

Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky



**Analýza adaptačních opatření na změnu klimatu na území ČR
v oblasti zemědělství**

výstup funkčního úkolu MZe ČR č. 4228

Odpovědný řešitel FÚ:

Ing. Jaroslav Pražan

Řešitelský kolektiv:

Ing Pavel Kapler, Ph.D.

Ing. Alice Picková

a kol.

Prosinec 2007

PŘEDMLUVA

Jednou ze základních povinností České republiky, vyplývající z přijetí Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu a navazujícího Kjótského protokolu, je podpora základního i aplikovaného výzkumu v oblasti klimatické změny a pravidelné sledování těchto změn a jejich dopadů (článek 5 úmluvy, upřesněný např. usnesením 9/CP.11). Z těchto požadavků mj. vyplývá důležitost adaptačních opatření v procesu mezinárodních snah o zmírňování dopadů změn klimatu na společnost a na nejvýznamnější oblasti jejich činností.

Probíhající změny hydrologického a teplotního režimu se promítají do sektorů zemědělství a lesnictví a jsou tak hybnou silou, která řídí změny v těchto sektorech. Tato síla vyvolává četné tlaky a v důsledku též dopady na přírodně-výrobní faktory (např. nárůst ohrožení půdního fondu všemi formami půdní degradace, změnu působení škodlivých organismů nebo extrémní výkyvy počasí), které nesmějí být při přípravě adaptačních strategií opomenuty.

Tato zpráva se na základě výsledků vědeckého výzkumu snaží poskytnout detailní informaci o vlivu změny klimatu na vybrané oblasti sektoru zemědělství; její hlavní části jsou zaměřeny na: i) hodnocení ekonomických nákladů a přínosů v současné době uvažovaných adaptačních opatření proti očekávanému suchu, půdní degradaci, větrné a vodní erozi, ii) identifikaci a popis nevyhnutelných nákladů spojených s klimatickou změnou, včetně návrhu opatření vycházejících ze simulačních studií budoucího výnosu vybraných plodin a očekávaného „nového“ rozdělení zemědělských výrobních oblastí, iii) posouzení dosavadních systémů pěstování rostlin z hlediska jejich schopnosti poutat oxid uhličitý a tím působit proti postupující gradaci klimatické změny a iv) doporučení podpory pro další oblasti zemědělského výzkumu, které by mohly napomoci řešení problémů spojených s klimatickou změnou.

Pro zpracování tohoto dokumentu bylo využito četných zdrojů, poděkování za provedení kompletních studií a zpracování dílčích příspěvků patří níže uvedeným autorům. Původní texty byly upraveny se souhlasem přispívajících autorů podle pokynů Výzkumného ústavu zemědělské ekonomiky (VÚZE), názvy kapitol jsou doplněny jejich číselným kódem (v elektronické verzi je umožněno vyhledat autora / jeho příspěvek pomocí hypertextového odkazu). Kde není uvedeno jinak, jde o dílo kolektivu autorů VÚZE.

Brno, prosinec 2007

Přehled přispívajících autorů / autorských kolektivů

- [1] Ing. V. Vlček, PhD. a Ing. J. Záhora, CSc. (Regionální referenční centrum pro ochranu půdy před degradací – strategie a plánování při Mendelově zemědělské a lesnické univerzitě v Brně)
- [2] Mgr. V. Jung (Ústav aplikované a krajinné ekologie Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně)
- [3] Doc. Ing. M. Dumbrovský, CSc., Ing. V. Hošková a Ing. František Pavlík (Ústav vodního hospodářství krajiny Vysokého učení technického v Brně)
- [4] Ing. Mgr. M. Trnka, PhD., Ing. D. Semerádová, Ing. P. Hlavinka, Prof. Ing. Z. Žalud, PhD. (Ústav agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně) a RNDr. M. Dubrovský, PhD. (Ústav fyziky atmosféry AV ČR a ÚAB MZLU v Brně)
- [5] Ing. Mgr. M. Trnka, PhD., Ing. D. Semerádová, Prof. Ing. Z. Žalud, PhD., Bc. J. Balek, Ing. P. Hlavinka (Ústav agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně) a RNDr. M. Dubrovský, PhD. (Ústav fyziky atmosféry AV ČR a ÚAB MZLU v Brně)
- [6] Ing. Mgr. M. Trnka, PhD., Prof. Ing. Z. Žalud, PhD., Ing. E. Kocmánková, Ing. D. Semerádová (Ústav agrosystémů a bioklimatologie Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně), RNDr. M. Dubrovský, PhD. (Ústav fyziky atmosféry AV ČR a ÚAB MZLU v Brně) a Ing. F. Muška, PhD. (Státní rostlinolékařská správa ČR)
- [7] Kolektiv autorů Státní rostlinolékařské správy
- [8] Ing. T. Středa, PhD. (Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně)

Seznam příloh:

Přílohy jsou označeny číslem příslušné kapitoly, případně písmenem rozlišujícím jednotlivé podpřílohy dané kapitoly. Tato práce je doprovázena celkem sedmi oddělenými přílohami.

<i>Název přílohy</i>	<i>Obsah</i>
PŘÍLOHA 1A	soupis použité literatury
PŘÍLOHA 1B	obrazová dokumentace, soupis použité literatury
PŘÍLOHA 2A	textové podklady, mapové podklady, soupis použité literatury
PŘÍLOHA 2B	soupis použité literatury
PŘÍLOHA 2C	soupis použité literatury
PŘÍLOHA 2D	informace o škodlivých organismech, soupis použité literatury
PŘÍLOHA 3	soupis použité literatury

OBSAH

PŘEDMLUVA	2
Přehled přispívajících autorů / autorských kolektivů.....	3
Seznam příloh:.....	3
ÚVOD	5
1 PŮDOOCHRANNÁ ADAPTAČNÍ OPATŘENÍ	8
1.1 Adaptační opatření proti suchu	8
1.1.1 Sucho a jeho kvantifikace [1], [2].....	8
1.1.2 Revize stavu závlahových systémů v ČR [2].....	11
1.2 Protieroční opatření	13
1.2.1 Opatření proti vodní erozi.....	19
Demonstrace vlivu klimatické změny na půdní erozi [3].....	21
1.2.2 Opatření proti větrné erozi.....	35
Hodnocení větrné eroze půdy v Jihomoravském kraji [2].....	36
1.3 Agrotechnická opatření proti dalším formám degradace půd [1]	40
1.3.1 Salinizace a sodifikace.....	40
1.3.2 Degradace fyzikálních vlastností půdy.....	41
1.3.3 Organické látky v půdě.....	43
1.3.4 Acidifikace.....	44
Půdoochranná adaptační opatření v zemědělství - závěry	50
2 DOPADY KLIMATICKÉ ZMĚNY NA ZEMĚDĚLSTVÍ	52
2.1 Dopady změny klimatu na produkci pšenice ozimé a ječmene jarního [4]	53
2.1.1 Evaluace růstových modelů CERES-Barley a CERES-Wheat.....	55
2.1.2 Metody odhadu klimatické změny, adaptační a prostorová analýza.....	57
2.1.3 Výsledky.....	59
2.1.4 Dopady změny klimatu na produkci jarního ječmene a ozimé pšenice.....	60
2.1.5 Adaptační opatření.....	61
2.2 Dopady změny klimatu na zastoupení a prostorové vymezení výrobních oblastí [5]	64
2.2.1 Použitá metodika a výsledky pro současné klima.....	65
2.2.2 Dopady změny klimatu na rozlohu a rozmístění výrobních oblastí.....	69
2.2.3 Závěr.....	74
2.3 Klimatické vlivy, škody a jejich náhrady	75
2.3.1 Systém řešení klimatických rizik v ČR.....	75
2.3.2 Informace o průběhu počasí a jeho vliv na zemědělskou výrobu.....	79
2.3.3 Přehled základních prvků krytí rizik a kalamit v zemích Evropské unie.....	82
2.3.4 Závěr.....	83
2.4 Dopady změny klimatu na rozšíření škůdců a chorob zemědělských plodin	84
A) Dopady změny klimatu na rozšíření a počet generací vybraných škůdců a chorob zem. plodin [6].....	84
2.4.1 Zavíječ kukuřičný (<i>Ostrinia nubilalis</i> , Hubner).....	84
2.4.2 Mandelinka bramborová (<i>Leptinotarsa decemlineata</i> , Say 1824).....	91
2.4.3 Plíseň bramborová (<i>Phytophthora infestans</i> , (Mont.) de Bary).....	95
B) Možné dopady změny klimatu na škodlivost a změny ve výskytu škůdců a chorob rostlin v ČR [7].....	97
2.4.4 Škůdci a choroby hlavních zemědělských plodin pěstovaných v ČR.....	98
2.4.5 Rozšíření nových škodlivých organismů na území ČR vlivem globálního oteplování.....	112
Dopady klimatické změny na zemědělství - závěry	112
3 MITIGACE	114
3.1 Hodnocení a význam uhlíkové bilance v ekosystémech na území ČR	114
3.1.1 Hodnocení uhlíkové bilance v zemědělských ekosystémech [8].....	114
3.1.2 Srovnání ztráty a produkce uhlíku pro různé typy ekosystémů [8].....	138
Mitigace - závěry	142
4 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ DALŠÍHO VÝZKUMU	144

ÚVOD

Podle mezivládního výboru pro klimatickou změnu (IPCC) existují vědecké důkazy se spolehlivostí vyšší než 90 %, že antropogenní činnost má přímý vliv na zvyšování koncentrací skleníkových plynů (zejména CO₂) v atmosféře a je tudíž jednou z příčin změny klimatu. Změna klimatu představuje globální problém a v současné době se nachází v popředí zájmu světové environmentální politiky. Vědci identifikují široké spektrum stávajících i budoucích důsledků změny klimatu v Evropě, včetně šesti následujících:

1. Téměř dvě ze tří katastrofických událostí od roku 1980 lze přímo připisovat záplavám, bouřím, suchu nebo vlnám tepla. Hospodářské ztráty se díky těmto událostem ve srovnání s předchozím obdobím za posledních 20 let více než zdvojnásobily na zhruba 8,5 miliard euro ročně. Je to způsobeno více příčinami, mj. např. také sociálně ekonomickými faktory (zvýšením bohatství domácností, vyšší mírou urbanizace a nákladnější infrastrukturou zranitelných oblastí), ale v neposlední řadě též vyšší četnosti těchto událostí.

2. Roční počet záplavových případů v Evropě a počet jimi postižených lidí stále stoupá. Změna klimatu spolu s narušením retenční schopnosti krajiny velmi pravděpodobně zvyšuje četnost záplav a povodní.

3. Změna klimatu způsobila za poslední tři desetiletí znatelné snížení počtu druhů rostlin v různých částech Evropy, obzvláště v horských oblastech. Některé druhy rostlin (které nemohou na klimatickou změnu reagovat rychlou migrací) pravděpodobně vyhynou, neboť další faktory – např. fragmentace či posun jejich přirozených půdně vlhkostních (resp. teplotních) podmínek omezí přizpůsobivost těchto druhů rostlin na změnu klimatu.

4. Výsledky simulací podle scénářů klimatické změny naznačují, že do roku 2080 téměř vymizí chladné zimy, zatímco extrémní události (jako horká léta, sucha a silné deště či krupobíť) budou mnohem častější.

5. V osmi z devíti evropských ledovcových oblastí jsou ledovce na ústupu, a to při své nejnižší mocnosti za posledních 5000 let.

6. Hladiny evropských moří se v minulém století zvyšovaly o 0,8 – 3,0 mm za rok. Předpokládaná míra zvyšování hladin moří pro 21. století je 2 – 4krát vyšší.

Národní program na zmírnění dopadů změny klimatu v ČR hodnotí riziko pro sektor zemědělství takto: Rostliny se adaptují na zcela specifické lokální a klimatické podmínky, které odpovídají dané geografické oblasti. Růst rostlin je ovlivňován teplotou okolního prostředí, srážkovým režimem a atmosférickými koncentracemi oxidu uhličitého. V odezvě na měnící se klimatické podmínky a celkové oteplování se budou růstové podmínky některých rostlin měnit. Původní rostliny mohou být nahrazovány novými druhy, které se budou lépe přizpůsobovat vyšším teplotám či suchu.

Změny ve vegetačním období mohou mít vliv i na složení rostlin, zejména těch, které mají nižší adaptační schopnosti na změněné podmínky. Scénáře předpokládají prodloužení vegetační doby, kdy mírná vegetace může profitovat z odhadovaného prodloužení vegetační doby do konce tohoto století asi o 20 %, ale naopak může strádat úbytkem vláhy o 10 – 15 %, který bude zřetelnější v nižších nadmořských výškách. V nižších nadmořských výškách se může délka vegetačního období zvýšit ze současných přibližně 250 dnů na přibližně 270 dnů v polovině století, resp. 300 dnů na jeho konci.

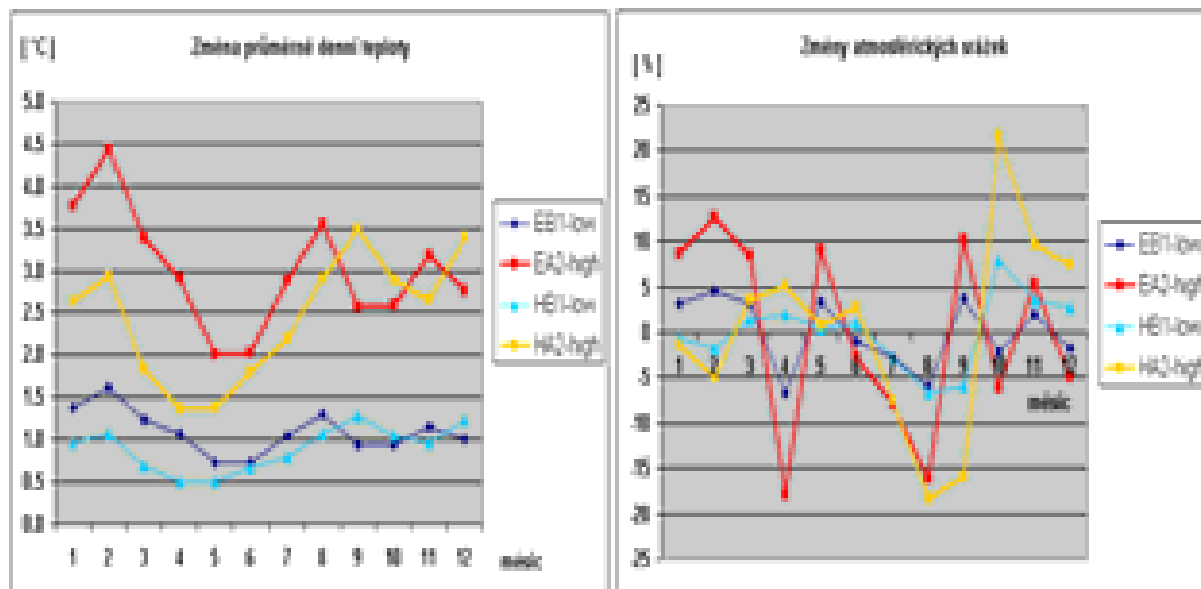
Současný stav zemědělských půd není příliš příznivý, neboť ubývá humus, který např. snižuje rychlost prohřívání, a tím i vysychání půdy v letním období. Kvalita půdy byla v nedávné minulosti snížena zhutněním používanou těžkou technikou při jejím zpracování. V souvislosti se zvýšením teplot vzduchu lze do poloviny 21. století očekávat nárůst sum aktivních a efektivních teplot a počtu letních a tropických dnů; počet dnů mrazových a dnů ledových poklesne. Bezmrázové období se prodlouží až o 20 – 30 dnů a počátek vegetačního

období se v nižších nadmořských výškách posune na začátek března a konec až do závěru října. Vyšší teploty vegetační období prodlouží a ovlivní růst a vývoj rostlin tak, že umožní dřívější vzházení a nástupy dalších fenofází; oproti současnému stavu by mohlo být období zrání či sklizně uspišeno nejméně o 10-14 dnů. Urychlení vegetace v jarním období však může zvýšit nebezpečí poškození rostlin pozdními mrazy. Teplotní vzestup by měl vytvořit dostatečné teplotní zajištění pro pěstování teplomilných kultur, nicméně existuje vážné nebezpečí teplotního stresu častějším výskytem extrémně vysokých teplot.

Jak plyne z odhadu hodnot vláhových indexů, bez výraznějšího zvýšení srážek při předpokládaném nárůstu evapotranspirace bude ve větší míře ohrožena suchem řada našich nejproduktivnějších oblastí. Naopak občasné vyšší srážky mohou znamenat zvýšení pravděpodobnosti výskytu denních úhrnů srážek nad 10 mm a nárůst erozně nebezpečných přívalových dešťů.

V nejvíce exponovaných částech naší země (jih Moravy a Polabí) může docházet ke zvýšené větrné erozi a vyšší potřebě závlah, což může vést k akumulaci solí v povrchové vrstvě půdního profilu. Porosty (lesní i zemědělských plodin), které se náhle ocitnou na půdách se „suchým“ vlhkostním režimem, budou náchylné k chorobám a škůdcům; zvýšené riziko požárů těchto porostů pak bude záviset na aktuální povětrnostní situaci.

Změny charakteru vodních srážek budou vyvíjet tlak na vodní zdroje, čímž budou ovlivněny zdroje pitné i závlahové vody. Extrémní meteorologické jevy – bouře, záplavy, sucha a vlny horka – se stanou častějšími, čímž bude trpět lidstvo, hospodářství i celá biosféra. Teplá období se budou ve vnitrozemských zeměpisných šířkách vyznačovat častějším výskytem suchých epizod a snížením mocnosti půdních horizontů (jak slehnutím půdy, tak suchem vyvolanou erozí). Obzvláště závažná bude tato skutečnost pro oblasti, kde již nyní dochází k vážnému vysoušení a poklesu půdy. Následky ponесou zejména rozvojové země; tropické nemoci se rozšíří do dalších zeměpisných pásem.



Obr. 1 Scénáře změny průměrné denní teploty vzduchu a relativní změny atmosférických srážek pro rok 2050 podle modelů ECHAM4 a HadCM2. Písmenem E je označen model ECHAM4, H je HadCM2, emisní scénář B1 je SRES-B1, A2 je SRES-A2, low je nízká citlivost, high je vysoká citlivost klimatického modelu (projekt VaV/740/1/00).

V rámci projektu Výzkum dopadů klimatické změny v ČR (VaV/740/1/00) byly hodnoceny dostupné globální klimatické modely a vybrány dva, které nejlépe vystihují klima ve střední Evropě. Z jejich výstupů byly vytvořeny 4 scénáře změn průměrných měsíčních hodnot u nás pro časový horizont roku 2050. Horní odhady změn průměrné roční teploty vzduchu činí 3,0 °C a 2,5 °C, vycházejí z pesimistické varianty budoucího nárůstu koncentrací CO₂. Dolní odhady 1,1 a 0,9 °C představují výsledek optimistické varianty vývoje emisí - předpokládají stmelující se svět, zavádění "čistých", účinných technologií atd.). Roční úhrny srážek podle scénářů klesnou jen nepatrně, modely však ukazují na podstatné změny ročního chodu srážek. Letní srážky by se měly snížit (až o 16 a 18 %), v zimě dojde podle jednoho modelu ke zvýšení srážkových úhrnů, podle druhého modelu naopak k jejich snížení (Obr. 1).

Zpráva IPCC hovoří o nutnosti posunu adaptačních opatření z polohy „reaktivní“ (opatření na likvidace bezprostředních následků přírodních či jiných katastrof) do polohy „proaktivní“, které budou důsledky změny klimatu s dostatečným časovým předstihem předpovídat. Škála potenciálních adaptivních reakcí, které má lidská společnost k dispozici, je velmi široká – počínaje čistě technickými možnostmi, přes vzorce chování, až po manažerské a politické přístupy.

Sternova zpráva, která byla publikována 30. října roku 2006 v Londýně, se zabývá především ekonomikou změny klimatu. Rovněž hovoří o vědeckých důkazech, že změna klimatu představuje celosvětovou hrozbu trvale udržitelného rozvoje a je způsobována především antropogenními vlivy. Nicméně Stern naznačuje, že je stále možné vyhnout se negativním a nejhorším dopadům změny klimatu a to prostřednictvím okamžité realizace účinných opatření. Důležitá bude v tomto směru zejména komplexní politika zaměřená na transformaci směrem k nízkouhlíkové ekonomice. Vedle přímé redukce emisí skleníkových plynů je současně nezbytná adaptace lidstva na dopady změny klimatu v globálním měřítku. Spolupráce by měla být založena na společné vizi dlouhodobých cílů a dohod, které urychlí zavádění patřičných opatření v jednotlivých zemích.

Tato studie, ačkoli si nečiní nároků být „českou Sternovou zprávou“, principy v původní Sternově zprávě potvrzuje a pokouší se některé z nich převést na sektor zemědělství v České republice.

1 PŮDOOCHRANNÁ ADAPTAČNÍ OPATŘENÍ

Adaptační opatření jsou souborem možných přizpůsobení nejvíce zranitelných složek přírodního nebo antropogenního systému stávající i budoucí změně klimatu a jejím důsledkům. V tomto kontextu je třeba s předstihem specifikovat a postupně zavádět opatření, které budou rizika takových změn s dostatečným časovým odstupem předjímat. Čtvrtá hodnotící zpráva Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC AR4) hovoří v kapitole zaměřené na evropský kontinent o nutnosti posunu adaptačních opatření z polohy „reaktivní“ (opatření na likvidace bezprostředních následků přírodních či jiných katastrof) do polohy „proaktivní“, které budou důsledky klimatických změn s dostatečným časovým předstihem předjímat. Opatření, vyžadující obvykle vzájemnou součinnost více resortů, lze přijímat nejenom na úrovni státu, ale i na úrovni privátního sektoru, jednotlivců či skupin obyvatel a obcí či měst.

Adaptační opatření jsou ve velké většině případů spojena s finančními nároky, které pokrývají náklady na jejich přípravu a zavádění. Ty jsou však mohou být vyrovnány snižováním výše škod, kterou nepříznivé dopady změny klimatu vyvolávají či mohou vyvolávat. Proto je třeba před jejich zaváděním podrobně analyzovat jejich účinnost, přínosy, náklady, efektivitu i proveditelnost s ohledem na schopnost klimatického systému a jeho složek se změně klimatu přizpůsobit.

Tato kapitola je zaměřena na adaptační opatření proti přímému vlivu klimatické změny na nejpodstatnější předpoklad fungování rostlinné výroby – půdu. S budoucí změnou klimatu, jak už bylo výše uvedeno, můžeme očekávat zejména zvýšený výskyt sucha a erozně nebezpečných dešťů, ale i dalších projevů klimatu posilujících v současnosti již probíhající degradaci našich půd. Jako půdní degradaci souhrnně označujeme procesy vedoucí ke snížení kvality půd.

1.1 Adaptační opatření proti suchu

1.1.1 Sucho a jeho kvantifikace [1], [2]

Sucho je neodmyslitelnou součástí klimatických podmínek, které ovlivňovaly a budou ovlivňovat životní prostředí i národní ekonomiky v řadě regionů včetně střední Evropy. Sucho patří k průvodním jevům našeho klimatu. Je jevem, s nímž je nutno počítat jak v zemědělské praxi, tak i ve vodním hospodářství a dalších odvětvích. Výraznost suchých období bývá různá, od krátkodobých přísušků až po několikaměsíční či dokonce roční období s nízkými úhrny srážek. Následky sucha mohou být rovněž rozdílné v závislosti na ročním období, v němž se sucho vyskytne, na sledované plodině a jejím vývojovém stadiu apod. Lze proto oprávněně i předpokládat, že metody hodnocení výraznosti sucha budou rozdílné a jejich výstupy se mohou navzájem lišit.

Ve světě byla vypracována celá řada metod na kvantifikaci sucha, přičemž ty jednodušší berou v úvahu pouze množství spadlých srážek (procenta normálu, decily, standardizovaný index srážek, efektivní srážky atd.), složitější pak uvažují i s proměnlivým vlivem teploty na výpar a další bilanční metody již přímo počítají s evapotranspirací buď standardního travního porostu anebo přímo dané plodiny (většinou sója anebo i další obiloviny). U nás často používané indexy, jako např. Langův dešťový faktor, Končekův index zavlažení, hydrotermický koeficient Seljaninova, Minářův index vláhové jistoty apod. byly svými autory zamýšleny původně jako klimatické ukazatele k rozlišení jednotlivých oblastí a méně pak již k hodnocení průběhu povětrnosti na jednom stanovišti, popřípadě k vyjádření

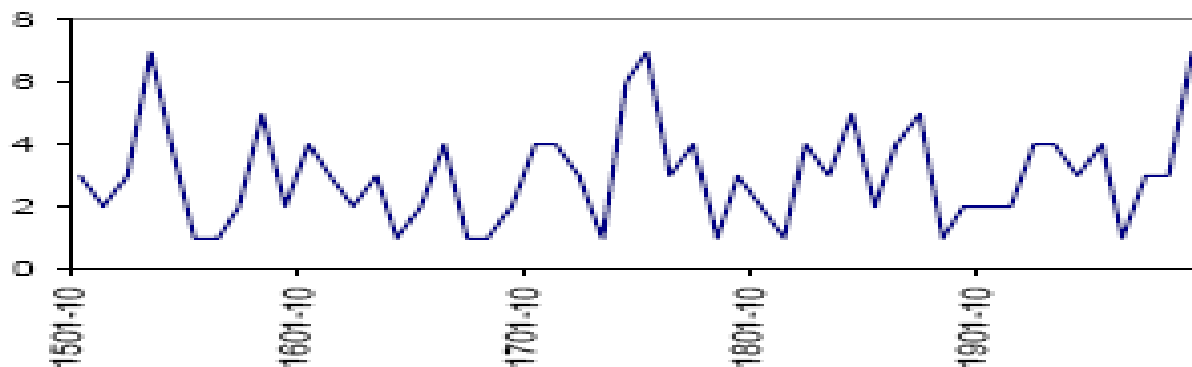
závažnosti sucha. Pod pojmem sucho nelze v odborných ani neoborných literaturách nalézt přesnou definici. Meteorologický slovník výkladový a terminologický (SOBÍŠEK et al., 1993) popisuje sucho jako velmi neurčitý, avšak v meteorologii často užívaný pojem, znamenající v zásadě nedostatek vody v půdě, rostlinách nebo i v atmosféře. Jednotná kritéria pro kvantitativní vymezení sucha neexistují s ohledem na rozmanitá meteorologická, hydrologická, zemědělská a další hlediska a s ohledem na škody v různých oblastech hospodářství. S podobným přístupem se setkáváme i v práci BERANA a RODIERA (1985): „Hlavní vlastností sucha je pokles dostupnosti vody v určitém období a oblasti“. Konkrétnější je oficiální definice NDMC (National Drought Mitigation Center, Lincoln, Nebraska, USA); podle ní je sucho normální, opakující se projev klimatu, který souvisí s jeho kolísáním.

Podnebí České republiky se vyznačuje vzájemným pronikáním a míšením oceánských a kontinentálních vlivů. Je charakterizováno západním prouděním a intenzivní cyklonální činností, která způsobuje časté střídání vzduchových hmot a poměrně hojné srážky. Přímořský vliv se projevuje zejména v Čechách. Na Moravě a ve Slezsku přibývají kontinentální podnební vlivy. Jednotlivé roky mohou tak být jak pod vlivem oceánu, tak i kontinentu.. Podstatně větší vliv na klima má nadmořská výška. Horská pásma tvoří tzv. klimatické přehradu, západní pohoří zejména Šumava, Český les a Krušné hory jsou příčinou tzv. srážkového stínu (s menším množstvím srážek a poněkud vyššími teplotami z hor sestupujícího proudění vzduchu). Z celkové plochy území leží 39 % v nadmořské výšce pod 400 m n.m., v těchto oblastech se nachází 46 % zemědělské půdy státu. 26 % zemědělské půdy se nachází v nadmořské výšce 400 až 500 m n.m. a v nadmořské výšce nad 500 m n.m. pak 28 % zemědělské půdy (EAFRD, 2005).

Srážkové poměry ČR jsou ovlivněny nadmořskou výškou a terénem (návětrná strana hor má vyšší úhrny srážek než závětrná, tj. pod vlivem srážkového stínu). Vertikální srážkový gradient je 50 až 60 mm/100 m. Obvyklé rozdělení srážek v roce: v létě 40 %, na jaře 25%, na podzim 20 %, v zimě 15 %, nejnižší průměrný roční úhrn srážek mají Libědice (okres Chomutov) 410 mm. Nejsušší oblastí je díky vysoké teplotě vzduchu (a tím vysoké aktuální evapotranspiraci jižní Morava).

Nejstarší měření srážek realizoval v roce 1752 v Praze – Klementinu Josef Stellingy (1716-1778), dochovaly se ovšem pouze měsíční úhrny za únor až prosinec. Počátky srážkoměrných měření v Česku sahají 250 let zpátky. Starší informace o výskytu hydrometeorologických extrémů je možné získat z historických pramenů. Zprávy o výskytu suchých let či období jsou dále – na rozdíl od záznamů o povodních a jiných extrémních povětrnostních jevech – velmi skoupé, protože hospodářské důsledky suchých let nebyly v soudobých pramenech podrobněji komentovány.

Obr. 1.1 znázorňuje četnosti výskytu suchých let v jednotlivých desetiletích od roku 1501 do roku 2000 ve chmelařské a vinařské oblasti Ústeckého kraje. Nejvyšší četnost suchých let (7) byla zaznamenána v letech 1531 - 1540, 1751 - 1760 a 1991 – 2000.



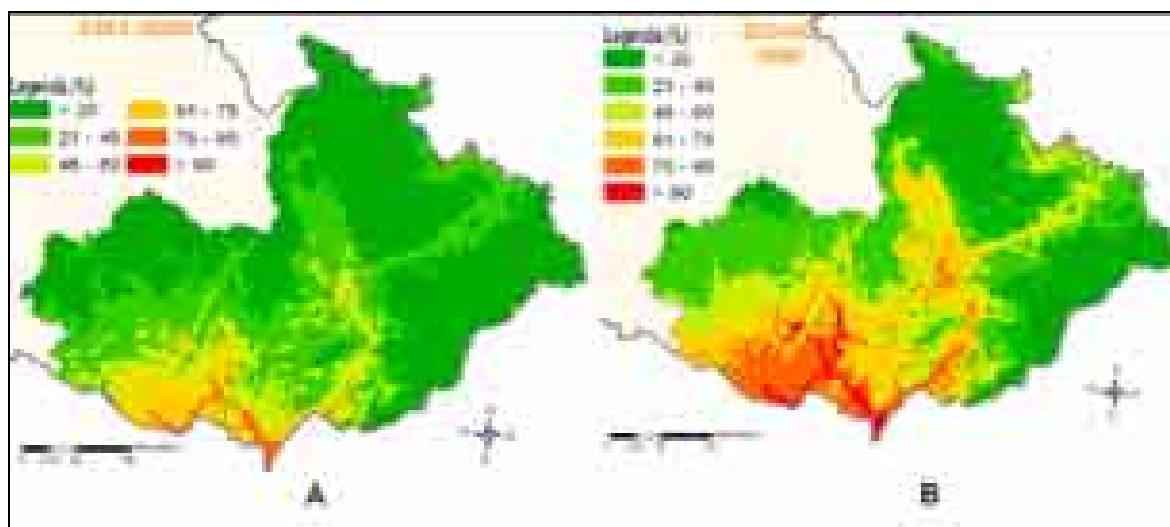
Obr. 1.1: Četnost výskytu suchých let v jednotlivých desetiletích od roku 1501 do roku 2003 (MOŽNÝ, 2004).

MOŽNÝ (2004) uvádí, že na základě výpočtů indexů hydrometeorologického sucha provedených pro šest stanic lze vymezit nejsušší vegetační období v ČR v tomto pořadí: 1947, 2003, 1976 a 1935. Sucho v roce 1947 lze považovat za 500leté a v roce 2003 za 150leté.

LITSCHMANN, KLEMENTOVÁ a ROŽNOVSKÝ (2002) uvádějí tyto závěry: četnost suchých měsíců v posledních dvou až třech desetiletích dosáhla maxima za celé zpracovaná období, významné je i to, že tato desetiletí následují po sobě a že v posledních 50ti letech došlo ke zvýšení pravděpodobnosti výskytu měsíců klasifikovaných jako mírně suchý o 15 % a extrémně suchých o 5 %.

Očekávaná klimatická změna způsobí pravděpodobně aridizaci klimatu v Evropě, a to nejenom ve Středomoří, ale rovněž v oblasti střední Evropy s nevyhnutelnými následky pro země bez významnějších náhradních zdrojů vody mimo atmosférických srážek (jako je i ČR). Změna hospodaření s vodními zdroji v krajině je nutná, s globální klimatickou změnou pravděpodobně několikanásobně vzroste také pravděpodobnost výskytu skutečně devastujících epizod sucha. Regiony ČR, které jsou tímto vývojem ohroženy nejbezprostředněji, jsou oblast jižní Moravy a Polabí. Scénáře změny klimatu použité některými českými autory (např. TRNKA et al., 2005) indikují výrazný nárůst území ohroženého suchem, které shodou okolností zasahuje nejproduktivnější zemědělské oblasti.

I když se jedná pouze o možný nástin, je shoda v prostorovém rozložení a nárůstu plochy území v budoucnosti ohroženého suchem (na obr. 1.2 příklad Moravy a Slezska) podle několika simulačních modelů srovnatelná. Materiál s podobnými závěry lze rovněž nalézt např. v pracích BRÁZDIL, ROŽNOVSKÝ et al. (1995), TRNKA et al. (2003), HAYES et al. (2005), nebo DUBROVSKÝ et al. (2005a).



Obr. 1.2 Z-index – procento měsíců zasažených suchou epizodou v současnosti (A) a v klimatických podmínkách očekávaných kolem roku 2050 (B). Komentář k legendě: Oblasti s výskytem sucha <20 % lze označit jako oblasti s nulovým až nízkým rizikem, >60 % jako oblasti s vysokým rizikem a >90 % jako oblasti s extrémně vysokým rizikem výskytu suchých epizod. (TRNKA et al., 2006)

Ze studie ROŽNOVSKÉHO et al. (1996) „Návrh opatření proti změně klimatu v sektoru zemědělství (adaptační opatření)“ k časové úrovni roku 2030, je zřejmé, že předpokládaná klimatická změna v ČR způsobí nárůst zemědělského sucha. Za nejúčinnější opatření proti suchu jsou jednoznačně považovány závlahy.

1.1.2 Revize stavu závlahových systémů v ČR [2]

V nejúrodnějších a přitom nejsušších oblastech České republiky je vybudováno okolo 150 tis. ha závlah (přesná evidence však neexistuje). Kromě asi 4000 ha mikrozávlah speciálních plodin a kultur (zelenina, jahody, chmel, ovocné sady a vinice) se jedná o závlahy postřikem. Většina závlah (cca 127000 ha) byla v roce 1997 a 1998 privatizována. V současné době je využití privatizovaných závlah nízké (asi 25 až 30 % plochy), některé se neprovozují vůbec. Hlavním důvodem je snaha zemědělců minimalizovat náklady.

Závlahové soustavy v ČR mají rozlohu od několika tisíc hektarů po cca 12 tis. ha. Podrobná závlahová zařízení neboli závlahový detail jsou zařízení sloužící k distribuci vody na zavlažovaném pozemku. U závlahy postřikem to jsou přenosné závlahové trubky s postřikovači a závlahové stroje, u mikrozávlah veškeré zařízení sloužící k rozvedení závlahové vody od hydrantu na zavlažovanou plochu včetně nezbytného příslušenství (filtry, regulátory tlaku, měrná zařízení, automatické ovládání provozu). U maloplošných závlahových soustav jsou závlahovým detailem také pojízdné nebo přenosné čerpací agregáty, sloužící výhradně pro čerpání vody přímo do přenosných potrubí na zavlažovaných pozemcích (SPITZ, BENDA a ZAVADIL, 2007). Tito autoři dále uvádějí:

Pro rekonstrukci a modernizaci závlahových zařízení hovoří dva hlavní důvody. První důvodem je překročení životnosti vybudovaných závlah. Většina rozvodných sítí je vybudována z azbestocementového potrubí má životnost 25 roků (při jeho 4 % roční odpisové sazbě). Z analýzy vyplývá, že výměra závlahových staveb starších a rovných zvolenému stáří (25 let) k datu 1. 1. 2007 činí 92 219 ha, resp. k 1. 1. 2010 činí 101 437 ha závlah. To je 62,2 %, resp. 68,4 % z celkové výměry 148 329 ha závlah v ČR a představuje nárůst mezi oběma daty 9 218 ha (6,2 %). Znamená to tedy, že téměř dvě třetiny (62,2%) závlahových staveb dnes překračují dobu své životnosti.

Druhým důvodem pro modernizaci jsou změny v zemědělském podnikání. Využívání a provozování závlah ovlivňují především větší rozdrobenost faktické pozemkové držby než dříve, cena závlahové vody (tj. cena, za kterou ji provozovatel závlahové soustavy prodává odběrateli – zemědělcům), podnikatelské záměry zemědělských subjektů a jejich zájem o závlahu související s možnostmi ekonomicky efektivního uplatnění vypěstovaných produktů na trhu a konečně i způsob privatizace závlahové soustavy. Větší rozdrobenost pozemkové držby způsobila, že na většině závlahových sítí je obvykle větší počet odběratelů vody (soukromých zemědělců, zemědělských podniků, družstev ap.).

Růst ceny závlahové vody, ke kterému dochází hlavně v důsledku růstu ceny elektrické energie, má za následek, že zemědělci mají zájem jen o skutečně doplňkovou závlahu s racionálně minimalizovaným počtem závlahových dávek. Často zavlažují jen v tzv. kritických růstových fázích plodin (v nich rostliny nejcitlivěji reagují na nedostatek přístupné vody v půdě) a v obdobích výrazného sucha. Významně se také uplatňuje způsob privatizace závlahové soustavy, který určuje, jestli zemědělci jsou zároveň provozovateli a vlastníky závlahové kostry, anebo jsou jen jejími uživateli a jejich vztah s provozovatelem je uskutečňován na obchodní bázi. Tato skutečnost může podstatně ovlivnit výši plateb za dodávku závlahové vody.

Odborné řízení závlahového režimu plodin je základním předpokladem účinné a přitom hospodárné a životnímu prostředí neškodné závlahy. V současné době je u nás pro řízení závlahových režimů pouze systém Agrometservis, který nabízí ČHMÚ zavlažujícím zemědělcům za úplat. Systém dodává spíše orientační údaje, zemědělci o něj jeví poměrně malý zájem a zavlažují raději podle svých zkušeností a citu, tzv. „od oka“. Současnou nepříznivou situací s nedostatkem potřebných finančních prostředků ještě zhoršuje nepříznivý fakt, že v důsledku averze vůči melioracím spojovaných neodůvodněně s minulým totalitním režimem se rozpadly po roce 1989 projekční i prováděcí kapacity závlahových staveb. Závlahy se u nás prakticky považovaly za nepotřebné. Tato tendence se projevila i ve

výzkumu, který silně upadá; v současné době se problematikou závlah zabývá minimální počet pracovníků.

Tab 1.1 Vztah stáří a výměry vybudovaných závlahových staveb v ČR (ZAVADIL et al., 2004).

Stáří staveb [roky]	Výměra vybudovaných závlahových staveb				Nárůst výměry k 1. 1. 2010 oproti 1. 1. 2005	
	k datu 1. 1. 2005		k datu 1. 1. 2010			
	[ha]	[%]	[ha]	[%]	[ha]	[%]
≥58			29	0,02		
≥53	29	0,02	29	0,02	0	0
≥49	29	0,02	920	0,6	891	0,6
≥48	29	0,02	1 320	0,9	1 291	0,9
≥47	29	0,02	1 584	1,1	1 555	1,0
≥46	29	0,02	2 275	1,5	2 246	1,5
≥45	29	0,02	3 145	2,1	3 116	2,1
≥44	920	0,6	5 988	4,0	5 068	3,4
≥43	1 320	0,9	19 400	13,1	18 080	12,2
≥42	1 584	1,1	25 765	17,4	24 181	16,3
≥41	2 275	1,5	26 204	17,7	23 928	16,1
≥40	3 145	2,1	27 175	18,3	24 030	16,2
≥39	5 988	4,0	33 655	22,7	27 667	18,7
≥38	19 400	13,1	50 529	34,1	31 129	21,0
≥37	25 765	17,4	51 829	34,9	26 064	17,6
≥36	26 204	17,7	54 376	36,7	28 172	19,0
≥35	27 175	18,3	57 983	39,1	30 808	20,8
≥34	33 655	22,7	61 990	41,8	28 335	19,1
≥33	50 529	34,1	64 276	43,3	13 747	9,3
≥32	51 829	34,9	66 088	44,6	14 259	9,6
≥31	54 376	36,7	72 706	49,0	18 330	12,4
≥30	57 983	39,1	78 828	53,1	20 845	14,1
≥29	61 990	41,8	84 292	56,8	22 302	15,0
≥28	64 276	43,3	92 219	62,2	27 942	18,8
≥27	66 088	44,6	96 386	65,0	30 298	20,4
≥26	72 706	49,0	99 372	67,0	26 666	18,0
≥25	78 828	53,1	101 437	68,4	22 609	15,2
≥24	84 292	56,8	111 059	74,9	26 767	18,0
≥23	92 219	62,2	114 072	76,9	21 853	14,7
≥22	96 386	65,0	119 173	80,3	22 788	15,4
≥21	99 372	67,0	126 158	85,1	26 786	18,1
≥20	101 437	68,4	130 710	88,1	29 273	19,7
≥19	111 059	74,9	136 762	92,2	25 703	17,3
≥18	114 072	76,9	140 941	95,0	26 869	18,1
≥17	119 173	80,3	141 939	95,7	22 766	15,3
≥16	126 158	85,1	146 349	98,7	20 191	13,6
≥15	130 710	88,1	148 329	100,0	17 620	11,9
≥14	136 762	92,2	148 329	100,0	11 567	7,8
≥13	140 941	95,0	148 329	100,0	7 389	5,0
≥12	141 939	95,7	148 329	100,0	6 390	4,3
≥11	146 349	98,7	148 329	100,0	1 981	1,3
≥10	148 329	100,0	148 329	100,0	0	0

1.2 Protierozní opatření

Na degradaci půdy (z jejíž forem vystupuje výrazně do popředí především půdní eroze) se ve značné míře podílí současné intenzivní zemědělství (cca 30 %); s intenzivní nadměrnou pastvou je to více než 60 %. Podle ŠARAPATKY et al. (2006) je vodní eroze nejvýznamnějším typem degradace půdy, je jí ohroženo více než 45% našich zemědělských půd, větrnou erozí pak cca 11 %.

Ohrožení půdy erozí [1]

Eroze je fyzikální fenomén, jehož výsledkem je přemístění půdních a horninových částic vodou, větrem, ledem a gravitací (SOBOCKÁ, 2007). Je výsledkem kombinace mnohých půdních a enviromentálních faktorů. Současné názory na půdní erozi vedou k jejímu chápání jako k procesu degradace, především urychlená eroze, kde přirozená rychlost odnosu je významně urychlována lidskou aktivitou. Eroze je uvažována jako odnos půdního povrchu země fyzikálními silami jako jsou srážky, tekoucí voda, vítr, led, změny teplot, gravitace a ostatní přírodní a antropogenní činitelé, kteří obrušují, oddělují a přenášejí půdní nebo geologický materiál z jednoho místa na zemi na druhé, kde se ukládá. Klíčovým aspektem hodnocení půdní eroze je určitá úroveň detailu, měření eroze a předpověď ohrožení v budoucnosti. Pro zjišťování půd ohrožených erozí je potřebné vzít v úvahu všechny uvedené přístupy, avšak naměřené empirické údaje jako i modelování (kalibrované údaje se skutečně naměřenými údaji) jsou při hodnocení ohrožení nejhodnotnější výstupy.

Eroze má nepříznivý vliv na celý komplex půdních vlastností a celkově zhoršuje vlastnosti postižených půd. Odnos povrchové vrstvy půdy má za následek ztrátu organické hmoty a živin a následné zhoršení dalších vlastností, zejména zhoršení půdní struktury, snížení pórovitosti, vododržnosti, zvýšení náchylnosti na tvorbu povrchové kůry apod. Snížené vstupy organických látek vedou ke zhoršování půdní struktury, snižování infiltrace vody do půd a následně k výrazné vodní a větrné erozi. Mulčování, správné obdělávání půdy, používání techniky šetrné k půdní struktuře jsou rovněž způsobem boje proti erozi. Konečným důsledkem těchto změn je snížení schopnosti půdy plnit její funkce. Při hodnocení důsledků eroze na erodované ploše se vyjadřují zejména důsledky na zhoršení produkčních funkcí, které je možno vyjádřit i kvantitativně, např. kvantitativním vyjádřením snížení obsahu živin, procentuálním vyjádřením snížení úrody jednotlivých plodin atd. (ibid.). Je potřebné rozlišovat mezi přírodní erozí a erozí vyvolanou člověkem, kterou je možno vylišit na základě současného využívání krajiny. Jedním z hlavních činitelů způsobujících antropogenní erozi je zemědělství, protože mnohé agrotechnické postupy jsou nevhodné pro zachování půdy, tj. půda je obhospodařovaná neudržitelným způsobem.

Půda představuje objekt ohrožení, který by měl být zkoumán nejen na kvalitativní, ale především na kvantitativní či modelové úrovni. Dopředu je třeba poznamenat, že jakákoliv ztráta půdy pod $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ za rok v průběhu 50 – 100 let je málo významná, avšak ztráta půdní hmoty při erozi $5 - 20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ za rok má vážný důsledek na vývoj půdy a krajiny. Půdní ztráty $20 - 40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ za rok jsou výsledkem intenzivní bouřkové činnosti a představují extrémní hodnoty odnosu půdního materiálu. Podobně ojedinělé erozní události, které se vyskytují 1x za 2 – 3 roky mohou vést za nepříznivých půdně-klimatických podmínek k nadměrné ztrátě půdy (nad $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ za rok).

Podle erozních činitelů je tedy možné erozi třídit na erozi vodní (akvatickou), větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální) apod., přičemž na našem území dominují vodní a větrná půdní eroze (JANEČEK et al., 2002). Intenzita plošné vodní i větrné eroze se zpravidla vyjadřuje ztrátou, resp. odnosem půdy v mm , $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ popř. $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ za určité časové období, zpravidla za jeden rok.

Eroze může způsobit také snížení produkční schopnosti půd. Dle výzkumů BENNETA (1939) (In: JANEČEK, 2002) v hlavních produkčních oblastech USA poklesly výnosy až o 77 % tam, kde byl narušen humusový horizont. Efekt snížení byl různý podle různých půdních typů a plodin. Doplňkovým hnojením došlo sice ke zvýšení výnosů, ale byly přece jen nižší než na nepoškozené půdě. To potvrzují i pokusy STALINGA (1962), kdy došlo ke snížení výnosu až o 40 % při ztrátě 20 cm půdy. Ve vyšších polohách svahu pak ubývá ornice a klesá její úrodnost. Ve spodní části svahu naopak dochází k usazení přemístěné zeminy, avšak bez adekvátního zvýšení výnosu. (PASÁK et al. 1984).

