

## Změny klimatu a jejich možné důsledky pro zemědělství

*Tomáš Litschmann, soudní znalec v meteorologii a klimatologii*

Během několika posledních let se mezi odborníky, ale i mezi ostatní veřejností, stále více a více mluví o dalším fenoménu, který lidstvo vypustilo jako "džina z láhve" a který hrozí obrátit svůj hněv nejen proti svým tvůrcům. Jedná se o tzv. "klimatickou změnu", která se pravděpodobně již začíná projevovat hned v několika navzájem zdánlivě nesouvisejících úrovních současně. Vzhledem k tomu, že některé názory, objevující se v zemědělské veřejnosti, jsou poněkud vytrženy z širšího kontextu, popřípadě zcela jednostranně interpretovány, pokusím se v následujícím článku poukázat na širší dané problematiky a případné souvislosti.

Podle Meteorologického slovníku výkladového a terminologického z r. 1993 je jako klimatická změna označována "změna podnebí probíhající po relativně dlouhou dobu v jednom směru, např. směrem k oteplení nebo ochlazení". V této definici bych kladl hlavní důraz na slůvko "relativně", poněvadž si lze pod ním představit období řádově jednotky až tisíce let. V předloženém příspěvku si budeme pod pojmem "relativně" představovat spíše období několika let až desetiletí. Z hlediska možných dopadů na ekosystémy naší planety je nutno si všimnout především tří základních faktorů:

- 1) změny teplot a srážek v důsledku zvýšeného obsahu skleníkových plynů v atmosféře
- 2) snížení množství stratosférického ozónu a následný vzrůst zejména intenzity UVB záření.
- 3) rostoucí koncentrace přízemního (troposférického) ozónu v důsledku zvýšeného množství UV záření a znečištění ovzduší

### Změny teplot a srážek

V důsledku nepřetržitého nárůstu množství tzv. skleníkových plynů, mezi něž patří zejména oxid uhličitý, vodní pára, ale též i metan (jeho vydatným zdrojem jsou objekty živočišné výroby a hlavně rýžová pole) a některé další plyny (zejména freony), které mají schopnost pohlcovat dlouhovlnné záření zemského povrchu a tím zamezit jeho radiačnímu ochlazení, dochází k prohlubování skleníkového efektu a tím i k ohřívání atmosféry.

Přírodní rovnováha, která se vytvořila odčerpáním oxidu uhličitého z atmosféry a jeho transformací pomocí fotosyntézy zejména do fosilních paliv v geologických dobách a biomasy např. tropických pralesů v nedávné době, je narušována jejich spalováním v industriálním období. Stále rostoucí poptávka po energii nás nutí spalovat více a více těchto paliv, čímž množství oxidu uhličitého v atmosféře neustále narůstá. Předpokládá se, že v roce 2030 by mohla být průměrná roční teplota vzduchu v našich krajinách vyšší oproti předindustriálnímu období o 0,9 až 3,0 °C, přičemž hlavní oteplení by mělo nastat v zimních měsících, v letních by se mělo oteplít o něco méně (viz tab. 1).

