

Změna klimatu a její dopady pro polní produkci se zaměřením na cukrovou řepu v České republice

CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACT ON FIELD PRODUCTION WITH FOCUS ON SUGAR BEET IN THE CZECH REPUBLIC

Zdeněk Žalud^{1,2}, Petr Hlavinka^{1,2}, Pavel Růžek^{2,3}, Karel Klem^{1,2}, Pavel Zahradníček^{2,4}, Petr Štěpánek^{2,4},
Martin Možný⁴, Miroslav Trnka^{1,2}

¹ Mendelova univerzita v Brně, ² Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.

³ Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., ⁴ Český hydrometeorologický ústav

Podstata změny klimatu

Klima (tj. podnebí) se dá pro dané místo charakterizovat jako režim meteorologických prvků (např. teploty, srážek apod.) z dlouhodobého pohledu. Klima se na naší planetě měnilo vždy a příčinou byly např. sluneční cykly, změny oběžné dráhy Země či pohyby tektonických desek. Tyto změny se však odehrávaly v řádu tisíců až milionů let. Vzhledem k současné mnohem rychlejší změně je za příčinu považováno zvýšení koncentrace některých plynů v atmosféře a zesílení skleníkového efektu. Pro jeho pochopení je nutné si uvědomit, že naše planeta si vyměňuje s vesmírem energii ve formě záření. Od hlavního zdroje, což je naše „horké“ Slunce, přichází energie (tzv. krátkovlnné záření) a „studená“ Země vyzařuje do vesmíru vlastní energii (tzv. dlouhovlnné záření). Bilance (příjem a výdej) obou toků za rok musí být vyrovnaná, neboť v opačném případě by se planeta zahřívala (bilance je kladná, přijme-li planeta více, než vydá) či ochlazovala (bilance je záporná, vydá-li planeta více, než přijme). Průměrná teplota naší planety (tzv. globální teplota počítaná jako průměr z celosvětové měřicí sítě) závisí na této bilanci je v současnosti těsně pod 15 °C. Na této hodnotě se výrazně podílí vlastnost některých v atmosféře obsažených

plynů (tzv. radiálně aktivní plyny označované také jako plyny skleníkové). Ty konstantně propouští sluneční krátkovlnné záření, to je následně pohlceno zemským povrchem a ten vysílá vzhledem ke své teplotě (Wienův zákon posunu: čím je těleso teplejší, tím kratší vlnové délky vyzařuje) záření dlouhovlnné. Toto dlouhovlnné záření je částečně pohlcováno skleníkovými plyny a zpětně vyzařováno k zemskému povrchu. A čím je v atmosféře více skleníkových plynů, tím více pohlcují zemskou dlouhovlnnou radiaci, a tak energie neodchází mimo planetu, ale v atmosféře zůstává. Pokud by plyny obsažené v atmosféře neměly možnost zachycovat dlouhovlnnou zemskou radiaci, byla by teplota na naší planetě výrazně nižší (–18 °C). Přirozená přítomnost tohoto procesu, který je označován jako skleníkový jev, je tedy pro teplotu umožňující výskyt života velmi pozitivní. Současné oteplení (obr. 1.) je důsledkem porušení vyrovnané radiční bilance systému Země–vesmír způsobené zesílením tohoto tzv. skleníkového jevu prostřednictvím antropogenně zvýšené koncentrace skleníkových plynů (hlavní jsou oxid uhličitý, methan, chlorfluorokarbyny zvané freony a oxid dusný). Ale významným skleníkovým plynem je rovněž vodní pára. Ta však má uzavřený cyklus a její koncentrace není přímo člověkem ovlivněna.

Obr. 1. Změna klimatu dopadá i na pěstitele cukrové řepy



Vývoj klimatu

Historický vývoj

Na našem území probíhá měření teplotních charakteristik od 18. století v pražském Klementinu (teplota od roku 1775 a srážky od roku 1805). Z těchto a dalších naměřených či rekonstruovaných dat lze vyvodit základní trendy pro území Česka (obr. 2.). Co se týče průměrných teplot vzduchu, tak po nárůstu průměrné teploty v druhé polovině 18. století nastal mírný pokles průměrných teplot, který se začal obracet k postupnému nárůstu od konce 19. století. Ten probíhá doposud, kdy při krátkém zpomalení v polovině 20. století se nárůst od osmdesátých let významně zrychlil a akcelerace nárůstu přichází v posledních letech, které jsou nejteplejší od doby, co máme k dispozici teploměry. Průměrná roční teplota vzduchu se v období 1961–2018 zvyšovala o 0,34 °C za 10 let (v letním období zvýšení činilo 0,44 °C, v jarním a zimním období 0,37 °C a v podzimním období 0,18 °C). V posledních letech byl nárůst teploty vzduchu intenzivnější.

Z obr. 2. je zřejmá kumulace teplotních let v 21. století s tím, že nejteplejším rokem byl rok 2018 s průměrnou roční teplotou 9,6 °C, rok 2019 měl 9,5 °C. Nejchladnějším rokem byl 1829 s teplotou 4,6 °C. Průměrné hodnoty jsou sice např. pro trvání fenofází významné, ale z pohledu daného ročníku je rozhodující průběh a hodnoty extrémní. Ty velmi dobře vystihuje např. počet tropických dnů, které mají výrazný dopad na vegetaci, ale také na zvířecí či lidský organismus. V období 2021–2040 můžeme očekávat nárůst počtu tropických dnů o čtvrtinu a do poloviny století dokonce dosažení jejich dvojnásobku oproti dlouhodobému průměru 1981–2010.

Co se týče srážek (obr. 3.), které jsou od roku 1804 měřeny v Klementinu a později na více stanicích, tak v uvedeném období nemají patrný výrazný dlouhodobý trend, pouze od padesátých let 20. století je patrný velmi mírný trend poklesu ročních srážek. Pro srážky je ale charakteristická výrazná meziroční proměnlivost srážkových úhrnů, kdy nejnižší hodnoty jsou pod 500 mm a nejvyšší nad 800 mm.

