



PŮSOBENÍ ABIOTICKÝCH A ANTROPOGENNÍCH STRESORŮ

Petr Čermák



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR InoBio – CZ.1.07/2.2.00/28.0018

ABIOTICKÉ STRESORY – NADMĚRNÉ ZÁŘENÍ

Jde o stresy způsobené buď **extrémními hodnotami (pro danou rostlinu) intenzity viditelného záření nebo zvýšeným množstvím dopadajícího ultrafialového záření.**

Extrémní intenzity světla způsobují nadbytek energie ve strukturách zajišťujících primární fázi fotosyntézy – je vytvářeno víc NADPH a ATP, než je nutné. Při nadměrném záření se aktivují mechanismy, které mají fotosyntetický aparát před nadměrným energetickým příjmem ochránit. Dochází k nasycení kapacity plastochinonu a k inaktivaci fotosystému PS II, tj. k fotoinhibici – k poklesu účinnosti využití fotonů fotosystémem PS II.

Viditelné poškození způsobené nadměrným viditelným zářením se primárně týká fotooxidace chloroplastových pigmentů (LARCHER 1995) – dochází k **vybělením pletiv**. Poškození rostlin UV zářením může způsobit **pokles fotosyntetické kapacity, změny aktivity enzymů, poruchy růstových procesů, objevení genetických mutací a konečně smrt buňky** (LARCHER 2001).

Vyšší hodnoty dopadajícího UV záření jsou převážně způsobeny činností člověka patří tedy spíše mezi antropogenní stresory.

Ultrafialové záření (UV) – elektromagnetické záření s vlnovou délkou kratší než viditelné světlo a delší než rentgenové záření. UVA má vlnovou délku 315–400 nm (asi 99 % UV záření, které dopadne na zemský povrch). UVB má vlnovou délku 280–315 nm. Je z převážné většiny absorbováno ozónem ve stratosféře, resp. v ozónové vrstvě. Vlnová délka UVC je nižší než 280 nm.



ABIOTICKÉ STRESORY – NÍZKÉ TEPLoty

Jde o stresy způsobené **chladem**, tj. nízkou teplotou nad bodem mrazu (především subtropické a tropické rostliny) a **mrazem** (u nás zejména časný a pozdní mráz, nebo výraznější zimní holomrazy).

POŠKOZENÍ MRAZEM spočívá v mechanickém narušení buněk a v jejich dehydrataci vlivem tvorby krystalků ledu v apoplastu a symplastu. Led způsobuje neobnovitelná poškození vnitřních buněčných struktur, která vedou k odumírání poškozené části rostliny.

Časné mrazy – před koncem vegetačního období, zejména je-li teplý a vlhký podzim. Poškozují mladé výhony, které ještě nezdřevnatěly, způsobují předčasný opad listů.

Zimní mrazy – poškození pletiv kůry a lýka, odumírání větví a výhonů. Vznikají mrazové praskliny, mrazové kýly. Poklesnou-li teploty na dlouhou dobu pod $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, může dojít k promrznutí korun. U listnáčů se promrznutí projeví až při rašení, kdy část větví nevyraší či vyraší a usychá později během léta. U buku může vlivem mrazu vznikat tmavé mrazové jádro. Holomrazy mohou způsobit vymrznání (vytahování sazenic) – přes den roztátá půda v noci zmrznutím nabývá na objemu a zdvihá povrch i se sazenicemi, přes den opět půda klesá, ale sazenice zůstávají povytaženy.



ABIOTICKÉ STRESORY – NÍZKÉ TEPLoty

Pozdní mrazy

V květnu a na začátku června, kdy za jasných a bezvětrných nocí klesají teploty v přízemní vrstvě díky intenzivnímu vyzařování z povrchu země. Pozdní mrazy jsou místního charakteru, především k nim dochází **v mrazových kotlinách**, kam v noci stéká chladný vzduch (je těžší než teplejší vzduch). Větší nebezpečí pozdních mrazů je v blízkosti mokřin či stojatých vod.

Pozdní mrazy do $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ či $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ **poškozují rozvíjející se pupeny, výhonky či květy**. Poškozené části vadnou, hnědnou, černají a odumřelé odpadávají.



ABIOTICKÉ STRESORY – NÍZKÉ TEPLoty

Mrazové praskliny (trhliny) vznikají nejčastěji na osluněné jižní a jihozápadní straně (náhlé rozdíly teploty během dne a noci). Vzniklé rány se zavalují, při opakovaném popraskání jsou většinou infikovány dřevokaznými houbami. Nejčastěji u buku, habru, jedle.

Na silnějších kmenech stromů s širokými dřeňovými paprsky (dub, buk, jilm, habr, jedle, topol) vznikají **mrazové kýly**. Prudkým smršťováním běle při náhlém přechlazení dojde k roztržení kmene, často až ke dřeni, na jaře se rána uzavírá – zarůstá novým letokruhem, v zimě dojde často k obnovení rány, postupně tak podél trhliny vzniká hojivé pletivo v podobě lišty. Kýly vznikají výrazně méně často než mrazové trhliny, nejčastěji vlhčí stanoviště v uzavřených údolích s častými mlhami.



ABIOTICKÉ STRESORY – VYSOKÉ TEPLoty

V našich podmínkách teploty jde o **teploty nad cca 30°C**, mezi jednotlivými druhy jsou pak pochopitelně znatelné rozdíly v odolnosti vůči horku.

Při teplotách vzduchu nad 35 °C dochází v našich podmínkách zpravidla k poklesu účinnosti fixace CO₂. Vlivem vysokých teplot může docházet k podstatným změnám ve fyzikálních a chemických vlastnostech buněčné membrány a bílkovin. Ovlivněny jsou složení a obsah proteinů (včetně aktivace tzv. stresových proteinů), stavba a aktivita thylakoidních membrán v protoplastech. Byl zaznamenán pokles podílu granálních útvarů, změny v lipid-proteinové interakci, fázová separace a změny ve složení lipidů (při teplotách 45–50 °C).

Nejčastější poškození vedrem u dospělých dřevin je **korní spála**. Objevuje se na dřevinách s hladkou kůrou při náhlém zahřátí a způsobuje odumření kůry na osluněné jižní či jihozápadní straně kmene. Kůra popraská, zasychá, později se odlupuje a v pruzích opadáva. Obnažené dřevo praská a později je zpravidla postiženo hnilobami. Nejčastěji je postižen buk, javory, habr, smrk, jedle a vejmutovky. Častější je poškození u starších stromů.

U semenáčků a sazenic může vlivem přehřátí půdního povrchu docházet k poškození kořenového krčku a následnému **podlamování či odumírání semenáčků** (jedle, smrk), časté a nebezpečné zejména ve školkách.



ABIOTICKÉ STRESORY – NEDOSTATEK DOSTUPNÉ VODY

VODNÍ DEFICIT obecně vzniká při jakékoli nerovnováze ve vodní bilanci rostlin, tj. v jakékoliv situaci, kdy **rychlost transpirace (E) je vyšší než rychlost absorpce (A)**.

Vysoká rychlost transpirace může přitom být způsobena **nízkou vlhkostí vzduchu, vysokou teplotou, vysokou ozářeností, silným větrem**. Nízká rychlost absorpce může být dána **nedostatkem vody v půdě (nejčastěji)**, ale také **vysokou koncentrací solí** či **nízkou teplotou půdy**.

Významným ukazatelem disponibilní vody v půdě je tzv. **BOD VADNUTÍ**. Vyjadřuje **stav, kdy rostlina vypaří více vody, než přijme**. Bod vadnutí závisí na klimatických činitelích (na vzdušné vlhkosti a na pohybu a teplotě vzduchu), na typu půdy i na charakteru (druhu) rostliny. Pokud jsou zavlaženy, obnoví následně turgor.

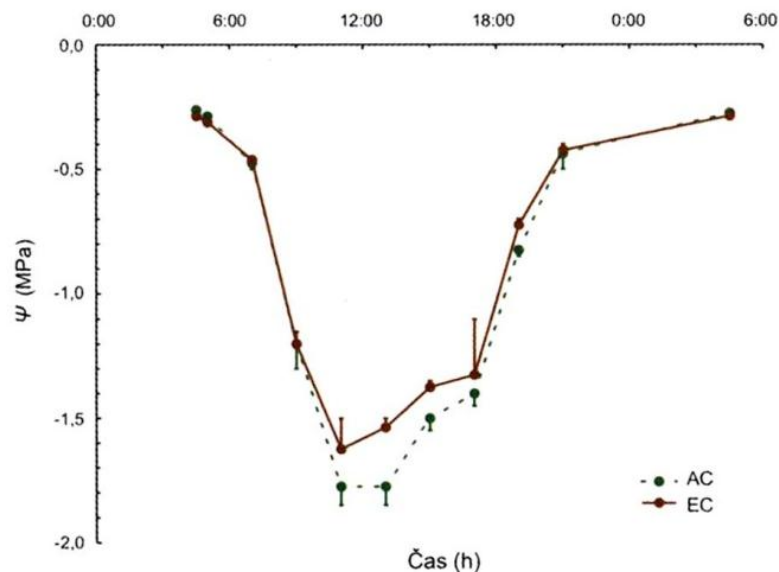
BOD TRVALÉHO VADNUTÍ je dán množstvím vody v půdě, při němž **rostlina vadne a turgor již po zpřístupnění vody neobnoví**. Kromě půdních podmínek je dán i druhem rostliny. V zemědělství a pedologii se považuje za konvenční normu bodu trvalého vadnutí vodní potenciál půdy $-1,5$ MPa, obecně mohou hodnoty u jednotlivých rostlin ležet mezi -1 a -4 MPa (LARCHER 2001).



ABIOTICKÉ STRESORY – NEDOSTATEK DOSTUPNÉ VODY

VODNÍ STRES z nedostatku vody lze tedy definovat jako stav, kdy *dřeviny redukují využití radiční energie na transpiraci z důvodu omezené zásoby půdní vody*. Tím je limitována hydraulická vodivost pro transport vody z půdy do atmosféry. Následkem sníženého listového potenciálu se *přivírají průduchy*, takže listy nemohou účinně ochlazovat svůj povrch a je *snížován jejich příjem CO_2* – dochází k *redukci fotosyntetické aktivity*. Dopadající sluneční energie je pak spotřebována především na ohřev vzduchu a dřevin, k ochlazení jejich povrchu dochází převážně vyzařováním tepelné energie. Vedlejším projevem tohoto stavu je snížení schopnosti dřevinných porostů vyrovnávat teplotní rozdíly vzduchu mezi dnem a nocí.

Zavírání průduchů, tj. aktivní omezení transpirace je u dřevin *běžné, za jasných dnů* k němu pravidelně dochází *v poledních hodinách* – strom není schopen přijímat vodu kořeny tak rychle, jak by bylo při neomezené transpiraci potřeba. Později odpoledne, když se obsah vody v pletivech doplní, se průduchy opět otevírají a rychlost transpirace se opět zvyšuje. *Při nedostatku vody se přestane nejdříve objevovat odpolední nárůst transpirace, následně se průduchy otevírají jen ráno, aby nakonec ustala stomatární transpirace úplně – rostliny nadále transpirují již jen kutikulárně.*



Příklad denního chodu vodního potenciálu letorostů smrku (MAREK et al. 2011)

ABIOTICKÉ STRESORY – NEDOSTATEK DOSTUPNÉ VODY

Situace nedostatku vody pro rostliny je obvykle označována termínem **SUCHO**. V různých kontextech je tento pojem však chápán různě. Lze rozlišit čtyři základní druhy sucha:

- **Meteorologické (atmosférické) sucho** – obvykle se hodnotí na základě odchylky srážek od normálu pro určité časové období.
- **Hydrologické sucho** – vyjadřuje se pomocí deficitů povrchových a podpovrchových zásob vody.
- **Fyziologické (zemědělské, agronomické) sucho** – vztahuje se k potřebám půdní vláhy konkrétních rostlin v určitém čase.
- **Socio-ekonomické sucho** – definice spojující sucho s ekonomickou teorií nabídky a poptávky.

Z pohledu délky trvání rozlišuje CRITCHFIELD (1984):

- a) stálé sucho** spojené s aridními podnebími;
- b) sezónní sucho**, které se vyskytuje v podobě zřetelných každoročních období suchého počasí;
- c) sucho způsobené proměnlivostí srážek.**

Obecně je jako sucho vhodné označovat pouze dlouhá období nedostatku vody.

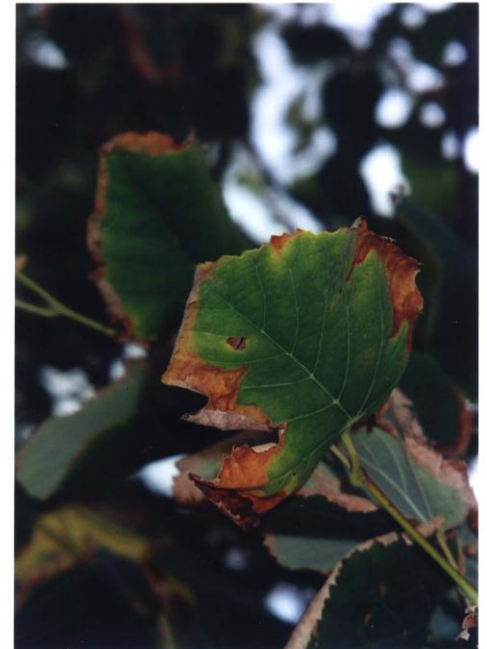
Pro kratší (v rádech dnů či týdnů) suchá období, která jsou podmíněna časově omezeným výskytem atmosférického sucha, půdními poměry, zvýšenou vláhovou náročností určitých rostlin a kombinací těchto příčin je přesnějším označením **PŘÍSUŠEK**.

ABIOTICKÉ STRESORY – NEDOSTATEK DOSTUPNÉ VODY

ODOLNOST vůči nedostatku dostupné vody je dána *schopností oddálit vysušení*, respektive udržet na přijatelné úrovni vodní potenciál protoplazmy a *schopností snášet vysušení protoplazmy bez poškození*.

