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds): Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině (Mikulov 9.–11.9.2008). CD-ROM. ISBN 978-80-86690-55-1
- Štěpánek, P., Zahradníček, P. and Skalák, P. (2009), Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961–2007. Advances in Science and Research, 3, 23–26
- Zlatník, A., (1976): Lesnická fytoecologie, SNZ Praha

Kontakt:

Jaromír Macků

ÚHÚL Brandýs nad Labem, pobočka Brno,

Vrázova 1, 616 00 Brno,

macku.jaromir@uhul.cz

PĚSTOVÁNÍ LESŮ POD VLIVEM MĚNÍCÍHO SE KLIMATU

1. GLOBÁLNÍ ZMĚNA KLIMATU A JEJÍ MOŽNÉ DŮSLEDKY */ÚVOD DO PROBLEMATIKY/*

Život na Zemi je založen na schopnosti zelených rostlin uchovávat sluneční energii v makroenergetických vazbách produktů asimilace. Uložená energie je následně využívána pro zabezpečení existence života těchto zelených rostlin – primárních producentů a pro zabezpečení existence celého následného řetězce konzumentů. Také člověk je článkem tohoto energetického (potravního) řetězce. V rámci něho jsou životní funkce člověka zabezpečeny energií cca 85 W, fyzicky pracující člověk „spaluje“ již 250 W. Ve skutečnosti však průměrný obyvatel planety, aby zabezpečil nejen svoji živočišnou energetickou potřebu, ale i svůj komfort, spotřebovává 2 kW. Ve vyspělých zemích spotřeba přepočtená na jednoho člověka činí asi 10 kW. Narůstající lidská populace proto pro zabezpečení svých energetických potřeb stále intenzivněji využívá fosilní paliva, tedy původně sluneční energii uloženou ve formě chemických vazeb ve fosilních zbytcích organismů.

Nosičem této energie je redukovaný uhlík původně obsažený v atmosféře ve formě molekuly oxidu uhličitého. Procesem asimilace byl vegetací (primárními producenty) tento vzdušný uhlík odnímán z atmosféry a využíván rostlinami jako základní prvek stavebních i zásobních pletiv. Spalování fosilních paliv, tj. spotřebovávání energie fixované a dlouhodobě uložené rostlinami, znamená zpětný proces uhlíkového cyklu, tedy oxidaci uhlíku a jeho uvolňování ve formě oxidu uhličitého do ovzduší.

Život na Zemi je umožněn příznivými klimatickými podmínkami. A také v tomto případě hraje významnou roli právě uhlík. Oxid uhličitý se totiž společně s vodními parami nejvíce podílí na vytváření skleníkového efektu atmosférického obalu Země. Je to dáno radiačními vlastnostmi těchto plynů, a to propouštět krátkovlnnou sluneční radiaci na zemský povrch, ale pohlcovat dlouhovlnnou tepelnou radiaci vyzařovanou z ohřátého zemského povrchu a vyzařovat ji dále všemi směry, tedy také zpět k zemskému povrchu. Plyny těchto vlastností se nazývají „radiačně aktivní“ nebo také „skleníkové plyny“. Skleníkový efekt atmosféry v současné době zvyšuje teplotu na Zemi na průměrnou teplotu cca 15 °C (Dubrovský a kol. 2011).

Z environmentálního hlediska můžeme současnou epochu lidstva označit jako epochu hrozby globálního oteplení, tedy hrozby klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu atmosféry vlivem antropogenního navyšování koncentrace oxidu uhličitého. Uvolňování CO₂ do ovzduší zejména spalováním fosilních paliv, ale také velkoplošná likvidace lesních ekosystémů vede k nárůstu vzdušné koncentrace tohoto plynu a zesilování skleníkového efektu zemské atmosféry. Na zesilování skleníkového efektu se, s vyloučením vodní páry, CO₂ podílí asi 70 % (25 % při započtení vlivu vodní páry), menší měrou se dále podílí antropogenní produkce metanu a dalších skleníkových plynů.

Koncentrace CO₂ se během vývoje planety a života na Zemi významně měnila. Nakonec se koncentrace v ovzduší ustálila a před začátkem industrializace, který datujeme kolem roku 1750, se po několik tisíc let udržovala na úrovni ca 280 ppm (*parts per milion, tzn. počet objemových částí sledované plynné látky v milionu objemových částí vzduchu*). Průmyslová revoluce s sebou přinesla rozvoj využívání fosilních paliv. Následkem toho se do roku 1900 koncentrace CO₂ zvýšila o cca 15 ppm, v roce 1988 již dosáhla hodnoty 350 ppm,

v současnosti je nad hodnotou 385 ppm s přibližným ročním nárůstem 1,5–2 ppm (viz kap. 2.).

Na produkci emisí skleníkových plynů se nejvíce podílejí vyspělé země. Podíl rozvojových zemí na emisích však významně narůstá, i když množství emisí v přepočtu na jednoho obyvatele je v těchto zemích stále relativně nízké. Obrovský a stále narůstající lidský potenciál rozvojových zemí společně s potřebou uspokojit sociální a rozvojové potřeby jejich obyvatel nedávají naději blízkého zvratu v nebezpečném nárůstu koncentrace CO₂ v ovzduší.

Globální hrozbou se očekávaná změna klimatu stává ve svých celosvětových sociálně ekonomických důsledcích. Neočekává se globální ekologická katastrofa. Budou oblasti, kde se v důsledku globálního oteplení podmínky pro život dokonce zlepší, budou však oblasti, kde se podmínky výrazně zhorší, a bohužel budou i oblasti, kde bude život vyloučen. Nejvíce postiženy budou především chudé oblasti. Tam, kde již nyní je velice obtížné zabezpečit obyvatelstvo potravinami, to bude ještě obtížnější. Znamená to, že rozdíly mezi chudými a bohatými zeměmi ještě více narostou.

Mezi závažnými globálními dopady očekávané klimatické změny můžeme uvést, že:

- Úroveň mořské hladiny se především vlivem tepelné rozpínavosti vody a částečně i vlivem tání ledovců zvýší a současně dojde k poklesu pevniny vlivem vyčerpání podzemních vod a úbytku pobřežních sedimentů. Toto je fatální hrozba pro řadu ostrovních států a přímořských oblastí.
- V dalších oblastech dojde ke ztrátám půdy v důsledku odlesňování nebo intenzivního zemědělství a ke znehodnocení orné půdy vlivem sucha i záplav. Povede to k ještě větší nerovnoměrnosti v dostupnosti potravin.
- Suchem i záplavami budou ovlivněny zásoby a dostupnost vody pro obyvatele.
- Klimatickou změnou budou přírodní ekosystémy ovlivněny zvláště ve středních a vyšších zeměpisných šířkách, neočekává se však, že změna bude směřovat k rozpadu ekosystémů.
- Oteplení umožní šíření nemocí i škůdců do vyšších zeměpisných šířek.
- Na lidské zdraví budou působit teplotní stresy.
- Finanční náročnost přizpůsobení se změně klimatu se obecně odhaduje na cca 1% HDP.
- Všechny uvedené dopady povedou k tomu, že k politickým a ekonomickým uprchlíkům přibude kategorie „environmentálních uprchlíků“, jejichž počet se odhaduje na 3 mil. ročně.

První vědecké důkazy o hrozbě globální klimatické změny byly podávány v 80. letech XX. století. Problematice globální změny klimatu (GZK) se v širším měřítku dostalo první pozornosti v roce 1979 během První světové klimatické konference pořádané Světovou meteorologickou organizací (WMO) v Ženevě. V roce 1988 byl dvěma institucemi OSN, a to WMO a Programem Spojených národů pro životní prostředí (UNEP), založen Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC - Intergovernmental Panel for Climate Change). Pracovní skupiny zabývající se vědami o klimatických změnách, dopady klimatické změny a politickými odezvami na varování vědců měly klíčovou úlohu při přípravě Rámcové úmluvy o změně klimatu, zejména ve zhodnocení vážnosti ohrožení světového klimatu v důsledku antropogenní činnosti a možných důsledků jeho změn. Rámcová úmluva o změně klimatu byla přijata v roce 1992 na konferenci v Rio de Janeiro a vstoupila v platnost v roce 1994.

Podle Úmluvy bylo nutno připravit protokol, který by obsahoval konkrétní závazky jednotlivých států o snižování emisí. Tímto klíčovým dokumentem v oblasti snižování produkce skleníkových plynů se tak stal tzv. Kyótský protokol (KP), který je součástí Rámcové úmluvy OSN o změnách klimatu. KP byl přijat v roce 1997, vstoupil v platnost v roce 2005. Ke konci roku 2009 přistoupilo ke Kyótskému protokolu 187 signatářů, kteří celkem produkují asi 60% světového objemu emisí. V dubnu 2010 to bylo již 191 signatářů včetně Ruska. Ačkoliv v současné době dochází na globální úrovni k poklesu emisí skleníkových plynů, je tento pokles pro dosažení závazků z Kyóta nedostatečný. Bez spolupráce s USA, které ke smlouvě nepřistoupily, a spolupráce s rozvojovými zeměmi nebude možné globální klimatické problémy řešit. Závazkem plynoucím z podpisu KP je celkové snížení globálních emisí skleníkových plynů v rozmezí let 2008–2012 v průměru o 5,2 % v porovnání s emisemi daného státu produkovány v roce 1990. V případě ČR se jedná o snížení celkových emisí skleníkových plynů o 8 %. Na končící KP měla reagovat konference v Kodani v prosinci 2009 a stanovit závazné snížení emisí skleníkových plynů pro jednotlivé státy v dalším období. Konference stran Úmluvy totiž konstatovaly nedostatek vědeckých podkladů pro přijetí konkrétních opatření a také potřebu zmenšit závazky států dané Kyótským protokolem. Výsledkem však byla pouze dohoda o dlouhodobých cílech snížení emisí skleníkových plynů tak, aby nestoupala teplota na Zemi o více než 2 °C oproti stavu před průmyslovou revolucí. Jednání, která by nastavila další limity pro emise skleníkových plynů po skončení platnosti Kyótského protokolu, by měla proběhnout v Bonnu v Jihoafrické republice a výroční konference v Riu v roce 2012 – tedy 20 let po uplynutí tzv. Summitu Země.

Hlavní úsilí světového společenství věnované zabránění změně klimatu je zaměřeno na omezení emisí oxidu uhličitého ze spalování fosilních paliv. Jsou hledány možnosti používání jiných zdrojů energie a zvyšování účinnosti energetických procesů v dopravě, ve výrobě a zabezpečování osvětlení a tepla. Dále je snaha o omezení emisí dalších skleníkových plynů, zejména metanu. Hledají se politické nástroje ke snížení rozsahu odlesňování. Naproti úsilí o snižování emisí jde snaha o zvýšení kapacity propadů vzdušného uhlíku změnou hospodaření v lesích a zalesňováním.

Klimatická změna se tedy významně dotýká lesního hospodářství ve dvou oblastech. Budou ovlivněny růstové podmínky porostů a s lesními porosty se počítá jako s významnými úložišti vzdušného uhlíku. To, jaký bude výsledný dopad klimatické změny na lesní hospodářství, je tedy v rukou lesního hospodáře.

Předpovědi klimatické změny vycházejí z globálních cirkulačních modelů a scénářů vývoje koncentrace skleníkových plynů v atmosféře (Dubrovský a kol. 2011). Vhodnost použitého globálního modelu se testuje pro daný region, v našem případě byly globální cirkulační modely testovány pro šedesát stanic meteorologické sítě České republiky. Testovalo se, jak dobře dané modely vystihují klima normálového období, tedy období 1961–1990. Multikriteriálním hodnocením byly pro naše území vybrány dva cirkulační modely, a to HadCM2 a ECHAM4/OPYC3. Pro vybrané globální cirkulační modely je dále nutno zvolit scénář vývoje koncentrace skleníkových plynů v atmosféře. Vybrán byl emisní scénář SRES-A2, který je považován za spíše pesimistický avšak velmi reálný. Vychází z představy heterogenního světa, tzn. že nedojde k podstatnému snížení rozdílu mezi bohatými a chudými zeměmi. Základní ideou scénáře je spoléhat se sám na sebe a zachovat místní identitu, dodržovat místní tradice. Spojitě bude docházet k růstu počtu obyvatel planety Země až na 15 miliard v roce 2100, ekonomický vývoj bude orientován výrazně regionálně, technologické změny budou pomalejší ve srovnání s optimističtějšími scénáři vývoje. Optimističtější variantou je např. scénář SRES-B1. Ten vychází z představy konvergentního, stmelujícího se

světa. Předpokládá se rychlý rozvoj informatiky, služeb a zavádění „čistých“ účinných technologií. Důraz se bude klást na globální řešení ekonomických a sociálních problémů a na ochranu životního prostředí.

Následujícím postupem stanovení projevu klimatické změny je možné metodami „downscaling“ (shora - dolů) přejít z globální předpovědi v měřítku stovek kilometrů na regionální úroveň. Výsledkem metody downscaling jsou scénáře klimatické změny pro síť meteorologických stanic České republiky. V této úrovni hovoříme o regionálních scénářích. Lokální scénář potom získáme pomocí orografické interpolace z regionálních scénářů. To znamená, že při interpolaci mezi body meteorologické sítě respektujeme nejen vzdálenost lokality od těchto bodů, ale také nadmořskou výšku stanoviště.

Scénář pro Českou republiku, který můžeme označit jako velmi reálný vycházející z uvedeného modelu HadCM2 a imisního scénáře SRES-A2 předpokládá, že v roce 2050 se vzhledem k normálovému období 1961–1990 oteplí o 2–3 °C, současně se roční úhrn srážek sníží o 6 mm. Délka vegetačního období by se měla v důsledku oteplení prodloužit téměř o celý měsíc (cca 29 dnů; Dubrovský a kol. 2011)

Změna klimatu významně ovlivní lesní ekosystémy prostřednictvím změn klimatických podmínek stanoviště. Podle lokálních podmínek a konkrétního stávajícího porostu může změna klimatických podmínek na daný porost působit v rozsahu negativního působení až pozitivního působení. Růst dřevin však bude také ovlivněn zvýšenou koncentrací CO₂ v ovzduší (podrobněji Urban a kol. 2011). Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na růst je možné považovat za jednoznačně pozitivní. Lze očekávat, že zvýšená koncentrace CO₂ bude zmírňovat nepříznivé dopady klimatické změny na porosty lesních dřevin. **Výsledkem by tedy měla být změna potenciálu stanoviště pro pěstování porostů lesních dřevin a naproti tomu také změna tolerance a nároků lesních dřevin ke stanovištním podmínkám.**

Uvedená změna klimatu bude znamenat posun stanovištních podmínek přibližně o dva lesní vegetační stupně směrem k nižším vegetačním stupňům. Lze předpokládat, že zvýšená koncentrace CO₂ částečně sníží negativní dopad tohoto posunu, nejvýrazněji v nižších vegetačních stupních, a to zejména zvýšením tolerance dřevin ke stresovým podmínkám. Přesto se významně zhorší podmínky pro pěstování smrkových porostů v současných středních polohách České republiky, nižší polohy budou z pěstování smrku zcela vyloučeny. Důsledkem změny klimatických podmínek bude také zvýšený tlak biotických činitelů.

Ze současných aktivit světového společenství v souvislosti s plněním závazků jednotlivých států vyplývajících z Kyoto protokolu **lze předpokládat, že lesní hospodářství může být významně ovlivněno společenskou poptávkou po jiných funkcích lesa, než je produkce dřevní hmoty. Obchodování s emisemi uhlíku a vznik „uhlíkové banky“ mohou zásadním způsobem motivovat vlastníky půd k zalesňování a lesního hospodáře ke změnám způsobů hospodaření.**

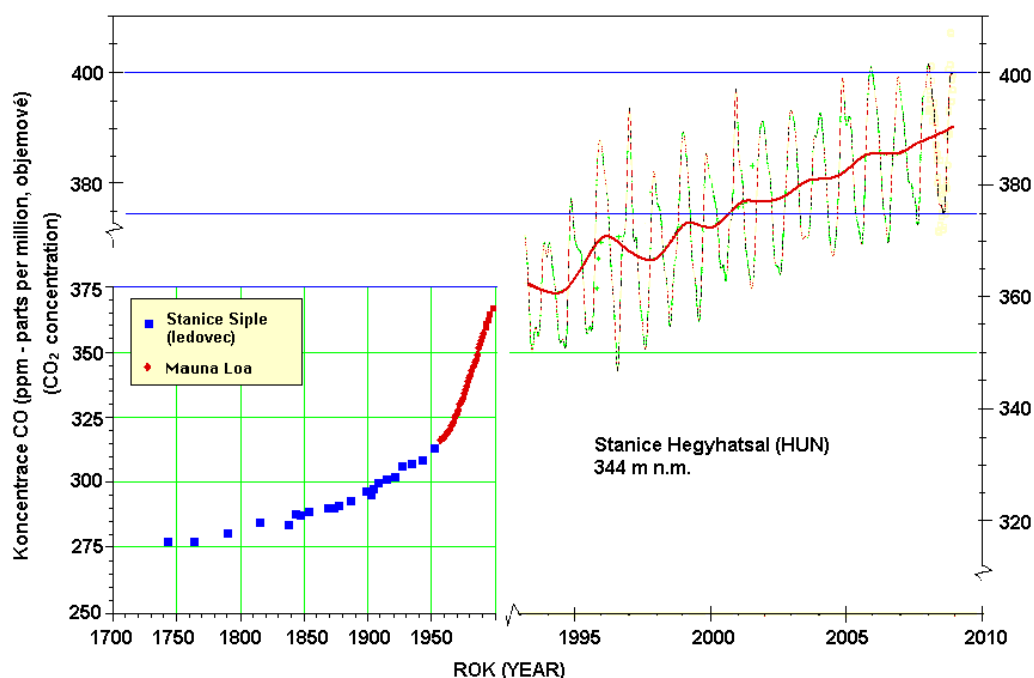
2. KLIMA A VÝVOJ KONCENTRACE CO₂ V OVZDUŠÍ

V kontextu následujícího výkladu především o změnách teploty je třeba nejprve uvést, že průměrná teplota na Zemi je přibližně 15°C, ale bez atmosféry, která obsahuje skleníkové plyny, by tato teplota klesla o celých 34°C, tedy na -19°C. Tento tzv. „přirozený skleníkový efekt“ umožňuje vznik podmínkám vhodným pro život a přijatelné podnebí. Největší podíl na

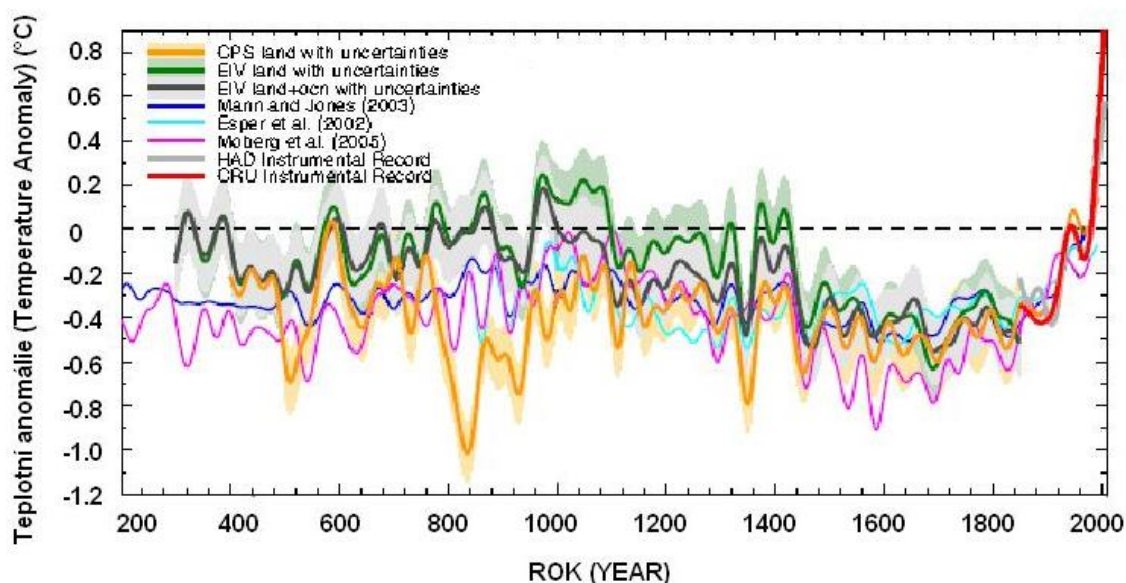
tomto efektu má vodní pára (60–70 %) a oxid uhličitý (25 %). Změny podnebí jsou přirozenou a nedílnou součástí geologické minulosti Země. Pomalé změny (řádově tisíce až desítky tisíc let) v excentricitě oběžné dráhy Země a následné změny intenzity slunečního záření, byly prvotním faktorem ovlivňujícím jak nástup, tak i konec dob ledových a meziledových s periodicitou přibližně 100 000 let (Milankovich, 1920). Objevováli se i kratší cykly s periodicitou 40 a 20 tisíc let, a změny v řádech století, které souviseli se změnami v aktivitě Slunce. V minulosti byl nárůst a pokles globálních teplot vždy doprovázený nárůstem a poklesem skleníkových plynů, zejména oxidem uhličitým (CO_2) a metanem (CH_4) (Luthi a kol. 2008). Změny koncentrace skleníkových plynů byly za změnami teplot vzduchu zpožděny v rozmezí 600 až 1000 let (Caillon a kol. 2003) a působily sekundárně jako zesilovač změn teplot. S nástupem průmyslové revoluce asi před 150 lety došlo k nárůstu emisí skleníkových plynů a tím k dalšímu navyšování skleníkového efektu a globální teploty (IPCC 2007b). Především se jedná o nárůst emisí CO_2 , ale i řady dalších radiačně aktivních plynů, zejména metanu a oxidu dusného (N_2O) (Shine a Sturges 2007). Z analýz grónských ledovců vyplývá, že koncentrace CO_2 v ovzduší se za posledních nejméně 800 000 let pohybovala v rozmezí asi 160–280 p.p.m. (tj. 0,016–0,028 objemových %) (Luthi a kol. 2008). Dnešní vzdušná koncentrace CO_2 vycházející z přímých měření je 385 p.p.m. s meziročním nárůstem 2 p.p.m. (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>) (Obr. 1). Podle různých scénářů může koncentrace CO_2 dosáhnout úrovně až 890 ppm (IPCC 2007a). Tomu odpovídá podle současných klimatických modelů příslušný nárůst globální teploty o 4 °C, s rozsahem mezi 2,4 až 5,8 °C (IPCC 2007b).

V souvislosti s nárůstem koncentrace hlavních skleníkových plynů (CO_2 , CH_4 , N_2O) není problém s jejich absolutními koncentracemi v ovzduší (víme, že před desítkami milionů let byla koncentrace CO_2 i 5 000 p.p.m. a vyšší), problém nastává s rychlostí změny v radiačním působení a následně s rychlostí změny globální teploty (Obr. 2) a omezených možnostech adaptace ekosystémů na tyto změny. Nárůst radiačního působení skleníkových plynů za poslední desetiletí je několikanásobně rychlejší, než kdykoli před tím nejméně za posledních 20 000 let (Joos a Spahni 2008). I analýzy teplot na severní polokouli ukazují, že současná rychlost změny průměrné teploty je rychlá a významná a v současnosti se pravděpodobně nacházíme v nejteplejším období za posledních 1300 let (Mann a kol. 2008). Dochází však nejen k nárůstu teploty, ale i ke změnám v časovém rozložení, lokálním výskytu a množství srážek (Solomon a kol. 2009), rychlosti větru a ostatních složek atmosféry Země včetně stratosférické ozonové vrstvy, které jsou více či méně spojeny s antropogenní činností a chápeme je tak spolu souhrnně jako tzv. globální změnu klimatu (GZK). Navíc dochází ke změnám chemizmu srážek i půd, zvyšuje se depozice dusíku, roste eutrofizace vod, a tak o tomto geologickém období, jehož dominantním faktorem se stává člověk a jeho aktivity, hovoříme jako o „antropocéně“ (Crutzen a Steffen 2003).

Současný záznam teploty ovzduší i jiných charakteristik (Tolasz a kol. 2007) je na celém území ČR prováděn v síti stanic Českým hydrometeorologickým ústavem (www.chmi.cz). Obdobným způsobem monitorovacích stanic je měřena také čistota ovzduší (oxid siřičitý, oxidy dusíku, polévatý prach, popř. přízemní koncentrace ozónu).



Obr. 1. Průběh nárůstu koncentrace oxidu uhličitého (CO_2) v atmosféře z analýz ledovce a přímých měření na nejdéle měřící stanici Mauna Loa (od r. 1958, Hawaii, USA, 3397 m n.m.) a na stanici Hegyhatsal v Maďarsku, která byla vybrána jak geograficky tak výškově nejbližší jižní Moravě. Upraveno z dat NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/iadv/>)



Obr. 2. Dlouhodobý průběh výskytu teplotních anomálií severní polokoule Země. Jednotlivé křivky reprezentují jednotlivé zdroje dat. Upraveno podle Mann a kol. (2008)

Vzdušná koncentrace CO_2 u nás přesným měřením monitorována dosud není. Orientační měření jsou prováděna pouze v souvislosti s výzkumem vlivu zvýšené vzdušné koncentrace CO_2 na lesní ekosystémy na lokalitě Bílý Kříž v Moravskoslezských Beskydách Laboratoří ekologické fyziologie rostlin ÚSBE AV ČR, v.v.i. resp. nyní Centrem výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. – CzechGlobe (www.czechglobe.cz). Tato měření budou významně zpřesněna již v roce 2013, kdy bude v rámci národní infrastruktury CzeCOS s návazností na mezinárodního projekt ICOS (Integrovaný systém monitorování uhlíku; [icos-](http://icos-europe.org)

infrastructure.ipsl.jussieu.fr/) vybudován monitorovací bod (vysoký meteo-stožár) pro měření koncentrací skleníkových plynů v atmosféře umožňující modelování jejich dálkového přenosu na území ČR, a to nejméně po dobu dalších 20 let. Ve světě je koncentrace CO₂ v ovzduší monitorována právě v postupně se rozšiřující síti pozemních stanic (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/iadv/). Nejdéle (od r. 1958) je koncentrace CO₂ v ovzduší monitorována na stanici Mauna Loa na Havajských Ostrovech. Nejbližší monitorovací stanice pro ČR jsou nyní v Německu (Hohenpeissenberg, Ochsenkopf) a Maďarsku (Hegyhatsal).

Jak se bude vyvíjet teplota v budoucích letech nám mohou pomoci předpovědět globální klimatické modely (GCM). Pro Českou republiku prováděl validaci GCM modelů Dubrovský a kol. (2005). Na základě validace 7 modelů GCM: CCSR/NIEW, CGCM1, CSIRO-MK2, ECHAM4/OPYC, GFDL-R15-a, HadCM2, NCAR DOE-PCM databáze IPCC (IPCC-SAR; http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/dkrz/dkrz_index.html) při emisním scénáři IS92a tak bylo zjištěno, že pro ČR a zvláště oblast jižní Moravy je modely nejlépe simulována právě teplota. Ostatní prvky (globální sluneční radiace, denní úhrn srážek) jsou simulovány s nižší přesností. S ohledem na nejistoty při konstrukci standardizovaného scénáře byla vytvořena sada scénářů změny klimatu, která je určena standardizovanými scénáři čtyř GCM modelů (ECHAM HadCM, CSIRO a NCAR) a dvěma hodnotami změny globální průměrné teploty. Tyto dvě hodnoty odpovídají nižšímu a vyššímu odhadu a jsou nasimulovány modelem MAGICC za předpokladu emisního scénáře SRES-B1 a nízké klimatické citlivosti (nižší odhad), respektive za předpokladu emisního scénáře SRES-A2 a vysoké klimatické citlivosti. Takto lze odhadnout nejpravděpodobnější hodnotu či interval nárůstu teploty (Dubrovský a kol. 2011).

3. FYZIOLOGICKÉ ZÁKLADY PŮSOBNÍ CO₂ NA LESNÍ EKOSYSTÉMY

Růst a zachování biomasy lesních porostů jsou nerozlučně spjaty s procesy trvalé transformace sluneční energie prostřednictvím sledu fyziologických reakcí spojených s fotosyntézou (Marek a kol. 2002, Urban a kol. 2003, Urban a kol. 2011). Fotosyntéza je biofyzikální proces, při kterém se z látek jednoduchých a energeticky chudých tvoří látky složité a energeticky bohaté. Proces přeměny je spojen s fotosyntézou a jako energetický zdroj těchto procesů je využita energie elektromagnetického záření Slunce.

Tvorba biomasy, tedy veškeré organické hmoty lesních dřevin, je spojena nejen s tvorbou organických látek ve fotosyntéze, ale je závislá i na respiraci (Janouš a kol. 2000, Acosta a kol. 2010), procesu příjmu a výdeje vody, transpiraci, a na asimilaci minerálních živin (Kupper a kol. 2006, Dieleman a kol. 2010). Je nutno podotknout, že energie nutná pro utilizaci minerálních živin, to je procesu jejich začleňování se do organických látek a metabolismu dřeviny, opět závisí na již akumulované energii sluneční radiace.

Zjednodušeně je možné tvorbu a zachování biomasy lesních dřevin považovat za výsledek *synergického (společného) příjmu a transformace*: a) energie slunečního záření, b) atmosférického CO₂ a c) vody a minerálních živin.

Je zřejmé, že procesy růstu a existence lesních porostů, tedy populací autotrofních organismů, jsou silně závislé na dostupnosti oxidu uhličitého, který slouží jako základní substrát biochemické reakce fotosyntézy, zvané *karboxylace*. Výsledkem této reakce je vazba molekuly anorganického uhlíku na skelet organického akceptoru. Tak se „anorganický“ uhlík začleňuje do „organického“ světa. Jiný způsob takové inkorporace v naší biosféře v podstatě neexistuje. Naše informace o karboxylační reakci jasně ukazují na tu skutečnost, že z hlediska průběhu této reakce je současná koncentrace CO₂ v ovzduší vlastně nízká! Předpokládané navyšování

množství CO_2 by se mělo nutně projevit ve zvýšení rychlosti karboxylace, fotosyntézy, a následné produkci asimilátů. Znamená to, že je-li globální změna klimatu spojována s nárůstem atmosférického obsahu CO_2 , pak se objektivně musí projevit i na úrovni produkce biomasy.

Obsah koncentrace CO_2 v atmosféře Země není konstantní, mění se v průběhu staletí, ale i v průběhu jedné vegetační sezóny (viz. kap 2.).

Jaké tedy mohou být účinky zvýšené koncentrace CO_2 ? V zásadě lze tyto účinky rozdělit na: i) *Přímé*, které vyplývají z funkce molekul CO_2 , jako *substrátu* pro karboxylační reakce, ii) *Odvozené*, které vyplývají z toho, že jisté molekuly CO_2 musí být přítomny, aby došlo k aktivaci enzymu fixace CO_2 , tedy úloha *CO_2 aktivátora*, iii) *Sekundární*, molekuly CO_2 ovlivňují otevřenost či uzavřenost průduchových štěrbin (podrobněji Urban a kol. 2011). Zvyšující se množství CO_2 způsobuje uzavírání průduchů, a tím se omezuje výdej vodní páry rostlinou a příjem CO_2 , tzv. *CO_2 sensor*.

Reakce rostlin na dlouhodobé působení zvýšené koncentrace CO_2 je možné sledovat na úrovních vícero fyziologických procesů, které souvisejí s produkcí biomasy a s uchováváním biomasy stávající. Tedy je možné tyto účinky sledovat na úrovni: fotosyntetické asimilace, respiračních procesů, transpirace, tvorby a distribuce biomasy (Marek a kol. 2011).

Na úrovni fotosyntetické asimilace CO_2 je možné pozorovat experimentální důkazy o tom, že zvýšený atmosférický obsah CO_2 se skutečně projevuje ve stimulaci rychlosti fotosyntézy měřené jako rychlost příjmu CO_2 . Tato stimulace je přímým důkazem zvýšené rychlosti karboxylace uvnitř asimilačního aparátu.

Dlouhodobě působící zvýšená koncentrace CO_2 může za jistých podmínek mít i zcela opačný efekt, tj. může dojít k poklesu rychlosti asimilace. Tuto situaci označujeme jako aklimační depresi fotosyntézy. Tato deprese má především příčinu v poklesu síly sinku, tedy síly tzv. vnitřního spotřebiče asimilátů. Stručně řečeno: „čím je větší tento vnitřní spotřebič, tím je fotosyntetická asimilace více stimulována“. Vnitřní spotřebič je například pozitivně stimulován situacemi, kdy jsou měněny kompetiční vztahy či další stanovištní podmínky ve prospěch stimulace růstu. **To je silná výzva směrem k praktickým lesníkům majícím po ruce prostředek, který může výrazným způsobem ovlivnit sílu růstového sinku, tj. probírku.**

Dlouhodobě působící zvýšená koncentrace CO_2 však neovlivňuje pouze rychlost fotosyntézy, tedy proces tvorby nových asimilátů, tj. základu biomasy. Příkladem je rychlost respirace, tedy procesu zpracování asimilátů pro potřeby růstu a bazálního metabolismu stromu (Marek a kol. 2011). Například respirace kmene je ovlivněna zvýšeným CO_2 , přičemž dochází k její mírné depresi, a to v průběhu celé vegetační sezóny.

Obecně je známo, že zvyšující se koncentrace CO_2 způsobuje přivření průduchů, tj. otvorů v listech či jehlicích, které jsou hlavním místem výdeje vody z rostlin. Výhodou průduchové transpirace je to, že je fyziologicky, a to v závislosti na vnějších podmínkách, regulovatelná. Přivření průduchů v důsledku zvýšeného obsahu CO_2 v okolí listu pak *vede ke zvýšené efektivnosti využití vody* v procesech tvorby biomasy.

Dlouhodobě působící zvýšená koncentrace CO_2 vede k vyšší produkci biomasy a ke změně její distribuce. Hlavním pozorovatelným účinkem je zvýšená produkce biomasy kořenů (Pokorný a kol. 2013).

Velice významnou součástí hodnocení efektů zvýšené koncentrace CO_2 na růst lesních porostů je posouzení efektivnosti, s jakou porosty produkuje novou biomasu. Tuto efektivnost

je možné hodnotit na základě účinnosti přeměny sluneční energie, tedy jaké jednotkové množství biomasy se vytvoří absorpcí jednotkového množství sluneční radiace.

Předběžné výsledky ukazují, že porosty rostoucí ve zvýšené koncentraci vykazují vyšší efektivnost využití sluneční energie při produkci biomasy.

Tyto informace dávají velkou šanci lesnictví k naplnění nové celospolečenské funkce, tedy funkce lesů jako efektivního spotřebiče nebo úložiště atmosférického uhlíku. Ukazuje se, že lesy budou profitovat z navýšené atmosférické koncentrace CO₂ a budou tento uhlík ukládat ve své biomase, opadu a půdě. **Úpravou druhové, věkové a prostorové výstavby porostu, podporou růstového sinku, především probírkovými zásahy, může lesní hospodář tuto depoziční sílu nejen udržet, ale i zvyšovat** (Cienciala a kol. 2011).

Vhodné je dodat, že **depoziční kapacita porostů najde i svou ekonomickou odezvu, tedy tržní cenu.** Vlastník lesa tak může ekonomicky profitovat nejen z ceny dříví na trhu, ale také při obchodování s emisemi z roční renty odvozené od depoziční síly porostu poutat vzdušný CO₂. V zemích EU podle instrukcí odvozených od mezinárodní konference v Kyóto (Kyoto protokol) byla původní cena jedné tuny fixovaného CO₂ odhadnuta na 10 Euro. Tato cena za tunu emitovaného – poutaného CO₂ se velmi pohybuje, nejčastěji mezi 11-22 Eury (www.co2prices.eu). V první polovině r. 2008 to bylo např. 22 Euro/tCO₂, ve stejném období r. 2009 13 Euro/tCO₂ (díky celosvětové recesi), s předpokladem na r. 2013-20 až kolem 30 Euro/tCO₂ (viz. EU Emission Trading Scheme). Z dosavadních šetření plyne, že například porost horské smrkové monokultury druhé věkové třídy (20 - 40 let) v Beskydech je schopen za sezónu pohltit cca 17 t CO₂. Tedy zisk z depozice činí cca 5 až 8 tis. Kč na hektar plochy porostu.

Je třeba zdůraznit, že úloha lesních porostů jako deponia atmosférického uhlíku, a tedy i jistého „ochránce“ proti působení globální změny klimatu je nesporná. Navíc se ukazuje, že lesník svými tradičními pěstebními postupy může sílu depoziční aktivity výrazně ovlivňovat. Můžeme proto hovořit o nové a velice důležité mimoprodukční (v klasickém pojetí) funkci lesa.

4. METODY STUDIA TERESTRICKÝCH EKOSYSTÉMŮ

Lesní porosty mají díky své schopnosti dlouhodobě ukládat vzdušný uhlík velký význam při utváření celosvětového (globálního) klimatu. To znamená, že kromě jiného plní i funkci uhlíkového sinku (spotřebiče) a dlouhodobého úložiště v jeho globálním cyklu na Zemi. Pojmem „uhlíkový sink“ je v tomto případě myšlen jakýkoliv proces či mechanismus, který vede k odnímání oxidu uhličitého (CO₂) z atmosféry.

Správné ohodnocení uhlíkové bilance a úložišť uhlíku a zejména přenesení výsledků lokálních měření až na úroveň globálních atmosférických modelů vyžaduje zkoumání v časovém i prostorovém měřítku. Časové měřítko zahrnuje rychlé biofyzikální a chemické změny v řádu sekund, ale i změny v lesních ekosystémech v řádu staletí. Prostorové měřítko zahrnuje škálu od buněčných organel přes jednotlivé stromy a porosty, až po úroveň celkové suchozemské biosféry. Na základě výsledků těchto výzkumů jsou vytvářeny modely chování jednotlivých ekosystémů v daných klimatických podmínkách. Aby bylo možné správně předpovědět změny v chování těchto ekosystémů v budoucnu, je nutné doplnit tyto modely o výsledky tzv. účinkových (impaktových) studií. Tedy experimentů, při kterých je simulována změna vybraného faktoru vnějšího prostředí, v tomto případě nárůstu koncentrace CO₂.

Pro dlouhodobé pěstování dřevin v atmosféře obohacené o CO_2 se nejčastěji používají speciální uzavřené růstové komory, větvové vaky (BB- Branch Bags) nebo komory s otevřeným vrchem (OTC- Open Top Chambers), které se liší různou mírou tzv. komorového efektu. V posledních letech se rozšířilo používání systémů volné atmosféry obohacené o CO_2 , kdy je plyn aplikován přímo do otevřeného lesního porostu, nejlépe při využívání přírodního zdroje CO_2 (tzv. FACE systémy- Free Air CO_2 Enrichment). Výhodou těchto posledně jmenovaných postupů je plné odstranění komorového efektu. Pro dlouhodobou simulaci účinků atmosféry se zvýšeným obsahem CO_2 na porosty smrku jsou v České republice na Experimentálním ekologickém pracovišti (EEP) Bílý Kříž v Beskydech používány tzv. lamelové kultivační sféry (Urban a kol. 2001; Obr. 3).