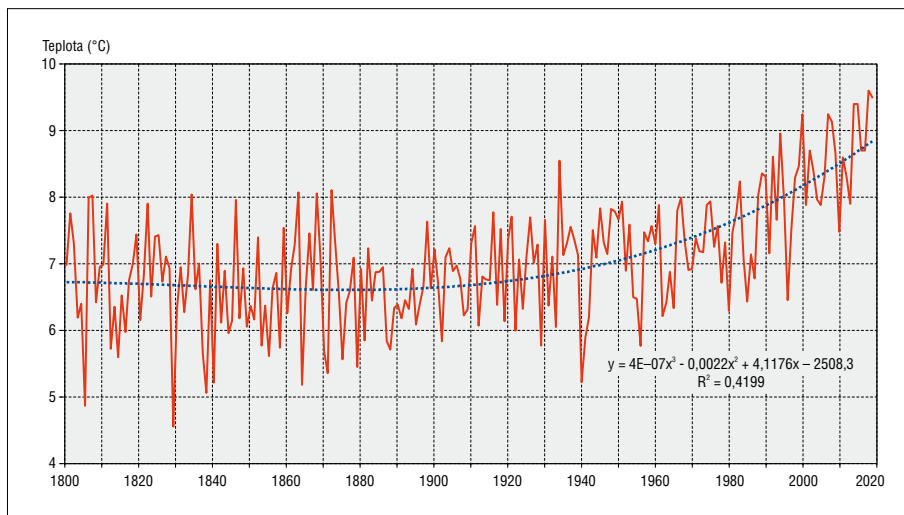
Průběh průměrných ročních úhrnů srážek na území Česka v období 1804–2018 vykazuje velmi vysokou meziroční proměnlivost, ale statisticky se významně nemění. Průměrné roční srážkové úhrny se v posledním padesátiletí nevýrazně zvýšily (o méně než 2 % za desetiletí). Průměrný roční úhrn srážek na našem území byl 662 mm, srážkově nejbohatším z hlediska celého území Česka byl rok 1939 (846 mm), srážkově nejchudším 1842 (444 mm). Dochází však ke změně charakteru srážek směrem ke krátkodobějším intenzivnějším srážkám a delším epizodám bez významného deště. Zimy jsou vzhledem k nárůstu teplot mírnější s menším množstvím sněhové pokrývky.

Vývoj klimatu v 21. století

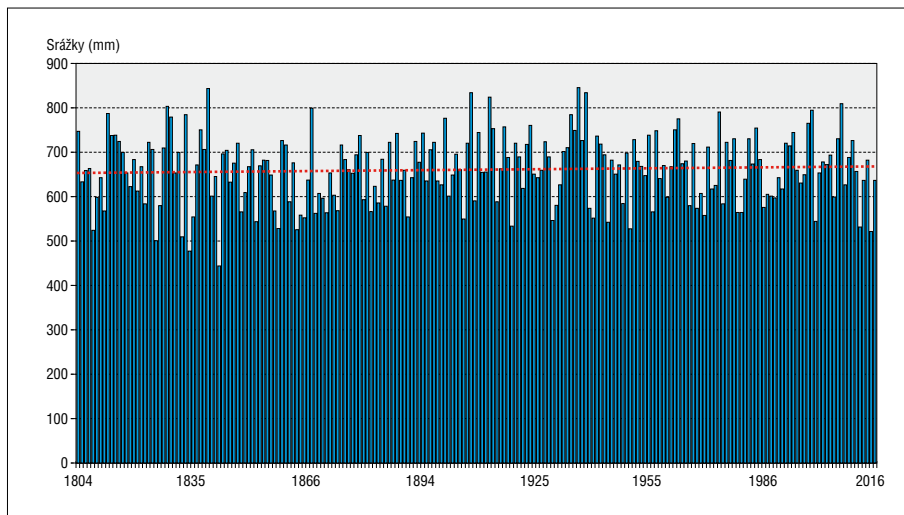
Základem pro odpověď na otázku jak se bude dále vyvíjet klima je zpracování výhledu vývoje klimatu pomocí tzv. scénářů změny klimatu. Tedy pro určité budoucí období např. kolem roku 2030, 2050, 2080 popsat změnu teploty, srážek i dalších meteorologických prvků a z nich odvodit vývoj počtu a intenzity suchých period. K popisu vývoje klimatu slouží takzvané Globální cirkulační modely (GCM), což jsou produkty světových klimatických center, na jejichž základě se klimatické scénáře vytváří.

Obecně platí, že současné klimatické scénáře pro Evropu vykazují pro střednědobý výhled (2030) nárůst teploty pro celé území, stejně jako pro všechna roční období. V letním období se nárůst teploty projevuje především na jihu Evropy (zejména jižní poloostrovy), zatímco na severu směrem ke Skandinávii

Obr. 2. Průběh průměrných ročních teplot vzduchu v období 1800–2019, průměr pro české území, spojnicí trendu vyjadřuje polynomiální rovnice 3. řádu (zprac. z dat ČHMÚ)



Obr. 3. Průběh ročních úhrnů srážek v období 1804–2019, průměr pro české území, trend je vyjádřen lineární křivkou (zpracováno z dat ČHMÚ)



se dají očekávat spíše teplejší zimy. V oblasti střední Evropy a České republiky lze pozorovat nárůst jarních a letních teplot více než zimních a podzimních. Naše území se do poloviny století oteplí v průměru o 2 °C oproti dlouhodobému průměru 1981–2010. Z pohledu srážek je situace obdobná z pohledu změny severojižního gradientu, kdy na severu Evropy je očekáváno spíše více srážek (od 60. rovnoběžky severněji) a na jihu (od 40. rovnoběžky jižněji) méně. Střední Evropa leží v pásmu střídání obou vlivů, což bude přinášet velmi srážkově nevyrovnaná období, i když roční srážkové úhrny budou narůstat jen mírně až stagnovat. Významnou skutečností vycházející z cirkulačních modelů je fakt, že počet dnů s významnými srážkami (1 mm a více) se příliš nezmění. Ale počet dní se srážkami alespoň 10 mm, resp. 20 mm v budoucnu poroste. Od poloviny století potom modely ukazují statisticky významný nárůst dnů s extrémními srážkami nad 50 mm, tedy nárůst rizika povrchových odtoků, eroze a povodní.