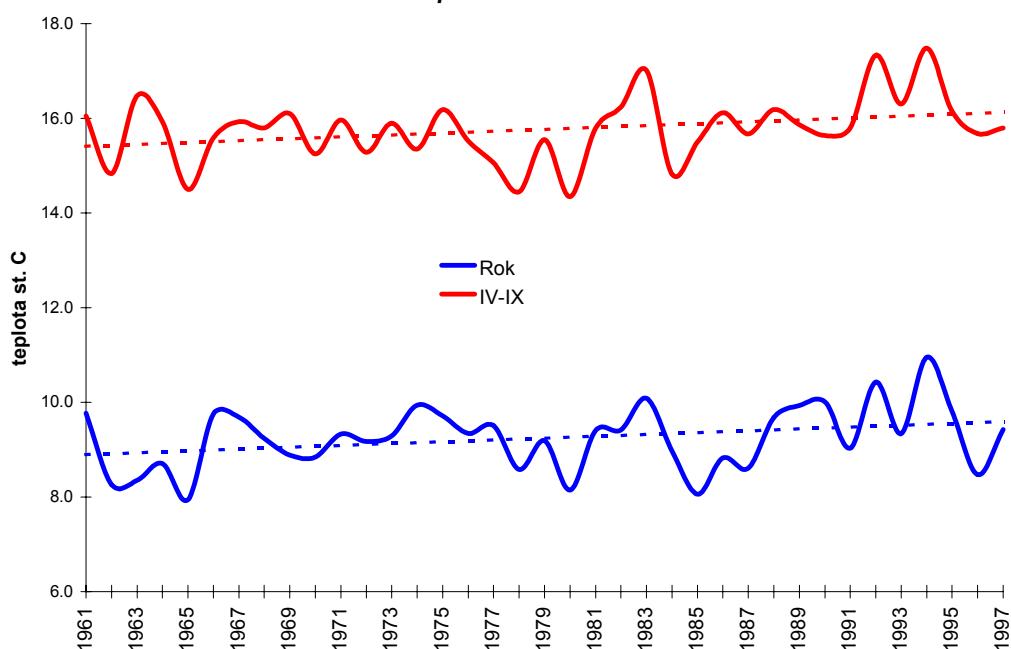
Tab. 1

Předpokládané změny teploty (°C) k roku 2030

<b>období</b>	<b>dolní odhad</b>	<b>horní odhad</b>
rok	0.9	3.0
jaro	0.9	3.4
léto	0.6	1.9
podzim	0.9	2.9
zima	1.1	4.0

Tato čísla jsou výsledkem simulace pomocí tzv. globálních cirkulačních modelů (GCM), modelujících předpokládaný budoucí vývoj klimatu při změně některých vstupních podmínek, nejčastěji koncentrace CO<sub>2</sub>. Některé náznaky ve změnách hodnot meteorologických prvků, související s předpokládanou probíhající klimatickou změnou, je možno zachytit již nyní. Pozorovatelné trendy v našich teplotních řadách si lze zobrazit na obr. 1, na němž jsou znázorněny průměrné roční teploty a teploty za vegetační období (IV-IX) v Lednici na Moravě za období 1961-1994 a jejich proložení lineárním trendem. Při otestování těchto trendů pomocí statistických testů se ukázalo, že na hladině 0,05 je nutno je považovat za významné, čili k oteplování zcela prokazatelně dochází. Za pozornost jistě stojí, že pokud budeme brát do úvahy pouze období do r. 1990, nepodaří se nám prokázat statisticky významný trend, což potvrzují i zpracování některých dalších stanic z území naší republiky. Svědčí to o tom, že proces oteplování v posledních několika letech nabyl na intenzitě.