Studiem fyziologických procesů v měnícím se životním prostředí se zabývá tzv. ekologická fyziologie. Každý živý organismus či systém je charakteristický tím, že se jedná o otevřený termodynamický systém, tedy systém, který si vyměňuje látky a energii se svým okolím, má schopnost vlastní reprodukce a vývoje a má svou vnitřní paměť. Proto jde vždy při studiu ekosystémů obecně o pochopení principu toků energií a látek a jejich kvantifikaci. K tomu můžeme zvolit jeden ze tří následujících přístupů.

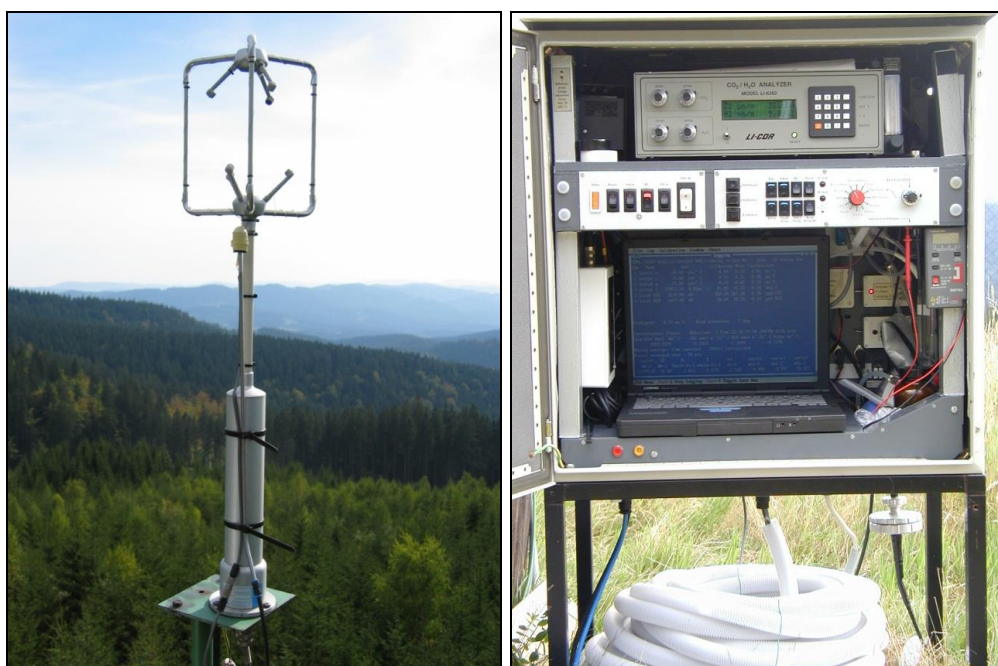


Obr. 3. Kultivační lamelové sféry pro simulaci účinku zvýšené vzdušné koncentrace CO_2 na vybrané druhy lesních dřevin a trav umístěné na EEP Bílý Kříž v Moravsko-Slezských Beskydech. Rozměry jednoho „skleníku“ jsou 9 m x 9 m x 7 m (podrobný popis viz Urban a kol. 2001).

Za prvé se jedná o *přístup analytický*, tedy přístup zabývající se detailním rozbořem jednotlivých složek systému. Zde řadíme zejména metody biochemické a biofyzikální. Jedná se zejména o metody chromatografické a elektroforézní umožňující separaci látek na základě velikosti, elektrického náboje či polarit jejich molekul. To umožňuje například sledování množství enzymů, vytvářených asimilátů či změn pigmentů chránících listy před nadměrným ozářením v průběhu dne atd. Dále to jsou metody spektrofotometrické založené na sledování změn absorpance (pohlcení) světelného paprsku, zpravidla přesně definované vlnové délky,

sledovanou látkou. Takto se dá stanovit například aktivita nejvýznamnějšího fotosyntetického enzymu Rubisco nebo množství fotosynteticky aktivních pigmentů (chlorofyly, karotenoidy). K analytickým metodám však řadíme rovněž fenologická pozorování a měření na úrovni jednotlivých stromů, tj. sledování rašení pupenů, stanovení prodlužovacího růstu, tloušťkového a výškového přírůstu kmene apod.

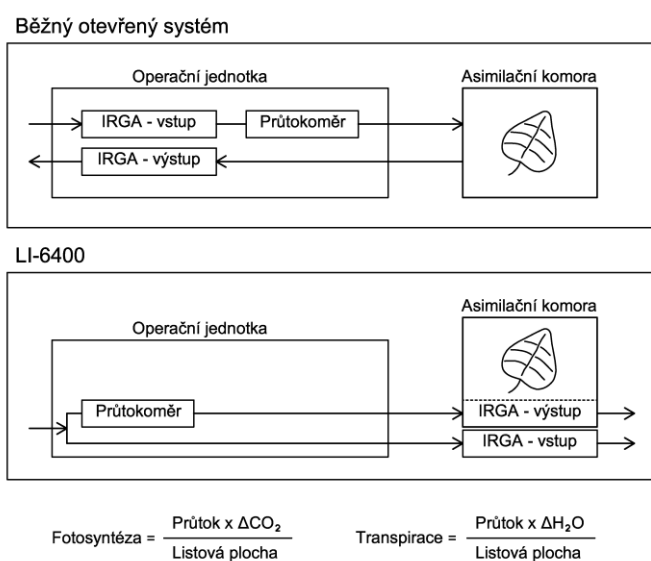
Další skupinou analytických metod rozšířených v ekofyziologii jsou metody aerodynamické, založené na měření profilu koncentrací vodní páry, rychlosti větru a teploty v sérii různých výšek v porostu a nad porostem. V poslední době se začíná prosazovat metoda eddy-kovariance, česky vířivé kovariance či přímo „turbulentní difúze“. Tento metodický přístup pohlíží na lesní porost, včetně půdní složky, jako na jeden velký list (tzv. Big Leaf Model) vyměňující si látky a energii s okolní atmosférou. Při této metodě je rychlost proudění vzduchu, rozložená do trojrozměrných pravoúhlých souřadnic, měřená pouze v jednom bodě nad porostem pomocí 3D ultrazvukového anemometru. K výpočtům výměny neboli toků vody, CO₂ a tepla mezi lesním porostem a atmosférou stačí měření příslušných koncentrací a teploty také pouze v jedné výšce nad porostem. Tato měření umožňují nejen přímé stanovení množství přijatých látek (voda, CO₂) lesním porostem, ale i celkové energetické bilance porostu a krajiny. Tu udává např. tzv. Bowenův poměr, což je poměr mezi energií odvedenou z povrchu konvekcí k energii odvedené jako výparné teplo.



Obr. 4. Eddy-kovarianční systém sestávající z 3-D ultrasonického anemometru (vlevo) a řídicí jednotky (PC) s infračerveným analyzátelem plynu (vpravo).

Druhým přístupem studia ekosystémů je *přístup merologický*. Tok energie a látek je v tomto případě sledován prostřednictvím vybraného procesu, který je nositelem informace o stavu systému. Takovýmto velice vhodným procesem je fotosyntéza a s ní spojené procesy. Proč právě fotosyntéza? Fotosyntéza je křížovatkou toků energie a látek, je úzce spjata se základními životními projevy rostliny, podmiňuje a je podmíněna ostatními procesy (transpirace, respirace, minerální výživa). Fotosyntéza je rovněž výrazně spjata s radiačním režimem porostu a ostatními mikroklimatickými faktory prostředí.

Nejrozšířenější metodou měření fotosyntézy, tj. spotřeby CO_2 resp. výdeje O_2 , je metoda gazometrická – založená na sledování dynamiky změny koncentrace plynů v atmosféře obklopující měřený list. Koncentrace CO_2 je stanovována velmi přesně pomocí infračervených analyzátorů, které pracují na principu absorpce plynů (CO_2 a vodní páry) v infračervené oblasti spektra, přičemž absorpce vzrůstá s rostoucí koncentrací daného plynu. Nárůst koncentrace CO_2 pak představuje převahu respiračních procesů (např. při nedostatku světla či poškození listu), úbytek CO_2 dokládá jeho spotřebu ve fotosyntéze (Obr. 5). Na základě měření závislosti rychlosti fotosyntézy na intenzitě dopadajícího světla, resp. koncentraci CO_2 v okolním prostředí lze vyčíslit např. efektivitu využití světla, efektivitu asimilace CO_2 , asimilační kapacitu nebo vodivost průduchů regulujících výdej vody (transpiraci) na úrovni listů.



Obr. 5. Schéma tradičního otevřeného gazometrického systému (vlevo) a otevřeného gazometrického systému LI-6400 (Licor, Lincoln, NE, USA) pro měření rychlosti transpirace a rychlosti asimilace CO_2 . IRGA představuje infračervený analyzátor plynů, který měří koncentraci CO_2 a H_2O ve vzduchu na vstupu do asimilační komůrky (IRGA – vstup) a na jejím výstupu (IRGA – výstup). Na výstupu z asimilační komůrky je koncentrace CO_2 a H_2O ve vzduchu ovlivněna aktuálním chováním listu. Rychlost fotosyntézy je vypočtena na základě změny koncentrace CO_2 na vstupu do komůrky a jejím výstupu (ΔCO_2), změna koncentrace H_2O ($\Delta \text{H}_2\text{O}$) je přímo úměrná rychlosti transpirace. Pro stanovení průduchové vodivosti je nutné měřit také teplotu listu T_L . (b) Příklad otevřeného gazometrického systému: Li-6400. Zdroj: Urban a kol. 2011.

Za pomoci matematických modelů jsou tyto výsledky měření na úrovni listů extrapolovány do měřítek porostů a globálních terestrických ekosystémů. To je spojeno s problémy vysoké variability a biologické diverzity. Proto se hledají takové vnitřní parametry systému, které vykazují nejmenší variabilitu spojenou s heterogenitou prostředí a genetickou diverzitou. Vhodným parametrem se například ukázala být efektivita (kvantový výtěžek) asimilace CO_2 . Na jejím základě je modelováno rozšíření C_3 a C_4 druhů rostlin v podmínkách zvýšené atmosférické koncentrace CO_2 .

Transpiraci lze stanovit například metodou tepelných pulsů, jako množství vody prošlé jednotkou plochy vodivé části kmene za jednotku času. Jedná se o metodu tepelného značkování vody, jejímž základem je měření časové prodlevy potřebné k odtoku ohřáté vody k teplotnímu senzoru (Obr. 6). Ze znalosti plochy vodivé části běle v příčném průřezu kmene lze vypočítat transpiraci celého stromu, případně tyto výsledky extrapolovat na úroveň celého

porostu. Dynamika transpiračního proudu je závislá na řadě klimatických parametrů, především intenzitě slunečního záření a teplotě, ale rovněž dostupnosti vody v půdě aj.



Obr. 6. Systém SF 300 (Greenspan Technology, Austrálie) pro měření rychlosti transpiračního proudu sestávající z páru sond zavrtaných přímo do kmene (vlevo) a datalogeru umožňujícím automatické měření a komunikaci s PC (vpravo).

V posledních letech se rozvíjí třetí přístup zkoumání živých systémů, tzv. *systémový přístup*. Tento přístup má, v porovnání s analytickým přístupem, přednost ve schopnosti odhalit jednotlivé strukturní celky, jejich interakce a způsoby řízení vedoucí k udržení odolnosti celého systému k proměnnému a dynamickému prostředí. Přirozená nestabilita mikroklimatu vyvolává odezvu ve formě oscilací fyziologických parametrů. Příkladem mohou být oscilace rychlosti fotosyntézy v reakci na změny intenzity dopadajícího slunečního záření do spodních pater korunové vrstvy v důsledku pohybu větví. Tvar těchto oscilací pak udává míru regulačních zpětnovazebných procesů, které úzce souvisí s doposud velmi málo probádanou oblastí – výše zmíněnou vnitřní pamětí ekosystémů.

5. OBECNÉ VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ PĚSTOVÁNÍ RŮZNÝCH DRUHŮ DŘEVIN VE ZVÝŠENÉ VZDUŠNÉ KONCENTRACI CO₂

Všem ekosystémům je vlastní schopnost autoregulace nebo-li samořízení. Jejím základem jsou vyvážené vzájemné vztahy mezi organismy a jejich přizpůsobivost (adaptabilita) v biologickém koloběhu látek a energií. Adaptací je v biologii obecně míněna změna vlastností organismu, a to jak morfologických tak fyziologických, vyvolaná změnou kvality růstového prostředí. Podstatou je pozvolné zesilování dosavadních vlastností (adaptace pozitivní, stimulující růst a vývoj rostlin) nebo naopak jejich potlačování (adaptace negativní).

V literatuře lze nalézt výsledky mnoha experimentů dokumentujících fyziologické reakce rostlin na podmínky zvýšené vzdušné koncentrace CO₂. Reakce se silně mění v závislosti na rostlinném druhu, věku rostliny, růstových podmínkách, minerální výživě a také na délce pěstování v podmínkách zvýšeného CO₂. Délka trvání experimentu je nesmírně důležitá, protože může ovlivnit výslednou aklimaci. Aklimace je definována jako jakékoli přizpůsobení se rostliny, které se vyvine během kultivace ve zvýšené koncentraci CO₂. Z časového hlediska se aklimace rozlišují na *krátkodobé*, mezi něž patří rychle vratné procesy na úrovni fyziologické, a aklimace *dlouhodobé* zahrnující procesy umožňující změny morfologických vlastností. Aklimace může být z hlediska vybrané vlastnosti rostliny pozitivní nebo negativní.

Při dlouhodobém působení zvýšené koncentrace CO₂ (měsíce až roky) byl pozorován pokles rychlosti fotosyntézy v porovnání s variantou kontrolní. Tento jev se nazývá *aklimační deprese fotosyntézy*. Vysoká koncentrace CO₂ může způsobit nahromadění asimilátů v listoví, které pak mohou zasahovat do vlastní funkce chloroplastů porušením tylakoidní membrány nebo zabraňovat difúzi metabolitů a plynů mezi chloroplastem a cytosolem. Toto poškození buněk vzniká pravděpodobně díky chybějícímu aktivnímu spotřebiči (tzv. sinku) nahromaděných asimilátů.

Zvýšený růst v atmosféře se zvýšenou koncentrací CO₂ je výsledkem nárůstu rychlosti fotosyntézy, tedy příjmu uhlíku, a na druhé straně poklesem respirace (dýchání) letorostu. Ukládání uhlíku do biomasy rostlin závisí na růstových podmínkách, zejména na minerální výživě. Klíčovou úlohou lesních porostů je především ukládání vzdušného uhlíku do půdy a biomasy na delší časové období.

Výsledky experimentů kultivace dřevin ve zvýšené vzdušné koncentraci CO₂:

Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na fotosyntézu

- rychlosti fotosyntézy, až na nepatrné výjimky, jsou vyšší
- účinnost využití slunečního záření je vyšší
- kompenzační ozáření (tj. intenzita záření, při níž rychlost asimilace uhlíku kompenzuje ztráty respirací) se sníží, prodloužení „fotosyntetického dne“
- hranice kompenzační ozáření se posouvá do nižších částí korunové vrstvy porostu
- výskyt aklimační deprese fotosyntézy při nedostatku minerálních živin a nízkých teplotách okolí rostlin (není sink pro asimiláty)
- rozdílná kvantitativní reakce druhů, změna kompetice mezi druhy
- pozitivní důsledky v produkci dřeva i potravin

Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na dýchání

- pokles během dne i noci
- celková respirace však vlivem většího množství biomasy může být vyšší

Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na účinnost využití vody

- zvýší se až dvojnásobně
- sníží se vodivost průduchů pro vodní páru až o 40 %
- sníží se rychlost transpirace na jednotku plochy průřezu kmene
- sníží se ztráty vody na jednotku plochy listu i půdy
- zlepšení vodního režimu je příznivé pro všechny druhy
- klesá hustota průduchů
- celková transpirace však může být vlivem větší celkové listové plochy větší

Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na rašení pupenů

- některé druhy dřevin budou ovlivněny (dřívější nástup), některé ne
- následný prodlužovací růst může být mírně opožděn nebo naopak urychlen ($\pm 1-2$ týdny)

Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na růst

- je pozitivní
- celková produkce biomasy je vyšší v průměru o 33 %

- významně vyšší růst kořenů
- pozitivní ovlivnění půdních mikroorganismů (včetně bakterií fixujících dusík a mykorrhizních hub)
- zvýšené odnožování trav a obilnin
- rychlejší růst a dřívější zralost
- větší výška a listová plocha bylin a trav
- změna struktury a fyziologie plodin, větší rostliny, zvýšené hromadění sacharidů
- zvýšení sklizňového indexu

Spolupůsobení zvýšené koncentrace CO₂ a vnějších stresů

- pozitivní vliv na růst je zesilován vyšší teplotou
- snižuje se nepříznivý vliv vodního stresu (vyšší koeficient využití vody- množství vody spotřebované na tvorbu jednotkového množství biomasy, větší kořenový systém)
- zvyšuje nepříznivý vliv nedostatku minerálních živin
- nepříznivé účinky atmosférických polutantů jsou sníženy přivřením průduchů
- rozdílné interakce s kompetujícími biologickými systémy (plevele, hmyz, patogeny)

Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na složení rostlinného těla

- snížení obsahu N v pletivech, tedy vyšší hodnoty C/N
- změny exudátu na povrchu kořenů, mění se druhové zastoupení půdních organismů

Výsledky pěstování lesních dřevin ve zvýšené koncentraci CO₂

		<i>/průměrná hodnota, rozpětí/</i>
jehličnany	tloušťka kmene/větv	+12%, 0% až +33%
	délka větví	+25%, -16% až +53%
	počet větví	+39%, 0% až +110%
	biomasa	+38%, 0% až +95%
	rychlost fotosyntézy	+40%
	listová plocha	+24%, -14% až +81%
	kořen/výhon	+10%, -10% až +57%
listnáče	tloušťka kmene/větv	+41%, +0% až +175%
	délka větví	+33%, -21% až +137%
	počet větví	+36%, 0% až +122%
	biomasa	+63%, 0% až +290%
	rychlost fotosyntézy	+61%
	listová plocha	+33%, 67% až +132%
	kořen/výhon	+ 9%, -35% až +74%

Pokusíme-li se generalizovat dosažené výsledky účinkových studií, je možno říci, že více budou ze zvýšené vzdušné koncentrace CO₂ profitovat listnaté dřeviny - z nich pak především ty rychlerostoucí (např. topol, vrba, dub). I jehličnaté dřeviny mohou být pozitivně stimulovány k vyšším přírůstkům.

Velikost přírůstků biomasy listnatých i jehličnatých dřevin se rapidně zvýší s lepší dostupností dusíku v půdním substrátu. Naopak nedostatek dusíku může být výrazným limitujícím faktorem růstu v podmínkách navýšené vzdušné koncentrace CO₂. Obsah a

dostupnost dusíku v půdě tak bude nejen hlavním mezidruhovým „konkurenčním“ faktorem, ale také faktorem řídícím alokaci uhlíku (kořeny vs. nadzemní biomasa). Následně bude proto muset v praxi zřejmě dojít k přehodnocení bonit jednotlivých druhů dřevin na daném stanovišti.

Dalším faktorem akcelerujícím růst je zvyšující se kapacita existujícího spotřebiče (sinku) nebo tvorba alternativních spotřebičů (např. sekundární větvení). Tvorba těchto spotřebičů je pak dána především silou konkurenčních vztahů. Silným nástrojem lesníka k úpravě těchto vztahů je pěstební zásah upravující kompetiční vztahy dřevin v porostu. Častější zásahy budou zřejmě vhodnější převážně v jehličnatých porostech, neboť listnaté dřeviny jsou „růstově drážděny“ každoroční obnovou celého svého asimilačního aparátu.

Velkým spotřebičem asimilátů při tvorbě biomasy je tvorba kořenového systému, jehož rozrůstáním se snaží rostlina zabezpečit především příjem živin z půdního substrátu. Zvětšením kořenového systému (délky i biomasy kořenů) bude zároveň dosaženo větší mechanické stability (resp. ukotvení) dřevin, čímž se sníží riziko vývrátů. Větší kořenový systém spolu s lepším využitím vody v procesu tvorby biomasy v podmínkách zvýšené vzdušné koncentrace CO₂ bude u lesních dřevin spojen také s větší šancí čelit vodnímu stresu v obdobích přísušku.

Biomasa rostlinných orgánů bude narůstat rychleji než jejich objem. Bylo shledáno, že plošný poměr mezi tloušťkou buněčné stěny a lumenem buňky vzroste, a to především u jarního dřeva. Zvýší se tak pevnost dřeva. U dřevin jako například smrk ztepilý, borovice lesní, dub letní, či třešeň ptačí bylo prokázáno navýšení počtu i velikosti buněk (tracheid popř. trachejí) v příčném průřezu kmene, zvýšení tloušťky jejich buněčné stěny a snížení počtu pryskyřičných kanálků. Hustota dřeva bude více ovlivněna přihnojováním dusíkem.

Z hlediska zakládání a pěstování lesních porostů bude nástup doby rašení pupenů méně ovlivněn zvýšenou koncentrací CO₂ v ovzduší v porovnání s vlivem zvýšené teploty, která tento nástup uspíší. Následný růst (zejména listový a letorostový) bude však mnohem expanzivnější než doposud. V posledních letech se setkáváme s vysokými teplotami vzduchu a přísuškem již v časném jarním období. Proto zřejmě vyvstane potřeba přehodnotit vhodnost jarní výsadby. V souvislosti s *globální změnou klimatu* bude také zřejmě nutné přehodnotit i podmínky pro vylišení lesních vegetačních stupňů v naší republice. Ekvivalence našich domácích druhů dřevin je poměrně široká, globální změnou klimatu budou proto ohroženy pouze ty druhy dřevin, které se již dnes nacházejí na nevhodných stanovištích. U zakládajících kultur lze předpokládat nutnost intenzivnějšího boje s buřením a v souvislosti s ochranou lesa s vyšším výskytem především savého hmyzu (mšice, sviluška, korovnice, puklice apod.).

Z výše uvedeného přehledu vyplývá, že bude zřejmě výhodné pěstovat spíše listnaté rychlerostoucí dřeviny. Z hlediska potřeby dlouhodobé akumulace uhlíku v celém lesním ekosystému bude ale stále vhodnější pěstovat dlouhověké, stín-snášející dřeviny. Vhodné bude pěstovat více-etážové porosty.

6. ÚLOHA LESŮ V GLOBÁLNÍM CYKLU UHLÍKU */PĚSTEBNÍ DOPORUČENÍ/*

Uhlík se v litosféře Země vyskytuje v čisté, pevné formě jako diamant nebo grafit (tuha). V této formě je poměrně málo reaktivní, většinou reaguje s dalšími prvky až při vyšší teplotě. V atmosféře existuje hlavně jako plyn oxid uhličitý (CO₂). Přestože tvoří velmi malý

objemový podíl z plynů atmosféry (asi 0,04 %), je zásadní pro život na Zemi (součást organické hmoty). Oxid uhličitý vzniká dokonalým spalováním uhlíku, při dýchání rostlin a živočichů, kvašení, tlení, při spalování uhlí a organických látek. Jeho zvyšující se obsah v ovzduší značně přispívá ke skleníkovému efektu. Je to bezbarvý plyn, bez zápachu, rozpustný ve vodě, těžší než vzduch. Nehoří a působí dusivě (při koncentracích v řádu jednotek %). Za nedostatečného přístupu vzduchu nebo za vysokých teplot vzniká spalováním uhlíku oxid uhelnatý. Je to značně reaktivní plyn se silně redukčními účinky (odnímá kyslík oxidovaným sloučeninám). Při rozpouštění oxidu uhličitého ve vodě vzniká slabá kyselina uhličitá.

Pro stavbu organické hmoty živých organismů je zdrojem převážně plynný CO_2 v atmosféře. CO_2 se mění v rostlinách fotosyntézou na sacharidy a dále na proteiny, lipidy, atd. Tyto látky jsou uhlovodíkovou potravou a stavebním materiálem pro zelené rostliny a živočišné konzumenty. Přitom všechny organismy dýchají, tj. přijímají kyslík a vydechují uhlík do atmosféry ve formě CO_2 . Po smrti jsou mrtvoly rozloženy a znovu mineralizovány rozkladači různého typu. V jejich trofických řetězcích se uhlík ve finále často vrací do oběhu opět ve formě CO_2 (respirace půdy). Cyklus uhlíku se zpomaluje (zpomalením činnosti fauny a mikroflóry půdních saprofytů) při nedostatku vzduchu, vody, při nízké teplotě či výrazné kyselosti prostředí hromaděním odumřelých organismů a zbytků rostlin.

Životní cyklus stromů je dlouhý, jejich rychlost migrace omezená, a proto většina z dnes vysazených či přirozeně zmlazených a odrůstajících stromů bude růst v podmínkách prostředí a klimatu, které bude v dané oblasti panovat za několik desítek až stovek let. Pro „přirozené“ i hospodářské lesy je proto velmi důležité poznat adaptační mechanismy jednotlivých druhů dřevin i celých ekosystémů k očekávaným změnám podmínek klimatu. **Za nejdůležitější faktor vyvolávající nastupující „globální změnu klimatu“ (GZK) je považována zvyšující se koncentrace CO_2 v ovzduší.** Zvyšující se koncentrace CO_2 v ovzduší ovlivňuje dřeviny a lesní ekosystémy mnoha způsoby zahrnující jak přímé účinky, neboť CO_2 je substrátem i aktivátorem fotosyntézy, tak nepřímé které jsou zprostředkovány (tzv. sekundární a terciární účinky, Marek a kol. 2011).

Je téměř nezpochybnitelné na základě výzkumu historických koncentrací CO_2 na Zemi i přímých měření z posledních desetiletí, že **tyto koncentrace narůstají (v současnosti rychlostí 1,5 až 2 ppm za rok) a s ohledem na předpokládaný vývoj lidské populace budou stoupat i nadále (IPCC 2007).** Spolu s nárůstem koncentrací CO_2 **lze předpokládat s různou měrou pravděpodobnosti a v kombinaci s různými emisními scénáři pomocí klimatických modelů (tzv. GCM- modely globální cirkulace) převážně nárůst teplot, změnu v množství a rozložení srážek během roku** atd. (Dubrovský a kol. 2005, Marek a kol. 2011). Omezená míra pravděpodobnosti vychází především z vysoké variability dat a z důvodu neznalosti jak veškerých přímých tak především zpětno-vazebných mechanismů (např. oblačnosti). Ještě více nejistá je pak predikce změn klimatických parametrů v lokálních měřítcích. Jak se nejpravděpodobněji změní hodnoty jednotlivých klimatických prvků ze současných na očekávané např. v r. 2050 v různých oblastech ČR, graficky zobrazuje zvlášť pro letní i zimní období Dubrovský a kol. 2011. Protože pěstování rostlin v zemědělství i lesnictví je ohrožováno především výskytem extrémních klimatických podmínek, byly zpracovány také trendy ve vývoji klimatických extrémů (teplotních a srážkových). Bylo zjištěno, že **maximální denní teploty i délka horkého období v průběhu roku téměř na celém území ČR vzrostou. Roční extrémy v denních minimálních teplotách i délce studených období se změní statisticky nevýznamně stejně jako srážkové extrémy. Období sucha se budou spíše zkracovat.**

Úloha lesů v globálním cyklu uhlíku i v mírnění dopadů globální změny klimatu je zřejmá, neboť lesní dřeviny jsou dlouhožijícími autotrofními organismy schopnými

odnímat atmosférický CO₂ a ukládat ho následně do své biomasy, ekosystému. Biomasa a v ní obsažený uhlík (podíl uhlíku v biomase činí přibližně 50%, IPCC 2007) je z porostu v hospodářských lesích z velké části odvážena a následně po delší či kratší dobu **uchovávána v podobě různých sortimentů či výrobků ze dřeva apod.** Zbývající část ve formě opadu, těžebních zbytků, odumřelých stromů, pařezů atd. v lese zůstává a uhlík z ní může být následně uvolněn či fixován v půdním prostředí, a to dokonce na dobu několikanásobně delší než v biomase (Hyvönen a kol. 2007). Ukazuje se, že porosty vyšších poloh (od 600 m n.m.) mírného pásma s vysokým podílem smrku ztepilého mohou být z tohoto pohledu velice významným úložištěm uhlíku (Janssens a kol. 2003, Vetter a kol. 2005). **Smrk ztepilý (*Picea abies* [L.] Karst.) je v současnosti nejzastoupenější dřevinou lesů České republiky (52 %, www.uhul.cz/zelenazprava) i lesů Evropy (35%, Wirth a kol. 2004). Je naší hlavní hospodářskou dřevinou.** Ač je jeho podíl v našich lesích vysoký, přirozeně by dosahoval maximálně 11% zastoupení. Nesmíšené porosty vytvářel smrk pouze ve smrkovém lesním vegetačním stupni (lvs), od 4 - 5. lvs, kde nachází svoje produkční maximum, však již tvořil spolu s bukem a jedlí klimaxová společenstva. **Smrk je výjimečnou dřevinou právě s ohledem na tvorbu klimaxových společenstev při své pionýrské strategii růstu. Je poměrně rychlerostoucí dřevinou s dobrou kvalitou dřeva a nízkými nároky na půdní prostředí (široká eko-valence). Stresem většinou trpí z nedostatku vláhy** (stanoviště s ročním úhrnem srážek pod ca 600mm), což vede sekundárně k napadání biotickými škůdci. Z abiotických činitelů je ohrožován větrem, sněhem a námrazou pro jeho mělký kořenový systém. Před 50 lety bylo zastoupení smrku ještě ca o 10% vyšší než dnes, avšak hromadný úhyn v monokulturách a na nevhodných stanovištích, přinutil lesníky k postupným přestavbám na porosty smíšené zejména s bukem (Souček a Tesař 2008). Pěstování smrku v monokulturách bude zřejmě uplatňováno pouze při plantážních hospodářských postupech (s dobou obměty do ca 60 let), nicméně pro jeho hospodářskou efektivnost **je plánováno v optimalizované porostní skladbě s jeho zastoupením ca 37%** (Souček a Tesař 2008).

Tato práce shrnuje dosažené výsledky kultivace smrku jak v komorách s otevřeným vrchem – měřítko jedinec, tak v kultivačním zařízení lamelových sfér – měřítko porost a porovnává je v diskusích s dalšími studiemi na jedincích či porostech se zastoupením smrku rostoucích v podmínkách zvýšené vzdušné koncentrace CO₂ ve snaze odhadnout další pěstební perspektivy smrku v kontextu GZK.

Při vyvozování závěrů budoucích pěstebních perspektiv je třeba stavět na poznatkové bázi reakcí řady fyziologických, morfologických a chemických procesů, které jsou v jednotlivostech ovlivněny, v daném případě zvýšenou vzdušnou koncentrací CO₂, třeba i nízkou měrou a statisticky neprůkazně ($P=0,95$), avšak v interakcích či komplexním pojetí mohou výrazně změnit „chování“ celé rostliny, produkci biomasy aj. Produkce biomasy je v podstatě výsledkem fyziologických procesů, z nich klíčovou úlohu hrají především procesy fotosyntézy, respirace a transpirace. Vliv intenzity dopadajícího slunečního záření, teploty, dostupnosti vody i živin na fyziologické procesy a jejich průběh je znám (např. Larcher 2003). Řada otázek však zůstává dostatečně nezodpovězena, především co se týče časové dynamiky fyziologických procesů v reakci na změny v intenzitě sluneční radiace, koncentrace CO₂ v ovzduší, teplotě a vlhkosti vzduchu aj. Například, jaký vliv mohou mít náhlé i déletrvající výkyvy počasí či klimatických faktorů? Jakou měrou bude změněné prostředí se zvyšující se vzdušnou koncentrací CO₂ ovlivňovat fyziologické procesy, růst a vývoj či morfologické parametry smrku i jiných druhů dřevin a rostlin tvořících se smrkem porosty v celém koncepčním pojetí „funkčního ekosystému“? Jaký komplex spolupůsobení více faktorů bude mít největší vliv na zmiňované procesy? Směřujeme k hledání nového „ideotypu“ (Donald 1968)? Tedy jedince/ porostu nejen plně produkčního v podmínkách GZK, z hlediska hospodářského výnosu, ale i jedince/ porostu blíže přírodního typu

s primární úlohou přežít a reprodukovat se? Tyto otázky zřejmě zůstanou ještě jistou dobu nezodpovězeny, neboť simulovat celý komplex v prostoru i čase se měnících faktorů je velmi obtížné. Z hlediska pěstební a výnosového je pak třeba se ptát, jaká bude produkční aktivita, produkce a vlastní výnos, jenž je větší měrou dán celospolečenskou poptávkou po užitcích lesa (Marek 1992). I když tlak prostředí na stabilitu, zdravotní stav či produkci lesních porostů a především dynamika jeho změn může být v budoucnu tak velká, že prvotním zájmem může být i prosté zachování lesa.

Během posledních desetiletí se ekologický výzkum zaměřil na studium reakcí rostlin a suchozemských ekosystémů na zvýšenou vzdušnou koncentraci CO_2 v ovzduší o čemž svědčí řada přehledových studií (např. Eamus a Jarvis 1989, Ceulemans a Mousseau 1994, Luo a kol. 1999, Urban 2003, Körner 2006). **Původní předpoklady a výsledky účinkových studií z kultivací rostlin v atmosféře s navýšeným CO_2 dokládaly výraznou pozitivní stimulaci rychlosti fotosyntézy** (Farquhar a kol. 1980, Sage 1990), **k níž dochází i u smrku** (Marek a kol. 2002, Urban a kol. 2003). **Současně však u smrku, jako u většiny jehličnanů, dochází ke snížení fotosyntetické kapacity, která rychlost fotosyntézy následně zpomaluje (tzv. aklimační deprese fotosyntézy).** Experimenty potvrzují, že fotosyntetická kapacita je pod vlivem zvýšené koncentrace CO_2 v ovzduší řízena kombinací celé řady biochemických, morfologických a fyziologických zpětno-vazebných mechanismů (podrobněji Urban a kol. 2011 v Marek a kol. 2011). U smrku ztepilého byla nalezena v tomto ohledu **výrazná periodicitu v průběhu růstové sezóny díky aktivitě či redukci růstového sinku** (místo spotřeby uhlíku v rostlině), což je spojeno se spotřebou asimilátů pro aktivní růst, či akumulací sacharidů a škrobů v jehlicích, a **především díky snížení obsahu dusíku v jehličí** (zředovací efekt, Dieleman a kol. 2010). **Aklimační depresi u smrku výrazně prohlubuje právě nedostatek dusíku v jehličí a jeho dostupnost v půdě. Dusík bude tedy jedním z významných limitujících faktorů pro trvalou stimulaci fotosyntézy a tvorbu biomasy** (Dieleman a kol. 2010).

Bylo možné předpokládat, že pokud bude smrk schopen tvorby alternativních sinků (tj. míst spotřeby pro zvýšené množství asimilátů např. tvorbou sekundárních struktur), ať už jako přirozená reakce nebo vyvolaná, například probírkovým zásahem, **je možné fotosyntetickou depresi zmírňovat. Tvorba sekundárního větvení, sekundárních kořenových struktur i stimulace přírůstu po schematickém pěstebním zásahu při pěstování smrku ztepilého v kultivačním zařízení lamelových sfér tyto předpoklady potvrzovala** (Marek a kol. 2011, Pokorný a kol. 2012, 2013). Potvrzovala to i **stimulace růstu primární struktury, nových ročníků jehlic a letorostů v jarních měsících (květen – červen, kap. Pokorný a kol. 2010, 2013).** Nově se dělicí pletiva (meristémy) jsou totiž nejaktivnějším sinkem pro asimiláty.

Produkce a přírůst biomasy je odvozen od „fixační“ bilance uhlíku tj. rozdílem mezi jeho příjmem fotosyntézou a výdejem respirací. Respirace kmene i kořenů smrku, závislá především na teplotě a růstové aktivitě, se pouze v důsledku vlivu zvýšeného množství CO_2 v ovzduší statisticky průkazně nezvýšila. Avšak její vyšší hodnoty i na konci růstové sezóny vypovídají o **prodlužujícím se období fyziologické aktivity** (Janouš a kol. 2000, Acosta a kol. 2010), **což může mít význam při odrůstání v konkurenčním boji s buřením či listnáči.** Z analýzy různých druhů prací se jeví, že **odrůstání dřevin do doby tvorby korunového zápoje (vzájemný dotyk a počátek prolínání korunových těles) či zaplnění prostoru půdy kořeny bude rychlejší v důsledku dostatečného růstového prostoru (korunového i půdního) a zásobení živinami, což může podporovat odrůstání dřevin před bylinnou vegetací** (Körner 2006). Toto bude však zřejmě nutno stanovištně diferencovat, neboť **buřeň (včetně invazivních druhů) bude zvýšenou koncentrací CO_2 růstově stimulována také** (Kubínová 2008, Woodward a Kelly 2008).

Nakolik bude zvýšená depozice dusíku (Hruška a kol. 2002) pokrývat zvyšující se nároky či naopak brzdit dekompoziční procesy zůstává otázkou. Nicméně **k přehodnocení kvality či bonity stanoviště pro smrk (i jiné druhy dřevin) s vysokou pravděpodobností dojde. Tvorba sinků v podobě stimulace růstu primární struktury či tvorba sekundárních struktur je u smrku patrná**, jak bylo zmíněno, z konkrétních výsledků získaných na Experimentálním ekologickém pracovišti (EEP) Bílý Kříž. Jedním z primárních sinků může být **zvyšující se rychlost růstu letorostů a jehlic po vyrašení pupenů**, které je i v podmínkách zvýšené vzdušné koncentrace CO₂ řízeno především teplotou (Pokorný a kol. 2010). Nejvýznamnějším aktivním sinkem jsou však **jemné kořeny** (Pokorný a kol. 2012), jejichž tvorba je silně stimulována zřejmě především zvýšenou poptávkou po dostatečném zásobování dusíkem. Tomuto zvýšenému požadavku odpovídá také výrazná podpora tvorby **sekundární struktury kořenového systému jako alternativního sinku**. Dalším alternativním sinkem je zvýšená tvorba **sekundárního větvení** (Pokorný a kol. 2012).