V průběhu roku se v zimních měsících předpokládá nárůst srážek (podle konkrétní modelové simulace), ale ty budou většinou dešťové (nižší a střední polohy). V létě naopak modely

Obr. 4. Nevyrovnaně vzešlý porost cukrové řepy v důsledku nepříznivého počasí na jaře v době vzcházení rostlin



očekávají pokles srážek. V kombinaci s vyšší teplotou to povede mj. ke zvyšování výparu, a tedy značnému riziku častějších a delších epizod sucha. Postižen bude zvláště jihovýchod Česka s důsledky zásadního zhoršení zemědělské produkce.

Dopady změny klimatu na polní produkci

Změna klimatických podmínek v zemědělství má a bude mít řadu dopadů především přímo či nepřímo spojených a iniciovaných se zvyšující teplotou. Především je to změna stanovištních podmínek ve smyslu změny podmínek pro pěstování plodin, jedná se např. o charakter zimy, délku vegetačního období nebo změnu teplotních sum či rozložení srážek. Druhá skupina dopadů souvisí se zvýšeným výskytem hydrometeorologických extrémů, z nichž dominuje vyšší intenzita a častější frekvence suchých epizod spojená s vlnami veder a bezesrážkovými epizodami. Třetí velmi významnou skupinou rizik spojených se změnou klimatu je infekční tlak chorob a výskyt škůdců ať již domácích či invazivních, kdy jde především o jejich posun do vyšších nadmořských výšek či objevení se více generací. Všechny projevy se budou lišit podle ročních období.

Zimní období

V zimních měsících pozorujeme a nadále lze očekávat, zvláště ve středních a nižších polohách, úbytek trvání sněhové pokrývky, což zásadně ovlivňuje především přezimování polních plodin, které jsou v případě výskytu holomrazů (došlo k poklesu teploty vzduchu pod bod mrazu a současně absenteje sněhová pokrývky) postiženy vymrzáním, neboť nejsou chráněny izolačními vlastnostmi sněhové pokrývky. I když se v zimě očekává pokles četnosti výskytu ledových i arktických dnů, nelze jejich výskyt vyloučit. V této souvislosti je nutné podotknout, že již 5 cm sněhu výrazně snižuje působení nízkých teplot a 20 cm vysoká sněhová pokrývky prakticky eliminuje účinky i silných mrazů.

Především u pšenice ozimé a řepky ozimé je možné pozorovat regionální postižení, kdy buď voda v rostlině zamrzne, zvětší svůj objem a roztrhá buněčná pletiva či zamrzne voda v půdě, následně dojde k jejímu pohybu a poškození kořenového systému či při častějším střídání vyšších a nižších teplot k vytažování rostlin. Díky vyšším teplotám padá více srážek ve formě kapalné než pevné, což způsobuje nižší akumulaci vody ve sněhové pokrývce a nedostatek vody, která se z ní potenciálně může uvolnit na začátku vegetačního období. Klesají a budou klesat průtoky našich řek, snižuje se transport vody do níže položených území, kde z ní díky zvyšování hladiny podzemní vody těží zemědělství i ovocnářství. Všechny tyto důsledky lze v posledních letech pozorovat jak v zemědělsky intenzivních oblastech, např. v Polabí či na jižní a střední Moravě. Zima bez sněhu či s kratší dobou trvání a samotnou nižší výškou sněhové pokrývky se tak stává prvním předpokladem jarního sucha.

Vyšší teploty v zimě jsou spojeny s přezimováním (diapauzou) škůdců, kdy některé typy jsou napadeny predátory a prakticky se v daném roce neobjeví. Existuje poměrně rozšířená představa, že teplé zimy podporují rozvoj škůdců. Ve střední Evropě je to až na výjimečné případy právě naopak. Převážná většina středoevropských škůdců přečkává zimu ve stadiu diapauzy, kterou musí absolvovat při dostatečně nízké teplotě, často pod bodem mrazu, a po dostatečně dlouhou dobu. Pro jejich zdámy vývoj je proto nevhodnější dlouhá mrazivá zima se sněhovou pokrývkou a mírnými výkyvy teplot. Teplá zima bez mrazů nebo delší období s teplotami nad 10 °C vedou k vysoké mortalitě různých vývojových stadií škůdců. Ta není způsobena jen nevhodnou teplotou pro průběh diapauzy, ale také např. vysokými ztrátami energie, rozvojem patogenů škůdců a větší dostupností predátorům. Zimním oteplením budou pozitivně ovlivněny nemnohé druhy, pro které není zimní klidové období nezbytnou součástí vývoje, při ochlazení pouze snižují aktivitu. Bezmrázové zimy mohou pozitivně ovlivnit i některé migrující druhy, které k nám dosud většinou pronikají jen sezonně.

Mírnější zimy i snížená půdní vlhkost nemá významnější vliv na přežití půdních fytopatogenních organismů, které tvoří speciální struktury nebo silnostěnné spory, pomocí nichž přečkávají období s nepříznivými podmínkami po dlouhé období i několika let v půdě (sklerocia, chlamydospory a oospory). Mezi ně patří některé druhy zařazené do rodů např. *Botrytis*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia* aj. U druhů přezimujících na hostitelských rostlinách nebo jejich zbytcích a tvořících primární inokulum na napadených rostlinných pletivech (rody *Alternaria*, *Cercospora*, *Colletotrichum*, *Erysiphe* aj.) se projevuje vyšší škodlivost vlivem lepších podmínek přezimování. Výskyt mírných zim povede k rozšíření přezimujících druhů plevelů v ozimých plodinách, např. ovsa hluchého (*Avena fatua*). Vyšší konkurenční schopnost v zimním období je novým prvkem, který může výrazně ovlivnit kvalitu přezimování ozimých plodin a jejich růst v jarním období.