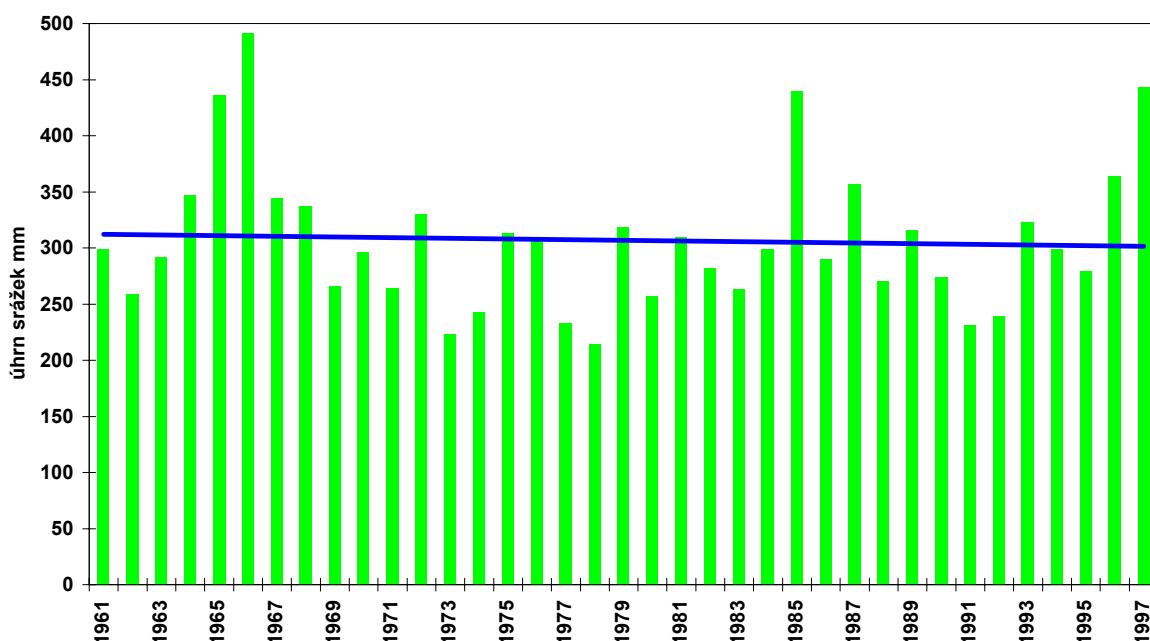
**Průměrné roční teploty a teploty za vegetační období v Lednici od r. 1961 a jejich proložení lineárním trendem**



Takto prezentovaný obrázek svádí k úvahám o potenciálním blahodárném vlivu vyšších teplot na vegetaci, kdy se očekává posun vegetačních pásem do vyšších poloh, pěstování teplotně náročných plodin v nížinách apod. Je nutno si však uvědomit, že se jedná o průměrné teploty a jak je známo ze statistiky, průměr je hodnota vypočítaná ze součtu všech hodnot daného souboru, přičemž hodnota o velikosti průměru se nemusí v tomto souboru vůbec vyskytovat. Výsledky modelů ukazují spíše na to, že kromě nárůstu průměrné teploty dojde i k nárůstu proměnlivosti denních teplot, což se může projevit např. zvýšením četnosti mrazíků v jarním a podzimním období, častějšími vpády chladného vzduchu v létě a s tím spojenými bouřkami doprovázenými krupobitím apod.. Tím se očekávaný pozitivní efekt vyšších teplotních sum do značné míry eliminuje. Náznorným příkladem tohoto druhu povětrnosti může být například počasí v zimě letošního roku na severovýchodě USA, kdy se během několika dnů střídaly sněhové vánice, tuhé mrazy a oblevy spojené s povodněmi. Při pohledu na průměrnou teplotu vypočítanou ze všech těchto povětrnostních situací pak třeba bude možno konstatovat, "že se pohybovala kolem dlouhodobého průměru".

Obdobná je situace i u srážek, kdy na základě výsledků některých globálních cirkulačních modelů by mělo v našich zeměpisných šířkách docházet k mírnému nárůstu množství srážek, ovšem počet dnů se srážkami by se měl snižovat. Logicky to vede k tomu, že srážky budou intenzivnější, převážně bouřkového charakteru, což bude mít neblahé následky jak např. z hlediska eroze půdy, tak i z hlediska nerovnoměrného rozložení zásob půdní vláhy a nevyrovnanosti vodních zdrojů všeobecně. Svědky těchto tendencí můžeme být pravděpodobně již nyní. Pokud si vyneseme do grafu opět např. úhrny srážek v Lednici na Moravě od r. 1961, zjistíme, že jejich množství se v posledních letech nijak výrazně nesnižovalo, jak se všeobecně soudí. Přímkou, znázorňující lineární trend srážek, je téměř rovnoběžná s časovou osou, což znamená zanedbatelný trend. Jeho neprůkaznost potvrzují i příslušné statistické testy.