Nejvhodnějším **stimulačním nástrojem**, který je lesníkovi nejdostupnější, může být klasický **výchovný zásah (prořezávka, probírka)**. V důsledku tohoto zásahu je ovlivněna kompetice, kdy se kromě zvýšení světelného požitku zvyšuje dostupnost vody, dusíku a živin z půdního prostředí (uvolněním prostoru a dekompozicí zbytků po těžebním zásahu). Probírkou vyvolaný přírůst primárních struktur (nových letorostů, kořenů i kmene) funguje jako akcelerující „spotřebič“ pro zvýšenou produkci asimilátů pod vlivem EC. **Četnější zásahy nebo zásahy vyšší intenzity by byly zřejmě stimulačně výraznější. V tomto ohledu je však třeba dbát se zvýšenou opatrností na zachování tzv. funkční struktury porostu**, která v komplexu druhové, věkové a prostorové skladby porostu zaujímá výjimečné postavení, a to jako funkčního integrátora ekologických procesů v lesním ekosystému. **Především se jedná o zachování koloběhu dusíku a nenarušení procesů a vazeb v jeho příjmu z půdního prostředí.**

Z hlediska světelného režimu v podmínkách zvýšené vzdušné koncentrace CO₂ (EC) bude smrk sice pravděpodobně schopen vytvářet víceetážové a strukturně bohatší porosty, jak dokládá rozdílný stupeň stimulace fotosyntézy slunného a stinného typu jehličí v porostech s různou hustotou, na druhou stranu **vyšší hodnoty ozářenosti korun stromů (nad 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) stimulující výrazněji celkový denní průběh fotosyntetické asimilace uhlíku** v podmínkách EC, ponechá smrk zařazen mezi slunné či stín-snášející dřeviny jako doposud s maximalizací produkce při dostatečném světelném požitku (Špunda a kol. 2005, Pokorný a kol. 2012). **Jeho ekovalence ke světlu tak bude zřejmě širší a vliv pěstebních zásahů bude mít větší růstově-stimulační efekt. Jeho výjimečnost v tom, že je pionýrskou a zároveň klimaxovou dřevinou bude ještě umocněna.**

Očekávat lze v podmínkách EC nejen nárůst biomasy při dostatečně bohaté půdě na dusík, ale také změnu kvality dřeva kmene (Janouš a Pokorný 1999, Tomášková kol. 2007). To dokládá jak vývoj hustoty dřeva kmene tak analýza buněk dřeva v příčném průřezu, kde nalezený větší podíl tloušťky buněčné stěny ku lumenu nasvědčuje zvýšení pevnosti dřeva. **Smrk tedy zůstane i z tohoto hlediska perspektivní dřevinou s dostatečnou kvalitou dřeva pro široké využití v průmyslu a stavebnictví.** I zde je třeba věnovat pozornost dostupnosti dusíku, neboť jak uvádí Kostianen a kol. (2004), i kvalita dřeva je jí v podmínkách zvýšené vzdušné koncentrace CO₂ opět výrazně podřízena.

Z hlediska vodního režimu a nároků smrku na vodu bude smrk v podmínkách zvýšené vzdušné koncentrace CO₂ oproti těm dnešním zvýhodněn, a to hned z několika důvodů. Jedním z nich je **snížení stomatální vodivosti** (např. Ainsworth a Long 2005). Díky níž dochází ke **zvýšení efektivity využití vody**. V porovnání s bukem byla u obou druhů dřevin nalezena vyšší efektivita využití vody, která s narůstající teplotou exponenciálně klesá více

v současné koncentraci CO₂ oproti navýšené (700 ppm), a to výrazněji u buku (Urban, nepublikováno). **Listová plocha se sice zvětší, avšak méně než její biomasa či plocha absorpčních kořenů** (Pokorný a kol. 2013). **Hustota průduchů nebude výrazně změněna**, takže výparná plocha se zvětší víceméně úměrně s nárůstem celkové listové plochy. V našich předběžných analýzách (nepublikováno) byla hustota průduchů jehlic smrků v podmínkách EC mírně vyšší oproti současným podmínkám (73 ± 8 vs. 68 ± 10 ; průměr $\pm$ sm.odch., statisticky nevýznamně). Rozdíly ve specifické rychlosti transpiračního proudu v kmeni a celkové transpiraci byly zaznamenány na počátku po zahájení experimentu zkoumání vlivu zvýšené koncentrace CO₂ (z důvodu poklesu stomatální vodivosti), následně po několika letech trvání experimentu především v obdobích přísušku, kdy se projevila morfologická změna v podmínkách EC tj. změna proporcí mezi výparnou plochou, plochou vodivé části běle kmene a absorpční plochou jemných kořenů (Urban a kol. 2011). Statisticky významně se totiž v podmínkách EC **zvětšila jak biomasa tak délka a plocha jemných - absorpčních kořenů** (Pokorný a kol. 2013). Tyto výsledky dokládají, že u smrku oproti současnosti dojde ke zlepšení „hydraulických“ poměrů, hospodaření s vodou a přežívání období snížené dostupnosti vody v půdě bez závažnějších dopadů na růst a vývoj, což potvrzuje i analýza dalších 20 studií na smrku (Körner 2006). Pokud se tedy jedná o odpověď na to, jaký vliv mohou mít náhlé i déletrvající výkyvy klimatických extrémů, pak **vůči přísuškům bude smrk pravděpodobně odolnější**. Neznamená to však, že smrk bude schopen růst trvale v oblastech s nedostatkem srážek. Především v nižších polohách a teplejších oblastech povedou vyšší teploty ke zvýšení výparu bez ohledu na vyšší koncentraci CO₂ v ovzduší, zvýšení respirace a tím snížení produkce smrku případně až odumření v důsledku negativní bilance (vodní i uhlíkové). Zvyšování ztrát uhlíku respirací vyplývá z teplotních závislostí fotosyntézy a respirace (Larcher 2003), kdy s teplotou narůstá respirace asi 2,5 krát rychleji. **Nárůst respirace celého ekosystému je jedním z velkých nebezpečí, kdy se celé biomy namísto sinku (spotřebiče) CO₂ mohou stát jeho producenty**. Na druhou stranu zrychlenou dekompozici může více uvolněných živin podporovat zpětně fotosyntetickou fixaci uhlíku zvláště na chudých stanovištích (Kirschbaum 2004). **Zrychlí se tak pravděpodobně dynamika uhlíkového cyklu**.

I když rašení pupenů smrku je ovlivňováno především teplotou a vlivem vyšší koncentrace CO₂ v ovzduší je uspišeno jen mírně (o 2-5 dnů, Pokorný a kol. 2010), s ohledem na následný rychlý vývoj letorostů po vyrašení pupenů a také s ohledem na předpokládané změny v distribuci srážek i nárůstu teplot lze očekávat, že vhodné podmínky pro výsadbu smrku v jarním období budou trvat kratší dobu nebo dokonce jen několik málo dnů. Při umělé obnově tak bude zřejmě třeba smrk vysazovat spíše na podzim nebo využívat obalovanou sadbu. V následném zajištění kultur bude třeba ve vlhkých obdobích a na bohatých stanovištích ještě více než doposud bojovat s buřením, či invazivními druhy rostlin (Woodward a Kelly 2008). Dalším potenciálním nebezpečím je s ohledem na zvýšenou tvorbu a hromadění produktů asimilace v jehličích i pupenech (Pokorný a kol. 2013) **zvýšený výskyt savého a listožravého hmyzu**. Z důvodu založení experimentu zkoumání vlivu EC v „umělých podmínkách“ tj. komorách s otevřeným vrchem i lamelovém kultivačním zařízení na EEP Bílý Kříž nebylo možno koncepčně a statisticky relevantními způsoby vyhodnotit výskyt hmyzu, nicméně byl v podmínkách zvýšené koncentrace CO₂ na smrcích zaznamenán zvýšený výskyt: svlušky (*Tetranychidae*), mšice (*Cinara curvipes*), korovnic (*Sacchiphantes abietis*, *Adelges tardus*), a při analýze kořenového systému i larvy lalokonosce rýhovaného (*Otiorhynchus sulcatus*; zřejmě z důvodu větší produkce exudátů, nestanoveny). Zvýšený výskyt hmyzu souvisí i se zvyšující se teplotou (příznivé podmínky), obsahem dusíku v jehličích, floémovým tokem atd. V podmínkách globální změny se mohou měnit „zákonitosti“ poškozování listožravým hmyzem a patogeny několika způsoby: 1) přímo

ovlivněním jejich vývoje a přežíváním, 2) fyziologickou změnou v obranném mechanismu stromů a 3) nepřímo změnou v početnosti přirozených nepřátel, mutualismu a kompetici (Körner 2000). Díky krátkému životnímu cyklu, pohyblivosti, reprodukčnímu potenciálu a fyziologické citlivosti k teplotě se předpokládá, že rozšíření a četnost výskytu mnoha druhů hmyzích škůdců a patogenů vzroste (Ayres a Lombardero 2000).

Při volbě hustoty sponu výsadby bude třeba vycházet z ekonomických nákladů na přípravu stanoviště, předpěstování vhodného sadebního materiálu smrku a především ze zvýšených nároků na zásobu dusíku v půdě. Přihnojování je ekonomicky více-nákladem, který však zůstává v podmínkách EC k reálnému zvážení. **Výběr stanoviště či vhodná porostní směs, kde by smrk netrpěl nedostatkem v zásobování dusíkem bude zřejmě zásadní.** S ohledem na dostupné množství dusíku v půdě a schopností smrku lépe přežívat období přísušků by bylo zřejmě vhodnější volit řidší spon výsadby. Na druhou stranu se zdá, že by byl smrk schopen růstu a tvorby srovnatelné produkce v podmínkách EC jako v současnosti v porostech s vyšší hustotou, a bylo by tak možno prodloužit i interval probírkových zásahů s ohledem na využití slunečního záření. Avšak opět díky limitaci dusíkem nebude prodlužování těchto intervalů vhodné. Ve zvýšené vzdušné koncentraci CO₂ navíc narůstá oproti současným podmínkám prostředí listová plocha více, tudíž při stejné hustotě porostu budou světelné podmínky uvnitř budoucích porostů nižší, což může být vyváжено právě snížením hodnoty kompenzační ozářenosti (Marek a kol. 2002). Opad se může zvýšit, neboť listoví spolu s jemnými kořeny jsou vhodným, vysokým i když krátkodobým (z hlediska rychlosti obratu) sinkem – spotřebičem uhlíku. Víme-li, že maximální produkce či efektivita produkce smrkového porostu je optimální při určitých hodnotách množství listové plochy v korunové vrstvě (kvantifikováno indexem listové plochy, LAI) nabývajících hodnot 8 - 10 nad nimiž následně efektivita klesá (Pokorný a kol. 2008), je možno hodnoty LAI brát jako ukazatel pro aplikaci pěstební zásahu. Ačkoli budou tedy smrkové porosty schopny dosahovat vyšších hodnot LAI, optimální hodnoty LAI se příliš měnit nemusí. Optimální hodnoty LAI stejně jako maximální hodnoty LAI se nemusí měnit ani z důvodu limitace dusíkem. Smrk tak sice bude schopen růstu v hustších porostech než dnes či dokonce částečně ve spodní etáži, ale pro maximalizaci jeho produkce bude vhodnější provádět pěstební zásahy s vyšší frekvencí nebo intenzitou pro udržení optimálních hodnot LAI a udržení vyšších ozáření v korunách, a to zvláště v částech s vyšší hustotou listoví. Při vyšších ozářeních je totiž denní průběh čisté asimilace CO₂ u smrků kultivovaných ve zvýšené vzdušné koncentraci CO₂ (EC) vyšší (Špunda a kol. 2005). **Probírkový zásah tak může mít mnohem větší stimulační efekt než dnes** uvolněním růstového prostoru (Pokorný a kol. 2012). Bohužel výzkum tohoto typu v podmínkách EC je stále nedostatečný.

Větší podpora růstu kořenového systému smrku (biomasa, délka i plocha kořenů) v podmínkách EC, který tak obsáhne větší plochu (či objem půdy) a zabezpečí kromě lepšího zásobení dřeviny živinami a vodou, **pravděpodobně i větší mechanickou stabilitu a zvýší odolnost smrku převážně ve vyšších polohách proti působení bořivého větru, sněhu a námraze.** O vlivu zvýšené vzdušné koncentrace na prostorovou distribuci kořenů v půdním prostředí toho však bohužel víme ještě málo.

Ač se z porovnání v růstové reakci na zvýšenou koncentraci CO₂ mezi listnatými a jehličnatými dřevinami může zdát, že v konkurenčním boji a pěstování v porostní směsi s listnatými dřevinami bude smrk znevýhodněn, neboť listnaté dřeviny jsou zvýšenou koncentrací CO₂ růstově stimulovány většinou více (např. Pritchard a kol. 1999), **byl smrk shledán úspěšnější například v konkurenci s bukem na kyselých půdách a dokonce produkčně srovnatelný na půdách obohacených vápníkem** (Körner 2006). Listnáče jsou růstově stimulovány každoroční náhradou vlastního asimilačního aparátu, který funguje jako

první významný „orgánový“ spotřebič. Smrk bude sice snášet větší zastínění aniž by oproti současnosti poklesla jeho produkce, ale ve srovnání s přírůstkem listnáčů by pouze tímto v konkurenčním boji s nimi neobstál. Bude tedy zřejmě vhodnější pěstovat jej ve skupinovitém či jednotlivém smíšení s dřevinami méně náročnými na obsah dusíku v půdě, které příznivě působí opadem na vlastnosti půdy a půdní procesy (většina melioračních a zpevňujících dřevin). Vhodnou formu smíšení je však třeba ještě více experimentálně testovat. Výhodou smrku oproti listnáčům je délka růstové sezóny resp. „produkčního období“, které se bude s ohledem na GZK ještě prodlužovat.

Při simulaci změn klimatických podmínek a jejich přenesení do prostorového měřítka ČR, lze **předpokládat, že dojde především vlivem nárůstu průměrných teplot k posunu lesních vegetačních stupňů o 1-2 lvs do vyšších nadmořských výšek** (Vinš a kol. 1997). Tím se z hlediska teplotních a vlhkostních nároků **posune optimum podmínek pro pěstování smrku do vyšších poloh; ze současných 3. a 4. lvs by tak vymizel smrk téměř úplně (až na možné výjimky, chladná a vlhkostně příznivá údolí, severní svahy apod.)**, obdobně ve vyšších lvs s menším plošným rozsahem, na méně živných stanovištích bude díky menšímu přírůstku (ve srovnání s jinými druhy dřevin) a konkurenci jej možné pěstovat spíše jako přimíšenou nebo vtroušenou dřevinu. Z předběžných měření změn teplotních závislostí rychlosti asimilace v podmínkách EC resp. teplotní aklimace se zdá, že smrk například oproti buku posune své teplotní optimum světlem saturované rychlosti fotosyntézy více, a to dokonce až o ca 8 °C ve srovnání s bukem o ca 3 °C (Urban, nepublikováno). Tento optimistický výsledek podporující možné pěstování smrku i v nižších polohách, resp. těch současných i při předpokládaném zvýšení teplot, je však třeba v celkovém kontextu mírnit, neboť citlivost respiračních procesů k působení teploty je vyšší v porovnání se stimulací vlastní asimilace CO₂. Asimilační účinnost, definovaná jako poměr maximální rychlosti asimilace ku temnotní respiraci, s nárůstem teploty může totiž v konečném důsledku klesnout.

Optimální pro smrk budou v blízké budoucnosti zřejmě podmínky vyšších poloh pokud možno bohatších stanovišť. Současný trend v lesnictví podporuje snižování zastoupení smrku v lesích ČR především v nižších polohách a je jen na lesním hospodáři jaké procentické zastoupení bude z hlediska přírodních a ekonomických podmínek cílové (Cienciala a kol. 2011).

Protože experimenty s umělým navyšováním CO₂ v ovzduší nemají dlouhého trvání (počaly většinou v 80.–90. letech minulého století), a navíc většinou byly sledovány spíše reakce mladých dřevin ve fázi intenzivního růstu v umělých růstových podmínkách (vaky či zařízení s komorovým efektem, kultivační zařízení s upraveným půdním prostředím –mechanickou úpravou či promíšením půdních horizontů, úpravou skeletnatosti, dodání umělého substrátu, dodání živin, změna hydrického režimu apod.) **nelze s jistotou říci, že jsou známy všechny adaptační mechanismy a jejich intenzita projevu ani u smrku ztepilého**, jako jedné z geneticky dobře přizpůsobivých dřevin. V těchto experimentech jsou různým způsobem kultivováni jedinci bez vlivu kompetice či soubor jedinců simulujících porostní měřítko, avšak s nízkou úrovní funkční struktury porostu. Při zkoumání vlivu zvýšené vzdušné koncentrace CO₂ na různé variety smrku ztepilého se mimo jiné **jižní ekotypy jeví adaptabilnější než severské** (Vanhatalo a kol. 2003). Také nelze přesně říci, jaké bude chování smrku a jeho porostů při spolupůsobení více extrémních či pozměněných faktorů prostředí (zvýšený příkon UV-B, vyšší koncentrace přízemního ozónu, depozice dusíku, síry atd.). Komplex vlivu vnějších podmínek je velmi obtížné identifikovat natož simulovat. Částečně je tento nedostatek kompenzován možným sledováním působení zvýšené koncentrace CO₂ v ovzduší na lesní dřeviny rostoucí ve volné přírodě ve funkčním ekosystému (tzv. FACE z anglického Free Air CO₂ Enrichment) tj. se stabilizovanými

koloběhy živin, vody, rozvinutou mykorhizou atd. nebo-li v porostu s dostatečnou „funkční“ strukturou. Pro možnost zkoumání vlivu zvýšené koncentrace CO₂ na ekosystém, porost či skupinu dospělých stromů vlastně lepší technologie dosud vyvinuta nebyla. Na druhou stranu kultivační zařízení umožňují řízeně simulovat působení jednoho i více faktorů současně a pochopit funkční podstatu účinku každého z nich v různých vazbách.

Výsledky z kultivačních zařízení (komor s otevřeným vrchem a kultivačního zařízení lamelových sfér; Janouš a kol. 1986, Urban a kol. 2001) je proto vhodné srovnat se studiemi z FACE systémů. Přehlednou studii v tomto ohledu zpracoval Körner (2006). Ze známých výsledků experimentů kultivace smrku a porostů se smrkem v podmínkách EC (současná vzdušná koncentrace CO₂ + 160 ppm až 350 ppm; Švýcarsko, Švédsko a naše výsledky z EEP Bílý Kříž) vyplývá, že **nadzemní biomasa či LAI (index listové plochy) narůstají** (ca o 10%, statisticky nevýznamně) **jen do doby tvorby korunového zápoje** (což podporuje zakládání porostů v řidším sponu), **biomasa narůstá více po přihnojení** (nebo než bude vyčerpána zásoba dusíku v půdě) či **po probírkovém zásahu** (plánovaném i přirozeném) nebo při nižším obsahu vody v půdě ve srovnání s dnešními podmínkami. Vždy však významně **narůstá aktivita podzemních částí a kořenový systém výrazně expanduje. Tyto výsledky naznačují, že porostní díry, mezery, kotlíky budou v podmínkách EC dříve „zataženy“**. Z důvodu rozdílné reakce různých druhů dřevin na zvýšenou vzdušnou koncentraci CO₂ budou v této fázi upřednostňovány „citlivější“ rychleji rostoucí dřeviny, což bude **ovlivňovat biodiverzitu**. Körner (2006) uvádí, že pozitivní efekt zvýšené koncentrace CO₂ v atmosféře na přírůst biomasy dřevin se nesmí přeceňovat. Předpokládá, že dlouhodobý vyrovnaný nárůst biomasy bude stimulován ca do 10 % a v porostech vyššího stáří po dosažení vyrovnaného stavu (v kompetici o světlo, vláhu a živiny) nemusí být žádný. **Stimulace růstu dospívajících porostů urychlí dynamiku vývoje lesa a zvýší se zastoupení rychlerostoucích dřevin pravděpodobně s dopadem na celkové množství uhlíku v ekosystému. Doba obmýti se bude snižovat.** Pro ovlivnění celkového uhlíkového cyklu je třeba růstovou a produkční odpověď dřevin a lesních porostů, **z výsledků experimentů se zvýšeným CO₂ převést do kontextu hospodaření s uhlíkem v krajině ve smyslu jeho vázání a uchovávání v biomase, humusu a půdě, což je základem pro podporu dlouhodobé dynamiky uhlíkového cyklu a strategie využívání krajiny** (Lichter a kol. 2005).

Z požadavků kladených na lesního hospodáře se vedle trvalosti či zvyšování produkce, péče o dobrý zdravotní stav a stabilitu porostů i plnění požadovaných ekosystémových služeb (funkcí lesů) dostává do popředí, v souvislosti se zvyšující se koncentrací CO₂ v ovzduší a globální změnou klimatu, požadavek na hospodaření spojené s novou funkcí lesa – „úložiště uhlíku“. Na tuto celospolečenskou poptávku lze reagovat úpravou hospodaření v lesích, která se odráží v pojmu „**Carbon Forestry**“ – uhlíkové lesnictví. Vedle snahy o klasické zvyšování produkce dřeva se tak jedná především o **zvyšování celkových zásob uhlíku v lesním ekosystému**, a to nejen v nadzemní biomase kmenů, ale i dalších částech stromu a především humusu a půdě. Dále Carbon Forestry podporuje pěstování rychlerostoucích dřevin jejichž biomasa může být využita jako surovina pro průmysl či zdroj energie namísto fosilního paliva, podporuje zamezení degradace půd a snížení emisí uhlíku apod. V rámci ČR byly odhadnuty zásoby biomasy a kvantifikovány potenciální možnosti hlavních typů ekosystémů poutat a ukládat vzdušný CO₂ v delším časovém období vyúsťující v následný návrh hospodářských opatření jak stimulovat dlouhodobý uhlíkový cyklus (Marek a kol. 2011).

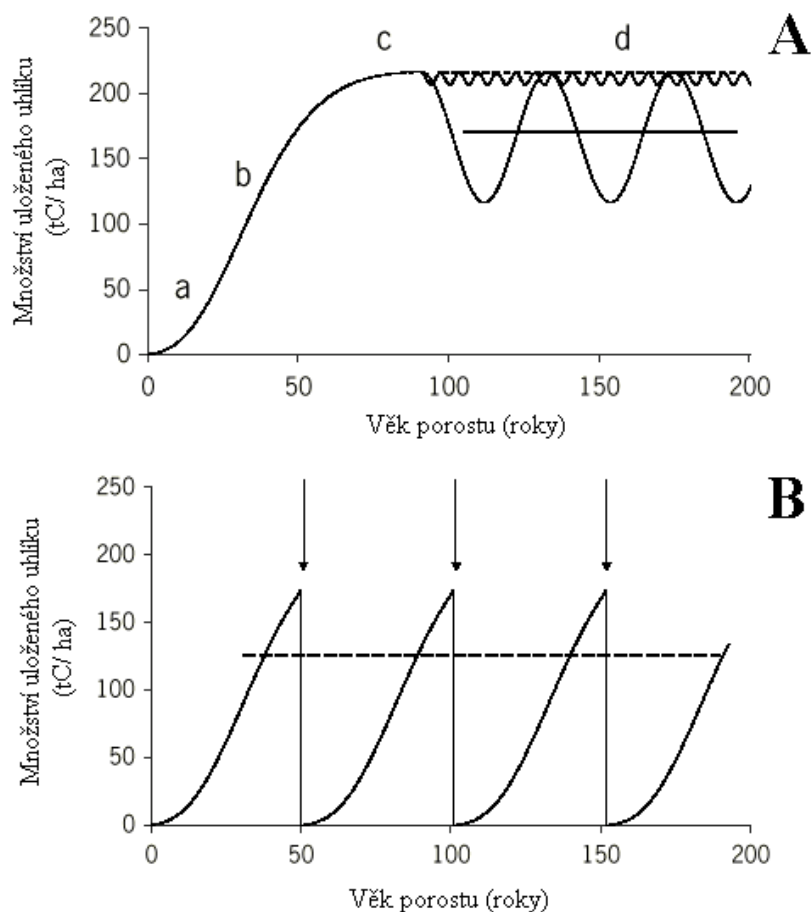
Hospodaření v lesích ČR je diferencováno na základě hospodářských souborů, resp. typů vývoje lesa. Jejich determinantou je růstové prostředí, které je předurčeno stanovištními

podmínkami. Tyto teoreticky stále parametry prostředí však v posledních desetiletích prokazují dynamické změny, které budou s vysokou pravděpodobností pokračovat, jak bylo uvedeno výše. Bude se měnit i chemizmus prostředí, jak dokládá z nedávné minulosti problematika imisí a kyselých dešťů, která se dodnes projevuje v lesních půdách nutričním ochuzením vynucujícím si až meliorační opatření v podobě vápnění nebo jiného přihnojování. Další změnou chemizmu prostředí je nadměrná depozice dusíku, která v našich podmínkách výrazně stimuluje růst dřevin. K těmto častěji regionálním faktorům díky industrializaci se přidávají aspekty související s globální změnou klimatických podmínek, jako je zvyšující se teplota a zvýšená frekvence klimatických extrémů. To jsou faktory, se kterými má rigidní způsob plánování a hospodaření v lesích problémy, a musí proto hledat adekvátní řešení. **Prioritním adaptačním opatřením je proto změna hospodaření k přírodě blízkým formám, což kromě věkové diversifikace znamená především urychlenou přeměnu dřevinné skladby porostů a zvýšení funkční struktury porostů.** Jakým způsobem se změní uhlíková bilance lesů, bude-li převážně intenzivní smrkové hospodaření postupně nahrazováno porosty s výrazně větším podílem listnáčů? K této otázce byla připravena analýza „Vývoj zásob uhlíku ve vazbě na změny stavu lesa v podmínkách lesního hospodaření České republiky“ včetně souboru navržených provozních opatření vedoucích ke stabilizaci porostů a uhlíkových zásob (Cienciala a kol. 2011).

Smrk s jedlí patří k dřevinám schopným vyprodukovat největší hektarový objem biomasy. Tyto dřeviny jsou sice z hlediska objemové produkce výhodné hospodářsky, nepředstavují však ve stejnověkových porostech dlouhodobě stabilní zásobu uhlíku. Dřeviny s různými ekologickými nároky (zejména na světlo) umožňují bohatší prostorovou výstavbu lesa a příznivější funkční využití nadzemního i podzemního prostoru biomasou. S prostorovou výstavbou lesa úzce souvisí hustota lesa. Mírný pokles hustoty lesa (o cca 10-20 %) jsou, zejména stinné dřeviny, schopné kompenzovat světlostním přírůstem, takže se neprojeví poklesem zásoby uhlíku vázaného biomasou stromů. Ač snížení zápoje vede na jedné straně k rozvoji přízemní vegetace, na straně druhé vede ke změnám v obsahu, kvalitě a rozložení půdního humusu. Oba tyto procesy se promítají do uhlíkové bilance lesa. Na zásobách uhlíku a uhlíkové bilanci lesa se významně podílí i mrtvé dřevo ponechané k zetlení. Pro stanovení zásob uhlíku v mrtvém dřevě je, vedle jeho objemu a hustoty (závisející na druhu dřeviny z níž dřevo pochází), rozhodující stupeň rozkladu dřeva. Rychlost uvolňování uhlíku z mrtvého dřeva ponechaného k rozkladu závisí na druhu dřeviny a dimenzi mrtvého dřeva, porostním mikroklimatu, způsobu vzniku mrtvého dřeva (např. postupným chřadnutím, vlivem imisí, žírem kůrovce aj.). Podstatný vliv na dynamiku rozkladu mrtvého dřeva má odkornění, případně jeho kontakt s půdním povrchem. Ve vytrvalých orgánech přízemní vegetace (nadzemních i podzemních) je uhlík vázán dlouhodobě a podílí se tak na zásobách uhlíku vázaného lesním ekosystémem přímo.

Velikost zásoby uhlíku vázaného lesem lze zvyšovat hospodářskými opatřeními extenzivního i intenzivního charakteru. K těm prvním patří **zvětšování rozlohy lesní půdy zalesňováním ploch** (obvykle zemědělských či neplodných), které mají nižší schopnost deponovat uhlík než les (Marek a kol. 2011). **K intenzivním opatřením patří změny způsobu obhospodařování lesů** směřující k takové prostorové, druhové a v lesích pasečného typu i věkové skladbě lesa, která v konečném výsledku povede ke zvýšení průměrné hektarové zásoby biomasy a v ní vázaného uhlíku lesním ekosystémem jako celkem (Obr. 7). **Aktuální výše uhlíkové zásoby není sama o sobě zárukou dlouhodobě příznivé uhlíkové bilance, pokud není dostatečně stabilní.** Stabilita uhlíkové zásoby v lesích **úzce souvisí s jejich funkční strukturou a ekologickou stabilitou.** Obecně platí, že ekologická stabilita ekosystémů a tím i stabilita uhlíku v nich vázaného, vzrůstá s diverzitou ekosystému. Současné lesní ekosystémy jsou proti přírodním lesům značně hospodářsky pozměněné. Tyto

změny v naprosté většině případů znamenaly podstatné snížení druhové, věkové, prostorové i genetické diverzity lesa. Prognózy vývoje uhlíkové bilance lesů v České republice, zpracované v rámci projektu CzechCarbo, pracovali především s druhovou a věkovou diverzitou lesa, protože data o prostorové a genetické diverzitě lesních ekosystémů nejsou v potřebném rozsahu zatím k dispozici (Cienciala a kol. 2011). Prostorová a genetická diverzita lesních ekosystémů se od druhové a věkové diverzity lesa do značné míry odvíjí. Pro obnovu genetické diverzity lesa má zásadní význam zvýšení podílu přirozených reprodukčních procesů při obnově lesních porostů na úkor obnovy umělé. Hospodaření zaměřené na posílení stability uhlíkové zásoby v lesích musí být do značné míry univerzální a splňovat i požadavky na plnění ostatních funkcí lesa. Cílem proto není návrat k přirozené skladbě lesů. Cílová skladba lesa a s ní související prostorová výstavba lesa je hospodářskou modifikací skladby přirozené, která současně se zvýšením zásoby uhlíku v lesích zvyšuje i její stabilitu a při tom neohrožuje plnění ostatních funkcí lesa, zejména funkce produkční, na které závisí ekonomika lesního hospodářství.



Obr. 7. Rychlost akumulace uhlíku v nově založeném lesním porostu obhospodařovaném (A) s ohledem na jeho uhlíkový sink (tzv. Kjóto porost) a (B) současným holosečným způsobem. S ohledem na akumulaci uhlíku můžeme rozlišit fázi obnovy (a), dorůstání (b), stadium optima (c) a fázi udržování uhlíkového sinku (d). Dlouhodobé udržování uhlíkového sinku může mít rozdílnou dynamiku s menším (plná čára) nebo větším (přerušovaná čára) množstvím stabilně vázaného uhlíku. Tato fáze u holosečného hospodaření zcela chybí. Zdroj: IEA (2001).

Lesnický management zaměřený na změnu současné druhové skladby lesů, na skladbu cílovou, která je podstatně blíže skladbě přirozené a současně respektuje hospodářské zájmy

vlastníků lesa, povede k mírnému zvýšení zásob uhlíku ve vytrvalé biomase stromů, velmi pravděpodobně k úbytku množství uhlíku v humusové vrstvě a stejné množství se uloží v minerální půdě, tudíž celková bilance se zřejmě příliš nezmění (Cienciala a kol. 2011). Přesunem uhlíku z dřevinného patra do humusové vrstvy a následně do minerální vrstvy půdy se omezí emise uhlíku z lesních půd, k nimž dochází při rozkladu nadložního humusu, a to především při dočasném odlesnění, smýcení mateřského porostu při obnově násečným nebo holosečným způsobem při plošných rozpadech porostů a dlouhodobě při přechodu na vyšší zastoupení listnatých dřevin. **Změnou současné druhové skladby lesů na cílový stav tedy nelze v ČR očekávat navýšení celkové zásoby uhlíku v lesních půdách, avšak hospodářská opatření mohou směřovat ke stabilizaci uhlíku v půdě a zvýšené rezistenci proti nenadálým změnám a katastrofickým scénářům. Taková strategie by měla vyhovovat i úsilí čelit možným scénářům dopadů očekávané klimatické změny na naše lesy.**

Doporučená literatura

- Ainsworth E.A. and Long, S.P.: What we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂? *New Phytol.* 165: 351-372, 2005.
- Ayres M.P., Lombardero M.J.: Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Science of the Total Environment* 262 (3): 263-286, 2000.
- Ceulemans R., Mousseau M.: Effects of elevated atmospheric CO₂ on woody plants. *New Phytologist* 127 (71): 425-446, 1994.
- Cienciala E., Apltauer J., Exnerová Z., Zatloukal V., Mačků J., Henžlík V., Šefrna L., Janderková J., Marek M.V.: Les, uhlík a lesnictví ČR v podmínkách měnícího se prostředí. In: Marek M.V. a kol. Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu. Academia Praha, 2011.
- Donald C.M.: The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17: 385-403, 1968.
- Dubrovský M., Pokorný R., Marek M.V. Scénáře vývoje globální změny klimatu. V: Marek a kol. Cyklus uhlíku v terestrických ekosystémech ČR, *Academia Praha*, 2011.
- Eamus, D., Jarvis, P.G.: The direct effects of increase in the global atmospheric CO₂ concentration on natural and commercial temperate trees and forests. – In: Begon, M., Fitter, A.H., Ford, E.D., MacFadyen, A. (ed.): *Advances in Ecological Research*. Pp. 1-55. Academic Press, London – Tokyo – Toronto 1989.
- Farquhar, G.D., Caemmerer, S. von, Berry, J.A.: A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. – *Planta* 149: 78-90, 1980.
- Hruška J., Cienciala E., Moravčík P., Navrátil T., Hofmeister J.: Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd – limitující faktor současného lesnictví I-IV. *Lesnická práce* 81, 2002.
- Hyvönen R., Agren GI, Linder S, et al.: The likely impact of elevated [CO₂], nitrogen deposition, increased temperature and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems: a literature review. *The New phytologist*. 173(3):463-80, 2007.
- Janouš, D., Dvořák, V., Opluštilová, M., Kalina, J. Chamber effects and responses of trees in the experimental using open top chamber. *Journal of Plant Physiology* 148: 332-338, 1996.
- Janssens I.A., Freibauer A., Ciais P. et al.: Europe's terrestrial biosphere absorbs 7–12% of European anthropogenic CO₂ emissions. *Science*, 300: 1538–1542, 2003.
- IPCC- Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: B. Metz

- ORD, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (ed) Summary for policymakers. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- Kirschbaum M.U.F.: Direct and indirect climate change effects on photosynthesis and transpiration. *Plant Biology* 6: 242-253, 2004.
- Körner C.: Biosphere responses to CO₂ enrichment. *Ecological Applications* 10 (6): 1590-1619, 2000.
- Körner C.: Plant CO₂ responses: an issue of definition, time and resource supply. *The New phytologist*. 172(3): 393-411, 2006.
- Kostiainen K., Kaakinen S., Saranpää P., Sigurdsson B.D., Linder S., http://apps.webofknowledge.com/DaisyOneClickSearch.do?product=WOS&search_mode=DaisyOneClickSearch&colName=WOS&SID=Y2cc2G5Fp9@KDMG12k6&author_name=Vapaavuori,%20E&dais_id=14520167 Vapaavuori, E.: Effect of elevated [CO₂] on stem wood properties of mature Norway spruce grown at different soil nutrient availability. *Global Change Biol.* 10 (9): 1526-1538, 2004.
- Košvancová M., Urban O., Šprtová M., Hrstka M., Kalina J., Tomášková I., Špunda V., Marek M.V.: Photosynthetic induction in broadleaved *Fagus sylvatica* and coniferous *Picea abies* cultivated under ambient and elevated CO₂ concentrations. *Plant Science* 177: 123–130, 2009.
- Larcher W.: Physiological plant ecology. In: *Physiology and stress physiology of functional groups*, 4th ed. Springer, Berlin, 2003.
- Marek M.V. Ekofyziologie produkční aktivity lesních dřevin. Habilitační práce, Vindeln, 138 s., 1992.
- Marek M.V. a kol.: Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu. Academia Praha, 255 s., 2011.
- McKenzie R.I., Conner B., Bodeker G.E.: Increased summertime UV radiation in New Zealand in response to ozone loss. *Science* 285: 1709-1711, 1999.
- Luo, Y., Reynolds, J., Wang, Y., Wolfe, D.: A search for predictive understanding of plant responses to elevated [CO₂]. – *Global Change Biol.* 5: 143-156, 1999.
- Pokorný R., Tomášková I., Havráňková, K.: Temporal variation and efficiency of LAI in young mountain Norway spruce stand. *European Journal of Forest Research* 127 (5): 359-367, 2008.
- Pokorný R., Tomášková I., Slípková, R.: The effect of air elevated [CO₂] on Norway spruce crown architecture and aboveground biomass. *Baltic forestry* 18 (1): 2-11, 2012.
- Pokorný R., Tomášková I., Marek M.V.: Response of Norway spruce root system to elevated atmospheric CO₂ concentration. *Acta Physiologiae Plantarum* (DOI 10.1007/s11738-013-1218-9) 2013.
- Pritchard, S.G., Rogers, H.H., Prior, S.A., Peterson, C.M.: Elevated CO₂ and plant structure: a review. – *Global Change Biol.* 5: 807-837, 1999.
- Sage, R.F.: A model describing the regulation of ribulose-1,5- biphosphate carboxylase, electron transport, and triose phosphate use in response to light intensity and CO₂ in C3 plants. – *Plant Physiol.* 94: 1728-1734, 1990.
- Souček J., Tesař V.: Metodika přestavby smrkových monokultur na stanovištích přirozených smíšených porostů. Recenzovaná metodika. *Lesnický průvodce* 4, 37s., 2008.
- Špunda V., Kalina J., Urban O., Luis V.C., Sibisse I., Puertolas J., et al.: Diurnal dynamics of photosynthetic parameters of Norway spruce trees cultivated under ambient and elevated CO₂: the reasons of midday depression in CO₂ assimilation. *Plant Sci.* 168, 1371-1381, 2005.
- Urban O.: Physiological impacts of elevated CO₂ concentration ranging from molecular to whole plant responses. *Photosynthetica*. 41(1):9–20, 2003.

- Urban O., Janouš D., Pokorný R. et al. Glass domes with adjustable windows: A novel technique for exposing juvenile forest stands to elevated CO₂ concentration. *Photosynthetica* 9 (3): 95–401, 2001.
- Urban O., Košvancová M., Pokorný R., Tomášková I., Marek M.V. Podstata a ekofyziologické předpoklady ukládání uhlíku. V: Marek a kol. Cyklus uhlíku v terestrických ekosystémech ČR, Academia Praha, 2011.
- Vetter M., Wirth Ch., Böttcher H. et al.: Partitioning direct and indirect human-induced effects on carbon sequestration of managed coniferous forests using model simulations and forest inventories. *Global Change Biology*, 11: 810–827, 2005.
- Vinš, B. a kol.: Impacts of a Potential Climate Change on Forests of the Czech Republic. Národní klimatický program, 23. ČHMÚ, 142 s., 1997.
- Wirth Ch., Schumacher J., Schulze E.D.: Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe – a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology*, 24: 121–139, 2004.
- Woodward F.I., Kelly, C.K. Responses of global plant diversity capacity to changes in carbon dioxide concentration and climate. *Ecology Letters* 11: 1229-1237, 2008.