Jarní období

Jedná se o roční období, které je z pohledu zemědělství nejvýznamnější, realizuje se v něm nejvíce agrotechnických zásahů a současně probíhá intenzivní růst a vývoj rostlin (obr. 4.). V jarním období pozorujeme zvyšování teploty, což má za následek dřívější nástup velkého (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 5 °C) ale i hlavního (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 10 °C) vegetačního období. Velké vegetační období

bude v nižších polohách začínat již počátkem března a končit v poslední dekádě října, viz např. ŽALUD ET AL. (1) či POTOP ET AL. (2). Vyšší teploty vzduchu dovolí dřívější setí a následně ovlivní růst a především vývoj plodin tak, že budeme stále častěji pozorovat dřívější vzházení a nástupy dalších fenofází včetně fyziologické zralosti. Oproti současnému stavu by období zrání kolem roku 2050 mohlo být uspíšeno v nižších polohách (do 400 m n. m.) o 10–14 dnů, ve vyšších o 15–20 dnů. Zrychluje se dosažení teplotních sum jako podmínka dosažení jednotlivých fenologických fází. Na rozdíl od jiných sektorů (např. stavebnictví) není dřívější zahájení vegetačních období vždy pozitivní. Časně se vyvíjející vegetace především v oblasti vinohradnictví a ovocnářství je vystavena vyššímu riziku vpádů studeného vzduchu (advекční mrazíky) nebo radiačnímu ochlazení. Na základě ubývající vlhkosti půdy, která je způsobena jednak menší zásobou vody ve sněhové pokrývce, ale také právě dřívější aktivitou vegetace a vyšší potřebou vláhy na transpiraci, dochází a bude docházet k častějšímu výskytu jarního sucha. Sucho v období jara bude podpořeno i přímým vzestupem teploty, kdy dochází jednak ke zvýšení neproduktivního výparu (evaporace), ale i k zesílení vzestupných konvekčních proudů a změně rozložení srážek, a to ve smyslu ubývání jak srážkových dnů, tak i dnů s nižšími srážkovými úhrny v tomto pro rostliny klíčovém období. Právě časný začátek jara v kombinaci se suchem povede k pěstování suchovzdorných odrůd či přímo plodin (čirok, proso), stejně jako k častější výsadbě teplomilných odrůd vinné révy, zvláště pak odrůd modrých, a to i přes riziko jarních mrazíků.

V kontextu přezimování a následné jarní aktivity chorob a škůdců je nutné zmínit jarní kumulaci abiotických a biotických stresů. Je zřejmé, že suchem či mrazíky oslabené a poškozené porosty jsou následně snazším cílem veškerých patogenů. Změna (urychlení) fenologie u plodin některé škůdce utlumuje, naopak jiní nabývají na významu. Příkladem může být krytosonec čtyřzubý (*Ceutorhynchus pallidactylus*), na kterého je nutné v současné době v řadě netradičních lokalit u řepky používat dvě aplikace na místo jedné, i když naopak je tento škůdce poměrně silně redukován mírnou zimou.

Letní období

V letním období jsou dopady spojené především s nárůstem teploty, úbytkem srážek a změny jejich rozložení (obdobně jako v jarním období více přívalů) a výskytem hydrometeorologických extrémů. Nástup teplejších, leč povětšinou sušších ročníků znamená vyšší riziko výskytu sucha během letních měsíců a problémy s obděláváním půdy na konci léta i v oblastech, kde jsme těmto problémům doposud nemuseli čelit. Zvyšující se počet letních (maximální teplota vyšší než 25 °C) a tropických dnů (maximální teplota vyšší než 30 °C) a s nimi spojených horkých vln (několik tropických dnů za sebou) ohrožuje na konci jara a v létě veškeré polní plodiny, a to i v situaci, kdy je v půdě relativně dostatek vláhy. Ta se však díky klimatickým podmínkám snižuje a obdobně jako v období jarním pozorujeme nárůst zemědělského sucha, jehož definice je spojena s půdní vlhkostí. Prakticky se jedná o nedostatek vláhy pro rostliny. Dopady sucha

Obr. 5. Změna klimatu ovlivní i spektrum a četnost výskytu škůdců cukrovky



na plodiny budou stále častěji příčinou vysoké variability výnosů a regionálních výnosových propadů. Jedním z dalších aspektů budou i nižší průtoky řek ovlivňující hladinu podzemní vody a nižší stavy vodních nádrží, které by byly potenciálním zdrojem pro závlahy. Právě v době jejich nejvyšší potřeby bude logicky nejméně disponibilní vody. Odhlédneme-li od neutěšeného stavu současného stavu meliorační sítě, je zřejmé, že to mohou být v budoucnu právě závlahy, které posunou zemědělské podniky postihované suchem ke stabilitě a rentabilitě produkce. Samozřejmě se stanou úsporné kapkové závlahy pro ovocnáře, vinohradníky a zelináře. O velkoplošných závlahách vzhledem k množství vody uvažovat nelze. Právě intenzivní srážky související s vyšší variabilitou podnebí (střídání sucha a povodní), např. podle TRNKY ET AL. (3), budou na konci jarního období a především v letním období příčinou problémů se sklizní, které se mohou vyskytnout prakticky na celém území České republiky. Zvýšené teploty, včetně letních mění podmínky pro počet generací či dokonce vytváří prostředí pro nové škodlivé druhy. Typickými příklady je lýkožrout smrkový (*Ips typographus*), který vytváří v posledních suchých a teplých letech o jednu generaci více, či z invazivních druhů bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera*), případně stolbur (*stolbur phytoplasma*) či esca (*Phaeomoniella chlamydospora*) jako nové, ale v současné době již zásadní choroby vinné révy.