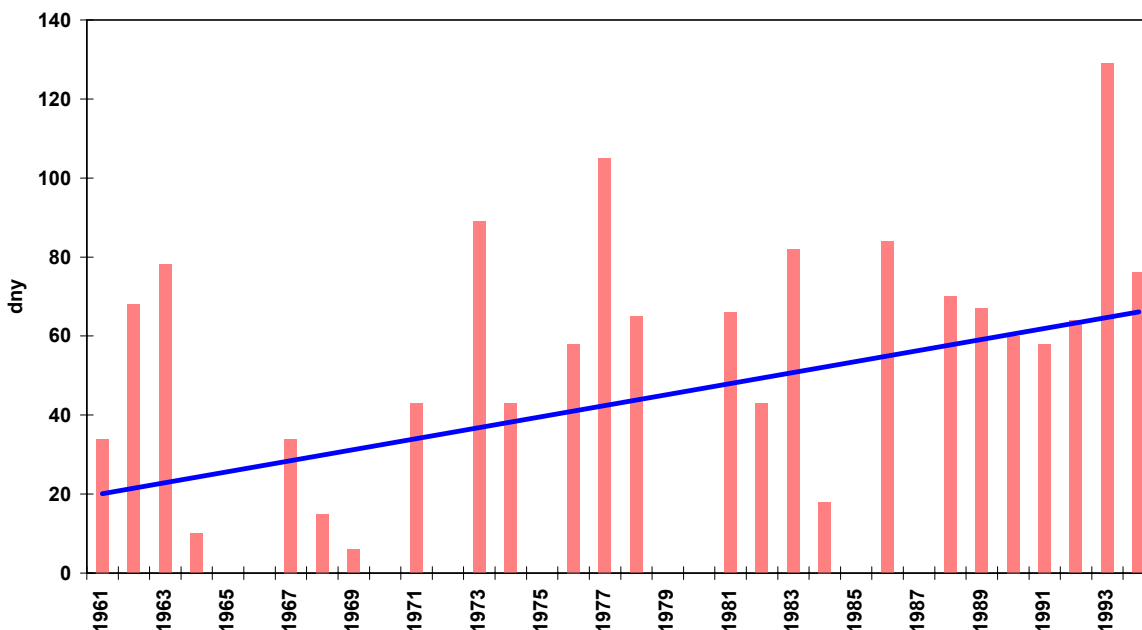
**Úhrn srážek za vegetační období**



Příčina, proč se veřejnost domnívá, že dochází k poklesu úhrnů srážek, tkví podle mého názoru v prohlubování jejich nerovnoměrného rozložení v průběhu roku, což je opět v poměrně dobré shodě s výsledky některých GCM. Pro názorný příklad takového nerovnoměrného rozložení úhrnů srážek nemusíme chodit daleko do minulosti. Stačí si vzpomenout na uplynulý rok 1995, v němž spadlo vysoce nadprůměrné množství srážek, které se koncentrovalo do podprůměrného počtu srážkových dnů. Na obr. 3 jsou znázorněny jednotlivé srážkové úhrny a jejich rozložení ve vegetačním období r. 1995, pro větší názornost je zde zachycen i průběh půdní vlhkosti v broskvoňovém sadu. Z obr. 3 je patrné, že do poloviny července srážkové úhrny postačovaly k zásobování stromů vláhou, potom však následovalo téměř měsíc a půl dlouhé suché období bez výraznějších srážek, v němž půdní vlhkost klesla na minimum. Koncem srpna nastalo náhle výrazné vlhčí období, kdy během několika dnů, v nichž se vyskytly intenzivní srážky, se půdní profil do hloubky 30 cm, v níž jsou umístěny snímače, nasytil. V rozhodující fázi vývoje však stromy nebyly dostatečně zásobeny vláhou, což se projevilo nižší produkcí na nezavlažované parcele. Tento případ může být zároveň názornou ukázkou toho, jak zkreslující může být údaj o měsíčních úhrnech srážek. Přestože v konečném součtu spadlo v srpnu srážek nadnormální množství, z