Rovněž výzkumy, které byly prováděny v Kanadě blízko Ottawy ukazují, že výnosy ječmene a vojtěšky klesaly progresivně s klesající mocností humusového povrchového horizontu. Při použití hnojiv došlo ke zvýšení výnosu na půdě se sníženou mocností ornice, ale výnosy byly nižší než na nehnojené půdě s relativně neporušenou ornici (JANEČEK et al. 2002). FRYE (1985) zjistil redukci výnosu o 15 a 30 % na půdách kde byl povrchový horizont erodován o 5 a 15 cm. To potvrdily i pokusy BATCHELDERA a JONESE (1972) kdy byla umělým zásahem odstraněna ornice – opět došlo k výraznému poklesu produkce. Umělé odstranění 7,5 cm ornice mělo za následek pokles výnosu ječmene o 21%.

Všechny tyto studie ukázaly, že rostlinná produkce na erodovaných pozemcích (byť hnojených) byla nižší než na relativně neerodovaných pozemcích. Na některých půdních typech, zejména na hlubokých hnojených spraších s erozí odneseným humusovým horizontem však byly výnosy takřka stejně vysoké jako na neerodovaných půdách s neporušeným povrchovým horizontem. Obdobné výsledky byly zjištěny i u nás při tříletém sledování výnosů na erodovaných hlubokých spraších Jižní Moravy (JANEČEK, 2002).

COTNEROVY (1982) analýzy konstatují, že bude-li stávající rychlost eroze pokračovat i v budoucnosti, tak budou náklady na udržení produkce o 5 % vyšší, než kdyby eroze byla snižována používáním půdoochranných technologií. Jestliže by došlo u těchto technologií k nárůstu aplikací o 1,6 % oproti ve studii uvažovanému 1 % nárůstu, sníží se tím eroze o 1/3 a náklady na výrobu produkce na stávající úrovni budou nižší o 1/4.

Důsledkem eroze půdy je změna fyzikálních vlastností půdy, zejména struktury, textury, objemové hmotnosti, vodní kapacity, pórovitosti, infiltrační schopnosti aj. Vlivem eroze dochází jak ke kvantitativním změnám fyzikálních vlastností, tak i ke změnám vzájemných vztahů mezi jednotlivými půdními vlastnostmi.

Podorničí tj. materiál, který byl po oderodování ornice vystaven vlivu eroze, má obvykle nízký obsah organických látek. Proto se zdůrazňuje důležitost organické hmoty ve dvou oblastech - ve vývoji struktury agregátů a v jejich stabilitě. Degradace struktury účinkem dešťových kapek je hlavní příčinou poškozování agregátů. Zhoršování struktury je nižší na půdách, kde jsou agregáty stabilizovány spíše humusem než jílem. Tyto změny jsou výsledkem eroze povrchového horizontu, ornice, a ačkoli .se změny nemusí zdát příliš velké mají významný vliv na vodní režim půd a tím i na vzájemné vztahy dalších půdních vlastností. Jestliže dojde vlivem eroze k obnažení podorničí s vyšším obsahem jílu, zvýší se sice celkový obsah pórů, ale velikost pórů se sníží (počínají převažovat kapilární póry). Přestože se celková vodní kapacita zvýší, kapacita vody dostupné pro rostliny se sníží (voda je poutána kapilárními silami). V takovém podorničí je sice dostatek vody, ale voda je pevně vázaná, nepřístupná pro rostliny. Naproti tomu se snižuje infiltrační schopnost a vzrůstá povrchový odtok a tak dochází k zrychlení procesu eroze. V takto obnaženém podorničí jsou strukturní agregáty méně stabilní než v originálním povrchovém horizontu nebo ve smíšeném horizontu. Tyto agregáty jsou rovněž snadněji rozrušovány a uvolňovány činností dešťových kapek a povrchová krusta (půdní škrálop), která často vzniká, omezuje infiltraci a zvyšuje povrchový odtok. Kromě toho je překážkou pro klíčení rostlin, zabraňuje rovnoměrnému vzcházení a tím způsobuje nevyrovnanost porostu (JANEČEK, 2002).

Tyto skutečnosti mají značný vliv na celkový obsah vody v půdě dostupné pro rostliny a na přirozený produkční potenciál půd. Tím, že dochází neustále ke snižování mocnosti původního přirozeného povrchového horizontu, dostává se prioráváním stále více jílovitého materiálu podorničí do orníční vrstvy, takže obsah přijatelné půdní vody se snižuje. V obnaženém podorničí dochází k rozplavování půdní struktury. Tím se snižuje propustnost pórů, provzdušenost (s tím souvisí omezení edafonu), infiltrace a zvyšuje se objemová hmotnost. Takto poškozena půda je daleko náchylnější ke zhutňování a k ztvrdnutí. Zhutnění vede ke snížení pórovitosti a zvýšení objemové hmotnosti. Ztvrdnutí je problémem půd s vysokým obsahem jílu podporujícího vznik anaerobního prostředí (ibid.).

Vede-li naopak eroze k obnažení podorničí s vyšším obsahem písčitých částic než v přirozeném originálním povrchovém horizontu, dochází ke snižování celkového obsahu pórů, velikost pórů se zvětšuje, ale podobně jako u podorničí s vyšším obsahem jílu dochází ke snížení obsahu vody dostupné pro rostliny, i když z jiných příčin (důvodem není její poutání kapilárními silami, ale především výpar a průsak do spodiny). Protože dochází ke zvýšení infiltrace, povrchový odtok není tak velký jako u podorničí s vyšším obsahem jílu. Celkový přírůstek zvýšené infiltrační schopnosti a snížení povrchového odtoku je však u půd s vyšším obsahem písčitých částic v ornici vyšší než nepříznivé účinky z celkově nižšího, rostlinám dostupného, obsahu vody v půdě.

Eroze půdy má vliv i na chemické vlastnosti půdy:

- snižuje obsah organické hmoty a humusu v půdě
- snižuje obsah minerálních živin v půdě
- obnažuje podorničí s nízkou přirozenou úrodností a vyšší kyselostí.

Eroze snižuje obsah organických látek v půdě dvěma způsoby:

a) v důsledku ztráty povrchové vrstvy půdy (ornice) se snižuje celkový obsah organických látek, tzn. čím více je snižována její mocnost, tím nižší je obsah organických látek v něm obsažených;

b) vzhledem ke snižování mocnosti povrchové vrstvy půdy dochází při zpracování půdy k míšení podorničí a ornice, čímž dochází k „ředění“ obsahu organických látek.

Pomineme-li jako důsledek eroze obvykle nízký obsah organické hmoty v podorničí a změny objemové hmotnosti, pak při smyvu 1 cm z 1 ha klesá procento organické hmoty o 1/20 hodnoty před smyvem (FRYE a BENNET, 1985). Tento údaj pravděpodobně podhodnocuje ztráty organické hmoty vlivem eroze, neboť eroze má tendenci selektivně vymývat organické látky a jemnější půdní částice.

V erozním smyvu bývá daleko větší obsah organických látek a živin než v půdě, která byla erodována (Tab. 1.2 a 1.3).

Tab. 1.2 Složení erodovaného povrchového horizontu a erozního smyvu. (údaje jsou uvedeny v procentech hmotnosti.) (JANEČEK, 2002).

	Organická hmota	N	P	K	CaCO ₃ + MgCO ₃
povrchový horizont	3,3	0,16	0,02	0,01	1,0
erozní smyv	4,1	0,28	0,04	0,06	1,5

Tab. 1.3 Změna půdních vlastností černozemí vlivem plošné eroze (CABLÍK, JŮVA, 1963)

	původní půda	erodovaná půda
vodní jímavost	67,2 %	46,8 %
obsah humusu	14,6 %	0,6 %
obsah dusíku	0,49 %	0,16 %

FRYE (1985) rovněž cituje Barrowse a Killmera kteří došli k závěru, že významná ztráta organické hmoty působením eroze byla doprovázena ztrátou základních živin, hlavně dusíku (N) a fosforu (P). Na každou 1 tunu ztráty organické hmoty vlivem eroze připadá přibližně ztráta 60 kg N. Autoři dále uvádějí, že smyvem 1 cm půdy na 1 ha se ztratí 300 kg N. Ztráty organické hmoty erozí mají také vliv na efektivnost používání herbicidů. Herbicidy často poškozují úrodu na erodovaných půdách s nižším obsahem organických látek, i když jsou aplikovány v doporučených dávkách. Této skutečnosti jsou si vědomi výrobci herbicidů a proto návody na použití herbicidů doporučují dávky v závislosti na obsahu organické hmoty v půdě tak, aby mohly být bezpečně a efektivně využívány.

FRYE, BENNET a BUNTLEY (1985) uvádějí, že v humidních regionech, kde půdy podléhaly intenzivně vlivům klimatu jsou některé mikroprvky obsažené v minerálech vlivem klimatu, zvětváním a erozí odstraňovány z půdy. V těchto případech je organický materiál největším zdrojem živin. Např. v humidních regionech se síra vyskytuje v organickém materiálu, což platí stejně pro nižší koncentrace obsahu prvků B, Cu, Mo, Zn, protože doplňování živin půdou závisí na obsahu organického materiálu v půdě, klesá vlivem eroze zásobování živinami velmi rychle. Navíc koncentrace rostlinných živin je obvykle větší v erodovaném materiálu než na půdách, ze kterých byl tento materiál erodován.

Procesy eroze zvyšují kyselost půdy a potřebu vápnění těmito způsoby:

- odnosem ornice a obnažením kyselejšího podorničí;
- selektivním vymýváním bazických prvků (K, Ca, Mg);
- odplavováním aplikovaného Ca ještě před reakcí, která by neutralizovala kyselost.

Vliv eroze se nejvíce projevuje na půdách, kde má podorničí přirozené kyselejší reakci než ornice. I slabě erodované půdy jsou obvykle více kyselé a mají vyšší potřebu vápnění. Jedním z důvodů, proč erodované půdy mají vyšší potřebu vápnění, je vyšší pufrovací schopnost v důsledku přimíšení jílu do orní vrstvy.

Biologická degradace půd postižených erozí se projevuje hlavně jako důsledek snížení obsahu organické hmoty v půdě, zmenšení obsahu organického uhlíku a kvantitativním i kvalitativním úbytkem půdních mikroorganismů. V důsledku snižování přirozené produkční schopnosti půd erozí je nutné ji uměle zvyšovat nadměrnou chemizací. Nadměrným používáním chemikálií však dochází ke kvalitativnímu i kvantitativnímu úbytku mikroorganismu a celého edafonu, což je nepřímý důsledek působení eroze (LAL, 1994).

Rozsáhlé pokusy sledující vliv simulované eroze na množství a aktivitu hlízkových bakterií konstatují, že ztráta vrstvy půdy do 7,5 cm byla obvykle spojována se značným poklesem celkového množství hlízkových bakterií.

Při erozi se projevuje také selekce velikosti částic, ale obecně je zrnitostní složení smytého materiálu opouštějícího pozemek závislé na zrnitostním složení půdy, na které vznikl. Také při transportu a usazování dochází k podstatné velikostní selekci, ale složení sedimentu především určuje podíl jemného materiálu, jenž je k dispozici pro transport ve formě suspenze.

Převážná část splavenin pochází z eroze zemědělských půd, nicméně významně se podílí i eroze z ploch obnažených v důsledku stavební činnosti, eroze polních a lesních nezpevněných cest, koryt břehů vodních toků při povodních, vymílání zaplavené půdy, mechanizovanou těžbou dřeva poškozené lesní půdy a ztráty půdy ze sesuvu půdy apod. V některých povodích může smyv pocházející z těchto zdrojů daleko převažovat nad smyvem ze zemědělské (orné) půdy.

Velmi podrobně otázkou odtoku splavenin zabýval LOPATIN (1950), který došel k závěru, že průměrný specifický odtok splavenin z pevniny činí 134 t.km^{-2} za rok, při průměrné koncentraci nerozpuštěných látek v odtékající vodě $0,36 \text{ g.m}^{-3}$.

Vodní eroze půdy

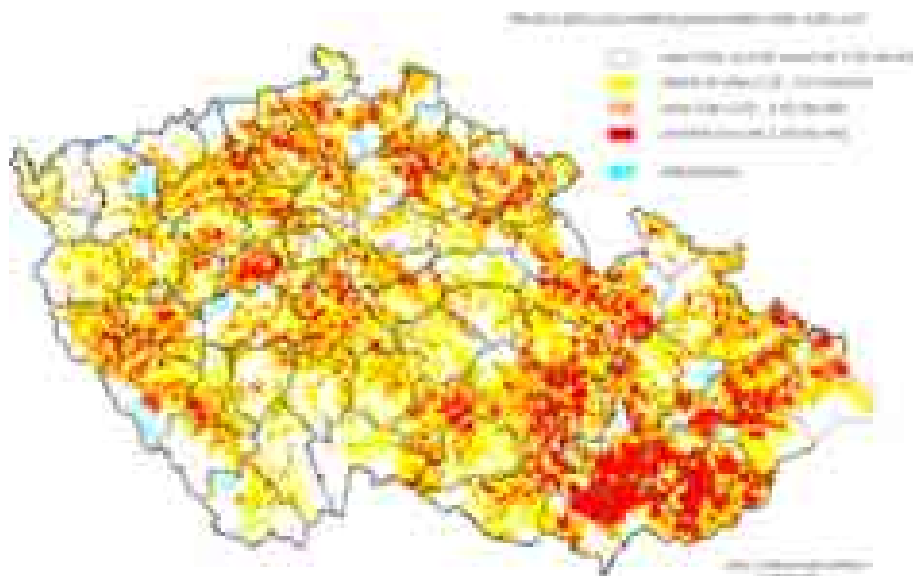
Dešťová eroze spočívá v rozrušování zemského povrchu dešťovými kapkami a povrchovým odtokem, podle formy se dělí na erozi plošnou, rýhovou, výmolovou a proudovou (SOBOCKÁ, 2007). Čím je půda skeletovitější, tím rychleji klesá intenzita vodní eroze. I přes předpokládanou aridizaci klimatu nelze tento typ eroze podceňovat. V ČR je takto ohroženo asi 50 % orné půdy.

Tab. 1.4 Ohrožení zemědělských půd v České republice vodní erozí (upraveno, JANEČEK, 1996).

kategorie ohrožení	tisíc hektarů	%
velmi slabé	130	3
Slabé	1 094	26
Střední	1 055	25
silné	729	17
velmi silné	484	11
extrémní	783	18
celkem	4 275	100

Roční ztráty (vyjádřené „pouze“ ve snížení zemědělské produkce vodní erozí) se v osmdesátých letech dvacátého století odhadovaly na přibližně 150 mil. Kč, další škody pak asi na 100 mil. Kčs (zanášení toků, poškození komunikací atd.) (PASÁK et al. 1984). Vezmeme-li v úvahu míru inflace a přepočteme-li tyto ztráty na ceny roku 2007, odpovídaly by tyto ztráty cca 708,5 mil. Kč, resp. 470 mil. Kč ročně (tj. nárůst o více než 470 % ve srovnání s rokem 1984, zdroj použitých dat ČSÚ). Problémem je fakt, že u nás nebylo zavedeno systematické pozorování splavenin, proto se celkový smyv odhaduje na 3,1 mil. tun ročně (za celou ČSSR). Z toho jen Labe odnáší ročně průměrně 1 mil. tun. Zásoba sedimentů v tocích byla v celé ČSSR odhadována na 450 mil. tun, s každoročním přírůstkem cca 1,7 mil. tun (PASÁK et al. 1984), toto množství bude však vzhledem k tehdejším nepřesným metodám stanovení i ke všeobecnému „zmírňování“ negativních zpráv za minulého režimu patrně podstatně vyšší.

K velkoobjemovému transportu erodovaného materiálu dochází zejména při povodních, kdy např. v červenci 1997 protékalo řekou Moravou ve Strážnici 328 000 tun plavenin, což je průměrné množství za celý rok (ČHMÚ, 1997). Při katastrofální erozní situaci ze stejného roku do vodárenské nádrže Šance ústím horní Ostravice protéklo 221 897 tun plavenin, což představuje 2,7 násobek sumy za období 1976–1990 (BUZEK, 1998).



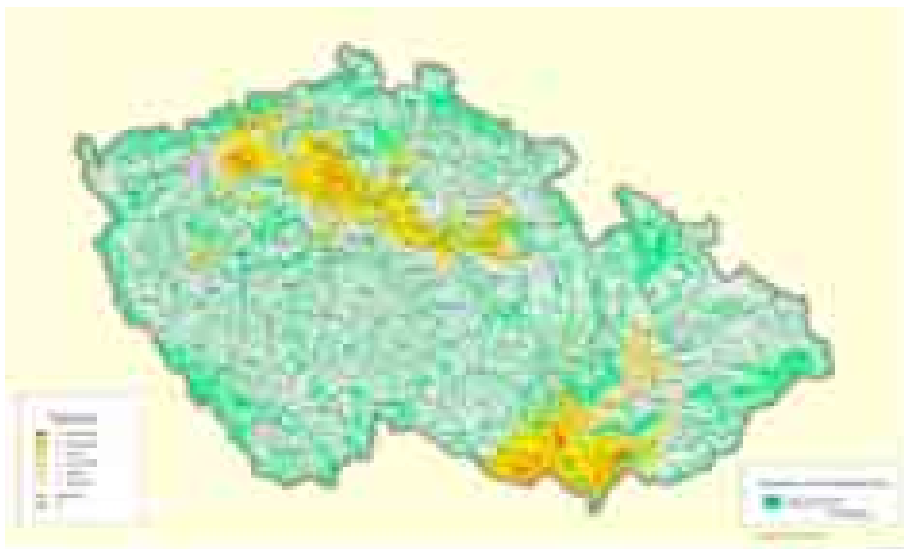
Obr. 1.3 Vodní eroze – současnost (Zdroj: VÚMOP)

Větrná eroze půdy

Větrná eroze působí škody rozrušováním půdního povrchu mechanickou silou větru (abrazí), odnášením rozrušených půdních částic větrem (deflací) a ukládáním těchto částic na jiném místě (akumulací). Procesem větrné eroze jsou na zemědělské půdě působeny škody odnosem ornice, hnojiv a osiv a ničením plodin. V praxi je intenzita větrné eroze a škody obtížně měřitelné (PASÁK et al. 1984), vhodná kvantifikační metoda nebyla dosud vyvinuta. Přibližně 7,5 % orné půdy v ČR je větrnou erozí přímo ohroženo.

Odhadovaný hraniční limit nad 2 t.ha⁻¹ za rok by mohl být vhodným prostředkem pro vymezení erozně ohrožených území. Větrná eroze nepředstavuje v současných podmínkách zesílené nebezpečí hrozby, avšak je třeba ji akceptovat v některých půdně-klimatických podmínkách. Limitní hodnota odnosu půdy při větrné erozi je 40 t.ha⁻¹ za rok.

Odhadovat rozsah přímých škod větrnou erozí můžeme ze zprávy Státní pojišťovny o náhradě škod na kulturách, kdy se v 80tých letech 20. století jen v Uherském Brodě a Uherském Hradišti náhrady pohybovaly kolem 300 000 Kčs (každoročně), při silné erozi dosahovala tato částka až 1 500 000 Kčs (PASÁK et al. 1984). Vezmeme-li v úvahu míru inflace a přepočteme-li tyto ztráty na ceny roku 2007, odpovídaly by tyto ztráty cca 1,4 mil. Kč ročně, resp. přes 7 mil. Kč v extrémních letech (tj. nárůst o více než 470 % ve srovnání s rokem 1984, zdroj použitých dat ČSÚ).



Obr. 1.4 Větrná eroze – současnost (Zdroj: VÚMOP)

Jak může ovlivňovat klimatická změna erozi půdy

Současný stav zemědělských půd náchylných na půdní erozi není uspokojivý. Vzhledem k předpokládané klimatické změně je možno očekávat, že ohrožení bude ještě větší. Předpokládá se výskyt náhlých klimatických událostí, meteorologických extrémů hlavně ve 40 a 50tých letech 21. století (nejnovější scénáře klimatické změny). Téměř všechny klimatické scénáře předpovídají časté extrémy počasí. Je proto potřeba sledovat a monitorovat limity (prahy) ohrožení a vypracovat komplexní opatření na eliminaci půdní eroze, včetně řešení ekologické stabilizace produkční krajiny.

Vodní eroze se nejvíce projevuje na jižní Moravě, ve východních a severních Čechách. I přes předpokládanou aridizaci klimatu nelze tento typ eroze podceňovat, protože v budoucnu se očekává častější výskyt extrémních meteorologických událostí typu přívalových dešťů a povodní. Téměř jistě proto nedojde ke snížení výměry půd ohrožených tímto typem eroze.

Větrná eroze se nejvíce projevuje na jižní Moravě a ve východních Čechách. Lze předpokládat, že při uvažované aridizaci klimatu, jež se projeví zejména v těchto oblastech dojde ke zvětšení výměry půd náchylných k větrné erozi a úměrně tomu poroste

i výměra půd bezprostředně ohrožených tímto typem eroze. Je proto možné reálně předpokládat, že výměra půdy přímo ohrožené větrnou erozí vzroste ze současných přibližně 7,5 % ZPF na přibližně 10–20 % výměry ZPF, úměrně tomu porostou škody způsobené tímto typem eroze.

1.2.1 Opatření proti vodní erozi

Protierozní ochranu je třeba realizovat jako komplexní systém, v daném území ji řešit variantně a z řešených variant zvolit variantu nejvhodnější z hlediska záboru půdy, finančních nákladů na realizaci a následný provoz protierozních opatření i z hlediska účelového stupně protierozní ochrany. Obecně lze konstatovat, že efektivní návrh systémů protierozní ochrany musí spočívat v zachycení povrchově odtékající vody na chráněném pozemku, převedení co největší části povrchového odtoku na vsak do půdního profilu a snížení rychlosti odtékající vody. Snížení půdního smyvu lze dosáhnout protierozními opatřeními:

- organizačními
- agrotechnickými a vegetačními
- bio/technickými

Organizační protierozní opatření spočívají v celkovém pojetí využívání krajiny. Jedná se především o rozdělení využívaných ploch podle svažitosti.

Agrotechnická protierozní opatření jsou jednodušší, levnější, mohou být dočasného charakteru směřována pouze k jedné erozně náchylné plodině. Lze je uplatnit jako doplněk technických protierozních opatření. Mezi tato opatření je možno zařadit protierozní organizaci pastvy, využití strniskových meziplodin, vrstevnicové (konturové) obdělávání pozemků, pásové střídání plodin, protierozní oseední postupy, technologie bezorebného zpracování půdy, rozory a mulčování.

K bio/technickým protierozním opatřením řadíme terasování, záchytné a svodné příkopy, cestní síť a příkopy, zatravněné pásy podél vodotečí, obdělávatelné a zatravněné průlehy - zatravněné údolnice a záchytné nádrže.

Z hlediska finančního jsou organizační a agrotechnická protierozní opatření finančně i realizačně nejjednodušších, dražší a náročnější jsou opatření technického charakteru (DUMBROVSKÝ a kol., 2003). Podrobnější popis dále analyzovaných protierozních opatření je součástí

Organizační opatření

K nejjednodušším protierozním opatřením se řadí zásahy organizačního charakteru. Vycházejí především ze znalostí příčin erozních jevů a zákonitostí jejich rozvoje a vyúsťují v obecné protierozní zásady, jako jsou: včasný termín výsevu plodin, výsev víceletých píceňin do krycí plodiny, posun podmítky do období s nižším výskytem přívalových dešťů, tzn. na září, zařazování bezorebně setých meziplodin a rozmístění plodin podle svažitosti pozemku.

Důležitou roli v protierozní ochraně půdy sehrává vegetační pokryv, který působí proti erozi několika směry: chrání půdu před přímým dopadem kapek, podporuje vsak dešťové vody do půdy a svými kořeny zvyšuje soudržnost půdy, která se tak stává odolnější vůči účinkům stékající vody. Těchto vlastností, které se různí podle typu plodiny, lze využít při výběru organizačních opatření s protierozním účinkem.

Agrotechnická opatření (protierozní agrotechnika, PEAGT)

Nejvíce podléhá erozi půda bez vegetačního pokryvu. Agrotechnická protierozní opatření jsou proto založena na minimalizaci času, kdy je půda bez vegetačního krytu. K protierozní ochraně půdy lze cíleně využívat posklizňové zbytky plodin a biomasu meziplodin, infiltrace vody do půdy by neměla být omezena výskytem zhutněných vrstev

v půdním profilu. Rizikovým je z hlediska vodní eroze jednak období tání sněhu a zejména období nejčastějšího výskytu přívalových srážek (červen – srpen).

Na počátku období se zvýšenou pravděpodobností výskytu přívalových dešťů vykazují nedostatečnou pokrývnost povrchu půdy širokořádkové a erozně nebezpečné plodiny: kukuřice, slunečnice a okopaniny (brambory, cukrová řepa). Vzhledem k velké výměře pěstované kukuřice je využití účinných agrotechnických protierozních opatření při pěstování této plodiny zvláště aktuální. Ke konci období výskytu přívalových dešťů jsou ohroženy zejména pozemky oseté ozimou řepkou. Přínosem k protierozní ochraně může být využití některé z minimalizačních technologií zpracování půdy.

Za velmi účinné protierozní opatření jsou považovány technologie ochranného zpracování půdy. V těchto technologiích je využíváno místo orby mělké kypření půdy, v případě potřeby i hlubší prokypření ornice či části podorničí dlátovými kypřiči bez obracení zpracovávané vrstvy půdy. Přes uvedené skutečnosti je možné i u technologií s orbou přispět alespoň k částečnému snížení škod způsobovaných vodní erozí. Při orbě na svažitéch pozemcích je nutné dodržet známé pravidlo o jízdách strojní soupravy ve směru vrstevnic (nebo ve směru blízkém směru vrstevnic) a klopení skýv proti svahu, což umožňují oboustranné otočné pluhu. Po orbě k jarním plodinám má význam ponechat přes zimu hrubou brázdou, která může omezit povrchový odtok vody z tajícího sněhu, zejména dodržela-li se zásada vrstevnicové orby. Agrotechnická opatření zejména zahrnují půdoochranné obdělávání s protierozní orbou a protierozní setí a pěstováním erozně nebezpečných plodin.

Bio/technická protierozní opatření

Při řešení protierozní ochrany v konkrétním povodí nejsou samostatně použita agrotechnická a organizační opatření schopna ve většině případů podstatně omezit povrchový odtok. Proto je nezbytné rozdělit svažité plošně značně rozsáhlé pozemky s neúměrnou délkou svahu protierozními opatřeními (zejména záchytnými prvky liniového charakteru) a spolu s realizací nových svodných prvků vytvořit v povodí odpovídající síť nových hydrolinií. Technické prvky (v případě doplnění liniových prvků doprovodnou zelení mají charakter prvků biotechnických) však není možno navrhnout izolovaně, pouze dle výpočtu limitní šířky pásu (zcela by to znemožňovalo zemědělskou činnost v často sklonitém, vertikálně a horizontálně členitém území České republiky). Technická opatření se v povodí navrhuje jako základní prvek komplexního systému protierozních opatření, který je nutno vhodně doplnit prvky organizačními a agrotechnickými.

Technické liniové prvky protierozní ochrany jsou trvalou překážkou přerušující délku a napomáhající rozptýlení povrchového odtoku. Jsou navrhovány tak, aby svou lokalizací určovaly směr obdělávání pozemků a způsob hospodaření zemědělských subjektů. Vedle základní protierozní funkce mají spolu s doprovodnou dřevinou zelení velký význam i z hlediska krajinně estetického a ekologického. Systém liniových protierozních prvků v kombinaci se zelení může fungovat v krajině i jako nezbytná součást lokálních biokoridorů a tvořit tak základ územních systémů ekologické stability krajiny. Komplexně pojatá protierozní ochrana povodí by měla zejména v rámci realizace schváleného projektu pozemkových úprav sledovat tři základní cíle: maximální podpora infiltrace vody do půdy, omezení soustředění odtoku do stružek, tzn. podpora rozptýlení odtoku a zpomalení a odvedení povrchového odtoku bez odnosu zeminy.

Mezi bio/technická protierozní opatření zahrnujeme:

- Protierozní meze, průlehy a příkopy, polní cesty s protierozní funkcí (PMEZ)
- Stabilizace drah soustředěného odtoku (SDSO)
- Zasakovací pásy (ZPAS)



Obr. 1.5 Dráha soustředěného odtoku před a po stabilizaci.

Demonstrace vlivu klimatické změny na půdní erozi [3]

Předmětem této studie bylo srovnání „minulých“ (tj. kalkulujících s nesprávnou hodnotou R-faktoru = 20), nově navrhovaných (tj. s hodnotou odpovídající středoevropskému průměru R-faktoru = 50) a pro budoucnost modifikovaných hodnot R-faktoru (odstupňovaných v 10ti bodovém kroku až po R = 80) jako součásti Wisheier–Smithovy rovnice, do které vstupuje šest základních faktorů. Tato rovnice, někdy zmiňovaná jako univerzální rovnice pro stanovení ztrát půdy (USLE, tj. Universal Soil Loss Equation) má tento tvar:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad [\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}],$$

kde: G je průměrná roční ztráta půdy,
 R je faktor erozní účinnosti deště,
 K je faktor náchylnosti půdy k erozi,
 L je faktor délky svahu,
 S je faktor sklonu svahu,
 C je faktor ochranného vlivu vegetace,
 P je faktor vlivu protierozních opatření.



Obr. 1.6 Základní schéma erozního procesu

Povětrnostní podmínky stanoviště tedy reprezentuje R-faktor (faktor erozní účinnosti deště), který byl v USA odvozen na základě velkého množství dat o dešťových srážkách. Data ukazují, že jsou-li ostatní faktory USLE konstantní, je ztráta půdy z obdělávaného pozemku

přímo úměrná součinu celkové kinetické energie přívalového deště (E) a jeho maximální 30ti minutové intenzity (I_{30}):

$$R = E \cdot i_{30}/100 \quad /MJ.ha^{-1}.cm.h^{-1}/,$$

kde R je faktor erozní účinnosti deště $/MJ.ha^{-1}.cm.h^{-1}/$,
 E je celkové kinetická energie deště $/J.m^{-2}/$,
 i_{30} je max. 30minutová intenzita deště $/cm.h^{-1}/$.

R-faktor erozní účinnosti srážek tedy závisí na četnosti výskytu srážek, jejich kinetické energii, intenzitě a úhrnu.

Vznik hlubokých erozních rýh a množství usazeného sedimentu po výrazně intenzivních srážkách vedlo k závěrům, že významné erozní jevy jsou spojeny pouze s několika málo přívalovými dešti a jsou funkcí pouze jejich maximálních intenzit. Avšak podle WISCHMEIERA a SMITHE (1978) více než 30tiletá měření v mnoha místech USA ukázala, že toto tvrzení neplatí. Prokázalo se, že faktor deště používaný k určení průměrné roční ztráty půdy musí zahrnovat vliv jak výjimečných srážkových událostí (intenzivních přívalových dešťů), tak středně intenzivních srážek.

Roční hodnota faktoru R se určuje z dlouhodobých záznamů o srážkách a představuje součet erozní účinnosti jednotlivých přívalových dešťů, které se v daném roce vyskytly, přičemž se neuvažují deště s úhrnem menším než 12,5 mm a pokud v průběhu 15ti minut nespadlo alespoň 6,25 mm a musí být oddělené od ostatních dešťů dobou delší než 6 hodin.

Pro Českou republiku byla průměrná hodnota faktoru erozní účinnosti deště $R = 20 MJ.ha.cm/hod.rok^{-1}$ určena na základě dlouhodobé řady pozorování srážek ve stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ) Praha-Klementinum, Tábor a Bílá Třemešná s tím, že k výpočtu R-faktoru byly použity deště s úhrny sníženými o 12,5 mm.

Dlouhodobé rozdělení průměrné roční hodnoty R-faktoru během roku je uvedeno v Tab. 1.5. Z rozdělení vyplývá, že v období červen – srpen se vyskytne přes 80 % erozně nebezpečných dešťů a proto je ochrana půdy zejména vegetačním pokryvem v těchto měsících nejdůležitější.

Tab. 1.5 Průměrné rozdělení faktoru R do měsíců vegetačního období v ČR (dle pozorování 13 stanic ČHMÚ)

Měsíc	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
% faktoru R	0,5	10	23	32	27	7	0,5

Dosažením odpovídajících hodnot faktorů šetřeného pozemku do univerzální rovnice (USLE) se určí dlouhodobá průměrná ztráta půdy vodní erozí v $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ z tohoto pozemku při uvažovaném způsobu jeho využívání. Porovnává se s přípustnou ztrátou půdy. Porovnání slouží jako výchozí podklad pro návrh druhu protierozního opatření.

Ačkoli se v současnosti uvažuje jako průměrná hodnota R-faktoru = 45, která se blíží realitě více než předchozí průměrný R-faktor = 20, stále neexistuje detailní a přesná mapa isoerodent. S využitím nově zpracovaných dlouhodobých řad ombrografických záznamů ze širšího souboru stanic ČHMÚ než v minulosti a provedením důkladnějšího metodického rozboru erozní účinnosti srážek se v současné době zpracovává přesnější stanovení R-faktoru pro území České republiky; očekávají se podstatně vyšší hodnoty, odpovídající více hodnotám odvozeným pro okolní státy středoevropského regionu, které se pohybují průměrně okolo R-faktoru = 50. Tato hodnota bude samozřejmě znamenat vyšší erozi a tím také vyšší nároky na protierozní a protipovodňová opatření (JANEČEK a kol., 2002).

R-faktor (faktor erozní účinnosti deště) můžeme pomocí scénářů klimatické změny pozměnit a získat tak představu o možné půdní erozi v budoucnosti. Protože nové a přesnější

regionální modely změny klimatu pro Českou republiku budou k dispozici až koncem roku 2008, postačí pro hrubou představu orientační výsledek modifikace srážkových dat ze stanice Svatouch (kraj Vysočina).

Tato orientační modifikace byla provedena v rámci této zprávy na VÚZE (pobočka Brno) za použití srážkových dat (denních úhrnů) z období 1960-2001 ze stanice Svatouch (kraj Vysočina) laskavě poskytnutých Ministerstvem životního prostředí ČR. Protože k dispozici nebyly údaje o intenzitě srážek (a pro účel orientační modifikace pro budoucnost nebyla takto detailní data ostatně ani zapotřebí), byla pro odhad R-faktorů (současných i v budoucnosti očekávaných) použita zjednodušená rovnice podle Pretla:

$$R = 0,068 H_R + 4,28 \quad /MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}/,$$

kde H_R je roční úhrn srážek /mm/.

V současnosti, kterou zde reprezentují průměrné denní srážkové úhrny za období 1960-2001, je možno říci, že průměrný R-faktor pro okolí srážkoměrné stanice Svatouch (kraj Vysočina) odpovídá hodnotě $R = 56,5 MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$, přičemž rozsah hodnot kolísá od minimálních 42,6 po maximální 70,2.

Denní srážkové úhrny byly modifikovány pomocí koeficientů doporučených na webových stránkách projektu VaV/740/1/01. Scénáře změny klimatu byly podle zadání projektu VaV/740/1/01 vytvořeny na základě výstupů modelu HadCM3. K dispozici byly experimenty vycházející ze čtyř emisních scénářů: emisní scénář IS95a GG, IS95a AA, SRES-A2, SRES-B2. Scénáře změny klimatu jsou založeny na porovnání ročních chodů měsíčních průměrů (úhrnů) klimatických veličin pro období 2036-2065 a 1961-1990. Hodnoty koeficientů očekávaných změn atmosférických srážek pro období let 2036-2065 zachycuje Tab. 1.6.

Tab. 1.6 Koeficienty pro přepočtení měsíčních srážkových úhrnů v současnosti na srážkové úhrny očekávané v letech 2036-2065 (zdroj: <http://www.chmi.cz/nkp/nkp.html>).

měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
průměrný koeficient	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9	1	1,1	1,1

Vynásobíme-li denní úhrny srážek koeficientem podle příslušného měsíce, dostaneme v průměru taková srážková data, jaká pro blízkou budoucnost předpokládá klimatický model projektu VaV/740/1/01. Podle této orientační úpravy můžeme vypočítat nový, „budoucí“ R-faktor. Dá se očekávat, že v letech 2036-2065 bude v blízkosti lokality stanice Svatouch průměrná hodnota erozní účinnosti deště (R-faktor) o 2 body vyšší než v současnosti, tedy 58,6 (s odhadovanou maximální hodnotou 72,0 a minimální 44,56) $MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$.

Hodnota R-faktoru ročně kolísá, na ní je pak závislé množství erodované půdy; nicméně takto demonstrováný nárůst erozní účinnosti dešťů za pouhých 30 (!) let dostatečně ilustruje vliv klimatické změny na půdní erozi. Přesnost použitého modelu změny klimatu je dnes již považována za nedostatečnou, avšak trend, který zde byl naznačen, je s vysokou pravděpodobností správný. Nemůžeme se jistě spokojit s budováním protierozních opatření (PEO) pouze proti průměrným srážkám (R-faktor = plus mínus 50), neboť vzhledem k očekávanému nárůstu extrémních meteorologických jevů v budoucnosti je pravděpodobné, že budeme častěji čelit mnohem vyššímu riziku eroze (reprezentovanému R-faktory vyšším než 70). Jelikož je přímé řízení erozní účinnosti deště člověkem vyloučeno, zbývají PEO jako jediné adaptační opatření proti půdní erozi způsobené srážkovými vodami.

Popis použité metody kvantifikace vodní eroze s využitím USLE

Pro účely této zprávy byla vypracována studie hodnotící vliv klimatické změny na půdní erozi. Pro stanovení eroze (výpočet průměrné roční ztráty půdy z pozemku) byla použita rovnice Wischmeier–Smithova (USLE) při srovnání „minulých“ (tj. kalkulujících s nesprávnou hodnotou R-faktoru = 20), nově navrhovaných (tj. s hodnotou odpovídající středoevropskému průměru R-faktoru = 50) a pro budoucnost modifikovaných hodnot R-faktoru (odstupňovaných v 10ti bodovém kroku až po R = 80). Modelově byla analyzována potřeba návrhu opatření v jednotlivých variantách na příkladu zemědělsky využívaných půd v povodí Bílého Potoka (po soutok se Svratkou). Toto povodí bylo zvoleno nejen pro svou blízkost k výše analyzované stanici Svratouch (737 m n/m, roční průměrná teplota 5,7 °C a roční průměrný úhrn srážek 761,5 mm podle dlouhodobých normálů 1961-1990, celková plocha zemědělské půdy v tomto povodí je 5 333,67 ha), ale také pro poměr zastoupení jednotlivých typů využití půdy, který je možno považovat za typický pro venkovskou krajinu v podhůří, kterou je možno označit za v České republice převládající typ.

Při posuzování míry ohroženosti pozemků je třeba vycházet nejen ze stavu obhospodařování půdy na jednotlivých pozemcích, ale i z posouzení většího územního celku (týkající se zejména reliéfu terénu), kam vyšetřované pozemky patří, tzn. celého povodí, příp. dílčího povodí. Metoda vychází z univerzální rovnice Wischmeier – Smith (USLE: Universal Soil Loss Equation), jejíž faktory se stanoví pomocí těchto podkladů:

- mapy s vyznačením izohyet faktoru erozní účinnosti deště R,
- ze zjištěného klimatického regionu, stavu navrženého střídání plodin na jednotlivých pozemcích pro stanovení faktoru C,
- základní mapa ČR 1:10 000 – digitální ZABAGED, DMT pro zjištění LS faktoru,
- mapy KPZP 1:10 000 a digitální mapy BPEJ 1:5 000 pro určení faktoru K faktoru,
- terénních pochůzek.

Zdrojová data

- Základní vodohospodářská mapa 1:10000 (rozvodnice povodí, vodní toky a plochy)
- BPEJ
- LPIS (RPB)
- Lesní porosty, bezlesí, další a ostatní lesní pozemky
- Digitální model terénu (DMT, odvozen z vrstevnicového zákresu 1:10000 do gridu 10 m nebo případně z jiných, obvykle méně přesných zdrojů (DMÚ 25 aj.)
- Významné prvky mimo ZPF a PUPFL (silnice, železnice, intravilán a ostatní půda)
- Ochranná pásma vodních zdrojů

Odvozená data

- Sklonitost terénu (průměrná sklonitost terénu na grid)
- Vrstva pokryvu (odvozeno z LPIS, lesů a významných prvků mimo ZPF a PUPFL)
- Hydrologické skupiny půd (HSP)
- K-faktor (odvozen zjednodušeně z kódu hlavní půdní jednotky dle převodní tabulky)
- Hloubka půdy (odvozena zjednodušeně z kódu BPEJ dle převodních tabulek)

Pomocná data

- Aktuální ortofotomapa ve vegetačním období (rozlišení min. 1m)
- Základní mapa 1:10 000
- Mapy KPZP 1:10 000

Základní podkladové materiály pro řešení návrhu opatření v ploše povodí, zejména protierozní a protipovodňové ochrany (PEO) je nutno v rámci zpracování plánu společných zařízení po doplnění přesným výškopisným a polohopisným zaměřením navržených tras navržených liniových prvků PEO upřesnit. Doplnění přesných výškopisných a polohopisných

podkladů je zejména třeba ve vertikálně a horizontálně členitých územích, kde na přesném vymezení trasy závisí funkčnost liniových prvků PEO. Vynechání či opomenutí tohoto důležitého podkladu by mohlo mít závažné následky při realizaci.

Analýza faktorů ovlivňujících erozní a odtokové poměry v povodí Bílého potoka

Faktory vstupující do rovnice USLE byly analyzovány systémem uvedeným ve schématu na obrázku 1 (PŘÍLOHA 1B). Pro potřeby studie jsou uvedeny v grafickém zobrazení; tyto obrázky jsou rovněž obsahem PŘÍLOHY 1B.

Pro GIS aplikace zjišťování geomorfologických a topografických faktorů ovlivňujících erozní a odtokové poměry byly použity systémy hydrologických nástrojů ArcGIS, který nabízí v sestavě s hydrologickými nástroji specializovaný modul využitelný v oblasti návrhu opatření v ploše povodí. Jedná se o grafickou početní aplikaci zaměřené na stanovení základních geomorfologických faktorů ovlivňujících odtokové poměry v povodí a půdního smyvu pracující podobně jako některé další nadstavby digitálního modelu terénu v prostředí hydrologických extenzí ArcGIS.

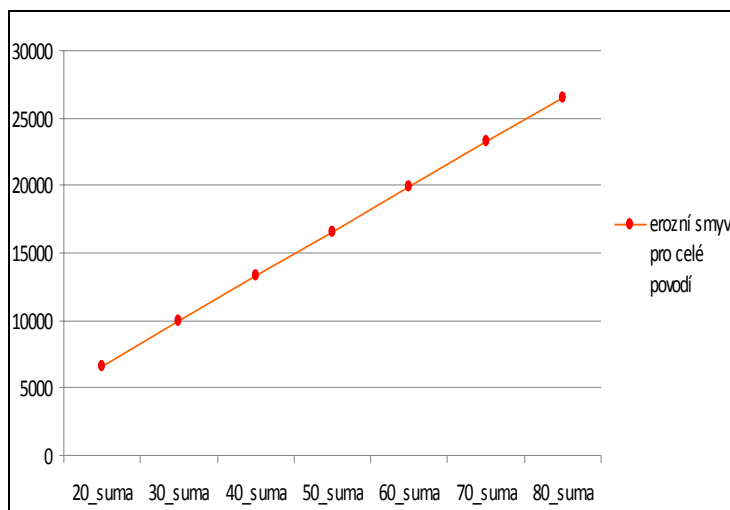
Testování změny intenzity eroze, změny rozlohy ohroženého území v závislosti na zvýšení R-faktoru stupňováním po 10 od R = 20 do hodnoty R = 80

Změna intenzity eroze v závislosti na zvýšení R-faktoru byla testována jeho stupňováním po 10ti bodech na zemědělsky obhospodařovaných plochách všech dílčích povodí obsažených v analyzovaném povodí Bílého Potoka, z nichž každé má vlastní identifikátor, tj. číslo hydrologického pořadí (ČHP).

Výsledné hodnoty erozního smyvu [t/ha.rok] vypočteného pomocí USLE vykazují lineární závislost na měnícím se R-faktoru (při zachování hodnot ostatních faktorů rovnice), což dokládá Obr. 1.7. Linearita této závislosti je však narušena, jsou-li v povodí aplikována vhodná protierozní opatření (PEO), čímž dojde ke změně některých faktorů (viz. výše). Dokonalý návrh PEO v praxi není vždy možný (zejména s přihlédnutím k majetkoprávním vztahům k dotčeným pozemkům), nicméně dostupná technika dnes již umožňuje (časově i hardwarově náročné) provedení simulací pro každý jednotlivý pozemek zvlášť a tím dosažení optimálního protierozního efektu v krajině.

Tab. 1.7 Součtová tabulka erozních smyvů [t/ha.rok] dle ČHP v závislosti na měnícím se R-faktoru

ČHP povodí	R20_suma	R30_suma	R40_suma	R50_suma	R60_suma	R70_suma	R80_suma
415010100	1 481	2 221	2 961	3 701	4 442	5 182	5 922
415010110	677	1 015	1 354	1 692	2 030	2 369	2 707
415010120	23	34	46	57	69	80	91
415010130	61	91	121	151	182	212	242
415010140	270	404	539	674	809	943	1 078
415010150	1 268	1 901	2 535	3 169	3 803	4 436	5 070
415010160	174	261	349	436	523	610	697
415010170	552	828	1 104	1 379	1 655	1 931	2 207
415010180	1 039	1 558	2 078	2 597	3 116	3 636	4 155
415010190	1 027	1 540	2 053	2 567	3 080	3 593	4 106
415010200	71	106	141	177	212	247	283
SUMA :	6640	9960	13280	16600	19920	23240	26560



Obr. 1.7 Celkové hodnoty erozního smyvu [t/ha.rok] v závislosti na R-faktoru – povodí Bílého potoka.