Podzimní období

Podzimní období je významné z pohledu sklizně některých plodin (kromě řepy např. některé ovoce, vinná réva či kukuřice na zrno) a zakládání porostů ozimých obilnin. Z pohledu dopadů změny klimatu se jedná o roční období, které bude relativně nejméně ovlivněno. Podzim se stane v nejnižších polohách součástí velkého vegetačního období a prodlouží se v jeho rámci počet dnů umožňující růst a vývoj především ozimů. V současné době se v průběhu podzimu projevuje spíše nárůst srážek, které však na rozdíl od letních nemají přívalový charakter, zvýšení teploty sice přináší vyšší evapotranspiraci, ale dopady už nemohou mít vzhledem k potřebám rostlin takový negativní vliv jako v období jarním a časně letním. Naopak zvyšuje se počet meteorologicky příznivých dní k podzimním agrooperacím.

Dopady změny klimatu a cukrová řepa

Stanovištní podmínky

Ideální oblastí pro pěstování cukrovky je lokalita s průměrnou roční teplotou 8–9,5 °C, s dobře rozloženými ročními srážkami 450–700 mm a s hlubokými, středně těžkými a těžšími půdami, viz např. CHOCHOLA (4). Množství slunečního svitu není v Česku na rozdíl od přímořských států limitem. Pomineme-li blízkost cukrovaru jako klíčový bod pěstování cukrové řepy a soustředíme-li se jen na změnu klimatických parametrů, pak platí, že oteplení posouvá optimální lokality do vyšších nadmořských výšek, kde je současně i více srážek, ale většinou horší půdy. Srážky jsou nutné po celou dobu vegetace. Dostatek srážek v jarním období znamená dobré vzházení a zakořenění, v květnu jsou nutné pro rozvoj listového aparátu, v červnu kořenů a klíčové období pro podporu růstu bulev je červenec a srpen. I proto např. velmi suchá druhá polovina roku 2015 znamenala pro jednu skupinu plodin velmi

úspěšný rok (např. pšenici a řepku se sklízí v tomto roce) zatímco plodiny s delší vegetační dobou (např. cukrová řepa, brambory, kukuřice a jabloně) byly suchem výrazně poškozeny. Dle BARTOŠOVÉ ET AL. (5) se jedná o situace, kdy se výrazně změnila variabilita srážek v jednom roce.

Za optimální termín setí se pro cukrovou řepu historicky udává první dubnový týden. I přesto, že každý rok je jiný, platí, že zvyšující se teplota a dřívější nástup jara v měnícím se klimatu posouvá dobu setí k začátku roku. Tato skutečnost je umožněna dřívější přístupností pozemků a snahou o využití zimní vláhy pro klíčení v teplé a vlhké půdě i pro vzházení, které zpravidla nastává do 10 dnů od zasetí. Práci s vláhou lze ovlivnit i hloubkou setí, kdy při vlhčí půdě a ranějším setí stačí 2 cm a při sušší půdě až 4 cm. Cukrová řepa je poměrně odolná i k pozdním jarním mrazíkům, kdy při nízké vlhkosti snese i –6 °C, a tak ji časnější nástupy jara spíše vyhovují a nejsou pro její úspěšné pěstování překážkou. Pokud se však výrazně nízké teploty vyskytnou ve fázi děložních listů, může nastat i totální úhyn rostlin. Obdobně jako dřívější nástup jara se prodlužuje poměrně teplé a srážkově mírné období podzimní a vzhledem k tomu, že cukrová řepa má velmi dlouhou vegetační dobu a výnos přirůstá až do dnů se zápornou teplotou, je tato skutečnost velmi pozitivní, neboť v tomto podzimním období prakticky celý přírůstek ukládá do bulev. Z těchto úvah vyplývá, že vegetační doba představuje významný potenciál při zvyšování výnosu a klimatická změna, která ji prodlužuje, je u tohoto faktoru významným produkčním faktorem. A to již tím, že umožňuje na jaře dřívější setí a na podzim oddálení sklizně.

Extrémy – sucho a vysoká teplota

Většina scénářů změny klimatu se shoduje, že české nížiny v roce 2050 budou mít klima především ve vegetačním období jako na jihu Evropy. Výrazně zvýšená evapotranspirace způsobená vyššími teplotami bude jednou z hlavních příčin čtenějších epizod sucha, které budou v řadě ročníků limitem zemědělské produkce a současně hlavní příčinou nevyrovnanosti meziročních výnosů, včetně cukrové řepy. Nedostatek vody omezí fotosyntézu a tvorbu biomasy. Cukrová řepa je velmi citlivá na rozložení srážek. Druhým extrémem budou vysoké teploty

a výskyt tzv. horkých vln. Tropické dny a jejich za sebou jdoucí kumulace jsou stresovým faktorem způsobujícím pro rostliny devastující změnu funkce buněčných membrán. Ty se stávají propustnější pro ionty a přestávají poskytovat dostatečně pevnou ochranu buněčným proteinům. Extrémně vysoké teploty působí snížení rezerv asimilátů (cukru) v rostlině, neboť jsou velmi rychle prodýchány a méně se jich uloží v bulvě. Úroveň poškození rostlin je dána spolupůsobením aktuální vysoké teploty (u cukrové řepy jakožto C3 rostliny nad 30 °C), doby její expozice (v hodinách během dne), dále počtem dnů s vysokou teplotou (trváním horké vlny) a současnou absencí půdní vláhy, která tak nedodává vodu pro transpiraci, a ta pak nemůže plnit ochlazovací funkci. Ale i při vyšších nočních teplotách (nad 20 °C) je vyšší respirace a víc cukru se opět spotřebuje prodýcháním.