Vysušení může být oddalováno zlepšením příjmu vody z půdy, snížením ztrát vody – zvýšením difúzního odporu či zmenšením transpirujícího povrchu, vysokou účinností vedení vody a vytvářením zásob vody v pletivech (LARCHER 1988). Zvýšení difúzního odporu dosahují rostliny zmíněným včasným uzavíráním průduchů a účinnou kutikulární ochranou. Rostlina také reaguje tvorbou látek zvyšujících osmotický tlak jako je kyselina abscisová. Regulací genové aktivity se reguluje také tvorba enzymů a strukturních proteinů, nepřímo pak dalších metabolitů.

Strukturálními adaptacemi jsou úpravy počtu a velikosti průduchů (menší, hustěji po ploše), zesílení kutikuly, voskové povlaky či husté pokrytí povrchu chlupy. Zmenšení transpirujícího povrchu je dosahováno skládáním či svinováním listů či částečným či úplným opadem asimilačního aparátu.



ABIOTICKÉ STRESORY – NEDOSTATEK DOSTUPNÉ VODY

Obecně patří mezi odolné **dřeviny s dlouhým křivým hlavním kořenem** umožňujícím příjem vody ze spodních vrstev půdy. I tyto dřeviny mohou však být při delších deficitech vody (kdy dochází k velkým poklesům hladiny podzemní vody) poškozovány a to dokonce za určitých okolností výrazněji než dřeviny mělkokořenné. Pokud totiž není období zcela beze srážek, ale padající srážky jsou jen slabé, zvlhčí pouze svrchní část půdy a hladina podzemní vody přitom dále klesá – ze srážek mohou alespoň částečně profitovat dřeviny s množstvím kořenů ve svrchní vrstvě půdy, nikoliv však hlubokořenné dřeviny.

Dřevinami odolnými vůči suchu jsou v našich podmínkách zejména **dřeviny pocházející z teplých oblastí s limitovanými srážkami** jako je dub pýřitý (*Quercus pubescens*), jeřáb břek (*Sorbus torminalis*) či habr (*Carpinus betulus*). Z našich jehličnanů je díky hlubokému kořenění relativně odolný modřín opadavý (*Larix decidua*).



ABIOTICKÉ STRESORY – NEDOSTATEK DOSTUPNÉ VODY

K fyziologickému suchu může dojít i v situacích, kdy z pohledu meteorologického či hydrologického sucho není. Typickým příkladem je zimní či **časně jarní fyziologické sucho**. Při dlouhém zimním mrazivém období je voda zmrzlá v půdě a z velké části i v kořenech a stonku. Větévky stromů nechráněné sněhem však stále ztrácejí vodu – obsah vody v rostlině se tak stále snižuje. Ještě výraznější deficit může nastat při náhlých a výrazných zimních oblevách nebo při prudkém nástupu jara.

Pokud teploty náhle vystoupají výrazně nad 0°C a je jasné počasí, jsou větve stromů znatelně ohřívány, což vede k relativně silné transpiraci. Ztráty vody přitom z půdy ještě nemohou být doplněny – půda je při povrchu zmrzlá nebo velmi chladná cca do 2 °C. Příjem vody z půdy je limitován jednak nedostatečnou aktivitou dýchání kořenů a jednak odporem pohybu vody v půdě. Vodní bilance stromů se tak stává zápornou a obsah vody v pletivech se snižuje pod únosnou míru. Důsledkem této ztráty vody je nekontrolované smrštění parenchymatických buněk, nasátí vzduchu a odumírání buněk provázené oxidací fenolických látek včetně ligninu. Tato situace a z ní vznikající poškození jsou často označovány jako **FYZIOLOGICKÁ SYPAVKA** (podle symptomu – zreznutí a osypání jehlic).



ABIOTICKÉ STRESORY – NEDOSTATEK DOSTUPNÉ VODY

PROJEVY SUCHA jsou z *velké části nespecifické*.

Mezi nejvýznamnější symptomy patří:

- inhibice růstu a to jak prodlužovacího růstu listů či jehlic, tak radiálního růstu kmene,
- nárůst specifické listové hmotnosti,
- přivírání průduchů (důsledkem je omezení přístupu CO₂ pro fotosyntézu),
- stáčení, zavadání či zasychání listových čepelí (od špičky a obvodu),
- celková redukce listové plochy (opad),
- praskliny na kmeni či větvích,
- změny v ploše a architektuře kořenového systému – snaha o jeho rozvoj pro zajištění větší absorpční plochy pro příjem vody, ale také zavadání či poškození kořenů v důsledku objemových změn v půdě apod.



ABIOTICKÉ STRESORY – NEDOSTATEK DOSTUPNÉ VODY

Nedostatek vody může omezovat produkci semen, jak například zjistili u smrku MENCUCCINI et al. (1995).

Stres z nedostatku vody je zřejmou predispozicí pro další stresory – dochází k atakům kambiofágního a xylofágního hmyzu (např. rody *Hylocoetus* a *Xyleborus*), ztelněji se uplatňují některé z houbových chorob.

Po výraznějších přísušcích, především v jarních a časně letních měsících, lze očekávat například napadení vaskulárními mykózami (*Ceratocystis* spp., *Ophiostoma* spp. etc.), patogeny kambiální zóny (např. zástupci rodů *Fusarium*, *Nectria*, *Phytophthora*) klimatické výkyvy (nejen nedostatek vody, ale také teplotní) ovlivňují také výskyt chorob asimilačního aparátu (např. sypavky, *Gremmeniella abietina*).



Xyleborus dispar
Gremmeniella abietina



ABIOTICKÉ STRESORY – NEDOSTATEK DOSTUPNÉ VODY

Praskliny suchem

U listnáčů je častější následné napadení ophiostomatálními houbami, u jehličnanů se praskliny rychleji zacelují a infekci také brání pryskyřice.

lípa

javor klen



jasan



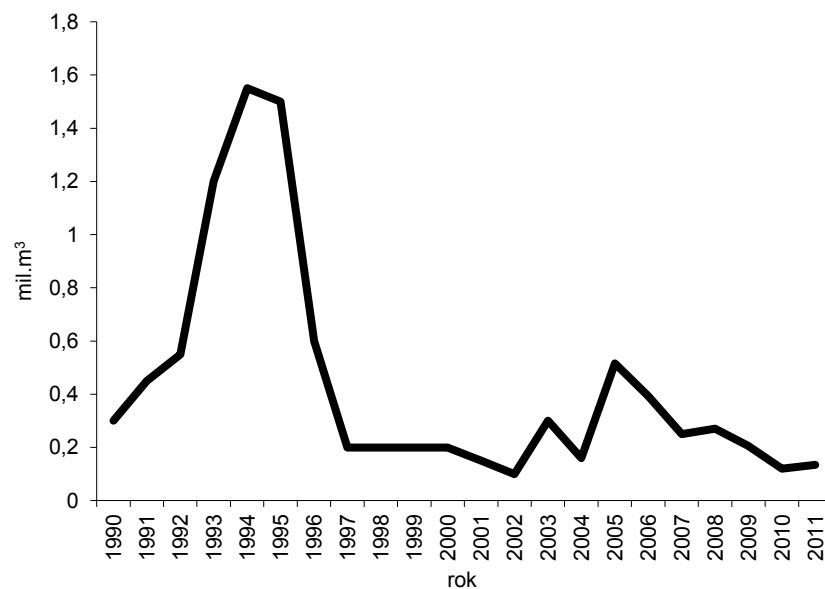
habr

ABIOTICKÉ STRESORY – NEDOSTATEK DOSTUPNÉ VODY

Nedostatek vody více limituje mladé jedince, k vadnutí a odumírání u nich může docházet v krátké době. U dospělých stromů může poškození suchem chronické, projevující se s odstupem a trvajícím v řádu let.

Nejrizikovější je pro dřeviny **nedostatek vody v období tvorby orgánů a zásob rezervních látek, tj. zejména v období od dubna do září**. V podmínkách ČR jsou nejvíce ohroženy dřeviny v nejnižších polohách, kde jsou vysoké průměrné teploty a nízké srážkové úhrny, nejvýraznější takovou oblastí je jižní Morava. Dále jsou ohrožena území tzv. srážkových stínů, tj. území na závětrné straně pohoří, kde srážky vypadávají na návětrné straně.

Sucho či přísušek jsou **jednou z nejčastějších příčin nezdaru obnovy lesa**, zdatelně **limitují růst stromů** a predisponují je pro uplatnění abiotických (poškození větrem po redukci kořenů) i biotických mortalitních činitelů (zejména napadení kambioxylofágním hmyzem). V extrémních letech (v Evropě například 1993–1995 či 2003) může v důsledku vodního deficitu docházet k výraznému odumírání stromů včetně rozpadů porostů – **nahodilé těžby vyvolané suchem v ČR za roky 1993–1995 přesáhly 4,2 mil. m³**.



Nahodilé těžby vyvolané suchem – ČR

ABIOTICKÉ STRESORY – NADBYTEK VODY

Extrémně vydatné dešťové srážky mohou vést k přímým i nepřímým vlivům na dřeviny. Nasycení půdního profilu vodou vede ke snížení fyziologické aktivity kořenů. Vlivem zamokření se stává pro kořenovou respiraci (zejména pro oxidační fosforylaci) limitním nedostatek kyslíku.

Při částečném nedostatku kyslíku, tzv. **HYPOXII**, je proces oxidační fosforylace omezen, při **ANOXII** dochází k úplnému nedostatku kyslíku a proces oxidační fosforylace je inhibován.

Při nedostatku kyslíku dochází v rostlinných buňkách ke změnám metabolismu, hromadí se toxiny. Snižuje se produkce NADPH+ a ATP, aktivní přenašeči iontů minerální výživy jsou bez energie a tak se snižuje schopnost rostliny přijímat minerální živiny. Za vzniklých anaerobních podmínek odumírají (poměrně náhle) parenchymatické buňky kořenového vlášení (asfyxie), následně jsou stejně postiženy i kořeny vyššího řádu, postupně tak dochází k znatelné redukci kořenové sorpční plochy. Rostliny žloutnou, trvale vadnou. V konečném důsledku je snížena mechanická stabilita stromů, při delší době zamokření stromy jednotlivě či skupinovitě odumírají.



ABIOTICKÉ STRESORY – NADBYTEK VODY

Kromě přímých fyziologických účinků má hypoxie **vliv na chemismus půdy a mikrobiální složky rhizosféry**. Aerobní mikroorganismy po vyčerpání kyslíku přechází do klidové fáze nebo odumírají. V půdě se hromadí rozpuštěný CO_2 , pH půd většinou roste, vznikající železnaté a manganaté ionty mohou být ve vyšších koncentracích toxické... Rozklad i asimilace v anaerobních podmínkách probíhají velmi pomalu, bývá významně porušen koloběh dusíku v půdě – je zpomalena mineralizace dusíku, což způsobuje, že většina dostupného dusíku je ve formě amonných iontů, které nemohou být vlivem nedostatku O_2 dále oxidovány.

Kromě výše popsaného působení nadbytku vody v půdě na fyziologii, mohou **vydatné srážky vézt k přímým mechanickým nevratným poškozením dřevin či jejich stanovišť**. Prudký déšť může způsobit potlučení květů, náletu semenáčků, spláchnutí pylu či vyplavení semene. Extrémní odtok při přívalových deštích vede často k rozsáhlé erozi či sesuvům půdy se zřejmými důsledky pro zdravotní stav a stabilitu porostů.



Sesuv po přívalovém dešti – Girová 2010

ABIOTICKÉ STRESORY – NADBYTEK VODY

Při vzniku **POVODNÍ** mohou být stromy také významně **mechanicky poškozeny** unášenými předměty či ledovými krami. Vzniklé rány jsou **vstupní branou pro infekci** dřevokaznými houbami i výchozím místem pro atak dřevokazného hmyzu (například zástupců hrbohlavců či červotočů). Pokud dojde k záplavám v zimě, může led vznikající na hladině rozlivu menší stromky lámat či vytrhovat, pokud je s vodou neseno velké množství bahna, mohou jím být malé stromky zaneseny.

Dřeviny měkkého luhu (především vrby) vydrží i velmi dlouhé zaplavení vodou (měsíce), dřeviny tvrdého luhu (jasany *Fraxinus excelsior* a *Fraxinus angustifolia*, jilmy *Ulmus minor* a *Ulmus laevis*, dub letní *Quercus robur*) mají tuto odolnost výrazně menší, k výraznějším poškozením zpravidla dochází při zatopení delším než měsíc.



ABIOTICKÉ STRESORY – VÍTR

Termínem **BOŘIVÝ VÍTR** jsou označovány větry, které mají destruktivní účinky na lesní dřeviny a jejich porosty. Takový charakter mohou mít v našich klimatických a geografických podmínkách:

- ***silný stálezší či nárazový vítr*** – zasahují zpravidla větší území, vznikají nejčastěji v zimním a jarním období při přechodu výraznějších front – při takových situacích vznikly například polomy v letech 1990, 2007 či 2008;
- ***přepadové (katabatické) větry*** – vznikají v horách za výrazných teplotních a tlakových rozdílů mezi oběma stranami hřebene. Těžký studený vzduch přetéká přes hřeben, nabírá rychlost díky gravitaci a často i díky nízkému tlaku vzduchu za hřebenem – vítr tak může dosahovat velmi destruktivních účinků a to zejména ve střední a dolní části svahu. Tyto větry vznikají nejčastěji v letním období, při vyšších teplotách vzduchu však mohou vznikat i během podzimu (např. Tatranská bóra v roce 2004);
- ***větrné bouře, smrště a tornáda*** – vznikají většinou v letním období a ovlivňují zpravidla výrazně menší území



ABIOTICKÉ STRESORY – VÍTR

Síla větru se projevuje tlakem, který vítr působí na plochu (kmene, koruny). V současnosti existuje celá řada výpočtových i přístrojových postupů jak posoudit zda zatížení větrem způsobuje (či způsobí) kritickou deformaci dřevních vláken kmene či kořenového systému. O celkové pevnosti a stabilitě každopádně **rozhodují nejen síla, respektive rychlost větru, ale také vlastnosti prostředí (kotvení stromu) a stromů samotných (rozměry, tvar, pevnost...)**. Nelze tedy paušálně stanovit intenzitu větru, při které dojde k bořivému účinku. U větrů nad cca $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (čerstvý vichr=gale dle Beaufortovy stupnice) však lze předpokládat, že bude (v různé míře) k prolamování korun, vývratům a zlomům docházet.