obrázku je zřejmé, že po většinu měsíce bylo sucho. O tom, že se nejedná o ojedinělý případ, může svědčit obr. 4, na němž jsme se pokusili znázornit počet dnů během vegetace, v nichž hodnoty vláhové bilance dosáhly pouze 20-ti % hodnoty klimatického zajištění. Zde můžeme v posledních letech pozorovat výrazně častější výskyt období s nízkou hodnotou vláhové bilance, než tomu bylo v předcházejících desetiletích. Proložený lineární trend je statisticky významný a potvrzuje výše naznačenou domněnku o prohlubování nerovnoměrnosti v rozložení srážek.

**Počet dnů s klimatickým zajištěním vláhové bilance pod 20 %**



Výskyt období s nízkými hodnotami půdní vlhkosti má nejen negativní vliv na vegetaci, ale vzhledem k tomu, že v denních hodinách nedochází k spotřebování tepla na výpar, teplota vzduchu rychle narůstá, zatímco v ranních hodinách, kdy je snížen přísun tepla z podloží a půda má nízkou tepelnou kapacitu, prohlubují se minima vzduchu. Z tohoto pohledu nedostatek půdní vláhy přispívá ke zvýšení rozkolísanosti denních teplot, která je typická zejména pro pouštní oblasti.

#### Úbytek stratosférického ozónu a nárůst ultrafialového záření

Na téma úbytku stratosférického ozónu již bylo popsáno mnoho papíru a pokud naše oči nepostihne šedý zákal, budeme si moci o tomto problému pravděpodobně stále častěji číst i v budoucnosti. Prakticky každý den se můžeme seznámit s aktuální hodnotou stavu ozónové vrstvy nad naším územím, přičemž dnů, kdy je jeho množství nadnormální, lze v posledních letech napočítat jen nepatrně. Veřejnost si již na záporné hodnoty zvykla jako na něco zcela samozřejmého. Pravděpodobně je to způsobeno i tím, že problematika zvyšování intenzity UVB záření je ve veřejných sdělovacích prostředcích prezentována příliš antropocentricky, takže většina lidí se domnívá, že tmavé brýle a opalovací krém s vysokým UV faktorem nás ochrání před následky tohoto fenoménu. Skutečnost je však jako obvykle poněkud složitější a je nutno si uvědomit, že tak jako na člověka, působí UVB záření i na okolní přírodu, která se ovšem na rozdíl od člověka nemůže tak účinně bránit.

Vysoce energetické UVB záření poškozuje buňky, v nichž jsou nejcitlivějšími místy nosiče dědičných informací, molekuly kyseliny DNA. Jejich poškození má za následek vznik nekontrolovatelných mutací, čehož je důsledkem u lidí vznik rakoviny ozářených částí (kůže), popř. vznik šedého zákalu.