Choroby a škůdci

Listy cukrovky jsou ohrožovány bakteriálními i houbovými chorobami, bulvy především hnilobami. Jejich výskyt kromě přítomnosti patogena závisí nejvíce na počasí. V současném, ale i očekávaném klimatu se budou střídát delší bezesrážkové epizody se suchým a teplým počasím s náhlými intenzivními srážkovými případy. Toto rozkolísané klima typické extrémními situacemi přinese roky, kdy bude epidemická dominance určitého patogena, zatímco jiný se v daný rok téměř nevyskytne. Změna rozložení srážek mění i mikroklima porostu, zvláště je ovlivněna vlhkost vzduchu, která je klíčovým faktorem pro výskyt řady chorob. V květnu a červnu (např. na Moravě v roce 2019) podporují vyšší hodnoty relativní vlhkosti výskyt bakterióz, případně vlhčí a chladnější počasí napomáhá výskytu plísňe řepné (*Perenospora schachtii*), zatímco vyšší teploty a vyšší vlhkost vzduchu od začátku července a hlavně v průběhu srpna jsou ideální podmínky pro rozšíření houbových chorob jako např. cercosporiózy, padlí řepného (*Erysiphe communis*) a ramularie (*Ramularia beticola*). Velmi dobře se dá prognózovat právě infekce *Cercospora beticola*, jejíž rozvoj je nejvyšší při velmi vysoké relativní vlhkosti (nad 95 %) a současně při vysokých teplotách (nad 25 °C, optimálně 27 °C).

Ze škůdců suché a teplé počasí na jaře podporuje např. dřepčíky (*Chaetocnema*) či larvy mrchožroutů (*Aclypea*), zatímco vlhké a studené např. tiplice (*Tipulidae*) nebo drátovce (*Agriotes*). V pozdějším letním období sucho a teplo stimuluje především přenašeče žloutenky, mšici broskvovou (*Myzus persicae*) a mšici makovou (*Aphis fabae*), nebo osenici polní (*Agrotis segetum*). Naopak vlhké počasí je příznivé např. pro larvy květilky řepné (*Pegomyia betae* Curt.). Je nutné počítat i s vyšším počtem generací, např. osenice polní dokončuje 2. generaci dnes jen v nejteplejších letech, zatímco v horizontu dvaceti let bude běžná ve všech oblastech pěstování cukrové řepy (obr. 5.).

Vybraná adaptační opatření na změnu klimatu

Šlechtění

Nové klimatické podmínky pěstování a častější výskyt sucha vyžadují nové odrůdy a s nimi spojené inovativní technologie. Obojí musí mít primární cíl, a to maximální využití dostupné vody. Cestou je zvýšení efektivity využití vody nebo snížení transpiračního koeficientu, což je spotřeba vody v gramech na vytvořený gram sušiny. Ten se např. u cukrové řepy pohybuje podle řady autorů mezi 230–400. Když tento údaj porovnáme s potřebou ostatních

plodin, zjistíme, že cukrová řepa je hned za prosem a kukuřicí, tedy že patří mezi rostliny, které dobře hospodaří s vodou. Navíc jak proso, tak kukuřice patří mezi C4 rostliny, které vodu umí lépe využít. Vzhledem k množství biomasy je však spotřeba vody vysoká. Např. PETR (6) uvádí spotřebu mezi 3 600 m³ a 8 000 m³ vody na 1 ha, což odpovídá 360–800 mm efektivních srážek.

Šlechtění je perspektivní, ale velmi komplikovaná cesta, neboť naplnit očekávání pěstitele, že odolná odrůda bude poskytovat i za sucha vysoké výnosy (nebo jen mírně snížené ve srovnání s průměrem), a to za jakéhokoliv typu sucha, tedy bez ohledu na termín kdy sucho nastane, a půdních podmínek apod., je nereálná. Důvodem je především skutečnost, že jednotlivé znaky odolnosti vůči suchu mohou často stát proti sobě nebo se dokonce vylučovat, a pokud pak mohou být dílčí znaky kombinovány, pak je to často na úkor výnosových či kvalitativních parametrů. Cestou je šlechtění specifických odrůd, které budou využívat jen vybrané znaky odolnosti a budou tak nejlépe odolávat konkrétnímu typu sucha v kombinaci s konkrétními podmínkami daného stanoviště. Hlavní možnosti spočívají ve šlechtění na hloubku zakořenění a mohutnost kořenového systému nebo na tzv. osmotické přizpůsobení, které umožňuje rostlinám překonat krátkodobý nedostatek vody, aniž by došlo k poškození pletiv.

Další adaptační cestou je změna skladby pěstovaných plodin. Rozdíly v odolnosti plodin vůči suchu se řídí stejnými mechanismy jako v případě rozdílů mezi genotypy. Výběr plodiny s krátkou vegetační dobou může znamenat změnu v řádu týdnů až měsíců, zatímco rozdíly mezi genotypy obvykle počítáme na dny, maximálně několik týdnů. Podobně také výběr plodiny s hlubokým kořenovým systémem může znamenat až několiknásobně větší hloubku kořenů (tedy stovky procent), zatímco rozdíly mezi genotypy jsou v řádech desítek procent. Jednou z nejčastěji navrhovaných změn ve skladbě plodin je zvýšení podílu plodin s C4 fotosyntetickým metabolismem na úkor C3 plodin. Důvodem je výrazně (někdy až násobně) vyšší efektivita využití vody (tedy produkce na jednotku spotřeby vody) u C4 plodin, kombinovaná s vyšším teplotním optimem. Například čirok, který má o 1/4 až 1/3 nižší potřebu vody na produkci 1 kg sušiny v průběhu vegetace než kukuřice, je v posledních letech stále více využíván také jako meziplodina po časně sklizni některých plodin (brambory, zelenina apod.).