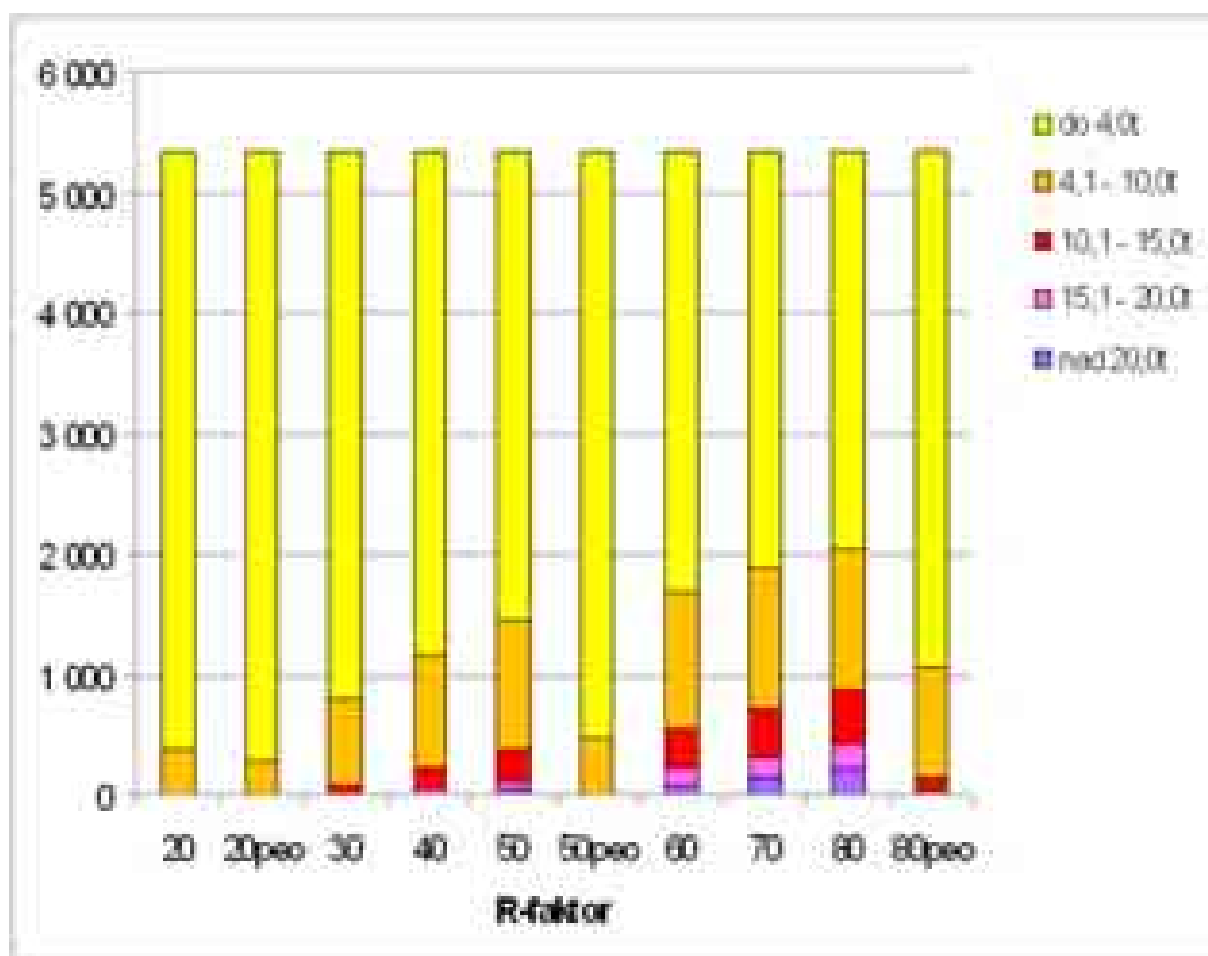
Vyhodnocení účinnosti navrhovaných protierozních opatření

Pro účely této studie byla stanovena hraniční hodnota přípustného smyvu půdy na 4 t/ha a rok, ačkoli (jak bylo uvedeno v předchozí části), kritičtější autoři považují za přípustnou hranici erozního smyvu 2 t/ha/rok. Následující tabulky ilustrují změnu výměry ohrožených ploch dílčích povodí v povodí Bílého Potoka v závislosti na změně R-faktoru; Tab. 1.8 zachycuje celkové snížení ohrožených ploch po aplikaci PEO při R-faktorech 20, 50 a 80, Tab. 1.9 – 1.12 dokumentují přesun ohrožených ploch po aplikaci PEO do kategorie s nižším ohrožením a tím i snížení eroze.

Tab. 1.8 Výměra ploch dílčích povodí [ha] překračující přípustný erozní smyv 4 t/ha.rok

HLGP/R	20	20peo	30	40	50	50peo	60	70	80	80peo
415010100	47,3	43,1	125,1	217,4	309,7	101,1	391,5	462,9	523,9	289,0
415010110	33,1	26,6	78,7	120,2	152,2	45,1	178,3	201,2	221,4	117,8
415010120	0,0	0,0	0,3	1,3	3,1	0,3	5,2	7,2	9,1	3,2
415010130	2,8	2,8	5,0	6,9	9,3	3,9	11,8	13,9	15,9	9,9
415010140	20,0	17,3	36,9	49,1	58,3	19,3	65,5	71,6	76,0	37,2
415010150	90,5	55,7	192,7	263,3	309,1	130,4	341,2	363,8	381,3	228,5
415010160	9,3	10,7	22,2	33,0	40,4	16,4	46,4	51,9	56,2	33,6
415010170	38,5	29,9	63,4	83,1	100,5	24,9	114,0	125,2	133,9	54,1
415010180	83,5	61,4	149,2	195,0	226,9	68,9	250,8	268,6	282,2	121,7
415010190	47,5	37,6	113,1	173,7	225,9	66,3	266,8	299,6	325,3	153,0
415010200	4,1	1,3	8,7	12,5	15,0	4,4	16,8	18,2	19,6	7,4
suma	376,7	286,3	795,2	1 155,5	1 450,5	481,0	1 688,3	1 884,1	2 044,9	1 055,4

Graf na Obr. 1.8 znázorňuje žlutě plochy s přípustným smyvem, tj. plochy nevyžadující realizaci PEO ve vztahu k rostoucímu R-faktoru. Je třeba si uvědomit, že pokud neuvažujeme o masivním zatravnění / zalesnění krajiny, žádná navrhovaná PEO nesníží riziko půdní eroze dokonale.



Obr. 1.8 Hodnoty ploch povodí Bílého Potoka [ha] podle kategorií erozního smyvu.

Následující tabulky zachycují výsledky simulace rizika eroze na zemědělsky využívaných půdách v povodí Bílého Potoka aplikací modelového R-faktoru, a to variantně bez a s navrhovanými protierozními opatřeními. Jsou zde vyjádřeny rozdíly účinnosti v současnosti plánovaných a navrhovaných protierozních opatření pro současný i modelovaný stav s odhadem objemu nutných protierozních opatření pro modelovaný stav. Výsledky jsou tabelovány jako výčet ploch spadajících do definovaných kategorií erozního ohrožení před a po aplikaci PEO.

Tab. 1.9 Erozní smyv, R = 20, ha

ČHP/[t/ha.rok]	do 4,0	4,1 - 10,0	10,1 - 15,0	15,1 - 20,0	nad 20,0	suma (ha)
415010100	1317,32	44,41	2,51	0,29	0,04	1364,57
415010110	485,28	32,41	0,65	0,03		518,37
415010120	26,85	0,03				26,88
415010130	152,78	2,81	0,03			155,62
415010140	161,34	19,09	0,78	0,15		181,36
415010150	722,39	89,77	0,65	0,03	0,03	812,88
415010160	136,99	9,04	0,25			146,28
415010170	297,37	30,96	5,80	1,39	0,36	335,88
415010180	467,27	76,92	5,81	0,80		550,81
415010190	1111,91	46,11	1,26	0,14	0,03	1159,45
415010200	77,43	4,02	0,06	0,01		81,52
suma	4956,98	355,58	17,8	2,84	0,46	5333,67

Tab. 1.10 Erozní smyv po PEO, R = 20PEO, ha

ČHP/[t/ha.rok]	do 4,0	4,1 - 10,0	10,1 - 15,0	15,1 - 20,0	nad 20,0	suma (ha)
415010100	1 324,75	40,94	2,61	0,30	0,04	1 368,64
415010110	490,94	25,16	1,28	0,02		517,40
415010120	26,88					26,88
415010130	155,20	2,71	0,03			157,94
415010140	164,07	16,64	0,60	0,04		181,35
415010150	751,53	54,21	0,18			805,93
415010160	137,44	10,50	0,47			148,41
415010170	308,26	26,16	2,30	1,03	0,04	337,79
415010180	491,00	58,57	3,01	0,15		552,74
415010190	1 130,67	35,81	0,85	0,13		1 167,46
415010200	82,24	1,26	0,01	0,01		83,52
suma	5 063,03	271,98	11,34	1,68	0,08	5 348,12

Tab. 1.11 Erozní smyv, R = 50, ha

ČHP/[t/ha.rok]	do 4,0	4,1 - 10,0	10,1 - 15,0	15,1 - 20,0	nad 20,0	suma (ha)
415010100	1054,84	262,48	31,21	9,55	6,49	1364,57
415010110	366,14	119,13	23,81	6,64	2,64	518,37
415010120	23,78	3,06	0,03			26,88
415010130	146,29	6,49	2,01	0,66	0,17	155,62
415010140	123,02	38,32	11,93	5,46	2,63	181,36
415010150	503,80	218,58	69,58	17,15	3,75	812,88
415010160	105,86	31,12	6,68	1,68	0,93	146,28
415010170	235,37	61,99	16,71	8,84	12,95	335,88
415010180	323,88	143,39	52,31	17,65	13,56	550,81
415010190	933,56	178,34	34,05	9,12	4,35	1159,45
415010200	66,55	10,87	3,45	0,46	0,18	81,52
suma	3883,15	1073,83	251,78	77,22	47,66	5333,67

Tab. 1.12 Erozní smyv po PEO, R = 50PEO, ha

ČHP/[t/ha.rok]	do 4,0	4,1 - 10,0	10,1 - 15,0	15,1 - 20,0	nad 20,0	suma (ha)
415010100	1 258,58	94,86	5,08	0,88	0,28	1 359,69
415010110	465,56	43,90	1,21			510,67
415010120	26,05	0,28				26,33
415010130	152,19	3,38	0,34	0,13	0,07	156,11
415010140	161,99	18,05	0,98	0,15	0,07	181,24
415010150	680,26	126,80	3,49	0,08	0,01	810,64
415010160	128,96	15,71	0,59	0,10		145,36
415010170	312,22	23,95	0,97			337,14
415010180	483,50	67,03	1,76	0,05	0,05	552,40
415010190	1 093,92	65,09	1,07	0,12		1 160,21
415010200	78,65	4,42	0,02			83,09
suma	4 841,92	463,51	15,51	1,51	0,48	5 322,94

Z uvedených tabulek vyplývá, že ačkoli je závislost R-faktoru a eroze lineární (jak ostatně dokládá Obr. 1.7), míra účinnosti protierozních opatření se zvyšujícím se R-faktorem prudce roste. Je-li rozdíl mezi agrosystémy s a bez aplikovaných PEO při R = 20 roven 997 t (tj. cca 610 m³), pak při R = 50 jde již o rozdíl 9 735 t (tj. cca 6 084 m³), tedy snížení očekávané eroze na 85 % při R = 20, resp. 41 % při R = 50.

PEO mají zásadní vliv zejména na redukci výměry ploch ohrožených vyšším stupněm eroze: výměra ploch ohrožených erozí vyšší než 20 t/ha a rok klesla po aplikaci modelových PEO při R = 20 na 16,4 % (tedy byla snížena o 83,6 % - z 0,46 ha na 0,08 ha), při R = 50 byla tato výměra redukována dokonce o 98,99 % (ze 47,67 ha na 0,48 ha) a při R = 80 o 96,78 (z 216,09 ha na 6,96 ha), viz. Tab. 1.13.

Tab. 1.13 Výměra ploch [ha] odpovídající intervalům erozního smyvu.

	do 4,0 t/ha.rok	4,1 - 10,0 t/ha.rok	10,1 - 15,0 t/ha.rok	15,1 - 20,0 t/ha.rok	nad 20,0 t/ha.rok
20	4956,99	355,59	17,80	2,84	0,46
20PEO	5047,41	273,49	11,03	1,68	0,08
50	3883,16	1073,83	251,79	77,23	47,67
50PEO	4852,67	463,52	15,51	1,51	0,48
80	3288,78	1170,49	443,20	215,11	216,09
80PEO	4477,02	903,16	122,21	23,05	6,96

Vyhodnocení nákladů na odpovídající protierozní opatření

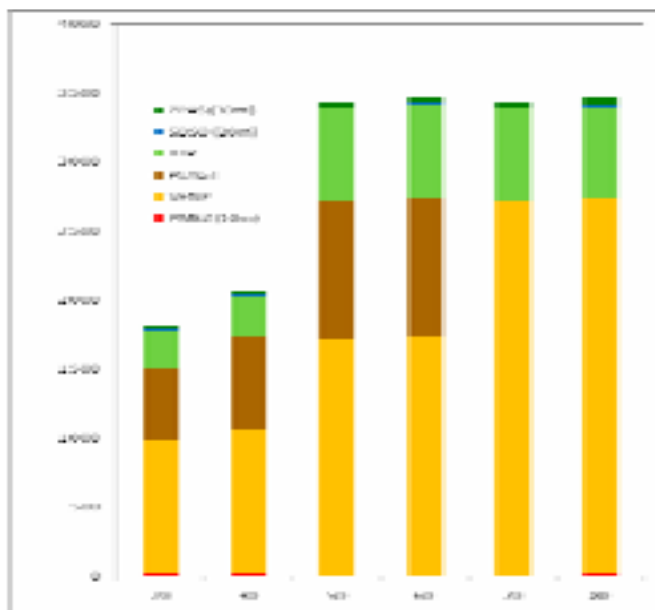
Hodnocení nákladů i přínosů PEO jako pravděpodobně jediných vhodných adaptačních opatření proti zvýšené vodní erozi způsobené očekávanou klimatickou změnou je velmi obtížné. Na straně nákladů stojí ztráta produkční plochy, zvýšené náklady na speciální agrotechniku nutnou pro obdělávání ohrožených ploch, ztráty zisku z produkce erozně nebezpečných širokořádkových plodin a v neposlední řadě také náklady na pozemkové úpravy, které jsou v mnoha případech nutné, aby bylo možno PEO realizovat jako společná zařízení. Finální náklady se tedy budou lišit povodí od povodí, zde se pokusíme načrtnout předpokládané ztráty na straně hospodařících zemědělských subjektů, došlo-li by k realizaci navrhovaných PEO v modelovém povodí Bílého Potoka. Projekční náklady nejsou zahrnuty.

Protierozní meze (PMEZ): Na základě PRV pro roky 2007 – 2013 byl stanoven náklad na zalesnění orné půdy listnatými porosty při tvorbě protierozních mezí částkou 110 250 Kč / ha (100% z poskytované podpory v opatření č. 221). Do nákladů na realizaci protierozních mezí nejsou započítány ztráty způsobené vynětím těchto ploch z produkce, ani sekundární náklady spojené s případnými pozemkovými úpravami.

Vynětí erozně nebezpečných plodin z osevních postupů (VENP): Ztráty způsobené vynětím erozně nebezpečných plodin byly stanoveny jako rozdíl vážených průměrů příspěvků na úhradu z produkce hlavních širokořádkových plodin (kukuřice na zeleno a siláž, brambory, řepa cukrová) a příspěvku na úhradu náhradních plodin (pšenice ozimá, ječmen jarní, řepka ozimá), což odpovídá ročně $23\ 004 - 8\ 750 = 14\ 254$ Kč/ha. Pro kalkulaci byla použita data let 2001 – 2005.

Protierozní agrotechnická opatření (PEAGT): Náklady na agrotechnická opatření byly modelově stanoveny podle dodatečných nákladů na výsev meziplodin (opatření PRV pro roky 2007 – 2013 č. 214, titul C2), které je ve výši 3 100 Kč za rok a ha orné půdy.

Protierozní zatravnění orné půdy (TTP, SDSO, ZPAS): Pro zatravnění OP (opatření PRV č. 214, titul C1.1) činí náklad na zatravnění hektaru orné půdy 8 050 Kč, kdy je částka kalkulována jako ztráta příjmu z produkce orné půdy (ztráta produkce OP – příjem z produkce trávy) + dodatečné náklady na zatravnění a dosev OP. Jelikož zejména v případě PEO SDSO (stabilizace drah soustředěného povrchového odtoku zatravněním) i zasakovacích pásů narůstají náklady o přesné vymezení dráhy odtoku (resp. vrstevnice), odhadujeme náklady v případě SDSO i ZPAS pro první rok na 10 000 Kč/ha. Do nákladů na realizaci protierozního zatravnění nejsou započítány sekundární náklady spojené s případnými pozemkovými úpravami.



Obr. 1.9 Výměra jednotlivých typů PEO pro R = 20 až 80 (ha)

Výměry ploch jednotlivých PEO v závislosti na modelované výši očekávaného R-faktoru zachycuje Obr. 1.9 a Tab. 1.14; jejich odhadované modelové náklady jsou obsahem Tab. 1.15.

Tab. 1.14 Výměra jednotlivých typů PEO pro R = 20 až 80, ha

R-faktor	PMEZ (10m)	VENP	PEAGT	TTP	SDSO (20m)	ZPAS (30m)
20	15,38	964,93	522,55	281,08	9,23	25,36
30	15,38	1 053,05	663,35	304,71	9,23	25,36
50	11,75	1 709,88	1 002,60	662,36	10,37	31,84
60	11,72	1 719,79	1 002,63	686,66	10,36	35,85
70	11,75	2 712,48	0,00	662,36	9,68	32,86
80	26,48	2 712,48	0,00	662,36	9,68	49,31

Tab. 1.15 Modelové náklady na jednotlivé typy PEO navrhované pro referenční povodí, R = 20 až 80, Kč.

R-faktor	PMEZ (10m)	VENP	PEAGT	TTP	SDSO (20m)	ZPAS (30m)
20	1 695 645	13 754 112	1 619 905	2 262 694	92 300	253 600
30	1 695 645	15 010 175	2 056 385	2 452 916	92 300	253 600
50	1 295 438	24 372 630	3 108 060	5 331 998	103 700	318 400
60	1 292 130	24 513 887	3 108 153	5 527 613	103 600	358 500
70	1 295 438	38 663 690	0	5 331 998	96 800	328 600
80	2 919 420	38 663 690	0	5 331 998	96 800	493 100

Při hodnotách R-faktoru vyšších než 70 již protierozní agrotechnická opatření (PEAGT) nemají význam a je proto třeba na dotčených plochách zcela vyloučit pěstování erozně nebezpečných (širokořádkových) plodin (VENP). Je zřejmé, že odhadovaná ztráta příjmu vynětím těchto plodin je majoritní složkou uvažovaných nákladů, proto (zejména pro spekulativní skutečnost, zda se na všech dotčených plochách skutečně tyto plodiny v praxi pěstují) zde uvádíme celkové náklady variantně jak se započtením této hodnoty, tak bez něj (Tab. 1.16). Nastíněná platba za vynětí širokořádkových plodin z pěstování na některých pozemcích v rámci opatření proti vodní erozi nicméně zůstává důležitou otázkou k diskusi; význam jejího řešení se pravděpodobně v souvislosti s očekávanou změnou klimatu v blízké budoucnosti přesune do popředí.

Tab. 1.16 Odhad modelových nákladů pro jednotlivé typy PEO pro R = 20 až 80, Kč

R-faktor	Varianta bez započítání VENP: Zřizovací náklady (1.rok)	Varianta bez započítání VENP: Náklady v dalších letech	Varianta se započítáním VENP: Zřizovací náklady (1.rok)	Varianta se započítáním VENP: Platby v dalších letech
20	5 924 144	4 161 049	19 678 256	17 915 161
30	6 550 845	4 787 750	21 561 020	19 797 925
50	10 157 595	8 779 848	34 530 225	33 152 478
60	10 389 996	9 007 756	34 903 883	33 521 643
70	7 052 835	5 674 445	45 716 525	44 338 135
80	8 841 318	5 806 867	47 505 008	44 470 557

Z tabulek je patrné, že pokud bychom chtěli odstranit negativní projevy eroze „pouze“ pro v současnosti typický rok (pro jednoduchost předpokládejme R = 50), musíme v modelovém povodí (výměra zemědělsky obhospodařovaných ploch 5 333,6 ha) počítat s náklady kolem deseti milionů Kč. Jak je vidět, uvedené náklady nemusejí být v případě hodnocení bez VENP výrazně překročeny ani při předpokladu vyššího R-faktoru, avšak návrh odpovídajících PEO se pro každou variantu liší – je proto třeba včas počítat s patřičnými (tj. vyššími) hodnotami erozní nebezpečnosti srážek (R-faktoru) a dimenzovat podle nich navrhovaná a realizovaná PEO. Tento poznatek je významným argumentem pro podporu výzkumu konkrétní podoby klimatické změny na našem území (tzv. regionálních modelů), ale také klade vysoké nároky na přesné zpracování návrhu PEO v závislosti na očekávaných klimatických podmínkách.

Vyhodnocení přínosů realizace navrhovaných protierozních opatření

Vyčíslení přínosu realizace navržených PEO je ještě obtížnější, neboť stanovení peněžité hodnoty 1 tuny ornice pro ekosystém je téměř nemožné. Přesto se alespoň pokusíme toto vyčíslení co nejpřesněji odhadnout. Ztráta svrchní půdní vrstvy je zřejmě nejviditelnějším dopadem půdní eroze. Při předpokládaném konstantním R-faktoru = 50 můžeme očekávat (v modelovém povodí Bílého Potoka) průměrnou nevratnou ztrátu svrchní vrstvy 3,1 t/ha, což při hustotě svrchní (a tedy nejsnáze erodovatelné) půdní vrstvy 1,6 t/m³ činí 0,19 mm ročně, přičemž aplikace navrhovaných PEO sníží tuto ztrátu na 1,3 t/ha a rok (resp. 0,08 mm), což za 100 let způsobí rozdíl 11,4 mm. Jelikož je tento proces téměř nevratný (návrat splavené zeminy zpět na pole je nejen nákladný, ale především velmi komplikovaný), je třeba uvážit PEO jako jediné vhodné řešení této situace. Extrémní hodnoty ztráty půdní vrstvy zjištěné v dílčích povodích pak při R = 50 vypovídají takto: v nejpříznivějších podmínkách (dílní povodí 415010130 s nízkými hodnotami sklonu a délky svahů) dosahuje rozdíl mezi agrosystémem bez a s PEO 0,03 mm za rok (tedy zanedbatelný rozdíl), avšak v případě povodí 415010180 byla zjištěna hodnota 0,2 mm za rok, tedy úbytek 20 mm půdního horizontu za 100 let, pakliže k PEO nebude přistoupeno. Přírozená obnova půdní vrstvy je již ve výpočtu zohledněna, neboť bylo při přípravě této studie přihlíženo pouze k erozi vyšší než 4 t na ha a rok. Sama o sobě dosti závažná ztráta svrchní vrstvy půdy v sobě zahrnuje další aspekty, které mohou ovlivnit hospodaření na takto postižených plochách. Správně provedená protierozní opatření snižují na únosnou (tj. přirozeně obnovitelnou) mez rizika poklesu půdní úrodnosti i ztráty významných živin. Bez těchto opatření by situace mohla vypadat přibližně takto:

Pokles půdní úrodnosti: Vyjdeme-li z údajů předchozí kapitoly, která udává pokles produkční schopnosti půd při odebrání 5 cm ornice erozí okolo 15 % a při odebrání 15 cm svrchní vrstvy půdy až 30 %, můžeme si představit možné ztráty způsobené poklesem produkční schopnosti zasažených půd a to přibližně v horizontu 500 (15% ztráta produkční schopnosti) a 1 500 (30% ztráta) let v průměrných podmínkách, resp. 250 – 750 let ve

zhoršených podmínkách. Protože se ale v budoucnosti dá očekávat R-faktor vyšší, zkrátí se tak náležitě (a jen obtížně odhadnutelně) také tento časový horizont. Je také třeba mít na paměti, že ztráta půdy, jakožto neobnovitelné suroviny, je nevratný a definitivní proces s mnohem hlubšími ekologickými souvislostmi, než je „pouhý“ pokles půdní úrodnosti.

Ztráta významných živin z půdy: Povrchový půdní horizont obsahuje pro rostliny nezbytné živiny, které jsou procesem eroze dislokovány do hlubších vrstev profilu či zcela mimo produkční plochy; příp. transformovány v rostlinami nepřijatelné formy. V rámci daného příkladu byly odhadovány ztráty hlavních živin, tj. dusíku (N), fosforu (P), draslíku (K) a hořčíku (Mg), v případě bez aplikace optimálních protierozních opatření, resp. množství těchto prvků, které správná aplikace ušetří. Odhady vychází z průměrné hodnoty utužení našich půd (1,5 t/m³), což znamená, že na 1 ha leží 3000 m³ ornice (tedy 4500 t půdy). Pak tedy množství 1 kg/ha odpovídá 222,2 mg/t, resp. 0,222 mg/kg půdy.

Celkový obsah dusíku v půdách je velmi rozdílný a kolísá nejčastěji od 0,05 - 0,5 %. V ornici vrstvě převážné části zemědělsky využívaných půd ČR je asi 98 % dusíku v organické formě (cca 9 t/ha), ovšem mineralizovaných a tím rostlinám přístupných forem jsou pouze 2 %, tedy asi 30 – 120 kg/ha v závislosti na ročním období a dalších faktorech, což odpovídá 6,67 – 26,67 mg/kg ornice. Za (pro rostlinnou produkci) kritický se obvykle považuje stav, kdy obsah minerálního dusíku v ornici klesne pod 8mg/kg (tedy 36 kg/ha). Přibližné obsahy draslíku, fosforu a hořčíku ve svrchní půdní vrstvě jsou popsány v Tab. 1.17, pro účely této studie byly použity hodnoty pro nízký, střední a vysoký obsah těchto prvků tak, jak je zachycuje Tab. 1.18.

Tab. 1.17 Průměrný obsah vybraných prvků v ornici vrstvě půd ČR (HLUŠEK, 1996).

obsah	FOSFOR (mg.kg ⁻¹)	DRASLÍK (mg.kg ⁻¹)			HOŘČÍK (mg.kg ⁻¹)		
		půda			půda		
		lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
nízký	do 50	do 100	do 105	do 170	do 80	do 105	do 120
vyhovující	51 - 80	110 - 160	106 - 170	171 - 260	81 - 135	106 - 160	121 - 220
dobrý	81 - 115	161 - 275	171 - 310	261 - 350	136 - 200	161 - 265	221 - 330
vysoký	116 - 185	276 - 380	311 - 420	351 - 510	201 - 285	266 - 330	331 - 460
velmi vysoký	nad 185	nad 380	nad 420	nad 510	nad 285	nad 330	nad 460

Tab. 1.18 Nízký, vysoký a střední obsah vybraných živinných prvků v ornici vrstvě půd (mg/kg).

	Dusík (N)	Draslík (K)	Fosfor (P)	Hořčík (Mg)
Nízký obsah	30	80	30	60
Vysoký obsah	120	400	130	310
Průměrný obsah	75	240	80	185

Tab. 1.19a a Tab. 1.19b zachycují kilogramy čistých živin na hektar a rok, které by při správně provedených protierozních opatřeních nebyly splaveny s půdou z orniciho horizontu. Pro výpočet takto ušetřené hodnoty čistých živin v půdě byly použity údaje o cenách minerálních hnojiv (KAVKA a kol., 2006), výsledky shrnuje Tab. 1.20.

Tab. 1.19a Odhad modelových ztrát dusíku a draslíku v případě bez aplikace protierozních opatření; zpracováno pro jednotlivé typy PEO pro R = 20 až 80, (kg/ha/rok).

R-faktor	Půda	Dusík (kg N/ha/rok)			Draslík (kg K/ha/rok)		
	ušetřeno kg/ha/rok	Nízký obsah	Vysoký obsah	Průměrný obsah	Nízký obsah	Vysoký obsah	Průměrný obsah
20	183,21	1,22	4,88	3,05	3,25	16,27	9,76
50	1 824,70	12,15	48,61	30,38	32,41	162,03	97,22
80	2 919,51	19,44	77,78	48,61	51,85	259,25	155,55

Tab. 1.19b Odhad modelových ztrát fosforu a hořčíku v případě bez aplikace protierozních opatření; zpracováno pro jednotlivé typy PEO pro R = 20 až 80, (kg/ha).

R-faktor	Půda	Fosfor (kg P/ha/rok)			Hořčík (kg Mg/ha/rok)		
	ušetřeno kg/ha/rok	Nízký obsah	Vysoký obsah	Průměrný obsah	Nízký obsah	Vysoký obsah	Průměrný obsah
20	183,21	1,22	5,29	3,25	2,44	12,61	7,52
50	1 824,70	12,15	52,66	32,41	24,3	125,58	74,94
80	2 919,51	19,44	84,26	51,85	38,89	200,92	119,9

Tab. 1.20 Průměrná cena kilogramu čistých živin v hnojivech běžně užívaných na území ČR, (Kč/kg).

Prvek	Referenční hnojivo	Prům. cena (Kč/t hnojiva)	Obsah čistých živin (kg/t hnojiva)	Kč/kg č.ž.
Dusík	Močovina 46 % N	6 400	460,0	14,0
Draslík	Draselná sůl 60 % K ₂ O	5 650	498,0	11,5
Fosfor	Superfosfát 18 % P ₂ O ₅	4 750	78,5	60,5
Hořčík	Kieserit 26 % MgO	6 150	395,0	15,5

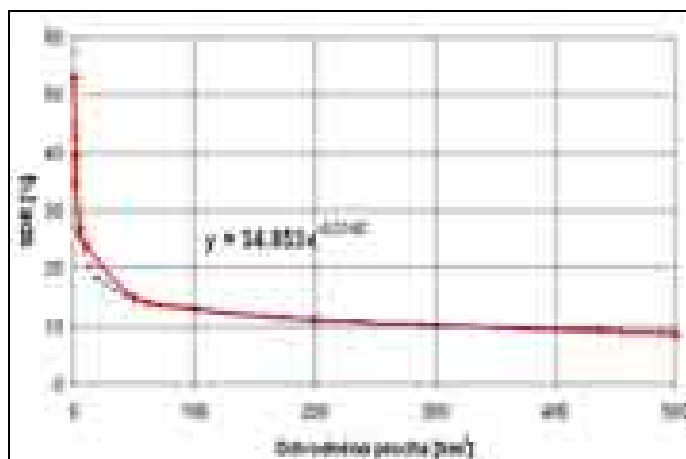
Takto získaná hodnota vybraných čistých živin byla použita pro odhad ceny živin, které by při správně navržených a provedených PEO nebyly odstraněny erozními procesy z povrchové půdní vrstvy. Tuto hodnotu zachycuje Tab.1.21 v závislosti na průměrném obsahu těchto látek v orníčních horizontech zemědělských půd ČR, a to jak v přepočtu na 1 ha zemědělské půdy, tak na celé sledované referenční povodí. Je třeba připomenout, že se jedná pouze o finanční hodnotu hmotnosti ušetřených čistých živin; částka nezahrnuje ani náklady na dopravu a mechanizaci použitou při aplikaci náhradních hnojiv na pozemky, ani zpracování plánu pro precizní zemědělství, který by byl pro správnou saturaci odplavených živin nezbytný.

Tab. 1.21 Hodnota ušetřeného množství čistých živin v Kč/ha i v Kč/plochu sledovaného povodí Bílého Potoka.

R-faktor	N, P, K, Mg (Kč/ha)			N, P, K, Mg (Kč/povodí BP)		
	Nízký obsah	Vysoký obsah	Průměrný obsah	Nízký obsah	Vysoký obsah	Průměrný obsah
20	166	771	468	885 897	4 112 114	2 496 979
50	1 655	7 676	4 666	8 825 316	40 945 411	24 886 977
80	2 647	12 282	7 465	14 120 965	65 513 708	39 816 923

Relativně snadno odhadnutelnou položkou hodnocení přínosu PEO jsou ušetřené náklady na odtěžení sedimentu ze dna vodních toků a nádrží. Jde o náklady na odtěžení, dekontaminaci (je-li nutná), transport a uložení půdních splavenin, které se dostaly do povrchových vod. Je třeba připomenout, že ačkoli je tato položka nezanedbatelná, jde až o dodatečný náklad, který navíc neřeší vzniklou erozní situaci na původním místě, tedy v agrosystému, ale pouze sanuje návazné škody na vodním ekosystému případně na vodohospodářských zařízeních. Konečná hodnota se liší podle mnoha činitelů, průměrně se v České republice pohybuje kolem 900 Kč/m³ sedimentu (expertní odhad).

Poměr odnosu splavenin (SDR), neboť o ten se nám zde jedná, tedy odpovídá $SDR = (\text{celková eroze} - \text{depozice v povodí}) / (\text{celková eroze})$. Prakticky by bylo možno určit SDR pro každé dílčí povodí sledovaného segmentu území ČR na základě morfologických charakteristik, nicméně pro tento příklad dostatečnou přesnost zajistí rozsah definovaný pomocí empirické rovnice ROBINSONA (1977), který udává pro malá povodí v mírném klimatickém pásu hodnotu SDR přibližně 25 – 55 % (Obr. 1.10).



Obr. 1.10 Empirický poměr odnosu splavenin (SDR) v závislosti na velikosti povodí (dle ROBINSONA, 1977).

Uvažujeme-li hustotu svrchní půdní vrstvy jako $1,5 \text{ t/m}^3$ a množství sedimentů, jež se vodní erozí ročně dostanou do povrchových toků jako 25 – 55 % erozí odneseného materiálu, můžeme říci, že v konkrétním případě sledovaného povodí Bílého Potoka pak optimální návrh a provedení protierozních opatření již v současnosti (tj. při R-faktoru 50) ušetří každoročně 1,5 – 3,2 mil. Kč, které by byly nutné pro financování odtěžení půdních sedimentů z povrchových toků; v očekávané budoucnosti ($R = 80$) pak 2,3 – 5,1 mil. Kč (viz. Tab. 1.22).

Tab. 1.22 Odhad úspory nákladů na odtěžení půdních sedimentů z povrchových vodních toků z povodí Bílého Potoka pro jednotlivé typy PEO pro $R = 20$ až 80, (Kč/povodí BP/rok).

R-faktor	Půda		Zabráněno odnosu do vodních toků (m ³ /ha/rok)		Náklady na odtěžení sedimentu (Kč/ha/rok)		Ušetřené náklady na odtěžení sedimentu celkem (Kč/rok)	
	ušetřeno celkem m ³	ušetřeno (m ³ /ha)	25%	55%	25%	55%	25%	55%
20	652	0,12	0,03	0,07	27	60	146 618	322 559
50	6 490	1,22	0,30	0,67	274	602	1 460 257	3 212 566
80	10 384	1,95	0,49	1,07	438	963	2 336 410	5 140 101

Propočítáme-li tuto teoretickou úsporu na hektar zemědělsky využívané půdy, pak ve sledovaném povodí při R-faktoru 50 ušetří správná aplikace protierozních opatření 0,3 – 0,67 m³ půdních sedimentů v povrchových tocích, což (vyjádřeno náklady na odtěžení a odvoz sedimentů) znamená roční úsporu 274 – 602 Kč/ha zemědělské půdy (viz. Tab. 1.22). V celém referenčním povodí pak (stále při R-faktoru = 50) tato částka činí 1,46 – 3,21 milionů Kč ročně.

Srovnání nákladů a přínosů protierozních opatření

V rámci tohoto projektu byly řešeny pouze hlavní náklady spojené s vybudováním a udržováním PEO v zemědělsky obhospodařované krajině. Náklady projekční a administrativní nebyly do kalkulací zahrnuty, podobně jako nebyla zohledněna všechna dílčí pozitiva správně navržených protierozních opatření a možné další ztráty v případě nevybudování odpovídajících protierozních opatření (mj. environmentální cena půdy atp.). Jak již bylo výše nastíněno, dalších přínosů PEO je celá řada; např. potřeba detailního výzkumu a kvantifikace jejich nepochybně významného vlivu na snížení rizika povodní i povodněmi způsobených škod je v souvislosti s cíli (vytyčenými např. i tímto projektem) stále potřebnější.

Erozi způsobené škody můžeme rozdělit na škody vzniklé přímo na místě, kde k erozi došlo (ztráta půdní hmoty a úrodnosti, škody na plodinách) a mimo taková místa. Mimomístní

rozlišujeme na škody ve vodních ekosystémech (biologické dopady zanášení toků spojené s eutrofizací a změnou rychlosti proudu, zanášení vodních cest atd.) a mimo ně (znečištění zdrojů pitné, užitkové i zavlažovací vody, zvýšení povodňových škod, sedimentace na nezemědělských pozemcích, v odvodňovacích i zavlažovacích příkopech, zanášení zařízení pro výrobu elektrické energie, atd.) (CLARK, 1985).

Přes to, že ne všechny výše uvedené aspekty této problematiky byly v této kapitole podchyceny, můžeme se odvážit jistého srovnání nákladů a přínosů správně provedených PEO, včetně škály jejich vzrůstajícího vlivu spolu s klimatickou změnou podmíněným nárůstem faktoru erozní účinnosti deště R od teoretické hodnoty 20 (užívané za minulého režimu) přes nyní pravděpodobnou průměrnou hodnotu $R = 50$, až po hodnotu $R = 80$, která přísluší v současnosti rokům s výskytem extrémních srážek, avšak která se v budoucnosti zřejmě stane běžnou realitou.

Zmíněné zřizovací/udržovací náklady v referenčním povodí Bílého Potoka byly odhadnuty pro současnost (v závislosti na aplikaci výplaty náhrad za vynětí širokořádkových plodin z pěstování) na 34,5/33,2 mil. Kč, resp. 10,1/8,8 mil. Kč ročně. V případě očekávaného zvýšení průměrného R -faktoru na hodnotu 80 (již dnes je v některých oblastech a letech dosahováno hodnot přes 65) pak tyto náklady představují 47,5/44,5 mil. Kč, resp. 8,8/5,8 mil. Kč ročně. Přínosy takovýchto opatření, na příkladu referenčního povodí Bílého Potoka kvantifikovány „pouze“ jako součet ušetřených nákladů za odtěžení půdních sedimentů ze dna vodních nádrží a toků (v současnosti 2,3 – 5,1 mil. Kč ročně v závislosti na sklonu pozemků) a hodnoty množství vybraných živin odplavených půdní erozí z agrosystému bez aplikace náležitých PEO (v současnosti 8,8 – 40,9 mil. Kč ročně v závislosti na obsahu těchto živin v „přirozené“ zemědělské půdě), v kombinaci s nevyčíslitelnou hodnotou půdy jakožto neobnovitelného zdroje a hrozcím trvalým poklesem půdní úrodnosti v relativně vzdálenější budoucnosti, jsou pádnými argumenty pro podporu budování odpovídajících protierozních opatření.

1.2.2 Opatření proti větrné erozi

Ochrana půdy před větrem je založena na principu překážky, která rychlost větru sníží pod kritickou hodnotu. Základem technického řešení protierozní ochrany pozemků je organizace PF vytvořením vhodných tvarů, uspořádáním a velikostí pozemku. Pozemky by měly mít obdélníkový tvar s delší stranou kolmo na směr převládajícího větru. K snížení rychlosti větru při povrchu půdy můžeme použít tři způsoby opatření:

- Ochrana proti větru pomocí pěstitelských metod.
- Ochrana proti větru občasnými umělými zábranami.
- Ochrana proti větru trvalými porosty (větrolamy).

Bylo prokázáno, že ve větrolamovém systému příčných a podélných pásů je vlhkost půdy na polích a lukách mnohem vyšší než v nechráněné poloze. Tyto systémy se pozitivně uplatňují v boji proti suchu, a proto mají význam i pro zvýšení sklizně. Vliv ochranných lesních pásů na zvýšené výnosy stoupá s extrémností podnebí.

Ochranné lesní pásy vytvářejí trvalou ochranu půdy proti větrné erozi. Účinnost větrolamů na snížení rychlosti větru silně závisí na jejich skladbě, především na jejich propustnosti.

Příčinou větrné eroze je celá řada činitelů. Hlavní příčina je vítr a ostatní klimatické činitele, které jej podmiňují. Pokud do ekologicky vyrovnané krajiny nezasáhl člověk, nepřesahovala rušivá činnost větru hranice přirozené eroze. Teprve člověk svou hospodářskou činností v krajině vytvořil podmínky pro ničivou činnost větru.

Region jižní Moravy patří v rámci Evropy k územím odedávna postihovaným větrnou erozí půdy a to zejména v jeho jižní a jihovýchodní části. V oblasti Jihomoravského kraje

je venkovská krajina ve velké míře užívána k zemědělským účelům. Plochy zemědělsky intenzivně obhospodařované půdy bez trvalého vegetačního krytu jsou v různé míře vystaveny erozi půdy. Větrná eroze půdy je fenoménem, kterým je nutno se zodpovědně zabývat na pomezí zemědělského podnikání, ochrany zdraví obyvatelstva a životního prostředí.

Hodnocení větrné eroze půdy v Jihomoravském kraji [2]

Následující stat' je zpracována na základě výstupů problémové studie „Větrná eroze půdy v Jihomoravském kraji a návrh jejího řešení“ vypracované firmou AGROPROJEKT PSO s.r.o.. Cílem této studie bylo shromáždit a vyhodnotit dostupné informace, vymezit části území podle ohroženosti větrnou erozí a na tomto podkladě navrhnout koncepčně ucelená, uskutečnitelná opatření a postup k omezení větrné eroze půdy. Výsledky této studie jsou zde publikovány proto, že Jihomoravský kraj (JmK) patří v ČR k větrnou erozí nejohroženějším územím a provedená detailní analýza poskytuje více než vhodný podkladní materiál k hodnocení účinnosti a vhodnosti opatření proti tomuto typu eroze vůbec. Bohužel v současnosti neexistuje studie, která by kvantifikovala vliv očekávané klimatické změny na půdní větrnou erozi; dá se však s jistotou očekávat, že pokud dojde k vyššímu výskytu extrémně suchých period (jak nasvědčuje předchozí podkapitola), zvýší se významně také objem odnosu půdy větrem se všemi průvodními jevy.

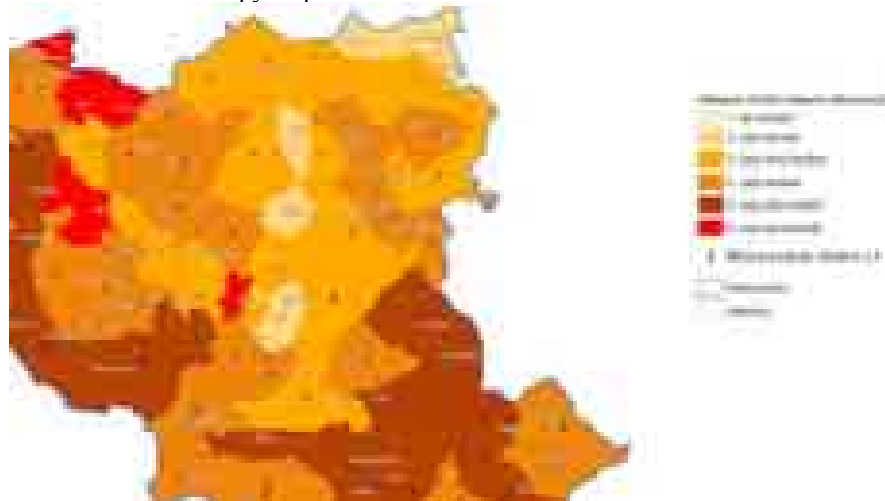
Studii zhotovil pracovní tým Agroprojektu PSO s.r.o. Brno a Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd, Oddělení pozemkových úprav, pracoviště Brno. Zhotovitelé navrhli vlastní metodiku postupu v řešení zadaného problému. V souladu se zadáním studie tato metodika rozvrhla řešení do tří hlavních etap – analytické, která zahrnuje analýzu dostupných podkladů, návrh postupu zpracování těchto podkladů, etapy hodnotící a etapy návrhové, která se zabývá návrhem systematických opatření proti negativním účinkům větrné eroze půdy v Jihomoravském kraji.

Vymezení ohrožených území

Ve VÚMOP byl v prostředí ArcGIS (geoinformační systém) vytvořen model RVE (rizika větrné eroze), který slouží k identifikaci území potencionálně ohrožených větrnou erozí a hodnocení účinnosti stávajících a navržených větrných bariér. Metodika VÚMOP kategorizuje koeficient ohrožení do šesti kategorií a to:

- kategorie 1 – stupeň bez ohrožení
- kategorie 2 – půdy náchylné
- kategorie 3 – půdy mírně ohrožené
- kategorie 4 – půdy ohrožené
- kategorie 5 – půdy silně ohrožené
- kategorie 6 – půdy nejohroženější

Obr. 1.11 Ukázka mapy stupňů ohrožení větrnou erozí



Další doporučené a akceptované zjednodušení vzhledem k definici cíle studie bylo identifikovat škody pouze u hlavních uživatelů půdy s vyloučením drobných uživatelů. Pro identifikaci rozsahu škod byli osloveni jednotliví uživatelé v katastrálních územích s potencionální ohrožeností 4, 5 a 6 formou dotazníku (případně osobním jednáním).

Faktory ovlivňující větrnou erozi

- klimatický faktor
- půdní faktor
- faktor vegetačního krytu

Pokud jde o časový výskyt větrné eroze, může se tato na nekrytých pozemcích uplatňovat po celý rok. Nejvýrazněji se však projevuje na konci zimy a v časném jaru, kdy zejména po suchých zimách dochází k intenzivnímu odnosu půdy větrem.

Přehled o území obcí se zvýšenou potencionální větrnou erozí

Pro přehlednost bylo zvoleno členění výstupů po okresech, pro které byly zpracovány souhrnné analýzy týkající se zastoupení jednotlivých stupňů ohroženosti. Jedná se o tabulky a grafy ukazující zastoupení plochy orné půdy, která spadá do kategorie 4,5 a 6, což je půda ohrožená, silně ohrožená a nejohroženější. Dále analýza zastoupení jednotlivých KÚ v deseti kategoriích z hlediska potencionální ohroženosti.

Tab. 1.23 Celková analýza ohroženosti JMK – výměry orné půdy v hektarech

Okres	Výměra orné půdy LPIS (ha)	Výměra ohrožené půdy v kategorii 4,5 a 6 (ha)	Procento ohrožené půdy vzhledem k výměře orné v JMK
Blansko	27 225	92	0.03
Brno – město	3 733	402	0.13
Brno – venkov	47 067	7 931	2.48
Břeclav	56 087	32 305	10.12
Hodonín	46 217	19 776	6.19
Vyškov	40 987	0	0.00
Znojmo	97 916	37 267	11.67
Celkem	319 232	97 774	30.63

Tab. 1.24 Celková analýza ohroženosti JmK – počet katastrálních území

Okres	Kategorie 4	Kategorie 5	Kategorie 6	Celkem
Blansko	2	0	0	2
Brno – město	2	0	0	2
Brno – venkov	17	3	2	22
Břeclav	32	17	6	54
Hodonín	26	9	4	39
Vyškov	0	0	0	0
Znojmo	44	11	6	61
Celkem JmK	123	40	17	180

Ze souhrnných výsledků je patrné, že nejvíce potencionálně ohrožené okresy jsou Břeclav, Hodonín a Znojmo. Zde se jedná o výrazné zastoupení výměry půdy ohrožené větrnou erozí. Z pohledu JmK je to 10,12 % u Břeclavi, 6,19 % v okrese Hodonín a 11,67 % v okrese Znojmo. Okres Vyškov z hlediska potencionální ohroženosti nevykazoval žádnou výměru orné půdy v kategorii 4,5 a 6.

Kategorizace větrných bariér ohrožených území

V ohrožených oblastech se nevyskytují větrné bariéry, které by vykazovali stupeň funkční. Stupeň převážně funkční je nejvíce zastoupen v okrese Znojmo, dále pak na Břeclavsku a Hodonínsku. Částečně je také zastoupen v okrese Brno – venkov. Stupeň podmíněně funkční je opět zastoupen nejvíce v okrese Znojmo.