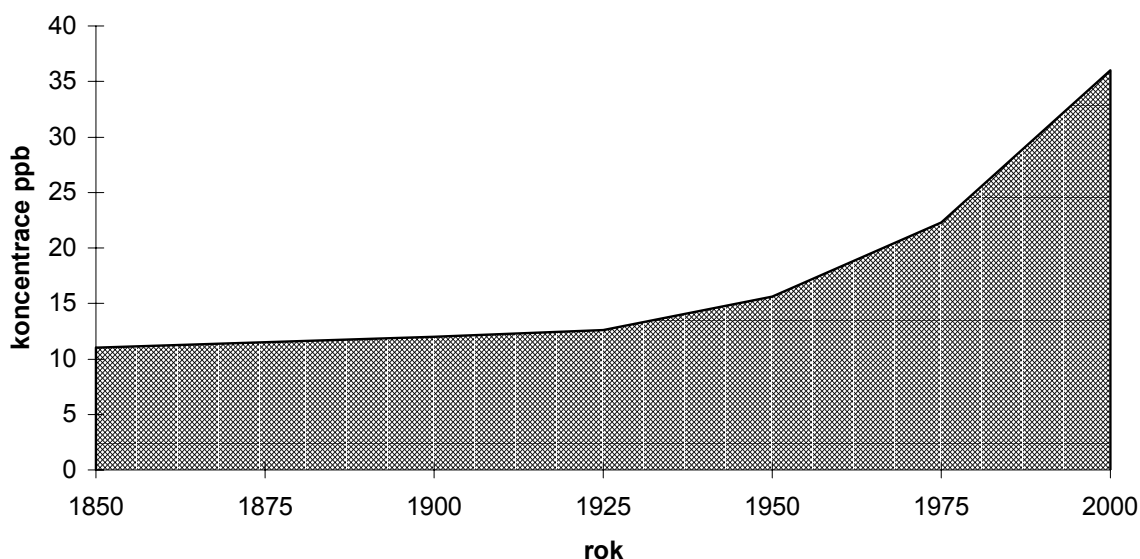
Citlivost rostlinstva k UVB záření je velmi proměnlivá, často závisí na druhu rostliny a stupni jejího šlechtění. Některé rostliny mohou být poškozeny přímo, anebo může být poškozena jejich reprodukční schopnost už při zmenšení ozónové vrstvy o 15 - 20 %, trvá-li tato změna delší dobu. V jiných případech není přímo ovlivňován růst anebo rozmnožování, ale mění se vzhled a stavba rostlin takovým způsobem, že to handicapuje rostlinu v soutěži o místo s jinými rostlinami. Podle literárních pramenů lze očekávat následující morfoanatomické změny při zvýšení intenzity UVB záření: zmenšení listové plochy, zvýšení viditelného poškození listů, změna složení anebo rozmístění asimilátů, pokles výnosů.

UVB záření proniká i pod mořskou hladinu, kde ovlivňuje genetické a fyziologické pochody fytoplanktonu. Byly získány experimentální poznatky, ukazující, že UVB záření ovlivňuje strukturu společenství fytoplanktonu, jeho fotochemickou aktivitu, vytváření organické hmoty. Pro nás je důležité si uvědomit, že libovolná změna v množství biomasy anebo v produkčních schopnostech planktonu v důsledku zvýšení UVB záření vede mj. ke změně biochemického cyklu uhlíku v oceánu a k narušení rovnováhy ve výměně CO<sub>2</sub> mezi oceánem a atmosférou. Jinak řečeno: méně fytoplanktonu v oceánech odčerpá méně CO<sub>2</sub> z atmosféry, což bude mít za následek jeho další zvýšení (důsledky viz odstavec 1)

#### Zvyšování koncentrací troposférického (přízemního) ozónu

Jestliže ve vyšších vrstvách atmosféry (stratosféře) považujeme ozón za prospěšnou sloučeninu, je to jednak tím, že pohlcuje UV záření a zároveň i tím, že jej nemusíme dýchat. Tyto tříatomární molekuly kyslíku jsou totiž poměrně toxické a vysoce reaktivní, takže pokud se vyskytují v našem dosahu a v dosahu našich rostlin, dovedou způsobit nemalé potíže. V přízemní vrstvě atmosféry koncentrace ozónu od počátku industrializace vytrvale a přibližně exponenciálně stoupají (viz. obr 5) v důsledku nárůstu koncentrací těkavých uhlovodíků, oxidů dusíku, oxidu uhelnatého (jejichž zdrojem jsou energetika, automobilová doprava a průmysl) a v důsledku zvýšení intenzity UV záření (opět krásný příklad, jak některé věci v přírodě spolu souvisí).