Využití únikové strategie na úrovni plodin je v našich podmínkách poměrně dobře zavedeno a je vhodné zejména pro oblasti typické terminálním neboli pozdním suchem. Dobrým příkladem je nahrazení jarního ječmene ječmenem ozimým, jehož dozrávání může nastávat až téměř o měsíc dříve. Vyšší hloubka kořenového systému např. u slunečnice nebo vojtěšky může znamenat vyšší úspěšnost těchto plodin v suchém roce, nicméně v případě, že nedochází k dostatečnému doplnění zásoby vody v půdě v průběhu zimy či není dostatečná zásoba podzemní vody, která by kapilárním vztláním doplňovala vodu v půdě, mohou tyto plodiny znamenat ohrožení výnosu pro následující plodiny. Využití hluboce kořenících plodin musí být proto zvažováno v rámci celého osevního postupu a s ohledem na rizika negativního ovlivnění dostupnosti vody pro následné plodiny. Samostatnou kapitolou je ekonomické zhodnocení pozměněné skladby plodin.

Agrotechnika

V oblastech ohrožených suchem je nutné věnovat větší pozornost péči o půdu a její schopnosti zadržet vodu ze srážek a efektivně s ní hospodařit při omezení ztrát neproduktivním

Obr. 6. Setí cukrovky do mulče (foto: Milan Halenka)



Obr. 7. Plečkování cukrové řepy s tvorbou hrubé povrchové struktury půdy a modulací hrůbků (foto: Pavel Růžek)



výparem, povrchovým odtokem, erozí apod. K lepšímu zadržení vody by mělo přispět také rozdělení velkých honů na menší nebo střídání pásů různých plodin. Toto opatření však nelze provádět paušálně, protože na většině půd dochází k největšímu utužení a poškození půdní struktury při otáčení a rozjíždění techniky a u menších pozemků může být podíl takto poškozených půd při používání současné techniky větší.

Pro lepší zadržení vody ze srážek v půdě a omezení vodní eroze jsou stále více používány půdoochranné technologie zpracování půdy. Některé z těchto postupů (např. podřívání) mají jen dočasný účinek a účelem takového opatření je přes značné energetické náklady napravit často zanedbanou předcházející péči o půdu (nedostatečné organické hnojení, absenci vápnění, utužení půdy po přejezdu těžké techniky, drcení a drobení půdy pracovními nástroji, nevyvážené oševní postupy bez víceletých

pícnin apod.). Beze změny přístupu k přejezdům a práci těžké techniky na poli, pravidelného organického hnojení kvalitními hnojivy s širším poměrem C:N, vápnění, rozšíření pěstování víceletých pícnin a meziplodin s rozvinutým kořenovým systémem a dalších obdobných opatření nedojde ke zlepšení současného stavu půd a jejich schopnosti zadržet vodu ze srážek.

Naprostu zásadní pozici získávají v době sucha meziplodiny. Vysetí porostů pestrých směsí meziplodin bezprostředně po sklizni plodin by mělo být standardem i přes často používaný argument, že meziplodina může vyčerpat vodu následující hlavní plodině. Zvláště v letním období by však měla být půda co nejvíce zastíněna a většinu prohřívání a ztrátě vody by měl zabránit rostlinný pokryv nebo i posklizňové zbytky včetně slámy na jejím povrchu. Právě co nejdříve rostlinný pokryv a ponechání mulče rostlinných zbytků na povrchu půdy jsou základem pro hospodaření s vodou. Rostlinný pokryv chrání půdu před negativním vlivem vysoké energie srážek a rozplavování agregátů na povrchu půdy se tak minimalizuje. Problémem ale je, že současné technologie ponechávají zpracovanou půdu bez rostlinného pokryvu nebo s omezeným pokryvem (počátek vývoje plodin) někdy i více než půl roku. K největším ztrátám vody z půdy výparem dochází v několika dnech po sklizni, protože sklizni plodiny se odstraňuje zastínění a zvyšuje se teplota povrchu půdy. V suchých podmínkách je proto důležité zakládat porost meziplodin optimálně do 24 hodin po sklizni, při sklizni ponechávat vyšší strniště a posklizňové zbytky, které částečně chrání půdu před zahříváním. I když zvláště za sucha je třeba počítat s nedokonalým založením a zapojením porostu, a to jak ze strany zemědělce, tak ze strany posuzujících orgánů.

Meziplodiny i následné plodiny by měly být v oblastech ohrožených suchem zakládány bezorebně do mulče (obr. 6.), protože zpracováním půdy se jednak zvyšuje náchylnost půdy k rozplavování, odstraňuje se efekt povrchového mulče a snižuje se infiltrační schopnost půdy. Zpracováním půdy může dojít také k vysušení svrchní vrstvy půdy a vzcházení meziplodiny či následné plodiny je zhoršeno.

Z řady vodochranných a půdoochranných technologií se stále více prosazuje pásové zpracování půdy (strip-till), zvláště při zakládání porostů širokořádkových plodin (zejména kukuřice) na svažitéch pozemcích, viz např. publikaci BRANTA ET AL. (7). Při pásovému zpracování půdy se využívá ponechání části posklizňových zbytků, strniště, mulče po meziplodině apod. v pásích na povrchu půdy a setí do zpracovaných pásů. Snižují se tak neproduktivní ztráty vody v důsledku nezpracování půdy mezi řádky plodiny a omezení evaporace z důvodu pokrytí meziřádků rostlinnými zbytky. Pásové zpracování půdy je alternativou k orbě a ve srovnání s technologiemi bez zpracování nebo s mělkým kypřením půdy vytváří příznivější podmínky pro vsakování srážkové vody do prokypřeného pásu, prohřívání a provzdušnění půdy, růst kořenů do hlubších vrstev a využití živin z podpovrchově aplikovaných hnojiv.