KLIMATICKÁ ZMĚNA A ZVYŠOVÁNÍ STATICKÉ STABILITY LESA ZPEVNŮJÍCÍMI PÁSY.

Většina odborníků na klimatickou změnu se shoduje, že v podmínkách České republiky bude docházet k častější frekvenci extrémních výkyvům počasí – nejen teplot a srážek, ale zejména škod větrem. Již nyní je zajímavý sled vichřic Kyril, Emma a Ivan. Například Stolina uvádí, že do roku 1950 činily větrné škody cca 1/10 těžeb – v současnosti tyto škody se odhadují přibližně trojnásobné. V souvislosti s předpokládanou klimatickou změnou se předpokládá zvýšení větrných ekcesů se všemi negativními dopady na lesy – navíc u nás převážně smrkové. Jednou z možností na odvrácení či omezení těchto škod zejména ve smrkových porostech jsou zpevňující pásy.

1. HISTORIE A SOUČASNOST ZPEVNŮJÍCÍCH ŘEŠENÍ.

Tvorba (vkládání) liniových stabilizačních (zpevňujících) prvků pro zvýšení statické stability porostů je svébytná kategorie hospodářské úpravy lesa, která je v současnosti taxací i provozem poněkud pozapomenuta. Je to zejména díky odklonu od klasické hospodářské úpravy lesa (taxátoři většinou neumísťují těžby), ústupem od pasečného hospodaření kdy se neuvažuje v intencích bývalého mýtního článku. Do jisté míry to ani není příliš možné, neboť došlo k podstatnému snížení dovolené výměry obnovního prvku (paseky) a mimo to se s RSH nakládá jako doporučujícím materiálem. Nahodilými těžbami z kterých zdaleka nejvýznamnější jsou škody bořivými větry dochází k obnově po větru, nebo prořezování, které vytváří problémy do budoucna. V Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa jsou známy případy, kdy došlo k vyvrácení lesa na stejném místě i 3x po sobě bez adekvátní reakce provozu.

Problematiku také neřeší zákonný podíl melioračních a zpevňujících dřevin neboť ty se používají jak pouze v jednotlivé příměsi nebo ve skupinách nevhodných pro zpevnění (má to souvislost s oplocováním proti zvěři a drahotě oplocení dlouhých úzkých prvků)

Podle umístění se rozlišují zpevňovací pásy vnější (okrajové pásy, por. pláště, odluky) a vnitřní (rozluky, závory, žebra).

Poznámka autora: Pozor! Nezaměňovat s vnější a vnitřní prostorovou úpravou lesa!

V minulosti byly jako reakce na četné rozsáhlé polomy vyvinuty dvě strategie ochrany. První starší strategie pracuje s porostem jako s celkem. Hlavní principy ochrany spočívají podle této strategie ve vzájemném krytí v porostu. Stabilizujícími prvky jsou zpevněné okraje porostů, směřování obnovy proti převládajícímu větru, odvodnění zamokřených stanovišť atd. Tato strategie byla propagována a široce používána v první polovině 20. století, avšak má kořeny ve staťové soustavě formované v předminulém století. Tato strategie však nezabránila růstu poškození vzhledem ke svým slabinám, spočívajícím zejména v možných nárazech větru i z jiných směrů než je směr převládající, vůči kterému je ochrana budována (Heger 1953). Dalším významným nedostatkem byl také poznatek, že jednou narušený systém ochrany obvykle způsobil řetězovou reakci a celý pracně a dlouho budovaný systém ochrany se rychle hroutil (Heger 1953, Busby 1965). Mezi největší kritiky systému vzájemného krytí patřil Heger (1953), který hospodařil v Krušných horách. Heger byl také u zrodu druhé strategie ochrany lesů vůči polomům, nazývané vnitřním zpevněním. Tato strategie spočívající na

individuální stabilitě jedinců byla později rozvinuta pro nejvíce ohrožené smrkové porosty Mitscherlichem (1974), u nás Slodičákem (1996). Hlavními prvky jsou zde především nižší počty jedinců při výsadbě, vývoj stromů ve volném zápoji, snaha o vytvoření velkých a hluboce zavětvěných korun, mohutného hlubšího kořenového systému a co nejspádnějšího kmene s nízkým štíhlostním koeficientem. Důraz se tedy přenesl z ochranných prvků budovaných při obnově porostů převážně na prvky tvořené porostní výchovou. Druhá strategie se osvědčila zejména v mladých smrkových porostech ohrožovaných sněhem (Pařez 1972, Mráček 1979, Chroust 1980, Slodičák 1987). Pozdnější silné výchovné zásahy v duchu této strategie však způsobily zvýšení poškození porostů větrem (Vicena 1964, Persson 1969, Rottmann 1985, Lohmander, Helles 1987, Slodičák 1987 aj.). Z těchto důvodů byla postupně vypracována třetí strategie ochrany kombinující prvky obou předchozích strategií. Základem třetí strategie je tzv. odstupňovaná výchova (gestaffelte Durchforstung) zformulovaná již v roce 1955 Wiedemannem (1955) pro zlepšení kvality a zvýšení objemu produkce ve smrkových porostech. Samotná myšlenka odstupňované (tj. v průběhu vývoje porostu nestejnoměrné) výchovy smrkových porostů je však mnohem starší. Poprvé se vyskytuje v práci Bohdaneckého (1890), který doporučoval pěstování smrku ve volném zápoji v první polovině doby obmýtní (k docílení kvantity produkce) a v hustém zápoji ve druhé polovině doby obmýtní (k docílení kvality produkce). Podle této třetí strategie může být stabilita jednotlivých stromů vypěstována pouze v mladých porostech udržováním volného zápoje řídkým sponem při výsadbě nebo velmi silnými zásahy v době zapojování korun, tj. v době kulminace tloušťkového a výškového přírůstu. Cílem těchto pěstebních opatření je vypěstování dlouhých dobře vyvinutých korun, mohutných kořenových systémů a stabilních spádných kmenů s nízkým štíhlostním koeficientem. Na obzvláště větrem ohrožených lokalitách (stará vývrátiska, obohacená stanoviště) se tedy kombinuje odstupňovaná výchova se zpevňujícími pásy v současnosti převážně listnatými.

Obecně však lze říci, že každé řešení zpevnění lesa má své limity – co se týká účinnosti tak ekonomičnosti svého řešení. Nejúčinnější jsou nepropustné zpevňující prvky mírně vyšší než ochraňovaný porost, hustě po sobě jdoucí (opakující se).

Platí však, že různé podmínky vyžadují odlišná řešení nebo i kombinaci řešení. Problematika zpevňování – zpev. pásy jak z důvodu využití dotací na MZD tak zvyšující se četností excesů počasí prožívá obnovený zájem o tuto svébytnou část hospodářské úpravy lesa, ač se k ní připojují i jiné aspekty (například zvýšení diverzity lesa, zvýšení estetičnosti, krajinný ráz atd.).

2. TEORIE PŮSOBENÍ ZPEVNŮVACÍHO PÁSU.

Princip ochrany zpevňujícími pásy spočívá ve vzájemném krytí v porostu. Tato strategie byla propagována a široce používána v první polovině 20. století, avšak nezabránila růstu poškození vzhledem ke svým slabinám, spočívajícím zejména v možných nárazech větru i z jiných směrů než je směr převládající, vůči kterému je ochrana budována (Heger 1953).

Tvorba (vkládání) liniových stabilizačních (zpevňujících) prvků pro zvýšení statické stability porostů je svébytná kategorie hospodářské úpravy lesa, která je v současnosti taxací i provozem poněkud pozapomenuta. Původně se zpevňující pásy koncipovaly ve smrkovém hospodářství a většinou se vytvářely opět ze smrku (klasické odluky, rozluky a závory). V současnosti se v západní Evropě tvoří zpevňující pásy i z jiných dřevin a i pro jiné dřeviny.

Problematiku jen částečně řeší zákonný podíl melioračních a zpevňujících dřevin, neboť ty se používají jak pouze v jednotlivé příměsi nebo ve skupinách nevhodných pro zpevnění (má to souvislost s oplocováním proti zvěři a drahotě oplocení dlouhých úzkých prvků).

Podle způsobu založení se zpevňující pásy rozdělují na založené obnovou (rozluky, odluky, zpevňující žebra), výchovou (zpevňující pásy, závory) a kombinované (provozní rozluky). Zvláštním případem jsou proluky – nejsou zakládány, ale jsou výsledkem obnovní seče a předpokládá se nálet břízy, jívy, jeřábu – tedy přirozenou obnovou a je správnější je řadit k prvkům založeným obnovou.

Podle umístění v jednotce rozdělení lesa se rozlišují zpevňovací pásy **vnější** (okrajové pásy, por. pláště, odluky) a **vnitřní** (rozluky, závory, žebra, vnitřní zpev. pásy).

Poznámka autora: Pozor! Nezaměňovat s vnější a vnitřní prostorovou úpravou lesa!

Dle způsobu rozmístování – **jednotlivě** (individuální prvek např. listnaté žebro na místě výlomiska například v důsledku těsninového, koutového nebo dýznového efektu), **skupinově** zpravidla systematicky (například formou kulís, rozluk nebo obseků u jednodruhových zpevňujících pásů v rozsáhlých stejnověkových porostech nebo kombinovaně – kombinací různých druhů pásů okrajových a vnitřních nebo zakládaných výchovou a obnovou).

Skupinovitě vkládání těchto prvků lze systematicky opakovat – například kombinace okrajových a vnitřních zpev. pásů ve SM porostech větších 5 ha, ve formě obseků (rozsáhlé podmáčené nebo horské smrčiny v obdélníkové či čtvercové síti – obdoba lánové soustavy) a v rámci rozdělovací sítě (využití hospodárnic a tenatnic, příp. majetkových hranic – po hranicích statkové soustavy)

Účelem zpevňovacího pásu (dále ZP) je ovlivňovat (modifikovat) vítr co do jeho rychlosti (síly) a turbulencí (víření). Rychlost větru se však zvětšuje ve všech mezerách a průlomech porostu.



Spontánně vzniklý porostní plášť. Nejen že jeho zpevňující hodnota je sporná, ale většinou není na lesní půdě.

Vnitřním polopropustným pásem z téže dřeviny jako je porost (smrku) je závora.

Zpevňující polopropustný pás však nemusí být z téže dřeviny jako je ochraňovaný porost a je většinou okrajový na rozdíl od závory, která je vnitřním ZP.

3. ŘEŠENÍ ZPEVNĚNÍ

Vlastní zpevnění můžeme dělit zda vznikají v rámci vnější prostorové úpravě – řešení časoprostorové (vznikají **zpevňující prvky** vně jednotky rozdělení lesa – porostu (por.skupiny, mýtního článku, pracovního pole) a vnitřní prostorové úpravy lesa (to znamená řešení většinou pouze prostorové úpravy lesa a uvnitř porostu (PSK, mýtního článku, pracovního pole) - rozmístění jedinců a úprava taxačních charakteristik (dřeviny, zakmenění) **výchovou - zpevňující sečí** jejíž výsledkem je úprava charakteristik koruny, štíhlostního koeficientu,

Kombinaci zpevnění v rámci vnější i vnitřní prostorové úpravy lesa provádíme zejména na nejohroženějších podmáčených lokalitách – jde tedy o kombinaci zpevňujících prvků a výchovy zaměřené na posílení individuální stability stromů či bioskupin (například trojic stromů).

Z hlediska věku zakládáme zpevňující pláště a žebra v kulturách, rozluky v mlazinách až tyčkovinách, závory v tyčovínách až nastávajících kmenovinách, odluky v nast. kmenovinách až kmenovinách, v mýtných porostech v předsunutých prvcích či kotlicích listnatá a jedlová žebra. Na holinách navrhujeme proluky, nejlépe již začleněné do budoucího systému rozluk a obseků.

Zpevňující prvky rozlišujeme dle umístění v porostu na okrajové a vnitřní.

Dle způsobu vzniku na zpev. prvky vzniklé výchovou (závory, ochranné zpevňující pásy) nebo obnovou (např. rozluky, ochranné zpevňující pásy).

3.1. A) Zpevňující porostní plášť

chápeme jako **úzký** (cca do 20m) **nepropustný** okrajový zpevňující pás z dřevin jiného druhu než je ochraňovaný porost (cca do prvních 4 okrajových řad porostu) , v našich podmínkách často i z jediné řady zpevňujících dřevin (např.dubu). Je chápán jako nepropustný (ang. windshield Větrný štít). Proto, aby byl účinný i v zimě má být tvořen směsí jehličnatých a listnatých dřevin. Provoz méně správně chápe porostním pláštěm smrky jednostranně zavětvené až po zem. U takového porostního pláště může být patrný zpevňující efekt daný snížením těžiště těchto okrajových stromů, ale z hospodářsko- úpravnického pojetí jej nelze považovat za zpevňující. Pokud je již vytvořen porostní plášť z hluboce zavětvených smrků středního věku (tyčoviny +) je třeba tento šetřit, neboť následně v mezerách dochází k urychlování větru (těsninový efekt) a prolamování – případné zpevnění v rámci vnitřní prostorové úpravy provádět až ve větší vzdálenosti od takového porostního okraje. Důležitý pro tvorbu pláště v daných podmínkách je výběr dřevin – nejčastěji je využíván DB a BK (KL). Z jehličnanů podmíněně MD, JD, BO. V porostním plášti se uplatní pro zaplášťení i keře.

Působení okrajového vnitřního ochranného zpevn. pásu z hlediska ochrany následných porostů je jiné (z hlediska působení na rychlost větru a vzniku turbulencí). U porostního pláště (nepropustného) dochází ochraně tvorbou bariéry. Propustnost porostního pláště je však dána i druhem dřeviny v porostním plášti. Velmi obecně: světlostní dřeviny jsou pro

porostní pláště propustnější, více větru se pouští do porostu, vzniká více turbulencí ale drobnějších (účinek na snížení síly a rychlosti větru je sice „nižší“, ale za určitých podmínek může být i vhodnější nižšími turbulencemi).



Zpevňující okrajové listnaté žebro („široký“ porostní plášť z BK) vytvořený jako důsledek větrných škod. Příklad vhodného použití MZD. LS Svitavy, PLO 31

3.2. B) Okrajové ochranné a vnitřní (tlumící, ochranné) zpevňující pásy

(v podstatě jde o adaptace závor, závory však historicky byly z téže dřeviny - smrku !) Působí na snížení rychlosti a utlumení síly (rychlosti) větru. Zakládají na návětrných okrajích porostů většinou při obnově v pruhu **širokém** 30 až 50 m z dřevin odolných větru (MD, BO, BK, DB, JV, HB, LP), ale možno též ze smrku ve volném zápoji (např. nejvyšší polohy hor), Je **polopropustný** (viz výše vnitřní zpevnění a odstupňovaná výchova). K ochraně dochází rozptýlením síly nárazů (snížením rychlosti) větru. Tyto pásy spíše ochraňují před nárazy větru (nemají bariérový efekt ale spíše tlumící – ochrannou funkci). Toto plní by teoreticky plnily i porostní pláště spontánně vyrostlé na okrajích porostů – OS, BŘ, JV, OS, JÍVY – většinou však nemají potřebnou šířku, která je uváděna v různé literatuře většinou kolem cca 50m (na 2 výšky ochraňovaných stromů). Mimo to nejsou založeny ze **zpevňujících** dřevin tak jako u zpevňujících porostních plášťů – proto je nelze považovat za splnění požadavku lesního zákona.

Vyžadují intenzivní výchovu a podporu zpevňujících (i méně kvalitních) složek. Jejich funkce měla být i protiimisní. Při zakmenění 0,6 v pásmu D, C a málo pokročilém poškození v pásmu B se okraj zpevnil uvolněním relativně nejméně poškozených stromů a bylo možno i podsadbou vpravovat odolné dřeviny. Smrkové ochranné zpevňující pásy ve formě řidkolesí mají nejvyšší význam v nejvyšších polohách 7–8 LVS kde je velmi omezen výběr zpevňujících dřevin.

Ve věku kmenovin se tyto pásy dále prosvětlí a podsadí nebo přirozeně zmladí. Ideální je nepřetržitá obnovní doba a hospodaření jednotlivým výběrem. Jinak se ochranný porostní pás těží až po ukončené obnově porostů a při okraji lesa se pruh obnovuje samostatně jako trvalý ochranný pás.

MRÁČEK-PAŘEZ (1986) doporučují, podle různých autorů, udržovat asi 50 m široký porostní pás, pro vítr propustný (s rozestupy 5 až 7 m), volný, v němž stromy na návětrné straně nemají být hluboce zavětveny, aby nebránily vnikání větru do porostu.

Svůj význam mají i okrajové ochranné zpevňující pásy (polopropustné) a porostní pláště i v lokalitách chronicky poškozených námrazami – zde je obzvláště důležitý výběr dřevin odolných námrazám.

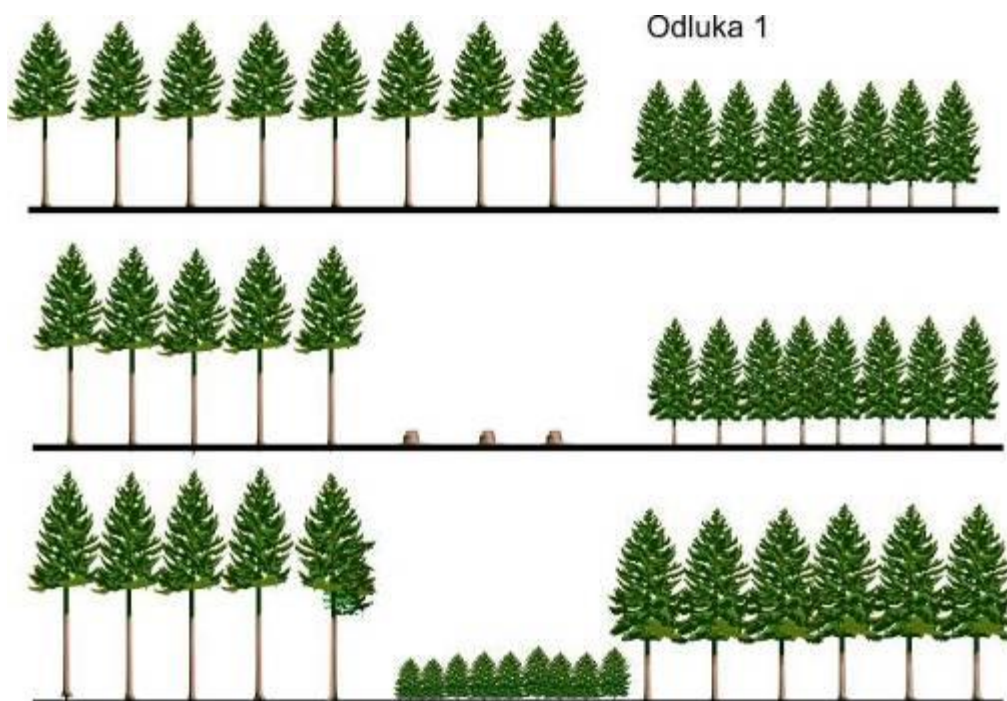


Vzorně provedená odluka s využitím přirozené obnovy (vlevo), jádro tvoří listnaté žebro uprostřed a vpravo před ochraňovaným porostem vysázena douglaska (pro vytvoření jednostranně střešovitého profilu a urychlení funkčnosti prvku) Jde o boční pohled. Majetek Kinského.

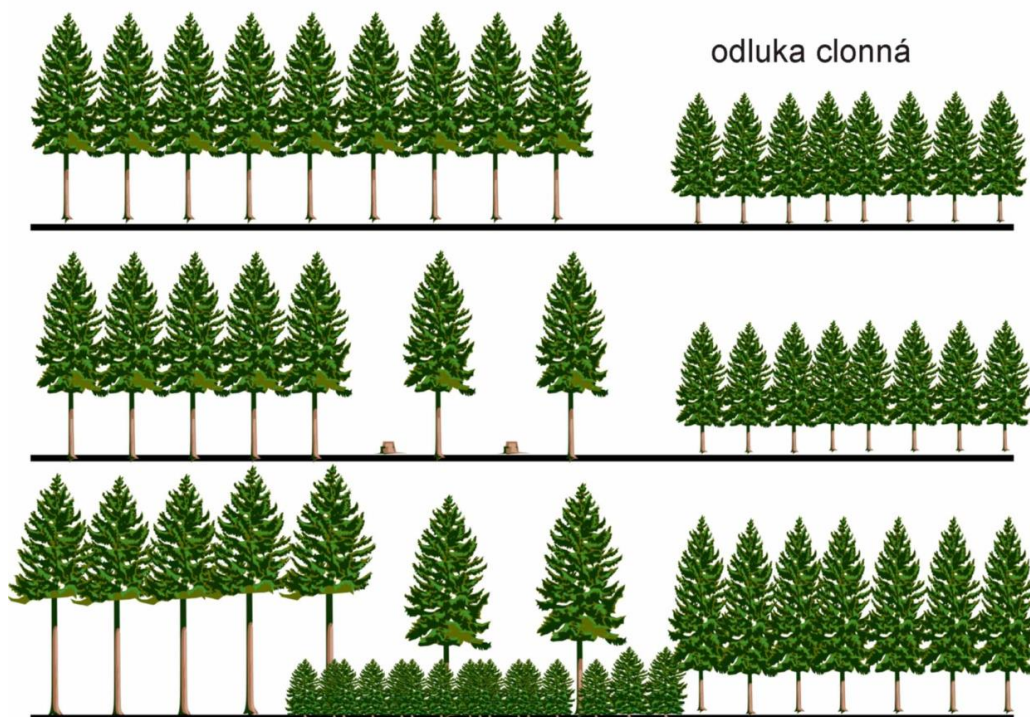
3.3. C) Odluky

se zakládají na závětrném okraji starších porostů k ochraně mladších sousedních porostů (zpravidla smrkových), které nemají více než 40 let. V tomto věku jim nehrozí poškození větrem. Účelem je osamostatnění a včasné zapláštění mladých porostů a zpevnění jejich okrajů. Je-li mladší porost zavětven až k zemi, je výhodné, podaří-li se na odluce přirozenou obnovou starého porostu navázat střešovitý kontakt s mladým porostem. Má-li mladší porost již spodní větve odumřelé, postupuje se rychleji odkácením odluky, široké jako výška mladého porostu (10 až 15 m) naholo a zalesněním odolnými dřevinami. V dalším pruhu proti větru se podle možnosti uplatní přirozená obnova. V imisních oblastech je vhodné pro

zmírnění náhlého uvolnění provést odluku dvoufázově, a to proředěním a pozdějším (po 5 až 8 letech) domýcením pásu odluky.



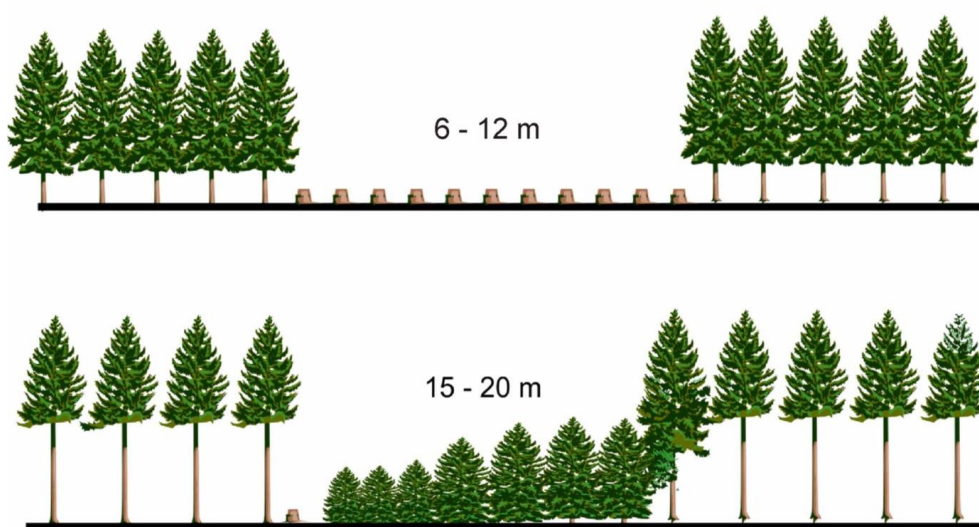
Odluka 1: na rozhraní dvou porostů s věkovým rozdílem (20) 30-40 let se ze staršího porostu (směrem proti větru) odtěží pruh, který se následně zalesní. Před mladším porostem vznikne pruh lesa, který jej chrání po smýcení staršího porostu. Provádí se ve fázi (tyčovin) nastávajících kmenovin a kmenovin staršího porostu aby zalesněná odluka dokázala odrůst pro ochrannou funkci. Možno vytvářet i dvoufázově nebo clonně.



3.4. D) Rozluky

slouží ke zpevňování rozsáhlých mladých smrkových a borových porostů (stadia mlazin a tyčkovin). V původním pojetí byly chápány jako nástroj těžební úpravy na „rozloučení“ komplexů smrkových porostů na jednotlivé mýtní články. Proto v taxační a lesnické praxi bývají takto označovány východiska obnovy (často jen násečně zakládáné – až z MZD) na počátku obnovy (ve stadiu předmýtných a mýtných porostů). Tyto východiska obnovy sice „rozlučují“ porosty, ale nijak je nezpevňují, pouze v lepším případě z nich časem může vzniknout zpevňující žebro (v následných obnovených porostech).

rozluka klasická jednofázová

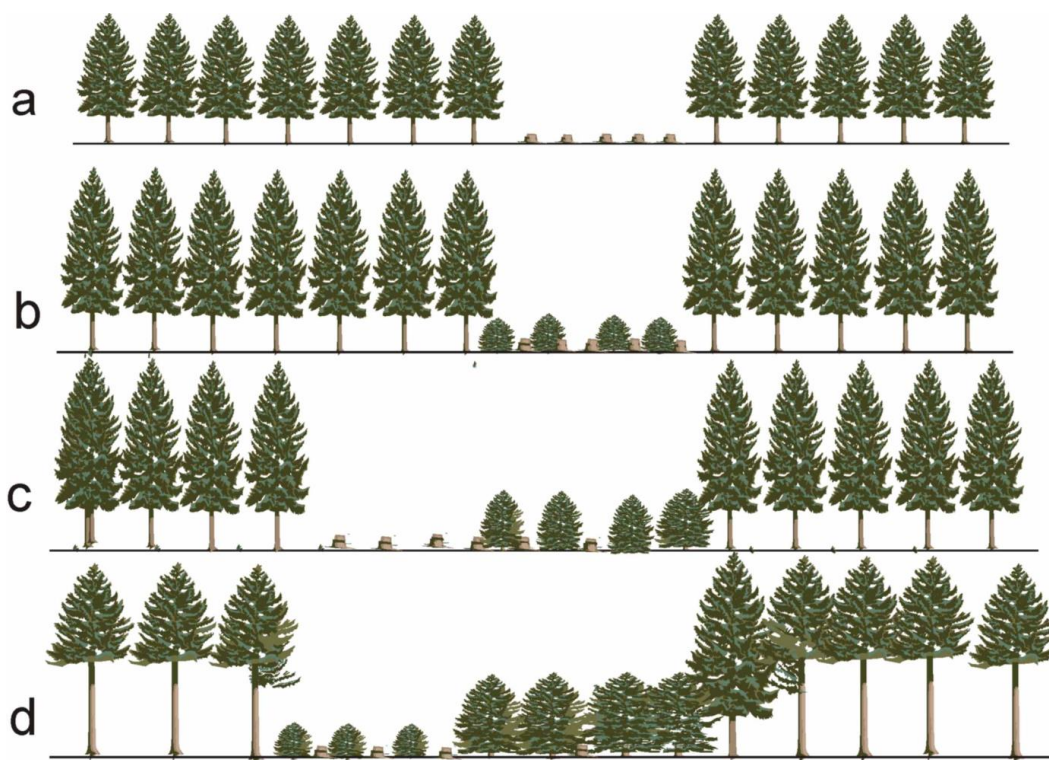


Rozluky stejně jako přibližovací linie musí být založeny v mladých porostech, nejlépe v mlazinách, nejpozději do 35 (40) let. Jsou to průseky 4 až 6 m široké (jednofázové i 12m široké) vedené kolmo na směr větru s přihlédnutím ke konfiguraci terénu, půdní stabilitě a porostní skladbě, zakládáné v odstupu 150 až 200 m (v návaznosti na vzdálenosti obnovních linií). Později se úseky rozšíří odkácením dalšího pruhu (pro vytvoření střechovitého profilu) směrem proti větru a zalesní. V mýtném věku mají mít šířku 15 až 20m u sm, u jiných stabilnějších dřevin i méně. Při časovém zpoždění zakládání rozluk lze takto široké rozluky již založit a ihned zalesnit odolnějšími dřevinami – například ve stadiu tyčovin se užívá douglaska (aby dohnala ochraňovaný porost). Výška porostu na rozluce má být nižší než je výška ochraňovaného porostu ve stadiu kmenovin pro vytvoření střechového profilu – za rozumné považují zakrytí z 1/2 do 3/4 délky koruny ochraňovaného porostu. Výchovou na rozlukách držíme hluboké koruny a správnou výšku vůči ochraňovanému porostu a probíráním okolních porostů regulujeme přísun světla a tepla aby porost nekrněl.

Rozluky nemusí být přímočaré, ale musí využívat vhodných stanovišť a terénů (umístěny před nejnestabilnějšími porosty). Po obou stranách rozluky lze porosty ještě silně probrat. Poněvadž rozluky nelze použít pro přibližování, je účelné rozšířit je za tím účelem proti větru o šířku přibližovací linie. Zvlášť velké porostní komplexy možno ještě členit dalšími úzkými sečemi souběžnými se směrem větrů, které se však nevedou až k návětrnému okraji porostu („použití obseku“) aby nedocházelo k dýznovému efektu.

Systém rozluk a odluk se osvědčil na rovinách a mírných svazích. V členitých horských terénech s dlouhými a hlavně strmými svahy je méně účinný. V současnosti se dává přednost

v nižších polohách tvorbě listnatých žebber. Při opožděném zakládání se využívalo douglasky. Ve vyšších polohách se dává přednost tvorbě ochranných zpevňujících pásů (řídkoletí).



Dvoufázový postup tvorby klasické rozluky:

- a) vyřezání v mlazinách až tyčkovinách pruhu 6-10m a b) zalesnění smrkem*
- c) po cca 15- 20 letech vyřezání dalšího pruhu směrem proti větru a*
- d) zalesnění smrkem aby vznikl stupňovitý profil.*

3.5. E) Provozní rozluky

jsou zvláštní adaptací rozluk vycházející z kombinace výsadby (nejlépe zpevňujících dřevin v individuální ochraně a úzké závory. Byli navrhovaní v době tvorby OPRL, 1996+ v Jeseníkách a prováděné v prořezávkových porostech. Vycházelo se z toho, že požadovaná šířka doporučená pro tvorbu rozluk je velká a dochází ke značným ekonomickým ztrátám vyřezáváním pracně zalesněných holin. Proto se cca 4–5. vyklizovací linka (napříč bořivým větřům) udělala nejméně dvojnásobně široká a v řadě (nebo i řadách) se na ně vysázely zpevňující listnáče v individuální ochraně. Následuje velmi silný zásah v návětrném okraji do hloubky 10-20m (možno přes celé pracovní pole) čímž vznikne ochranný pás. Výsadby listnáčů však většinou nebyli úspěšné, neměli potřebný růstový předstih, a krnili v individuální ochraně (hlavně tubusech např. KOREX), dochází k velmi rychlému bočnímu zarůstání linek (jsou úzké), tak prořezávaných částí (nedostatečná intenzita zásahu). Principiálně jde o kombinaci listnatého žebra a závory.

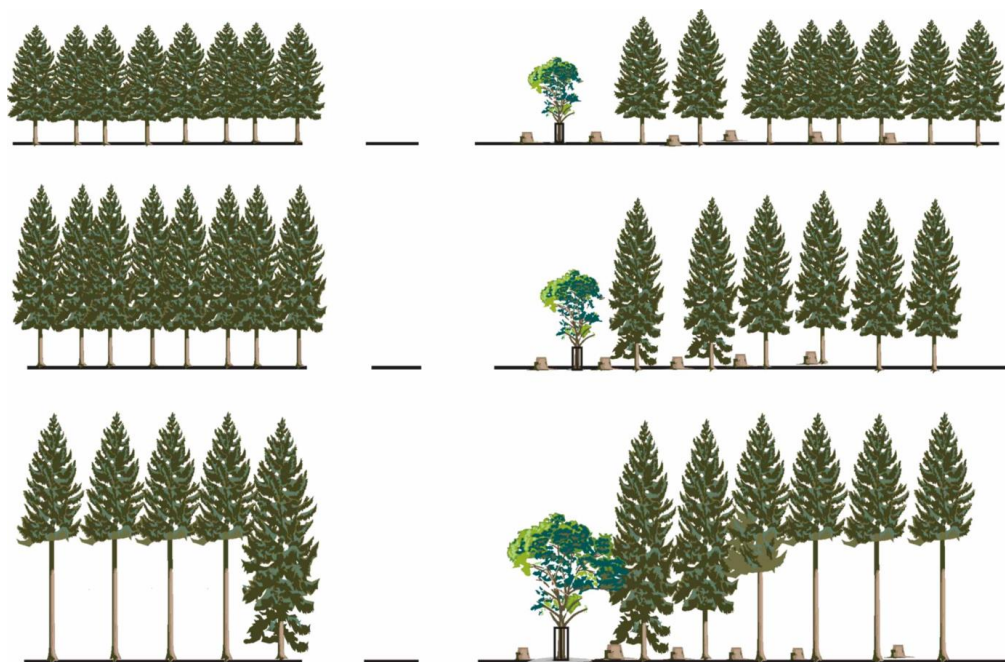


Schéma provozní rozlučky

3.6. F) Obsek

chápu jako rozčleňovací seč v nejmladších věkových stádiích (mlaziny, tyčkoviny), kde má charakter rozlučky, nebo v předmýtných a mýtných porostech, kde má charakter náseku (východiska obnovy). Jde o systém náseků (charakteru rozluk a odluk), který umožňuje provozní osamostatnění porostů, jejich částí anebo nově zakládaných mýtních článků z hlediska ochrany proti škodám abiotickými činiteli, zejména větrem a osluněním (korní spálou). Obsek chrání mýtní článek ze všech stran, na rozdíl od většiny zpevňujících prvků, které se orientují pouze napříč bořivým větrům. Užívaly se zejména v rozsáhlých smrčínách na vodou ovlivněných stanovištích. Určité renesance se obseky (ač v adaptované formě) dočkali v imisních oblastech. Obseky se také osvědčily v horských oblastech při lovu přemnožené vysoké zvěře. Ideální je obseky koncipovat již při zakládání porostů formou proluk, linek apod.

Obsek je nástrojem těžební úpravy ale není trvalou jednotkou rozdělení lesa. Není to zvláštní druh zpevňující seče, ale způsob jejího uplatnění.

3.7. G) Proluka

je záměrně vynechaný pás při zalesnění rozsáhlých pasek, který má mít v budoucnu funkci rozluk nebo obseku. Počítá se na jejich místě s přirozenou obnovou zejména světlostních dřevin BŘ, JŘ, OS, jívy, vzácně klenu. Tím vzniká polopropustný ochranný pás se zpevňující a protiimisiční funkcí. Na klasický ochranný pás však nemá potřebnou šířku. Většinou z obavy před úbytkem produkční plochy se udělali příliš úzké, nicméně. S prolukami (i obseky) se většinou dále nepracovalo, bočně zarůstají, takže většinou vznikly pouze širší linky se sporadickým výskytem listnáčů. Tyto dřeviny, ač často silně rozlámané sněhem občas umožňují se zpožděním přirozené zmlazení smrku pod ochranou přípravné dřeviny. Pak s jistou nadsázkou lze říci, že proluka je rozlučka vzniklá přirozenou obnovou pod přípravným porostem.

Proluky lze doplnit případnou jednotlivou dosadbou KL, BK, OLzel, MD v individuální ochraně. Proluky (často formou obseku) se užívaly zejm. na imisních holinách. Funkce je zejména zpevňující ale také orientační a protiimisní. Zvláštní případ proluk (a obseků) vznikl při buldozerové přípravě z vyklučných pařezů a následnou sítí BŘ.

Principiálně prolukami jsou v rozsáhlých smrčínách i výsadby zpevňujících dřevin podél cestní sítě (ve vyšších polohách zejména klenů – pro rychlejší odtávání sněhu z cest) nebo na podmáčených stanovištích (jasanu -), u nezpevněných cest (břízy – pro rychlejší osychání cest – díky transpiraci a propustnosti korun pro slunce) .

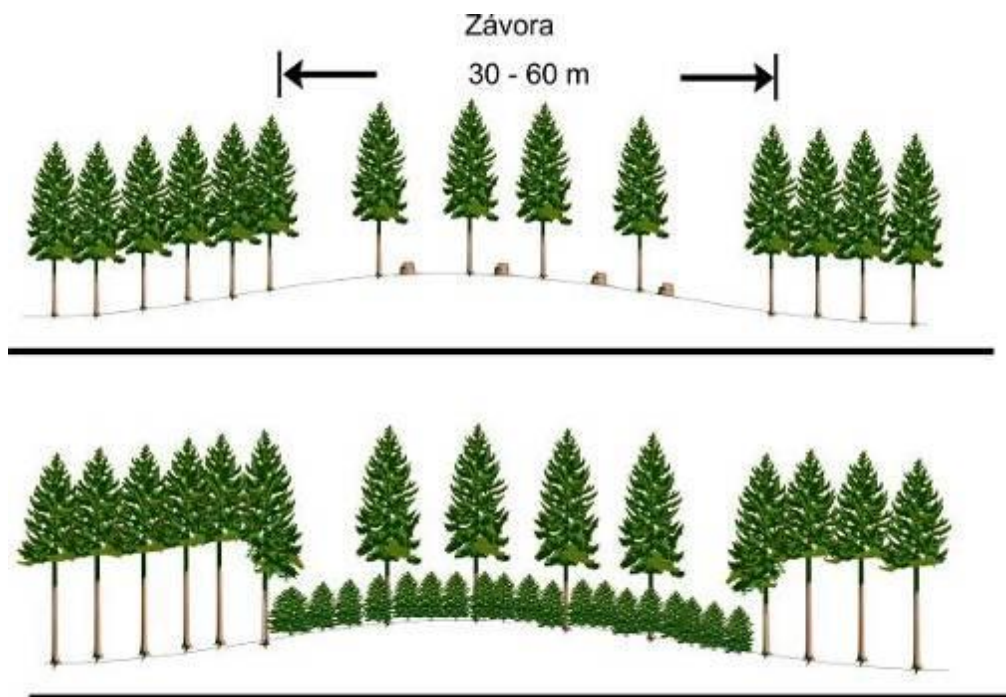
3.8. H) Závory

jsou orientovány kolmo proti větru a vzájemná vzdálenost mezi nimi je shodná s rozlukami. Jsou to pruhy vytyčené ne zcela pravidelně na pevné půdě v jinak labilních rozsáhlých smrkových porostech ve věku do 40 let, široké 1 – 2 výšky porostu (s délkou

10násobku výšky porostu), udržované ve volnějším zápoji, který však nesmí klesnout

pod $z = 0,7$. V systému rozluk na vodou ovlivněných půdách může být využita pro závoru i mírná terénní vyvýšenina s poněkud pevnější půdou. K podsadbě závor se přistupuje teprve v závěrečné fázi obnovy porostu a mýtí se až po ukončení obnovy.