Vítr způsobuje široké spektrum mechanických poškození:

- ulamování větví či vrcholků,
- korunové, podkorunové a kmenové zlomy,
- přetrhání kořenů, vývraty.

Poškození je v porostech zpravidla skupinovitě či plošné – padající stromy poškozují či strhávají další stromy ve směru větru.

Charakter polomu bude odviset od vlastností porostů a stanoviště (viz dále) a také od typu větrného poryvu.



ABIOTICKÉ STRESORY – SNÍH

Padá-li za teplot blízkých 0°C sníh, jsou vločky obvykle velké o vyšší specifické váze, sníh dobře drží na větvích, při poklesu teploty může k podkladu přimrzat.

Ve větším množství způsobuje **MOKRÝ SNÍH ohýbání stromů** z důvodu přetížení korun a následné **zlomení vršku, prolámání koruny** či dokonce **lámání kmene** (při velmi silném sněhovém závěsu).

Na rozmoklých půdách se stromy přetížené sněhem **vyvracejí**. Kromě proředění či rozpadu porostu jsou důsledky mokrého sněhu: bajonetový růst smrku, vlnovité zprohýbání horní části kmene borovice a infekce poškozených stromů v místech zlomů dřevokaznými houbami.

Prolámané porosty jsou náchylnější k napadení podkorním hmyzem a k větrným polomům. Na částech stromu, které zůstaly delší dobu pod sněhovým pokryvem, se mohou uplatnit houby a plísně, kterým takové prostředí vyhovuje (např. přípletka černá *Herpotrichia nigra*).

Suchý sypký sníh nevytváří v korunách větší zátěž, je-li však jeho padání spojeno se silnějšími větrnými poryvy, může dojít k poškození větví a jehlic ošleháním.



ABIOTICKÉ STRESORY – NÁMRAZA

Dalším typem srážek, které mohou mechanicky působit na dřevin jsou horizontální srážky, které na dřevinách vytváří ledové povlaky. Pod souhrnným označením **NÁMRAZA** se pro potřeby monitoringu poškození skrývají dva různé meteorologické jevy – **ledovka** a **námraza**.

Ledovka se tvoří za bezvětří z mlhy nebo deště na kmenech a větvích ochlazených pod bod mrazu. Námraza se tvoří z mlhy zanesené větrem, namrzá proti směru převládajících větrů na koruny a kmeny stromů ochlazené pod bod mrazu. V dřívější literatuře nejsou zpravidla jednotlivé druhy ledových povlaků jasně odlišeny a kromě výše jmenovaných se používaly také termíny omrznutí, ledůvka nebo ledovatka.

Ledové povlaky nejčastěji vznikají **při teplotách povrchu stromů mírně pod bodem mrazu**, tj. cca 0°C až -4°C, **teplotách vzduchu mírně nad bod mrazu** tj. cca 0°C až 5°C **a vysoké vzdušné vlhkosti** od 100 % do cca 70 %.

Při žádném či velmi nízkém vzdušném proudění je nutná vlhkost kolem 100 %, při vyšším proudění (ovšem nikoliv silném, při něm námrazy nevznikají vůbec) stačí k namrzání nižší vlhkost vzduchu.



ABIOTICKÉ STRESORY – NÁMRAZA

Při námrazách jsou poškozovány jehličnany i listnáče. Zpravidla **převládají zlomy nad vývraty, nejčastěji jde o vrcholové, korunové zlomy a kmenové zlomy v podkorunové části**. Zejména u listnáčů (nejčastěji bříza) mohou být stromy také výrazně ohýbány.

V porostech vznikají skupinové polomy (malé skupiny i větší celky), běžné jsou zlomy v pruzích (zejména na okrajích porostů), méně často jsou polomy tvořeny jednotlivými zlomy.

Námrazy také často vedou k prolamování korun, tj. k odlamování jednotlivých větví, vzniklé rány pak mohou být vstupní branou pro dřevokazné houby, stromy se silně prolámanými korunami následně ztrácí na přírůstu, při delších či opakovaných námrazách může dojít k poškození pupenů. Opakovaně námrazou poškozené porosty jsou nápadné četným výskytem dvojáků a víceráků.

V kombinaci se znečištěním ovzduší pak může kyselá námraza se zvýšeným obsahem síranů **přímo poškozovat jehlice** (LOMSKÝ et al. 1996) – dojde k narušení voskové vrstvy na povrchu jehlic, následně se potom vyluhují živiny, zejména vápník, draslík a hořčík. Například během podzimu a zimy 1995/1996 bylo v několika případech naměřeno pH oblačné vody a námrazy nižší než 3 a koncentrace síranů desetinásobně vyšší než mezní koncentrace, při které dochází k poškození jehličí (KREJČÍ 2001).



ABIOTICKÉ STRESORY – FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POLOMY

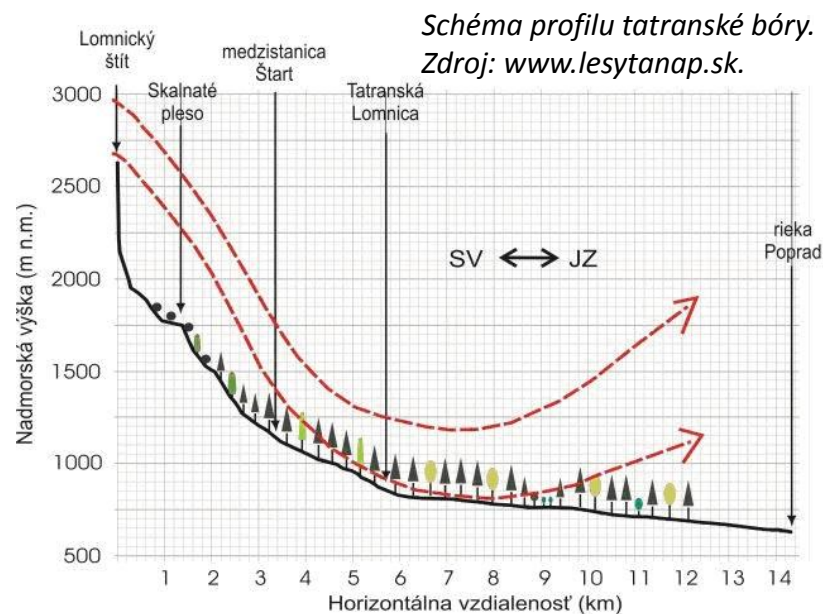
ROČNÍ DOBA A POČASÍ – určují frekvenci výskytu destabilizujících jevů, ovlivňují pevnost ukotvení stromu.

Velké přesuny vzdušných mas spojené s bořivým větrem jsou časté na jaře a na podzim, smršťe a větrné bouře přichází obvykle v létě. **Mokřý sníh padá nejčastěji na konci podzimu či začátku zimy**, nebo při přechodu teplých front v zimním období. Ve stejných obdobích vznikají zpravidla také námrazy.

Ukotvení stromu v půdě je výrazně snižováno nasycením půdy vodou – zejména v období jarního tání či podzimních dešťů. Naopak **promrzání svrchních vrstev půdy zlepšuje ukotvení**.

STANOVIŠTĚ – ovlivňuje pravděpodobnost vzniku poškození i jeho výši, a to reliéfem a vlastnostmi půdy (skeletnatost, nasycenost vodou, půdní druh).

Bořivý účinek větru může být umocňován či naopak brzděn členitostí terénu. Větší ohrožení lze očekávat na koncích dlouhých údolí orientovaných po směru větru a na návětrných stranách, škody tam mohou být násobně větší. **Znatelný vliv může mít sklon svahu** – při větrech typu vichřice jsou škody na prudších svazích menší než na mírných (SCHÜTZ et al. 2006), při větrech přepadových bude mít vítr na prudkých svazích větší zrychlení a v dolních částech svahů bude docházet k poškození porostů.

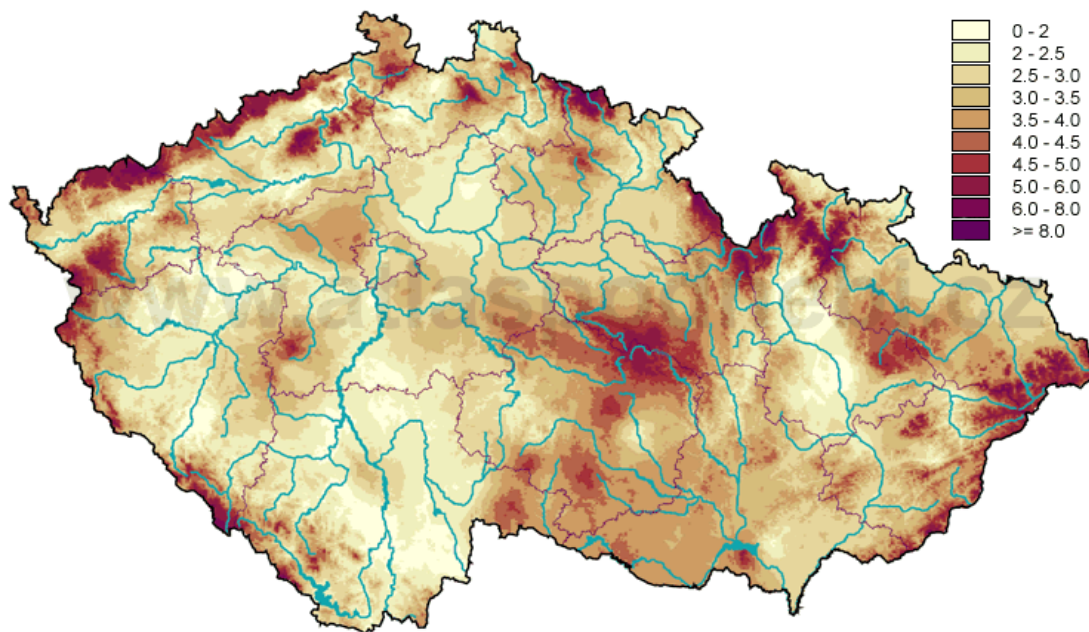


ABIOTICKÉ STRESORY – FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POLOMY

Vítr se uplatňuje v nížinných, pahorkatinných i horských polohách. Vyšší škody (zejména při vichřicích či orkánech) lze očekávat **především ve středních nadmořských výškách od cca 400 metrů nad mořem do cca 1000 metrů nad mořem**, kde vítr často dosahuje vysokých rychlostí a porosty mají druhové složení (převaha smrku ztepilého) i další parametry (hustota porostu, velikost stromů atd., viz níže) příznivé pro vznik polomu.

Sněhem jsou dřeviny nejčastěji poškozovány ve středních nadmořských výškách (cca 400 až 700 metrů nad mořem), kde je vysoká četnost srážek s mokrým sněhem, při větru pak na závětrných místech (návěje). Polomy vznikají podobně jako u větru spíše na mírnějších než na strmých svazích.

Námrazami jsou nejvíce ohroženy podhorské a nižší horské polohy (cca 600 až 900 metrů nad mořem), více jsou poškozovány porosty na svazích a hřebenech, kde jsou zachycovány teplejší proudy mlh z údolí.



Průměrná sezónní rychlost větru na podzim (v m/s) - Atlas podnebí ČR

ABIOTICKÉ STRESORY – FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POLOMY

DRUH DŘEVINY A JEJÍ VĚK – pevnost a křehkost dřeva, druhem podmíněná architektura stromu. **Větre**m jsou nejvíce ohroženy druhy, které mají krátkou, hustou, vysoko nasazenou korunu, mělkokořenicí dřeviny nebo dřeviny s křehkým dřevem, jako jsou smrk ztepilý, jedle bělokorá, topoly, bříza bělokorá či olše lepkavá. **Mokrým sněhem** jsou ohroženy především jehličnany (koruny zachytí více sněhu), zejména borovice lesní a blatka a smrk ztepilý – znatelněji ekotypy s hřebenitým či ježovitým větvením. Z listnáčů jsou často poškozováni buk lesní a duby, tj. druhy které dlouho do zimy drží suché listí a zachycují tak větší množství sněhu než ostatní listnáče a pak také rychle rostoucí křehčí dřeviny jako jsou topoly či bříza bělokorá.

Námrazami trpí z našich dřevin nejvíce borovice lesní a smrk ztepilý, z listnáčů jsou pak nejvíce ohroženy olše, buk lesní a v některých lokalitách také dub zimní.

Druhovú skladbu porostu výrazně ovlivňuje rozsah polomu.

Znatelné zvýšení stability může přinést již relativně malý podíl stabilních dřevin. Výrazné zvýšení stability pak lze očekávat **při zastoupení větruodolných dřevin 40 % a více**. Příměs stabilní dřeviny (např. buku) ve smrkovém porostu je významná i z hlediska odolnosti vůči sněhu – pokud je dřevina přimíšena rovnoměrně, způsobuje přerušování souvislé sněhové vrstvy ležící v korunách, umožňuje také ohýbání sousedních smrků a tím opad sněhu z jejich korun.