Tab. 1.25 Souhrnné výsledky kategorizace větrných bariér ohrožených území

Okres	Výměra OLP (ha)	Délka OLP (km)	Výměra orné půdy kat. 4,5,6	Procento zastoupení OLP (%)	Nefunkční	Podmíněně funkční	Převážně funkční
Blansko	0.0	0.0	92.0	0.0	2	0	0
Brno–město	0.0	0.0	402.0	0.0	2	0	0
Brno–venkov	46.0	25.3	7 931.0	0.6	13	7	2
Břeclav	251.7	153.8	32 305.0	0.8	19	29	6
Hodonín	58.5	47.4	19 776.0	0.3	22	12	5
Vyškov	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
Znojmo	482.8	303.3	37 267.0	1.3	13	34	14
Celkem	841.0	529.8	97 774.0	0.9	71	82	27

Tab. 1.26 Celková analýza účinnosti stávajících větrných bariér

Okres	Orná půda LPIS	Ohrožená v kategorii 4,5,6	Plocha orné nechráněná (ha)	Účinnost větrných bariér v rámci JmK	Účinnost větrných bariér v rámci okresu
Blansko	27225	92	51	0.04	44.36
Brno–město	3733	402	356	0.05	11.49
Brno–venkov	47067	7931	5859	2.12	26.13
Břeclav	56087	32305	23979	8.52	25.77
Hodonín	46217	19776	14741	5.15	25.46
Vyškov	40987	0	0	0.00	0.00
Znojmo	97916	37267	24473	13.09	34.33
Celkem	319232	97774	69459	28.96	

Celkově je Jihomoravský kraj chráněn proti účinkům větrné eroze z méně než 30 %. Toto číslo je alarmující a mělo by vyvolat potřebu řešit problémy ochrany systematicky a urychleně.

Přehled o území katastrů obcí s evidovanými škodami na zemědělských kulturách působených větrnou erozí půdy

Tabulka 1.27 zachycuje škody na hlavních zemědělských kulturách v roce 2004. Škody byly sledovány na zemědělských produkčních plochách s vyloučením drobných uživatelů spadajících do katastrů se stupněm ohrožení větrnou erozí vyšším než 4 (pokryto více než 80 % ohroženého území celkem). Rozptyl specifických škod v rozmezí řádu sta korun až 5 tisíc na hektar ukazuje na skutečnost, že výše škod je odvislá od plodiny, která byla poškozena, ale je také určena rozsahem poškození. V rámci analýzy nebyla vždy uživatelem uváděna výměra poškozená větrnou erozí, proto byla specifická hodnota vztažena k výměře potenciálně ohrožené půdy.

Je třeba si uvědomit, že jde toto vyčíslení škod platí pouze pro škody na zemědělských kulturách, nikoli pro ztráty ornice; nezohledňuje ani následné náklady na odtěžení erozí transportovaných usazenin. Metodika použitá v této studii ostatně ani kvantifikaci odnosu půdy (ornice) neumožňuje.

Tab.č. 1.27 Celková analýza škod

Okres	Celková škoda (tis.Kč)	Průměrná škoda (tis.Kč/ha)	Maximální specifická škoda (tis.Kč/ha)
Blansko	0	0.00	0.00
Brno–město	0	0.00	0.00
Brno–venkov	643	0.35	0.68
Břeclav	21 316	1.45	5.35
Hodonín	7 595	1.29	4.70
Vyškov	0	0.00	0.00
Znojmo	11 811	1.09	3.58
Celkem	41 365		

1.3 Agrotechnická opatření proti dalším formám degradace půd [1]

Jako půdní degradaci souhrnně označujeme procesy vedoucí ke snížení kvality půd. VÁRALLYAY (1994) rozlišuje 8 typů degradace půd: 1) eroze půdy (vodní, větrná), 2) acidifikace, 3) salinizace a alkalizace, 4) degradace fyzikálních vlastností půdy (poškození struktury, utužení, slévavost povrchu), 5) extrémní vodní režim (přemokření, zaplavení, sucho), 6) biologická degradace (snížení obsahu a kvality organické hmoty, poškození populací půdních organismů), 7) nežádoucí změny obsahu živin v půdě (vyplavování, biologická a abiotická imobilizace) a 8) snížení pufrovací schopnosti (poškození sorpčního komplexu) a znečištění půdy polutanty.

V kontextu Tématické strategie pro ochranu půdy v EU (ECKELMAN et al. 2006) bylo identifikováno několik ohrožení půdy, jež představují určitou tendenci vývoje PF v budoucnosti. Je pravděpodobné, že část těchto ohrožení je přímo spojená s účinky možné klimatické změny. Ohrožení ZPF ČR jsou následující:

- urychlení eroze – možný důsledek projevů klimatické změny
- snížení obsahu půdní organické hmoty – následek ostatních ohrožení
- fyzikální degradace/utužení – možný důsledek projevů klimatické změny
- salinizace/alkalizace – možný důsledek projevů klimatické změny
- sucho v půdě – jeden z nejnepríznivějších očekávaných projevů klimatického efektu.

Ze zprávy Evropské komise o tématické strategii pro ochranu půdy si lze udělat hrubou představu o následcích degradace půdy v současnosti. Roční výdaje spojené s kompenzací přímých následků dosahují řádově desítek miliard eur (ANONYM 1):

eroze(*)	0,7 – 14 mld. €
pokles obsahu organické hmoty	3,4 – 5,6 mld. €
utužení	nehodnoceno
salinizace (**)	158 – 321 mil. €
sesuvy půdy	více než 1,2 mld. €

(*) cena se vztahuje pouze ke 13 státům EU, od ostatních států nejsou dostupné údaje.

(**) tato cena platí pouze pro 3 státy EU, od ostatních států nejsou dostupné údaje.

1.3.1 Salinizace a sodifikace

SOBOCKÁ (2007) definuje salinizaci jako proces, který vede k nadměrnému zvýšení vodorozpustných solí v půdě. Akumulované soli zahrnují sodík, draslík, hořčík a vápník, chloridy, sulfáty, karbonáty a bikarbonáty. Můžeme rozlišovat primární a sekundární salinizaci. Primární salinizace představuje akumulaci solí skrze přírodní procesy v důsledku vysokého obsahu solí v matečném substrátu nebo podzemní vodě. Sekundární salinizace je zapříčiněna lidskými aktivitami jako jsou: nevhodné závlahy, nedostatečná drenáž, apod. Salinizace způsobuje akumulaci solí sodíku, hořčíku, a vápníku v půdě do takové míry, že půdní úrodnost je silně redukována.

Sodifikace je akumulace Na^+ v pevné nebo tekuté fázi půdy. Akumulovány jsou krystalizované soli NaHCO_3 nebo Na_2CO_3 (solný výkvět), ionty ve vysoce alkalickém půdním roztoku (alkalizace), nebo vyměnitelné ionty v půdním sorpčním komplexu (procento vyměnitelného sodíku – ESP). Mezi faktory zvyšující ohrožení salinizací a sodifikací patří:

- Klima (teplota, srážky)
- Geologické poměry (horniny s potenciálním obsahem solí)
- Reliéf (depresní a akumulační formy)
- Přírodní a drenážní podmínky (možnost zasolení půd stagnující vodou)

- Půda a půdotvorný substrát (textura, struktura, složení jílových minerálů)
- Hydrofyzikální vlastnosti (rychlost infiltrace, vodní kapacita, nasycená a nenasyčená hydraulická vodivost)
- Obsah solí (profil, hydrologický režim, bilance a složení iontů)
- Další indikační vlastnosti (obsah CaCO_3 , pH půdního roztoku, celkový obsah vodorozpustných solí, organické hmoty, koncentraci výměnných kationtů, kolísání a chemické složení podzemní vody)

Identifikace půd ohrožených salinizací a sodifikací – přírodní zdroje ohrožení:

- Koncentrace solí v podzemní vodě a následně i v půdě
- Fluviální záplavy z geologických území, kde se nachází velké množství solí
- Obohacení vody solemi přírodními faktory

Identifikace půd ohrožených salinizací a sodifikací – antropogenní zdroje ohrožení:

- Zavlažování vodou, která obsahuje soli
- Zdvih hladiny podzemní vody v důsledku lidských aktivit (vodní díla, drenáže, apod.)
- Využívání minerálních hnojiv při intenzivním zemědělství
- Využívání odpadových (alkalizovaných) vod pro zavlažování

Salinizace a sodifikace způsobuje změnu půdních vlastností, zejména fyzikálně-chemických (dispergace koloidů, půdy jsou slévavé, nepropustné). Vysoký obsah Na a Cl iontů působí toxicky přímo, ale zejména nepřímo osmotickým jevem (voda z koncentrovanějších roztoků solí je mnohem méně přístupná rostlinám). Mění se dostupnost vápenatých a dalších iontů, rostliny trpí jejich nedostatkem.

Jak může ovlivňovat klimatická změna salinizaci a sodifikaci půd

Téměř všechny klimatické scénáře předpokládají extrémní sucha v části nížin, kde hladina podzemní vody bude ovlivňovat půdní profil. Z toho důvodu bude nutné monitorovat kolísání a množství solí v podzemní vodě a v půdě, aby nebyl překročený práh ohrožení půdy. Pokud by tento práh překročený byl, závisí na půdním typu jak bude reagovat na změny. Bude to pravděpodobně změna půdní struktury (nestabilita agregátů, profilové trhliny, utužení apod.), porušení vodo-vzdušného režimu a živinového cyklu. Pro růst rostlin způsobí nadměrná přítomnost solí silnou redukci růstu.

1.3.2 Degradace fyzikálních vlastností půdy

Fyzikální degradace, utužení, je proces zásadního porušení fyzikálního stavu půdy, kterým se redukuje celková a vzdušná pórovitost a propustnost, zvyšuje se pevnost a eviduje mnoho změn v půdní struktuře a v chování některých fyzikálních vlastností. Fyzikální degradace může modifikovat různé půdní vlastnosti, což vede k poškození jedné nebo více půdních funkcí. Utužení se vyskytuje tam, kde půda podléhá mechanickému tlaku používáním těžké techniky nebo pasením, hlavně ve vlhkých podmínkách. Výsledkem utužení půdy je redukce hrubého prostoru pórů mezi půdními částicemi, čímž se zvyšuje půdní objemová hmotnost a tím, že půdy částečně nebo zcela ztrácí schopnost absorbovat vodu. Výskyt utužení je nejčastěji v povrchovém horizontu, ale postihuje i podpovrchové vrstvy. Tato je velmi rozšířena na územích s nepřetržitou kultivací a je velmi těžké ji odstranit. Celkové zhoršení půdní struktury redukuje růst kořenů, vodní kapacitu, úrodnost i biologickou aktivitu. Srážková voda nemůže dále snadno infiltrovat do půdy (SOBOCKÁ, 2007).

Pokud voda při srážce pronikne svrchní kyprou vrstvou půdy, může se jí postavit do cesty další překážka. V důsledku pravidelného mechanizovaného obdělávání půdy se často v hloubce 30 – 60 cm vytváří utužená vrstva podorničí. Tato je mnohdy téměř nepropustná, nebo propouští vodu jen velmi málo. Účinná hloubka půdy a s ní také retenční kapacita se tak značně zmenšuje. Navíc voda po podorničí stéká podobně jako po povrchu, následně v terénních depresích vystupuje na povrch a přidává se k povrchovému odtoku Na vznik

zhutnělého podorničí mají vliv především přejezdy zemědělskou technikou po půdě a technologická doprava, například při svážení cukrové řepy nákladními automobily. V zhutnělé půdě se snižuje obsah organických látek na polovinu a její pórovitost klesá pod 45 % (DAVIES et al., 1993).

Faktory ovlivňující ohrožení fyzikální degradací:

- Klima (teplota, srážky)
- Půda a půdotvorný substrát – vlastnosti povrchového a podpovrchového horizontu (textura, struktura, obsah org. hmoty, obsah vody v půdě apod.)
- Využití krajiny (orná půda, TTP, les)
- Management půdy (frekvence pojezdů, typ operace, typ plodiny, váha strojů)
- Topografie – místa, kde není možné použít mechanizaci (svahy, apod.)

Hlavním faktorem, který vede k mechanickému porušení stavu půdy je využívání těžké techniky na povrchu půdy. Tento vliv je kombinovaný očekávaným klimatickou změnou, která se projeví ve změněných vlhkostních podmínkách, ve změněné intenzitě sucha a v tvorbě odlišných fyzikálních vlastnostech půdy. Intenzita projevů zhutnění závisí a kolísá podle vlhkosti půdy. Nakolik detaily mechanismů bývají všeobecné a velmi sporé, určit poškození fyzikální degradací vyžaduje více informací o zemědělských systémech a hospodaření na půdě, dále typ plodiny, typ operace a období, kdy je třeba operaci uskutečnit a též hloubku kultivace.

Půdy s vysokým obsahem jílu (nad 35 %) jsou náchylnější na deformace, než písčité půdy avšak i písčité půdy obsahují velké množství hrubých pórů, to může způsobit vyšší náchylnost půd k utužení. V minerálních půdách organická hmota snižuje náchylnost půd k utužení pro všechny zrnitostní třídy. Půdy se zrnitou či slabě vyvinutou polyedrickou strukturou vykazují silnou náchylnost na zhutnění.

Tab. 1.28 Hodnoty vybraných půdních vlastností u zhutněných půd v ZPF

půdní vlastnost	půdní druh					
	JV	JH	H	PH	HP	P
objemová hmotnost [g/cm ³]	>1,25	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70
penetrometrický odpor [MPa]	2,8-3,2	3,2-3,7	3,7-4,2	4,5-5,0	5,5	6,0
půdní vlhkost [% hm.]	28-24	24-20	8-16	15-13	12	<10
pórovitost [% obj.]	<48	<47	<45	<42	<40	<38
min. vzdušnost [% obj.]	<10	<10	<10	<10	<10	<10
max. kapil.kapacita [% obj.]	>35	>35	>35	-	-	-

jv – jílovitá, jh – jílovitohlinitá, h – hlinitá, ph – písčitolhinitá, hp – hlinitopísčítá, p – písčítá

Zhutněním je ohroženo kolem 30 – 50 % všech zemědělských půd, a to převážně zhutněním technogením, způsobeným použitím nevhodné mechanizace (ANONYM 2).

Pozornost věnovaná zlepšování retenční schopnosti zemědělských půd je dosud nedostatečná. Málo propustné a zhutnělé půdy přitom kromě svého nepříznivého vodohospodářského efektu poskytují i nižší výnosy a zvyšují až o 50 % spotřebu pohonných hmot při obdělávání půdy (HŮLA, ABRHAM, BAUER, 1997).

Pozemky s již zhutnělým podorničím lze jednorázově zlepšit melioračním kypřením nebo dlátovými kypřiči pracujícími v hloubce kolem 50 cm. Základními metodami předcházení zhutnění půdy a zejména podorničí jsou:

- omezování přejezdů těžké mechanizace,
- využívání půdoochranných způsobů obdělávání,
- dostatečné organické hnojení,
- používání mechanizace s nízkou zátěžovými pneumatikami.

Jak může ovlivňovat klimatická změna fyzikální vlastnosti půd

Při předpokládané klimatické změně způsobuje hlavně sucho změnu fyzikálních vlastností vedoucí k utužení a ztvrdnutí půdních vrstev. Tvorba kalcikových a uhličitanových

ztvrdlých vrstev není v případě půd obohacených o soli vyloučena (chloridy, sulfáty, karbonáty apod.). Podobně můžeme zaznamenat tvorbu profilových trhlin u půd s vysokým obsahem sekundárních jílových minerálů. Tvorba agregátů může být zpomalena, či porušena v případě výskytu dlouhodobého sucha (SOBOCKÁ, 2007).

Rovněž časté střídání klimatických jevů (střídání extrémního vlhka a sucha) vede k možným intenzivním procesům destrukce struktury půdy. Stupeň utužení kolísá v závislosti na půdní vlhkosti. Při nevhodném způsobu agrotechnických zásahů, kdy se nerespektují meteorologické jevy a zesiluje se antropická činnost (časté či nesprávně načasované pojezdy mechanismů apod.) dochází k intenzivní tvorbě podorničních ztvrdlých vrstev s výskytem pseudoagregátů. Pokud se obsah vody v půdě zvyšuje, zvyšuje se i zhutnění půdy až do obsahu blížícího se polní vodní kapacitě. Při vysokém obsahu vody se půda stává nekompaktní, nasycená půda je vlastně plastický tok, který má za následek destrukci půdní struktury a makropórů (ibid.).

1.3.3 Organické látky v půdě

Půdní organická hmota se skládá z organické frakce půdy, která je tvořena výhradně zbytky rostlin a živočichů. Porušení rovnováhy mezi stavbou půdní organické hmoty a rychlostí rozkladu vede ke snižování obsahu humusu v půdě (SOBOCKÁ, 2007).

Půdní organický uhlík a jeho množství v půdě má principiální význam při dalším hodnocení vývoje půdy a zemědělské krajiny. Množství a distribuce POH záleží na více faktorech, především na půdním typu a zrnitostním složení. Velmi důležitou součástí je celkové hospodaření na zemědělské půdě, přiměřenost a kvalita uskutečněných systémových agrotechnických opatření. Pro pozitivní management jsou nejdůležitější exogenní vstupy organických látek do půdy a doplňkové závlahy. Vysoké ohrožení půd ztrátou organického uhlíku může zapříčinit náchylnost půdy na jiné ohrožení (eroze, salinita, fyzikální degradace). Návrat do původního stavu půdy může vyvolat nákladné investice, které je možno jen těžko vyčíslit. Předjít podobnému ohrožení, případně eliminovat daný stav je možno neustálým monitorováním daných vlastností na reprezentativních územích. Včasným zachycením ohrožení snížením POH je možno udělat nevyhnutelné nápravné opatření a zachovat udržitelný systém půd a krajiny.

Ochrana půdní organické hmoty (POH) v půdě je kritickým bodem pro trvale udržitelné hospodaření na půdě. Je však třeba konstatovat, že úroveň humusu v půdě se dnes snižuje (KOBZA et al., 2002). Důvodem jsou pravděpodobně snížené dávky organických hnojiv aplikovaných do půdy, nesprávná agrotechnická opatření v osevních postupech, narušení svrchní vrstvy půdy orbou apod. Degradace ohrožených území zapříčiněných snížením POH musí brát do úvahy vícere faktory, jež můžeme rozdělit na přírodní a antropogenní (ibid.).

Přírodní faktory ovlivňující množství organických látek v půdě:

- Klima (teplota, srážky)
- Půdní typ (třída, obsah jílu, karbonátů, acidita, alkalita)
- Vegetace (les, mokřady, otevřená krajina)
- Topografie (svah, tvar, výška, převýšení)

Antropogenní faktory ovlivňující množství organických látek v půdě:

- Klima (parametry klimatické změny)
- Usměrnění vegetace a druhová skladba rostlin
- Management půdy (zavlažování, zúrodnění, meliorace, struktura pěstovaných plodin)

Hlavním faktorem snížení obsahu půdní organické hmoty je způsob hospodaření, týká se všech půdních typů. Klimatická změna i ostatní antropogenní vlivy reprezentují významné faktory (tlaky) na stav POH, přičemž všechny faktory působí interaktivně. Pro identifikaci území se zvýšeným ohrožením snížení POH v půdě je potřebné mapovat kombinace půdní

typ–klíma–půdní pokrýv, což vyžaduje informace o půdách i o minulém a současném využívání krajiny.

Ohrožené snížením POH jsou především orné půdy, které se vyskytují ve specifických klimatických a krajinných podmínkách:

- Půdy s organozemním horizontem, půdy drenážované (předtím zamokřené), půdy s předpokladem rychlé mineralizace POH (předpokládá se úbytek POH po odvodnění, orbě, a aplikaci minerálních hnojiv),
- Půdy s molickým (tmavým) sorpčně nasyceným a humózním horizontem – půdy v exponovaných, velkoplošných a otevřených parcelách – tj. orné půdy se sníženým podílem přilehlé krajinné zeleně (předpokládá se i ztráta půdy vlivem eroze svrchních částí půdy),
- Nížinné půdy (fluvizemě, gleje), tj. vlhké půdy a půdy s vysokým obsahem POH (předpokládá se snížené POH po kultivaci a též po drenáži),
- Plytké nebo slabě vyvinuté půdy (rankery, regozemě) – vegetací nepokryté nebo slabě strukturní půdy vyskytující se na strmých svazích (předpokládá se ztráta půdy nevhodnou orbou, při odlesnění, ale i v důsledku eroze svrchních částí půdy),
- Písčité půdy s přirozeně nízkým podílem kvalitního humusu ve svrchních horizontech (regozemě, podzoly) – orba a intenzifikační zásahy v zemědělství zapříčiňují rychlý odnos POH v důsledku nízké stabilizace POH v půdě,
- Antropogenní půdy – člověkem vytvořené půdy, ve kterých se POH akumuluje při určitém využívání krajiny, při změně využití krajiny a tím i půdy dochází k rychlé ztrátě POH.

Množství půdního organického uhlíku představuje jediný indikátor ukazující na změnu kvality půdy. Půdní organický uhlík (POC) se měří jako jeho koncentrace na jednotku suché půdní hmoty a je vyjadřován v procentech. Je nutné specifikovat část půdního profilu, ke kterému se měření vztahuje (např. podle horizontů, stanovené hloubky 0 – 20 cm apod.). Objemová hmotnost se vyžaduje pro odhad množství půdní organické hmoty na jednotku plochy ($t \cdot ha^{-1}$).

Jak může ovlivňovat klimatická změna množství POH

Klimatická změna způsobí změny ve všech složkách půdní organické hmoty, což může vést v extrémních případech až k totální destrukci humusového horizontu a tím ztrátě produkční schopnosti takto postižených půd.

1.3.4 Acidifikace

Z rozsahu vlivu kyselých depozic na rozličné ekosystémy by mohlo vyplývat, že se jedná o relativně nedávný problém životního prostředí. Příznaky tohoto jevu byly však popsány již v roce 1852 R. A. Smithem pracujícím v Manchesteru. Poprvé také použil termín „kyselý déšť“ (SMITH, 1852). Tyto tradiční průmyslové oblasti mají i více než 200 let zkušeností s kyselými depozicemi.

Znečištění ovzduší ve velkých městech (např. Londýn) je doloženo již z konce 16. století, a je spojováno se spalováním uhlí v rozvíjejících se oblastech průmyslu a v domácnostech. Potíže v oblasti znečištění městského ovzduší se velmi vážně prohloubily v období průmyslové revoluce v 18. a 19. století. Zničujícího rozsahu dosáhly po 2. světové válce díky prudkému rozvoji světového hospodářství. V roce 1952 byla zaznamenána dosud nejvážnější tragédie spojená s akutním znečištěním ovzduší, kdy zahynulo 4000 lidí. Nese označení „Velký londýnský smog“ (název „smog“ pochází z anglického spojení slov „smoke“ - kouř a „fog“ - mlha).

V druhé polovině 20. století nastává změna. Jednotlivé epizody přestaly mít izolovaný charakter, životní prostředí bylo už více či méně ohroženo kyselými depozicemi jako celek,

a to v globálním měřítku. Státní reprezentace byly v tomto období dotlačeny znepokojenou veřejností ke konkrétním krokům. Mezi nejdůležitější patří Úmluva o dálkovém znečišťování ovzduší (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution), která byla podepsána v rámci Evropské hospodářské komise (EHK) OSN v Ženevě dne 13. 11. 1979 a vstoupila v platnost v r. 1983. ČSSR ji podepsala a byla pro ni platná od 22.3. 1984 (viz Sbírka zákonů č. 5/1985 Sb.). Pro ČR je Úmluva platná od 1.1.1993. Mezi základní zásady Úmluvy patří, že smluvní strany jsou rozhodnuty chránit člověka a jeho životní prostředí. Ženevská úmluva si dala za cíl snížit produkci kyselých emisí. Od jejího uvedení v platnost se v celé Evropě významně snížily emise síry, ale s rozvojem silniční dopravy nedošlo téměř k žádnému snížení emisí oxidů dusíku.

V roce 1997 se v japonském Kjótu zavázala Evropská unie snížit emise oxidu siřičitého o 50 % z úrovně roku 1990 do roku 2010 a emise čpavku o 30 % z úrovně roku 1990. Odborníci se domnívají, že u oxidu siřičitého jsou tyto cíle dosažitelné. U oxidů dusíku je ale situace velmi znepokojivá a pro snížení emisí čpavku se zatím udělalo jen velmi málo. Obavy panují z velikosti emisí síry v asijsko-tichomořské oblasti.

Velmi vážně se účinky neúnosných emisí okyselujících látek projeví v druhé polovině 20. století v některých oblastech střední Evropy. Mnoho vědců sledovalo například dlouhodobě dopad acidifikace na zdánlivě nedotčenou přírodu šumavských a tatranských horských oblastí (KOPÁČEK et al., 1998, 2000 a 2001; JELÍNKOVÁ a STRAŠKRABOVÁ, 2001). V jejich studiích je konstatováno, že v průběhu 20. století zde atmosférický spad síry a dusíku vzrostl téměř čtyřnásobně a způsobil okyselení půd a vodstva s tragickými důsledky pro řadu organismů - z jezer vymizely ryby, většina planktonních korýšů a část druhů hmyzu. Během 90. let nastal ve znečištění ovzduší obrat a depozice klesly u síry na úroveň z počátku a u dusíku na úroveň z 50. let minulého století. Současný pokles koncentrací síranů a toxických forem hliníku v povrchových vodách Šumavy a Tater je nejvyšší v Evropě a světově zcela ojedinělé je snížení koncentrací dusičnanů. Dosavadní výsledky ukazují, že i přes značnou rychlost jsou změny chemismu okyselených povrchových vod a půd horských ekosystémů významně opožděny za změnami v atmosféře. Biologické zotavování těchto ekosystémů je pak opožděno ještě více a první náznaky pozitivních změn byly v šumavských jezerech pozorovány až po více než desetiletí chemického zotavování.

Na Slovensku zůstává acidifikace půdy navzdory silnému poklesu depozic SO_2 vážným problémem životního prostředí. Nedávný monitoring kritických kyselých zátěží ve slovenských lesích ukázal, že zhruba jedna třetina lesů na Slovensku je přímo ovlivněná acidifikací (PICHLER et al., 2006). V této situaci je zvýšený export biomasy z lesů pro energetické účely, který navrhuje někteří vrcholní lesní manažeři, vážným ohrožením geobiochemických cyklů a může ještě zhoršit vliv emisí na půdu. V jiných částech Slovenska však pokles hodnot pH znamená spíše degradaci půdy ve smyslu zpomalení půdotvorných procesů než ve smyslu poklesu lesní produkce. Tato skutečnost je také ve shodě s rostoucí výší těžby (od roku 1920). Trvalý nárůst produkce lesních ekosystémů od roku 1950 dokladují také inventarizace zásob dřevní hmoty ve švédských lesích (BINKLEY A HÖGBERG, 1997), jiní autoři připouštějí doprovodný úbytek druhové bohatosti bylin v podrostu (VAN DOBBEN et al., 1999; KOPTSIK et al., 2001) a nárůst produkce dávají do souvislosti s hnojivým účinkem depozic dusíku do lesních porostů ovšem pouze do myximální saturace ekosystému dusíkem (ABER et al., 1995; MAGILL et al., 2004; SOLBERG et al., 2004).

S ohledem na zhoršující se zdravotní stav lesů pověřila vláda ČR usnesením č. 532 ze dne 31. 5. 2000 Ministerstvo životního prostředí, aby ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem financí vypracovalo studii "Návrh komplexního a systémového řešení směřujícího k zastavení degradace lesních půd pod vlivem emisí". Na základě definovaných kritérií, které ovlivňují acidifikaci a nutriční degradaci půd, vypracoval široký autorský kolektiv z výzkumných ústavů, universit a dalších českých a zahraničních institucí rajonizaci ČR podle oblastí různého stupně narušení půd. Výsledkem je rajonizace do čtyř

základních skupin, klasifikovaných jako zóny: extrémně narušených půd (2 % plochy ČR); silně narušených půd (12 % plochy ČR); středně narušených půd (53 % plochy ČR); mírně narušených půd (32 % plochy ČR). Extrémně narušené oblasti je nutno považovat za silně problémové i do budoucna. I při redukci emisí, imisí a depozice se bude v těchto oblastech acidifikace půd buď mírně prohlubovat, anebo bude současný stav konzervován na několik příštích desetiletí. Na základě výsledků studií je možno navrhnout specifickou změnu hospodaření směřující k alespoň částečné samovolné regeneraci půd (PURDON et al., 2004).

Třebaže je odumírání lesa stále spojováno s účinky znečištění atmosféry a kyselých depozic, je velmi nepravděpodobné, že by byl nalezen jediný „rozhodující“ faktor, který poskytne univerzální vysvětlení odumírání lesa (LONGHURST et al., 1993). Současné studie vlivu acidifikace se proto soustřeďují na vyhledávání vztahů mezi rozhodujícími příčinami a následky v ohrožených lokalitách a na nejistoty a nejasnosti ohledně zotavování lesních ekosystémů. Jsou to zejména desorpce a mineralizace síry, bazických kationů, procesy spojené s přeměnami dusíku v ekosystému a následky klimatických změn (BULL et al., 2001). Do mozaiky pestrých názorů zapadají i pochybnosti s příčinným spojováním odumírání lesů s atmosférickými depozicemi. Jdou dokonce tak daleko, že domnělé příčiny tohoto jevu, který byl popsán německými vědci na přelomu 80. a 90. let minulého století v čele s profesorem Ulrichem z Göttingen jako tzv. „Waldsterben“ (pojmenování v kontextu s tehdejšími velkoplošnými odumíráními lesů), označují jako fantazii autorů (SKELLY A INNES, 1994). Dnes je tento konkrétní jev velkoplošného odumírání lesa vysvětlován především tehdejšími akutními poškozeními asimilačních aparátů lesních porostů toxickou koncentrací SO₂, jejíž účinky se mohou dostavit již po několika desítkách minut, a nikoliv acidifikací, která je vnímána jako déletrvajícím proces, přičemž se současně může produkce lesních porostů dokonce zvyšovat (BINKLEY A HÖGBERG, 1997). Neznamená to ovšem, že by se emise a imise SO₂ na acidifikaci rozhodujícím způsobem nepodílely. Zmíněným autorům (SKELLY A INNES, 1994) jde o odlišení akutního působení vysokých koncentrací a déletrvajícím chronického působení vyšších vstupů acidifikujících látek.

Předchozí informace ilustrují složitost a závažnost problematiky, která se skrývá pod pojmem acidifikace. Záměrně jsou vybrány poznatky z přirozených anebo přírodě blízkých ekosystémů a nikoliv z orných půd, které jsou těmto vlivům vystaveny rovněž, projevy acidifikace jsou však maskovány každoročními vstupy hnojiv a pesticidů a obděláváním půd. Pokles vstupů S a N ve střední Evropě dosáhl v současnosti prahu, pod který již zřejmě nebude v blízké budoucnosti dále výrazně klesat. Pokud nastane biologické zotavování ekosystémů z let nejvyšší zátěže acidifikujícími vstupy, bude probíhat díky akumulované zátěži velmi pozvolna až po úroveň vyrovnání výstupů klíčových elementů z ekosystémů s novou úrovní vstupů. Dá se předpokládat, že acidifikace půdy bude jedním z nejzávažnějších problémů všech ekosystémů v budoucích desetiletích a že rozhodující úlohu budou mít procesy řídicí přeměny a transport síry a dusíku v půdách. Z uvedených důvodů je nadmíru důležité poznat lépe proces acidifikace s jehož příčinami a následky musí lesníci, zemědělci, ekologové, ochranáři, krajinní inženýři i mnozí další počítat.

Obecně můžeme acidifikaci (okyselení) charakterizovat jako změnu přirozené chemické rovnováhy určitého prostředí vyvolanou zvýšením koncentrace kyselých elementů. Acidifikace půdy je proces okyselování půdního prostředí vyznačující se růstem koncentrace vodíkových kationtů (lépe růstem aktivity iontů H⁺). Acidifikace probíhá přirozeně v humidním klimatu a v současnosti je v různé míře urychlována antropogenní acidifikací. V průběhu určitého časového období dochází ke snižování hodnoty pH. Je doprovázena ztrátou bazických kationtů (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺) ze sorpčního půdního komplexu a uvolňováním hliníku a železa. Sorpční půdní komplex je poté méně odolný vůči vnějším vlivům typu přísunu kationtů vodíku. Výsledné poklesy pH mají za následek redukovanou, méně aktivní populaci půdních mikroorganismů, což zpětně zpomaluje dekompozici rostlinných zbytků a koloběhy základních rostlinných živin.

Původně byla acidifikace půdy definována jako pokles kapacity neutralizovat kyseliny anorganickou frakcí půdy, a to včetně její kapalné fáze (acid neutralizing capacity – ANC; VAN BREEMEN et al., 1983). Jakmile bylo zjištěno, že se sírné a dusíkaté sloučeniny mohou hromadit v organické půdní hmotě, byla definice acidifikace rozšířena na „změnu ANC celkové pevné (minerální a organické) a kapalné půdní fáze“ (DE VRIES A BREEUWSMA, 1987) s možností rozlišovat aktuální acidifikaci, tj. acidifikaci způsobenou bezprostřední ztrátou bazických kationtů a potenciální, oddálenou zadržením, akumulací aniontů.

Acidifikace se vyvíjí v čase. Příznaky procesů, odehrávajících se dlouho skrytě v půdním prostředí, se projevují v závislosti na pufracní kapacitě půdy teprve po určité době a to i přesto, že velikost emisí a atmosférické depozice může být již velmi vysoká. Typickým příkladem je velmi málo projevů acidifikace na našem území v šedesátých letech minulého století navzdory probíhající extrémní zátěži acidifikujících elementů.

Acidifikace půdy má tyto hlavní příčiny:

- depozice (potenciálně) acidifikujících sloučenin (např. amonných iontů),
- pokles množství depozic látek, schopných neutralizovat kyseliny,
- zvýšení primární produkce (anebo export biomasy),
- zvýšená míra nitrifikace nebo oxidace síry,
- změny v užívání krajiny (tj. zalesnění, zavádění rostlinných druhů, které zvyšují acidifikaci půdy, změny hospodaření v lesích),
- redukce rychlosti mikrobiálního rozkladu opadu a půdní organické hmoty,
- zvýšená produkce a pohyb organických kyselin s prosakující půdní vodou.

Aciditou (kyselostí) půdy rozumíme status půdy s ohledem na stav kyselosti. Prohlubuje se procesem acidifikace a procesem generování vodíkových iontů v ekosystému.

Panuje názor, že acidifikace půdy je zapříčiněna narušením koloběhů prvků ve vztahu k cyklu vodíku v celém systému půda - rostlina. Nejdůležitější procesy, které mají vazbu na acidifikaci půdy, jsou vyjmenovány v Tab. 1.29.

Tab. 1.29 Vazby mezi procesy produkce a spotřeby H^+ iontů v ekosystému (upraveno podle DE VRIES A BREEUWSMA, 1987)

Procesy produkce H^+ iontů	Procesy spotřeby H^+ iontů
Odběr kationtů	Odběr aniontů
Mineralizace aniontů	Mineralizace kationtů
Oxidační reakce	Redukční reakce
Disociace slabých kyselin (oxid uhličitý, organické kyseliny)	Asociace slabých kyselin (oxid uhličitý, organické kyseliny)
Zvětrávání, desorpce aniontů, procesy srážení, adsorpce kationtů	Zvětrávání, desorpce kationtů, procesy srážení, adsorpce aniontů

Je zřejmé, že rychlost odezvy ekosystému na změny v kvalitativních a kvantitativních charakteristikách vstupujících suchých a mokřých depozic bude tím delší, čím komplexnější ekosystém bude změnou vstupů zasažen. Míra acidifikace bude závislá na biochemických procesech a reakcích uvnitř ekosystému stejně jako na stavu zásob bazických kationtů v půdě, na obsahu humusu, hloubce půdy, složení matečné horniny apod.

Acidifikace půdy a půdní acidita závisí na povaze matečné horniny, na které se půdy vytváří, na podmínkách prostředí za kterých se půda vytváří a na délce doby, po kterou se půdní vlastnosti stabilizují. Prvotní půdní acidifikace je přírodní proces začínající v okamžiku, kdy je povrch matečné horniny kolonizován řasami a lišejníky. Kyseliny, které jsou vytvářeny ponejvíce v uhlíkovém a dusíkovém cyklu, sehrávají roli v rozpouštění půdních a horninových minerálů v procesu vývoje půdy. Obvykle se půdy v přirozených ekosystémech v průběhu vývoje stávají kyselejšími. Kyselé půdy se nacházejí v humidních regionech, důvodem je pohyb bazických kationtů procesem vyplavování směrem dolů.

Prognózy budoucího vývoje se obvykle shodují na zmírňování či stagnaci depozic síry a na mírném růstu depozic dusíku. S tím souvisí očekávaný úbytek síry na výstupu z ekosystému a zvyšování nebo stagnace výstupů dusíku z ekosystému. Je nanejvýš pravděpodobné, že opět vzroste význam přírodních organických kyselin, jejichž role byla v průběhu antropogenní acidifikace zatlačena do pozadí, ačkoliv v před industriálním období tvořily hlavní část aniontů v povrchové a půdní vodě. To potvrzují současné studie monitorující koncentraci organických forem uhlíku v půdní vodě (DOC – dissolved organic carbon). Např. CHAPMAN et al. (2005) uvádějí, že od roku 1988 je v anglických jezerech a tocích pozorován velmi významný nárůst koncentrace rozpustných organických forem uhlíku (DOC až o 91 %). Podobný nárůst koncentrace DOC byl pozorován i na jiných místech v Evropě a v severní Americe. Na druhé straně se zjistilo, že obsah nitrátů v povrchových vodách acidifikovaných lesních ekosystémů koreluje negativně s obsahem DOC (TUREK et al., 2005), což může znamenat, že se zvyšujícím se množstvím dusíku v podobě nitrátů na výstupu z ekosystému bude množství DOC proporcionálně klesat. Přestože jsou pozorovány trendy návratu a regenerace ekosystémů, panují značné nejistoty ohledně časového rámce a dopadů stávajících klimatických změn ve spojení se saturací ekosystémů dusíkem. Déletrvajících sucha a následující prudké srážky jsou spojovány s jevem, který je označován jako „episodická acidifikace“ a který je potenciální hrozbou regenerace ekosystémů (LAUDON a WESTLING, 2005; INOUE et al., 2005; LAWRENCE et al., 2005).

Jak může ovlivňovat klimatická změna účinky acidifikace

Acidifikace půdy je proces okyselování půdního prostředí vyznačující se růstem koncentrace vodíkových kationtů a ztrátou bazických kationtů (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) ze sorpčního půdního komplexu doprovázený uvolňováním toxického hliníku a železa. Výsledné poklesy pH mají za následek redukovanou, méně aktivní populaci půdních mikroorganismů, což zpětně zpomaluje dekompozici rostlinných zbytků a zhoršuje dostupnost základních rostlinných živin. Snížená dostupnost bazických kationtů vede ke snížení odolnosti rostlin vůči výkyvům abiotických činitelů, zejména vůči suchu a mrazu. Účinky acidifikace, resp. synergické působení změn klimatu a acidifikace je nutno posuzovat s ohledem na různý vývoj zátěže dvou rozhodujících acidifikujících elementů síry a dusíku. Zatímco zátěž sírou je reprezentována snížením kationtové výměnné kapacity v minulosti, zátěž neklesajícím množstvím atmosférických depozic dusíku charakterizuje současnost se všemi rozporuplnými souvislostmi. Za všechny lze uvést úniky dusíku ze zemědělství, kterými je možno vysvětlit více než polovinu dusíkaté zátěže.

V souvislosti s předpokládanými změnami klimatu lze očekávat delší a intenzivnější periody sucha, které budou vyvolávat stres u rostlin provázený snížením, či zastavením příjmu živin a odumřením části kořenového vlášení. Mikrobiální aktivita pokračující v podmínkách minimální konkurence o živiny či dokonce s dotací snadno metabolizovatelných uhlíkatých látek kořenového vlášení má za následek zvýšenou mikrobiální mineralizaci dusíkatých látek následovanou mikrobiální oxidací amonného dusíku až do nitrátové formy. První silnější dešť dává dusičnanové ionty do pohybu, regenerující rostliny nejsou schopny nitráty přijmout a tyto se dostávají mimo rhizosféru půdu provázené bazickými kationty se všemi již uvedenými neblahými důsledky. Příkladem novějších symptomů tohoto charakteru jsou informace přicházející z jímacího území v Březové nad Svitavou, které je zdrojovou oblastí pitné vody pro město Brno, kde v některých studnách vodovodu začíná obsah dusičnanů překračovat mezní hodnotu pro pitnou vodu.

Předpokládaný vývoj

Odhad budoucího vývoje je postaven na scénáři snižování atmosférické depozice síry a mírném zvyšování depozic dusíku. I přes poměrně značné snížení depozic síry bude obnova půd historicky nejvíce zatížených horských lesních ekosystémů na obvodu naší republiky

pomalá. Koncentrace bazických kationtů díky vyčerpaným zásobám v těchto ekosystémech pravděpodobně klesne, v některých místech dokonce na úroveň nižší než v preindustriálním období a celý systém se bude nacházet ve stavu, který bychom mohli charakterizovat jako chronické vyčerpání. Dosáhnout stavu, který by se podobal období před působením acidifikace, lze při popsaném vývoji atmosférické depozice nejdříve za desítky až stovky let. V oblastech s půdami bohatšími na bazické kationty, které mají lepší neutralizační schopnosti, nebude průběh tak dramatický. Paradoxně může přispět ke zlepšení situace i úhyn lesů, protože regionálně poklesne kyselá depozice daná záchytem atmosférických depozic na strukturách lesního porostu a také spotřeba bazických kationtů. Nicméně ani masivní snížení emisí SO₂ nezlepší situaci najednou, poškozené ekosystémy se budou zotavovat dlouho, stejně jako poměrně dlouho dokázaly kyselému dešti úspěšně vzdorovat. V příštích desetiletích se místo SO₂, jehož emise dnes výrazně klesají, začnou uplatňovat oxidy dusíku, jejichž vliv je složitější než poměrně jednoduché chování síry. Není tedy důvod na problém kyselých dešťů v budoucnu zapomenout.

Jiná situace nastala a předpokládá se, že bude pokračovat, v zemědělské výrobě. Díky rapidnímu poklesu atmosférických depozic síry v minulých dvaceti letech a více či méně neměnné atmosférické depozici dusíku, díky snížení obsahu síry v minerálních hnojivech, vyššímu odběru síry výkonnějšími odrůdami, díky výraznému poklesu stavů hospodářských zvířat a vyššímu zastoupením plodin náročných na síru v osevních sledech se stává aktuální potřeba síry jako rostlinné živiny. Významnou roli hraje síra také v odolnosti rostlin a to zejména proti houbovým chorobám. Pro zachování dostupnosti síry pro rostliny je třeba důsledným bilancováním vstupů a výstupů síry tento pokles organickým hnojením vyrovnávat.

Navrhovaná opatření

Za předpokladu, že by atmosférické depozice síry byly v relaci s biologickými nároky živých organismů a že tyto nebudou v budoucnosti stoupat, je možno zaměřit se v navrhovaných opatřeních zejména na depozice dusíku. Z výše uvedeného lze totiž odvodit určité výsadní postavení dusíku:

- dostupnost žádného jiného prvku nekontroluje primární produkci ekosystému tak výrazně jako dusík,
- tím se dusík stal přednostním kandidátem pro živinami řízenou bezohlednou manipulaci s agroekosystémy – to vše v dobré víře primárního poslání zemědělství, ve víře v zajištění kvalitní a dostatečné produkce plodin,
- dostupnost dusíku byla donedávna (před rokem 1912, kdy byl patentován Haber – Boschův proces syntézy dusíku a vodíku za vysokého tlaku a teploty, následně využívaný pro produkci minerálních dusíkatých hnojiv) řízena výlučně mikrobiálními mineralizačně-imobilizačními procesy,
- mikrobiální procesy jsou v koloběhu dusíku v ekosystému, potažmo v globálním cyklu dusíku nezastupitelné, nelze je v žádném případě nahradit nárazovými dávkami dusíku v minerální podobě vypočtenými na základě spekulativního výpočtu vycházejícího z množství minerálních forem N v půdě (součet dusíku nitrátového N-NO₃⁻ a amoniakálního N-NH₄⁺, přičemž je známo, že minerální N představuje cca 1 – 3 % z celkového obsahu dusíku v půdě),
- stanovení obsahu minerálního N nepodává dostatečnou informaci o dostupnosti dusíku pro rostliny, která je generována aktivitou mikroorganismů (při stejném obsahu minerálního N na identické lokalitě za stejných půdních a klimatických podmínek může být dostupnost dusíku pro rostliny rozdílná v závislosti na aktivitě mikroorganismů i více než o jeden řád),
- návratnost aplikovaného minerálního dusíku je nerentabilní a problematická – z jednoho sta atomů dusíku syntetizovaných při vysokém tlaku a teplotě Haber-Boschovým procesem do podoby dusíkatého hnojiva projde lidskými ústy pouze

čtrnáct, při aplikaci do porostů pícnin v živočišné výrobě pouze čtyři atomy (GALLOWAY et al. 2003),

- většina aplikovaného minerálního N je bezprostředně imobilizována půdními mikroorganismy a provázena zvýšenou aktivitou mikroorganismů spojenou s úbytkem snadno metabolizovatelných organických látek a tím i s vlivem na obsah a kvalitu humusu v půdě,
- půdní subsystém a zejména jeho živé složky mají dostatek mechanismů jak se „zbavit“ nadbytečného, nárazově aplikovaného dusíku se všemi známými neblahými důsledky, které mohou vysvětlit zjištění, že celosvětově cca dvě třetiny dusíkové zátěže pochází ze zemědělské činnosti,
- nadbytečný dusík, který v podobě nitrátů ochuzuje sorpční půdní komplex o bazické kationty a vyvolává tak logicky další potřebu minerálního hnojení, se stává problémem životního prostředí – dnes, s neustávající intenzitou zátěže, patrně problémem nejvážnějším,
- takto indukovaná nerovnováha dostupných živin společně s nežádoucím hnojivým účinkem vysokých dusíkatých depozic stojí totiž prokazatelně za zhoršením zdravotního stavu rostlin v přírodě blízkých ekosystémech a v ekosystémech lesních dřevin, za jejich atraktivitou vůči hmyzům škůdcům a vůči patogenům, za náchylností lesních dřevin k abiotickým faktorům atd.

Řešením je dle možností a společenské únosnosti odmítnutí aplikace minerálních forem N do půdy (nikoliv organických N-hnojiv s poměrem C:N vyšším než 25:1 a nikoliv jiných hnojiv reflektujících odběr rostlinstvem) a doporučení směřující k rehabilitaci mikrobiální kontroly dostupnosti dusíku v půdě cestou zařazení rostlin z čeledi vikvovitých do osevních sledů (umožňují obohacení ekosystému i o více než 200 kg N v daném roce), což při promyšleném a citlivém hospodaření může přinášet srovnatelnou zemědělskou produkci s produkcí v konvenčním zemědělství.

Půdoochranná adaptační opatření v zemědělství - závěry

V současné době je pravděpodobně nejzávažnějším problémem trvale udržitelného zemědělství degradace půdy, která zvyšuje ekonomické ztráty a má i další shora popsané negativní vlivy. Degradace půd je specifická dle druhu pozemku, intenzity a přírodně-klimatických podmínek stanoviště; na jednom stanovišti se může uplatňovat jeden nebo více faktorů způsobujících degradaci půd a proto nelze s určitostí říci, který z nich je v ČR nejpodstatnější – spíše hovoříme o typech degradace půdy specifických pro danou oblast.

Větrná eroze se nejvíce projevuje na jižní Moravě a ve východních Čechách. Lze předpokládat, že při očekávané aridizaci klimatu, jež se projeví zejména v těchto oblastech dojde ke zvětšení výměry půd náchylných k větrné erozi a úměrně tomu poroste i výměra půd bezprostředně ohrožených tímto typem eroze. Je proto reálný předpoklad, že výměra půdy přímo ohrožené větrnou erozí vzroste ze současných přibližně 7,5 % ZPF na přibližně 10 – 20 % výměry ZPF, úměrně tomu porostou škody způsobené tímto typem eroze.