Závory, popř. jiné zpevňující (ochranné, tlumící) pásy lze v určitých $\pm$ vyvýšených polohách budovat jako dlouhodobou obnovně samostatnou zpevňovací (protiimisní) bariéru postupným podsazováním a rozšiřováním proti kritickému směru až do hloubky 80 až 120 m. Závora z dnešního pohledu je výhradně smrkový vnitřní (dle různých autorů a otrockých překladů z cizích jazyků - tlumící, ochranný, brzdící, větrolamový, řídkolesí....) zpevňující pás. Obdoba závor je v současnosti populární v severní a západní Evropě.



3.9. I) Zpevňující žebra

V širším pojetí je to výsledek každé zpevňující seče uvnitř porostu. V dnešní době jsou většinou chápána zejména jako **listnatá** (nebo modřínová) zpevňující žebra.

Jsou součástí obnovy porostu (v mýtném článku) a představují předsunuté užší náseky zalesněné odolnou dřevinou. Častým případem při obnovním cíli buk-smrkovém, jsou 15 až 20 m široké pruhy předsunutého buku. Většinou se vystačí řadovou výsadbou, nebo předsunutými zpevňujícími kotlíky (zejména kde je tlak zvěře) postupně se propojujícími.

Rozdíl mezi zpevňujícím žebrem a zpevňujícím polopropustným (tlumícím) pásem (ad B) je v zakmenění a jeho šířce. Žebro má více méně normální zakmenění a zpevňující efekt se projevuje na základě vyšší stability druhové podmíněné, kdežto ochranný zpevňující pás má charakter řídkolesí a může být i se stejné dřeviny jako ochraňovaný porost (pokud je to smrk tak jde jednoznačně o závoru) Šířka vzhledem k nižší účinnosti takového prvku musí být vyšší – nejméně na 2 výšky stromu v době obmýti

4. ŘEŠENÍ V OPRL

V metodice OPRL (Macků 1995) řešila problematiku zpevňujících pásů v návaznosti na lesní zákon grafickým znázorněním tzv. Liniových stabilizačních prvků (označovaných názvovou zkratkou topologické vrstvy LISP). V původní metodice se vyskytovali prvky založené výchovou a obnovou a obseky (například pro pomniškoviny). Prvky LISP se pro správu a údržbu dat se dělily na navržené a založené provedené výchovou a obnovou, dále byly doplněny bodovými značkami pro zpevňující kotlíky a podsadby. V původní metodice se uvažovalo s aktivním vkládáním těchto prvků do porostů, s případnou úpravou kategorie lesa (obdoba biocenter a biokoridorů). Toto však považuji za nadbytečné a stávající právní úpravu v zákoně o lesích, kdy lze pro účely zpevňování snižovat zakmenění pod 0,7 (§31 odst 4) za dostačující. Za účelem zpevnění lesa lze orgánem státní správy lesů při schvalování plánu nebo při zpracování osnov, nebo na žádost vlastníka lesa povolit výjimku pro předčasnou obnovu (pod 80 let). Je však nezbytné tyto prvky zavést do vrstvy OPRL pracovníkem sekce ochrany lesů a zavést do popisu porostů v LHP taxátorem.

Základní chybou bylo vkládání těchto prvků v rámci šetření OPRL přípravných prací obnov LHP/O. Takto pojatá vrstva LISP nezohledňovala těžební úpravu, neboť se dělala ve značném předstihu. I proto se při údržbách OPRL již nové prvky nenavrhovali a pouze se stávající evidovali.

Na základě nových tezí (Křístek, Zlatník) tvorby, pojetí a účelu OPRL jako informačního systému bylo v roce 2007 započato s koncipováním takzvaných zón zpevnění lesa ZZL (potenciálního ohrožení větrem), dále kontrolními indexy objektivizující potřebu a naplnění zpevnění atd.

5. ZÁVĚR

Zatímco zpevňující pásy v rámci vnější prostorové úpravy byly nástrojem strategie vzájemného krytí, navržené zóny zpevnění lesa umožňují aktivnější kombinaci s vnitřním zpevněním nebo odstupňovanou výchovou dle potenciálního ohrožení dané oblasti. Na LISP již nepohlížíme jako na nástroj pasečného hospodářství, ale prvek zvýšení ekologické stability smrkových porostů, ať již pěstovaných dle zásad čistého výnosu z půdy (i ve své extrémní formě smrkových lignikultur) nebo čistého výnosu z lesa (třeba i ve své extrémní formě

bezzásahových režimů). Prvky LISP takto zvyšují prostorovou, druhovou, později i věkovou diverzitu lesa. Ač například při orkánu Emma pomístně prokázali pouhou 40% účinnost vůči bořivým větrům.

V ideálním případě by zpevňující prvky měli tvořit vlastnickou hranici, aby se eliminovaly škody na sousedním majetku (resp. se usnadnil právní výklad zavinění či vyšší moci).

Kontakt na autora:

Zlatník Vincenc,

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem

SMRK ZTEPILÝ V PODMÍNKÁCH GLOBÁLNÍ ZMĚNY KLIMATU



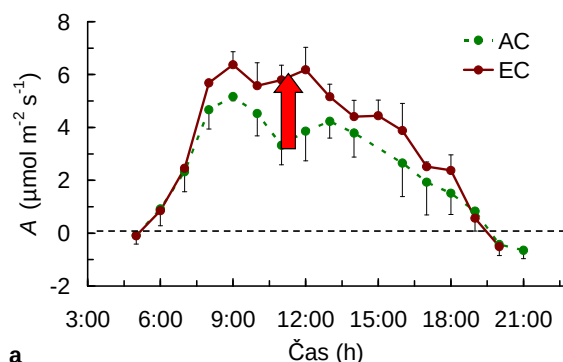
Smrěk ztepilý
(Picea abies /L./ Karst.)
v podmínkách globální změny
klimatu

Vliv zvýšené vzdušné koncentrace CO₂
- příspěvek k poznání růstové strategie
smrku jako podklad pro jeho pěstební
perspektivy

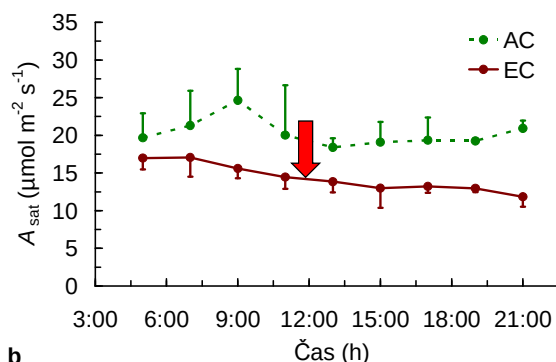
Radek Pokorný



Fyziologické odezvy smrku na působení CO₂ – fotosyntéza



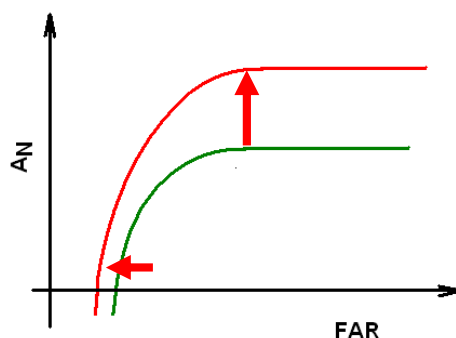
Rychlost asimilace



Asimilační kapacita

Asimilační kapacita = rychlost asimilace CO₂ za podmínek saturační ozáření ($\geq 1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a saturační koncentrace CO₂ ($1500 \mu\text{mol mol}^{-1}$). Upraveno dle Špunda a kol. 2005.

- Rozdílné působení $\uparrow$ CO₂ na slunný a stinný asimilační aparát
 - potvrzení počáteční hypotézy: dlouhodobé působení $\uparrow$ CO₂ stimuluje fotosyntetickou produkci stinných letorostů
 - průkazně vyšší denní průběh asimilace CO₂ při ozáření nad $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



Střídání aklimační deprese v průběhu vegetační sezóny:

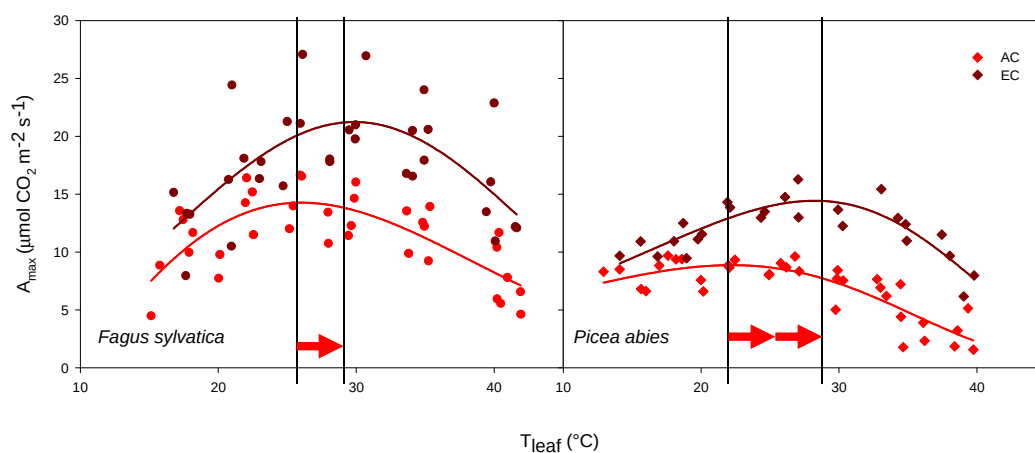
jaro - stimulace asimilace CO_2 ($\uparrow$ 35%)

podzim - výrazný pokles asimilační kapacity ($\downarrow$ 35%)

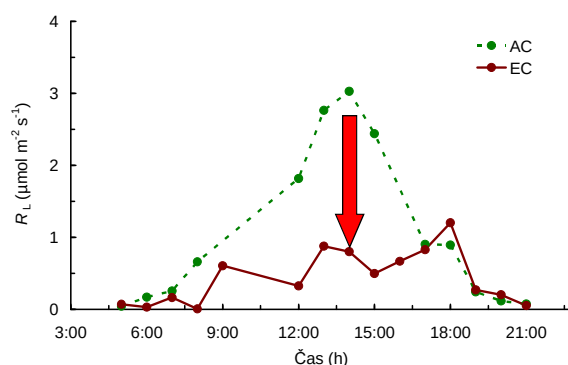
řízeno aktivitou uhlíkových sinků

Teplovní závislost A_{max}

Předběžné výsledky: Urban 2011 (projekt CzechTerra)

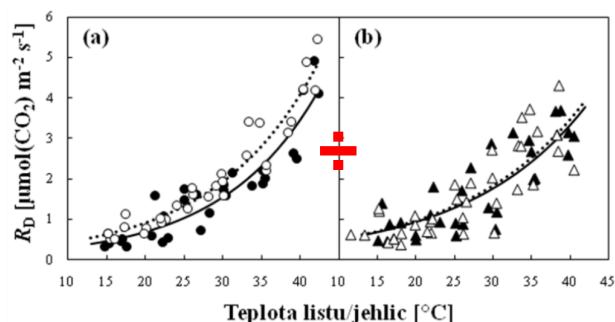


Fyziologické odezvy smrku na působení CO₂ – fotorespirace a respirace



Fotorespirace (RL)

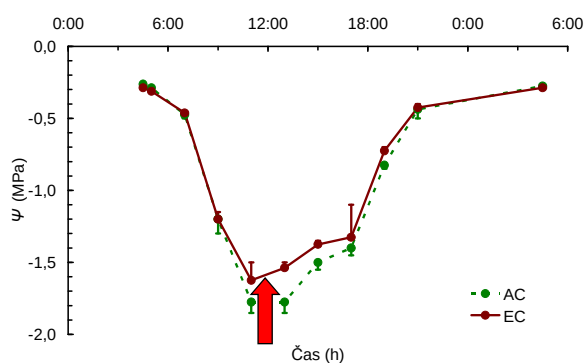
Upraveno dle Špunda a kol. 2005.



Temnotní respirace (RD)

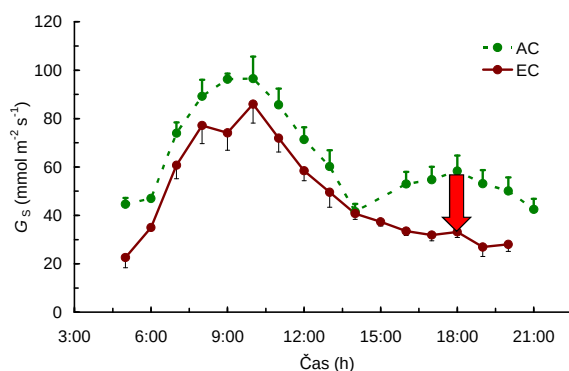
(dle Šigut 2011)

Fyziologické odezvy smrku na působení CO₂



Vodní potenciál letorostů (ψ)

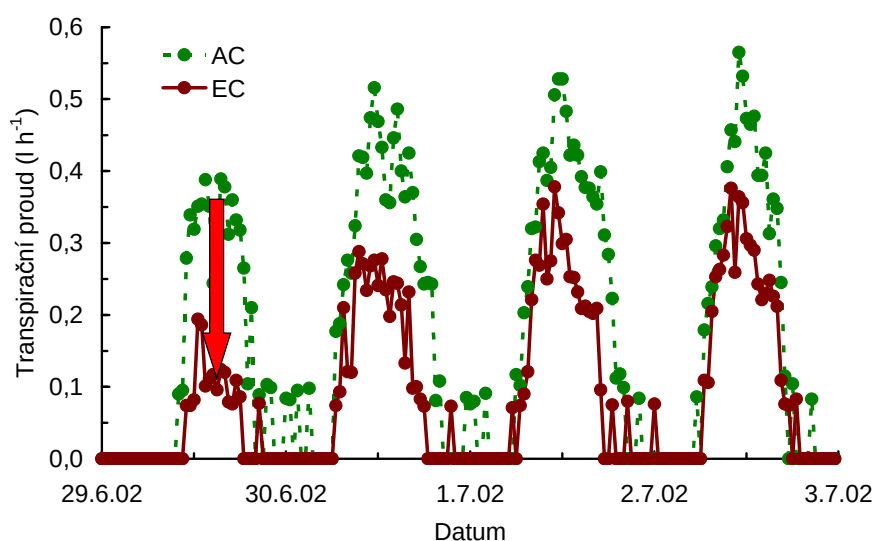
Upraveno dle Kupper a kol. 2006.



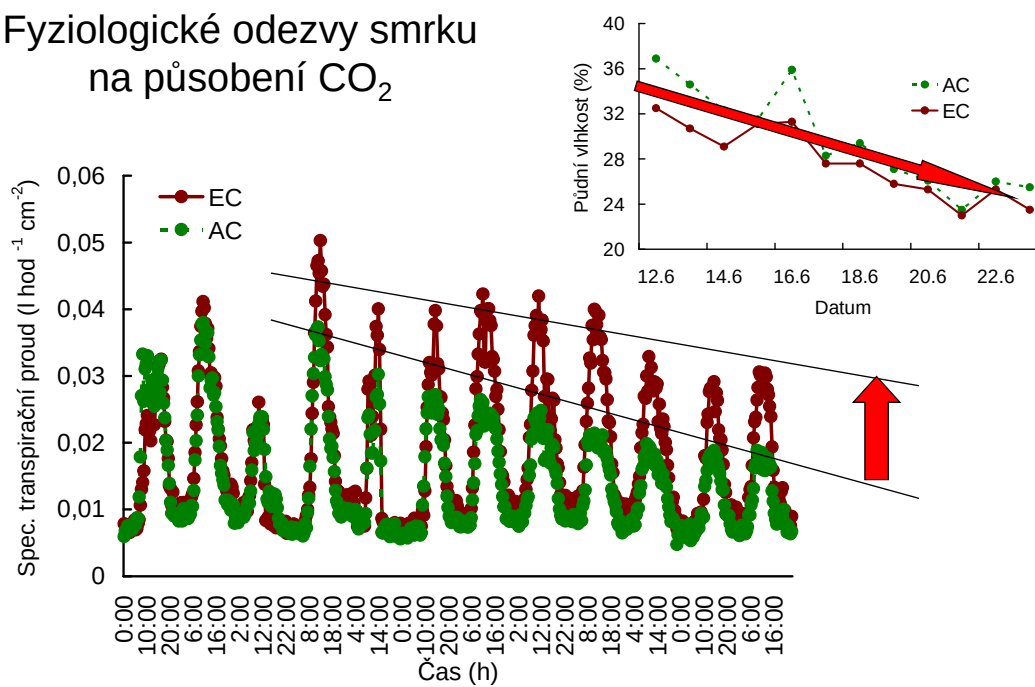
Vodivost průduchů (G_S)

Upraveno dle Špunda a kol. 2005.

Fyziologické odezvy smrku na působení CO_2 - transpirace

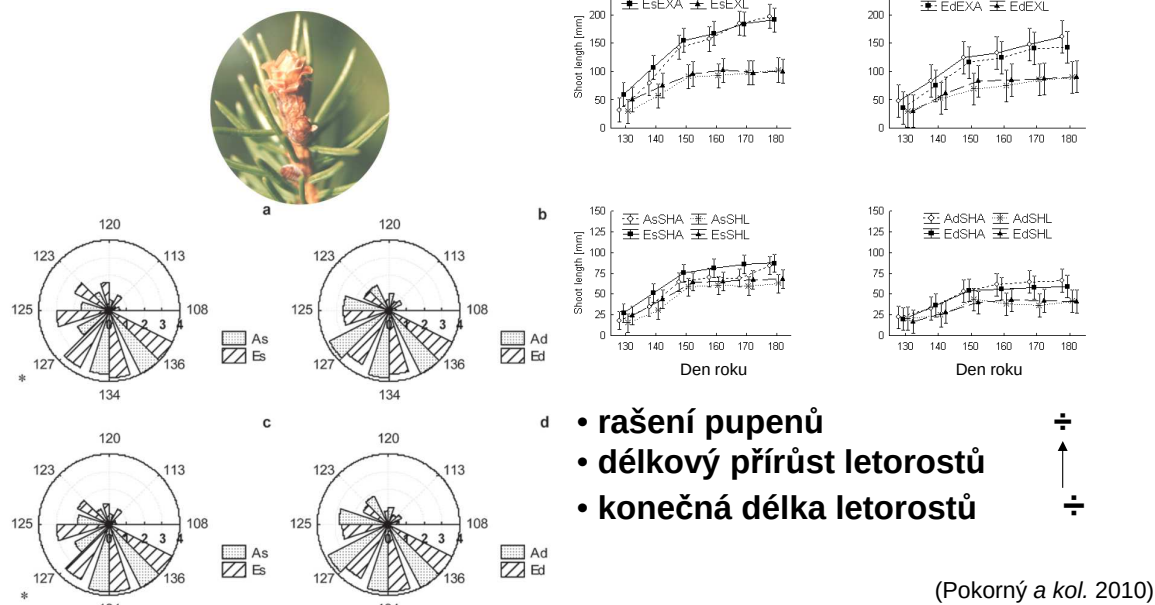


Fyziologické odezvy smrku na působení CO_2



Terciární fyziologické odezvy na působení CO₂ – růstové reakce

Fenologie



Morfologie letorostu a jehlic



NN - počet jehlic v letorostu

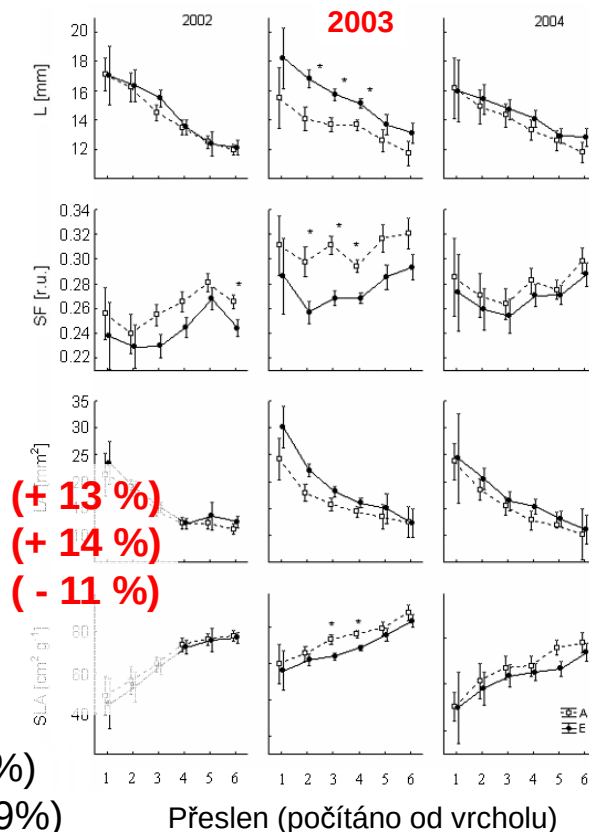
L - délka jehlice

LA - projekční plocha jehlic

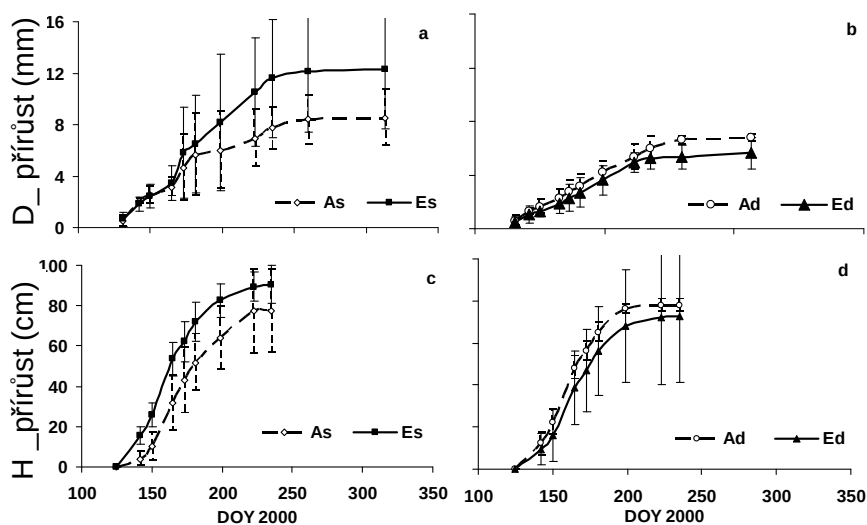
SLA - specifická listová plocha

Lwb - mírně stimulována (+ 20%)

Nwb –mírně stimulován (+ 3–19%)



Růst, dendrometrické parametry



H a D přírůst

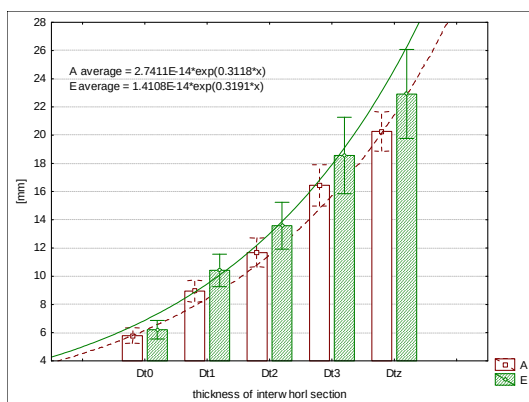
- neovlivněn

- po krátkodobé kultivaci
- při kultivaci v hustém sponu

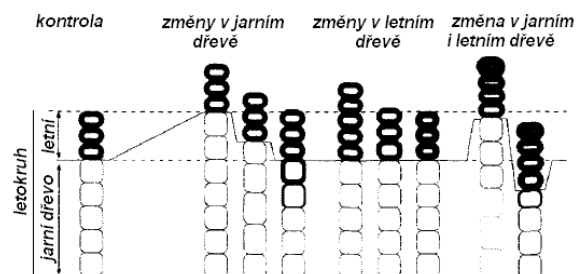
+ ovlivněn

- + po dlouhodobé kultivaci v řídkém sponu
- ++ po pěstební zásahu

Tloušťkový přírůst a kvalita dřeva

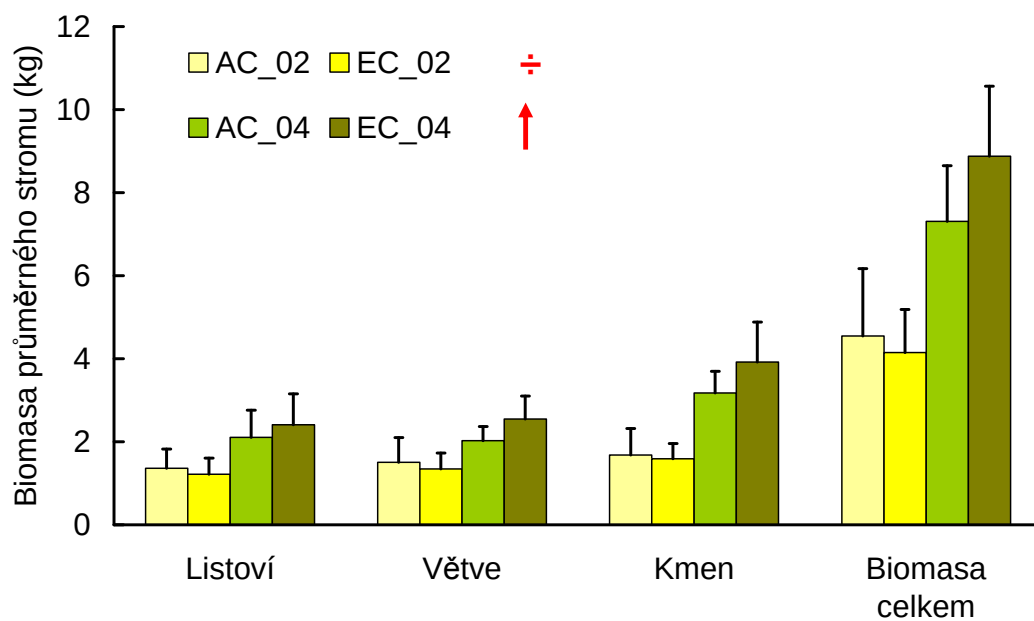


Tloušťkový přírůst
(Dt0 = 2003, Dt1 = 2002)

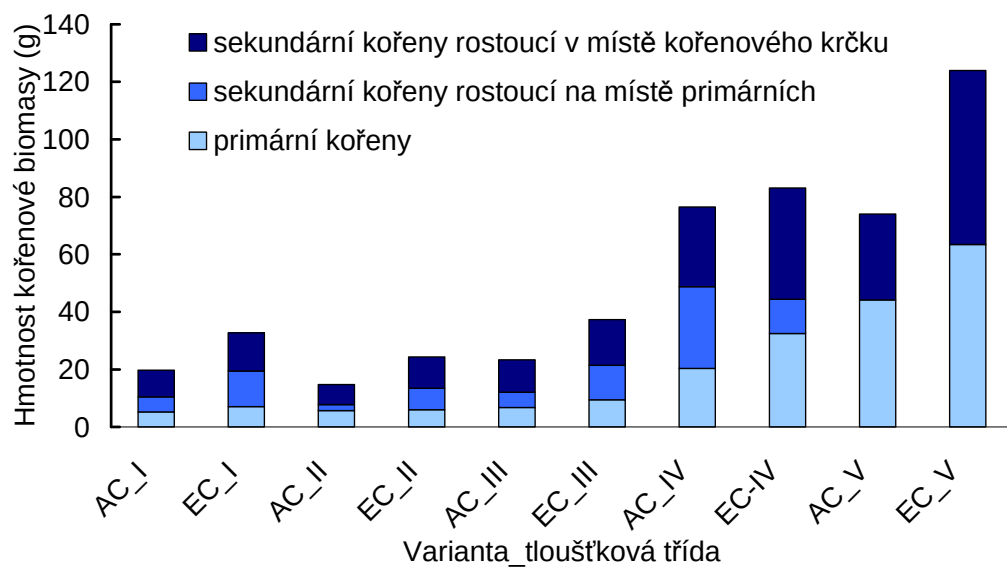


Kvalita dřeva

Nadzemní biomasa



Podzemní biomasa



Tloušťkové třídy (I - 0–1 mm, II - 1–2 mm, III - 2–5 mm, IV - 5–20 mm, V > 20 mm)

Podzemní biomasa

- Podzemní biomasa celkem + 37% (nadzemní + 12%)
-
- Podíl podzemní/ nadzemní biomasa (AC 1:0,4; EC 1:0,7)
- Biomasa primární struktury $\pm 10\%$
- **Biomasa sekundární struktury + 58%**
- **Počet kořenů** primární i sekundární struktury (+ 8 - 10 %)
- **Biomasa kořenů (i délka) - nejjemnějších** (+ 62 %).

Shrnutí

- Širší ekovalence vůči světlu
- Nástup rašení neovlivněn
- Stimulace růstu primární struktury
- Výrazná stimulace růstu kořenů
- Schopnost vytvářet alternativní „sinky“
- Výrazná stimulace přírůstu jedince po pěstebním zásahu
- Efektivní využívání vody
- Ústup z chudých a suchých stanovišť
- Ohrožení biotickými škůdci



- 1) Urban, O., Janouš, D., **Pokorný, R.**, Marková, I., Pavelka, M., Fojtík, Z., Šprtová, M., Kalina, J., Marek, M.V.: Glass domes with adjustable windows: A novel technique for exposing juvenile forest stands to elevated CO₂ concentration. *Photosynthetica* 39: 395-401, 2001.
- 2) Marek, M.V., Urban, O., Šprtová, M., **Pokorný, R.**, Rosová, Z., Kulhavý, J.: Photosynthetic assimilation of sun versus shade needles under long-term impact of elevated CO₂. *Photosynthetica* 40: 259-267, 2002.
- 3) Urban, O., **Pokorný, R.**, Kalina, J., Marek, M.V.: Control mechanisms of photosynthetic capacity under elevated CO₂ concentration: evidence from three experiments with Norway spruce trees. *Photosynthetica* 41(1): 69-75, 2003
- 4) Janouš, D., **Pokorný, R.**, Brossaud, J., Marek, M.V.: Long-term effects of elevated CO₂ on woody tissues respiration of Norway spruce studied on open-top chambers. *Biol. Plantarum*. 43 (1): 41-46, 2000.
- 5) Acosta M., **Pokorný, R.**, Janouš, D., Marek, M.V. Stem respiration of Norway spruce trees under elevated CO₂ concentration. *Biol. Plantarum* 54 (4): 773-776, 2010
- 6) W.I.J. Dieleman, S. Luyssaert, A. Rey, P. De Angelis, C.V.M. Barton, M.S.J. Broadmeadow, S.B. Broadmeadow, K.S. Chigwerewe, M. Crookshanks, E. Dufrière, P.G. Jarvis, A. Kasurinen, S. Kellomäki, V. Le Dantec, M. Liberloo, M. Marek, B. Medlyn, **R. Pokorný**, G. Scarascia-Mugnozza, V.M. Temperton, D.Tingey, O. Urban, R. Ceulemans and I.A. Janssens. Soil [N] modulates soil C cycling in CO₂-fumigated tree stands: a meta-analysis. *Plant, Cell and Environment* 33: 2001-2011, 2010.
- 7) Kupper, P., Sellin, A., Klimánková, Z., **Pokorný, R.**, Puertolas, J.: Water relations in Norway spruce trees growing at ambient and elevated CO₂ concentrations. *Biol. Plantarum* 50 (4): 603-609, 2006.

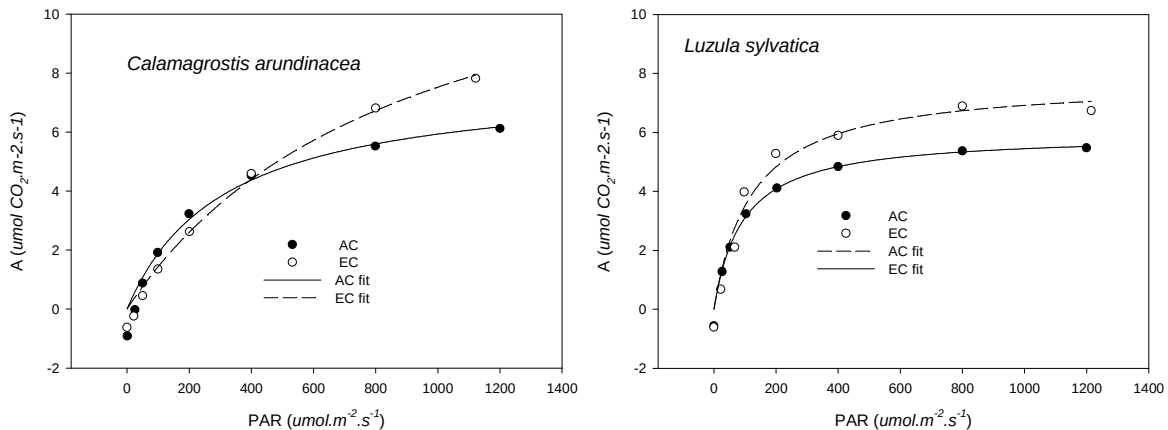
- 8) **Pokorný, R.**, Šalanská, P., Janouš, D.: Growth and Transpiration of Norway Spruce Trees in Atmosphere with Elevated CO₂ Concentration. *Ekológia (Bratislava)* 20 (1): 14-28, 2001.
- 9) **Pokorný R.**, Tomášková I., Drápelová I., Kulhavý J., Marek M. V. Long term effects of [CO₂] enrichment on bud phenology and shoot growth patterns of Norway spruce juvenile trees. *Journal of Forest Science* 56 (6): 251-257, 2010.
- 10) Tomášková I., **Pokorný R.**, Marek M.V. Influence of stand density, thinning and elevated CO₂ on stem wood density of spruce. *Journal of Forest Science* 53 (9): 400-405, 2007.
- 11) Janouš, D., **Pokorný, R.**: Response of a Norway spruce wood anatomy to elevated CO₂ concentration. *The Beskids Bulletin*. 12: 77-80, 1999. . 109
- 12) **Pokorný R.**, Tomášková I., Marek M.V. The effect of elevated atmospheric CO₂ concentration on Norway spruce needle parameters (*Acta hysiological Plantarum*, 33: 2269-2277, 2011)
- 13) Tomášková I., **Pokorný R.**, Cudlín P., Marek M.V. Response of Norway spruce root system to elevated atmospheric CO₂ (*submitted to European Journal of Forest Research*)
- 14) **Pokorný R.**, Tomášková I., Slípková R. The effect of air elevated [CO₂] on Norway spruce crown architecture and aboveground biomass (*accepted to Baltic Forestry*)
- 15) Urban, O., **Pokorný, R.**: Tree growth under the impact of elevated CO₂ concentration and some practical assessments. *Anale I.C.A.S.* 46: 93-98, 2004.