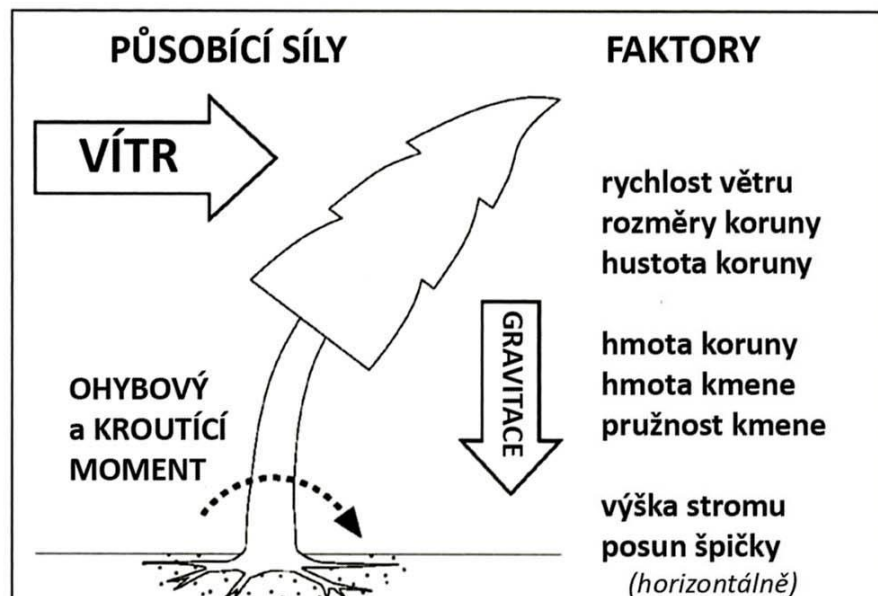
SCHÜTZ et al. (2006) uvádí na základě zkušeností z polomu po orkánu Lothar ve Švýcarsku, že již **příměs 10 % listnatých nebo jehličnatých větruodolných dřevin** (konkrétně šlo o douglasku tisolistou *Pseudotsuga menziesii*) **může statisticky významně snížit riziko destrukce porostu větrem**, pokud půdní podmínky umožňují jejich kvalitní ukotvení.

ABIOTICKÉ STRESORY – FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POLOMY

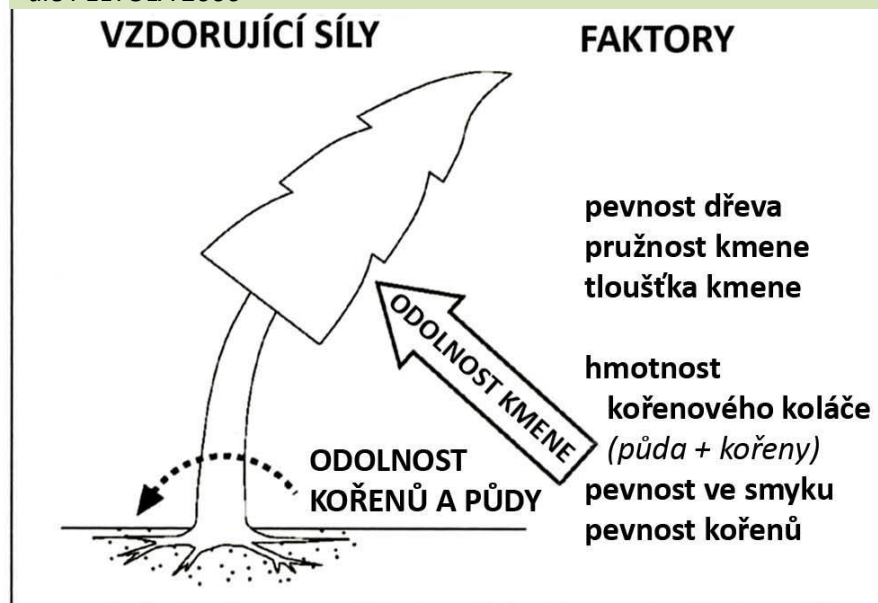
ARCHITEKTURA NADZEMNÍ ČÁSTI STROMU – dána zejména *druhem dřeviny, ekotypem, produkčními stanovištními podmínkami, hustotou a strukturou porostu*.

Obecně lze říci, že poškození větrem i sněhem roste s porostní výškou, s rostoucím hmotnostním poměrem mezi korunou a kmenem, s klesajícím průměrem kmene a klesající sbíhavostí (CAMERON 2002).

Důležitou roli hraje *tvar a hustota koruny*. Při delší koruně (např. u horských ekotypů smrku) je těžiště níže a tak dochází k menšímu namáhání kmene větrem než u stromů s vysoko nasazenou korunou. U borovice jsou zranitelnější ekotypy s širší hustší a zpravidla také výše nasazenou korunou (zejména nížinné ekotypy) – při větru působí na koruny větší síla, zachycují také více sněhu v koruně. Stejně tak případné zahoustnutí koruny při nahrazování poškozených primárních větví sekundárními (u smrku) nebo zahoustlý zploštělý tvar vrcholu koruny vlivem zpomalení či zastavení výškového přírůstu (například tzv. čapí hnízda u jedle) zhoršují stabilitu stromu.



Mechanismy působení větru na dřeviny a jejich odolnosti dle PELTOLA 2006



ABIOTICKÉ STRESORY – FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POLOMY

Obecně lze konstatovat, že u *smrku hodnota štíhlostního kvocientu vyšší než 100 implikuje nízkou stabilitu porostů*, někteří autoři (např. KÔNOPKA et al. 1987, NAVRATIL 1995) uvádí jako kritickou hodnotu 90, zejména ve vztahu k poškození sněhem v mladých porostech.

Výbornou stabilitu mohou mít porosty s kvocientem kolem 80. VICENA et al. (1979) uvádí jako optimální hodnotu štíhlostního kvocientu 79 a jako akceptovatelné maximum 83.

Detailní studie z 85 slovenských výzkumných ploch (KÔNOPKA, 1999) definovala třídy statické stability smrkových porostů na základě hodnot štíhlostního kvocientu takto: výborná stabilita $h/d_{1.3} \leq 82$, dobrá stabilita $h/d_{1.3} = 83-92$, uspokojivá stabilita $h/d_{1.3} = 93-101$, nedostatečná stabilita $h/d_{1.3} \geq 102$.

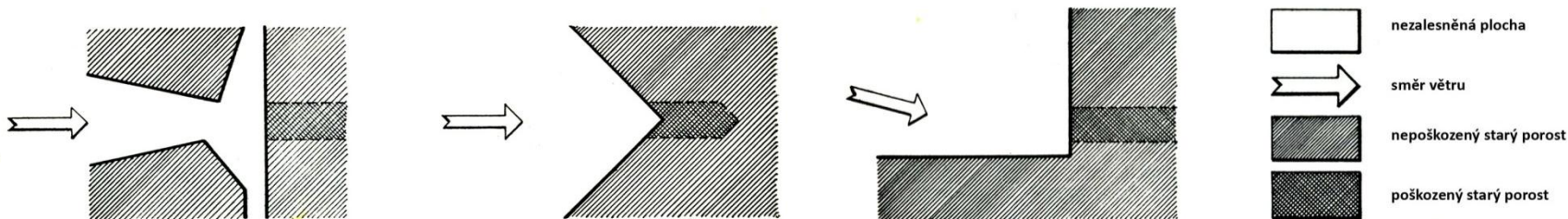
ARCHITEKTURA KOŘENŮ – je dána zejména druhem dřeviny, ekotypem, stanovištními podmínkami (např. skeletnatost, výška hladiny podzemní vody a její kolísání v průběhu roku atd.) a zdravotním stavem. V literatuře je uvedena řada rozměrových parametrů kořenového systému, které lze použít pro stanovení stability stromu, například **vertikální poloměr kořenového balu, jeho šířka a povrch, početnost kořenů jednotlivých tloušťkových tříd** (viz např. ŠTOFKO, KODRÍK 2008).



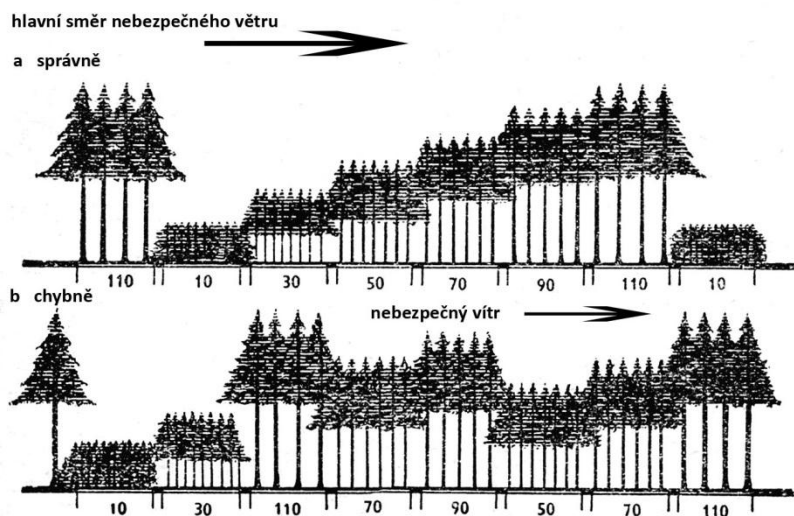
ABIOTICKÉ STRESORY – FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POLOMY

ROZČLENĚNÍ A USPOŘÁDÁNÍ POROSTŮ – umístění průseků, orientace porostních stěn, umístění obnovních prvků, kvalita porostních pláštíů atd. Větreu jsou ohrožené především velké homogenní stejnověkové porosty smrčín, zranitelné jsou stěny náhle uvolněných porostů se strmou stěnou na návětrné straně, zvýšené ohrožení je také v místě náseků, kde vítr proudí vyšší rychlostí, či tam, kde návětrné stěny tvoří pravý nebo ostrý úhel. Rozdíly v dopadech větru mezi jednotlivými tvary a směry porostních okrajů mohou být přitom relativně výrazné (DUPONT, BRUNET 2008).

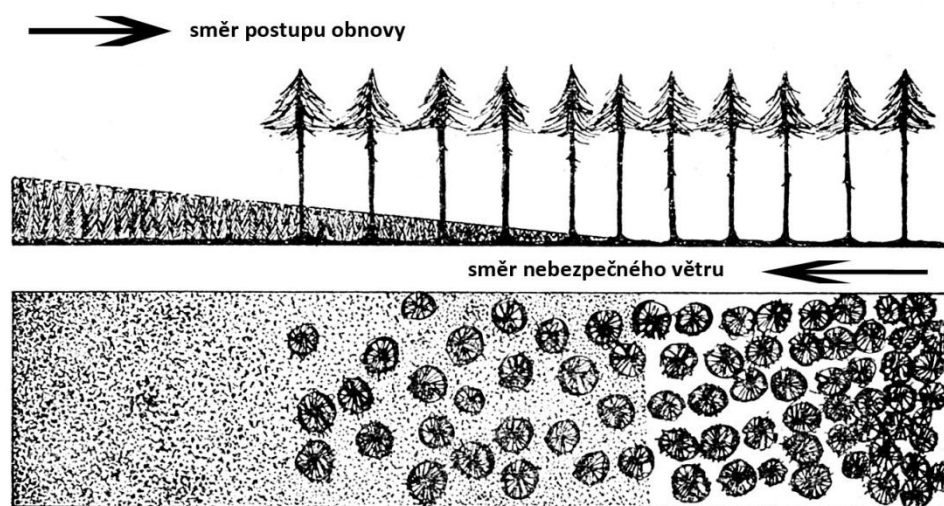
Větreu ohrožená místa vzhledem k vzájemné poloze porostů (FORST et al. 1970 dle KORFA)



Správný a chybný sled věkových stupňů (VICENA 1964).



Směr postupu obnovy proti směru převládajícího větru (VICENA 1964).



ABIOTICKÉ STRESORY – FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POLOMY

ZAKMENĚNÍ, ZÁPOJ – rizikové je především náhlé snížení zakmenění či zápoje. Při proředění porostu vzniknou nové nepevné porostní stěny, zvýší se prostupnost porostu a tím narůstá riziko polomů jak větrných, tak námrazových (lepší přístup vlhkého vzduchu do nitra porostu a tak vyšší namrzání ledu) a z části i sněhových (viz níže). ***Proředění je nebezpečné bez ohledu na to, zda vzniklo úmyslnými nebo nahodilými těžbami.***

Důležitá je ***včasná realizace probírek a jejich odpovídající intenzita*** (viz např. SLODIČÁK, NOVÁK 2006). Cílem je umožnit dostatečné a včasné zvýšení individuální stability při co nejmenším, respektive co nejkratší dobu trvajícím narušení skupinové stability.

V případě ***poškození mokrým sněhem je nežádoucí vysoký korunový zápoj*** – koruny stromu vytvoří souvislou vrstvu, na které může ležet větší sněhová zátěž. Ohroženy jsou přehoustlé a přeštíhlené porosty. Při silném probírkovém zásahu v původně velmi hustém porostu může dojít k sněhovým polomům zcela destruujícím porost z důvodu nízkého štíhlostního kvocientu, tj. nízké stability těchto stromů a vysoké zátěže sněhem (zachycení sněhu i v dolní části koruny vlivem prostupnosti porostu).

Míru vlivu proředění lze doložit z konkrétních průzkumů. VICENA (2002) uvádí, že proředění z plného zakmenění při těžbě 10 % zásoby vedlo k větrným polomům v průměrné výši cca 7 m³/ha, při těžbě nad 30 % zásoby však již k 90 m³/ha.



ABIOTICKÉ STRESORY – FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POLOMY

ZDRAVOTNÍ STAV STROMŮ – zejména napadení hnilobami. *Stromy napadené hnilobami mají logicky menší pevnost kmene, v případě napadení kořenů pak sníženou pevnost kořenů a celkově horší kotvení. Mechanická stabilita stromu je více ohrožována obvodovými hnilobami (ranovými) než hnilobami středovými.*

Středové hniloby do kmene vstupují zpravidla od kořenů a postupují různě vysoko kmenem středem stromu. Vysoko kmenem vystupují například kořenovník vrstevnatý (*Heterobasidion annosum*) či hnědák Schweinitzův (*Phaeolus schweinitzii*), v bázi stromu a v kořenech se uplatňují například václavky (*Armillaria* spp.) či d'ubkatec smrkový (*Onnia circinata*). K obvodové hnilobě dochází u stromů, do kterých houba pronikla přes poranění kmene a šíří se od rány vertikálním i horizontálním směrem.