Vodní eroze se nejvíce projevuje na jižní Moravě, ve východních a severních Čechách. I přes předpokládanou aridizaci klimatu nelze tento typ eroze podceňovat, protože v budoucnu se očekává častější výskyt extrémních meteorologických událostí typu přivalových dešťů a povodní, proto pravděpodobně nedojde ke snížení výměry půd ohrožených tímto typem eroze. Vodní erozi je v současnosti silně ohroženo cca 46 % území ČR.

Půdní organický uhlík (POH) a jeho množství v půdě má principiální význam při dalším hodnocení vývoje půdy a zemědělské krajiny. Množství a distribuce POH záleží na řadě faktorů, především na půdním typu a zrnitostním složení. Velmi důležitou součástí je

celkové hospodaření na zemědělské půdě, přiměřenost a kvalita uskutečněných systémových agrotechnických opatření. Pro pozitivní management jsou nejdůležitější exogenní vstupy organických látek do půdy a doplňkové závlahy. Vysoké ohrožení půd ztrátou organického uhlíku může zapříčinit náchylnost půdy na jiné ohrožení (eroze, salinita, fyzikální degradace). Návrat do původního stavu půdy může přinést nákladné investice, které je možno jen obtížně vyčíslit. Především podobnému ohrožení, případně eliminovat daný stav je možno neustálým monitorováním daných vlastností na reprezentativních územích. Dalším faktorem dokazujícím nezbytnost boje s tímto typem degradace je to, že uvolňování uhlíku ve formě CO₂ z půdních zásob způsobuje navýšení koncentrace skleníkových plynů v atmosféře a tím další negativní ovlivnění klimatu. Ztrátou půdní organické hmoty jsou ohroženy všechny typy půd (100 % ZPF).

Klimatickou změnou podmíněné sucho způsobí změnu fyzikálních vlastností vedoucí k utužení a ztvrdnutí půdních vrstev. Stupeň utužení kolísá v závislosti na půdní vlhkosti. Při nevhodných agrotechnických zásadách (časté či vzhledem k povětrnostní situaci nesprávně načasované pojezdy mechanismů apod.) dochází k intenzivní tvorbě podorničních ztvrdlých vrstev s výskytem pseudoagregátů. Zhutněním je ohroženo kolem 30 – 50 % ZPF.

Téměř všechny klimatické scénáře předpovídají extrémní sucha v části nížin, kde hladina podzemní vody bude ovlivňovat půdní profil. Z toho důvodu bude nutné monitorovat kolísání a množství solí v podzemní vodě a v půdě, aby nebyl překročen práh ohrožení půdy. Překročení tohoto prahu dojde pravděpodobně ke změně půdní struktury (nestabilita agregátů, profilové trhliny, utužení apod.), k porušení vodně-vzdušného režimu a živinového cyklu. Nadměrná přítomnost solí způsobí silnou redukci růstu. Odhady hovoří o ohrožení 1 – 2 milionů ha.

Odhad budoucího vývoje acidifikace a následných ztrát dusíku, či změny mikrobiálních společenstev je postaven na scénáři snižování atmosférické depozice síry a mírném zvyšování depozic dusíku. I přes značné snížení depozic síry v současnosti bude obnova půd historicky nejvíce zatížených horských lesních ekosystémů při hranicích naší republiky pomalá (desítky až stovky let). V příštích desetiletích se místo SO₂, jehož emise stále klesají, se začnou v atmosférických procesech uplatňovat oxidy dusíku, což může znovu vyvolat problém kyselých dešťů. Jiná situace nastala v zemědělské výrobě: díky poklesu atmosférických depozic síry v minulých dvaceti letech a relativně neměnné atmosférické depozici dusíku, snížení obsahu síry v minerálních hnojivech, vyššímu odběru síry výkonnějšími odrůdami, výraznému poklesu stavů hospodářských zvířat a vyššímu zastoupením plodin náročných na síru v osevních sledech se stává aktuální potřeba síry jako rostlinné živiny. Významnou roli hraje síra také v odolnosti rostlin proti houbovým chorobám. Pro zachování dostupnosti síry pro rostliny je třeba důsledným bilancováním vstupů a výstupů síry tento pokles organickým hnojením vyrovnávat. Kolísající nebo nevhodná acidita půd může narušit půdní strukturu a tím ji učinit náchylnější k negativním projevům klimatické změny. Protože je tento typ půdní degradace podmíněn atmosférickými depozicemi, jsou ohroženy všechny typy půd, tj. 100 % ZPF.

2 DOPADY KLIMATICKÉ ZMĚNY NA ZEMĚDĚLSTVÍ

Kromě změn teploty a srážek bude mít přímý vliv na rostlinnou výrobu další očekávaný růst koncentrací nevýznamnějšího skleníkového plynu, oxidu uhličitého (CO₂).

Značné zvýšení produkce biomasy by mělo být doprovázeno alokací velkého podílu sušiny do kořenů. Vzhledem k pomalejšímu rozkladu biomasy rostlin pěstovaných za zvýšené koncentrace CO₂ lze předpokládat, že bude docházet k trvalému obohacení půdy o organickou hmotu a ke zvýšení obsahu humusu. Jeho kvalita však bude pravděpodobně klesat.

K roku 2030 lze podle tohoto scénáře očekávat prodloužení bezmrazového období o 20 – 30 dnů. Počátek vegetačního období se v mnoha oblastech posune na začátek března, konec až do závěru října. Nyní je toto období na převážné většině území vymezeno dubnem až zářím.

Vyšší teploty vzduchu zákonitě ovlivní růst a vývoj rostlin tak, že umožní dřívější vzházení a nástupy dalších fenofází, takže období zrání či sklizně by mohlo být uspíšeno nejméně o 10 – 14 dnů oproti současnému stavu. Urychlení vegetace v jarním období však může zvýšit nebezpečí poškození rostlin pozdními mrazy. Očekávaný teplotní vzestup by tak měl vytvořit dostatečné teplotní zajištění pro pěstování teplomilných kultur (například polorané odrůdy kukuřice na zrno, rané odrůdy vinné révy).

Na druhé straně existuje vážné nebezpečí teplotního stresu častějším výskytem extrémně vysokých teplot. Jak plyne z odhadu hodnot Seljaninova vláhového indexu, bez výraznějšího zvýšení srážek při předpokládaném nárůstu evapotranspirace budou ve větší míře ohroženy suchem větší část střední a jižní Moravy, střední a severozápadní Čechy, dolní a střední Polabí a Povltaví, což by se mohlo negativně promítnout ve výši výnosů v našich nejproduktivnějších oblastech. Při dostatečně vysokých teplotách tak budou výnosy zemědělských plodin ovlivněny především dostatkem srážek ve vegetačním období, včetně jejich rovnoměrného rozložení. Působením zvýšených teplot by mohly být zčásti eliminovány vyšší srážky, jak vychází z některých scénářů. Obtížné je ovšem posoudit jejich rozdělení v roce. Podle výsledků simulací by však vyšší srážky znamenaly také zvýšení pravděpodobnosti výskytu denních úhrnů srážek nad 10 mm, tedy nárůst erozně nebezpečných dešťů, zejména v květnu, červnu a v září.

Senzitivita na počasí byla detailně studována u raných brambor a ozimé pšenice. Protože u brambor činí optimální teplota ve vegetaci 17 – 25°C, při teplotách nad 30°C dochází k zastavení růstu a nad 40°C k poškození rostlinných pletiv, mohl by nárůst teplot, vedoucí k trvalému poškození větších ploch, překrýt předpokládané zvýšení úrody vlivem zvýšené koncentrace CO₂. U ozimé pšenice mohou vyšší teploty v průběhu přezimování vést případně i k častějšímu poškození porostů po prudkých ochlazeních nebo výskytech vyšší sněhové pokrývky.

Vypočtené hodnoty pro jednotlivé scénáře klimatické změny k roku 2030 jednoznačně nepotvrzují zvýšení výnosů, jak se mnohdy obecně předpokládá, anebo jak odpovídá modelům, vycházejícím pouze z růstu koncentrace CO₂. Současný trend snižování hnojení minerálními hnojivy, hlavně dusíkem, by totiž za uvažovaných teplotních a srážkových poměrů znamenal snížení výnosů, mnohdy až na polovinu. Dalším závažným faktorem je, že předpokládanou klimatickou změnou se výrazně změní podmínky pro vývoj a působení zemědělských škůdců a chorob. Na průběhu teploty jsou jednoznačně závislé kritické fáze jejich vývoje.

Dále lze očekávat vyšší výskyt virových chorob, a to na větších plochách – např. u brambor, způsobený zejména větším výskytem mšice broskvoňové již v květnu, kdy je bramborový trs na přenos virových chorob náchylnější. Zvýšení teplot při přibližně stejných srážkách představuje obecně vhodnější podmínky pro vývoj chorob a škůdců s možným následným zvýšením počtu generací dospělých jedinců. Obdobně se předpokládá vyšší

výskyt houbových chorob, např. plísně bramborové a plísně chmelové. Z hlediska produkce porostů to vyvolá nutnost zvýšení chemické ochrany, což povede ke zvyšování nákladů na tuto ochranu. V případě nedostatečné chemické ochrany naopak dojde ke snížení hospodářských výnosů zemědělských plodin.

Možná klimatická změna se promítne i do půdních poměrů, více u těch půd, které jsou narušeny předcházejícím způsobem hospodaření. Hlavně jde o poškození fyzikálního stavu podorničí, snížení retenční schopnosti půd a jejich mikrobiální aktivity. Při vzrůstu teplot a současné hodnotě nebo snížení srážek dojde ke změnám vlhkostního režimu půd, přičemž se patrně rozšíří výměry půd ohrožených vlhkostním stresem, včetně snížení jejich biologické aktivity. Protože půdní vlhkost ovlivňuje bezprostředně orební odpory, budou mít tyto změny dopady na obdělávání půd. Orba při hodnotách blízkých kritické půdní vlhkosti, která klesá s růstem teploty vzduchu a poklesem srážek v měsících srpnu a září, pak nevytváří podmínky pro dobrou přípravu seťového lůžka. To bude vyžadovat využívání nových systémů zpracování půdy, aby nerostly náklady na její obdělávání. Značné nebezpečí ale může představovat zaplevelení polí vytrvalými plevely, z nichž mnohé jsou odolnější vůči suchu než zemědělské kultury.

Zvyšující se koncentrace CO₂ sice dává předpoklad jeho vyšší asimilace, limitujícím faktorem se však stává nedostatek vody. Výraznější sucho může nastávat v určitých oblastech vlivem nepříznivého rozdělení srážek hlavně během vegetační doby.

2.1 Dopady změny klimatu na produkci pšenice ozimé a ječmene jarního [4]

Vztah mezi chodem meteorologických prvků a chováním vybrané plodiny lze zkoumat buď analyticky prostřednictvím vlivu jednotlivých faktorů nebo pomocí dynamických růstových modelů simulujících změnu systému v čase v závislosti na okolním prostředí, které se pokouší postihnout působení řady činitelů v jejich celistvosti. První a starší z uvedených metod (např. Fischer, 1924) významně přispěla k pochopení základních vztahů mezi rostlinou a vnějším prostředím, ale současně jen málo odráží komplexní vazby přítomné v každém agrosystému. Získané poznatky navíc nelze zobecňovat, protože zjištěné závislosti jsou funkcí i dalších faktorů jako např. půdních podmínek, výsevu nebo odrůdy atd. (Penning de Vries *et al.*, 1989). Růstové modely jsou naproti tomu založeny na funkční syntéze jednotlivých algoritmů popisujících základní procesy života rostlin mezi jinými např. fotosyntézu, respiraci, transpiraci, rozdělení asimilátů, využití dusíku, fenologický vývoj, rozvoj kořenového systému atd. Simulace jsou integrovány v poměrně krátkém časovém kroku (zpravidla denním) a jsou pokoušeny se napodobit reálné chování systému včetně dynamiky jeho změn v čase. Tyto modely jsou rovněž ve značné míře přenositelné do odlišných podmínek vnějšího prostředí za předpokladu jejich parametrizace a re-kalibrace, která je první, nejpracnější a nejnákladnější etapou při aplikaci modelu a zahrnuje jak sběr a měření dat, tak nákup databází a jejich kontrolu (Žalud, 2002). Je totiž nutné data nejen shromáždit, ale také je převést do formátu a jednotek modelem požadovaných (de Wit, 1986) a provést kontrolu kvality. Následná evaluace modelu může být úspěšná pouze v případě, že parametrizace a kalibrace byly provedeny s vysokou mírou přesnosti.

Před započítáním studia vlivu změny klimatu na produkci dvou vybraných obilnin je třeba nejdříve zhodnotit úlohu, kterou v růstu rostlin má oxid uhličitý. Atmosférický CO₂ je především jediným zdrojem uhlíku pro rostliny a jeho současná koncentrace je pro C₃ rostliny suboptimální (např. Hall, 1979, Nonhebel, 1996, Amthor, 2001). Proto zvýšení jeho koncentrace stimuluje intenzitu fotosyntézy, i když je zřejmé, že míra stimulace je závislá na vývojovém stadiu rostliny (např. Mitchel *et al.*, 1999). Zároveň vyšší koncentrace CO₂ snižuje intenzitu transpirace díky snížení doby, po kterou rostlina musí udržovat otevřené průduchy pro přijetí stejného množství CO₂. To vede k výrazně vyšší efektivitě využití vodních zásob rostlinou zvláště za vyšších teplot (Bunce, 2000) a zároveň se omezuje

možnost vzniku stresu suchem (Kimbal, 1983). Výše popsaná reakce rostlin je označována některými autory jako fertilizační efekt CO₂ (např. Dhakhwa, 1997), případně jako **přímý vliv** CO₂. Pokusy v uměle vytvořené atmosféře obsahující dvojnásobek současné koncentrace CO₂ potvrdily očekávání, když byl zaznamenán nárůst produkce biomasy v rozmezí 33±6% u C₃ rostlin mezi než patří i ječmen a pšenice. Nicméně jsou známy i výsledky dalších studií, které vykázaly nárůst produkce biomasy pouze v řádu 10-20%. Pokud je limitujícím faktorem dostatek vody během vegetační sezóny jsou výnosy stimulovány i optimalizací vodního režimu což např. v podmínkách ČR může hrát významnou roli. Na druhé straně zvýšená koncentrace oxidu uhličitého představuje riziko změny chodu meteorologických prvků, které ovlivňují výnos a důsledky takové změny na růst a vývoj rostlin se označují jako **nepřímý vliv**. Nejvýznamnějšími prvky ovlivňujícími výnos jsou srážky, teplota a globální radiace. Pokud nejsou přijata adaptační opatření (např. použití vhodnějších odrůd, změna data setí nebo způsob obdělávání půdy, který šetří půdní vláhu) pak zvýšení teploty vede u jarního ječmene a obilín obecně k poklesu výnosu v důsledku celkového zkrácení doby růstu (Batts *et al.*, 1997; Brown a Rosenber, 1997). Ovšem míra vlivu zvýšené teploty a stupeň ovlivnění výnosu závisí do značné míry na vývojové fázi plodiny (Porter a Gawith, 1999). Zvýšení hodnot globální radiace stimuluje asimilaci uhlíku v listech (Wolf a Diepen, 1995) a posléze vede ke zvýšení výnosu (Hall, 2001; Brown a Rosenberg, 1997). Zároveň zvýšené hodnoty teploty a globální radiace způsobují zvýšení evapotranspirace, takže může naopak dojít k poklesu výnosu vzhledem k častějšímu ohrožení polních kultur suchem, pokud nejsou dostatečně zásobeny vodou (Trnka *et al.*, 2001). Vliv změny v množství a rozložení srážek může být buď pozitivní, pokud snižuje vodní deficit nebo negativní pokud nadbytek vody způsobí anaerobní podmínky v kořenové vrstvě případně zvyšuje vymývání dusičnanových iontů do hlubších vrstev či znemožňuje vykonání klíčových polních prací a agrotechnických zásahů.

Většina aspektů spojených s dopady změny klimatu může být posouzena jen s pomocí růstových modelů. Vliv změny klimatu je odhadován porovnáním výsledků získaných na základě simulací provedených s meteorologickými údaji reprezentujícími současné podmínky oproti výsledkům dosažených s daty, které byly odvozeny pro očekávané klima. Meteorologická vstupní data pro změněné klima byla pro tuto studii připravena pomocí stochastického generátoru Met&Roll (Dubrovský, 1997), který na základě dlouhodobých řad pozorování meteorologických prvků v dané lokalitě a scénáře změny klimatu vytvoří pravděpodobný obraz počasí v daném časovém horizontu.

Při použití modelů a zejména během jejich aplikace je nezbytné mít na paměti možnosti a omezení daného modelu, a to jak ve stadiu výběru vhodného nástroje pro daný úkol, při stanovování cílů a zejména při interpretaci výsledků. Zjednodušení, spolu s jistou mírou empirie které jsou obsaženy v každém modelu přináší určitou míru nepřesnosti jejíž příčiny lze rozdělit např. takto:

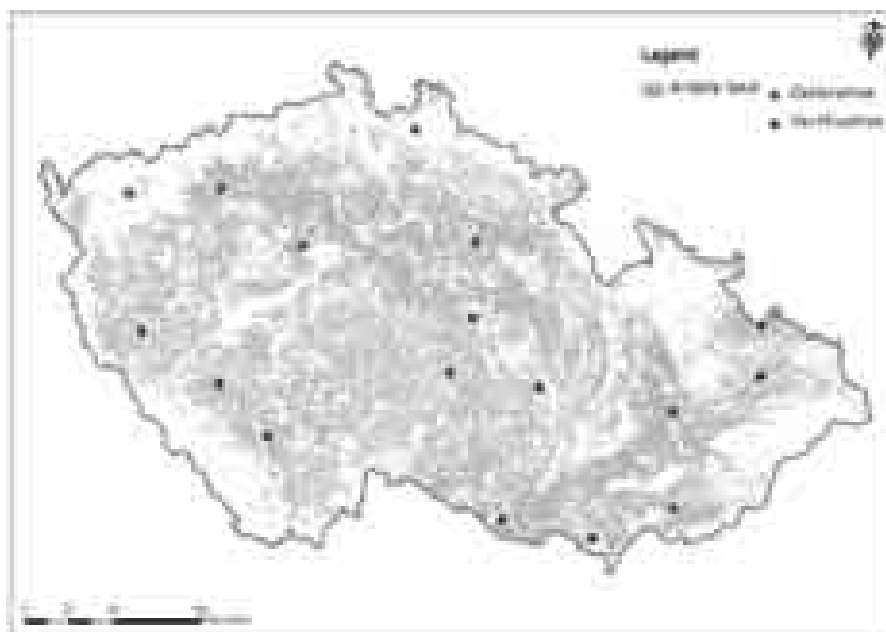
- Model je vždy zjednodušením reality, i když někdy může být obtížné odlišení zjednodušení a strukturální chyby modelu. Taková chyba se může projevit např. až po přenesení modelu do odlišných agroklimatických podmínek.
- Všechna vstupní data jsou měřena či odhadnuta pouze s jistou mírou přesnosti. Navíc některé vstupní parametry považované modelem za konstantní se během sezóny mění (chemismus půd) a oba uvedené zdroje chyb mohou mít různě velký vliv na výsledky modelu (mohou se rušit nebo naopak šířit a potencovat). V jistých případech bývá problematické měření samotné (např. u srážek) nebo hodnoty některých vstupních údajů na určitých lokalitách nejsou vůbec dostupné (globální radiace).
- Nepředvídané jevy, které mohou být dvojího typu: 1) nepředvídatelné jevy vzhledem k jejich povaze (krupobití, přivalové deště atd.) 2) předvídatelné, ale nezahrnuté do modelu buď z nedostatku dat nebo ze snahy nekonstruovat model příliš složitě (např. choroby a škůdci, koloběh makro i mikroprvků).

- Zvolený čas integrace (obvykle jeden den) může být příliš dlouhý na to, aby bylo možné zachytit dynamiku některých jevů (denní průběh fotosyntézy, rozdělování asimilátů, respiraci či pohyb vody v půdě).
- Některé jevy nejsou zcela prozkoumány, i když jsou v modelech zahrnuty, tak jako např. stress suchem přičemž mechanismus pomocí kterého se rostliny z tohoto stresu po jeho skončení zotavují, není doposud přesně znám.

Určitá míra nejistoty je vlastní všem lidským činnostem a všem přírodním jevům a živým systémům a nevyhýbá se ani modelování. Její vliv může být redukován jednak tím, že její existenci bereme na vědomí a zahrnujeme ji do našich úvah a také snahou o co nejkvalitnější vstupní data, která byla podrobena důkladné kontrole a pocházejí z většího počtu spolehlivých míst a z maximálně možného počtu sezón.

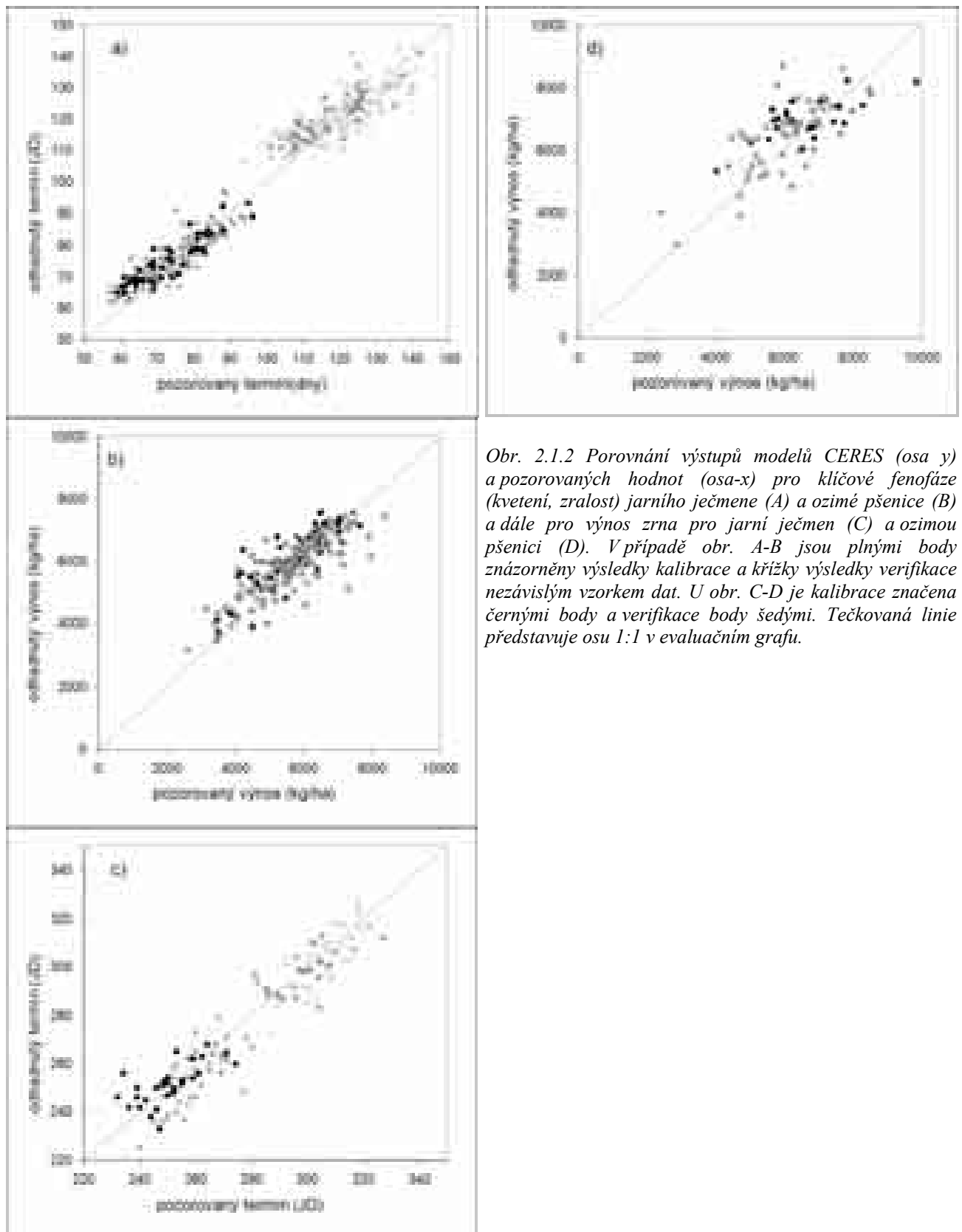
2.1.1 Evaluace růstových modelů CERES-Barley a CERES-Wheat

Evaluace růstových modelů byla provedena porovnáním simulovaných hodnot evaluačních parametrů (např. výnos zrna, délka vegetace, datum kvetení, HTZ, počet zrn na m², počet produktivních stébel) s pozorovanými hodnotami. Model CERES-Barley byl kalibrován na lokalitách Lednice, Sedlec, Chrastava a Domanínek zatímco model CERES-Wheat byl kalibrován na lokalitách Lednice a Sedlec (Obr. 2.1.1).



Obr. 2.1.1 Prostorové rozložení kalibračních (hnědé) a verifikačních (modré) lokalit na území ČR (jedná se o pokusné stanice ÚKZÚZ). Šedě je vyznačena GIS vrstva orné půdy použitá pro tuto studii.

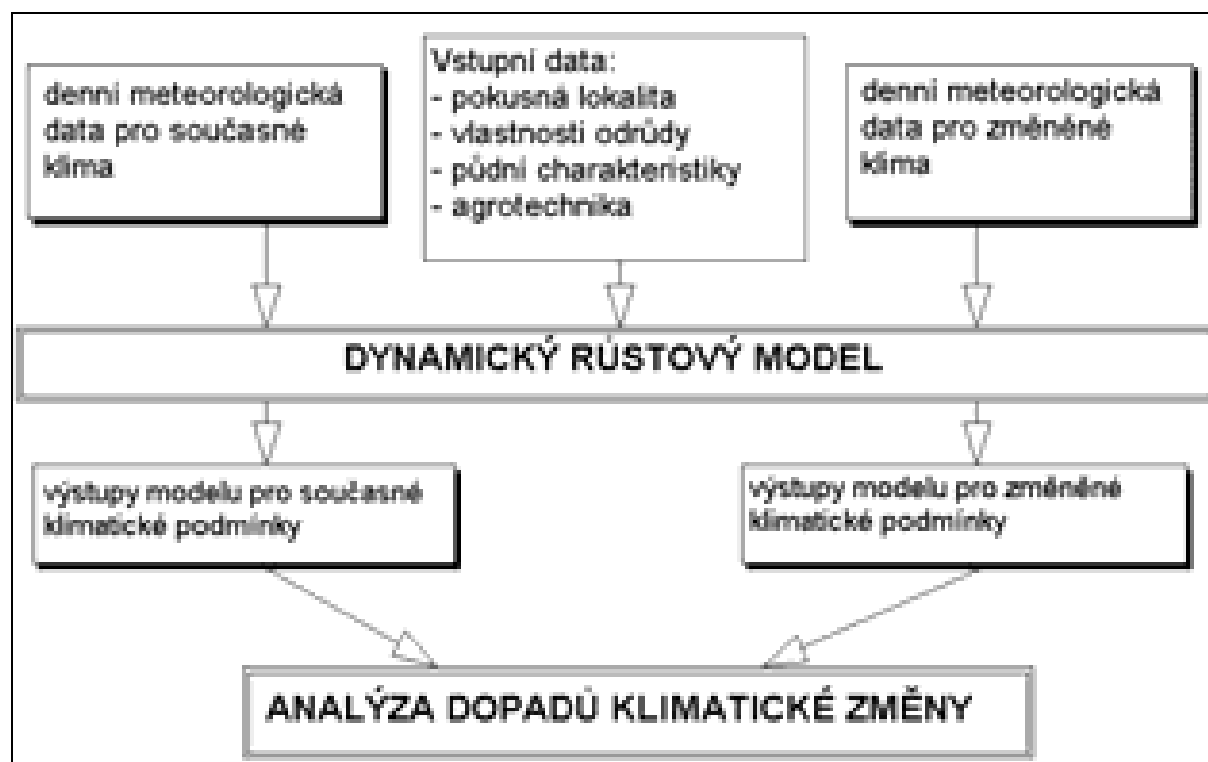
Ve druhém kroku byl model CERES-Barley evaluován na 13 a model CERES-Wheat na 5 lokalitách (viz. Obr. 2.1.1), a to se zaměřením se na odrůdy **Orbit** (ČR, ječmen, poloraný) a **Hana** (ČR, pšenice, raná). Pro ilustraci jsou přiloženy výstupy evaluace (Obr. 2.1.2) klíčových parametrů (tj. nástup hlavních fenofází a výnosu zrna v sušině) pro 222 kalibračních a verifikačních ročníků na 17 lokalitách u jarního ječmene a 77 kalibračních a verifikačních ročníků na 7 lokalitách u ozimé pšenice. Z prezentovaných výsledků, a také z řady dalších analýz např. Eitzinger *et al.*, (2004); Trnka *et al.* (2004a-b) vyplývá, že modely CERES-Barley a CERES-Wheat jsou schopny dobře zachytit variabilitu výnosů pro danou lokalitou, ročník i použité agrotechnické postupy (např. odrůdou, hnojením i datem setí). Detailní výsledky validací budou k dispozici v rámci studie Trnka *et al.* (2008).



Obr. 2.1.2 Porovnání výstupů modelů CERES (osa y) a pozorovaných hodnot (osa-x) pro klíčové fenofáze (kvetení, zralost) jarního ječmene (A) a ozimé pšenice (B) a dále pro výnos zrna pro jarní ječmen (C) a ozimou pšenici (D). V případě obr. A-B jsou plnými body znázorněny výsledky kalibrace a křížky výsledky verifikace nezávislým vzorkem dat. U obr. C-D je kalibrace značena černými body a verifikace body šedými. Tečkovaná linie představuje osu 1:1 v evaluačním grafu.

2.1.2 Metody odhadu klimatické změny, adaptační a prostorová analýza

K odhadu dopadu změny klimatu na výnosy obou obilnin byla použita metodika vypracovaná Žaludem a Dubrovským (2002) a testovaná Trnkou *et al.*, (2004a,b), která vychází z mnohonásobných simulací růstového modelu se syntetickými řadami meteorologických vstupních dat pro současné a pro změněné klima (Obr. 2.1.3). Vstupní data pro růstový model představují (při aplikaci této metody) pedologická, fyziologická a agrotechnická data odvozená z podmínek zemědělské praxe a také generované 99tileté řady meteorologických dat vytvořené generátorem Met&Roll (Dubrovský, 1997).



Obr. 2.1.3 Schéma využití růstových modelů při odhadu dopadů klimatické změny (Žalud a Dubrovský, 2002).

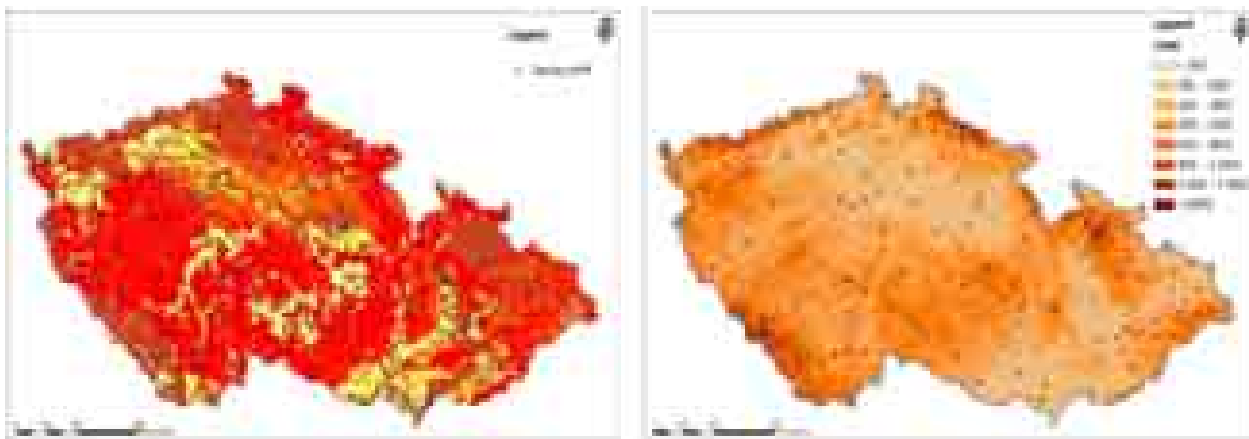
Na základě výsledků simulací bylo možné stanovit hodnotu výnosu limitovaného živinami a vodou, která lze charakterizovat jako výnos dosažitelný při dodržení agrotechnických zásad a při vyloučení negativního vlivu chorob a škůdců.

V impaktových studiích je nutné brát v úvahu oba mechanismy (např. Pritchard a Amthor, 2005), kterými působí zvýšená koncentrace CO₂ na rostliny a proto zde mají růstové modely nezastupitelné místo. Umožňují totiž jak efektivní studium důsledků obou mechanismů odděleně, tak také v jejich kombinaci (**kombinovaný vliv**), která reprezentuje očekávaný stav. Tento přístup poskytuje výrazně kvalitnější a detailnější výsledky pro následnou analýzu na straně druhé znamená ztrojnásobení počtu většiny prováděných analýz. Z tohoto důvodu byla pro účely této studie prováděna analýza pouze nepřímého a kombinovaného vlivu oxidu uhličitého a přímý vliv byl kvantifikován pouze pro omezený počet scénářů.

Využití růstových modelů CERES umožnilo zohlednit v rámci simulací i tzv. autonomní adaptaci. V rámci simulací vycházíme z oprávněného předpokladu, že zemědělci budou i ve změněných klimatických podmínkách hospodařit tak, aby maximalizovali výnos při minimalizaci vstupů. Model byl upraven tak, aby optimalizoval termín setí a aplikaci minerálních hnojiv s ohledem na aktuální meteorologické podmínky dané sezóny a rovněž zvolil vhodný termín sklizně co nejbližší fyziologické zralosti. V simulacích je tak již zohledněno uspišení jarních prací (v případě jařin) a dřívějšímu termínu aplikace regenerační

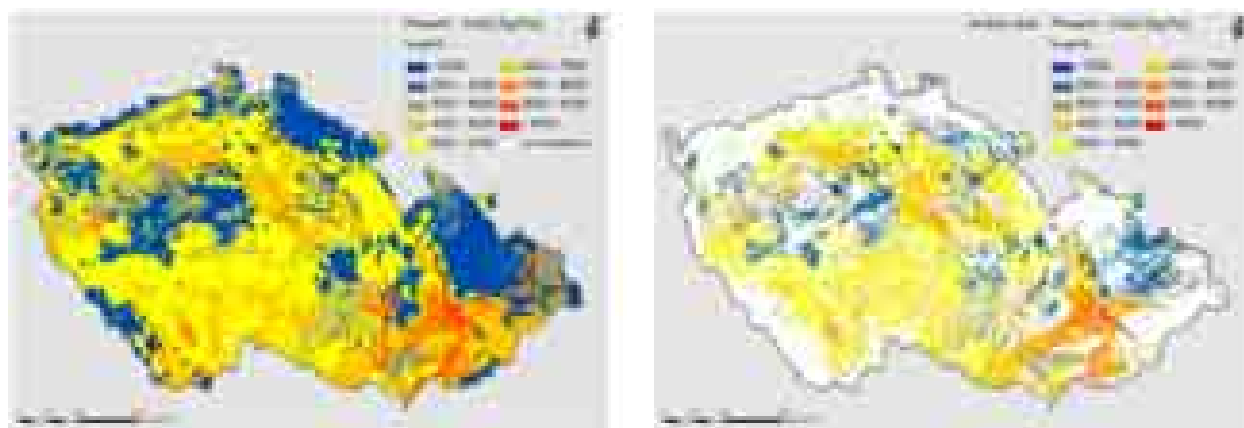
dávky minerálních hnojiv (zejména dusíku) u ozimů. Stejně tak model zohledňuje možnost posunu orby a data setí ozimé pšenice do pozdějších měsíců oproti současnosti. Vzhledem ke své povaze je autonomní adaptace spojena pouze s minimálními náklady neboť využívá prostředků, které má pěstitel již k dispozici, nicméně její zahrnutí do simulací je spojeno s nemalými technickými problémy.

Další dvě navržená adaptační opatření byla aplikována pouze na úrovni jednotlivých lokalit a to z časových důvodů. Spočívala v testování možností, které poskytují v současnosti dostupné odrůdy jarního ječmene a ozimé pšenice a odhadu možného přínosu opatření šetřících vláhu.



Obr. 2.1.4 Rozložení půdních polygonů a výběrových sond (vlevo) a meteorologických stanic (vpravo) použitých v této studii.

Pro tuto studii byla použita metoda prostorové analýzy ke stanovení výnosového potenciálu navržená Trnkou *et al.* (2006), která spočívá (i) v rozdělení území ČR na půdně-klimatické polygony s pokud možno stejnorodými půdními a klimatickými vlastnostmi. (Prostorové rozložení půdních typů bylo odvozeno z digitální mapy půdních typů ČR 1 : 500 000 a charakteristika jednotlivých typů vychází z digitalizované databáze výběrových půdních sond komplexního průzkumu půd (celkem 1074 detailních půdních profilů – Obr. 2.1.4), které byly analyzovány a definovány 394 použitelných sond. Tyto údaje pak byly parametrizovány pro modely řady CERES.



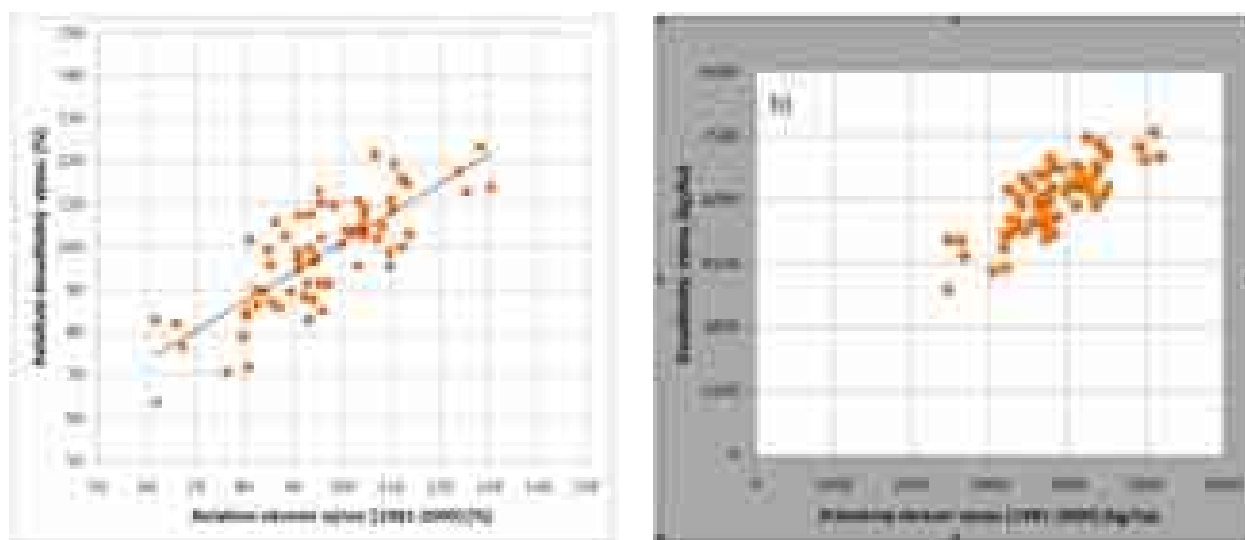
Obr. 2.1.5 Ukázka dalšího zpracování výsledných dat – Průměrný výnos jarního ječmene v klimatických podmínkách 1961-2000 byl stanoven nejprve ve všech půdních polygonech (vlevo) a následně hodnocen pouze pro gridy na orné půdě (vpravo).

Studie vycházela z údajů ze 125 stanic ČHMÚ, které rovnoměrně pokrývají území ČR a umožňují provedení skutečně reprezentativní prostorové analýzy (Obr. 2.1.4). (ii) Pro každý půdní polygon byla provedena simulace růstovým modelem jehož vstupní parametry reprezentovaly typické půdní a klimatické parametry polygonu a to postupně

s meteorologickými daty ze všech 125 stanic. Denní řady meteorologických prvků nezbytné k provedení simulací byly vytvořeny generátorem meteorologických dat, který byl pro tyto účely přizpůsoben. (iii) Celková produkce pro území ČR byla získána integrací výstupů v jednotlivých polygonech v kombinaci s daty digitální mapy krajinného krytu (Obr. 2.1.5). Jeden simulační běh vyžaduje provedení cca 5 miliónů sezónních simulací a následnou interpolaci ve 394 vrstvách, což představuje cca 10 dní počítačového času vysoce výkonné výpočetní jednotky a následné zpracování v programu ArcInfo 9.1. Dávka hnojiv v jednotlivých polygonech vycházela z množství aplikovaného na 17 experimentálních stanicích a byla standardizována pro všechny polygony. Termín aplikace byl fixován vzhledem k datu setí. Pro určení termínů setí byla použita utilita modelu CERES definující setí na základě půdní teploty a vlhkosti, která byla verifikována pomocí skutečných termínů setí na 25 experimentálních stanicích v průběhu let 1985-2005.

2.1.3 Výsledky

V první fázi studie byly výstupy modelů CERES integrovány pro výměru orné půdy v jednotlivých okresech a porovnány s průměrnou produktivitou těchto okresů stanovenou na základě dat Českého statistického úřadu v letech 1981-2000. Z výsledků analýz vyplývá (Obr. 2.1.6), že reálné výnosy zaostávaly o více než 40% za průměrnou úroveň dosažitelných výnosů v jednotlivých regionech, což je dáno celou řadou faktorů. Zejména tím, že v provozních podmínkách existuje celá řada faktorů (nad rámec těch uvažovaných modelem), které snižují konečný výnos. Mezi ně patří např. výskyt chorob a škůdců, krupobití, povodně, sklizňové ztráty, chyby v agrotechnice, nedostatky ve výživě rostlin a lze je považovat za hlavní důvod rozdílů mezi reálnými výnosy udávaných ČSÚ a hodnotou dosažitelného výnosu.



Obr. 2.1.6 Porovnání relativních výnosů vzhledem k průměru ČR a absolutního výnosu v jednotlivých okresech mezi průměrnými výnosy jarního ječmene dle ČSÚ (1981-2000) a výsledky modelu CERES-Barley.

Toto vysvětlení rozdílů mezi reálnými a simulovanými výnosy je podpořeno tím, že výnosová hladina předpokládaná modelem velmi dobře koresponduje s výsledky odrůdových pokusů (Obr 2.1.2b, d), které se pohybují na hranici dosažitelného výnosu díky téměř optimální agrotechnice, intenzivní ochraně před chorobami a škůdci a propracovanému systému hnojení a střídání plodin. Současně ale výsledky naznačují, že oba modely mohou vystihnout regionální rozdíly produktivity mezi okresy a obstojí i ve srovnání s reálnými daty, které jsou základním podkladem pro hodnocení výkonnosti rostlinné produkce v rámci ČR (Obr. 2.1.6). Je nicméně patrné, že modelové výsledky jsou přesvědčivější v případě jarního ječmene než je tomu u ozimé pšenice. To je dáno do značné míry nižší citlivostí ozimé pšenice na abiotické stresy (zejména sucha jak uvádí např. Hlavinka *et al.*, 2007) a její

větší závislost na správné agrotechnice a optimálním přezimování. Ani jeden z faktorů není doposud optimálně postihnuteľný pomocí růstového modelu. Simulace v případě ozimé pšenice navíc vycházely z předpokládané relativně nižší intenzity produkce (dávka minerálního dusíku odpovídala 90 kg čistých živin na ha) což vedlo ke komparativně nižší produkci ve srovnání s jarním ječmenem, kde byla naopak uvažována téměř optimální dávka 70 kg/ha.

2.1.4 Dopady změny klimatu na produkci jarního ječmene a ozimé pšenice

Přímý vliv

Podle obecně platného názoru povede zvýšení koncentrace CO₂ v atmosféře ke zvýšení výnosu obou obilnin. Jak již bylo naznačeno v úvodu je tento nárůst způsoben urychlením procesů fotosyntézy spolu se zvýšenou efektivitou využití vody rostlinou (WUE), což platí pouze v případech, že voda je faktorem limitujícím výnos. Protože síla přímého vlivu CO₂ je úzce spjata s množstvím srážek během růstu plodiny je nárůst výnosů u scénářů předpokládajících zvýšení úhrnu srážek menší (např. NCAR) než u těch, které předpovídají směřování k sušším podmínkám (např. HadCM). Důležitost WUE jako složky přímého vlivu je patrná zejména pokud porovnáme jednotlivé okresy, neboť zjistíme, že poněkud více rostou výnosy v případě suchých oblastí jižní Moravy (např. okr Břeclav) a relativně méně v okresech chladnějších a vlhčích (např. Žďár nad Sázavou, Bruntál apod.).

Nepřímý vliv

Nepřímý vliv zvýšené koncentrace CO₂ na vodou limitovaný výnos pro tři hodnocené GCM scénáře je prezentován v Tabulce 2.1.1 a na mapách v PŘÍLOZE 2A. U obou plodin je patrný negativní vliv změněných klimatických podmínek (zejména vyšší stres suchem). Pokud byly použity scénáře HadCM a ECHAM (SRES-A2 i SRES-B1) došlo k poklesu výnosu v celorepublikovém průměru o řádově desetiný procentního bodu u ozimé pšenice, zatímco u jarního ječmene byl tento pokles výraznější (až 12.4%). Simulace s použitím scénáře NCAR vedla dokonce ještě k negativnějším důsledkům pro růst a vývoj jarního ječmene a ozimé pšenice v celorepublikovém průměru. Tento pokles je pravděpodobně způsoben nárůstem srážek v měsících důležitých pro optimální setí obou obilnin /tzn. pozdní podzim a časně jaro/. Vynucené pozdější setí pak vede k vývoji během období zvýšených teplot a nevyhnutelně tak dochází ke zkrácení trvání jednotlivých fenologických fází, což brání optimálnímu vývoji plodiny. Zároveň, ale platí, že časnější setí (jako autonomní = přirozené, samovolné adaptační opatření) umožní v naprosté většině sezón dokončení klíčových fenofází před obdobím v němž očekáváme dramatický pokles srážek spolu nárůstem hodnot potenciální evapotranspirace.