Celkem: 4 x první autor, 7 x druhý autor, 4 x další

Calamagrostis x Luzula

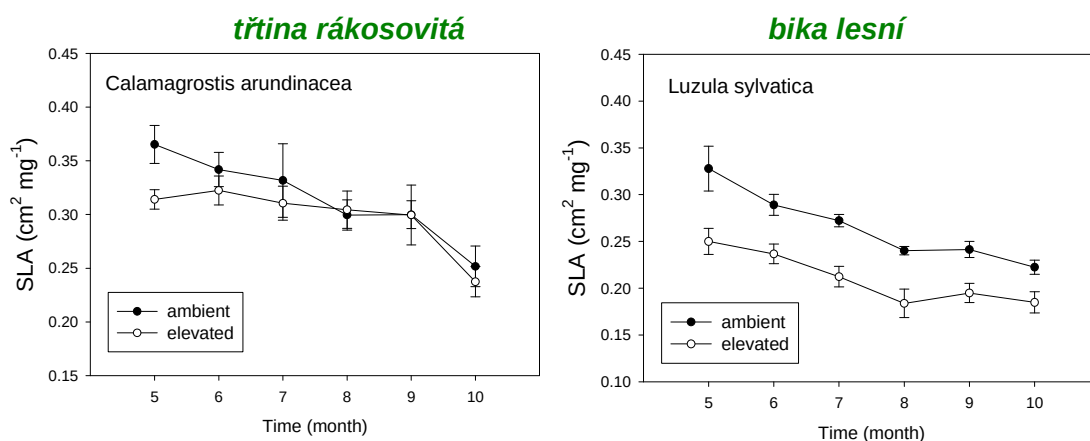


Aklimace fotosyntézy (I)



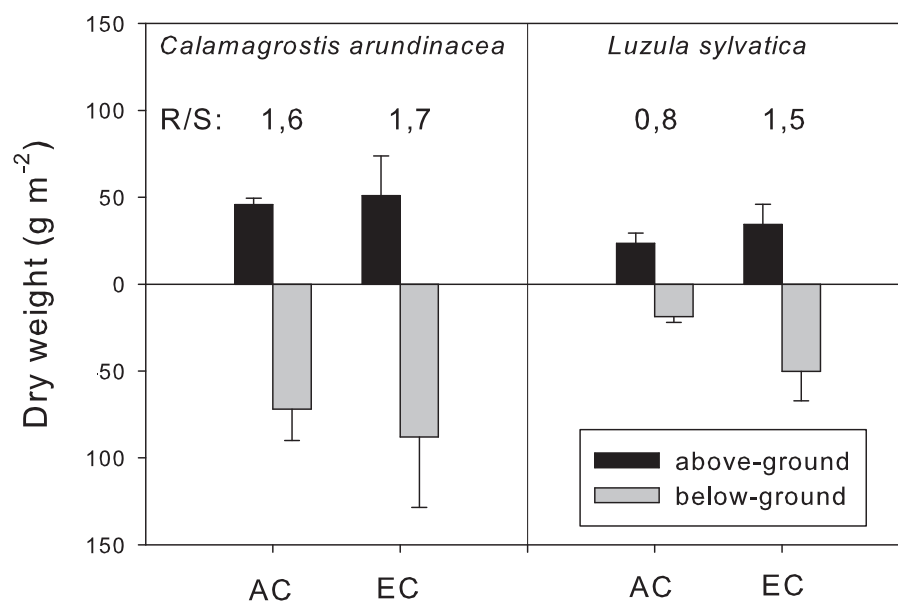
- rozdílná strategie využití světla studovanými druhy trav (citlivost k zastínění),
- bika je v porovnání s třtinou druh stín velmi dobře snášející
 - nízká hodnota kompenzační ozáření, vysoká účinnost využití světla, nízká saturační ozáření
 - pozitivní vliv EC se u biky projevuje při ozářeních $\geq 150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, kdežto u třtiny až při ozářeních $\geq 600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- **závěr:** pozitivní efekt EC je patrný u stín-snášejících druhů rostlin již při nižších ozářeních
 - v přirozeném prostředí nejčastější ozáření v rozsahu $200\text{--}400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Změny v tvorbě biomasy



- SLA – specifická listová plocha (projekční plocha listů/ sušina),
- typický pokles v EC (elevated) variantě obou druhů v porovnání s AC (ambient) – svědčí o vyšším ukládání asimilátů v listech
- nárůst biomasy v případě biky vyšší v porovnání s třtinou
 - *C. arundinacea* vyšší akumulace asimilátů v listech pouze na jaře
 - okolní stromy neolístěné, ozáření $\geq 600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - možné ovlivnění SLA rozdílnou strategií růstu studovaných druhů
 - listy různého stáří, preference ukládání vytvářených asimilátů do nadzemní či podzemní biomasy rostlin,

Tvorba biomasy - podrost



RŮST DŘEVIN V PODMÍNKÁCH GLOBÁLNÍ ZMĚNY KLIMATU



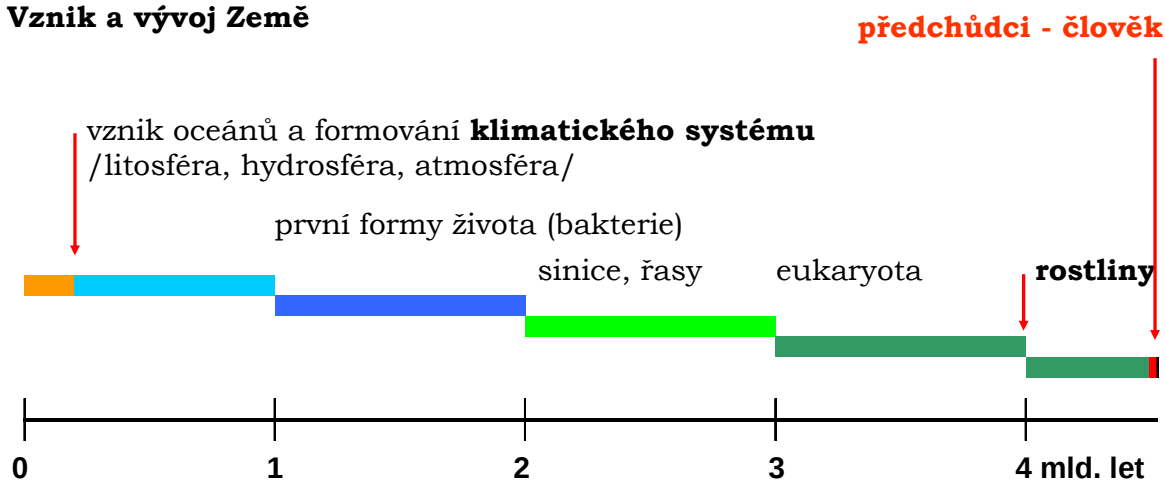


Vysvětlení pojmů

- Růst
 - zvětšování množství hmoty a velikosti organismu v důsledku činnosti metabolismu.
 - jedním z hlavních projevů života.
 - ovlivněn geneticky a faktory prostředí
- Počasí
 - okamžitý stav atmosféry charakterizovaný meteorologickými prvky a atmosférickými jevy v daném čase a místě.
- Klima
 - průměrné počasí stanovené pro určité období roku, celý rok nebo několik let na základě dlouhodobých pozorování
 - utváří se na základě energetické bilance, cirkulací atmosféry ...



Vznik a vývoj Země



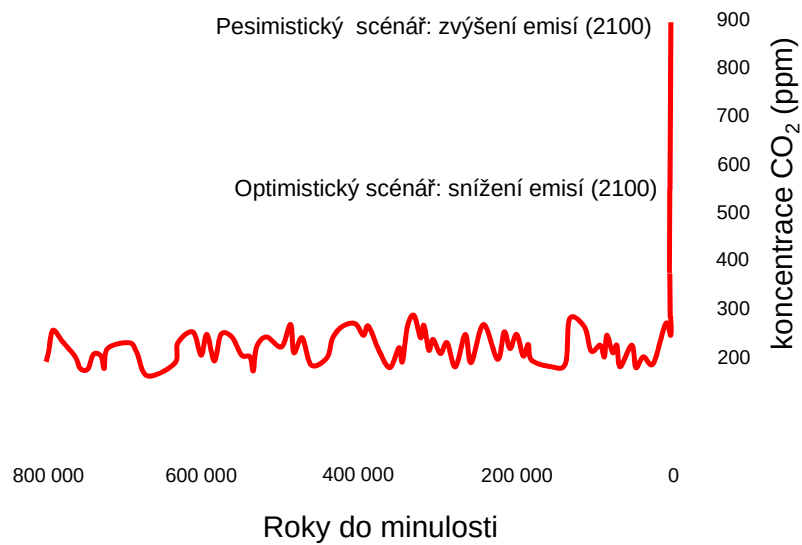
Klimatický systém Země (složky)

- atmosféra
 - světový oceán
 - kryosféra
 - litosféra
 - biosféra
- } termodynamické otevřené systémy
výměna hmoty a energie

Co je globální změna klimatu?

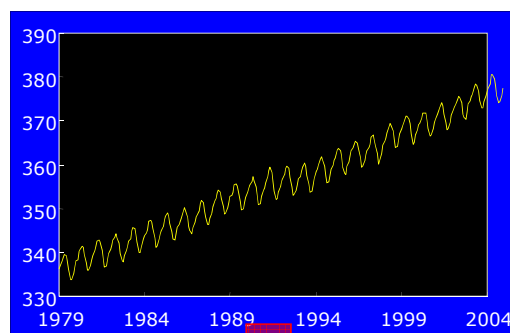
- Je to narůstající odchylka klimatických parametrů Země, např. teplot, srážek, rychlosti větru, od průměrů a trendů, které charakterizovaly naši planetu přibližně do počátku 20. století“





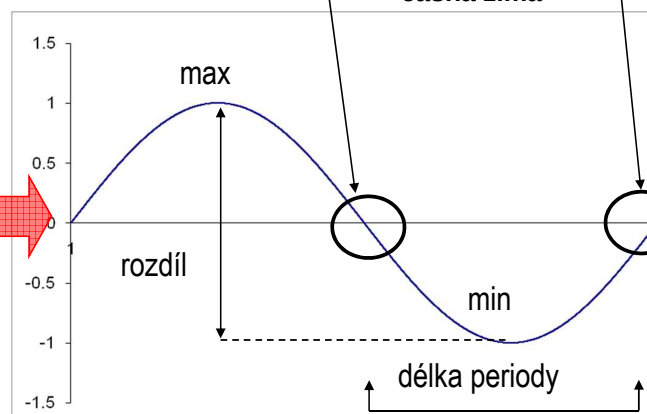
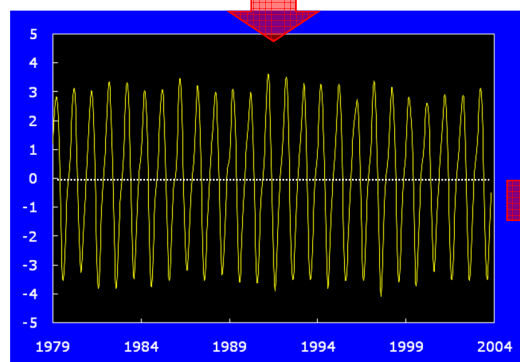
dle Luthi et al., 2008

Atmosférická koncentrace CO₂ dlouhodobé záznamy

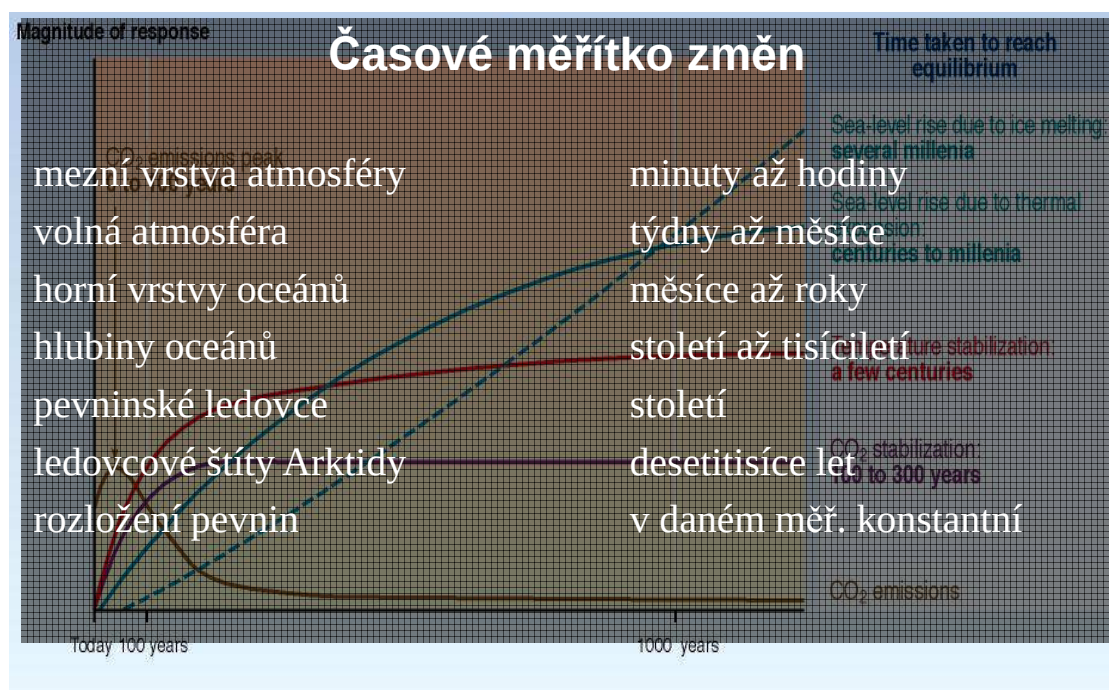


Přechod k minimu
- jaro, časně léto

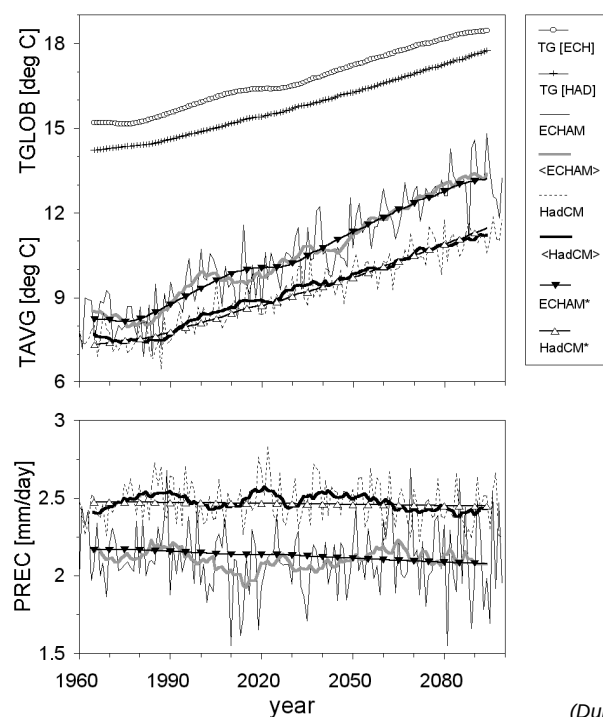
Přechod k maximum –
podzim,
časná zima



Koncentrace CO₂, teplota i hladina oceánů a moří se budou zvyšovat dlouho po redukci emisí



Teplota a srážky



(Dubrovský a kol. 2005, Dubrovský a kol. 2011)

Projektovaná (možná) změna teploty a srážek

Časové rozložení trendů

- Statisticky významné jsou zejména teplotní klimatické extrémy
 - Roční extrémy denní maximální teploty a délky horkých období vykazují téměř na všech stanicích vzestupný trend (pouze na některých stanicích je trend statisticky významný)
- Trendy ročních extrémů denních minimálních teplot a délky studených období jsou statisticky nevýznamné
 - Trendy srážkových extrémů jsou většinou nevýznamné
 - Trend max. délky suchého období vykazuje spíše negativní trend

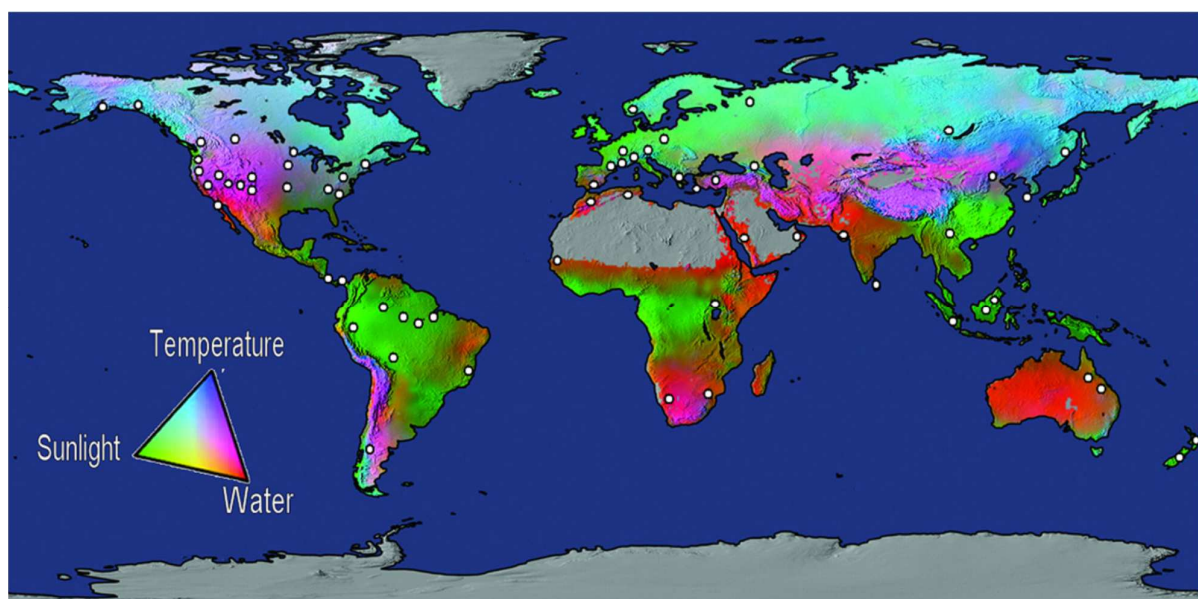
Prostorové rozložení trendů

- Trend maximální délky horkého období se v severní části území jeví významnější než v jižní části
- Na východě republiky vykazuje max. délka suchého období významnější negativní trend, max. délka srážkového období a max. 5denní úhrn srážek významnější pozitivní trend.

Modelový příklad situace teplotních a srážkových poměrů (vyjádřené pomocí ročních průměrů) na 45 stanicích v roce 2050 (vpravo) v porovnání se současnými podmínkami (vlevo) za předpokladu platnosti scénáře podle modelu HadCM3 a střední klimatické citlivosti.

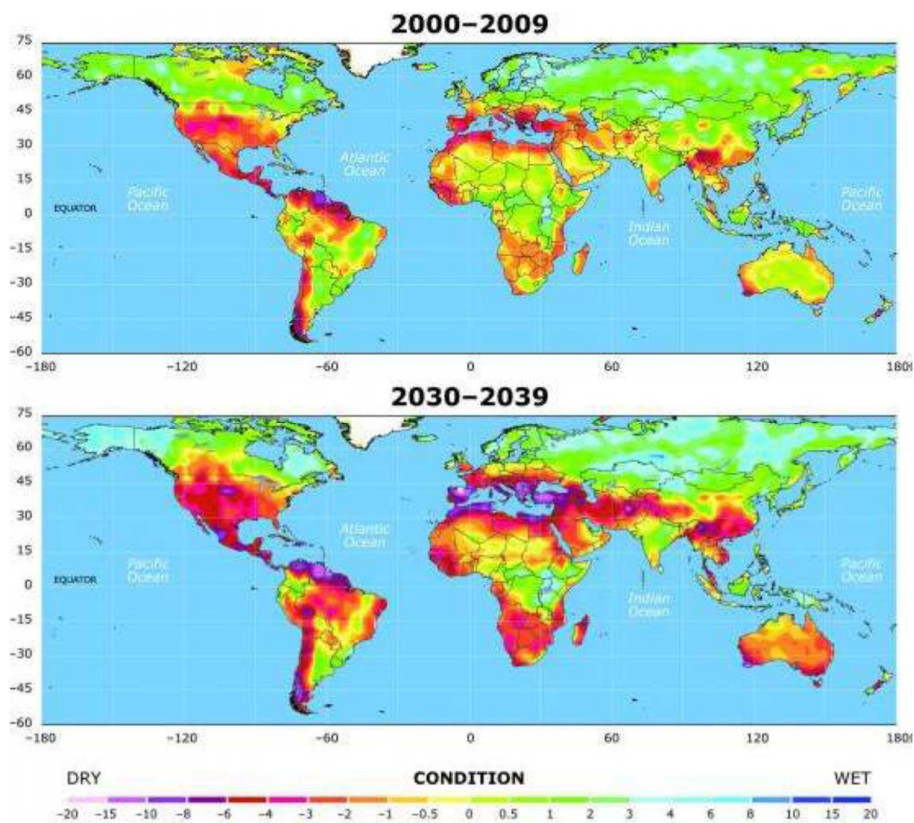
(Dubrovský a kol. 2005, Dubrovský a kol. 2011 v Marek a kol. 2011)

Limity životního prostředí lesů – světlo, teplo, voda



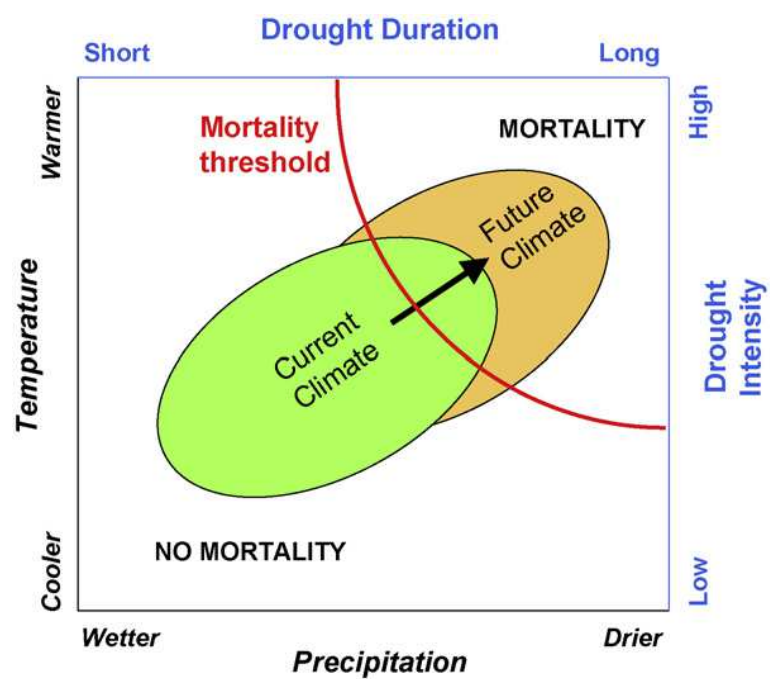
- Klimatický stres – sucho, vysoká teplota

(z Boisvenue and Running, 2006)

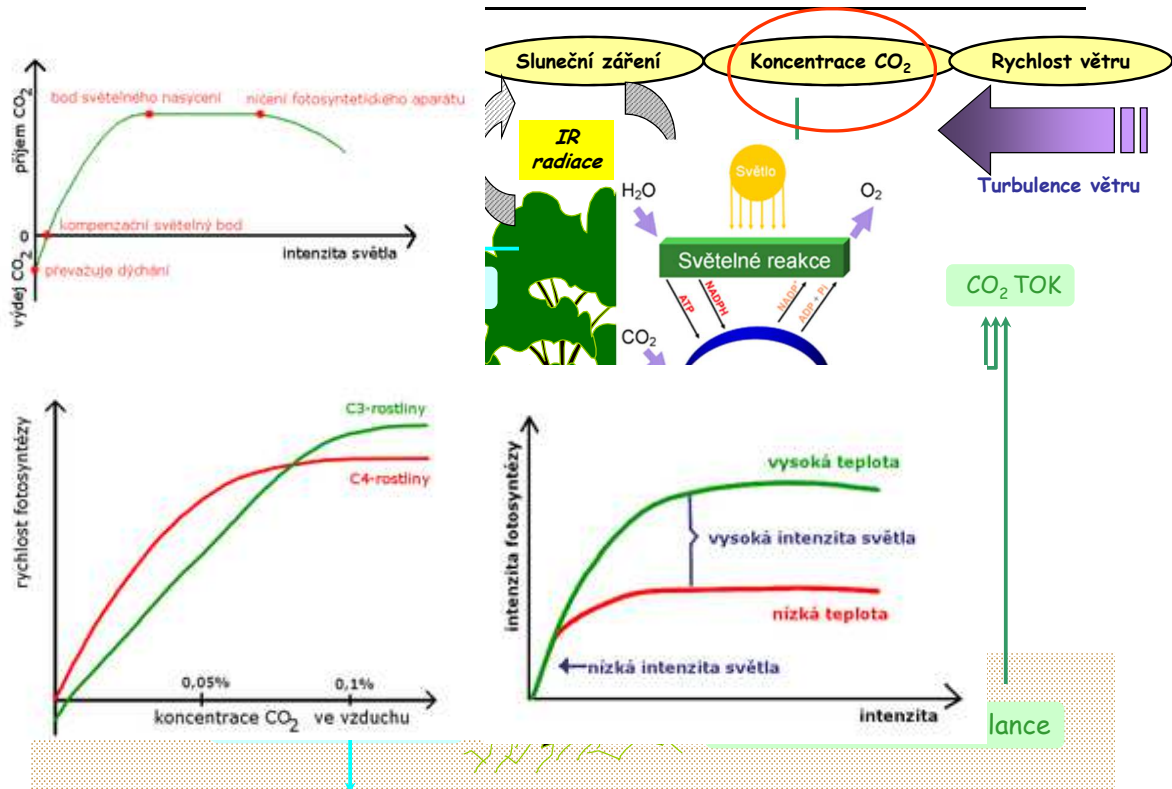


Lorimerův index sucha

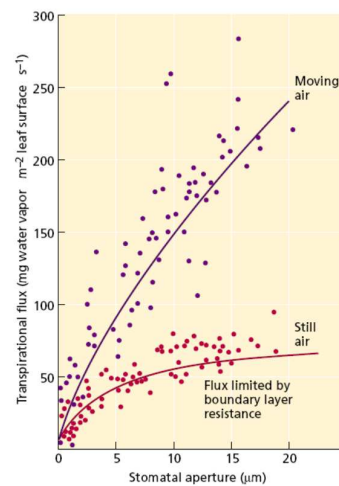
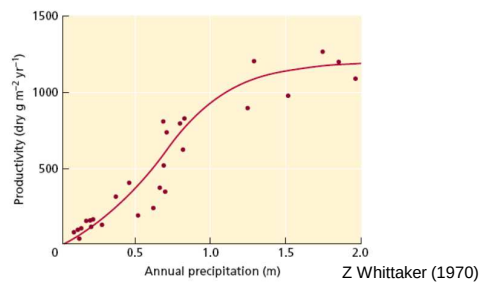
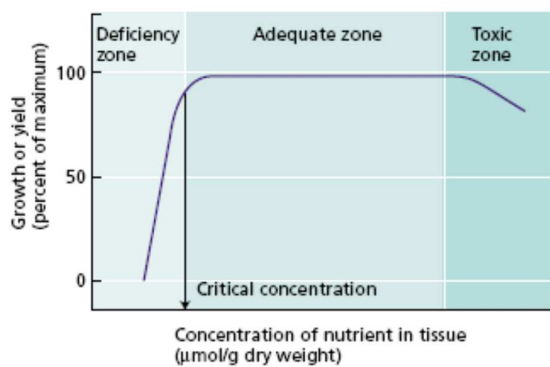
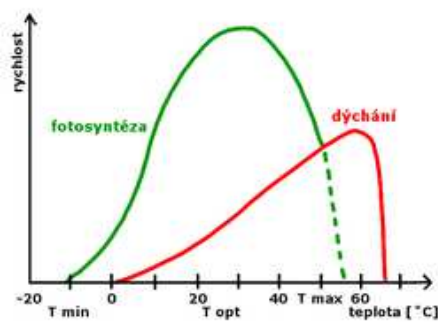
Schematický efekt posunu klimatu na mortalitu lesů



Globalní ekosystémový model ORCHIDEE



Fotosyntéza/ produkce vs teplota a srážky



Závislost transpirace na stomatální vodivosti (dle Bange 1953).

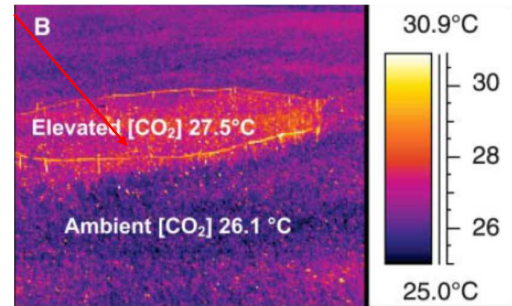
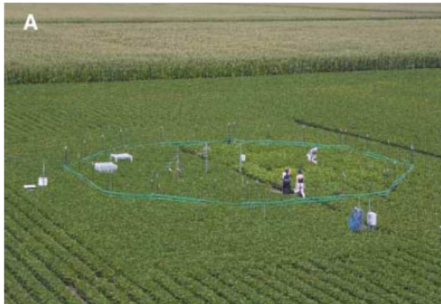
Zvýšená CO₂ a teplota listu

Nižší stomatální vodivost,
Nižší transpirace



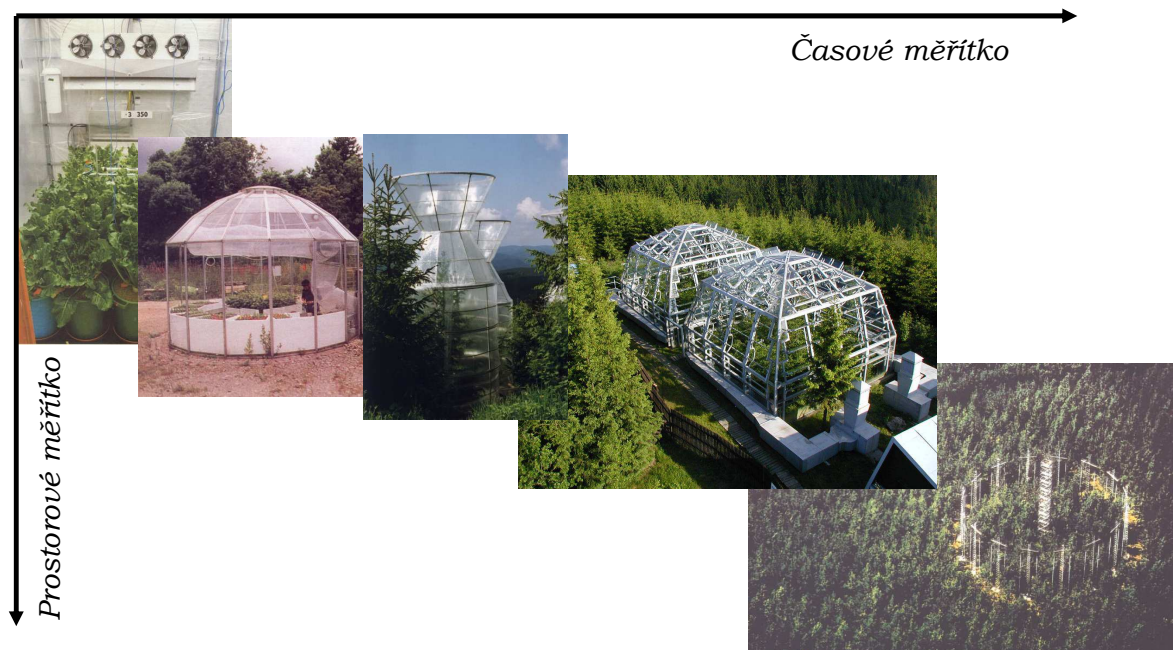
Nižší tolerance k mrazu (jako
důsledek pomalejší aklimace)

(Loveys et al. 2006)



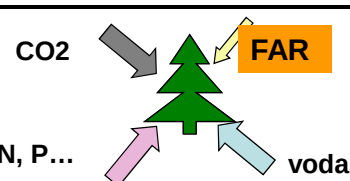
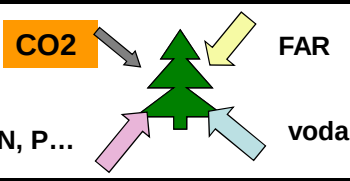
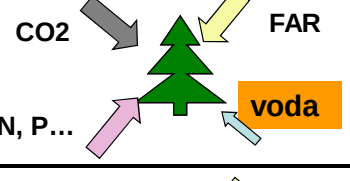
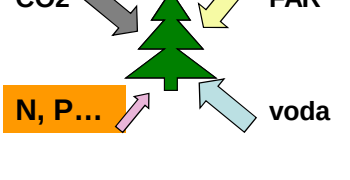
Long et al. 2006 Science

Způsoby výzkumu vlivu zvýšené [CO₂] na rostliny

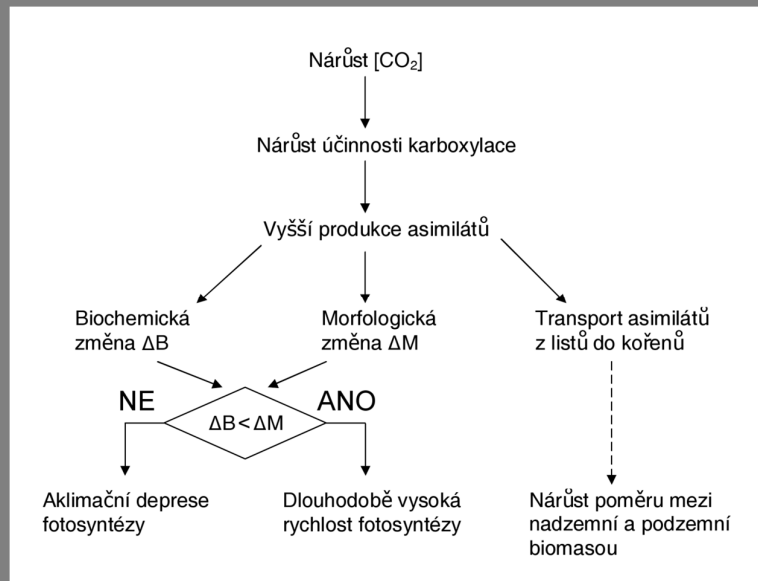


Časová odezva úrovně ekosystému na změnu faktoru prostředí (CO₂)

	Sekundy/ minuty	Hodiny/ dny	Týdny/ měsíce	Roky/ desetiletí	Století
Buňka	aktivace enzymů, fluorescence, karboxylace	kinetika enzymů struktura organel	aklimace buněčných procesů		
List/ výhon		asimilace, transpirace, stomatální reakce	aklimace asimilace, fenologie		
Strom	primární		růst, alokace C, přísun živin, kořen/výhon	vlastnosti koruny, větvení	
Porost		sekundární	přísun živin, WUE, produkce	struktura korun.vrstvy, kompetice, těžební index	
Eko- systém		terciární		výnos, obmýtl, WUE	přir. výběr, využití půdy, druh skladba

Limitní faktor	stanoviště	Odezva na zvýšení CO ₂
	zastínění	zvýšení produkce, nárůst listoví
	současná koncentrace	celkové zvýšení produkce, saturace již při nižší FAR
	sucho	inhibice nadzemní biomasy, nárůst kořenů, nižší LAI
	chudá půda	inhibice nadzemní biomasy, nárůst kořenů, nižší LAI

Model vývoje aklimační deprese fotosyntézy v atmosféře se zvýšenou koncentrací CO_2 . (Upraveno dle Luo a kol. 1999.)



Na utváření aklimační deprese se podílí zvýšená koncentrace asimilátů v listech. Je-li morfologická změna vyvolaná těmito asimiláty větší než změna biochemická, pak dochází k dlouhodobému udržení vysokých rychlostí asimilační kapacity. V opačném případě dochází k jejímu poklesu.

Výsledky působení zvýšené koncentrace CO_2

- krátkodobá aplikace (dny až týdny)
 - stimulace fotosyntézy (20 až 300%)
- dlouhodobá aplikace (měsíce až roky)
 - snížení stimulačního efektu
 - kapacita asimilace nižší - tzv. aklimační deprese (do 55%)
- trvalé udržení vysokých rychlostí asimilace
 - tvorba nových aktivních spotřebičů (tj. tvorba nových pletiv, internodálních větví, sekundárního větvení, kořenů)
 - listnáče - každoroční nahrazení listové plochy
- vyšší dlouhodobý profit ze zvýšeného CO_2 pro listnáče

Účinky vysoké koncentrace CO₂

- zvýšení efektivity využití vody
 - uzavírání průduchové štěrbin - snížení transpirace
 - vyšší nárůst biomasy po období sucha
- vyšší nároky na minerální výživu (zejména N)
 - nedostatek prohlubuje aklimační depresi
 - nepřímé komplikace - odčerpání N heterotrofními mikroorganismy v půdě
- hromadění asimilátů - vyšší výskyt savého hmyzu

Výsledky pěstování lesních dřevin ve zvýšené koncentraci CO₂

jehličnany

biomasa	+ 38 %	(0 % až 95 %)
rychlost fotosyntézy	+ 40 %	
asimilační plocha	+ 24 %	(- 14 % až + 81 %)
kořen/výhon	+ 10 %	(- 10 % až + 57 %)

listnáče

biomasa	+ 63 %	(0 % až + 290 %)
rychlost fotosyntézy	+ 61 %	
asimilační plocha	+ 33 %	(- 67 % až + 132 %)
kořen/výhon	+ 9 %	(- 35 % až + 74 %)

Borovice (*Pinus sylvestris*)

- Rašení o 6-9 dnů dříve /Teplota – dříve přírůst, delší doba růstu/
- Stimulace fotosyntézy, zvýšení LUE, pokles f. kapacity (N), pokles R
- EC – větší absolutní i relativní D přírůst
 - Přírůst celkové biomasy ca 55%, biomasy a objemu kmene (49% a 38%)
 - LA, LMA, Lsh, Nsh
 - Výrazný přírůst jemných kořenů
 - Struktura jehlic ovlivněna (+tl., -počet průduchů)
 - Struktura dřeva: + větší přírůst jarního d., méně pryskyřičných kanálů, hustota neovlivněna, menší pevnost
 - Struktura koruny neovlivněna (Nb, LAD)

Kaiyun a kol. 1995, Beerling 1997, Jach a Ceulemans 1999, Jach a kol. 2000, Utriainen a kol. 2000, Lin a kol. 2001, Peltola a kol. 2002, Ceulemans a kol. 2002

Buk (*Fagus sylvatica*)

- Rašení, doba olistění, opad - neovlivněny (dříve – žloutnutí)
- Stimulace fotosyntézy, pokles respirace, (pokles) stomatální vodivosti
- Tvorba jánských výhonů
- Výškový i tloušťkový přírůst stimulován (sinergický efekt s teplotou)
- Menší přírůst hrubých kořenů
- Nižší nárůst biomasy, nižší LAI na kyselých půdách (+N), větší na bazických

Heath a Kerstiens 1997, Bruhn a kol. 2000, Liozon a kol. 2000, Hattenschwiler 2001, Egli a kol. 2001, Spinnler a kol. 2002, Overdieck a kol. 2007

Stimulace růstu je v rukou lesníka

- Druhovú skladba (výběr dřeviny)
- Prostorová struktura (modifikace růstového prostoru, konkurence..)
- Věková (podpora vybrané růstové fáze)
- Funkční (podpora stability)



Děkuji za pozornost ☺

ZMĚNY A MOŽNÁ ZMĚNA KLIMATU, EXTRÉMY POČASÍ A PODNEBÍ A JEJICH PROJEVY



Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno
Kroftova 43, 616 67 Brno



e-mail: roznovsky@chmi.cz <http://www.chmi.cz>
telefon: 541 421 020, 724185617 fax: 541 421 018, 541 421 019

*Změny a možná změna klimatu
Extrémy počasí a podnebí a
jejich projevy*

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc.

Mendelova univerzita

Zemědělská 1, Brno

Ústav argosystémů a bioklimatologie

Vilanec 5.6.2013

Počasí

Podnebí

Vilanec 5.6.2013

ČR leží v mírném pásu - oblast přechodného klimatu středoevropského

Převážnou část roku u nás převládá vzduch mírného pásma, dále má vliv vzduchová hmota tropická, v krátkých časových úsecích také vzduchová hmota arktická (v zimním období)

- vliv Atlantického oceánu, v menší míře euroasijského kontinentu
- kontinentalita našeho území od Z k V vzrůstá přibližně o 10 %

V Čechách mírnější zima a chladnější léto, sluneční svit je nižší a srážky stejnoměrněji rozdělené než na Moravě a ve Slezsku, kde jsou větší teplotní amplitudy.