### Průměrné koncentrace troposférického ozónu nad Evropou od roku 1850



Z tohoto obrázku je zřejmé, že od počátku našeho století se koncentrace přízemního ozónu zvýšily přibližně trojnásobně. Česká i Slovenská republika se nacházejí v části Evropy s nejvyššími koncentracemi ozónu, průměrné koncentrace v denních hodinách (8 - 16 hod.) během vegetačního období překračují na většině území ČR a SR doporučenou kritickou úroveň 25 ppb. Každoročně se během letního období v USA a v Evropě vyskytují epizody vysokých koncentrací ozónu (fotochemický smog) s hodnotami nad 100 ppb. Oblasti s vysokými koncentracemi ozónu mohou dosáhnout velkých horizontálních rozměrů, např. pokrývat celou Evropu.

V přízemní vrstvě atmosféry je ozón jedním z nejvýznamnějších faktorů ekologického stresu. Ve vyšších koncentracích poškozují lidský organismus a vegetaci. Zároveň degraduje gumu, umělé hmoty, barvy a nátěry. Škodlivé účinky ozónu souvisí s jeho oxidačními vlastnostmi.

Pro vegetaci představuje ozón v současné době nejvýznamnější škodlivinu. Zvýšené koncentrace ozónu se vyskytují zejména v letním půlroce, tedy během vegetačního období. Pozoruhodné je, že úrovně koncentrací ve venkovském prostředí velmi často překračují hodnoty naměřené ve městech, kde se uplatňuje redukční charakter městské atmosféry pro O<sub>3</sub>. Idylické tvrzení o "zdravém venkovském vzduchu" tak dostává vážnou trhlinu a zejména zvýšená námaha na tomto "povětrí" může být pro naše plíce škodlivá.

Ozón zasahuje rostliny přes otevřené průduchy listů. V závislosti na druhu rostliny, koncentrace ozónu a doby expozice může ozón vyvolat celou řadu příznaků, od skvrn na listech různé barvy až po zpomalení růstu. U citlivých plodin (obiloviny, tabák, vinná réva) to vede k významnému snížení výnosů. Výsledky některých pokusů ukazují, že při déletrvajících extrémně vysokých koncentracích ozónu mohou být výnosy sóje sníženy o 40 %, u pšenice však až o 80 %. Pro území USA se udává, že průměrné ztráty na výnosech vlivem působení O<sub>3</sub> dosahují 14 %, avšak přibližně na 15 % zemědělského území jsou tyto ztráty větší než 20 %.

Jiné výzkumy ukazují, že v kombinaci s jinými stresujícími faktory, jako je zejména nedostatek vláhy v půdě, může být účinek působení ozónu ještě umocněn. Tato skutečnost je pěknou ukázkou synergického působení jednotlivých složek atmosféry, podléhajících klimatické změně.

## Závěr

V předloženém článku jsem se pokusil ukázat na poměrně komplikované procesy, související s probíhající klimatickou změnou. Jejich výčet pochopitelně není úplný, snahou bylo pouze upozornit pěstitele, že v blízké budoucnosti budou muset čelit jevům, s nimiž se doposud neselekali a které mohou mít závažné dopady na velikost výnosů. Je nutno počítat zejména se zvýšením četnosti přívalových dešťů, což mj. povede ke zvýšení vodní eroze půdy, výskyt suchých period bude příznivý pro zintenzívnění větrné eroze. Stejně tak některé příznaky poškození orgánů rostlin mohou být způsobeny spíše popsány jevy souvisejícími se zvýšeným množstvím UVB záření a troposférického ozónu, než obvyklými chorobami a škůdci, popř. nedostatky ve výživě.

Měli bychom si uvědomit, že v případě klimatické změny se již nejedná pravděpodobně o akademickou debatu několika odborníků, ale o skutečnost, která již začala probíhat a jejíž následky lze jen stěží přesně odhadnout. Za touto skutečností stojí náš poměrně kořistnický přístup k přírodě a převládající konzumní způsob života.