Nejčastějším a z hlediska četnosti a míry vlivu na stabilitu stromů nejvýznamnějším takovým druhem je **pevník krvavějící (*Stereum sanguinolentum*)**. Snížení únosnosti je při šíření hniloby od rány na obvodu znatelně vyšší než při nezasažené obvodové části.



Vliv hnilob potvrzují rakouská šetření (STEYER, TOMICZEK 1998), při kterých byly pokusně lámány stromy s výčetní tloušťkou 20–36 cm. **K vyvrácení a zlomení bylo u stromů nahnilými kořeny potřeba momentu o 39 % menšího** než stromů zdravých a také potřebná tažná síla byla u stromů nahnilými kořeny o více než 1/3 menší.

ABIOTICKÉ STRESORY – LAVINY

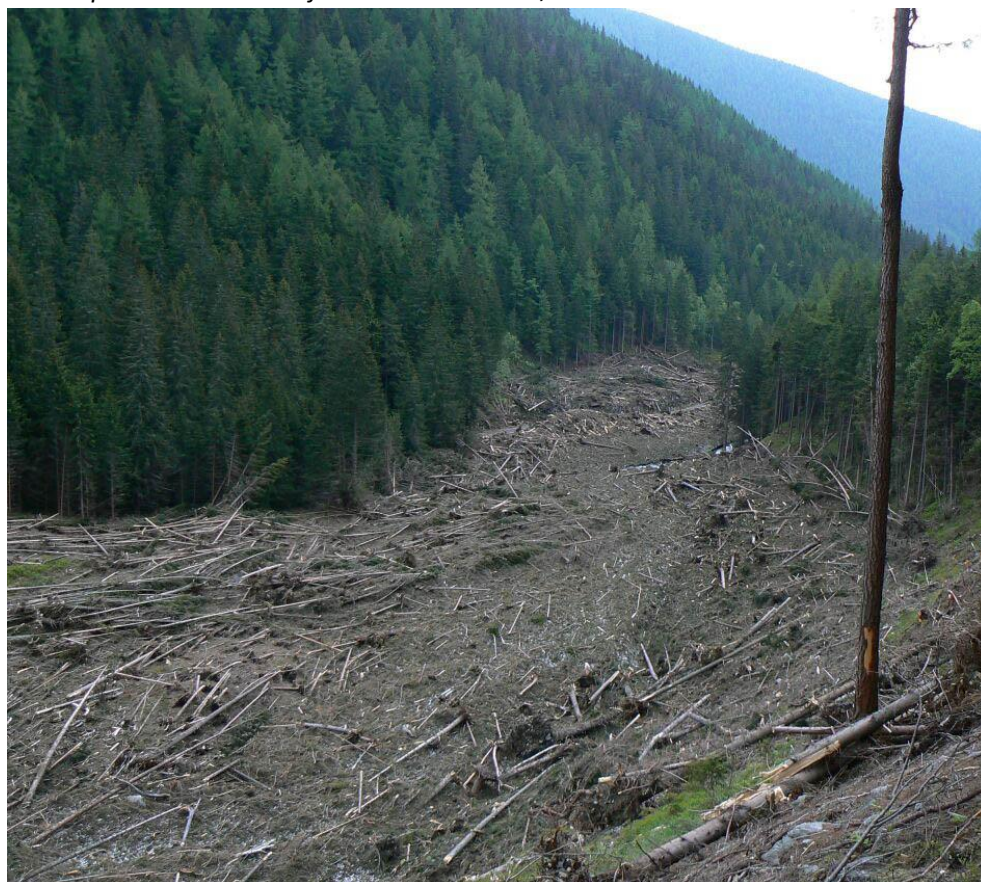
LAVINA = náhlé uvolnění a následný rychlý sesuv sněhové hmoty po dráze delší než 50 m a minimálním objemu 1 000 metrů krychlových. Zjednodušeně jde o takový sesuv sněhu, který ohrožuje lidský život.

Lavina přeráží a láme kmeny stromů, odírá kůru z okrajových stromů. V případě těžšího mokrého sněhu či větších lavin dochází k úplné destrukci porostu a k rozsáhlým poškozením prostředí (stržení balvanů, půdy).

Nahromaděný sníh se udrží dlouho do léta – dochází tak k zničení mladých stromků pohřbených pod masou sněhu. Pomalu tající masa sněhu vede k zpoždění vegetace kolem závěru laviny, mohou také vzniknout dočasná jezírka vody.

Zároveň se mohou objevit četná nepřímá poškození, vítr destruuje nově vzniklé porostní stěny či zbylé osamoceně stojící stromy. Poškozené stromy jsou napadány kůrovci, zejména lýkožroutem smrkovým (*Ips typographus*). Lavinové průrvy zarůstají bylinnou vegetací s komplikovanou obnovou lesa.

Polom po lavině v Žiarskej doline 25. 3. 2009, stav z května 2009. Foto: P. Gavlák.



ABIOTICKÉ STRESORY – CHYBY V MINERÁLNÍ VÝŽIVĚ

Jde o *nedostatek* či *nadbytek* některé složky výživy nebo o *nepříznivý poměr složek*.

U dřevin jde zejména o *deficienci dusíku, hořčíku, draslíku, fosforu* či *vápníku a o kalciozu, tj. nadbytkem vápníku omezený příjem železa* – vápník zablokuje příjem železa, kterého sice může být v půdě dostatek, ovšem kořeny ho od hodnoty pH cca 6,7 nejsou schopny přijmout.

Dalšími negativními nadbytky mohou být *nadbytek dusíku* doprovázený zbytnělým růstem listů (namodrale zbarvených, vodnatých) či *nadbytek fosforu a draslíku* vedoucí k poruchám příjmu vápníku a hořčíku.

Především v imisně zatížených oblastech se mohou objevit důsledky *nadbytku síry* v půdě – v tomto případě však tento stresor patří mezi antropogenní stresory.

Ve většině případů jsou symptomy poruchy výživy poměrně nespecifické s možností záměny s řadou jiných faktorů a to abiotických i biotických.

Nedostatek hořčíku: žloutnutí listů a jehlic, světle žlutá chloróza začíná od špičky jehlic, nejdříve u starších ročníků jehlic, později zejména špičkách jehlic oranžové až červenohnědé zbarvení; u listnáčů žloutnutí interkostálních polí – žilky zůstávají zeleně lemované, žloutnutí postupuje od středu čepele listu, později hnědé nekrózy v interkostálních polích



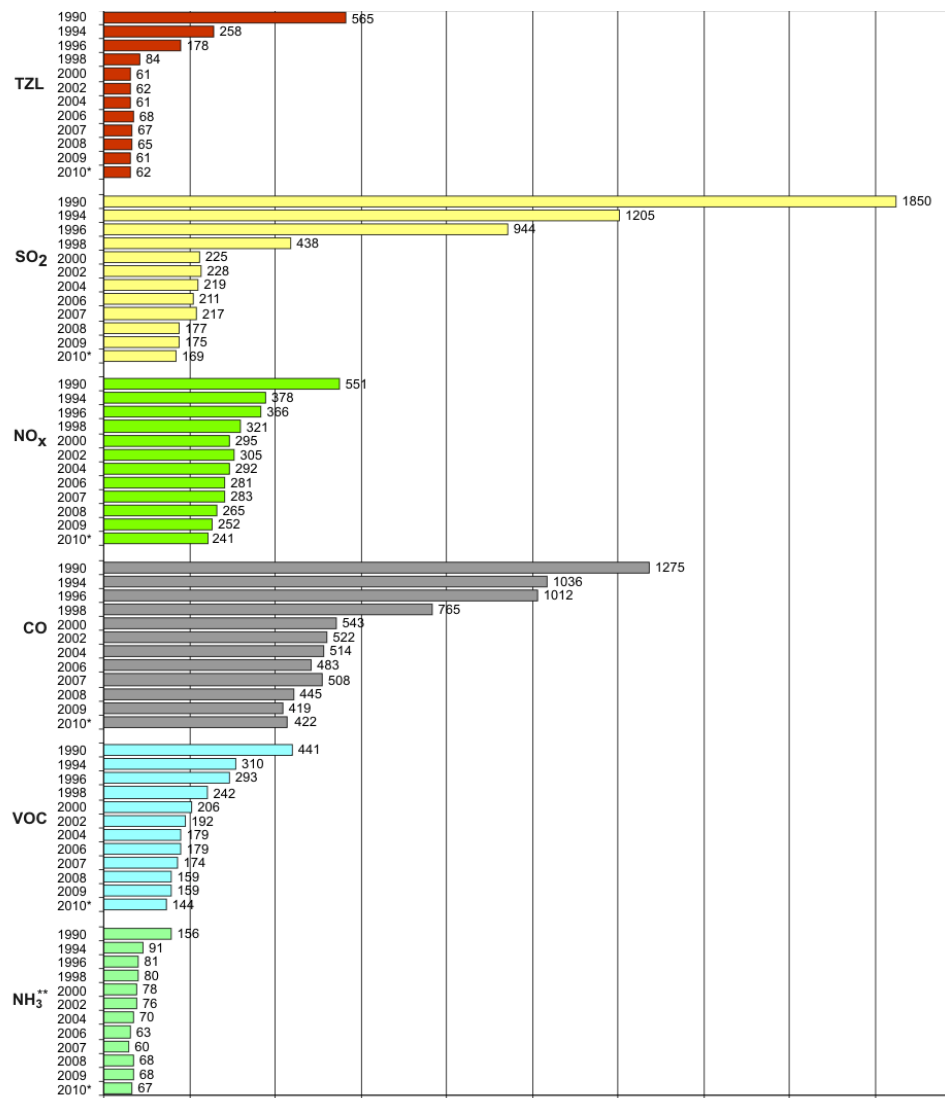
ANTROPOGENNÍ STRESORY – LÁTKY ZNEČIŠŤUJÍCÍ OVZDUŠÍ

Jde o látky do ovzduší vypouštěné či při haváriích samovolně utíkající:

- SO_2 ,
- NO_x ,
- prachové částice,
- fluoridy,
- peroxyacetylnitráty (PAN),
- polyaromatické uhlovodíky,
- polychlorované bifenyly (PCB),
- chlorované fenoly a uhlovodíky,
- sekundárně kyselé mokré sirné či dusíkaté depozice atd.

Působení těchto látek může být:

- **přímé** – pronikají do vnitřního prostředí rostliny a vyvolávají akutní či chronické poškození;
- **nepřímé** – mění vlastnosti půdy (acidifikace půdy, vyplavování bazických živin), negativně ovlivňují příjem či dostupnost živin (zejména bazických kationtů Mg, K, Ca) a vody.



* předběžné údaje pro rok 2010

** v r. 2008, 2009 a 2010 včetně emisí NH_3 z aplikace minerálních hnojiv

celkové emise [1000 t/rok]

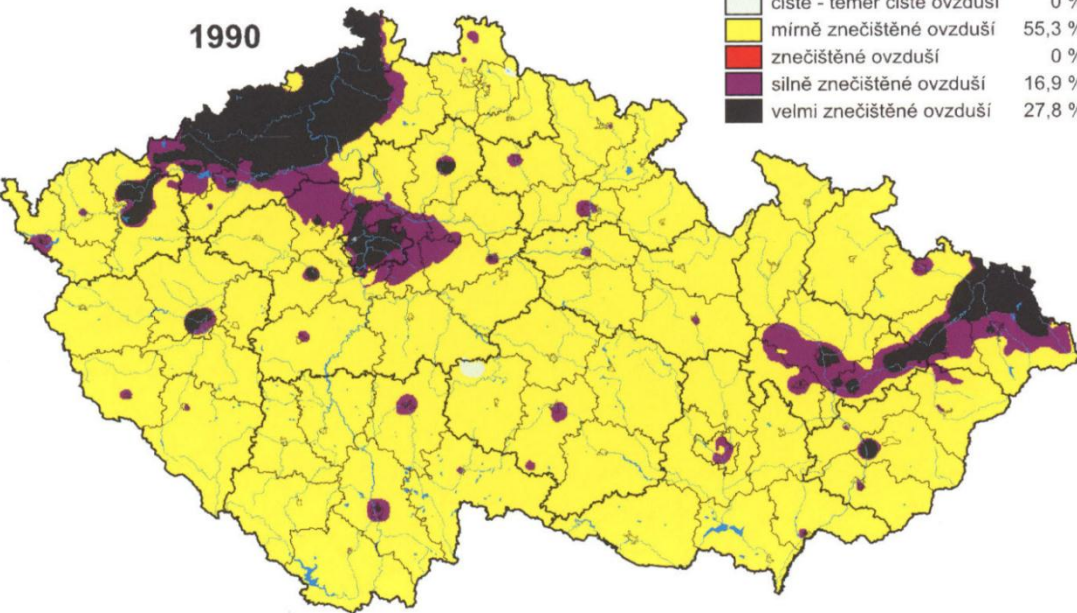


Celkové emise základních druhů látek znečišťujících ovzduší v České republice, 1990–2010