Kombinovaný vliv

Kombinovaný vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého naznačuje pozitivní trend vývoje výnosů v podmínkách změněného klimatu, i když velikost tohoto zvýšení závisí na použitém scénáři (Tabulka 2.1.2, mapy v PŘÍLOZE 2A). Zatímco v případě jarního ječmene je očekávaný nárůst výnosů zanedbatelný a pohybuje se v řádu několika procentních bodů, setkáváme se v případě ozimé pšenice s podstatně výraznějším nárůstem až o 14% okolo roku 2050 v případě SRES-B1 scénáře a s nárůstem přes 20% v případě scénářů SRES-A2. Je zřejmé, že ozimá pšenice je nejen méně citlivá ke změně klimatických podmínek (viz. Tab. 2.1.1) ale zároveň dokáže lépe využít měnících se klimatických podmínek k dosažení vyšší produkce. Míra kombinovaného vlivu je pochopitelně závislá i na klimatických a půdních podmínkách příslušného regionu, a výsledky na úrovni jednotlivých okresů ukazují, že největší relativní nárůst výnosů oproti současnosti bude soustředěn do oblastí, které mají příznivější půdní podmínky a současně jsou relativně dobře zásobeny srážkami (např. Prostějov, Olomouc, Přerov). Dramatický nárůst produktivity vyjádřený dosažitelnými

výnosy v období mezi léty 2020-2050 je pak očekáván v oblasti Českomoravské vysočiny, severní Moravy a severních Čech, kde jsou v současnosti suboptimální teplotní podmínky, ale více než dostatečné srážky a stále dostatečně kvalitní půda. Obdobných výsledků bylo dosaženo i v rámci paralelní studie v několika oblastech v Rakousku (Trnka *et al.*, 2008), kdy ozimé plodiny rovněž vykazují výrazně menší citlivost k negativním důsledkům změny klimatu zatímco u jařin se v některých případech setkáváme dokonce s očekávaným poklesem produkce. Tyto výsledky potvrzují závěry předcházejících prací Žaluda a Dubrovského (2002) a Trnky *et al.* (2004a-b) a poukazují na mimořádný význam autonomní adaptace. Většina předchozích analýz totiž autonomní adaptaci neuvažovala což vedlo k výraznému nadhodnocení nepřímého vlivu změny klimatu, protože hlavní část růstu rostlin byla směřována do období s výrazně negativní vodní bilancí. Naše analýzy ukazují na výrazné posuny termínu setí (a dalších operací) řádově až o dvacet dní v případě SRES-A2 a horizontu roku 2050.

Souhrn mapových výstupů a seznam použité literatury jsou součástí PŘÍLOHY 2A.

2.1.5 Adaptační opatření

V rámci studie byla kromě autonomní adaptace posuzována i další relativně snadno implementovatelná adaptační opatření a to i) změna v sortimentu použitých odrůd a ii) zavedení opatření šetřících půdní vláhu (zejména mulčování, snižující ztrátu vody výparem z horních vrstev půdy). V případě změny odrůdového sortimentu bylo snahou pomocí změn parametrů výchozí odrůdy najít jejich optimální hodnoty pro změněné klimatické podmínky, tak aby bylo zajištěno dosažení co nejvyššího výnosu s co nejmenší variabilitou. Zvláštní pozornost byla věnována těm polygonům, které byly na základě provedených analýz, označeny jako rizikové. Výsledky pro období 2050 (SRES-A2, GCM model HadCM a ECHAM) ukazují, že zkrácením vegetační doby odrůdy o jeden den (bez změny ostatních parametrů) dochází k poklesu výnosu v řádu 100 kg/ha/den. Prodloužení délky doby vegetace odrůdy pak vede k nárůstu výnosu a u pozdějších odrůd je při použitém scénáři (SRES-A2, 2050) možné očekávat vzhledem k vyšší efektivitě fotosyntézy a vyšší WUE nárůst výnosu o 150 kg/ha/den a to jak u ozimé pšenice tak u jarního ječmene. Je zřejmé, že zavedení takových kultivarů (které by bylo možné označit jako pozdní až velmi pozdní sortiment) může přinést nejenom zvýšení hodnot průměrného výnosu, ale zčásti i relativní snížení výnosové variability. Odrůdy v současném sortimentu se svojí raností liší řádově o několik málo dnů (5 dní a méně u ozimé pšenice a do 2 dní u jarního ječmene) a výraznější prodloužení délky vegetace není v nejbližší době pravděpodobné.

Voda obsažená v půdě představuje v agroekosystému největší zásobu vláhy dostupné pro rostliny. Půda slouží nejen jako zdroj vody a její rezervoár, ale plní rovněž funkci stabilizační, neboť přeměňuje víceméně náhodně distribuovanou vláhu pocházející ze srážek v kontinuální zdroj vody pro rostliny. Množství vody, které je půda schopná zadržet závisí především na jejích fyzikálních vlastnostech (zvláště hodnotách hydrolimit), hloubce profilu a samozřejmě na rozložení a množství srážek. Je zřejmé, že šetrný a promyšlený způsob hospodaření s půdní vláhou je nezbytným předpokladem dosahování vysokých výnosů bez nutnosti dalších energetických vstupů (např. závlah) i v současných klimatických podmínkách. Struktura dynamického růstového modelu bere v úvahu výše uvedené a také další experimentálně zjištěné zákonitosti týkající se dynamiky půdní vláhy. Především množství dostupné vody v půdě na počátku vegetační sezóny je velmi důležitou veličinou ovlivňující vývoj virtuální plodiny.

Simulace s různými úrovněmi množství vody dostupné na počátku simulace prokázaly, že výnosy rostou a jejich variabilita se snižuje s vyšší hodnotou množství vláhy v půdním profilu. Tento pozitivní vliv je způsoben snížením rizika stresu suchem zejména v pozdějších stadiích vývoje. Zvýšení hodnoty vláhy dostupné v půdě na počátku simulace o 1% (1/100 rozdílu mezi bodem vadnutí a polní kapacitou) odpovídá zvýšení výnosu o 50-100 kg/ha (podle typu půdy) v intervalu běžných hodnot počátečního nasycení půdního

profilu tj. 30-80% retenční kapacity. Podobné hodnoty platí i pro změněné klimatické podmínky, což činí ze zavedení půdní vláhu šetřících opatření jeden z klíčových kroků adaptační strategie. Schopnost půdy zadržovat vodu a její retenční kapacita mohou být zvýšeny použitím takového způsobu obdělávání půdy, který vyhovuje místním pedologickým, terénním a klimatickým podmínkám (Lampurlanés et al., 2002), zaoráváním slámy (Singh et al., 1998), případně mulčováním (Tolk et al., 1999). Vyšší zásoba vody v půdě může zvýšit produkci zvláště jarních obilnin a zároveň snížit nebezpečí ohrožení výnosu déle trvajících obdobími sucha.

Je zřejmé, že hodnota dosažitelného výnosu se v podmínkách ČR bude u obou zkoumaných plodin pravděpodobně zvyšovat a existuje tak potenciál pro výrazný nárůst výnosů kombinací kvalitnější agrotechniky a nových klimatických podmínek. Pokud k tempu růstu výnosů v důsledku změny klimatu připočteme pravděpodobný nárůst výnosů daný zaváděním výkonnějších odrůd a nových technologií, je možné v období roku 2050 očekávat až o 50% vyšší produkci z jednotky plochy než nyní. Nicméně tyto pozitivní zprávy je nutné vnímat v perspektivě dalších jevů, ke kterým bude docházet. Je zřejmé, že např. změny infekčního tlaku, rozšíření některých chorob a škůdců jakož i větší pravděpodobnost výskytu sucha (viz. předešlá část zprávy) nepříznivě ovlivní ekonomiku rostlinné výroby. Tyto negativní jevy budou moci být kompenzovány vyšším produkčním potenciálem (zejména ozimých obilnin) pouze v případě správně zvolené agrotechniky a opatření zajišťující udržení půdní úrodnosti v nových klimatických podmínkách.

Tabulka 2.1.1 Nepřímý vliv změněných klimatických podmínek na průměrný dosažitelný výnos na orné půdě v ČR. Výpočet zahrnuje všechny gridy orné půdy.

	GCM	1961-2000	HadCM				ECHAM				NCAR			
			2020		2050		2020		2050		2020		2050	
	Období		A2 high	B1 low	A2 high	B1 low	A2 high	B1 low	A2 high	B1 low	A2 high	B1 low	A2 high	B1 low
Výnos (kg/ha)	Ozimá pšenice	5370	5343	5287	5326	5287	5354	5354	5401	5354	5160	5237	5204	5161
	Jarní ječmen	6166	6115	6086	5399	6038	6107	6150	5546	5952	5894	5983	5541	5937
Změna výnosu oproti současnosti (kg/ha)	Ozimá pšenice		-27	-82	-44	-82	-16	-16	31	-16	-210	-133	-165	-209
	Jarní ječmen		-51	-80	-767	-127	-59	-15	-620	-213	-272	-183	-625	-229
Změna výnosu oproti současnosti (%)	Ozimá pšenice		-0.5	-1.5	-0.8	-1.5	-0.3	-0.3	0.6	-0.3	-3.9	-2.5	-3.1	-3.9
	Jarní ječmen		-0.8	-1.3	-12.4	-2.1	-0.9	-0.3	-10.1	-3.5	-4.4	-3.0	-10.1	-3.7

Tabulka 2.1.2 Kombinovaný vliv změněných klimatických podmínek na průměrný dosažitelný výnos na orné půdě v ČR.

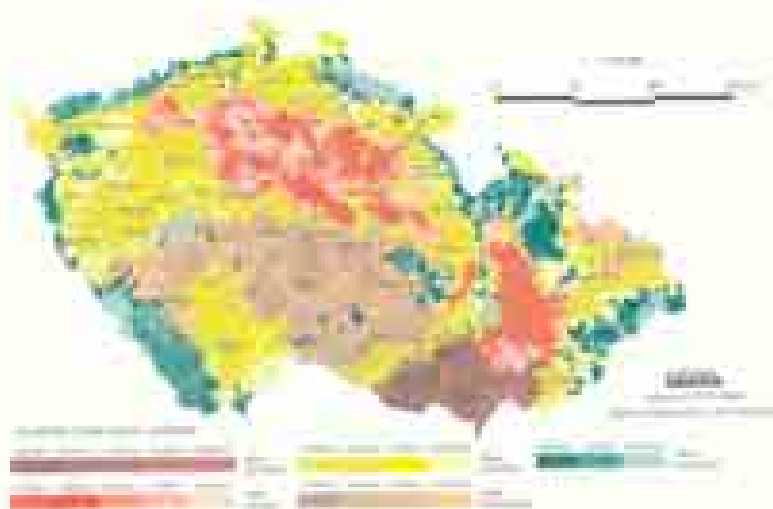
	GCM	1961-2000	HadCM				ECHAM				NCAR			
			2020		2050		2020		2050		2020		2050	
	Období		A2 high	B1 low	A2 high	B1 low	A2 high	B1 low	A2 high	B1 low	A2 high	B1 low	A2 high	B1 low
Výnos (kg/ha)	Ozimá pšenice	5370	5746	5666	6663	6145	5751	5573	6528	6099	5765	5506	6408	5895
	Jarní ječmen	6166	6498	6605	6310	6320	6553	6379	6542	6374	6566	6352	6507	6479
Změna výnosu oproti současnosti (kg/ha)	Ozimá pšenice		377	296	1293	775	381	203	1158	730	395	136	1039	526
	Jarní ječmen		332	439	145	154	387	213	377	208	400	186	341	313
Změna výnosu oproti současnosti (%)	Ozimá pšenice		7	6	24	14	7	4	22	14	7	3	19	10
	Jarní ječmen		5	7	2	3	6	3	6	3	6	3	6	5

2.2 Dopady změny klimatu na zastoupení a prostorové vymezení výrobních

oblastí [5]

Pro účely bonitace zemědělského půdního fondu (ZPF) bylo vymezeno celkem 10 klimatických regionů (Klečka a Korbíni, 1973) s přibližně shodnými podmínkami pro růst a vývoj zemědělských plodin. Příslušnost daného území ke klimatickému regionu je jedním ze základních parametrů určujících bonitačně půdní-ekologické jednotky (BPEJ), což je informace využívaná nejen hospodařícími subjekty, ale také určujícím faktorem při stanovování úřední ceny půdy a daně z nemovitostí. Na základě bonitace zemědělských půd pak byly v roce 1996 nově vymezeny zemědělské výrobní oblasti (Němec, 1996), které jsou zachyceny na Obr. 2.2.1. Zemědělské výrobní oblasti (ZVO) charakterizují výrobní podmínky a využití zemědělského půdního fondu ČR z hlediska půdně-klimatických podmínek na území státu bez ohledu na administrativní hranice. Primárně byly ZVO odvozeny pro účely zemědělské statistiky pro srovnávací hodnocení podnikatelských subjektů, analýzy jejich produkčních a ekonomických potenciálů a výsledků či k tvorbě a ověřování různých cenových a ekonomických opatření (Němec, 2001). ZVO které navázaly na dříve používané výrobní typy se postupně ujaly i v zemědělské praxi zejména jako základ všeobecného popisu podmínek dané lokality, jako vodítko při doporučování vhodnosti nově zaváděných odrůd, při regionalizaci agrotechnických lhůt, ale také v metodikách pro stanovení dávek hnojení či způsobu zpracování půdy.

V průběhu let 1998-2000 byl v souvislosti se zákonem 252/1997 Sb., o zemědělství a poskytování finančních podpor v produkčních oblastech zpracován návrh nové kategorizace území s vyčleněním tzv. oblastí s méně příznivými podmínkami pro zemědělství-Less favoured areas (LFA). Toto členění, které je určeno především jako základ pro poskytování podpor ze zdrojů EU i státních fondů, respektuje správní členění a zahrnuje mimo klimatických, geografických a pedologických charakteristik i ukazatele sociálně ekonomické a demografické (Novák et al., 1999). Z těchto důvodů je vypovídací schopnost tohoto členění o produkčním potenciálu dané lokality nižší než u ZVO a také odhad dopadů změn klimatu na rozložení LFA by byl zatížen chybou vyplývající z podstaty tohoto členění. Z těchto důvodů nebylo použití LFA považováno za přínosné pro předkládanou studii a byla dána přednost původnímu vymezení ZVO z roku 1996.



Obr. 2.2.1 Zemědělské výrobní oblasti a podoblasti podle výsledků bonitace ZPF k 1.1. 1996 (Němec, 1997). (Převzato z Němec, 2001).

Tabulka 2.2.1 Vymezení zemědělských výrobních oblastí (vybrané parametry) podle Němce (2001).

Výrobní oblast	Nadmořská výška (m)	Reliéf terénu	Suma teplot nad +10°C	Ukazatel zavlažení Kvi-viii ^{a)} (mm)	Hlavní pěstované plodiny	Maximální produkční schopnost ^{b)}
Kukuřičná	<250	rovinný až mírně zvlněný	2800-3100	> -100	kukuřice na zrno, cukrovka, teplomilné ovoce, vinná réva, teplomilné zeleniny, kvalitní pekařská pšenice, sladovnický ječmen	> 82
Řepařská	250-350	rovinný až mírně zvlněný	2400-2800	> 0	cukrovka, kvalitní pšenice, sladovnický ječmen, kořenová zelenina, v některých oblastech chmel, rané brambory	> 84
Obilnářská	300-600	Mírně zvlněný až svažité	2000-2800	-100 až 0	obilniny, technické plodiny, řepka, pěstování brambor a cukrovky není příliš výhodné	> 56
Bramborářská	400-650	Středně zvlněný až silně svažité	2000-2600	> 50	konzumní, průmyslové a sadbové brambory, krmné obilniny, řepka, len	> 50
Pícninářská	> 600	Horizontálně členitý s vysokou svažitostí	>2200	> 50	částečně sadbové brambory, len, převážně louky a pastviny	> 34

Ukazatel zavlažení Kvi-viii odpovídá deficitu vodní bilance Srážky (červen-srpen) – Potenciální výpar podle Budyka v mm (odvozeno pro klimatické regiony na základě Kurpelové et al. (1975).

Produkční schopnost podtypu s nejvyšší úrodností v bodech podle Němce (1996).

I přes svůj nesporný dopad nebyl doposud vliv změny klimatu na rozložení ZVO komplexně zhodnocen, i když první odhady možných dopadů změny klimatu v souvislosti se zemědělstvím byly prezentovány již v práci Moldana et al. (1993). Tato první studie byla založena zejména na syntéze tehdejších poznatků publikovaných v zahraničí, které sloužily jako podklad pro zpracování prognózy impaktů do zemědělství a obsahovala i první návrhy adaptačních opatření pro území tehdejšího Československa. Od této první studie byla publikována řada dalších souhrnných prací zejména v rámci Národního klimatického programu (např. Brázdil a Rožnovský (1995), Moldan a Sobišek (1996) nebo Kalvová et al. (2002). Avšak i v těchto případech byly možné důsledky změny klimatu na produkční potenciál vybraných plodin zkoumány pouze v dílčích oblastech případně na zvolených lokalitách, které reprezentovaly jednotlivé ZVO. Ostatní vědecké práce se pak zabývaly dopady změny klimatu na velikost dosažitelných výnosů jednotlivých plodin zejména kukuřice (např. Žalud a Dubrovský, 2002), pšenice ozimé (Trnka et al. 2004b) a jarního ječmene (Trnka et al., 2004a) a možnými adaptačními opatřeními, spíše než změnou celkových podmínek pro hospodaření, které lze vyjádřit např. klimaticky podmíněným a následně geografickým posunem ZVO.

2.2.1 Použitá metodika a výsledky pro současné klima

Výrobní oblasti jsou v první řadě definovány klimatickými podmínkami, avšak nikoliv pouze jimi jak je ostatně zřejmé z charakteristik jednotlivých ZVO (Tabulka 2.2.1 nebo Němec, 2001). Předkládaná studie vychází z původního členění ZVO přestaveného Němcem (1996), nicméně pokouší se je vymežit pouze na základě klimatických podmínek, neboť autorský kolektiv nedisponuje datovými zdroji, které byly použity k definici ZVO (Obr. 2.2.1). Zároveň by bylo velmi obtížné metodiku použitou k vymezení ZVO bezesbytku aplikovat ve změněných klimatických podmínkách. Důraz na klimatické ukazatele si vyžádal změny v metodice vymezení ZVO. V případě klimatologických charakteristik území jsme se opírali o sumu teplot TS10°C tak jak byla definována v původní práci Klečky a Korbíniho

(1973), s tím rozdílem, že při jejím výpočtu byla brána v úvahu přítomnost sněhové pokrývky a namísto hodnot průměru byl použit medián jednotlivých ročníků během daného období. Parametr ukazatele zavlažení (Kvi-viii), byl na rozdíl od původních podkladů Klečky a Korbíniho (1973), které vycházely z měsíčních dat (Kurpelová *et al.*, 1975), založen na modelu vodní bilance v denním kroku s využitím Penman-Monteithovy rovnice výpočtu referenční evapotranspirace (Allen *et al.*, 1998 a Hlavinka *et al.*, 2007). Hlavním problémem vymezení ZVO (Obr. 2.2.1) je fakt, že vychází z klimatologických dat Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) za léta 1931-1961, která plně nereprezentují současné klimatické podmínky (např. Květoň *et al.* 2001). Z tohoto důvodu bylo využito 100-letých meteorologických řad generovaných stochastickým generátorem Met&Roll (Dubrovský *et al.*, 1997) na základě pozorovaných dat ze 125 stanic sítě ČHMÚ v období 1961-2000. Tento postup umožňuje pracovat s vyšším počtem jednotlivých ročníků a zároveň zajišťuje kompatibilitu mezi metodou přípravy meteorologických dat pro současné a změněné klima, kde je generátoru meteorologických dat využito pro statistický downscaling výstupů globálních cirkulačních modelů (GCM).

Vzhledem k určitému stupni nejistoty v interpolaci polí TS10 a Kvi-viii byly upraveny hodnoty vymezení rozsah jednotlivých ZVO (Tabulka 2.2.2) oproti původnímu vymezení dle Klečky *et al.* (1973). Současně bylo přistoupeno ke spojení oblastí obilnářské a bramborářské neboť tyto výrobní oblasti se co do klimatických podmínek překrývají a není tedy možné je odlišit právě na základě klimatických údajů (Tabulka 2.2.1). Rozhodující klimatické parametry pak byly interpolovány do digitálního modelu terénu s gridem 500x500m. Příslušnost do ZVO byla následně zhlazena na úroveň katastrálních území (KÚ) na základě dominantní ZVO v příslušném KÚ (Obr 2.2.2a). Mimo dosavadních ZVO byly dále definovány dvě další kategorie VO, neboť v podmínkách změny klimatu se část území ocitne mimo klimatické hranice současných ZVO. Tyto oblasti zohledňují zvýšenou aridizaci krajiny v průběhu letních měsíců a tím i narůstající deficit vodní bilance vyjádřený ukazatelem zavlažení (Kvi-viii) a dále poměrně dramatickým nárůstem teplot (Tabulka 2.2.2). V současných klimatických podmínkách žádná část území nespadá do těchto nově vymezených VO. Detailně je metodika popsána v práci Semerádové *et al.* (2007).

Tabulka 2.2.2 Vymezení zemědělských výrobních oblastí pouze na základě klimatických ukazatelů v období 1961-2000.

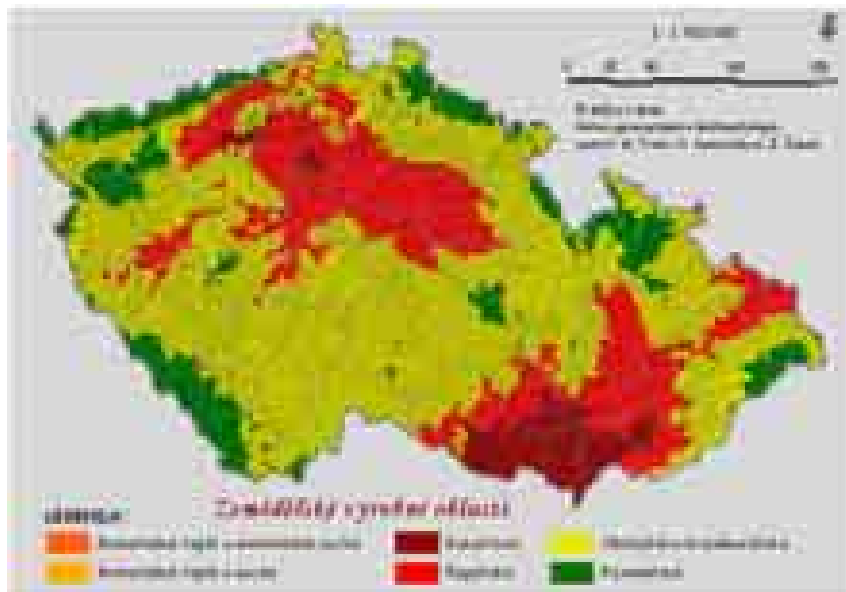
Výrobní oblast	Akronym	Suma teplot nad +10°C	Ukazatel zavlažení Kvi-viii ^{a)} (mm)
Mimořádně teplá a mimořádně suchá	MTMSVO	> 3400	> -250
Mimořádně teplá a suchá	MTSVO	> 3100	-180 až -250
Kukuřičná	KVO	2800-3100	-90 až -180
Řepářská	ŘVO	2550-2950	-50 až -120
Obilnářsko-bramborářská	O-BVO	2150-2700	-100 až 130
Pícninářská	PVO	< 2150	> -10

a) Ukazatel zavlažení Kvi-viii odpovídá deficitu vodní bilance v období od června do srpna tj. Srážky – Referenční evapotranspirace podle Penman-Monteithe (Allen *et al.*, 1998) v mm. Postup výpočtu evapotranspirace byl částečně kalibrován a validován Hlavinkou *et al.* (2007). Rozpětí hodnot bere v úvahu nejistoty vzniklé interpolací hodnot ze staničních dat a zařazení KÚ do VO se děje pomocí několika stupňového algoritmu, který řeší situaci KÚ potenciálně spadajících do 2 VO (Semerádová *et al.*, 2007).

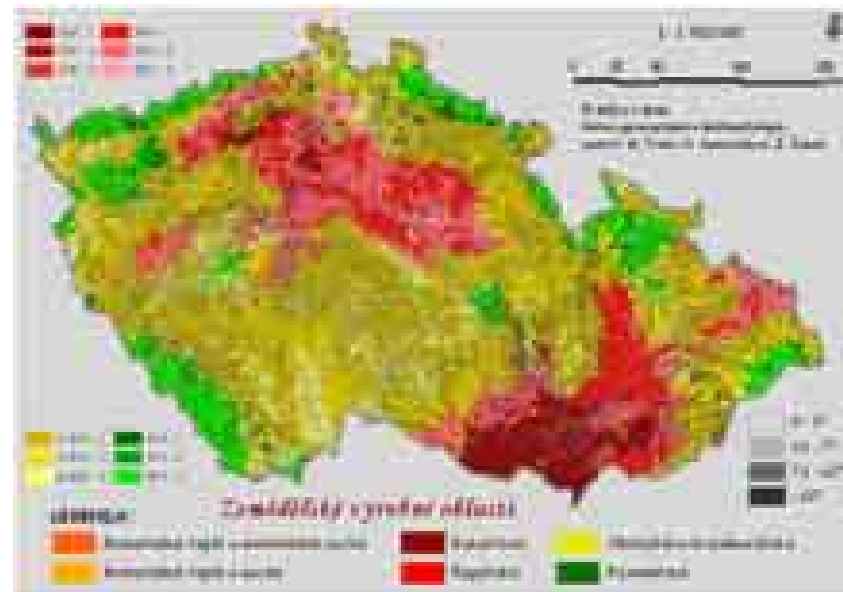
Jednotlivé ZVO byly dále rozděleny na tři podoblasti na základě půdního typu, které jsou vyznačeny různou sytostí barevného odstínu (Obr 2.2.2b). Do první skupiny byly zařazeny ty KÚ ve kterých podle digitální mapy půdních typů (Tomášek, 2000) převládají na zemědělské půdě půdní typy zajišťující vysokou produktivitu rostlinné výroby: černozem, černozem s černicemi, černice, šedozezem, hnědozem nebo nivní půdy. Ve druhé podoblasti se nacházejí ty půdy, které jsou sice méně vhodné pro zemědělskou výrobu, nicméně i v současných podmínkách jsou poměrně intenzivně zemědělsky využívány, i když jejich produktivita je nižší než v případě první kategorie. Do této skupiny náleží KÚ ve kterých na

zemědělsky využívané půdě převládají smonice, ilimerizované půdy, pararendziny, pelosoly, hnědé půdy eutrofní, hnědé půdy s podzoly na terasových uloženinách případně hnědé půdy kyselé. V poslední skupině se nacházejí půdní typy vyloženě nevhodné pro zemědělské hospodaření, které zahrnují např. pseudogleje, rendziny, arenosoly, hnědé půdy silně kyselé, rezivé půdy s podzoly, zasolené půdy, gleje ale i antropogenní půdy.

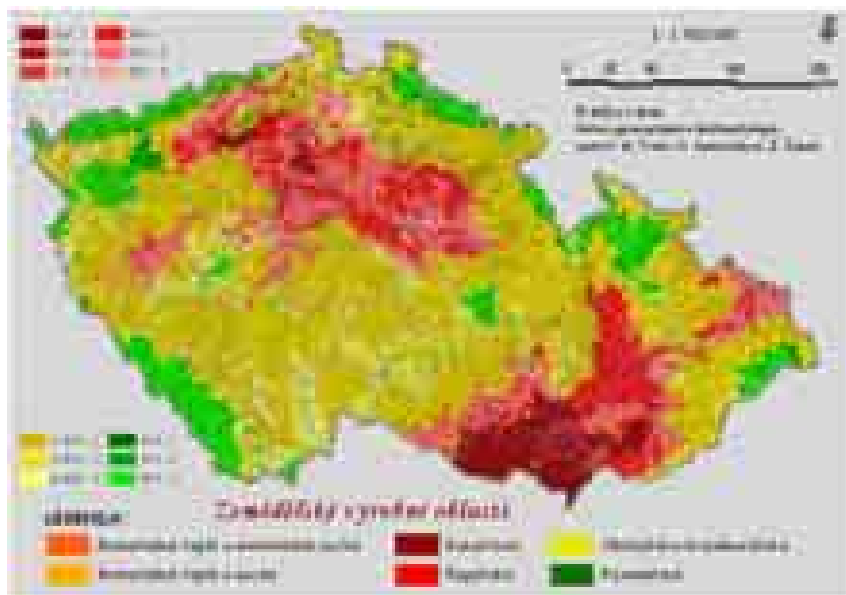
Kromě klimatických podmínek je hospodaření zejména na orné půdě výrazně ovlivněno reliéfem a sklonitostí terénu (Obr. 2.2.2c). Z tohoto důvodu byly jednotlivé KÚ zatříděny do 4 skupin podle sklonu terénu na zemědělsky využívané půdě, a to podle hraničních hodnot použitých při definici původních ZVO (Němec, 2001). Tyto skupiny zahrnují KÚ se sklonem 0-3°, 3-7°, 7-12° a více než 12°. Vzhledem k odlišnostem v použité metodice a zejména díky rozdílným klimatologickým podkladům není možné očekávat absolutní shodu s rozsahem a prostorovým rozmístěním jednotlivých ZVO. Přesto námi navržený postup (Obr. 2.2.2a-c) do značné míry koresponduje s původní prací Němce (1996) na Obr. 2.2.1. Mezi hlavní rozdíly patří přítomnost kukuřičné výrobní oblasti (VO) v okolí Prahy a Loun, přítomnost řepařské VO v okolí Plzně a na jiho-východním okraji Českomoravské vrchoviny. Nápadný je rovněž menší rozsah píceňářské VO v oblasti Beskyd a vrcholových partií Česko-moravské vrchoviny. Nicméně podíl jednotlivých ZVO na celkovém zemědělském půdním fondu je téměř totožný (Tabulka 2.2.3).



a)



c)



b)

Obr. 2.2.2 **A)** Vymezení zemědělských výrobních oblastí na základě klimatických dat za období 1961-2000 pro jednotlivá katastrální území dle intervalů uvedených v Tabulce 2.2.2. **B)** Vymezení jednotlivých podoblastí na základě převládajícího půdního typu. V podoblasti 1 převládají vysoce produkční půdy (tj. černozem, černozem s černicemi, černice, šedozem, hnědozem nebo nívné půdy). Podoblast 2 zahrnuje méně úrodné půdy, které jsou přesto využívány pro zemědělskou produkci (smonice, ilimerizované půdy, pararendziny, pelosoly, hnědé půdy eutrofni, hnědé půdy s podzoly na terasových uloženinách případně hnědé půdy kyselé). Podoblast 3 je vyhrazena pro půdní typy nevhodné pro zemědělské hospodaření, případně vhodné pouze podmíněně (např. pseudogleje, rendziny, arenosoly, hnědé půdy silně kyselé, rezivé půdy s podzoly, zasolené půdy a gleje). **C)** Zachycuje mimo zařazení katastrálního území do příslušné podoblasti i převládající sklonitost terénu na orné půdě v příslušném KU ve 4 kategoriích.

2.2.2 Dopady změny klimatu na rozlohu a rozmístění výrobních oblastí

Jak je zřejmé z Tabulky 2.2.3 a Obr. 2.2.3-5 dochází u všech scénářů k dramatickému poklesu plochy pícninářské VO. To je dáno jednak rostoucím deficitem vodní bilance i ve vyšších polohách a značným nárůstem teplotní sumy TS10. Pícninářská VO oblast je tak postupně nahrazována obilnářsko-bramborářskou VO a kolem roku 2050 lze předpokládat její „vymizení“. Obdobně dochází k dramatickému poklesu rozlohy obilnářsko-bramborářské VO, jejíž plocha rovněž klesá ve prospěch řepařské a posléze i kukuřičné VO. Tento trend je opět dán zejména nárůstem teplotních sum TS10. V případě rozlohy řepařské VO se pak pochopitelně setkáváme s opačným trendem, a její plocha se podle všech scénářů do roku 2050 nejméně zdvojnásobuje. Okolo roku 2050 je možné podle SRES-A2 a GCM modelů HadCM a ECHAM očekávat postupný pokles plochy řepařské VO, vzhledem k rostoucí aridizaci klimatu v letních měsících. Výsledky založené na klimatických datech z GCM modelu NCAR-PCM ukazují i po roce 2050 na možnost zvětšování plochy této VO, což je dáno pomalejším tempem aridizace klimatu, předpokládané tímto GCM modelem. Relativně největšího rozšíření doznává bezpochyby plocha kukuřičné VO, která ze současných 5.4 % vzroste na 4-10 násobek v příštích 50 letech. Postupně nahrazuje kukuřičná VO současné plochy řepařské VO a nejteplejší partie obilnářsko-bramborářské VO. Objevení se nově definovaných výrobních oblastí (tj. Mimořádně teplé a suché resp. Mimořádně teplé a mimořádně suché VO), lze podle SRES-A2 očekávat již okolo roku 2025 v nejteplejších a nejsušších oblastech jižní Moravy. Okolo roku 2050 se s mimořádně teplou a suchou VO setkáváme i v okolí Prahy a na Žatecku a Lounsku, zatímco na jižní Moravě se již počíná objevovat i s mimořádně teplá a mimořádně suchá VO přibližně v rozsahu dnešní kukuřičné VO. Výhled do roku 2100 podle kombinace scénáře SRES-A2 a GCM modelu HadCM ukazuje téměř celé území spadající do poslední jmenované VO. Na tomto místě je třeba podotknout, že autorský kolektiv nepokládal pro tuto studii za nutné definovat více než dvě nové ZVO. Postup změn ZVO při aplikaci SRES-B1 je podstatně pomalejší, i když i v tomto případě je o změny značného rozsahu, které budou představovat výrazný posun oproti současným podmínkám. Při aplikaci tohoto SRES scénáře se objevuje mimořádně teplá a suchá VO až okolo roku 2050 pouze v oblasti jižní Moravy a omezeně i na Lounsku.

Tabulka 2.2.3 Podíl jednotlivých ZVO na zemědělském půdním fondu v rámci ČR. Hodnoty jsou uvedeny pro 3 GCM modely (HadCM, ECHAM a NCAR-PCM) na základě dvou emisních scénářů tj. SRES-A2 a SRES-B1. V případě SRES-A2 byla uvažována vysoká citlivost klimatického systému k růstu koncentrací skleníkových plynů zatímco v případě SRES-B1 byla uvažována citlivost nízká.

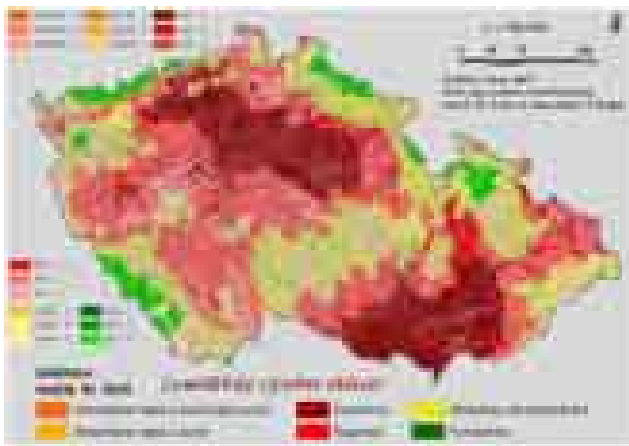
Výrobní oblast	Současnost		HadCM					ECHAM				NCAR-PCM			
			SRES-B1		SRES-A2			SRES-B1		SRES-A2		SRES-B1		SRES-A2	
	Němec 1996	1961-2000	2025	2050	2025	2050	2100	2025	2050	2025	2050	2025	2050	2025	2050
MTMSVO	-	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	94.3	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0
MTSVO	-	0.0	0.0	0.1	4.0	12.1	2.7	0.0	0.0	0.5	5.2	0.0	0.0	0.0	1.2
KVO	6.7	5.4	20.2	28.6	44.9	56.7	2.8	16.2	22.2	31.2	48.6	14.1	17.5	19.2	21.9
ŘVO	24.3	23.2	40.0	45.7	39.2	13.8	0.3	34.9	42.4	47.4	35.9	33.1	41.7	54.1	68.7
O-BVO	59.0	59.7	34.8	22.0	10.4	3.0	0.0	42.7	30.7	18.0	6.2	46.7	35.9	23.6	7.4
PVO	10.0	11.8	4.9	3.5	1.5	0.1	0.0	6.2	4.8	3.0	0.8	6.2	4.8	3.1	0.8

Poznámka k Tabulce 2.2.3: MTMSVO – mimořádně teplá a mimořádně suchá výrobní oblast; MTSVO – mimořádně teplá a suchá výrobní oblast; KVO – kukuřičná výrobní oblast; ŘVO – řepařská výrobní oblast; O-BVO – obilnářsko bramborářská výrobní oblast; PVO – pícninářská výrobní oblast.

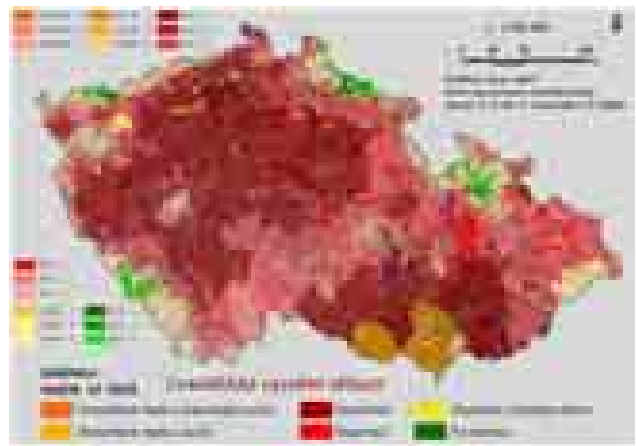
Tabulka 2.2.4 Podíl jednotlivých skupiny půd v rámci ZVO na zemědělském půdním fondu v ČR. Hodnoty jsou uvedeny pro 3 GCM modely (HadCM, ECHAM a NCAR-PCM) na základě dvou emisních scénářů tj. SRES-A2 a SRES-B1. V případě SRES-A2 byla uvažována vysoká citlivost klimatického systému k růstu koncentrací skleníkových plynů zatímco v případě SRES-B1 byla uvažována citlivost nízká.

Výrobní oblast	Současnost	HadCM					ECHAM				NCAR-PCM			
		SRES-B1		SRES-A2			SRES-B1		SRES-B1		SRES-A2		SRES-B1	
	1961-2000	2025	2050	2025	2050	2100	2025	2050	2025	2050	2025	2050	2025	2050
MTMSVO - 1		0.0	0.0	0.0	8.2	16.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0
MTMSVO - 2		0.0	0.0	0.0	5.2	56.6	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
MTMSVO - 3		0.0	0.0	0.0	0.8	21.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
MTSVO - 1		0.0	0.1	2.9	4.1	0.0	0.0	0.0	0.3	3.0	0.0	0.0	0.0	0.8
MTSVO - 2		0.0	0.0	0.9	6.7	0.7	0.0	0.0	0.1	2.0	0.0	0.0	0.0	0.3
MTSVO - 3		0.0	0.0	0.2	1.3	1.9	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
KVO - 1	4.2	11.2	11.7	10.6	3.5	0.0	9.6	11.2	11.6	8.4	8.4	9.4	8.7	9.2
KVO - 2	0.9	7.8	14.2	28.3	37.9	0.5	5.8	9.3	16.5	31.8	4.9	7.1	9.1	10.9
KVO - 3	0.3	1.2	2.8	6.0	15.2	2.3	0.0	1.7	3.0	8.4	0.8	1.1	1.4	1.9
ŘVO - 1	9.2	4.7	4.2	2.6	0.2	0.0	6.3	4.9	4.2	2.3	7.4	6.7	7.4	6.2
ŘVO - 2	11.9	28.9	34.0	26.8	8.1	0.1	23.7	30.8	34.8	23.0	21.2	28.4	38.4	46.2
ŘVO - 3	2.1	6.4	7.5	9.9	5.6	0.2	5.8	6.7	8.4	10.5	4.5	6.7	8.3	16.3
O-BVO - 1	2.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0
O-BVO - 2	43.8	21.2	9.7	2.0	0.0	0.0	28.1	17.7	6.5	0.4	31.4	22.3	10.4	0.5
O-BVO - 3	13.1	13.5	12.2	8.4	3.0	0.0	14.2	12.9	11.4	5.8	14.9	13.5	13.2	6.9
PVO - 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PVO - 2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.8
PVO - 3	10.5	4.9	3.5	1.5	0.1	0.0	5.9	4.6	3.0	0.8	5.8	4.7	3.1	0.0

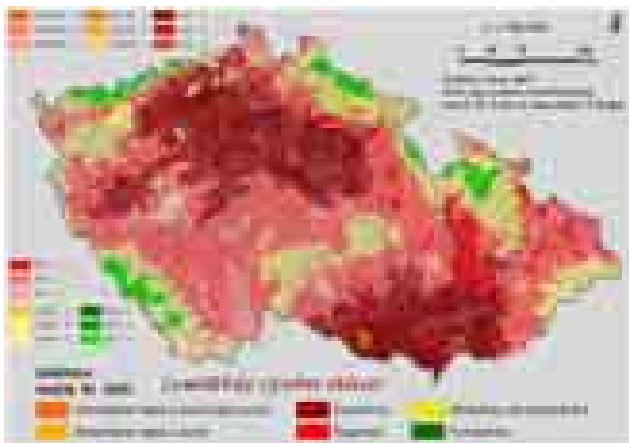
Poznámka k Tabulce 2.2.4: MTMSVO – mimořádně teplá a mimořádně suchá výrobní oblast; MTSVO – mimořádně teplá a suchá výrobní oblast; KVO – kukuřičná výrobní oblast; ŘVO – řepařská výrobní oblast; O-BVO – obilnářsko bramborářská výrobní oblast; PVO – pšicínářská výrobní oblast. V podoblasti 1 převládají vysoce produkční půdy (tj. černoze, černoze s černicemi, černice, šedoze, hnědoze nebo nivní půdy). Podoblast 2 zahrnuje méně úrodné půdy, které jsou přesto využívány pro zemědělskou produkci (smonice, ilimerizované půdy, pararendziny, pelosoly, hnědé půdy eutrofni, hnědé půdy s podzoly na terasových uloženinách případně hnědé půdy kyselé). Podoblast 3 je vyhrazena pro půdní typy nevhodné pro zemědělské hospodaření, případně vhodné pouze podmíněně (např. pseudogleje, rendziny, arenosoly, hnědé půdy silně kyselé, rezivé půdy s podzoly, zasolené půdy a gleje).



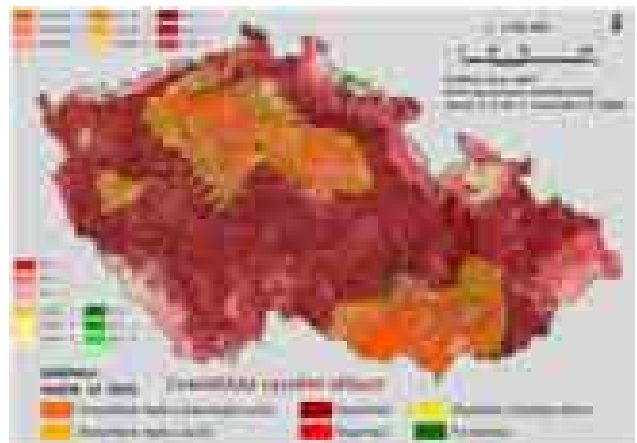
a)



c)



b)

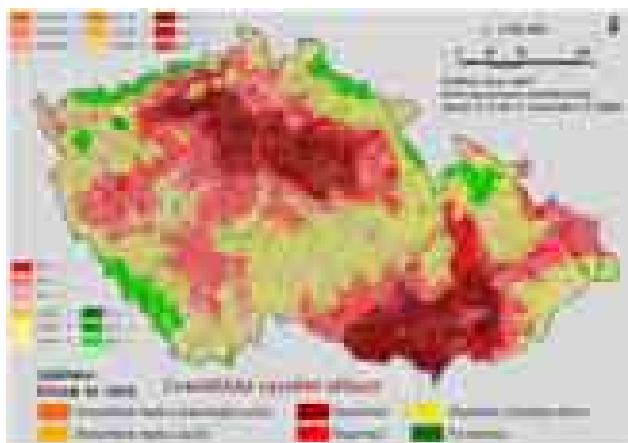


d)

Obr. 2.2.3 Posun hranic zemědělských výrobních oblastí na základě změny klimatických podmínek (ostatní parametry vymezení výrobních oblastí nejsou uvažovány) s využitím GCM modelu HadCM. Mapy **A-B** představují odhad budoucího vývoje při realizaci emisního scénáře SRES-B1 a nízké citlivosti klimatického systému pro klimatické podmínky mezi léty 2020-2030 (A) a 2045-2055 (B). Mapy **C-E** představují odhad budoucího vývoje při realizaci emisního scénáře SRES-A2 při vysoké citlivosti klimatického systému pro klimatické podmínky mezi léty 2020-2030 (C), 2045-2055 (D) a 2095-2105 (E). Podoblasti a sklonitost terénu jsou definovány obdobně jako na Obr 2.2.2.



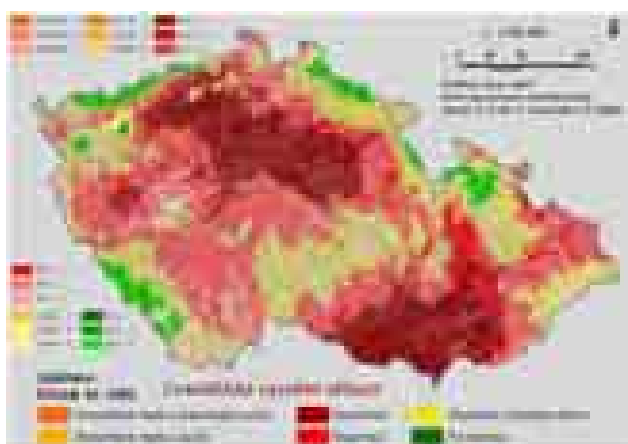
e)



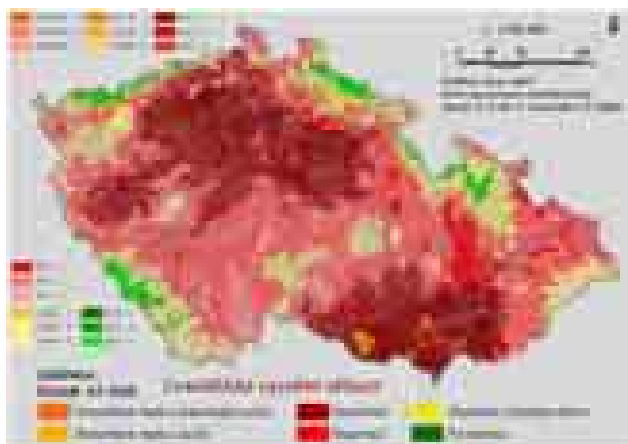
a)



d)

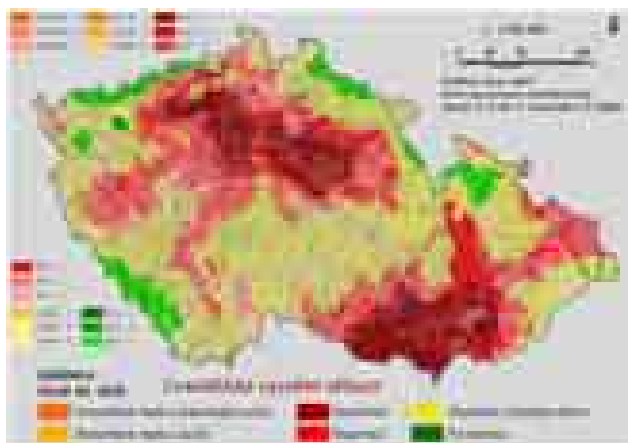


b)

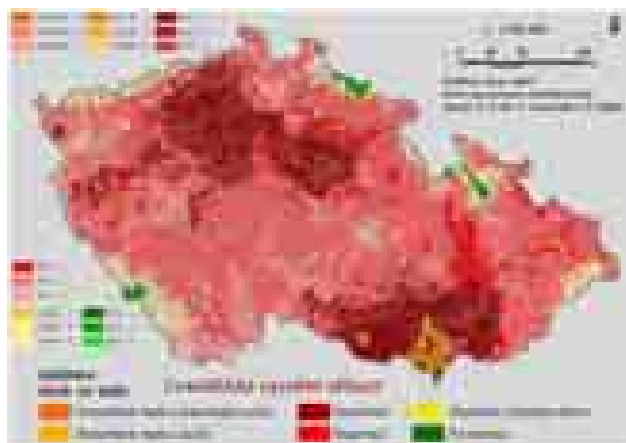


c)

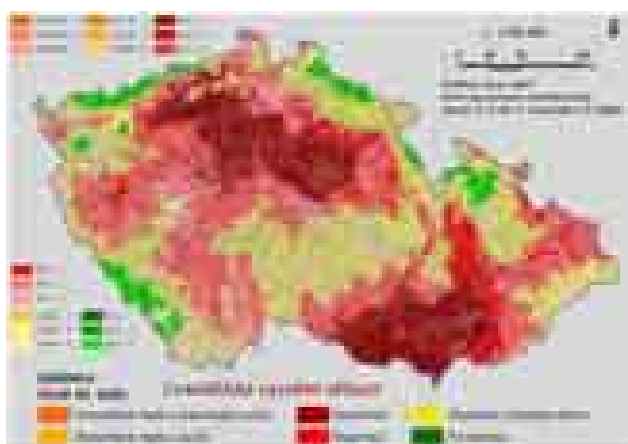
Obr. 2.2.4 Posun hranic zemědělských výrobních oblastí na základě změny klimatických podmínek (ostatní parametry vymezení výrobních oblastí nejsou uvažovány) s využitím GCM modelu ECHAM. Mapy **A-B** představují odhad budoucího vývoje při realizaci emisního scénáře SRES-B1 a nízké citlivosti klimatického systému pro klimatické podmínky mezi léty 2020-2030 (A) a 2045-2055 (B). Mapy **C-D** představují odhad budoucího vývoje při realizaci emisního scénáře SRES-A2 při vysoké citlivosti klimatického systému pro klimatické podmínky mezi léty 2020-2030 (C) a 2045-2055 (D). Podoblasti a sklonitost terénu jsou definovány obdobně jako na Obr 2.2.2.