- zmírňující vliv mořského klimatu hlavně v zimním období, v létě vyšší teploty vzduchu dokládají částečný kontinentální vliv

Na klimatickou rozmanitost více působí výškové poměry a členitost terénu než zeměpisná poloha

- hory vytvářejí tzv. klimatické přehrady

Klasifikace podnebí ČR

Na základě klimatických a fenologic. prvků území ČR rozděleno:

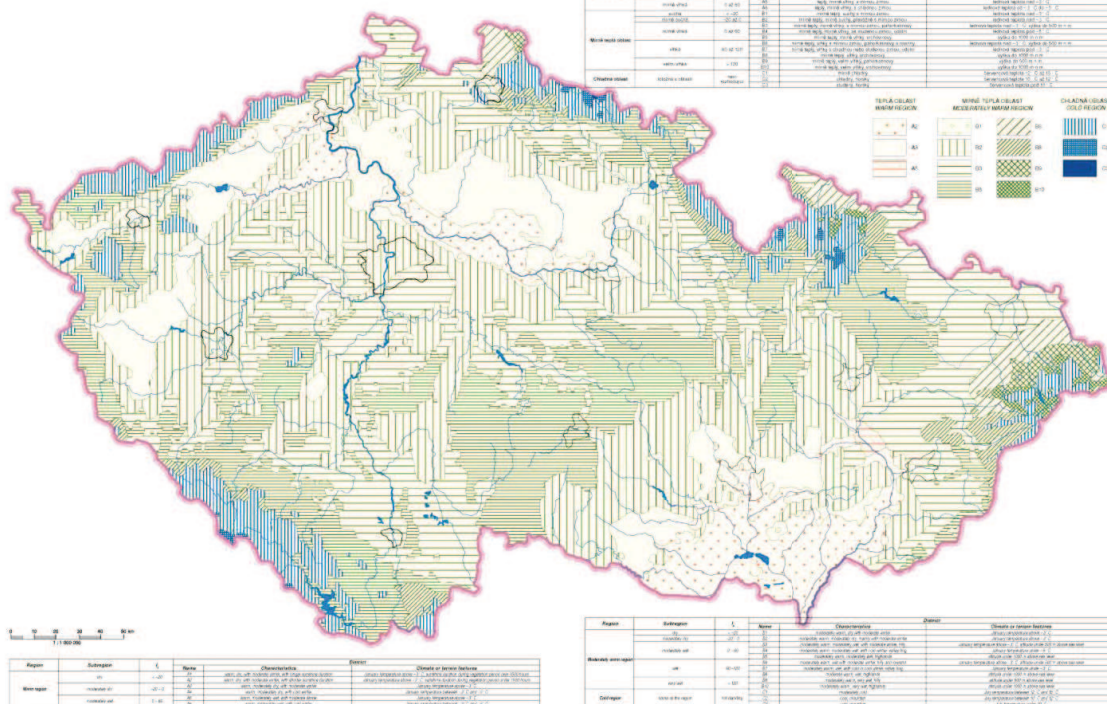
a) do 3 klimatických oblastí :

1. **Teplá** oblast je vymezena izolinií padesáti i více letních dnů
2. **Mírně teplá** oblast vymezena izolinií 30 letních dnů (červencovou izotermou 15 °C v Čechách a na Moravě a 16 °C v Beskydech)
3. **Chladná** oblast v místech, kde jsou červencové teploty pod 15 °C v Čechách a na Moravě a pod 16 °C v Beskydech

b) do 5 **podoblastí** podle Končeka indexu zavlažení

c) do **okrsků** podle průměrné délky slunečního svitu za IV až IX, prům. lednové teploty, charakteru krajiny atd.

- 6 klimatických okrsků v teplé oblasti (A1 až A6), 10 okrsků v mírně teplé (B1-B10) a 3 okrsky v chladné oblasti (C1-C3)



Vilánek 5.6.2013

Klasifikace klimatu podle Quitta

Výchozím materiálem pro zpracování mapy Atlasu podnebí ČSSR, Ke zpracování bylo vybráno 14 nejvýznamnějších klimatických charakteristik :

- mapy rozložení průměrné teploty vzduchu, v lednu, dubnu, červenci a říjnu, charakterizující roční teploty vzduchu, případně teploty jednotlivých ročních období
- průměr. počet letních ($T_{max} = 25^{\circ}\text{C}$), mrazových ($T_{min} = -0.1^{\circ}\text{C}$) a ledových ($T_{max} = -0.1^{\circ}\text{C}$) dnů, počtů dnů s teplotou 10°C a větší
- srážkový úhrn ve vegetačním (IV – IX) a chladném (X – III) období, počet dnů se srážkami 1mm a více a počet dnů se sněhovou pokrývkou
- počet jasných a zamračených dnů

Překrýváním 14ti vybraných map v měřítku 1 : 500 000 vymezeny tři hlavní oblasti : **teplá**, **mírně teplá** a **chladná** - oblast teplá se dále dělí na 5 jednotek T1 až T5, mírně teplá na 11 jednotek MT1 - MT11, chladná oblast je dělena na 7 jednotek CH1 - CH7.

Vilánek 5.6.2013

Radiační poměry

Astronomicky možná doba sluneč.svitu na našem území je necelých 4500 hodin.

Skutečná doba Ss na většině území představuje málo přes 1800 hodin.

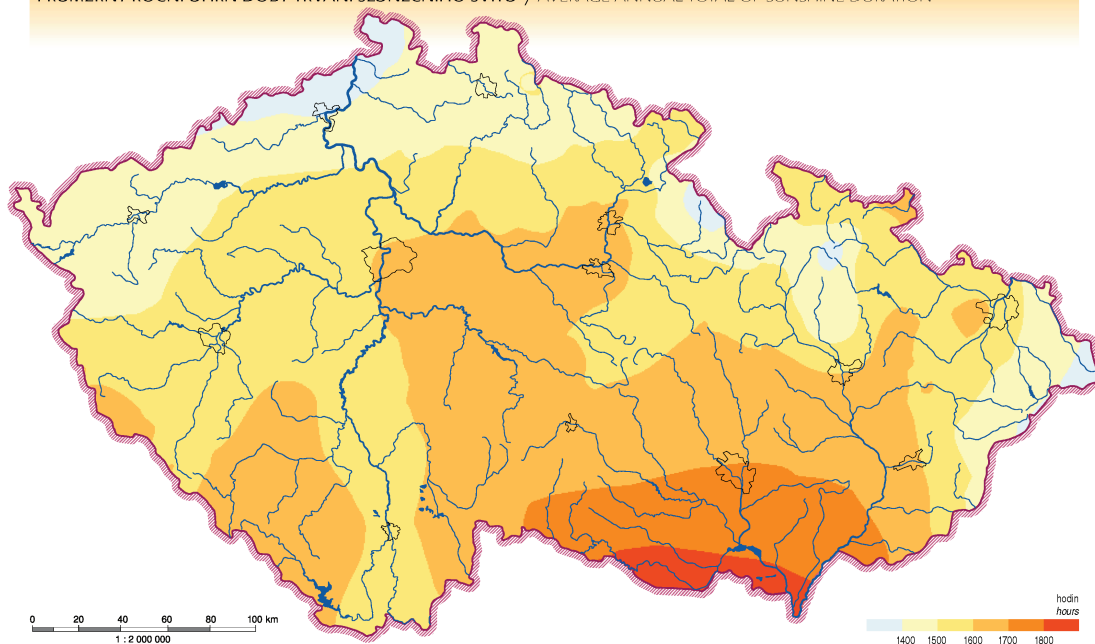
Energetický příkon slunečního záření na území ČR se v průměru pohybuje od 3300 MJ.m⁻² do 4200 r MJ.m⁻² .

Maximální denní intenzita globální radiace v létě za jasných dnů - v nížinách až 970 W.m⁻², na horách až 1000 W.m⁻².

Přímé sluneční záření v globálním dosahuje v průměru 45 až 55 %.

Vílanec 5.6.2013

PRŮMĚRNÝ ROČNÍ ÚHRN DOBY TRVÁNÍ SLUNEČNÍHO SVITU / AVERAGE ANNUAL TOTAL OF SUNSHINE DURATION



Vílanec 5.6.2013

Teplotní poměry

- absolutní maximum teploty vzduchu 40,4 °C naměřeno 20.8.2012 v Dobřichovicích
- absolutní minimum -42,2 °C v Litvínovicích u Českých Budějovic 11.února 1929.
- v průměru je nejchladnějším měsícem roku leden
- nejteplejším v průměru je červenec

Největší vzestup teploty vzduchu probíhá v březnu a dubnu, vrchol v červenci, výrazné snížení v měsících září a říjen

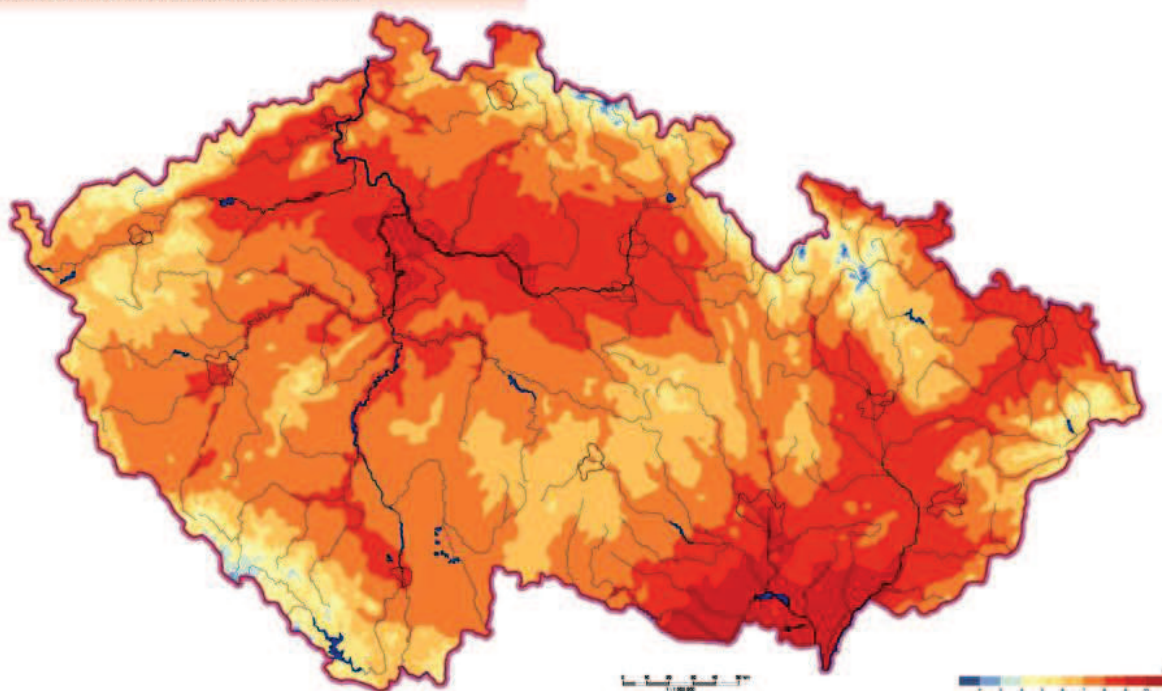
medardovské období na začátku druhé dekády června

babí léto koncem září

vánoční obleva uprostřed poslední dekády prosince

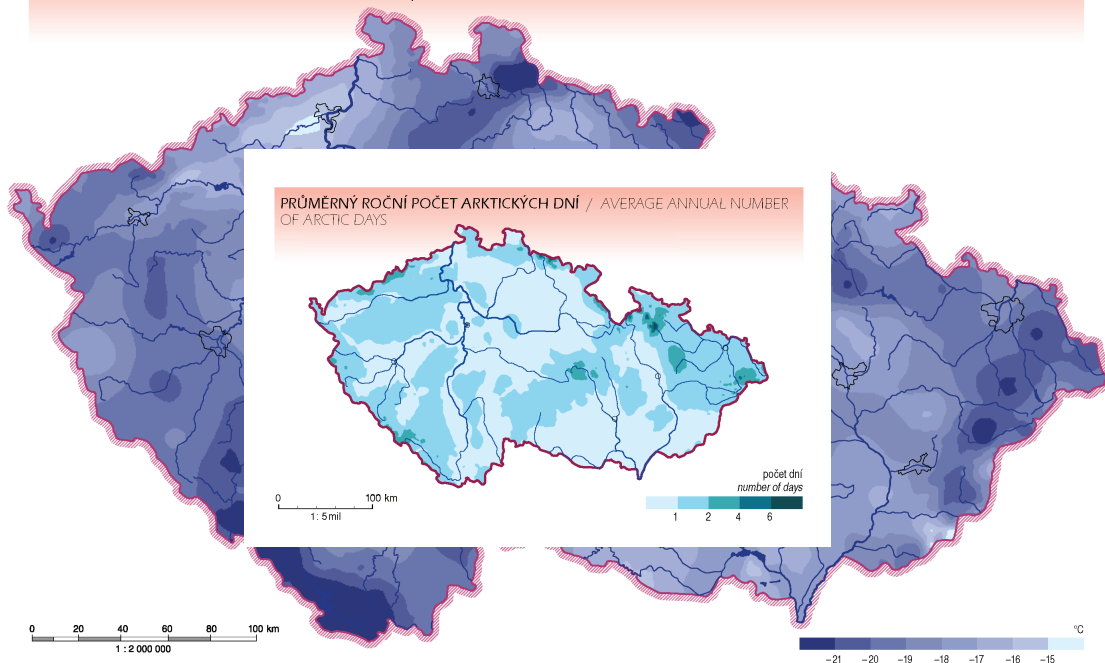
Vilanec 5.6.2013

PRŮMĚRNÁ ROČNÍ TEPLOTA VZDUCHU / AVERAGE ANNUAL AIR TEMPERATURE



Vilanec 5.6.2013

PRŮMĚR ROČNÍCH MINIM TEPLoty VZDUCHU / AVERAGE ANNUAL MINIMUM AIR TEMPERATURE

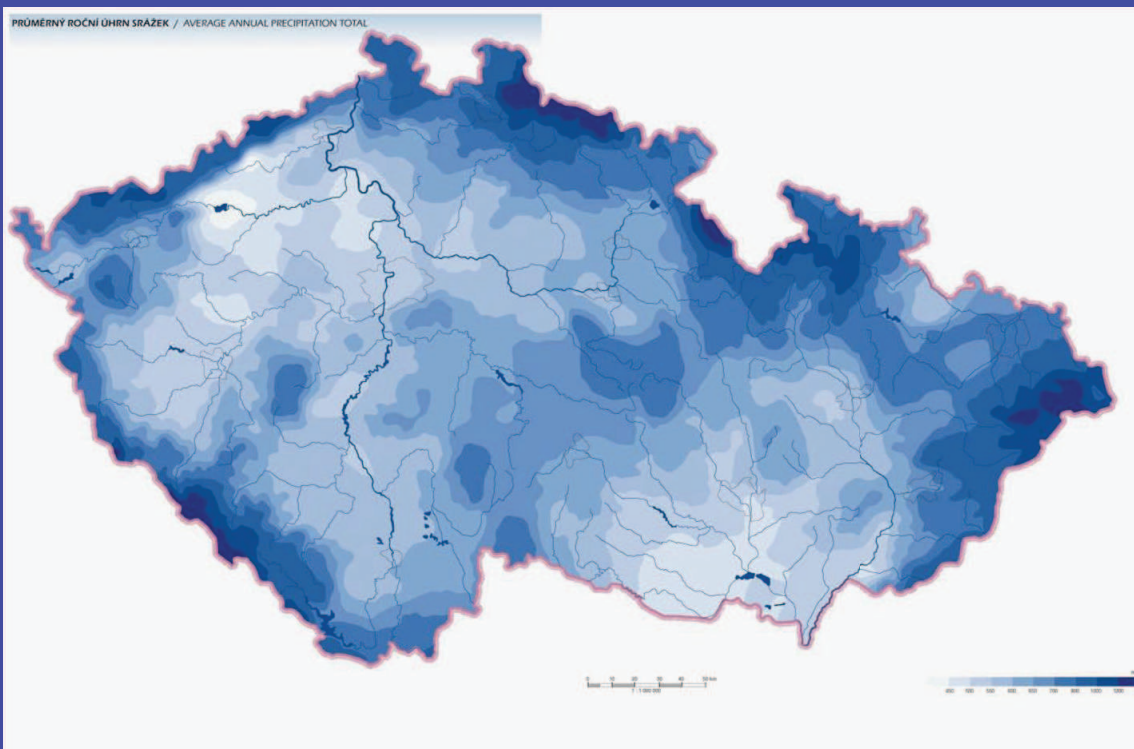


Vílanec 5.6.2013

Srážkové poměry

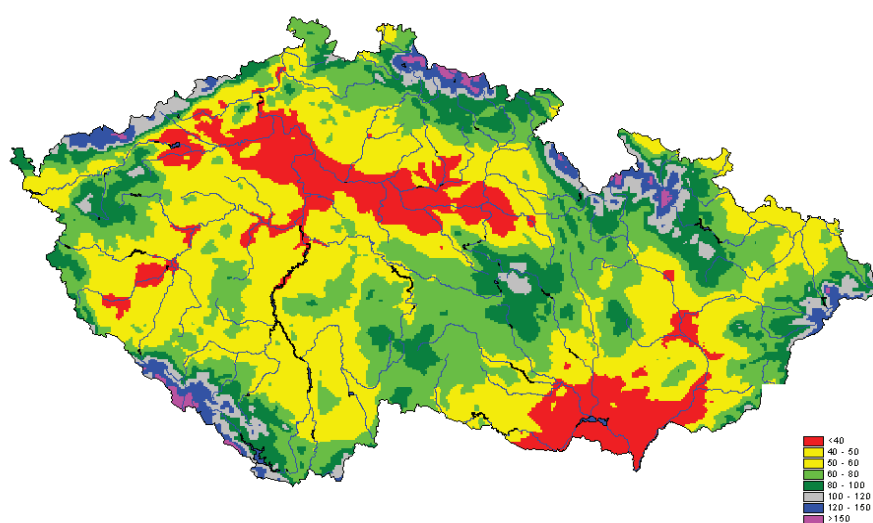
- velká časová i místní proměnlivost srážek - závislost na nadmořské výšce a expozici vzhledem k převládajícímu proudění
- nejvíce srážek v létě, nejméně v zimě - maximum připadá převážně na červenec, minimum na únor nebo leden
- roční úhrny srážek na našem území v rozpětí od 410 mm do 1705 mm
- nejnižší srážkové úhrny v okolí Žatce - nejnižší průměrný roční úhrn má hodnotu 410 mm – nejsušší oblast ČR
- nejvíce srážek Bílý Potok (U studánky) v Jizer.horách ve výšce kolem 900 m n.m. s průměrem 1705 mm srážek
- maximální výška sněhové pokrývky od 15 cm v nížinách do 200 cm na horách - její výskyt v nížinách průměrně 40 dnů, na horách takřka 200 dnů

Vílanec 5.6.2013



Vílanec 5.6.2013

Průměrný počet dnů se sněhovou pokrývkou



Vílanec 5.6.2013

Evapotranspirace

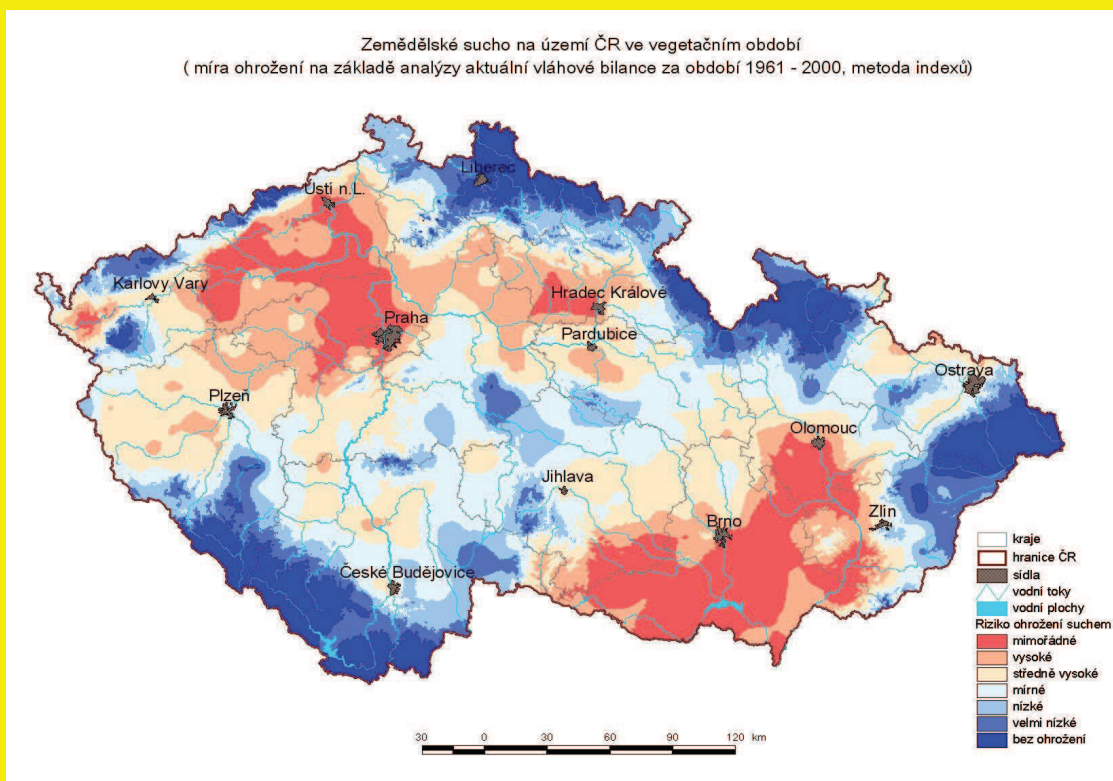
- ovlivňuje ráz krajiny - výdejová složka ve vodní bilanci půdy
- většinou vycházíme z výpočtů potenciální evapotranspirace (převážně podle vztahu podle Penmana) - v nejteplejších oblastech jen málo přesahuje 700 mm, v nejméně teplejších nedosahuje 400 mm → prokazatelný pokles s nadmořskou výškou

Skutečná evapotranspirace dosahuje v teplých oblastech 400 až 450 mm, největší je ve středních výškách, málo přes 500 mm, a v nejvyšších polohách činí méně jak 350 mm

Rozdíl mezi evapotranspirací a srážkami vyjadřuje vláhové poměry daného místa, tedy humiditu (když jsou vyšší srážky) či ariditu (pokud je vyšší evapotranspirace)

S využitím údajů o evapotr. (Eo) a srážkách (P) lze stanovit různé ukazatele vláhové bilance - např. klimatického ukazatele zavlažení (Kz)

Vilánek 5.6.2013



Vilánek 5.6.2013

Větrné poměry

- směr větru výrazně ovlivňuje reliéf

Průměrné roční proudění výrazně neovlivněné terénem má na západní části našeho území směr západní, ve východní části SZ směr.

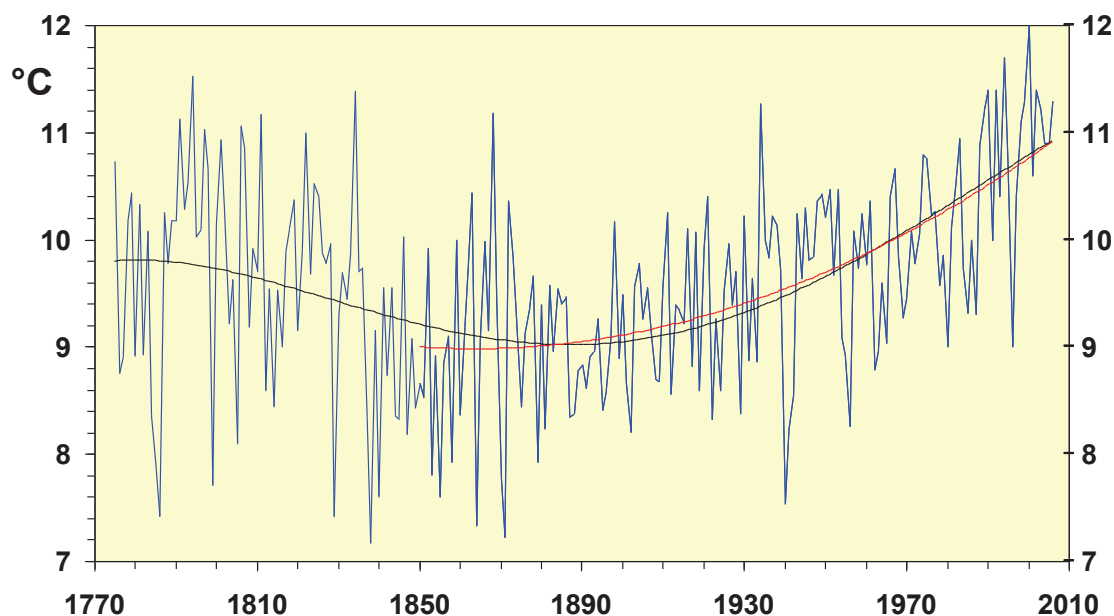
Rychlost větru nejvyšší na horách s častějším výskytem vichřic (průměrná roční rychlost na vrcholech hor přesahuje 5 m.s^{-1}).

S klesající nadmořskou výškou rychlost větru klesá, v nížinách je průměrná roční rychlost 3 až 4 m.s^{-1} .

V ročním chodu maxima rychlostí koncem zimy a začátkem jara, minima na podzim.

Maximální nárazy zaznamenané na našem území dosahují až 50 m s^{-1} , tj. kolem 180 km.h^{-1} . Vilanec 5.6.2013

Průběh průměrných ročních teplot vzduchu v pražském Klementinu. Aproximace polynomem třetího stupně (černá), resp. druhého stupně pouze od r. 1850 (červená)



Skleníkový efekt

Z rovnic radiační bilance vyplývá, že ohřátí atmosféry přímo slunečním zářením je podstatně menší než od zemského povrchu.

V atmosféře může být pohlceno nejvýše 25% ze záření dopadajícího na horní vrstvu atmosféry. Naopak téměř 50% původního slunečního záření je pohlcováno aktivním povrchem, a dochází tak k jeho ohřátí.

Následně aktivním povrchem vyzařované dlouhovlnné záření je v určitých vlnových rozsazích (selektivně) v atmosféře pohlcováno některými plyny. Tímto procesem dochází ke zvyšování teploty vzduchu, zvyšování vyzařování dlouhovlnné radiace atmosférou.

Část tohoto záření přichází zpět k aktivnímu povrchu a přispívá tak ke snížení jeho ochlazování, tedy k udržení určité teploty.

Tento proces, typický pro atmosféru, nazýváme **skleníkový efekt**. Jemu vděčíme za život na Zemi, protože jeho výsledkem je ohřívání atmosféry na teploty přijatelné pro biosféru.

Vílanec 5.6.2013

Skleníkový efekt

Zjednodušeně řečeno je skleníkový efekt dán tím, že atmosféra v globálním měřítku dostatečně dobře propouští k zemskému povrchu krátkovlnné sluneční záření, avšak dlouhovlnné vyzařování zemského povrchu výrazně pohlcuje a z části vyzařuje zpět k povrchu.

Kdyby nebyla atmosféra, pohybovala by se průměrná teplota celého zemského povrchu kolem -23°C , ve skutečnosti však činí v průměru pro celou Zemi asi $+15^{\circ}\text{C}$.

Intenzita skleníkového efektu, tedy pohlcování a vyzařování dlouhovlnné radiace, je závislá na jeho spektrálním složení, na oblačnosti (výšce spodní základny oblačnosti, teplotě oblaků a stupni pokrytí oblohy) a složení atmosféry, především zastoupení plynů, jejichž obsah není stálý.

Vílanec 5.6.2013

Skleníkový efekt

Skleníkový efekt je v atmosféře vyvoláván tzv. **radiačně aktivními plyny (RAP)**, též *skleníkové plyny*. Název je dán obdobnou schopností skla, které v obvyklém provedení pohlcuje všechny vlnové délky nad 3 μm . Každý z těchto plynů má selektivní absorpční a emisní vlastnosti. RAP souhrnně mají zcela nezastupitelnou roli v celkové radiační bilanci naší Země.

Atmosféra pohlcuje a vyzařuje dlouhovlnnou radiaci (4×10^3 až 100×10^3 nm) díky RAP. Vyskytují se sice v malých (stopových) koncentracích, ale výrazně ovlivňují radiační bilanci systému atmosféra - zemský povrch. Jejich působením je nejvyšší teplota na povrchu Země a v nejnižších vrstvách atmosféry.

S projevy skleníkového jevu se setkáváme každodenně. V místnostech vzniká v závislosti na orientaci zasklené plochy ke světovým stranám, na jejím sklonu a propustnosti pro složky slunečního záření. U vertikálně instalovaných oken (s orientací od východu přes jih po západ) se skleníkový efekt projevuje, když je Slunce nízko nad obzorem, u horizontálně instalovaných zasklených ploch naopak, když je Slunce vysoko nad obzorem.

Vílanec 5.6.2013

Radiační účinnost vybraných RAP

Přírodními RAP jsou kysličník uhličitý (CO_2) a vodní pára, která se na skleníkovém efektu podílí asi ze 60 až 70 %, společně s CO_2 asi z 85 %. Se znečištěním atmosféry se zvyšuje koncentrace a počet RAP, roste obsah CO_2 , metanu, halogenovaných uhlovodíků (zastoupených hlavně tzv. freony), oxidu dusného, ozonu a dalších. Ovlivnění radiační bilance je dáno koncentrací plynů a vlnovou délkou, ve které absorbuje, a účinností pohlcení. U některých halogenovaných uhlovodíků je účinnost více než 10^4 krát vyšší než u CO_2 , přitom jejich setrvání v atmosféře může být několik set let.

Tabulka Radiační efektivnost delta F molekul vybraných skleníkových plynů vyjádřená relativně vzhledem k účinnosti jedné molekuly CO_2 uvolněné v současnosti do atmosféry

Skleníkový plyn	CO_2	CH_4	N_2O	CCl_4	CF_3Br	CFC-11	CFC-12	CFC-113	CFC-114
delta F	1	21	206	5 720	16 000	12 400	15 800	15 800	18 300

Vílanec 5.6.2013

Bilance energetická

Využití energie radiační bilance k atmosférickým procesům vyjadřuje energetická bilance, která je v dlouhodobém hodnocení pro soustavu atmosféra - Země nulová.

Sestává z negativní radiační bilance atmosféry (30 %, jestliže bereme příkon slunečního záření na horní hranici atmosféry jako 100 %),

která je vyrovnávána teplem uvolněným při kondenzaci vodní páry (+ 23 %) a odevzdáváním tepla ze zemského povrchu v procesu turbulentní a konvektivní výměny (+7 %).

Vílanec 5.6.2013

Bilance energetická

Energetická bilance systému Země - atmosféra je suma energie, získávaná Zemí společně s atmosférou od vnějších zdrojů a vydávané atmosférou a zemským povrchem do kosmického prostoru.

Protože výměna energie mezi kosmem a Zemí probíhá pouze radiační cestou (příjem krátkovlnného slunečního záření a jeho výdej odrazem a rozptylem a výdej dlouhovlnného vyzařování zemského povrchu i atmosféry),

pak lze mít za to, že energetická bilance systému Země - atmosféra souhlasí s její radiační bilancí. Země jako planeta se tedy nachází v energetické rovnováze.

Vílanec 5.6.2013

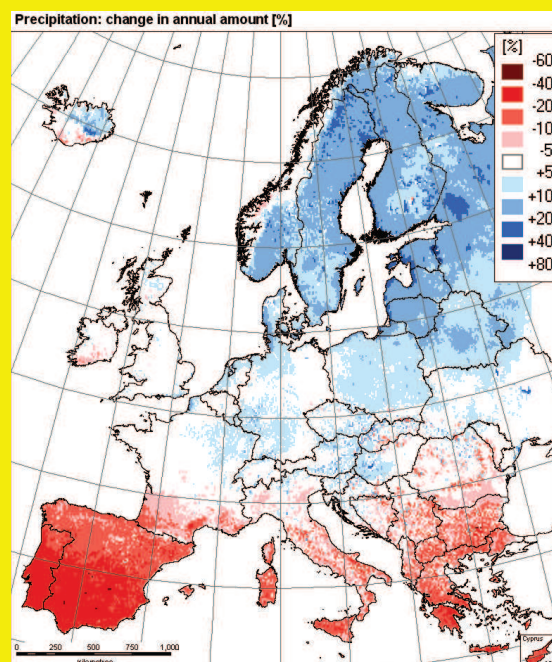
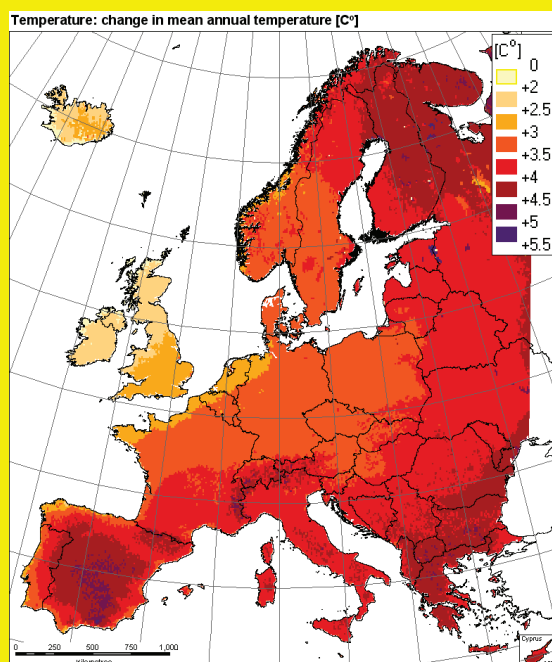
Celková energetická bilance aktivního povrchu (B_Q)

- Na aktivním povrchu dochází ke kvalitativní i kvantitativní přeměně energie přijímané a vyzařované. V případech úvah o aktivním povrchu souvisele vegetace hovoříme o *aktivní vrstvě*. Příjem tepla aktivním povrchem (vrstvou) nebo výdej tepla může být uskutečňován dalšími fyzikálními způsoby, nejen radiací.

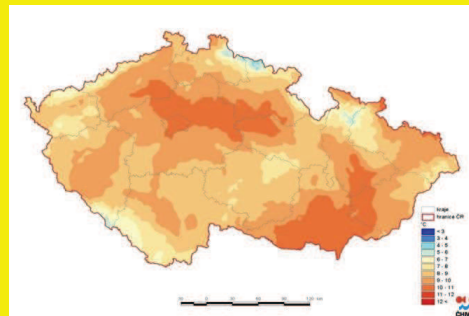
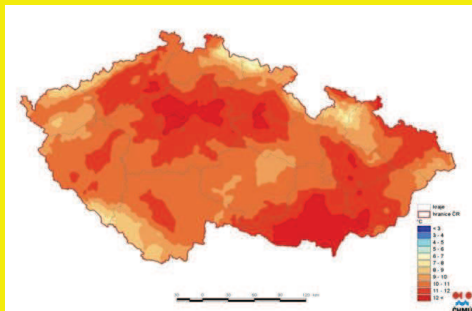
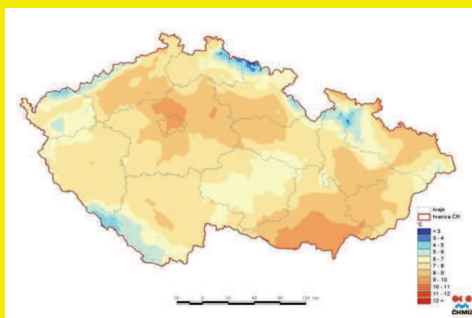
- Energetickou bilanci B_Q** aktivního povrchu můžeme obecně vyjádřit:

$$B_Q = B \pm Q_p \pm P \pm LV$$

- B - radiační bilance
- Q - teplo přicházející k povrchu zevnitř tělesa nebo od aktivního povrchu dovnitř tělesa (např. půdy)
- P - tok tepla směřující od povrchu tělesa do atmosféry, nebo z atmosféry k aktivnímu povrchu (např. půdy). Protože molekulární tepelná vodivost vzduchu je malá, uplatňuje se při výměně tepla mezi aktivním povrchem a ovzduším hlavně pohyb vzduchu, a to konvekci a turbulencí
- LV - tok skrytého (latentního) tepla v souvislosti s fázovými přeměnami skupenství vody, které je odpařujícímu povrchu odnímáno, naopak, při kondenzaci nebo desublimaci vody je teplo uvolňováno.