ANTROPOGENNÍ STRESORY – LÁTKY ZNEČIŠŤUJÍCÍ OVZDUŠÍ

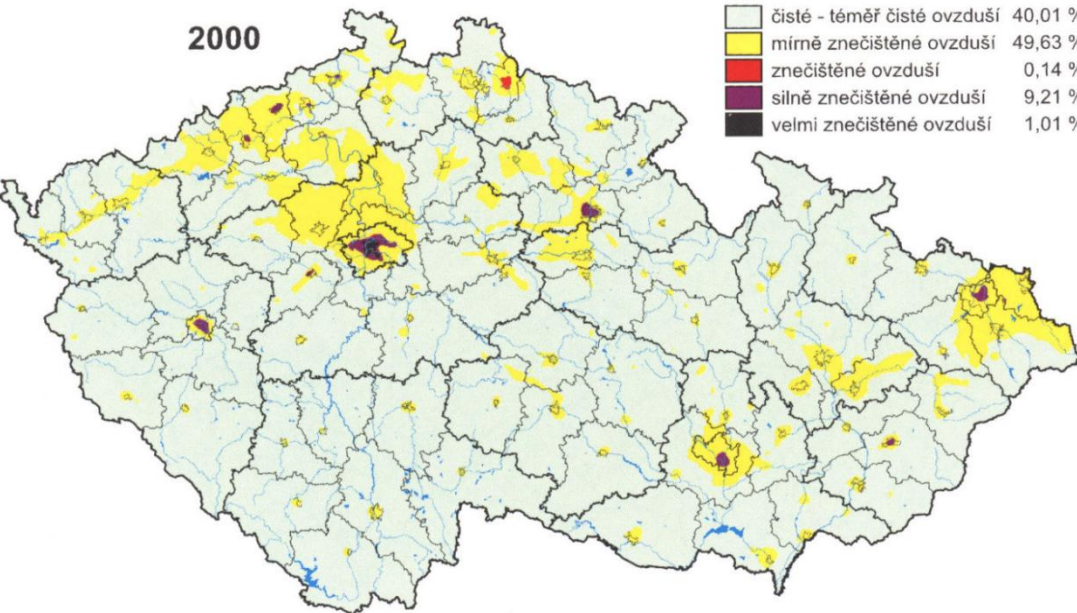
1990

čistě - téměř čisté ovzduší	0 %
mírně znečištěné ovzduší	55,3 %
znečištěné ovzduší	0 %
silně znečištěné ovzduší	16,9 %
velmi znečištěné ovzduší	27,8 %



2000

čistě - téměř čisté ovzduší	40,01 %
mírně znečištěné ovzduší	49,63 %
znečištěné ovzduší	0,14 %
silně znečištěné ovzduší	9,21 %
velmi znečištěné ovzduší	1,01 %



ANTROPOGENNÍ STRESORY – LÁTKY ZNEČIŠŤUJÍCÍ OVZDUŠÍ

POŠKOZENÍ IMISEMI může být:

- **akutní** – vzniká při absorpci takového množství škodliviny, která má pro pletivo smrtící účinek. Nejdříve se zpravidla projeví zasychání okrajů listů a mezižební listové plochy, později zasychání a zesvětlení přechází u řady druhů dřevin v bílou barvu, u jiných naopak v hnědou či hnědočervenou.
- **chronické** – je způsobeno absorpcí dávky nižší než je limit pro akutní poškození nebo dlouhodobým působením nízkých dávek. Projevuje se žloutnutím, které může postupovat přes světlání listoví, dokud není zničena většina chlorofylu a karotenoidů a dokud intervenózní části listů nejsou téměř bílé. Dochází k výraznému oslabení stromu.
- **skryté (fyziologické)** – je pozměněna fyziologická aktivita bez zjevných vnějších symptomů. Jde o poruchy životních procesů, které mohou ovlivnit růst, tyto poruchy nejsou patrné pouhým okem a jsou přítomny tam, kde dlouhodobě působí koncentrace škodlivin nižší než vyvolávající viditelné poškození. Změny jsou pozorovatelné na mikroúrovni – např. úbytek fotosyntetických pletiv v důsledku chlorózy a nekrózy. Růstová aktivita klesá vlivem rozvrácení buněčné struktury a aktivity.



Poškození oxidy síry – Krušné hory 1995

ANTROPOGENNÍ STRESORY – LÁTKY ZNEČIŠŤUJÍCÍ OVZDUŠÍ

CITLIVOST LESNÍCH DŘEVIN K PŮSOBENÍ SO₂ (Stolina et al., 1985)

citlivost	jehličnany	listnáče
velmi citlivé	<i>Abies alba</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Pinus sylvestris</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>
středně citlivé	<i>Larix decidua</i>	<i>Fagus sylvatica</i> , <i>Quercus petraea</i> , <i>Caropinus betulus</i> , <i>Tilia sp.</i>
málo citlivé	<i>Pinus nigra</i> , <i>Picea pungens</i> , <i>Picea omorika</i>	<i>Betula sp.</i> , <i>Quercus rubra</i> , <i>Acer sp.</i> , <i>Populus sp.</i> , <i>Alnus sp.</i> , <i>Salix sp.</i>



Obecně jsou odolnější dřeviny jejichž povrch listu je chráněn proti pronikání škodlivin:

- chlupy na listech – *Rosa rugosa*, *Viburnum lantana*...
- voskový povlak na listech či jehlicích – *Picea pungens*...
- tuhé, kožovité listy – *Pyracantha coccinea*...

Mladší dřeviny jsou odolnější než starší.

Starší jehlice jsou zranitelnější než mladší – mají menší schopnost zavírat průduchy, což umožňuje snadnější průnik do vnitřních pletiv.



ANTROPOGENNÍ STRESORY – LÁTKY ZNEČIŠŤUJÍCÍ OVZDUŠÍ

ZÁKLADNÍ PROJEVY VLIVU VZDUŠNÝCH ŠKODLIVIN NA DŘEVINY

Většina škodlivin snižuje fotosyntetickou aktivitu, a to přímo nebo nepřímo vlivem úbytku fotosyntetického pletiva (chlorózy, nekrózy atd.) a poškozením stomatální činnosti. V konečném efektu působí imise negativně na vitalitu a celkový růst rostliny.

růst výhonů

- redukováná listová plocha
- inhibice tvorby listu
- zastavený rozvoj listu
- urychlení opadu listů
- inhibice počtu i velikosti buněk

kambiální aktivita

- redukce radiálního přírůstu dřevin
- kratší a užší tracheidy, cévy
- menší počet tracheid, cév

růst kořenů

- nižší alokace asimilátů
- pokles poměru nadzemní části a kořenů
- úmrtnost kořenů
- redukce mykorrhizní populace
- pokles tolerance k suchu

růst reprodukčních orgánů

- snížení kvality a množství plodů
- pokles množství hormonálních růstových látek
- vliv na proces kvetení a fruktifikace
- přímé poškození reprodukčních orgánů
- nižší klíčivost

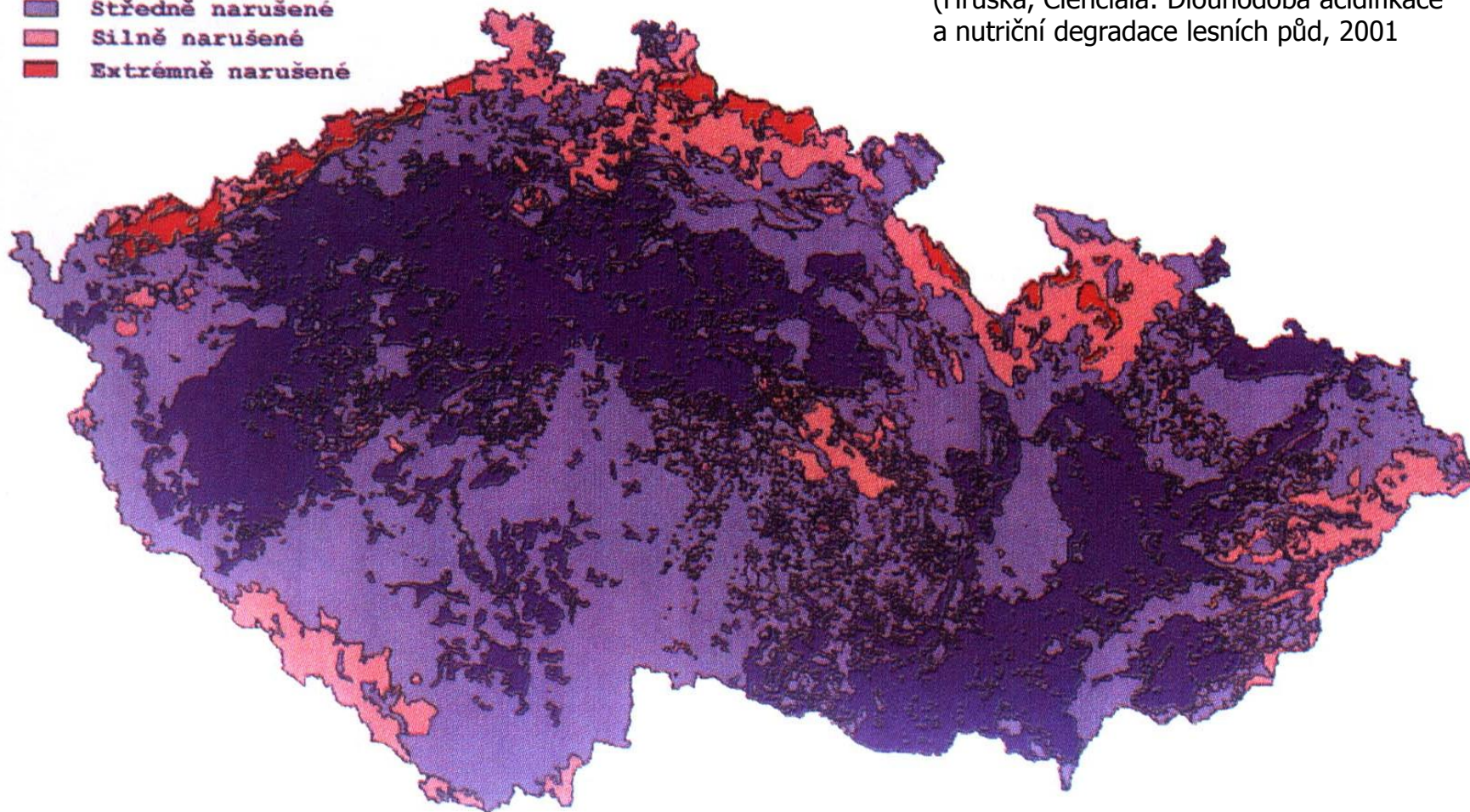
fyziologické procesy – kromě vyvolání nerovnováhy živin mají některé škodliviny inhibiční vliv na:

- syntézu chlorofylu
- na fotosyntézu
- mění průchodnost stomat
- permeabilitu buněčných membrán
- množství a typy zásobních karbohydrátů a proteinů
- aktivitu enzymů

ANTROPOGENNÍ STRESORY – LÁTKY ZNEČIŠŤUJÍCÍ OVZDUŠÍ

VLIV IMISÍ NA STAV PŮD – ACIDIFIKACE PŮD

- Mírně narušené
- Středně narušené
- Silně narušené
- Extrémně narušené



PŮDY RŮZNĚ POŠKOZENÉ ACIDIFIKACÍ
(Hruška, Cienciala: Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd, 2001)

ANTROPOGENNÍ STRESORY – NITRIFIKACE PŮD

Vlivem suché i vlhké depozice dusíku a dalšími vstupy dusíku do půdy (zejména hnojení).

Změny biochemického cyklu dusíku jsou považovány za jeden z nejvýznamnějších globálně rozšířených antropogenních vlivů. Zvýšený vstup pak může vést k podstatným změnám v struktuře lesních společenstev, zejména ***snížení druhové diverzity v důsledku změny kompetičních vztahů.***

Při nadměrném vstupu dusíku do lesních půd dochází k vyplavování NO_3^- indikující překročení retenční kapacity půd. Dosavadní výzkumy přitom ukazují, že ***jehličnaté ekosystémy jsou náchylnější k vyplavování dusíku.*** Dlouhodobě zvýšený vstup dusíku se může projevit zvýšením obsahu dusíku v živé biomase, opadu, a následně i v půdní organické hmotě, zároveň s tím může docházet také k snížení poměru C/N v půdě (HOFMEISTER 2001).

Nejisté jsou dopady depozic dusíku na růst dřevin. ***Může dojít jak k zvýšení produkce, tak k jejímu propadu,*** vše v závislosti jednak na druhu, vitalitě a stáří dřeviny, jednak na dalších podstatných stanovištních poměrech, zejména dostupnosti vody. Na základě existujících srovnávacích studií lze konstatovat, že ***pozitivní dopady na růst lze čekat spíše u listnatých dřevin a naopak negativní u jehličnatých*** (ABER et al. 1995, MAGILL et al. 2000, FENN et al. 1998), a to ***zejména při vysokých vstupech dusíku.*** Situaci komplikuje fakt, že samotné zvýšení vstupu dusíku nemusí být příčinou zjištěného nárůstu produkce, ve stejném období narůstal obsah CO_2 v atmosféře a docházelo ke klimatickým posunům.

Příliš intenzivní růst navíc může mít negativní dopady – například u smrku ztepilého jimi jsou zejména: ***vyšší náchylnost ke zlomům a nižší kvalita dřeva, pozdní vyzrávání letorostů s následným častějším poškozením časnými mrazy a vyšší náchylnost k houbovým patogenům.***

ANTROPOGENNÍ STRESORY – PŘÍZEMNÍ OZÓN

Přízemní ozón vzniká **působení slunečního záření v přítomnosti oxidů dusíku, organických prchavých látek a při nízké relativní vlhkosti.**

Dřevinami je ozón **přijímán výhradně průduchy**. V buňkách indikuje tvorbu etylénu, polyamidů, flavonidů, tj. látek, které jsou součástí obranných mechanismů. Při překročení obranné kapacity dřeviny jsou narušeny transportní cesty a iontová homeostáza buněk. **Snižuje se množství chlorofylu a ztlačí se efektivita fotosyntézy, zejména v přímo osluněné části asimilačních orgánů** (MIKKELSEN et al. 1994, 2000).