Úprava povrchu půdy pro lepší zadrženi vody ze srážek

Zakládání porostů širokořádkových plodin půdoochranými technologiemi s úpravou povrchu půdy, včetně důlkování a hrázkování, zlepšuje zadrženi vody ze srážek v půdě, omezuje vodní a větrnou erozi a stabilizuje výnosy pěstovaných plodin. Při zpracování půdy je třeba vytvořit na povrchu hrubší strukturu pro lepší zadrženi vody, včetně půd po orbě. Také při předsetové přípravě bude nutné více pozornosti věnovat úzkým páskům v místě setí než celoplošnému intenzivnímu zpracování a drobení půdy. Budeme muset více zvažovat každý přejezd techniky a vliv jednotlivých pracovních nástrojů nejen na kvalitu připravené půdy, ale i ztrátu půdní vláhy. Při lokální nebo zonální aplikaci hnojiv do půdy je v suchých oblastech třeba upravit povrch půdy tak, aby voda ze srážek byla nasměrována do kořenové zóny rostlin a do míst, kam byla aplikována hnojiva. Například při plečkování cukrovky je žádoucí vytvořit na povrchu půdy hrubou strukturu, která podporuje zadrženi vody ze srážek v půdě a omezuje riziko vodní a větrné eroze. Na obr. 7. je stav povrchu půdy po testování různých nástrojů pro plečkování cukrovky s hrubou strukturou na povrchu půdy, které přivádí vodu ke kořenům rostlin a k aplikovaným hnojivům.

Analýza závlahového potenciálu

Pokud se klima bude vyvíjet podle výše popsaných scénářů, budeme mít kolem roku 2050 v nejnižších polohách obdobné klima jako na jihu Evropy. V Itálii je v současné době 25 % plochy cukrové řepy pod závlahou, ve Španělsku dokonce až 70 %. V Česku byl vrchol v 80. letech, kdy se zavlažovalo až 7 tis. ha. V příštích letech se předpokládá v důsledku změny klimatu větší rozšíření kapkových závlah při pěstování ovoce, zeleniny a brambor. Jiné typy závlah, zvláště postřikového charakteru, stejně jako závlahy jiných plodin, vzhledem k jejich náročnosti na vodu, nebudou z důvodu dostupnosti vody v době její největší potřeby možné. Obecně platí, že vzhledem ke značné investiční, technologické a organizační náročnosti závlah by se mělo k jejich realizaci u polních plodin přistupovat až po vyčerpání všech agrotechnických opatření, která zlepšují hospodaření s vodou v půdě a její efektivní využití rostlinami. Již v současné době je klíčovou otázkou pro závlahy dostupnost vodních zdrojů. I proto je reálné využívání závlah spíše na omezené výměře plodin, které poskytují vysokou přidanou hodnotu jako je ovoce či zelenina. Další adaptační opatření, především zaměřená na sucho, přehledně popisují ŽALUD ET AL. (8).

Příspěvek byl připraven s podporou projektu NAZV č. QK1910338 s názvem „Agrometeorologický systém včasné výstrahy biotických a abiotických rizik“.

Souhrn

Článek objasňuje příčiny měnícího se klimatu, ukazuje jeho historický i krátkodobý budoucí vývoj a analyzuje jednotlivá rizika a dopady pro zemědělskou činnost v oblasti polní produkce. Jsou popsány základní dopady související s vegetační dobou, biotickými i abiotickými faktory, z nichž nejvýznamnější je problematika sucha. Samostatně jsou popsána klimaticky podmíněná či stimulovaná rizika pro pěstování cukrové řepy. Naznačena jsou základní adaptační opatření proti měnícím se klimatickým podmínkám.

Klíčová slova: sucho, vývoj klimatu, dopady, polní produkce, adaptace.

Literatura

1. ŽALUD, Z. (ED) ET AL.: Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace: Climate change and Czech agriculture – impacts and adaptations: monografie. *Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 2, 2009 (10), ISBN 978-80-7375-369-6.
2. POTOP, V. ET AL.: Časové změny vegetačního období v Polabí. *Meteorologické zprávy*, 67, 2014 (5), s. 147–153.
3. TRNKA, M. ET AL.: Assessing the combined hazards of drought, soil erosion and local flooding on agricultural land: a Czech case study. *Climate Research*, 70, 2016 (2–3), s. 231–249.
4. CHOCHOLA, J.: *Průvodce pěstováním cukrové řepy*. KWS Osiva, Řepařský institut Semčice, 2010, s. 65.
5. BARTOŠOVÁ, L., ET AL.: Monitoring zemědělského sucha v České republice – průběh suché epizody v roce 2015. *Listy cukrov. řepař.*, 132, 2015 (9–10), s. 280–284.
6. PETR, J.: *Počasí a výnosy*. 1. vyd., Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1987, 365 s.
7. BRANT, V. ET AL.: *Pásově zpracování půdy (strip tillage): Klasické, intenzivní a modifikované*. Praha: Profi Press, 2016, 135 s.
8. ŽALUD, Z. ET AL.: *Zemědělské sucho v České republice – vývoj, dopady a adaptace*. Praha: Agrární komora České republiky, 2020, ISBN 978-80-88351-02-3.

Žalud Z., Hlavinka P., Růžek P., Klem K., Zahradníček P., Štěpánek P., Možný M., Trnka M.: Climate Change and Its Impact on Field Production with Focus on Sugar Beet in Czech Republic

The article clarifies the causes of the changing climate, outlines its historical and likely development in the near future and continues to identify the risks and impacts on agricultural activity in the area of field production. It discusses the basic impacts related to the vegetation period, biotic and abiotic factors and pays particular attention to drought. The article also describes weather induced and weather related risks for sugar beet cultivation and concludes by a brief description of the adaptation measures that should be taken to negate the changing climatic conditions.

Key words: drought, climate development, impact, field production, adaptation.

Kontaktní adresa – Contact address:

prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph. D., Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: zalud@mendelu.cz