Průměrná roční teplota vzduchu



Tři hodnocená období:

- 1961–2000
- 2021–2050
- 2071–2100

(dle emisního scénáře A1B)

Rozpětí modelované změny teploty vzduchu podle podkladů IPCC (1997) při dvojnásobné koncentraci CO₂: 1,5 až 4,5 °C (střední změna teploty vzduchu 3,0 °C)

Vilanec 5.6.2013

- Extrémy počasí a naše podnebí
- Průběh počasí v posledních letech
- Mrazy
- Krupobití
- Závěry

Úvodem

Růst a vývoj rostlin je ovlivňován
extrémny počasí = extrémny

agrometeorologickými

Klima

Bioklima

Vílanec 5.6.2013

Biometeorologické extrémny

Teplota

- Nízke teploty vzduchu a pôdy,
 - mrazy v chladnom pólroce
 - vegetační mrazy
- Vysoké teploty vzduchu
- Sucho

Vílanec 5.6.2013

Biometeorologické extrémy

Voda

- Nízké či žádné úhrny srážek = sucho
 - různé druhy sucha
 - pro rostliny je rozhodující sucho půdní
- Vysoce intenzivní či vysoké úhrny srážek = povodně

Vílanec 5.6.2013

Biometeorologické extrémy

- Výskyt krupobití
- Vysoká vlhkost vzduchu
- Nízký úhrn doby slunečního svitu

Vílanec 5.6.2013

Extrémy počasí v posledních letech

Sucho:

2000

2003

2012

Povodně:

1997

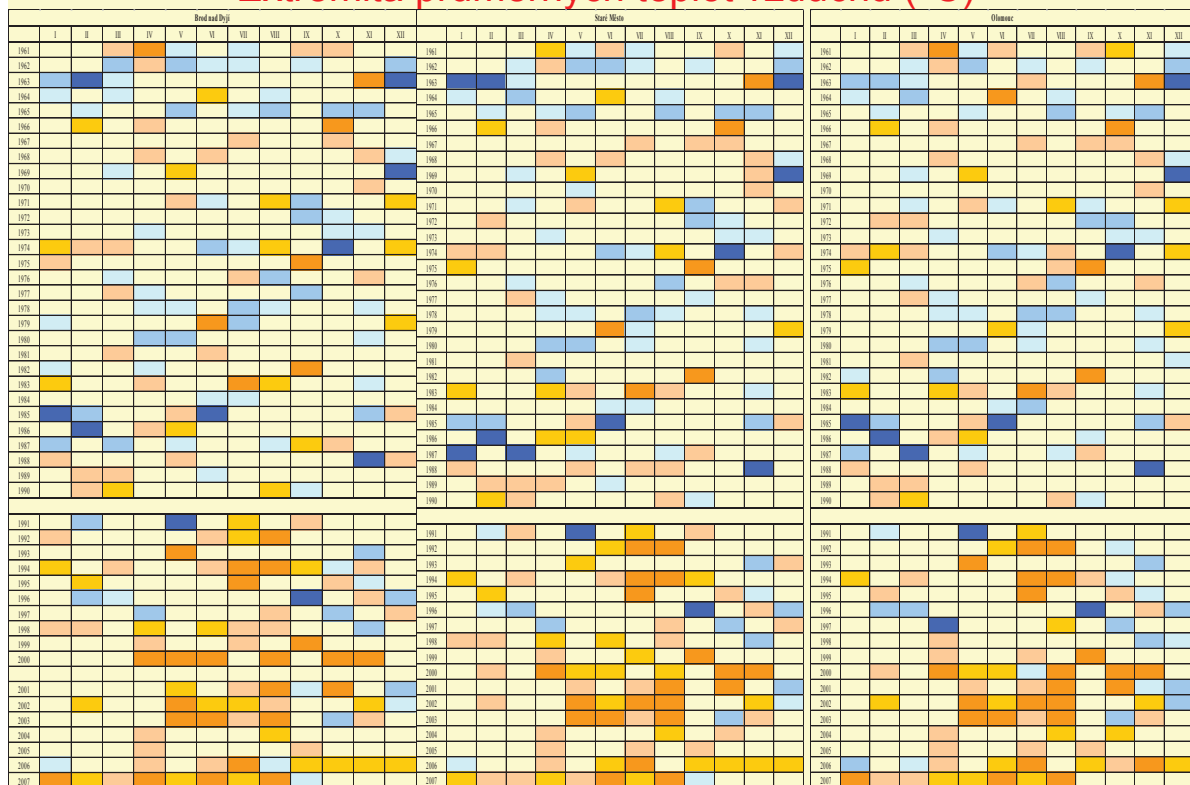
2002

2006

2010

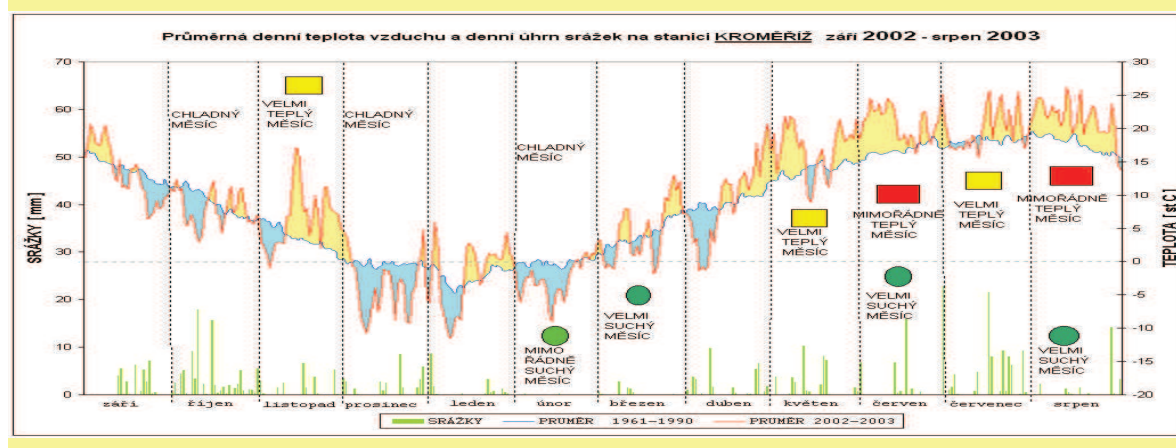
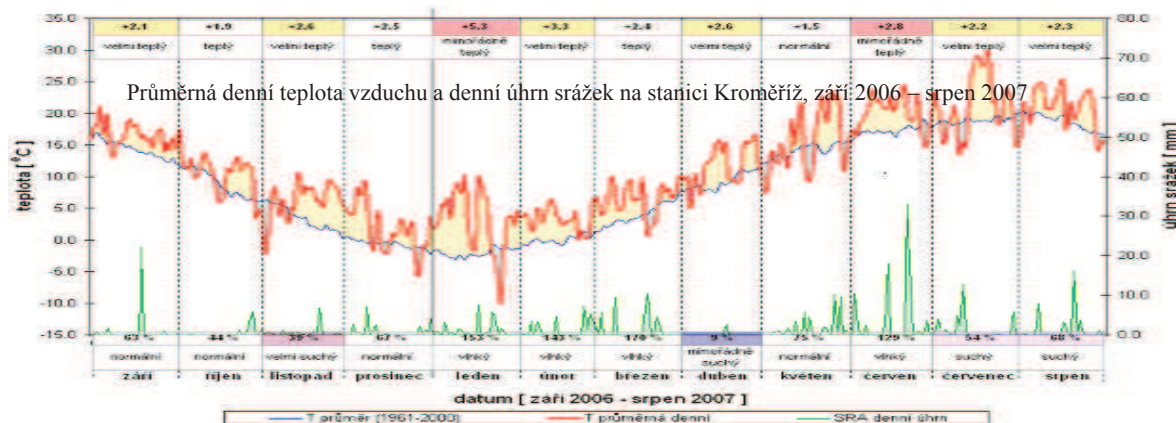
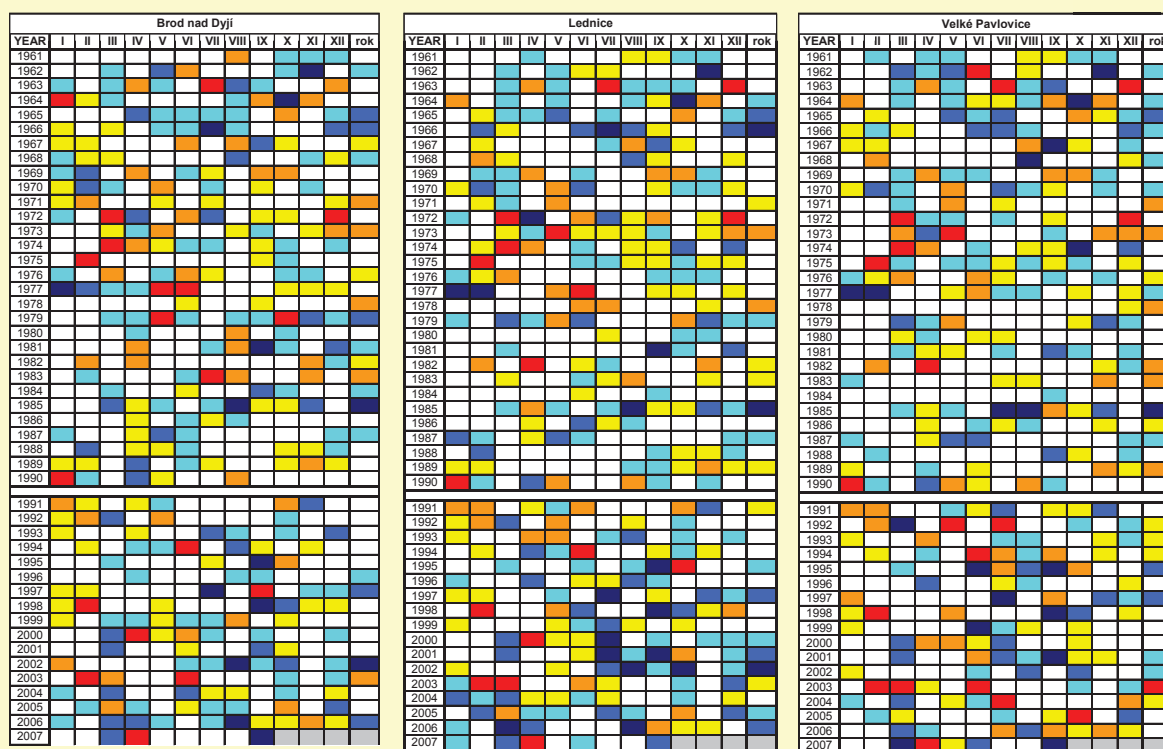
Vílanec 5.6.2013

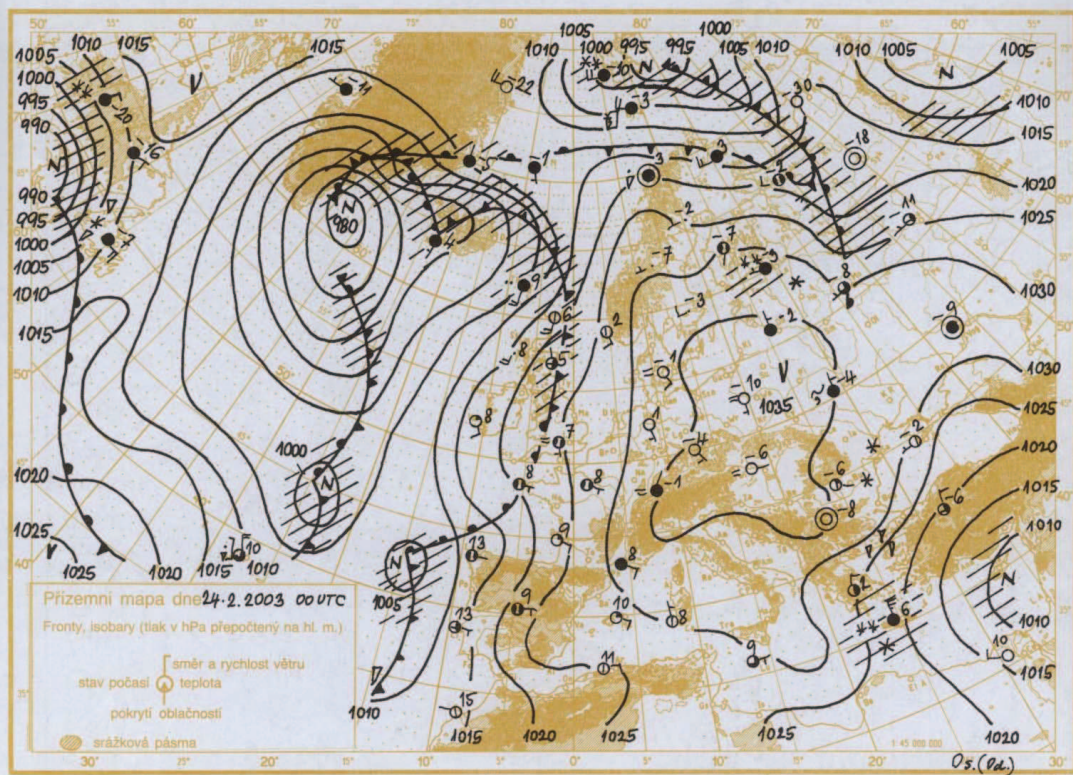
Extremita průměrných teplot vzduchu (°C)



Vílanec 5.6.2013

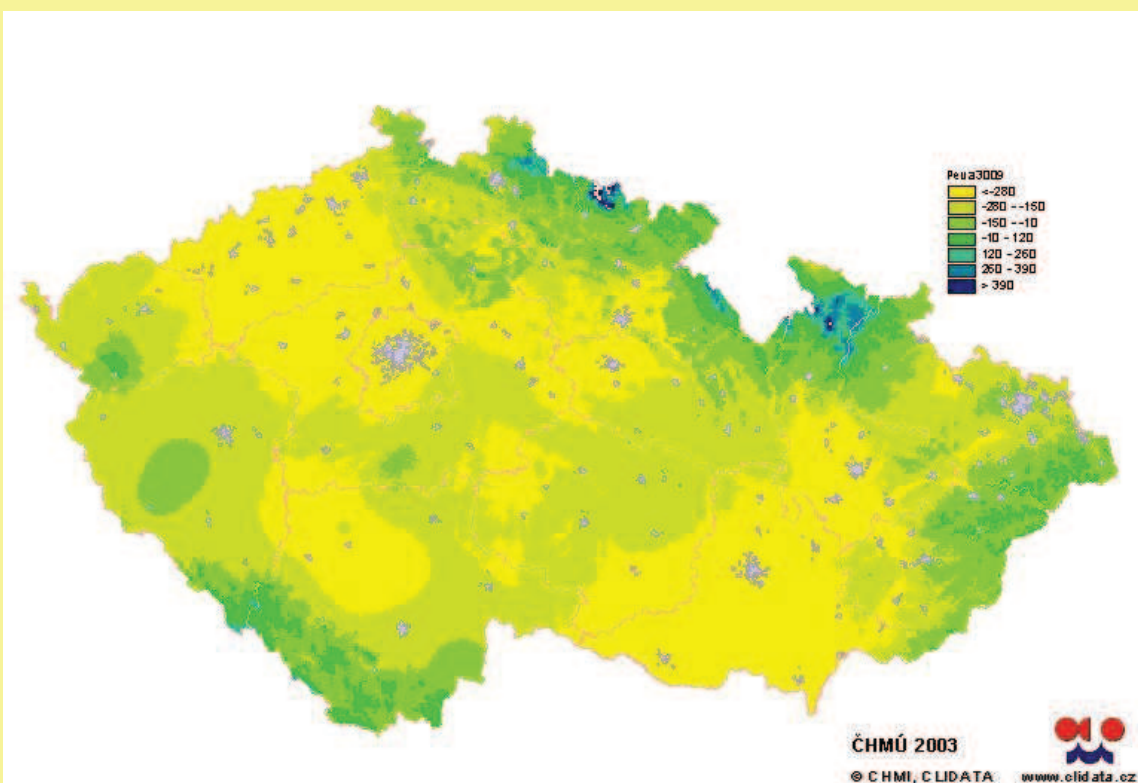
Extremita měsíčních úhrnů srážek



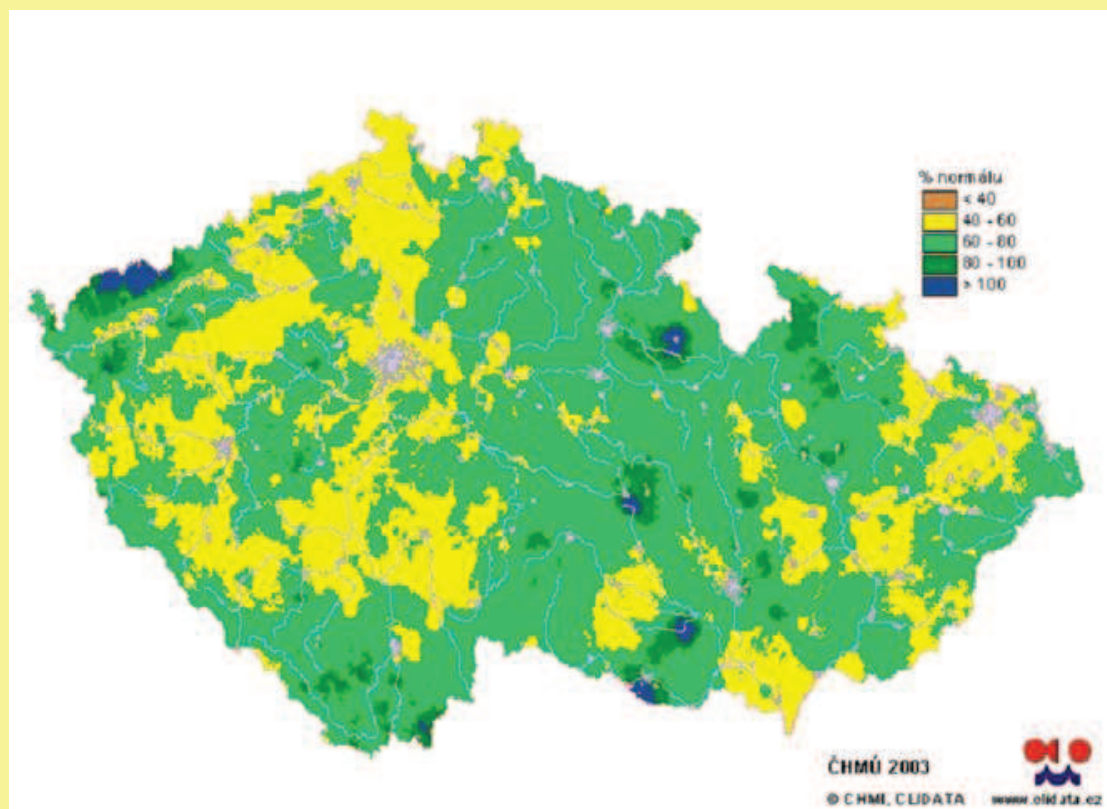


Vilanec 5.6.2013
Synoptická situace přízemní vrstvy atmosféry dne 24. 2. 2003

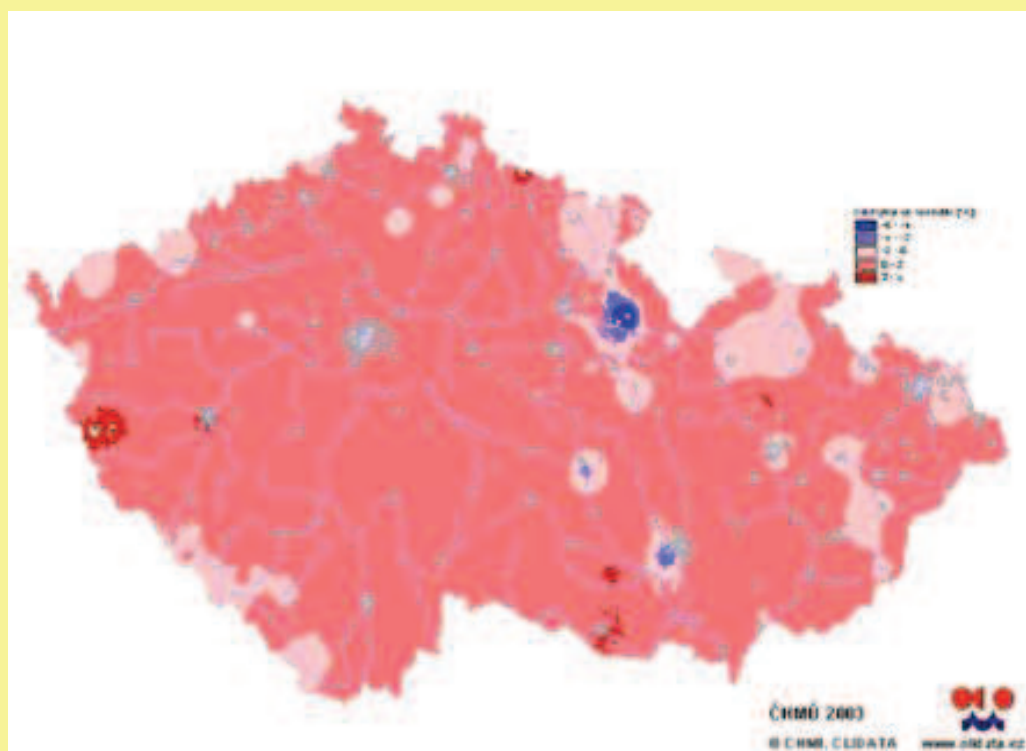
Základní vláhová bilance travního porostu k 30. 9. 2003

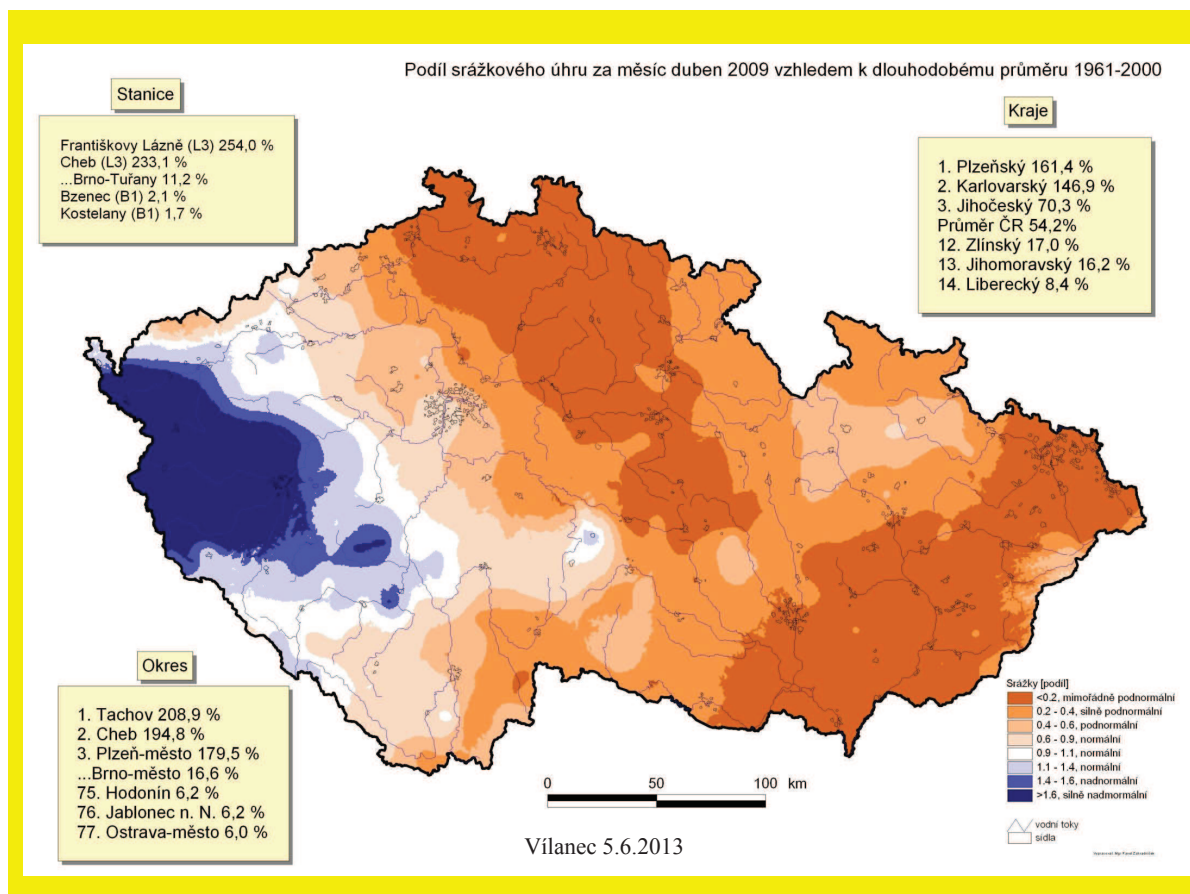
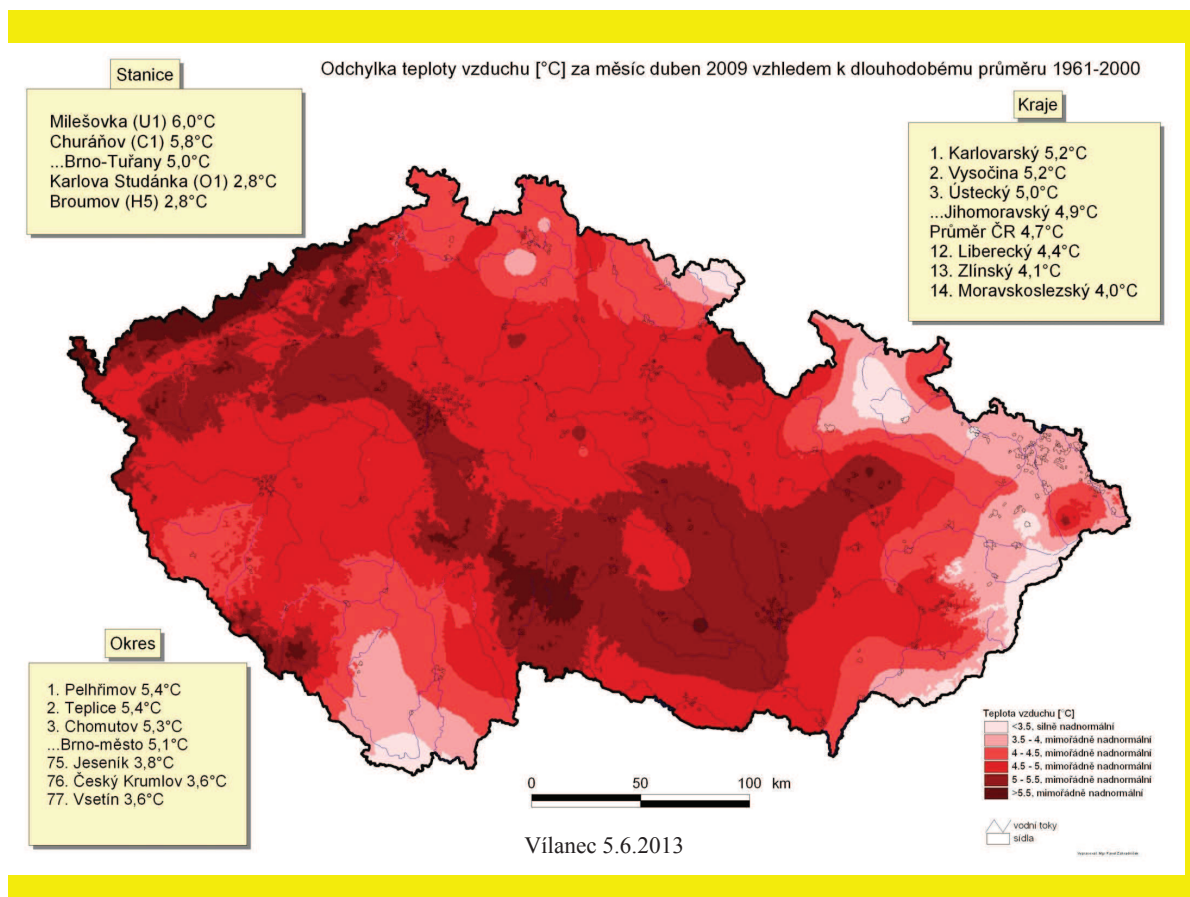


Úhrn srážek v procentech dlouhodobého průměru 1961 – 1990 za období od 1. ledna do 30. září 2003



Odchylka průměrné teploty vzduchu od dlouhodobého průměru 1961 – 1990
za období od 1. ledna do 30. září 2003



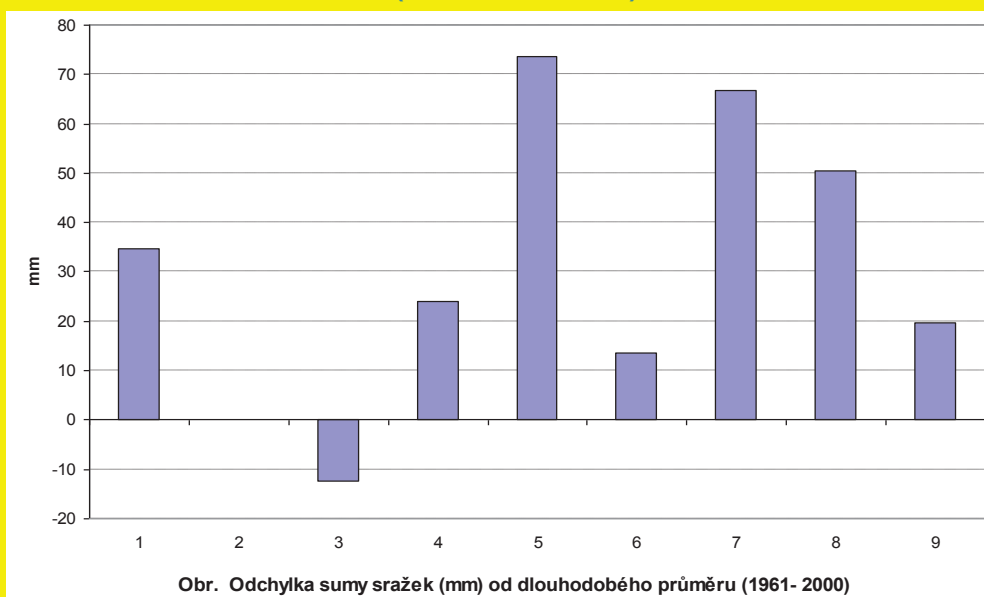


Rok 2010

Mimořádně vysoké
úhrny srážek byly
v květnu a červenci

Vílanec 5.6.2013

Odchyłky úhrnů srážek od dlouhodobého průměru
(1961-2000)



Vílanec 5.6.2013

Rok 2010

Výrazně se projevila vliv
vysoké vlhkosti
vzduchu

Vílanec 5.6.2013

Rok 2010

V květnu byly
mimořádně nízké
hodnoty
slunečního záření

Vílanec 5.6.2013

Jarní mrazy

V podstatě typický projev počasí v našich klimatických podmínkách, známa singularita

„ledoví muži“, 12.-14.5.

Způsobení škod nezávisí jen na datu **výskytu**, ale na předcházejícím průběhu počasí, hlavně **maximálních teplot vzduchu**, a tím na nástupu

fenofáze kvetení

Vílanec 5.6.2013

Jarní mrazy – příčiny výskytu

1. Cirkulace – změna na severní či severovýchodní (advekční mrazy)
2. Vyřazování (radiační mrazy)
3. Fenologická fáze - kvetení
4. Terénní podmínky – tzv. mrazové kotliny, úpatí svahů

Vílanec 5.6.2013

2012

- Průběh počasí v roce 2012 byl pro porosty velmi nepříznivý
- Vliv počasí v druhé polovině roku 2011

Vílanec 5.6.2013

2012

- od srpna 2011 do května 2012 se kontinuálně vyskytly podnormální srážkové úhrny hlavní důvod zahrnutí tohoto časového úseku do analýzy
- za studované období byly srážkově nižší úhrny spíše na území Moravy (podíl srážkových úhrnů vzhledem k dlouhodobému průměru byl mezi 50–70 %)
- oblast Čech se jeví spíše srážkově průměrná, místy i nadprůměrná

Vílanec 5.6.2013

DOBA OPAKOVÁNÍ SUCHÉ PERIODY

- takto nízké hodnoty srážkových úhrnů v některých oblastech (především jižní a jihovýchodní Morava) nejsou dosaženy pouze jednou za 100 let
- pro zbytek Moravy nejsou takto nízké hodnoty dosaženy maximálně jednou za 10 let

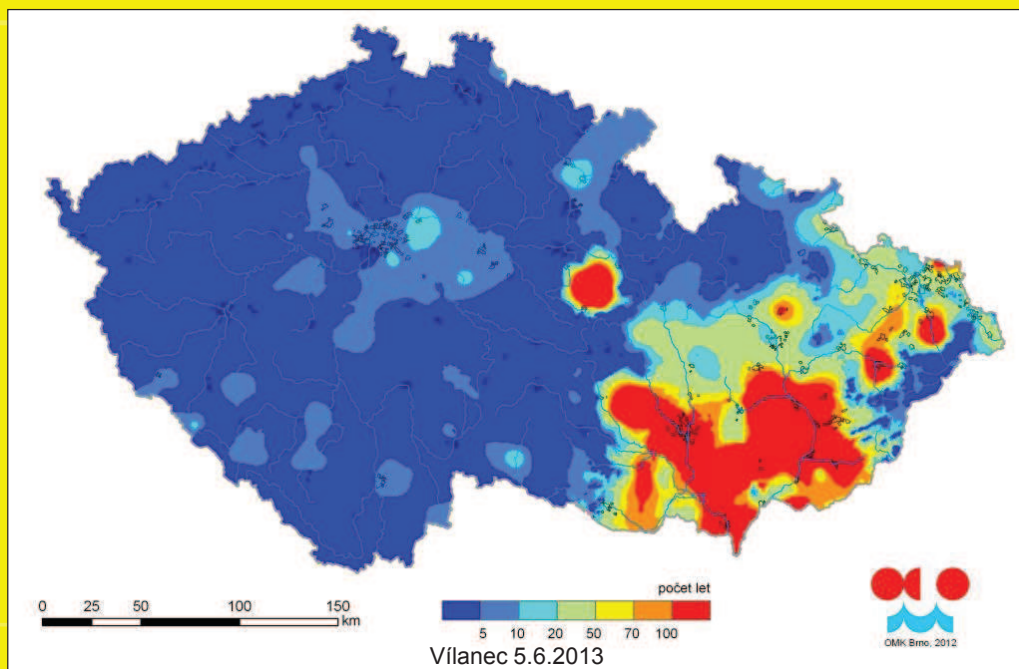
Vílanec 5.6.2013

DOBA OPAKOVÁNÍ SUCHÉ PERIODY

- v oblasti Čech nebyly tak vysoké extrémy zaznamenány většina území měla za zkoumané období nízké srážkové úhrny, překračovány za méně než 5 let

Vílanec 5.6.2013

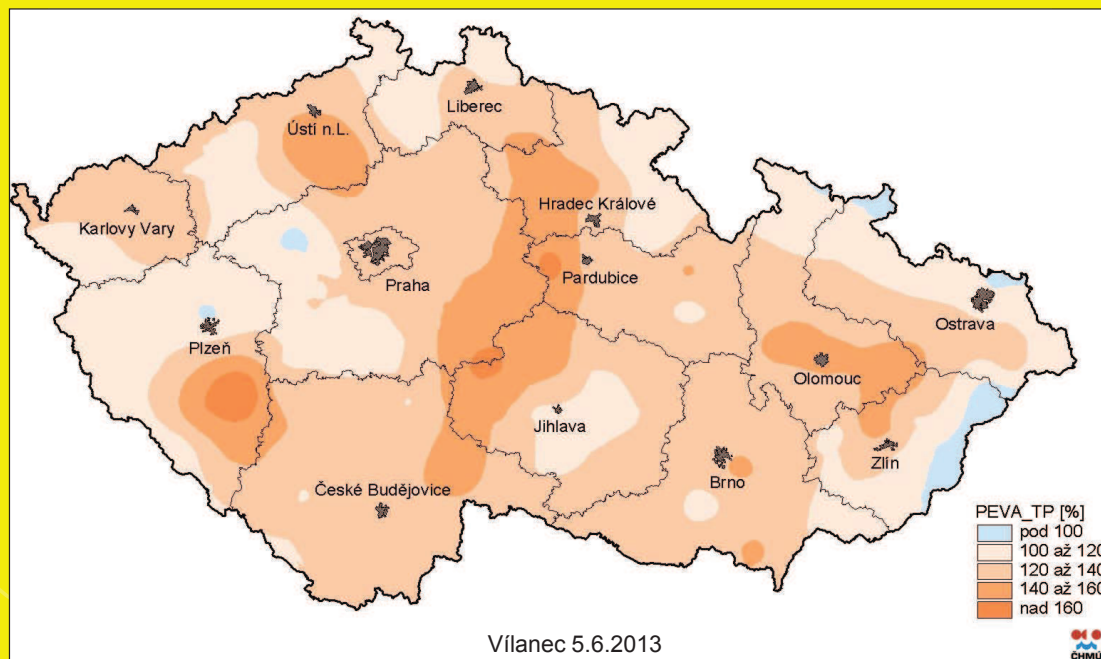
DOBA OPAKOVÁNÍ SUCHÉ PERIODY PRO OBDOBÍ SRPEN 2011 AŽ KVĚTEN 2012



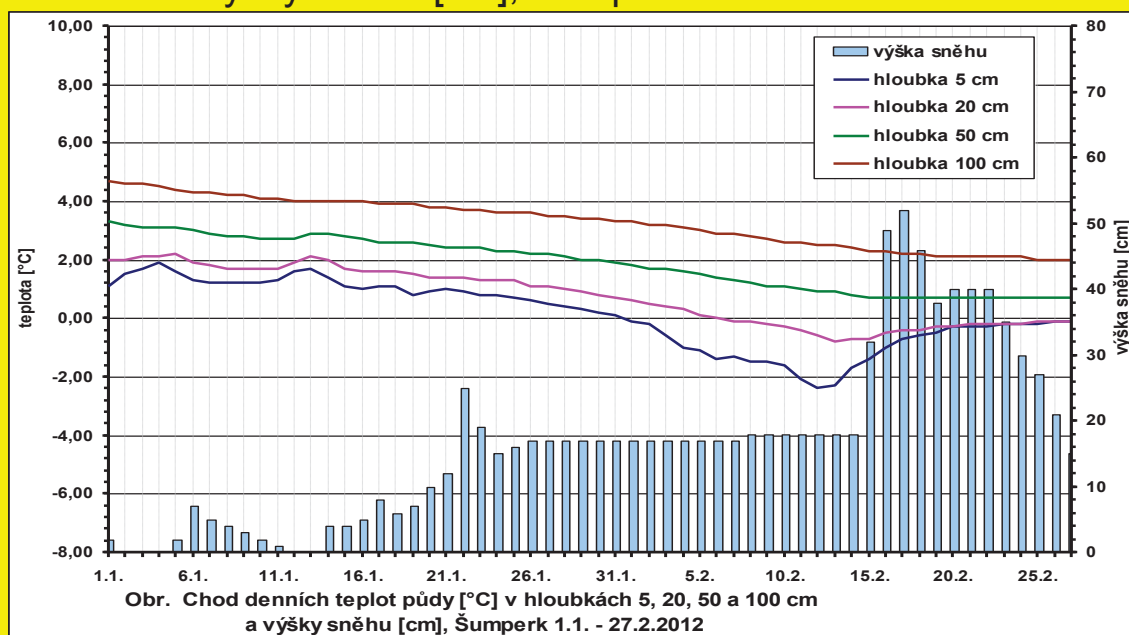
KLIMATICKÁ ANALÝZA

- ve srovnání s dlouhodobým průměrem se na většině území ČR, kromě nejvyšších poloh (více jak 90 % území), projevují značně negativní bilanční hodnoty → vysoká převaha výparu nad srážkami
- byly zkoumány hodnoty charakteristik ve dnech 20. 5., 27. 5., 3. 6. a 10. 6.
- v tomto období byly zjištěny nejnižší a nejméně příznivé hodnoty sledovaných charakteristik od začátku roku

POTENCIÁLNÍ EVAPOTRANSPIRACE TRAVNÍHO POROSTU (mm) NA ÚZEMÍ ČR, SROVNÁNÍ ROKU 2012 S DLOUHODOBÝM PRŮMĚREM 1961–2010 KE DNI 3. 6. 2012 V %



Chod denních teplot půdy [°C] v hloubkách 5, 20, 50 a 100 cm a výšky sněhu [cm], Šumperk 1.1. - 27.2.2012



Vilanec 5.6.2013

Dne 4.8. 2012 v Chelčicích od 16:15 do 17:30 vypadly při bouřce kroupy o průměru 2 cm, vál silný nárazový vítr, který lámal stromy a trhal plechy ze střech.
(snímky RNDr. O. Pultar).



Vílanec 5.6.2013

Závěry

- zvyšuje se proměnlivost podnebí
- v období 1961 – 2010 se zvýšily průměrné teploty vzduchu
- projevuje se proměnlivost teplot vzduchu v zimním období

Závěry

- výskyt minimálních denních teplot vzduchu pod $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ je v našich klimatických podmínkách normální
- s ohledem na proměnlivý výskyt sněhové pokrývky musíme počítat s výskytem holomrazů

Vílanec 5.6.2013

Závěry

- srážkové úhrny se v dlouhodobém hodnocení významně nemění
- významné jsou rozdíly v jednotlivých letech
- zvyšuje se podíl srážek z bouřek
- výskyt krupobití je součástí našeho podnebí

Vílanec 5.6.2013

Závěry

- u mnoha stanic se nejvyšší měsíční úhrn vyskytuje v červnu
- jsou čtenější výskyty bezesrážkových období
- roste nebezpečí nedostatku vody v krajině, a tím i její dostupnost pro další využití

Vílanec 5.6.2013

Vývoj počasí a podnebí v posledních letech a desetiletích vykazuje tendenci právě k extrémním projevům.

Dokladem je výskyt sucha v letech 2000 a 2003, ale také na výskyt povodní v letech 1997 a 2002, holomrazů (únor 2003) i vyšší počet tropických dnů (2003),

Vílanec 5.6.2013

Oprávněně se uvádí, že se zvyšuje proměnlivost podnebí.

Tuto skutečnost je nutné respektovat,
brát v úvahu výsledky ze studií o možné změně klimatu

a možné dopady na
krajinu a lesy

Vílanec 5.6.2013