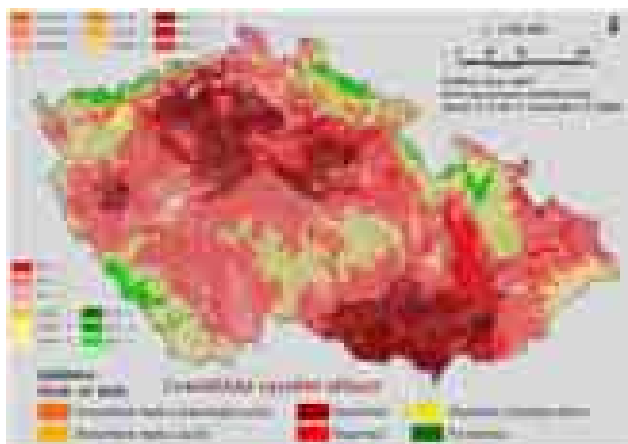
a)



d)



b)



c)

Obr. 2.2.5 Posun hranic zemědělských výrobních oblastí na základě změny klimatických podmínek (ostatní parametry vymezení výrobních oblastí nejsou uvažovány) s využitím GCM modelu NCAR-PCM. Mapy **A-B** představují odhad budoucího vývoje při realizaci emisního scénáře SRES-B1 a nízké citlivosti klimatického systému pro klimatické podmínky mezi léty 2020-2030 (A) a 2045-2055 (B). Mapy **C-D** představují odhad budoucího vývoje při realizaci emisního scénáře SRES-A2 při vysoké citlivosti klimatického systému pro klimatické podmínky mezi léty 2020-2030 (C) a 2045-2055 (D). Podoblasti a sklonitost terénu jsou definovány obdobně jako na Obr 2.2.2.

2.2.3 Závěr

Ačkoliv zvětšování plochy řepařské VO ve střednědobém horizontu (tj. do roku 2025) je zdánlivě pozitivní vzhledem k jejímu vysokému produkčnímu potenciálu (Tabulka 2.2.1), analýza Tabulky 2.2.4 a Obr 2.2.3-5 nás nutí k opatrnějšímu hodnocení. Zatímco plocha řepařské VO ve svém souhrnu roste, dochází k němu zejména na méně kvalitních půdních typech (skupina 2 a 3), zatímco plocha řepařské výrobní oblasti na nejkvalitnějších půdách (skupina 1) se výrazně snižuje a to u všech scénářů a podle některých se k roku 2050 blíží nule. Na nejkvalitnějších půdách začíná dominovat kukuřičná VO, která je ve scénářích založených na SRES-A2 nahrazována novými VO, které jsou charakterizovány vyšší teplotní sumou a vodním deficitem. Změna klimatu tedy sice na jedné straně bude znamenat prodloužení vegetační sezóny a možnost pěstování nových teplomilných plodin, zároveň bude ale znamenat nástup období výrazného vodního deficitu i v oblastech, kde jsme se s ním setkávali doposud pouze výjimečně (např. oblast Hané). Výsledky analýz naznačují tři současně probíhající procesy: 1) Oblasti s nejproduktivnějšími půdami řepařské VO se postupně posouvají do klimaticky méně příznivé VO kukuřičné případně mimořádně teplé a suché VO; 2) Méně kvalitní půdy obilnářsko-bramborářské oblasti se klimaticky posouvají do klimaticky příznivějších podmínek oblasti řepařské a kukuřičné a 3) VO oblast pícninářská mizí a je nahrazována klimatickými podmínkami, které jsou pro existenci trvalých travních porostů nevhodné (nedostatek srážek v letních měsících). Možnost využití některých pozitivních stránek změny klimatu zejména v současné obilnářsko-bramborářské VO, která se klimaticky posune do podmínek oblasti řepařské, případně kukuřičné bude kromě nižší kvality půdy do značné míry snížena i nevhodným reliéfem těchto oblastí (Obr. 2.2.3c-d).

Je ale nutné si uvědomit, že produktivitu zemědělské výroby v budoucích klimatických podmínkách nelze stanovit prostou extrapolací produktivity současné. Podle řady modelových analýz (např. Žalud a Dubrovský, 2002; Trnka *et al.*, 2004a-b; Trnka *et al.*, 2007) povede změna klimatu k posunu vývojových fází jarních i ozimých plodin do časnějšího jara, které bude vláhově poměrně dobře zajištěno. Současně s tím je všeobecně očekáván nárůst produktivity zejména C₃ plodin díky rostoucí koncentraci CO₂ v atmosféře. Je ale nepochybné, že zemědělské využití letních měsíců (červen-srpen) bude bez přítomnosti závlah v oblasti dnešní kukuřičné VO prakticky vyloučené díky nebývalému vláhovému deficitu v těchto měsících. To sebou nese i vyšší riziko větrné a vodní eroze zejména během extrémně suchých let v oblastech, které jsou již v současnosti tímto jevem značně ohroženy (jižní Morava a Polabí) i problematiku s vyplavováním živin (zejména minerálního dusíku), které nebudou poutány v biomase. Současně s tím lze očekávat nárůst rizika výskytu suchých epizod i během prvních měsíců vegetačního období (např. Brázdil a Kirchner, 2007), které se projeví i v oblasti Hané, jižních Čech a Českomoravské vysočiny. Ačkoliv ne všechny změny jsou pro zemědělskou produkci negativní a ukazují na možné pozitivní stránky klimatických změn, je zřejmé, že doposud známé postupy rajonizace a klasifikace zemědělské půdy bude nutné v nejbližších letech přehodnotit.

Seznam použité literatury je obsažen v PŘÍLOZE 2B.

2.3 Klimatické vlivy, škody a jejich náhrady *

Voda a sucho – dva klimatické extrémny s příčinnou souvislostí. Předkládaná informace poukazuje na tyto dva opakující se jevy v uplynulém desetiletí, ale zároveň i na jejich výskyt ve zpětném dlouhodobém časovém úseku. Nicméně skutečnost dopadu zejména sucha na zemědělství je třeba vzít seriózně a tímto fenoménem se zabývat v souvislosti s řešením podnikatelských rizik. Aktuálně se touto problematikou zabývá i EU – studuje jednotlivé národní systémy řešení klimatických rizik, pokouší se o sjednocení definice katastrofy a diskutuje možnou finanční podporu v rámci společné zemědělské politiky. Zdrojem podkladů a dat pro tuto informaci jsou Zprávy o stavu zemědělství, materiály ČHMÚ, PGRLF, České asociace pojišťoven, interní materiály VÚZE a internet.

2.3.1 Systém řešení klimatických rizik v ČR

Ničivé povodně mají za následek především majetkovou újmu obyvatelstva a újmu na vodohospodářském majetku. Pro zemědělskou výrobu jako takovou je daleko nebezpečnější sucho, vyzimování, krupobití, rozmnožení škůdců a nákazy dobytka. Sucho je o to nebezpečnější, že se jedná o nepojistitelné riziko, které nespadá dle české legislativy do definice živelné pohromy.

V ČR je k dispozici k eliminaci zemědělského rizika a likvidaci živelných pohrom zemědělské pojištění podporované PGRLF a realizují se ad hoc opatření v případě nastalých živelných pohrom. Tento nesystémový přístup je řešením ex-post a je značně nákladný. V současné době se znova otvírá na MZe diskuse k této problematice s cílem zefektivnění procesu řízení a eliminace klimatických rizik.

Definice živelné pohromy (katastrofy)

Podle zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmu, ve znění pozdějších předpisů, se za živelní pohromu považují nezávislý požár a výbuch, blesk, vichřice s rychlostí větru nad 75 km/h, povodeň, záplava, krupobití, sesouvání půdy, sesuny půdy a skalní zřícení, pokud k nim nedošlo v souvislosti s průmyslovým nebo stavebním provozem, sesouvání nebo zřícení lavin a zemětřesení dosahující alespoň 4. stupně mezinárodní stupnice udávající makroseismické účinky zemětřesení.

Základní právní rámec upravující řízení rizika v ČR

Základní právní normou upravující krizové řízení v ČR je zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení, ve znění pozdějších předpisů. Tento zákon stanoví působnost a pravomoc státních orgánů a orgánů územních samosprávných celků a práva a povinnosti právnických a fyzických osob při přípravě na krizové situace, které nesouvisejí se zajišťováním obrany České republiky před vnějším napadením. Základní právní rámec vymezující soukromé pojištění v ČR tvoří následující právní předpisy:

- Zákon č. 363/1999 Sb., o pojišťovnictví, ve znění pozdějších předpisů,
- Zákon č. 37/2004 Sb., o pojistné smlouvě, ve znění pozdějších předpisů,
- Zákon č. 38/2004 Sb., o pojišťovacích zprostředkovatelích a likvidátorech pojistných událostí.

* Zpracovala Ing. A. Picková, VÚZE Praha, oddělení 1231

Pro pojištění zemědělských podniků se uplatňují především specifické druhy pojištění, a to pojištění plodin a pojištění hospodářských zvířat. Zemědělské pojištění poskytují v ČR pouze 3 pojišťovny – Česká pojišťovna, Generali Pojišťovna a hasičská vzájemná pojišťovna. Jedná se o soukromé pojištění na dobrovolné bázi podle zákona č. 37/2004 Sb., o pojistné smlouvě.

V České republice zákon nezakazuje ad-hoc opatření ani kompenzace z katastrofických fondů (fondů kalamit) ke kompenzaci pojistitelných škod.

Zemědělské pojištění v ČR

V ČR je pojištěno cca 4 000 zemědělských podniků a podnikatelů. Pojišťovny nabízí ve svém produktovém portfoliu následující druhy zemědělského pojištění:

A) Pojištění plodin proti

- krupobití,
- požáru,
- vichřici (ne ovoce)
- záplavě, povodni,
- sesuvu půdy,
- jarním mrazům a mrazům u vinné révy (zvláštní modul).

B) Pojištění hospodářských zvířat zejména proti těmto rizikům:

- nákaza infekční chorobou,
- ostatní hromadná onemocnění,
- úraz nebo úhyn v důsledku zranění elektrickým proudem,
- ztráta, úhyn nebo odcizení zvířat v důsledku živelní události,
- otrava,
- přehřátí,
- jednotlivé škody (úrazy atd.).

Předepsané pojistné – vývoj 2000-2005

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Průměr (00-05)
mil. Kč	861,6	952,8	992,9	915,6	869,6	919,2	918,6
v tom zvířata	386,6	422,0	426,8	373,4	335,2	325,2	378,2
Plodiny	475,0	530,8	566,9	542,0	534,4	594,0	540,5
trend (pojistné celkem)		110,6%	104,2%	92,2%	95,0%	105,7%	

Pramen: Česká asociace pojišťoven

Kompenzační platby zemědělcům (odškodnění) – vývoj 2000 - 2005

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Průměr (00-05)
mil. Kč	947,4	842,1	869,4	537,7	395,6	436,4	671,4
v tom zvířata	269,2	219,3	219,5	204,7	156,8	154,6	204,0
Plodiny	678,2	622,8	649,9	333,0	238,7	281,8	467,4
trend (odškodnění celkem)		88,9%	103,2%	61,8%	73,6%	110,3%	

Pramen: Česká asociace pojišťoven

Podíl zemědělského pojištění na pojištění celkem

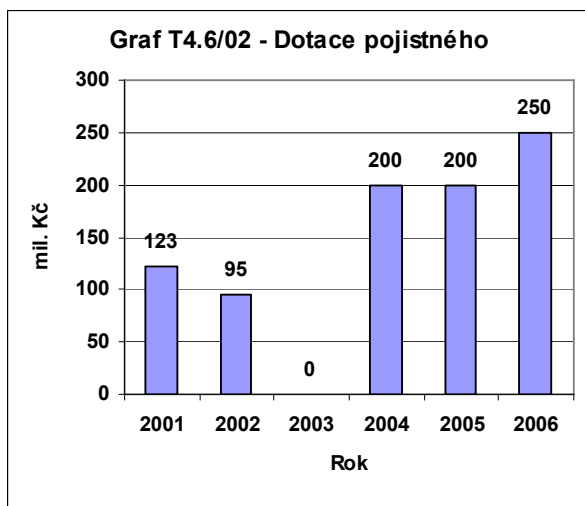
mil. Kč	2000	2001	2002	2003	2004	2005
podíl zemědělského pojištění	1,25%	1,20%	1,11%	0,88%	0,78%	0,52%

Pramen: Česká asociace pojišťoven

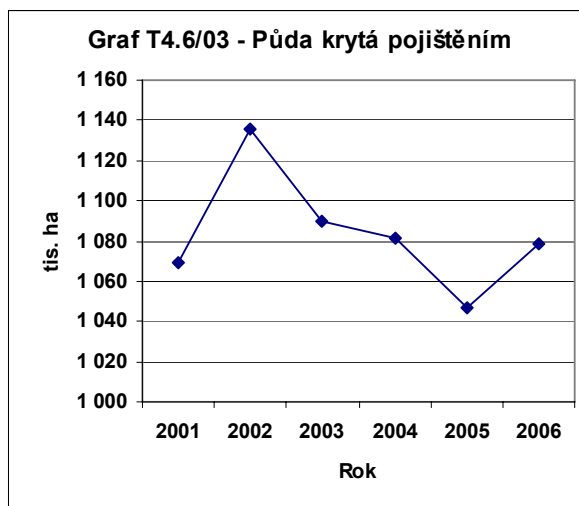
Podpora pojištění

V roce 2006 byla zemědělským podnikům a podnikatelům poskytnuta podpora v rámci programů PGRLF ve výši 35 % z uhrazených nákladů na pojištění plodin, 50 % na speciální plodiny a 20 % z nákladů na pojištění hospodářských zvířat pro případ hromadných škod. Účelem podpory je zpřístupnění pojistné ochrany širšímu okruhu zemědělců a dosažení vyššího zajištění podnikatelských aktivit proti riziku a nepředvídatelným škodám. Podpora nákladů na pojištění rostlinných komodit i zvířat se v roce 2006 významně zvýšila proti roku 2005 (viz graf T4.6/02).

V souvislosti s tím se zvýšila výměra půdy kryté pojištěním (viz graf T4.6/03).



Pramen: PGRLF, a. s.
Zpracoval: A. Picková (VÚZE)



Pramen: Česká asociace pojišťoven
Zpracoval: A. Picková (VÚZE)

Propojištěnost[†] plodin v ČR dosáhla zhruba 35 %. Propojištěnost zvířat se v průměru pohybuje na vyšší úrovni a podle odhadů pojišťoven převyšuje 80 % stavů hospodářských zvířat. Stále ještě je však propojištěnost zejména plodin nižší než ve většině států EU.

Alternativní nástroje risk managementu

Ad-hoc opatření byla v ČR přijata k eliminaci následků mimořádných katastrof, které patří mezi tzv. nepojišitelná rizika. Konkrétně se jednalo o následky způsobené:

- povodněmi velkého rozsahu (roky 1997 a 2002),
- dlouhotrvajícím suchem (rok 2000),
- vyzimováním plodin a suchem (2002/2003),
- kalamitním výskytem hrabošů (rok 1998).

Peněžní prostředky pro kompenzaci škod v zemědělství byly přidělovány v následujících formách:

- subvence vstupů a úlevy plateb
 - podpůrný program dle Zásad MZe - „Zazvření oblastí postižených záplavami“ (z rozpočtu MZe),
 - investiční podpory na řešení následků povodní z let 1997 a 1998 (z rozpočtu MZe, PF ČR, resp. prostřednictvím Státní meliorační správy);

[†] Propojištěnost vyjadřuje podíl plochy pojištěných plodin na celkové výměře a podíl pojištěných hospodářských zvířat na jejich celkovém počtu v ČR.

- přímé platby
 - neinvestiční prostředky na řešení následků povodní z let 1997 a 1998 (z rozpočtu MZe prostřednictvím Státní meliorační správy),
 - povodně 2002 - investiční podpory (z rozpočtu MZe a PF ČR),
 - kompenzace škod (sucho, hraboši, krupobití, povodně) – neinvestiční podpory (z rozpočtu MZe, PF ČR a emisí dluhopisů dle NV č. 420/2000 Sb.),
 - kompenzace škod způsobených vymrznutím plodin (vyzimování) z rozpočtu MZe
- přímá nenávratná dotace na zmírnění škod způsobených povodní r. 2002 zpracovatelskému průmyslu (výrobci potravin) z rozpočtu Mze;
- půjčky od PGRLF (zdroj financí od PF ČR) na obnovu hospodaření v zátopových oblastech (program Povodně – 1997/1998) – půjčky na 10 nebo 20 let s odkladem splátek na dobu 3 let;
- odklad nájemného (PF ČR) na 1 – 3 roky po povodních v r. 1997;
- snížení smluvní pokuty za nesplnění dodávek pšenice termínovaného (zálohového) nákupu u pěstitelů, kteří byli postiženi záplavami, suchem a hraboši v letech 1997 - 1998 (SFTR);
- odložení splátek za privatizovaný státní zemědělský majetek v roce 1998 (PF ČR).

Výdaje na ad-hoc opatření v ČR v letech 1995 – 2000 (mil. Kč)

		1995	1996	1997	1998	1999	2000
<i>Povodně</i>	Celkem	0	318	958	1045	118	0
<i>Sucho</i>	Celkem	0	0	0	0	0	1200
	z toho z dotací (MZe)	0	0	0	0	0	350
	Z NV č. 420/2000 Sb.	0	0	0	0	0	850
<i>Hraboši</i>	Celkem	0	0	0	0	200	0
<i>Zaorávky ozimů</i>	Celkem	0	0	0	0	0	0
Podpora celkem		0	318	958	1045	318	1200

Výdaje na ad-hoc opatření v ČR v letech 2001 – 2004 - pokračování (mil. Kč)

		2001	2002	2003	2004
<i>Povodně</i>	celkem	0	977	74	1
<i>Zazvěření</i>	celkem - dle Zásad MZe: podpůrný program "Zazvěření oblastí postižených záplavami"	0	0	7	0
<i>Sucho</i>	Celkem	4139	0	0	0
	z toho z dotací (MZe)	0	0	0	0
	dle NV č. 420/2000 Sb.	4139	0	0	0
<i>Hraboši</i>	Celkem	0	0	0	0
<i>Zaorávky ozimů</i>	Celkem	0	0	1399	0
Podpora celkem		4139	977	1480	1

Pramen: Zprávy o stavu zemědělství ČR za období 2001 - 2004

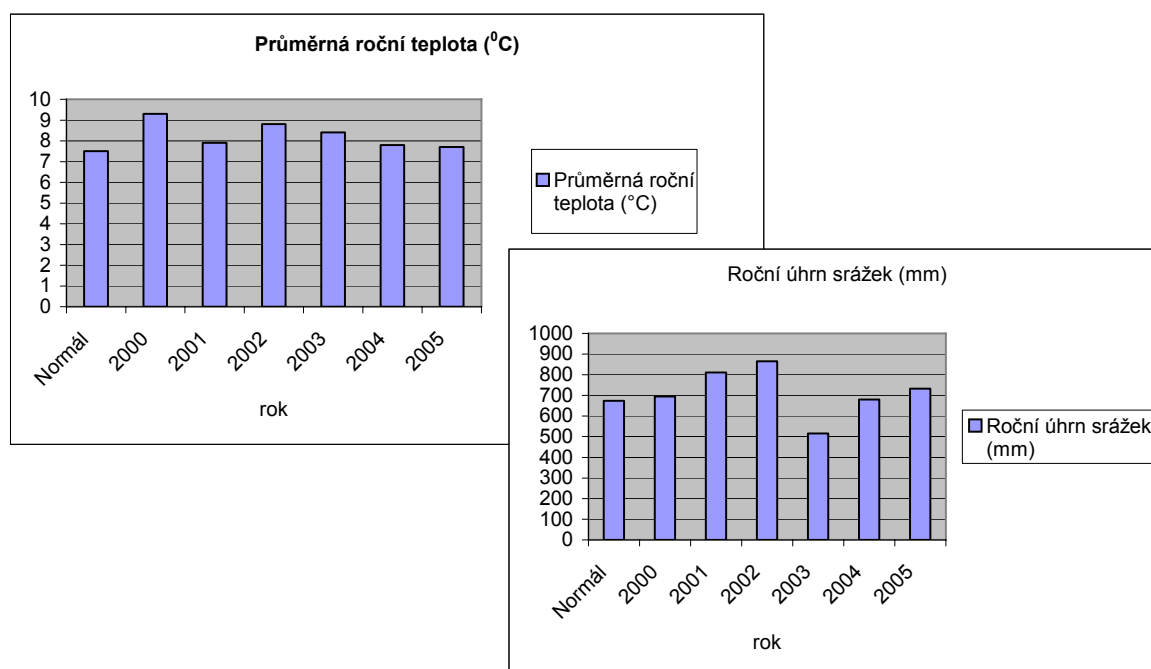
Průměrné výdaje za desetileté období 1995 až 2004 ze státního rozpočtu do zemědělství na ad-hoc opatření při mimořádných katastrofách činily 1,0436 mld. Kč ročně. Celkem bylo za toto období vynaloženo v sektoru zemědělství 10,436 mld. Kč. Kalamitní ani vzájemné fondy jako alternativní nástroj risk managementu v ČR nejsou.

2.3.2 Informace o průběhu počasí a jeho vliv na zemědělskou výrobu

Vývoj teplot a srážek v letech 2000 - 2005

	Průměrná roční teplota (°C)	Roční úhrn srážek (mm)
Normál	7,5	674
2000	9,3	694
2001	7,9	811
2002	8,8	866
2003	8,4	516
2004	7,8	680
2005	7,7	732

Pramen: ČHMÚ



Povětrnostní podmínky a jejich následky v letech 2000–2003 a v roce 2006

Sucho je jedním z nepojistitelných podnikatelských rizik v zemědělství, jehož dopady se na celém světě řeší zásahem státu.

Průměrné teploty vzduchu v jarních měsících roku 2000 byly výrazně nadnormální - v dubnu 11,3 °C (3,5 °C nad normálem - z meteorologického hlediska silně nadnormální), v květnu 15,1 °C (2,3 °C nad normálem - rovněž silně nadnormální), v červnu 17,7 °C (1,5 °C nad normálem - mírně nadnormální). Na průměrné měsíční teploty mělo zásadní vliv období od 17. dubna do 24. června, kdy se na většině území ČR vyskytovaly maximální denní teploty 20 °C a vyšší, vystřídané pouze 1 až 2 denními slabými ochlazeními (řádově o 2 až 8 °C).

Současně stejné období bylo srážkově výrazně podnormální. Srážkový úhrn za duben, květen a červen roku 2000 dosáhl 21 mm, resp. 58 mm, resp. 51 mm srážek, což představuje pouze 46 %, resp. 83 %, resp. 62 % dlouhodobého normálu.

Příčiny a výše škod vzniklých suchem

Na hospodářský výsledek zemědělských podnikatelských subjektů v marketingovém roce 1999/00 měly významný dopad zmíněné povětrnostní podmínky. Rok 2000 se projevil svými negativními vlivy především v oblasti:

- poklesu výrobních ploch (zejména jařin, máku, hrachu);
- poklesu hektarových výnosů (téměř u všech komodit s výjimkou okopanin, ovoce, vojtěšky a silážní kukuřice);
- cen zemědělských výrobců (proti dlouhodobému vývoji);
- snížení kvality a nižšího tržního uplatnění produkce;
- zvýšení nákladů z titulu zaorávek a druhého výsevu[‡];
- zvýšení vnitřní zadluženosti zemědělských podniků (odklad investic apod.).

Nepříznivý průběh počasí ovlivnil i sklizeň zemědělských komodit (především obilovin), takže celé vegetační období bylo touto skutečností poznamenáno.

Nejvíce registrovaných škod z titulu sucha na základě podaných a schválených žádostí o podporu bylo v oblasti jihomoravské, středočeské, východočeské a jihočeské.

Úhrny srážek v období od září 2001 do září 2002

Podle Českého hydrometeorologického ústavu povětrnostní podmínky pro růst a vývoj rostlin během vegetace měly v roce 2001/02, zejména v dosažených úhrnech srážek v letním období v Čechách, zcela mimořádný průběh. Nadnormální průměrné úhrny srážek byly již v září 2001. V ČR spadlo průměrně 108 mm (193 % normálu), přičemž v Čechách spadlo průměrně 101 mm (180 % normálu) a na Moravě 124 mm (210 % normálu).

Slabě nadnormální srážkové úhrny byly také v listopadu a v prosinci 2001, v březnu a v červnu 2002. Silně nadnormální byly srážkové úhrny v září 2001, v únoru a v srpnu 2002.

V srpnu 2002 spadlo v ČR průměrně 176 mm (normál 81 mm, tj. 217 % nad normálem), přičemž v Čechách spadlo průměrně 202 mm (n. 78 mm, tj. 259 % nad n.) a na Moravě průměrně 124 mm (n. 86 mm, tj. 144 % nad n.). Nadměrné srážky způsobily, že na mnoha místech, kde půdy byly již v srpnu nasycené vodou, probíhal povrchový odtok a dal tak vzniku povodni, která způsobila škody velkého rozsah, ale převážně ve městech, zejména v Praze. Přestože zářijový průměr roku 2002 byl proti srpnovému podstatně nižší (64 mm, tj. 114 % normálu), při plném nasycení půd vodou dále probíhal povrchový odtok.

Teploty vzduchu v období od září 2001 do září 2002

Nadnormální průměrné měsíční teploty v ČR byly v říjnu 2001 a v lednu až srpnu 2002, Nejteplejší byl říjen 2001, kdy průměrná teplota vzduchu dosáhla 11,4° C (3,9° C nad normálem). V 1. a 2. dekádě října vystoupila denní maxima na 16 až 22° C, ojediněle až na 24° C. Výrazně nadnormální byl také únor 2002, kdy průměrná teplota 3,4° C v ČR byla o 4,7° C nad normálem. Denní maxima v tomto měsíci byla většinou kladná (3 do 10° C). Záporné teploty se vyskytovaly ojediněle.

V celé ČR byly teplotně podnormální měsíce září, listopad a prosinec 2001 a září 2002. Největší odchylka od normálu byla v ČR zaznamenána v prosinci 2001, kdy dosažená průměrná teplota -3,4° C byla o 2,4° C nižší než hodnota normálu.

[‡] V důsledku škod způsobených suchem bylo 40 912 ha zaoráno. Zaorané pozemky byly znovu osety. Z hlediska agrotechnických lhůt bylo možno použít jen značně omezený výběr plodin (80 % kukuřice na siláž, 20 % krmné směsky).

Bilance záplav

1997

6.-18.července

Morava a část východních Čech

538 měst a obcí

škody - 63 mld.korun

2002

8.-18.srpna

jižní, západní, střední a severní Čechy a část jižní Moravy

986 měst a obcí

škody - 75 mld.Kč

Období od září 2002 do září 2003

Podle Českého hydrometeorologického ústavu měly povětrnostní podmínky pro růst a vývoj rostlin během vegetace, zejména v dosažených úhrnech srážek v letním období v Čechách, zcela mimořádný průběh. Srážkově nadnormální byly v ČR měsíce září 2002 - leden 2003 a květen 2003 s nejvyšším měsíčním úhrnem srážek v říjnu 2002 (164 % normálu).

Srážky spadlé od září do listopadu 2002 způsobily na mnoha místech ČR další zvýšení zásob půdní vláhy, které byly po „záplavovém srpnu 2002“ již značně vysoké, a tak místy dosáhly opět stavu nasycení. Srážkově podnormální byly v ČR naopak měsíce únor - duben 2003 a zejména červen - září 2003.

Teploty vzduchu v období od září 2002 do září 2003

Teplotně nadnormální byly v ČR zejména měsíce listopad 2002 a květen - září 2003. Nejteplejší měsíce byly červen 2003 (s průměrnou teplotou 19,6°C, + 4,1°C nad normálem) a také srpen 2003 (s průměrnou teplotou 20,4°C, + 4,3°C nad normálem).

Teplotně podnormální byly v ČR měsíce září, říjen a prosinec 2002 a také únor 2003.

V průběhu vegetačního období v roce 2003 byly srážkové úhrny poměrně nízké, a ve spojitosti s vysokými teplotami vzduchu měly za následek, že půdy byly extrémně suché až vyprahlé, a tudíž zemědělské plodiny trpěly dlouhodobě suchem.

Povětrnostní podmínky a jejich dopady v roce 2006

Povětrnostní podmínky v ČR, charakterizované úhrny srážek a průměrnými měsíčními teplotami, se vyznačovaly v období od září 2005 do září 2006 některými, pro zemědělskou výrobu nepříznivými, výkyvy. Zimní období 2005/06 bylo bohaté na sněhové srážky a následně pozdní jarní tání sněhu až v měsíci dubnu v celé ČR, ale zejména ve středních a vyšších polohách, oddálilo začátek jarních prací. Také jarní měsíce roku 2006 byly srážkově nadnormální. V důsledku tání velkého množství sněhu a vlivem dalších dešťových srážek došlo v několika vlnách k povodním na řadě míst ČR. V zemědělství se rozsah záplav týkal území o rozloze 30 032 ha z. p., na které byly poskytnuty kompenzace. Vlivem posunu vegetační doby se zpozdily i sklizňové práce, s výjimkou nejteplejších oblastí ČR je také postihlo deštivé počasí v měsíci srpnu. Daná skutečnost se projevila na průběhu žňových prací i na kvalitě sklizených obilovin a řepky.

Úhrny srážek v období od září 2005 do září 2006

Srážkově nadnormální byly především měsíce únor až červen a hlavně srpen 2006, srážkově podnormální se ukázaly měsíce říjen a listopad 2005 a červenec a září 2006.

Teploty vzduchu v období od září 2005 do září 2006

Teplotně nadnormální byly měsíce září a říjen 2005, duben až červenec a září 2006. Naopak teplotně podnormální byly zejména měsíce leden až březen a srpen 2006.

V souvislosti s jarní povodní 2006 bylo nahlášeno 14 126 pojistných událostí s celkovou výší škod 779,6 mil. Kč. Do 30. června 2006 vyplatily pojišťovny celkem 91,8 % finančního

plnění z pojištění občanů. V případě podnikatelských subjektů bylo k tomuto datu vyplaceno cca 40 %.[§]

2.3.3 Přehled základních prvků krytí rizik a kalamit v zemích Evropské unie

Nedostatek vody se ve stále větší míře týká i EU jako celku a důsledky sucha způsobily evropské ekonomice za posledních třicet let škody za asi 100 miliard eur (zhruba 2,8 bilionu korun). Dle návrhů EK, které mají čelit nedostatku vody v době klimatických změn, by Unie měla více šetřit vodou, protože v Evropě jí přijde nazmar až 40 %. Za posledních 30 let dramaticky přibyla období sucha, která jsou čím dál intenzivnější. Jedno z nejhorších období sucha postihlo v roce 2003 přes 100 milionů lidí unie a přišlo asi na 8,7 miliardy eur

	Dotace pojistného	Fond "kalamit"	Ad-hoc pomoc
Belgie	N	A	N
Bulharsko	N	A	A
Česká republika	A	N	A
Dánsko	N	A	A
Estonsko	N	N	N
Finsko	N	N	A
Francie	A	A	N
Irsko	N	N	A
Itálie	A	A	N
Kypr	A	N	A
Litva	A	A	A
Lotyšsko	A	A	A
Lucembursko	A	N	A
Maďarsko	N	N	A
Německo	N	A	A
Nizozemí	N	A	N
Polsko	N	A	A
Portugalsko	A	A	N
Rakousko	A	A	A
Rumunsko	A	N	A
Řecko	N	N	A
Slovensko	A	N	A
Slovinsko	A	N	A
Španělsko	A	N	A
Švédsko	N	N	A
Velká Británie	N	N	A

Zdroj: Interní materiály VÚZE

[§] Kompenzace viz. Usnesení vlády ČR ze dne 30.3.2006, č.347 o finanční pomoci státu při odstraňování následků povodní.

2.3.4 Závěr

- Na základě nastupujících změn klimatu dochází k extrémním a nevyrovnaným projevům počasí. Otázkou zůstává, zdali a do jaké míry příčinou jsou civilizační vlivy a škody „napáchané“ člověkem, a zdali a do jaké míry jde o přirozený projev přírodního charakteru.
- Tyto extrémní projevy počasí způsobují extrémní škody na majetku a determinují podnikatelské aktivity zemědělských podniků.
- Je s tím nutno počítat, uvědomit si rizika, přijmout je a aktivně předcházet a nastalé škody eliminovat cestou především pojištění zemědělské prvovýroby (majetek bývá zpravidla pojištěn).
- V rámci zemědělské politiky je nutno přijmout taková opatření, aby ad-hoc platby (finančně vysoce nákladné, nesystémově provedené a s otázkou finálního příjemce – skutečně poškozeného podnikatele), nebyly třeba.
- Tuto skutečnost si uvědomuje i EU a nastolené problémy budou řešeny na komunitární úrovni s tím, že národní politiky budou mít vcelku neomezený prostor, protože podpora pojištění spadá do green boxu WTO (podpora ex-post).
- Výhledově se počítá s podporou na eliminaci příjmového rizika zemědělských podnikatelů zařazenou do jednoho z pilířů SZP jako podpora ex-ante.

2.4 Dopady změny klimatu na rozšíření škůdců a chorob zemědělských plodin

A) Dopady změny klimatu na rozšíření a počet generací vybraných škůdců a chorob zemědělských plodin [6]

Jednou z hlavních překážek limitujících dosažení maximálního výnosu v provozních podmínkách je výskyt chorob a škůdců (např. Oerke *et al.*, 1995). Významným faktorem určujícím intenzitu a rozšíření škodlivých činitelů jsou kromě přítomnosti vhodného hostitele, výskytu predátorů či parazitů zejména klimatické podmínky lokality a rovněž průběh počasí v rámci dané sezóny, z čehož vyplývá nutnost zabývat se důsledky změny klimatu na jejich životní cykly. Vzhledem k druhové specifitě klimatických nároků jednotlivých patogenů je nutné posuzovat dopady změny klimatu na jejich výskyt individuálně. Zobecnění výsledků pro určité skupiny škodlivých organismů je sice možné, ale může posloužit pouze pro odvození rámcových závěrů, které obvykle nepostačují jako podklad ekonomických analýz. Z několika set chorob a škůdců, které změnou klimatu budou pravděpodobně ovlivněny, se tato studie zaměřuje na tři druhy, u nichž výzkum pokročil natolik, aby bylo možné důsledky klimatické změny odhadnout s dostatečnou jistotou.

2.4.1 Zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*, Hubner)

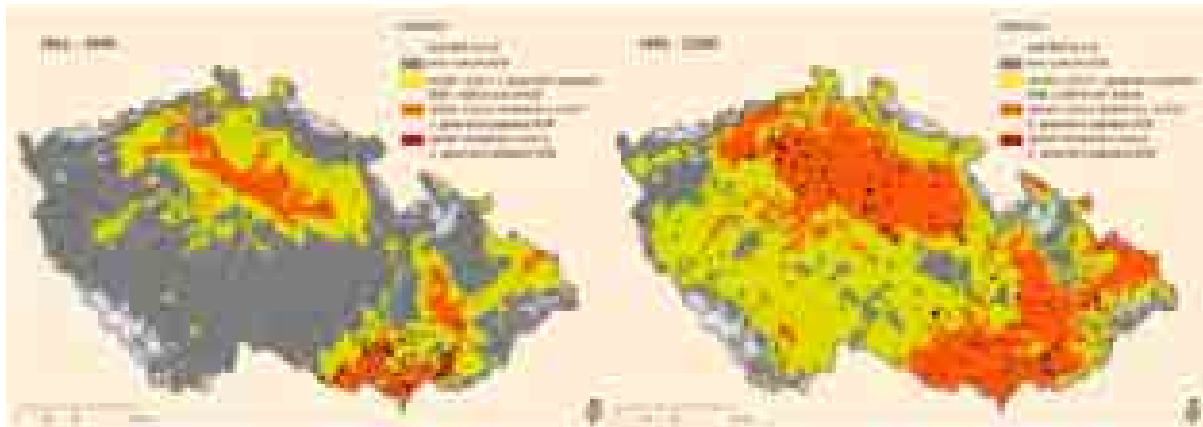
Zavíječ kukuřičný je běžným druhem nejen v Evropě (s výjimkou severních oblastí), ale vyskytuje se i v severní Africe, v Egyptě, Malé Asii, Japonsku a Indii. Vyznačuje se mimořádnou přizpůsobivostí, kterou prokázal na počátku 20. století, kdy byl zavlečen na východní pobřeží Spojených států. I přes mimořádná protiopatření se velmi rychle šířil po středozápadě USA a ve východní Kanadě a stal jednoznačně nejvýznamnějším škůdcem kukuřice na zrna i na siláž. Zavíječ má současně velmi široký rozsah hostitelských rostlin, což mu umožňuje dlouhodobé přežití i v oblastech bez rozsáhlých ploch jeho ideálního hostitele - kukuřice. Největší škody sice způsobuje na kukuřici, ale škodí značně i na konopí, prosu a čiroku, chmelu, bramborách, paprice, cukrovce, fazolích, slunečnicích, jiřinách, chryzantémách, astrách apod. Z plevelů napadá přednostně pelyněk černobýl (*Artemisia vulgaris*), dále pak laskavec (*Amaranthus*), řepěň (*Xanthium*) atd. Housenky škodí bezprostředně tím, že vyžírají dřev lodyh a větvena kukuřičných palic apod., druhotně tím, že svým žírem otvírají brány fusariovým a jiným houbovým infekcím a rostliny silněji napadené se snadno lámou.

V závislosti na klimatických podmínkách je zavíječ schopen vytvořit jednu až 6 generací ročně. Částečná druhá generace se vyskytuje nejbliže našemu území na Slovensku, a to pouze ve výjimečně teplých vegetačních sezónách a dále pak v jihovýchodním Maďarsku. Dle Bírové (1984) může být změna z monovoltinní (jednogeneční) populace zavíječe na bivoltinní (dvougeneční) způsobena genetickou přeměnou nebo kombinací na energii bohaté výživy a vhodných podmínek, které zabrání nástupu diapauzy u housenek posledního larválního stadia. Jedna z prvních studií zabývajících se změnou klimatu v Evropě (Porter *et al.*, 1991) uvádí, že zvýšení teploty povede k posunu zavíječe směrem na sever a současně k výskytu druhé generace v původních místech výskytu. Pokud by taková změna závisela pouze na teplotě, jednalo by se o postupný a plynulý přechod jednogeneční populace na dvougeneční. Biologický cyklus škůdce je však silně ovlivněn i délkou dne, resp. délkou noci a rovněž i zeměpisnou šířkou (Onstad a Brewer, 1996) a tím je odhad možného výskytu bivoltinní populace výrazně ztížen (Trnka *et al.*, 2007). V současnosti na území ČR prakticky celá larvální populace vstupuje do diapauzy pravděpodobně z důvodu kombinace nízkých teplot a fotoperiodismu, který limituje výskyt druhé generace. Očekávané

zvýšení teplot v podmínkách měnícího se klimatu umožní dřívější začátek vegetační sezóny a vývoje škůdce a významně tím ovlivní délku dne během prvního až pátého larválního stádia. To může ovlivnit poměr jedinců první generace vstupujících do diapauzy a těch, u nichž vývoj pokračuje plynule do druhé generace. Při překročení určitého teplotního prahu během vegetační sezóny je možné očekávat, že část jedinců druhé generace dosáhne pátého larválního stádia, které jako jediné může přežít zimu. Naplnění těchto dvou podmínek umožní uzavření dvougeneračního vývojového cyklu, které by pak významně zvýšilo způsobovanou škodu a do značné míry zhoršilo ekonomiku pěstování kukuřice na zrno. Riziko vyplývající z možného nástupu druhé generace spočívá v kombinaci vysoké rozmnožovací schopnosti (1 samička je schopná naklást až 500 vajíček) a technické obtížnosti aplikace insekticidů v pokročilé vývojové fázi porostu kukuřice (nutnost využití speciálních aplikátorů nebo letadel). Současně lze očekávat, že existence druhé generace povede i ke zvýšenému počtu úspěšně prezimujících jedinců a k větší populační hustotě první generace v sezóně následující. Pro určení rozsahu území vhodného pro výskyt zavíječe kukuřičného a rizika výskytu bivoltinní populace byl aplikován model životního cyklu a klimatologické niky ECAMON (Trnka *et al.*, 2007) vyvinutý na Mendlově zemědělské a lesnické univerzitě v Brně v letech 2004-2007.

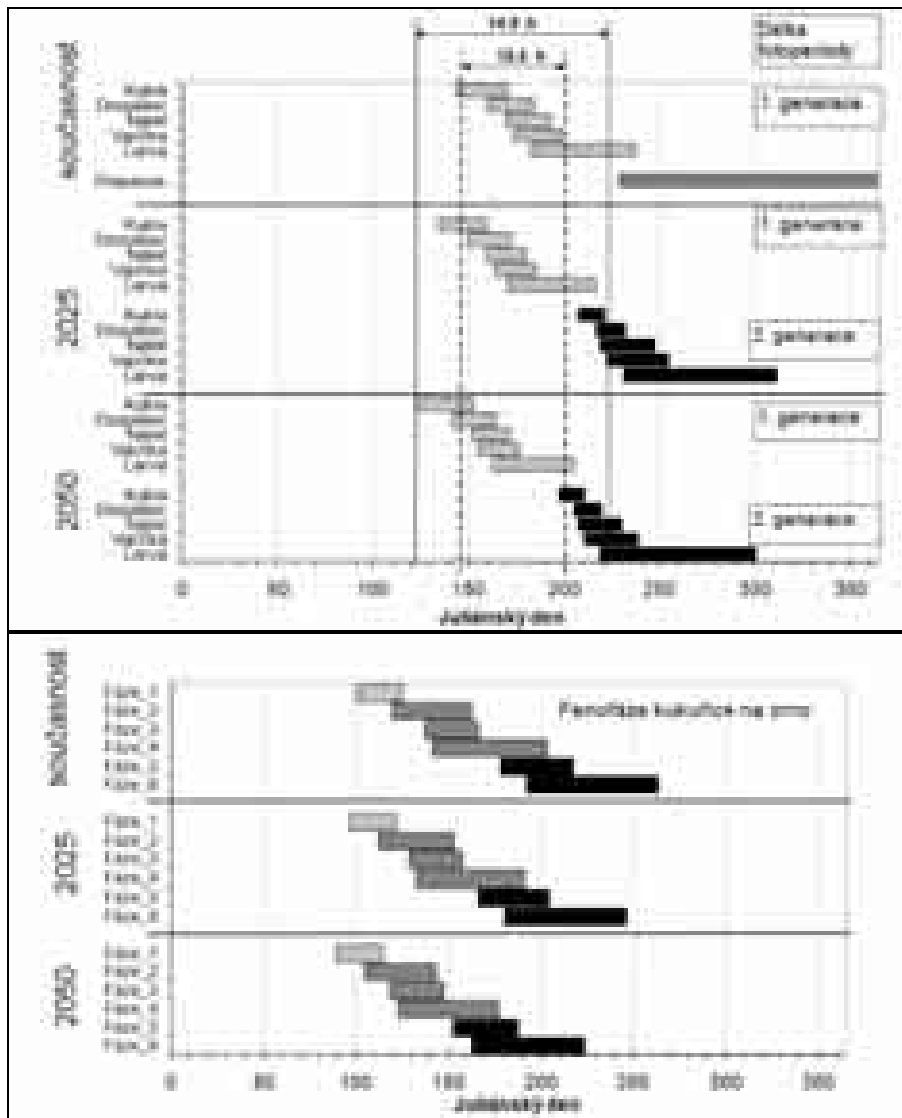
Možné důsledky změny klimatu na rozšíření zavíječe kukuřičného

Nárůst počtu škodlivých výskytů i ploch ošetřených specifickými insekticidy byl dáván do souvislosti s celkovým poklesem úrovně ochrany rostlin v průběhu 90. let 20. století, s rozšířením bezorebného zpracování půdy a celkovým poklesem úrovně zemědělské výroby dané ekonomickými problémy (např. Daems *et al.*, 2006). Přestože se jedná o poměrně logické argumenty, nelze pomocí nich vysvětlit výskyt škůdce ve 40 okresech, kde se dříve nevyskytoval stejně jako jeho výskyt v oblastech kde byl ještě před několika lety považován jeho výskyt za nanejvýš nepravděpodobný (např. v oblastech s nadmořskou výškou nad 600 m n.m.). Výsledky modelu ECAMON pro období 1961-1990 a 1991-2000 ukazují, že na konci minulého století došlo k dramatické změně rozsahu oblastí, kde je klima příznivé pro přežití stabilních populací škůdce. Zatímco v období 1961-1990 mělo klimaticky vhodné podmínky pro výskyt škůdce pouze 8.1 % orné půdy, v období 1991-2000 to bylo již 17.3 %. Zdvojnásobení ploch klimaticky vhodných pro populace zavíječe bylo doprovázeno dramatickým zvýšením počtu hlášených škodlivých výskytů (Obr. 2A1). Během 90. let přitom plocha kukuřice na zrno kolísala mezi 29 až 40 000 ha s maximem v letech 1990 a 2000 a zvýšení výskytu nelze přičíst na vrub větším plochám kukuřice. Během stejného období totiž celková výměra kukuřice klesla o 40% z 426 na 267 000 ha díky poklesu spotřeby silážní kukuřice. Z Obr. 2A1 je zřejmé, že použitý model poskytuje relativně spolehlivou informaci o možném rozšíření škůdce, která dobře koreluje s praxí. Detailní výsledky validací modelu jsou součástí recenzovaných prací (Trnka *et al.*, 2007 a Kocmánková *et al.*, 2007a).