Při dlouhodobém působení vyšších koncentrací ozonu dochází k poškození buněčných součástí. V buňkách bývají patrné strukturální změny charakteristické pro senescenci, s postupujícím poškozením dochází k celkovému narušení buněčných struktur. Epidermální buňky kolabují později, než buňky mezofylu. Při odumírání buněk svrchního mezofylu se poškození **viditelně projevuje chlorózami a nekrotickými skvrnami na listech – nejprve většinou v žlutozelené a hnědočervené škále, později bronzové zabarvení, finálně bělavě stříbřité plošky.**

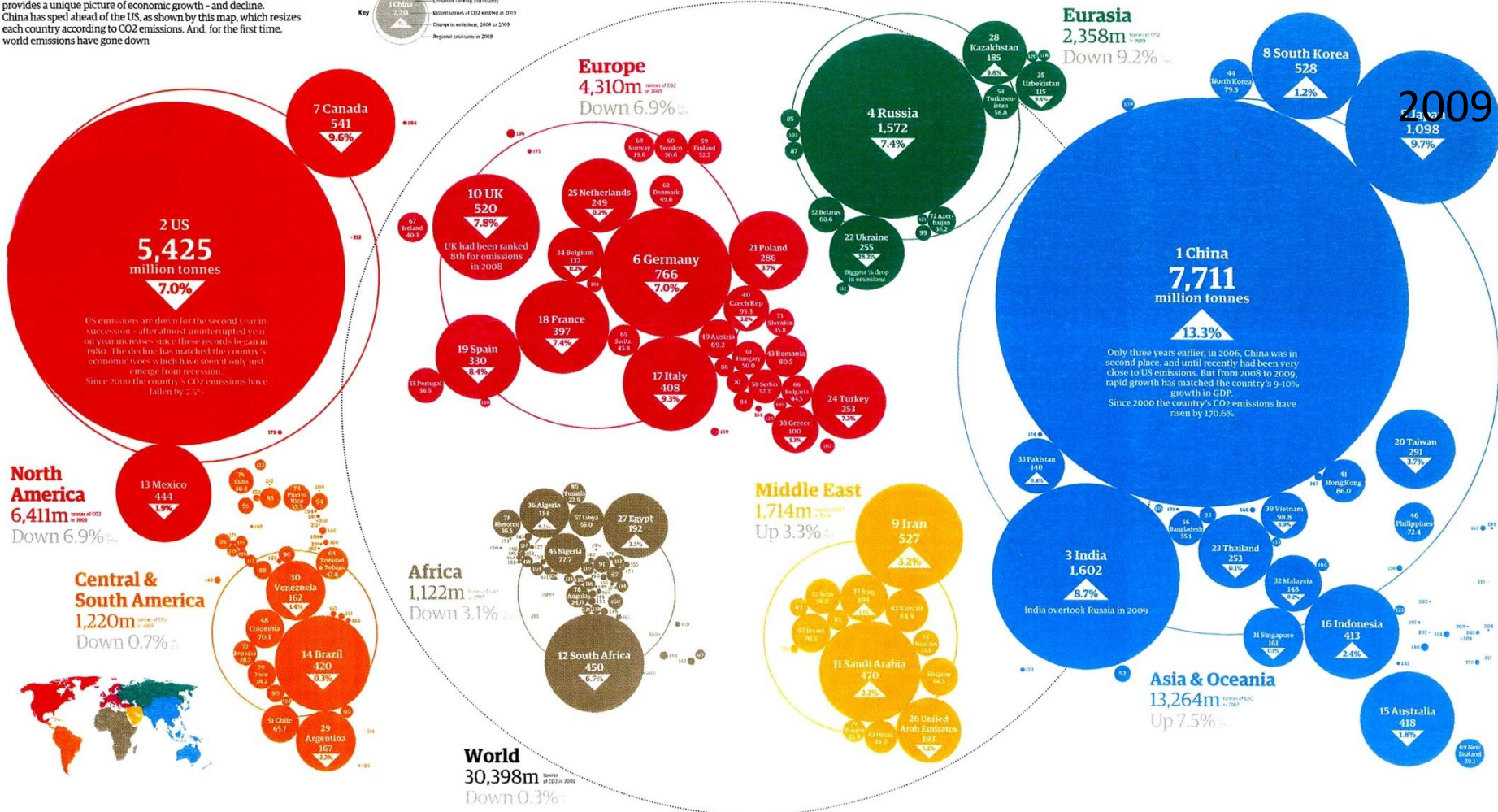
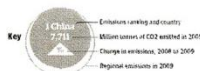
Vznik přízemního ozonu – sluneční záření rozkládá oxid dusičitý (NO_2), vzniká tak oxid dusnatý (NO) a atomární kyslík, který okamžitě reaguje s molekulou kyslíku (O_2) za tvorby ozonu (O_3). Za normálních podmínek ozon oxiduje zpět oxid dusnatý na oxid dusičitý a z ozonu se stává znovu běžný molekulární kyslík. Pokud jsou ale v prostředí prchavé organické látky a jejich radikály, které jsou schopné nahradit ozon při reakci s oxidem dusnatým, vznikne oxid dusičitý a reakce jeho rozkladu účinkem slunečního záření produkuje další molekulu ozonu.



ANTROPOGENNÍ STRESORY – EMISE CO₂

An atlas of pollution: the world in carbon dioxide emissions

Latest data published by the US Energy Information Administration provides a unique picture of economic growth - and decline. China has sped ahead of the US, as shown by this map, which resizes each country according to CO2 emissions. And, for the first time, world emissions have gone down



ANTROPOGENNÍ STRESORY – EMISE CO₂

Antropogenní emise CO₂ a dalších skleníkových plynů a jejich důsledky.

Oxid uhličitý je aktivátorem i substrátem fotosyntézy a má souběžný vliv na procesy fotorespirace, dýchání a na vodivost průduchů (URBAN et al. 2011).

Odezvy dřevin na zvýšenou koncentraci CO₂ jsou závislé na druhu dřeviny, úrovni minerální výživy (zejména dostupnosti dusíku), na dostupnosti vody a světla, na délce expozice zvýšené koncentrace a na dalších působících stresorech. ***Růstová reakce se může pohybovat v amplitudě od žádného efektu na přírůst, přes zvýšený nárůst kořenů i letorostů až po změnu poměru nárůstu letorostů a kořenů ve prospěch jednoho nebo druhého,*** a to vždy v souladu s principem rovnováhy mezi potenciálem dřeviny asimilovat a potenciálem kořenového systému dřeviny dodávat živiny.

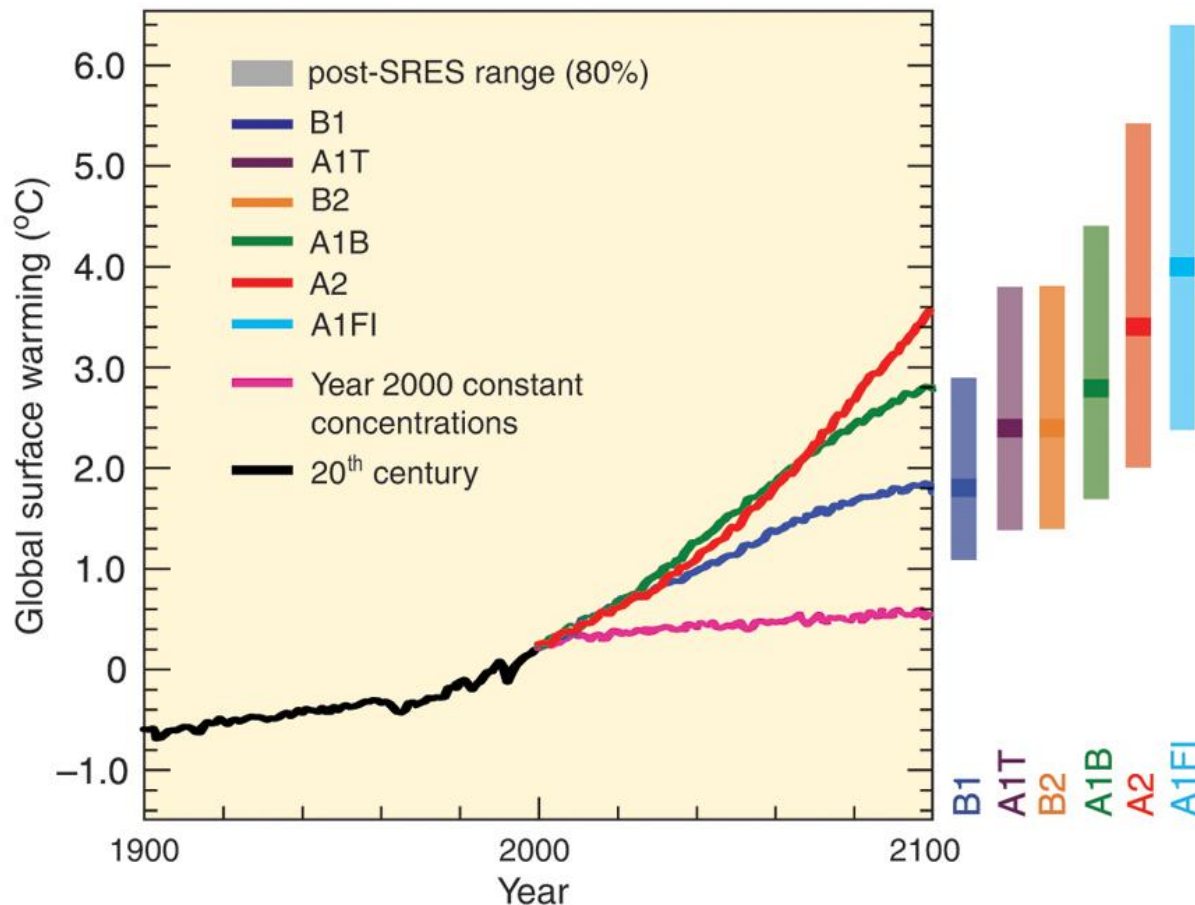
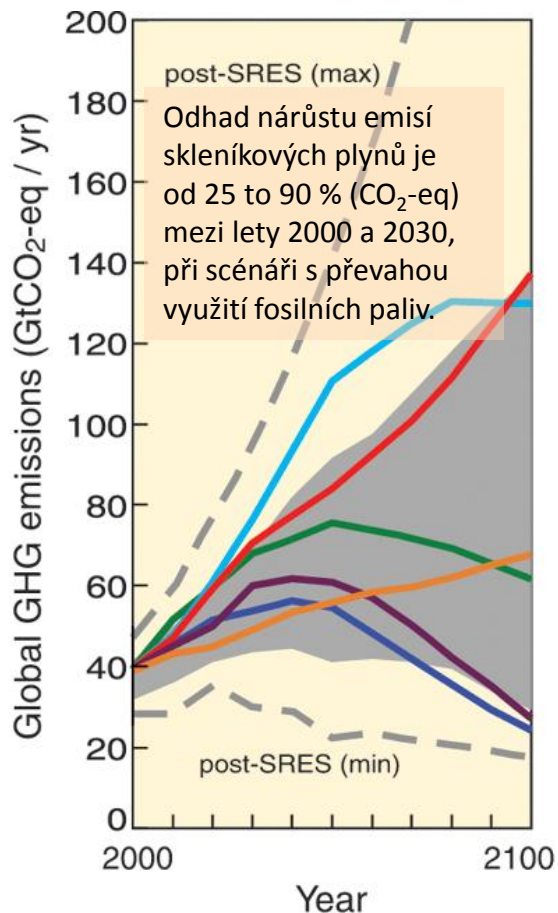
Změny struktury a chování asimilačního aparátu, ke kterým vlivem nárůstu koncentrace CO₂ dochází, označujeme jako ***fotosyntetická aklimace***. Primární reakcí je obvykle zvýšení rychlosti asimilace. Po určité době stimulační efekt zpravidla slábne, přitom u některých rostlin zůstává rychlost asimilace vyšší než původní, u jiných dochází k poklesu rychlosti pod původní hodnoty, tento jev je označován jako ***aklimační deprese fotosyntézy***.

Další reakcí rostliny na zvýšenou koncentraci oxidu uhličitého je ***přivírání průduchů a pokles průduchové vodivosti***. Výsledkem je ***snížený výdej vody*** – snížení negativních účinků vodního stresu. Velká část literárních pramenů dále dokládá nárůst efektivity využití vody.



ANTROPOGENNÍ STRESORY – ZMĚNY KLIMATU

Pro příští dvě dekády se předpokládá nárůst teploty o cca 0,2°C za dekádu.



B1 = konvergentní vývoj (zmenšování rozdílů mezi zeměmi), stejné globální obyvatelstvo;

A1 = svět s velmi rychlým ekonomickým růstem, nárůst populací vrcholí v polovině století, rapidní zavedení nových technologií; varianty:

A1B = rovnováha mezi všemi zdroji, A1T = bez fosilních zdrojů, A1FI = intenzivní využití fosilních zdrojů;

B2 = svět se středně rostoucí populací a ekonomickým růstem, s důrazem na místní řešení ekonomické, sociální a environmentální udržitelnosti;

A2 = velké rozdíly mezi zeměmi, růst obyvatelstva, pomalejší rozvoj technologií.

ANTROPOGENNÍ STRESORY – ZMĚNY KLIMATU

Spektrum možných dopadů očekávaných klimatických změn vyvolaných antropogenními emisemi skleníkových plynů na dřeviny a jejich ekosystémy je velmi široké.

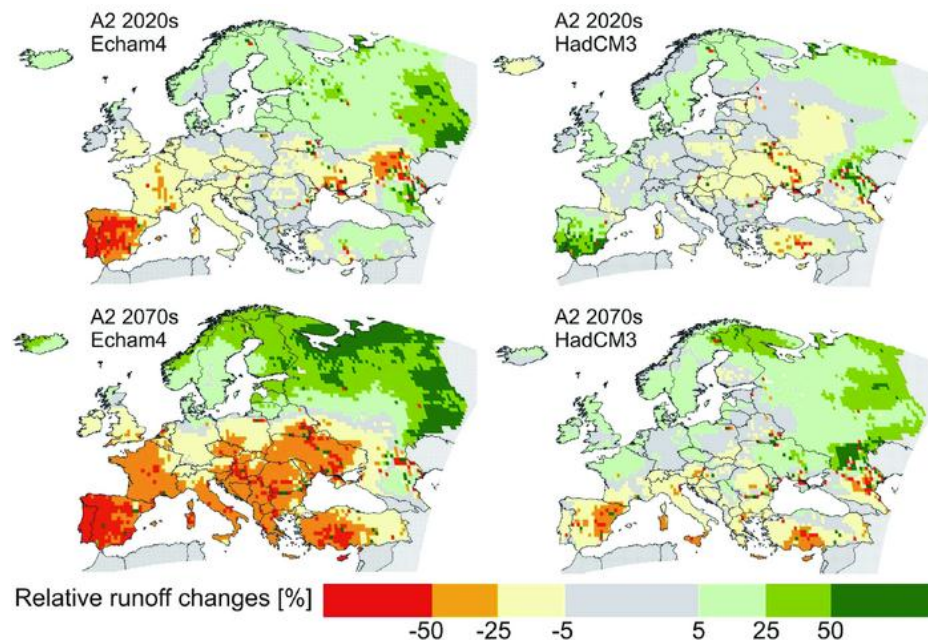
Ve středoevropských podmínkách by nejvýznamnější klimatickou změnou mohly být **znatelné změny v distribuci srážek v průběhu roku a vyšší výskyt klimatických extrémů** obecně.

Epizody s velmi nízkými či nulovými srážkami a na druhé straně prudké přivalové deště, to jsou samozřejmě podmínky výrazně ovlivňující dřeviny – jejich vitalitu, růst i rozšíření. Stejně tak rizikovými či destabilizujícími by mohly být častější výskyty extrémně horkých dní či častější větry s bořivým účinkem.

Klimatické predispozice dřevin mohou vést k **vyššímu ohrožení biotickými škůdci**.

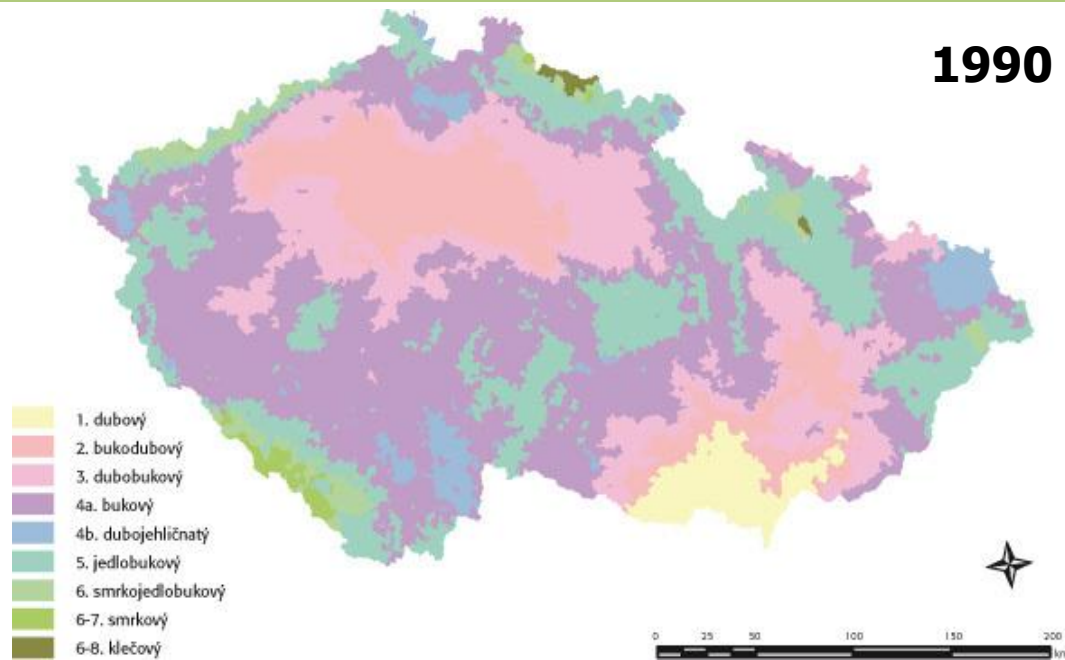
Na území ČR se pravděpodobně budou šířit noví škůdci, u některých ze stávajících škůdců by nárůst průměrné teploty a také délky vegetační sezóny mohl vést k zvýšení jejich nebezpečnosti pro les – např. u polyvoltinních druhů k nárůstu počtu generací.

Řada dalších případných dopadů je nejistá, například změny v humusové vrstvě půd (zrychlení či zpomalení rozkladu) nebo změny životních strategií některých škůdců či změny patogenity a virulence hub.



Změny v průměrném ročním říčním odtoku mezi 1961–1990 v porovnání se dvěma modely vývoje při scénáři A2 (k letem 2020 a 2070) (ALCAMO et al., 2007).

ANTROPOGENNÍ STRESORY – ZMĚNY KLIMATU



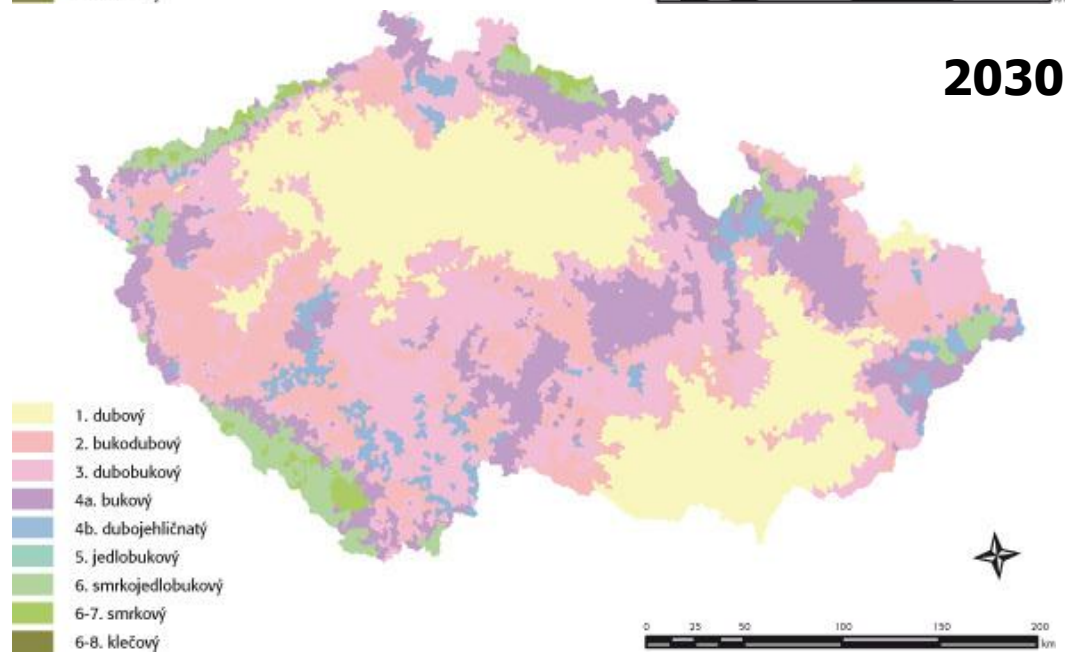
1990

*Očekávaný posun vegetačních stupňů
v ČR mezi lety 1990 a 2030*

(BUČEK, KOPECKÁ, 2009)

Podle modelu by se rozsah území s podmínkami současného 1. dubového a 2. bukodubového stupně mohl vlivem klimatických změn zvýšit ze současných cca 15 % na cca 46 % v roce 2030.

Ve stejném časovém horizontu by došlo k výraznému omezení plochy území s podmínkami vhodnými pro existenci druhů středoevropských listnatých lesů, neboť plocha území s klimatickými charakteristikami odpovídajícími 3. dubobukového, 4. bukového a 5. jedlobukového vegetačního stupně by se snížila ze současných cca 80 % na cca 52 %. **Podíl ploch lesní půdy s klimatickými podmínkami zcela nevhodnými pro pěstování smrku ztepilého (1. a 2. lvs) by se přitom zvýšil z 6,25 % na 31,65 % v roce 2030.**



2030

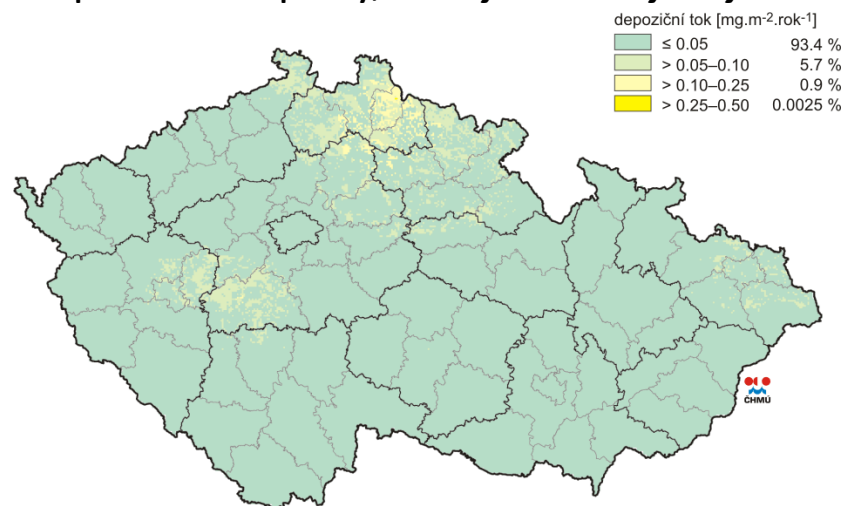
ANTROPOGENNÍ STRESORY – TĚŽKÉ KOVY

Přírozeně mohou existovat zvýšené obsahy těžkých kovů na rudných matečných horninách nebo jako důsledek sopečné činnosti. Výraznější navýšení obsahu však souvisí s činností člověka. **Zdrojem jsou automobilová a letecká doprava, spalování uhlí, metalurgické a chemické výroby, sklářské výroby, některé těžké kovy jako je kadmium se dostávají do půdy také v hnojivech (superfosfáty) či z nátěrových hmot.**

Ionty těžkých kovů jsou **zpravidla lehce přijímány kořeny stromů, méně častý je příjem přes listy**. Při příjmu kořeny vstupují kovy difuzí do apoplastu, kde jsou vázány v buněčných stěnách nebo vstupují do symplastu. Přejít plasmatické membrány je aktivní a využívá specifické přenašeče pro daný iont nebo iont podobného poloměru, přenašeče s nízkou specificitou nebo iontové kanály (MARSCHNER 1995). Mobilita a dostupnost pro rostliny se odvíjejí od formy, v které je kov v půdě – zda je součástí sloučenin, je ve vodném roztoku či je organicky vázán apod. Důležitou roli přitom hraje také pH reakce půdy, **na výrazně kyselých půdách je jejich příjem dřevinami zpravidla vyšší.**

Pro některé druhy rostlin jsou ionty těžkých kovů toxické i v případě, že jsou jen v relativně malých koncentracích. Po příjmu **inaktivují řadu enzymů a redoxních systémů, omezují růst kořenů** (inhibice dělení buněk a prodlužovacího růstu).

V listech **mohou narušovat režim otevírání průduchů, inhibovat fotosyntézu i respiraci.**



Obr. III.18 Pole suché roční depozice kadmia, 2011

ANTROPOGENNÍ STRESORY – NEŽÁDOUCÍ DOPADY PESTICIDŮ

Zejména ***zasazení dřevin herbicidem s arboricidními účinky, nedodržení dávky herbicidu, nedodržení předepsaných postupů aplikace či o nevhodný termín aplikace*** (nevhodné počasí či nevhodná růstová fáze).

K nejcitlivějším našim dřevinám patří spolu s některými listnáči modřín, který reaguje i na poměrně malé koncentrace přípravků. Ovšem i u borovice, která je naopak považována za relativně tolerantní vůči herbicidům, lze občas pozorovat výrazné deformace růstu.

Typickým projevem je metlovitost, proliferace či odumření terminálu. Při nevhodné aplikaci herbicidu v kombinaci s vysokými teplotami vzduchu může dojít k zesílené iritaci pletiv a k následným poškozením.

Povrch půdy i povrchová pletiva kmínku, dosud mikroklimaticky chráněná buňkami, jsou náhle odstíněna a přehřívají se, v kombinaci s primárním působením herbicidu pak situace může vést k poruchám rašení, k žloutnutí asimilačního aparátu, k zmenšení čepelí listů či až k úplné defoliaci.

Poškozen či deformován může být také kořenový krček, kmínek či kořenový systém.



V roce 2001 a 2002 bylo na několika lokalitách v ČR pozorováno poškození kultur a zaškolovaných sazenic smrku, buku a jedle. Společným znakem všech sledovaných případů byla aplikace herbicidu Casaron G.



ANTROPOGENNÍ STRESORY – SOLI

Zasolení u silnic díky ***zimnímu použití posypových solí***, včetně splachů do širšího okolí je široce rozšířeným jevem.

Dalšími významnými antropogenními zdroji zasolení mohou být ***nadměrné dávky hnojiv a chybné závlahové či odvodňovací režimy***.

Kromě přímého toxického působení některých iontů – Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , působí negativně nízký vodní potenciál, který vede k osmotickému stresu, tj. k omezené přístupnosti vody pro rostlinu.

Vlivem vysokého obsahu solí, zejména NaCl, je negativně ovlivněn také příjem živin a v důsledku změn aktivity enzymů také asimilace dusíku. V pletivech se důsledky zasolení projevují zastavením dělivého a prodlužovacího růstu buněk. Objevují se poruchy růstu listů i letorostů a postupné prosychání a odumírání, více boxu níže. Obecně jsou ***více ohroženy mladé dřeviny*** – mají bližší kontakt se solí při jejím rozstříku na komunikaci a menší hloubku prokořenění (nejvíce zasolena je přitom zpravidla svrchní část půdy).