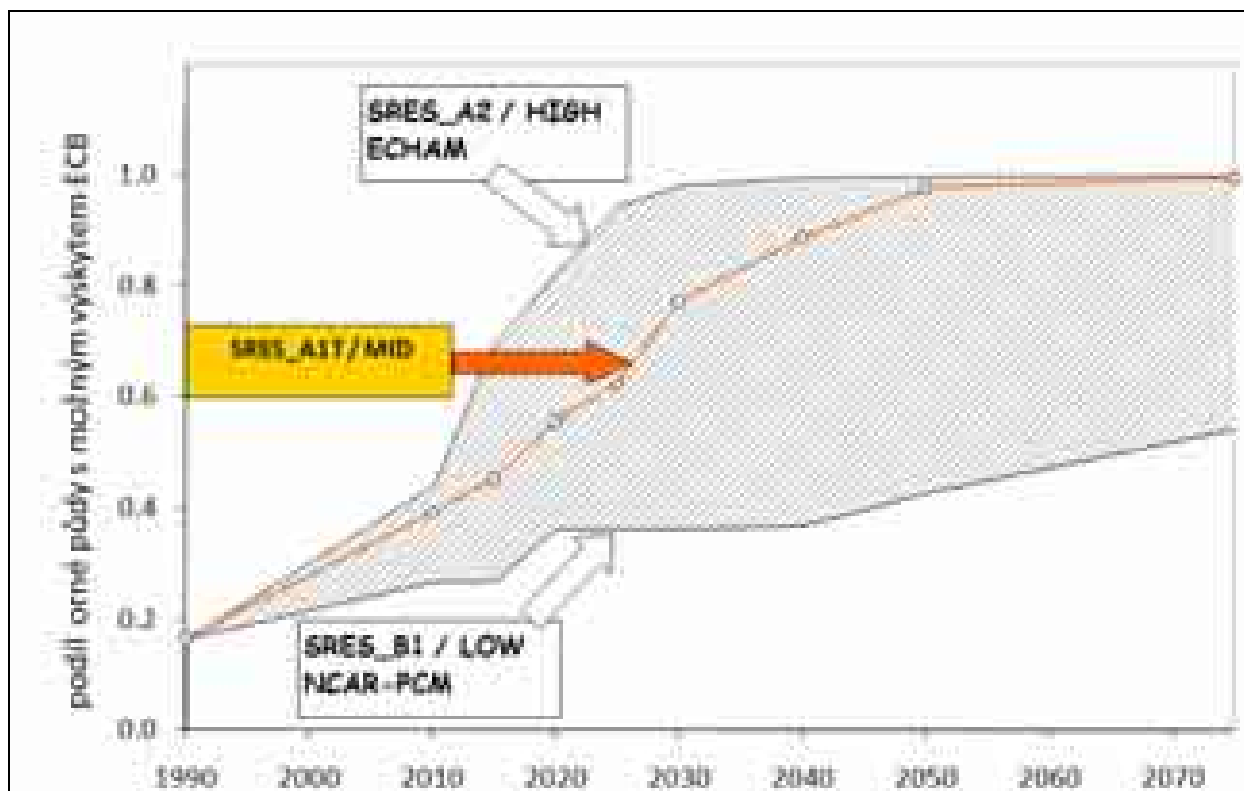
Obr. 2A1 Oblasti výskytu zavíječe kukuřičného v období 1961-1990 a 1991-2000 na základě modelu ECAMON (Trnka et al., 2007) na území ČR. Černé body označují místa hlášeného škodlivého výskytu škůdce v porostech kukuřice během sledovaných období.

Klimatická změna povede k časnějšímu začátku vývoje a ke zrychlení vývoje zavíječe kukuřičného (Obr. 2A2). Kolem roku 2025 lze očekávat počátek náletu dospělců v průměru o 4-10 dní dříve v porovnání s obdobím 1961-1990, přičemž vývojový cyklus bude dokončen o 9-15 dní dříve než v současných podmínkách. Rozdíly mezi jednotlivými scénáři jsou ovšem značné a rostou s časem, přičemž při kombinaci emisního scénáře SRES A2 a vysoké klimatické citlivosti je možné očekávat dokončení životního cyklu zavíječe až o 1 měsíc dříve než v současných podmínkách. Je zcela nepochybné, že nárůst teplot a s ním spojená akcelerace životního cyklu škůdce povede k rozšíření životní niky škůdce, jak bylo ostatně pozorováno v rozmezí let 1991-2000 (Obr. 2A1). Tím dojde k rozšíření škůdce i do oblastí kde se dříve nikdy nevyskytoval (Obr. 2A3 a 2A4) v hustotách dostatečných pro způsobení hospodářských škod. Tabulka 2A1 která zachycuje procento orné půdy ohrožené výskytem zavíječe poukazuje rovněž na značnou míru nejistoty odhadu, která roste s časem díky divergenci scénářových dat, což je patrné i z Obr. 2A3. Zatímco kombinace scénáře SRES-B1, nízké citlivosti klimatu a GCM modelu NCAR-PCM povede do roku 2010 pouze k 4% zvětšení oblasti potenciálního rozšíření v porovnání s obdobím 1961-1990 (tj. 14%), tyto změny jsou výrazně akcelerovány v čase s 43.0% ohrožené plochy orné půdy okolo roku 2050. Tento vývoj ovšem není příliš pravděpodobný, neboť nárůst koncentrace skleníkových plynů dle tohoto scénáře se jeví jako nerealisticky nízký a odezva klimatického systému jako příliš slabá. Kombinace emisního scénáře SRES-A1T se střední citlivostí klimatického systému a HadCM modelem vede k ohrožení 62 % orné půdy výskytem jednogenerační populace zavíječe, přičemž téměř veškerá orná půda je pak zasažena k roku 2050. Pokud předpokládáme rychlý nárůst koncentrace skleníkových plynů a vysokou citlivost klimatického systému lze očekávat výskyt zavíječe kukuřičného nejméně v jedné generaci na celém území do roku 2025-2030.



Obr. 2A2 Příklad životního cyklu Zavijče kukuřičného v současných klimatických podmínkách a v období 2025 a 2050 (A2 emisní scénář, vysoká citlivost klimatického systému při využití modelu ECHAM) na lokalitě Lednice (171 m n.m., kukuřičná výrobní oblast). Každý z intervalů představuje datum počátku a dokončení vývojových fází. Vertikály vyznačují období s fotoperiodou 14,5 a 15,5 hodin. B) Průběh fenofází kukuřice na zrna na těžce lokalitě na základě pozorovaných dat (současnost) a očekávané termíny nástupu fenofází s použitím modelu CERES-Maize pro stejné scénáře jako v předchozím případě. Legenda: Fáze (1) od setí do vzházení, (2) od vzházení do časně vegetativní fáze, (3) od časně vegetativní fáze do počátku kvetení, (4) od počátku kvetení do ukončení růstu listů (5) od ukončení růstu listů po počátek plnění zrna (6) plnění zrna.

Pravděpodobnost výskytu částečné druhé generace výrazně narůstá zejména na jihovýchodě a severozápadě ČR po roce 2025 (Obr. 2A4). Výskyt částečné druhé generace je obvykle spojen s výrazně vyšším rizikem ekonomických škod, neboť larvy v tomto případě poškozují přímo palice a stonky v kritické fázi plnění zrna. Pravděpodobnost výskytu plně bivoltinní populace zavijče při kombinaci SRES-B1, nízké klimatické citlivosti je velmi malá a jeví se pravděpodobná v horizontu let 2070-2080 (Tabulka 2A1). Na druhé straně v současné době poměrně pravděpodobný nárůst emisí podle scénáře SRES-A2 v kombinaci s vysokou citlivostí klimatického systému by podle GCM modelů HadCM, ECHAM a NCARPCM zaručoval výskyt podmínek pro dvě generace škůdce v oblasti jižní Moravy již mezi léty 2025-2050 (Tabulka 2A1 a Obr. 2A4). Navíc by do roku 2050 byl možný výskyt bivoltinní populace i v českých zemích (zejm. Polabí a Žatecko) s tím, že klimatické podmínky pro výskyt škůdce by se dále zlepšovaly.

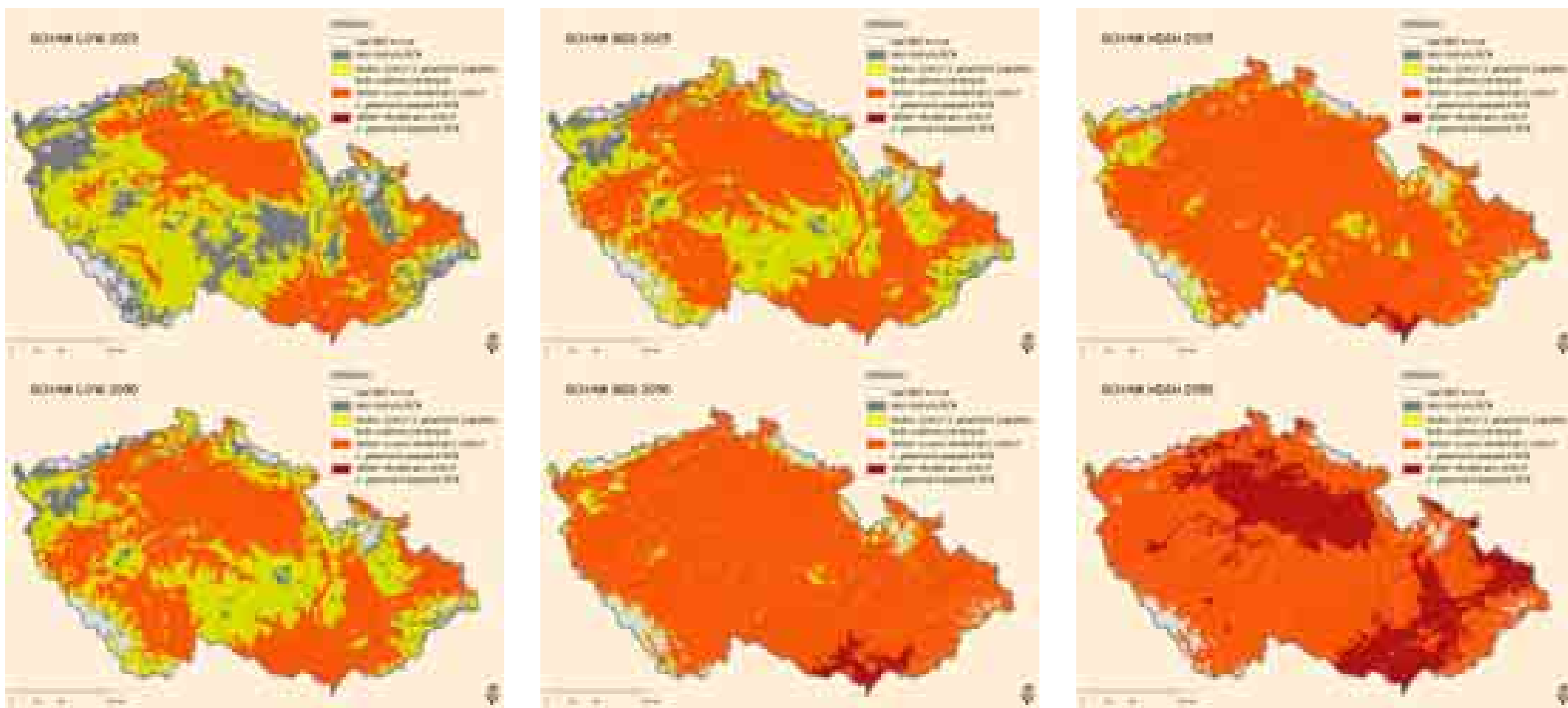


Obr. 2A3 Podíl orné půdy ohrožené výskytem alespoň 1. generace zavijče kukuřičného se zachycením míry nejistoty dané nejistotou v budoucím vývoji skleníkových plynů a s přihlédnutím k nejistotám globálních cirkulačních modelů. **Poznámka:** Spodní hranice odhadu se vzhledem k vývoji emisí a citlivosti klimatického systému jeví jako málo pravděpodobná.

Se změnou klimatických podmínek lze kromě změn vývojového cyklu škůdce předpokládat i změny v synchronizaci mezi hostitelskou plodinou tj. kukuřicí a škůdcem. Z tohoto důvodu byl nástup klíčových fenofází kukuřice odhadnut s pomocí růstového modelu CERES-Maize (Jones and Kiniry, 1986), který byl kalibrován Žaludem a Dubrovským (2002). Výsledky ukazují pouze malou změnu v synchronizaci vývojových fází (Obr. 2A2). I když nástup vyšších teplot povede ke zkrácení trvání vývojových fází (zejména od kvetení po zralost) musíme rovněž vzít v úvahu rannější termíny setí, které zmírní vliv vyšších teplot na akceleraci vývoje kukuřice. Výsledky ukazují, že i v případě použití odrůd kukuřice s relativně krátkou dobou vegetace dokončí většina jedinců z druhé generace svůj vývoj ještě před sklizní plodiny (Obr. 2A2). Jediným abiotickým faktorem, který může snížit škody způsobené druhou generací je paradoxně sucha v období letních měsíců, které bude mít negativní vliv na páření dospělců a fertilitu i přežití vajíček. Zároveň je ale nutné si uvědomit, že stres suchem se podle výsledků našich analýz bude objevovat v době plnění zrna a je tedy pravděpodobné, že negativně ovlivní i výnos samotné plodiny s negativními důsledky pro pěstitele.

Tabulka 2A1 Procento orné půdy vhodné pro trvalý výskyt jedno a dvougenerační populace zavijčeč kukuřičného v jednotlivých časových obdobích. A2-HIGH představuje klimatické podmínky v případě vývoje emisí dle SRES-A2 a vysoké citlivosti klimatického systému, A1-MED reprezentuje scénář SRES-A1T se střední klimatickou citlivostí a B1-LOW pak SRES-B1 s nízkou klimatickou citlivostí. Tyto scénáře pak byly následně aplikovány pro 3 GCM modely.

Procento orné půdy s vhodnými podmínkami pro výskyt 1. generace škůdce								
SRES-scénář GCM	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2075
B1-LOW NCARPCM	18	22	26	31	35	37	43	56
A1T-MED HadCM3	39	45	56	62	77	89	98	99
A2-HIGH ECHAM	51	70	82	95	98	100	100	100
Procento orné půdy s vhodnými podmínkami pro výskyt 2. generací škůdce								
SRES-scénář GCM	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050	2075
B1-LOW NCARPCM	-	-	-	-	-	-	-	-
A1T-MED HadCM3	-	-	-	-	-	-	3	24
A2-HIGH ECHAM	-	-	-	2	4	24	38	99



Obr. 2A4
 Dynamika vývoje oblastí vhodných pro výskyt 1 a 2 generací zavíječe kukuřičného pro časové horizonty 2025 a 2050 podle GCM modelu ECHAM a B1 SRES + nízká klimatická citlivost (LOW), A1T SRES + střední citlivost klimatického systému (MID) a A2 SRES + vysoké citlivosti klimatického systému (HIGH)

2.4.2 Mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*, Say 1824)

Mandelinka bramborová byla do Evropy zavlečena pravděpodobně v roce 1876 z Amerického kontinentu lodní dopravou. V ČSR byla poprvé zjištěna v roce 1945 v západních a severních Čechách a do roku 1958 se rozšířila po celém území tehdejšího Československa republiky. Nyní je rozšířena v celé západní Evropě a v části východní a jižní Evropy, není doposud trvale usídlena v Anglii, Dánsku, Švédsku a Norsku (Zacha *et al.*, 1996). Obdobně jako v případě zavíječe kukuřičného existuje těsná vazba mezi klimatickými podmínkami a možností přežití populace škůdce na dané lokalitě. Závislost mandelinky bramborové na klimatických podmínkách je možné popsat několika mezními hodnotami teplot v kritických fázích jejího životního cyklu. Pro nálet jarních brouků je limitujícím faktorem teplota půdy 14 °C hloubce 20 cm a teplota vzduchu 15 °C Wegorek (1955). Alfaro (1943) udává výskyt prvních imag již při teplotě vzduchu 10°C a masový nálet nejdříve při 14-15°C. V našich podmínkách spadá hlavní doba výletu brouků do druhé poloviny května a prvé poloviny června. Ojedinele se brouci vyskytují i začátkem května a za zvlášť příhodných podmínek jsou hlášeny nálezy i ze začátku dubna. Za spodní práh vývoje mandelinky bramborové je nejčastěji považována teplota 12 °C, tato hodnota platí pro embryonální vývoj i pro vývoj larev (Busnel 1939). Maximální teplotní práh dosahuje hodnoty 38 °C, nad touto hranicí ustává embryonální vývoj, hynou larvy i kukly. Optimální teploty jsou 18 – 28 °C, při nichž vývoj mandelinky probíhá nejrychleji a s minimální mortalitou (Busnel, 1939, Capinera, 2001). Diapausa je pak obdobně jako u zavíječe kukuřičného indukována kombinací fotoperiody, teploty a kvality hostitelských rostlin. Dlouhý den normálně podporuje nepřetržitou reprodukci, zatímco krátký den podporuje diapausu, která se ale liší u jednotlivých geografických populací (Capinera, 2001). Obecně přitom platí, že suché a velmi teplé roky vytvářejí vhodné podmínky pro silný výskyt škůdce (Häni *et al.*, 1993).

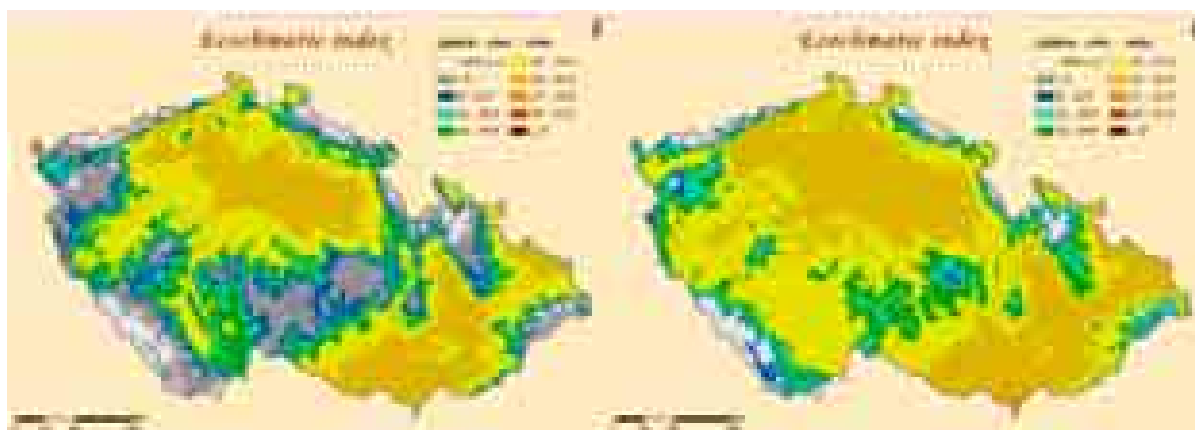
Pro posouzení klimatické vhodnosti území pro výskyt populace škůdce byl v tomto případě použit dynamický model CLIMEX. Ten lze použít pro vyjádření vhodnosti klimatických podmínek vybraného území k přežití vybraného druhu, pro porovnávání klimatu různých lokalit navzájem nebo pro porovnání klimatu stejných lokalit v různých letech (Samways *et al.*, 1999). Výstupem simulace vývoje mandelinky bramborové v závislosti na teplotách prostředí je ekoklimatický index (EI) udávající vhodnost klimatických podmínek pro přetrvání životaschopné populace na dané lokalitě. EI obecně dosahuje hodnot 0 – 100, kde hodnota 0 indikuje lokalitu nevhodnou pro dlouhodobé přežití modelovaného druhu a EI větší než 30 reprezentuje velmi příznivé klima pro přežití (Sutherst, Myawald, 1985, Sutherst *et al.*, 2001). Hoddle (2003) považuje lokality již s hodnotou EI vyšší než 25 za velmi vhodné pro populační růst a přežití druhu, EI 10-25 za vhodné a hodnota EI nižší než 10 indikuje mezní lokality pro přežití. Ekoklimatický index pro mandelinku bramborovou byl v této studii počítán s využitím pouze teplotních prahů bez ohledu na vlhkost, autoři studie nepovažují vlhkostní podmínky panující v České republice za limitující pro vývoj a přežití tohoto škůdce. Stejně tak zahrnutí výpočtů stresů způsobených přesažením mezních hodnot teplot bylo zanedbáno. Byl tedy vytvořen model stanovující vývoj mandelinky bramborové v závislosti na teplotních poměrech spolu se sledováním nástupu a konce diapausy a kumulací denních stupňů nutných pro stanovení počtu generací. Vytvořený model byl validován prostřednictvím srovnání modelovaného rozšíření s reálným zaznamenaným výskytem mandelinky ve stejném období na vybraných stanicích. Detaily metodického postupu jsou popsány v práci Kocmánkové *et al.* (2007b).

Možné důsledky změny klimatu na rozšíření mandelinky bramborové

Obdobně jako v případě zavíječe kukuřičného bylo možné na konci 20. století sledovat poměrně značné změny v rozloze území, které je potenciálně vhodné pro výskyt škůdce (Obr. 2A5), kdy se plocha s možným výskytem 2 generací škůdce zvýšila ze 32,4% orné půdy (1961-1990) na 48,8% v období 1991-2000 (Tabulka 2A2). To je bezpochyby dáno nárůstem teplot o 0.2 – 0.9 °C (Květoň, 2001, Chládová *et. al.*, 2007) a odpovídá i pozorovaným změnám v polních podmínkách.

Mapy možného výskytu mandelinky bramborové reprezentují hodnoty ekoklimatického indexu (EI) přičemž oblast velmi vhodná pro trvalé přežití silných populací mandelinky bramborové leží v hodnotách indexu nad 25 (oranžová). Hodnoty indexu EI 24-26,9 indikují možnou druhou generaci škůdce. Jistá druhá generace se podle CLIMEXu může vyskytovat pouze v omezené oblasti jižní Moravy kde EI dosahuje hodnot alespoň 27. Současně platí, že mandelinka je ubikvitárním škůdcem schopným přežít na většině území ČR (EI>12, na mapě počínaje světle modrou barvou) vyjma nejchladnějších oblastí Českomoravské vysočiny a pohraničních hor. Očekávané klimatické podmínky sebou přinesou i značný nárůst plochy území s částečnou a zejména s kompletní druhou generací (Tabulka 2A2). Podle klimatického scénáře SRES B1 s nízkou citlivostí klimatického systému a GCM HadCM3 se druhá generace objevuje v roce 2025 i v Polabí (Obr. 2A6). Tentýž scénář pro rok 2050 označuje za ohrožené výskytem druhé generace již 18 % území celé ČR, což znamená 27.6 % rozlohy orné půdy. Podle HadCM3 pro SRES A2 a vysokou citlivost klimatického systému lze v roce 2050 očekávat výskyt jisté druhé generace více jak na polovině území (64.1 %, orná půda zasažená ze 71.6 %), z toho 16.1 % orné půdy je ohroženo výskytem možné třetí generace. Podíl území ohrožený výskytem kompletní 2. generace je při použití dalších dvou GCM modelů (tj. NCAR - PCM a ECHAM) výrazně menší, nicméně stále představuje výraznou změnu oproti současnosti (Tabulka 2A2).

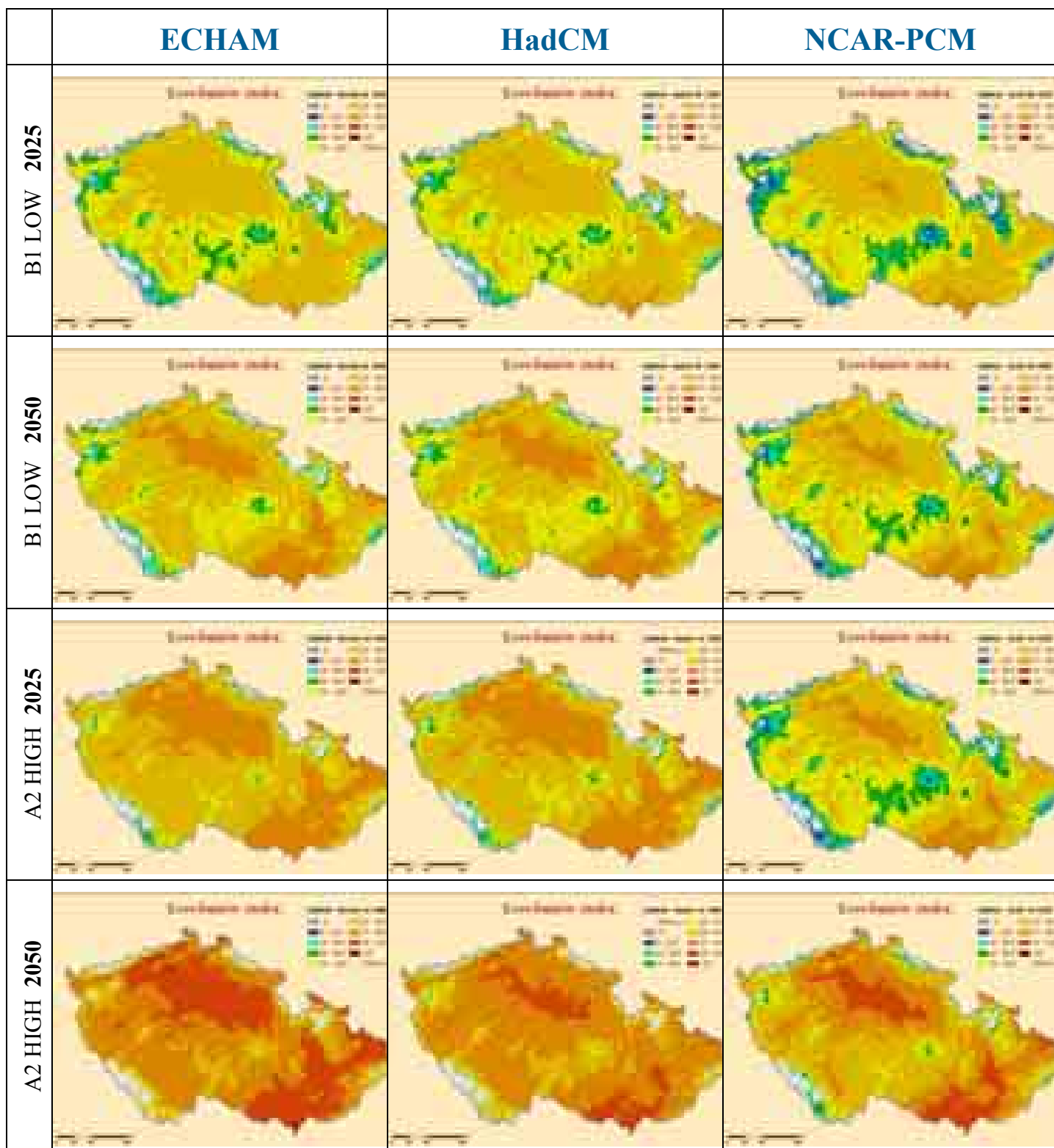
Příznivější klimatické podmínky budou mít pozitivní vliv na plodnost samiček a nižší mortalitu larev, lze tedy očekávat vyšší populační tlak škůdce a tudíž i vyšší náklady na provádění ochrany plodin s použitím insekticidů. Existuje riziko vysokých škod na porostech brambor, které budou způsobovat brzy se objevivší larvy první generace provádějící svůj žír na mladých rostlinách s malou listovou plochou a nízkou regenerační schopností (Zacha a kol., 1996). S přibývajícím počtem let příznivých pro vývoj mandelinky je pravděpodobné, že se bude zvyšovat počet holožírů způsobených larvami první generace. Takovéto holožíry mohou snížit výnos až o 50 %. Larvy druhé generace, které se v současných podmínkách objevují až v srpnu, nemají na snížení výnosů příliš vliv, ale s uspěšením vývoje mandelinky díky vyšším teplotám se i larvy druhé generace mohou podílet na škodách a to dodatečným žírem na stoncích rostlin (Zacha a kol., 1996). Současně může existence kompletní druhé generace zvýšit populační hustotu první generace v následujícím roce díky vyššímu počtu jedinců vstupujícím do zimní diapauzy.



Obr. 2A5 Rozsah klimatické niky mandelinky bramborové v současných klimatických podmínkách, období 1961 – 1990 (vlevo), 1991 – 2000 (vpravo).“

Tabulka 2A2 Procento orné půdy vhodné pro trvalý výskyt jedno a dvougenerační populace mandelinky bramborové v jednotlivých časových obdobích. A2-HIGH představuje klimatické podmínky v případě vývoje emisí dle SRES-A2 a vysoké citlivosti klimatického systému a B1-LOW pak SRES-B1 s nízkou klimatickou citlivostí. Tyto scénáře pak byly následně aplikovány pro 3 GCM modely (ECHAM, HadCM a NCAR-PCM).

Procento orné půdy s vhodnými podmínkami pro výskyt částečné 2. generace škůdce				
SRES-scénář GCM	1961-1990	1991-2000	2025	2050
B1- LOW ECHAM	32,3	48,8	62,4	75,3
B1-LOW NCAR-PCM			56,5	60,3
B1-LOW HADCM			61,1	75,4
A2- HIGH ECHAM			96,4	100,0
A2-HIGH NCAR-PCM			60,4	96,5
A2-HIGH HADCM			92,7	99,3
Procento orné půdy s vhodnými podmínkami pro výskyt kompletní 2. generace škůdce				
SRES-scénář GCM	1961-1990	1991-2000	2025	2050
B1- LOW ECHAM	0,3	0,3	0,3	25,0
B1-LOW NCAR-PCM			3,2	12,0
B1-LOW HADCM			2,5	27,6
A2- HIGH ECHAM			46,0	92,9
A2-HIGH NCAR-PCM			15,1	38,7
A2-HIGH HADCM			47,0	71,6
Procento orné půdy s vhodnými podmínkami pro výskyt částečné 3. generace škůdce				
SRES-scénář GCM	1961-1990	1991-2000	2025	2050
B1- LOW ECHAM	0,0	0,0	0,0	0,0
B1-LOW NCAR-PCM			0,0	0,0
B1-LOW HADCM			0,0	0,0
A2- HIGH ECHAM			0,0	45,1
A2-HIGH NCAR-PCM			0,0	19,7
A2-HIGH HADCM			0,2	16,1
Procento orné půdy s vhodnými podmínkami pro výskyt kompletní 3. generace škůdce				
SRES-scénář GCM	1961-1990	1991-2000	2025	2050
B1- LOW ECHAM	0,0		0,0	0,0
B1-LOW NCAR-PCM			0,0	0,0
B1-LOW HADCM			0,0	0,0
A2- HIGH ECHAM			0,0	0,2
A2-HIGH NCAR-PCM			0,0	0,0
A2-HIGH HADCM			0,0	0,0



Obr. 2A6 Rozšiřování oblastí vhodných pro výskyt populací mandelinky bramborové podle GCM a) ECHAM4 a b) HadCM3 pro nižší (B1) a vyšší (A2) klimatickou citlivost v letech 2025 a 2050.

2.4.3 Plíseň bramborová (*Phytophthora infestans*, (Mont.) de Bary)

Plíseň bramborová je nejvýznamnější houbovou chorobou brambor a současně i rajčat. Význam výzkumu choroby vzrůstá od poloviny 70. let minulého století, kdy během neúrody v Evropě byly povoleny dovozy brambor z Mexika, s nimiž se rozšířily nové velmi agresivní druhy patogena. Lilek brambor bývá především ve vlhčích letech pravidelně intenzivně napadán plísní bramborovou, která následně způsobuje vážné ekonomické škody. Např. ve Střední Americe se pěstitelé snaží zachránit úrodu až pětadvaceti postřiky za sezónu. Vzhledem k tomu, že většina odrůd není vůči této chorobě rezistentní a řada z nich, je bez ohledu na ranost dokonce velmi citlivá, je pro zachování efektivity pěstování nezbytná chemická ochrana. Fungicidy pak musí být aplikovány kontinuálně od počátku infekčního tlaku až do sklizně. Klíčovým faktorem rozhodujícím o výskytu plísně bramborové je průběh počasí a to teplota vzduchu, vlhkost vzduchu a výskyt srážek. Kritická období rozhodující o rozšíření plísně jsou velmi krátká, často jen několikahodinová. První včasné ošetření je zásadní pro eliminaci choroby po celou dobu vegetace. Očekávaná změna klimatu ovlivní ale nejen chod meteorologických prvků, ale i agrotechniku pěstování (např. dobu sázení) následně i nástup fenofází (např. vzcházení a celkovou dobu vegetační sezóny brambor), které bylo nutné brát v této studii v úvahu. Např. Peiris et al., (1996) pro Skotsko resp. Carter et al., (1996) pro Finsko konstatují, že změna klimatu zvýší produkční potenciál brambor v severních zemích a to nejen zvýšením teploty, ale primárně prodloužením vegetační doby. Ekonomické náklady na fungicidy, však mohou vyrovnat zisky ze zvýšeného potenciálu (Kaukoranta, 1996). V ČR v současné době využívá Státní rostlinolékařská správa (SRS) síť meteorologických stanic v kombinaci s matematickým modelem NEGFY (Hansen, 1999) pro stanovení iniciace infekčního tlaku plísně bramborové a určení termínu prvního ošetření s cílem minimalizovat pěstební náklady i zátěž prostředí pesticidy. Právě jednotlivé prvky tohoto monitorovacího systému byly ve spolupráci s experty SRS modifikovány scénáři změny klimatu odvozenými z GCM a použity pro odhad délky rizikového období pro horizonty 2025 a 2050.

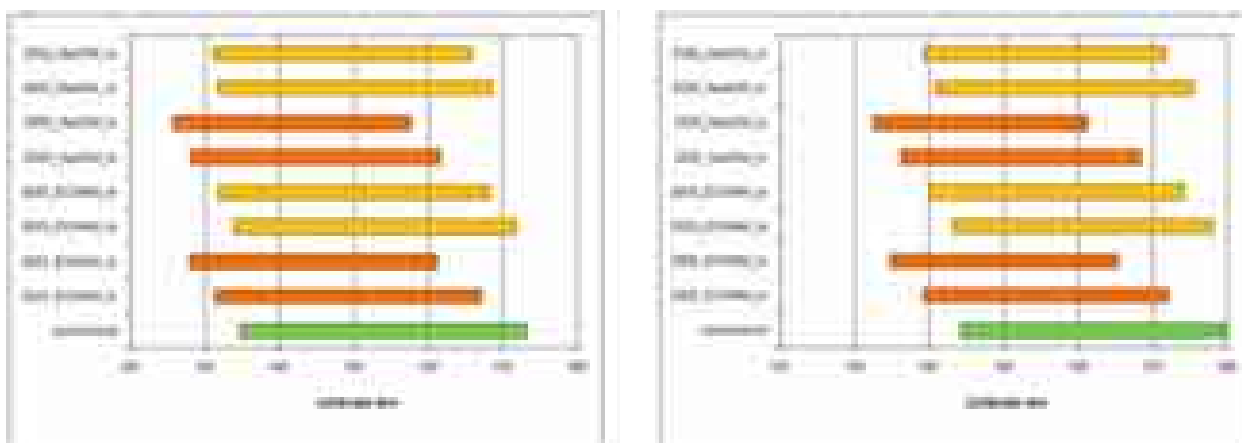
Tabulka 2A3 Klimatická charakteristika stanic použitých ke studii plísně bramborové

Stanice	perioda sledování	prům.roční teplota (°C)	nadm.výška (m)	roční úhrn srážek (mm)	klimatický okrsek
Uherský Ostroh	1994-2000	9,0	178	520	A2 teplý suchý s mírnou zimou
Horažďovice	1994-2000	7,5	427	655	B5 mírně teplý, mírně teplý, vrchovinný
Lípa	1993-2000	7,1	505	690	B5 mírně teplý, mírně teplý, vrchovinný
Čáslav	1997-2000	8,1	249	572	B2 mírně teplý, mírně suchý, převážně mírná zima

Možné důsledky změny klimatu na infekční tlak plísně bramborové

Z výsledků je zřejmé, že oteplení klimatu přinese dřívější nástup jednotlivých fenologických fází a tím i nutné dřívější ošetření porostů. Zvýší se tlak na připravenost podniků ve vztahu k počátku ošetření. Především v lokalitách s vyrovnanou kladnou vláhovou bilancí (v Tabulce 2A3 zastoupena stanicemi Horažďovice a Lípa) způsobí mírné oteplení vyšší reálnou evapotranspiraci a následně vyšší vlhkost v samotném porostu brambor díky specifickému mikroklimatu. Lze očekávat dřívější a intenzivnější nástup choroby a její vyšší infekční tlak (Obr. 2A7). Naopak v případě razantnějšího oteplení lze očekávat především v nižších a středních polohách výrazně vyšší četnost suchých let a omezení výskytu vlhkomilné plísně bramborové. Otázkou však za této situace zůstává samotná ekonomická produktivita pěstování na vláhu náročných brambor v očekávaných velmi suchých podmínkách. Na základě několika bodových studií (Tabulka 2A3) pro lokality v různých klimatických regionech a využití modelu negativní prognózy modelem NEGFY, který vymezuje dobu, kdy se plíseň nemůže vyskytnout, lze očekávat pro podmínky roku 2025 zkrácení doby mezi vzcházením a prvním infekčním výskytem o 4-5 dní u velmi raných resp. 5-6 dní u polopozdních a pro podmínky 2050 5-6 dní u velmi raných resp. 5-7 u polopozdních odrůd (Obr. 2A7). Tato skutečnost z ekonomického pohledu přinese jak pro velmi rané odrůdy, tak i polopozdní odrůdy ve vlhkých letech nárůst o jedno ošetření u fungicidních přípravků se sedmidenní účinností a z toho plynoucí doporučení využívat přípravky s čtrnáctidenní účinností, kde by se počet ošetření neměl změnit.

U stanic ve vyšších nadmořských výškách charakterizovaných klimatickým okrskem B5 lze očekávat dřívější nástup první infekce plísně bramborové a nárůst počtu ošetření v případě používání přípravků se sedmidenní účinností. Tento nárůst je dán periodou, o kterou se prodlouží doba, kdy plíseň bramborová musí být pod supresí chemických přípravků. Dřívější nástup vegetace a prvního výskytu vytvoří tlak na připravenost zemědělců neboť úspěšnost ochrany je dána včasným prvním zásahem. v lokalitách s negativní vláhovou bilancí (okrsky A2, B2) se bude vyskytovat vyšší počet suchých let, což z dlouhodobého pohledu omezí plíseň bramborovou, ale může ohrozit i efektivitu samotného pěstování brambor.



Obr. 2A7 Zkrácení doby mezi vzcházením brambor a prvním výskytem infekce pro stanici Horažďovice pro použité scénáře změny klimatu. Délka pruhu určuje počet dní mezi vzcházením a prvním výskytem infekce, počátek pruhu je den vzcházení porostu, konec pruhu den objevení se první infekce. Vlevo – velmi rané odrůdy, Vpravo - polopozdní odrůdy. Poznámka: Hi – odpovídá použitá A2 SRES scénáře a vysoké citlivosti klimatického systému a Lo – odpovídá B1 SRES emisnímu scénáři a nízké citlivosti klimatického systému.

Seznam použité literatury pro zpracování kapitoly 2.4 a je obsažen v PŘÍLOZE 2C.

B) Možné dopady změny klimatu na škodlivost a změny ve výskytu škůdců a chorob rostlin v ČR [7]

Dokládají-li různé studie, že v posledním období dochází celosvětově k změnám klimatu, které jsou zjednodušeně charakterizovány jako globální oteplování, naskytá se otázka, jak dalece se tyto změny mohou týkat zemědělství v České republice.

V oblasti rostlinné produkce mohou tyto změny přinést např. i změny spektra škodlivých organismů. V dlouhodobém pohledu lze uvažovat i o změnách ve struktuře pěstovaných plodin. Přímé důsledky vlivu vyšších teplot na rozmnožování, vývoj a přezimování škodlivých organismů mohou být následující:

- urychlení vývoje v důsledku rychlejšího dosažení sumy efektivních teplot,
- zvýšení počtu generací a rychlejší nárůst početnosti (populační hustoty) v důsledku prodloužení období pro rozmnožování (vliv teploty, avšak možný negativní vliv fotoperiodismu) a prodloužení vegetačního období (vliv potravní nabídky, avšak možný vliv inkoincidence),
- roční nebo i dlouhodobější změny v populační dynamice nebo vývojových cyklech hub v důsledku snazšího přezimování, u hub a popř. i hmyzu možné rozmnožování a vývoj během teplejších zim; změna vlhkostních poměrů během bezmrazových zim – pozitivní pro houby, negativní pro některý hmyz (mortalita vlivem entomopatogenních hub).

Spektrum a rozšíření škodlivých organismů se mohou měnit v důsledku:

- šíření škodlivých organismů do vyšších poloh (dosažení sumy efektivních teplot), zejména s rozšířením hostitelských rostlin – běžné a široce rozšířené druhy / teplomilné druhy lokálně nebo občas se vyskytující,
- usídlení a šíření nepůvodních druhů na naše území zavlečených,
- aktivního přirozeného šíření nepůvodních druhů z teplejších oblastí,
- zvýšení počtu generací některých druhů živočišných škůdců,
- přechodu škodlivých organismů omezených na chráněné prostory do venkovního prostředí,
- budou přibývat nové druhy pro jednotlivé oblasti ČR nebo druhy nové pro území ČR, některé původní škodlivé organismy mohou být potlačovány v důsledku konkurence nových druhů.

Možné nepřímé vlivy ovlivňující škodlivost či hospodářskou významnost škodlivých organismů:

- nižší odolnost rostlin stresovaných suchem a vysokými teplotami ve vegetačním období,
- vyšší / nižší škodlivost v důsledku změn ve fenologii – koincidence / inkoincidence,
- změny ve struktuře pěstovaných plodin, v delší perspektivě nové druhy pěstovaných plodin.

Možné důsledky změny klimatu na ostatní sféry:

- vyšší náklady na ochranná opatření v důsledku zvýšení škod,
- poškozování životního prostředí v důsledku ochranných opatření,
- negativní dopady na export,
- negativní sociální dopady,
- změny biodiverzity.

Je pravděpodobné, že ekonomické dopady změn ve výskytu a škodlivosti jednotlivých druhů škodlivých organismů budou výrazně menší, než dopady faktorů abiotických (změny teplot a oslunění porostů, výše a rozložení srážek v průběhu vegetační doby aj.).

2.4.4 Škůdci a choroby hlavních zemědělských plodin pěstovaných v ČR

Za hlavní a modelové plodiny jsou v této studii považovány z polních plodin:

- obiloviny – pšenice, ječmen, oves, triticales,
- kukuřice,
- olejniny - řepka, slunečnice, mák,
- cukrovka,
- brambory,
- pícniny – jetel, vojtěška,
- dále
- jabloň,
- slivoně (*Prunus* spp. v širším smyslu – broskvoň, meruňka, meruňka, nektarinka, třešeň, višně, slivoň a švestka),
- chmel,
- réva vinná.

Kritériem pro výběr hlavních plodin je u polních plodin výměra nad 30.000 ha (výměry podle statistických údajů z roku 2006), u intenzivních kultur výměra nad 5 000 ha.

Obiloviny

V letech 2001 – 2006 byly zaznamenány vysoká a s výkyvy rostoucí spotřeba účinných látek a rostoucí náklady na ošetřování proti braničnatkám a původci hnědé skvrnitosti ječmene. Vývoj a škodlivost těchto chorob ovlivňuje spolu s průběhem teplot především srážková činnost (četnost srážek, srážky v určitých citlivých vegetačních fázích rostlin, vyšší relativní vlhkost vzduchu). Vyšší teploty spojené se suchem naopak výskyt těchto chorob potlačují.

Vysoké náklady, v jednotlivých letech kolísající, byly vynaloženy také na ošetřování proti padlí travnímu. K silnému napadení padlím travním dochází při teplém a relativně suchém jarním počasí. Napadení podporuje vysoká vzdušná vlhkost, teploty mezi 18 -22° C a střídání teplých a vlhkých dnů.

Ve sledovaných letech došlo k postupnému zvyšování spotřeby insekticidů použitých k ošetřování proti mšicím. Obilní mšice se přemnožují za teplého a suchého počasí. U mšic může mít nárůst teplot přímou souvislost se zvýšením počtu generací a škodlivosti.

Kukuřice

BÁZLIVEC KUKUŘIČNÝ (*DIABROTICA VIRGIFERA VIRGIFERA*)

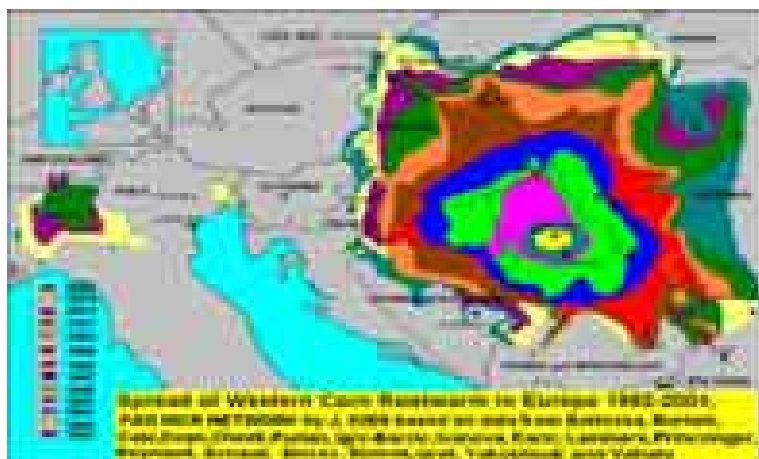
Taxonomické zařazení: Třída: Insecta (hmyz); řád: Coleoptera (brouci); čeleď: Chrysomelidae (mandelinkovití)

Hostitelské (živné) rostliny: pro larvy kukuřice a další trávy, pro dospělce kukuřice a další rostliny

Dosavadní rozšíření: Mandelinka *Diabrotica virgifera* LeConte vytváří v oblasti svého původu dva poddruhy. Zatímco *Diabrotica virgifera zea* se vyskytuje hlavně v Mexiku a střední Americe, poddruh *Diabrotica virgifera virgifera* je v současné době rozšířen prakticky ve všech významných produkčních oblastech kukuřice v USA. Posledně jmenovaný poddruh, pravděpodobně jeho chicagská populace, byl také zavlečen do Evropy, při vytvoření leteckého mostu humanitární pomoci do Bělehradu. První výskyt v Evropě byl zjištěn v roce 1992. Z oblasti prvního zjištění v Evropě se bázlivec začal rychle šířit (viz mapy č. 1 a 2).

Není jasné, co bylo prvotním popudem k expanzi této mandelinky do nových oblastí, která započala okolo r. 1955 z poměrně uzavřeného areálu na západě USA. Šíření škůdce však jistě podpořil rozsah pěstování kukuřice (v kukuřičné oblasti USA se pěstuje kukuřice zhruba na 29 mil. ha) a pro mandelinku vhodný sled plodin, především pěstování kukuřice po kukuřici. Využívaným osevním postupem v kukuřičné oblasti USA je rovněž střídání kukuřice a sóji (sója se pěstuje zhruba na 25 mil. ha). Samice některých populací se přizpůsobily tomuto osevnímu postupu a kladou vajíčka, která jsou přezimujícím stadiem, na sójová pole, tedy do předplodiny kukuřice.

Monitoring šíření *Diabrotica virgifera virgifera* v České republice byl zahájen v roce 1999. Podnětem pro zahájení monitoringu Státní rostlinolékařskou správou byly údaje o šíření tohoto škůdce v Maďarsku a výzva ze strany IWGO (International Working Group of Ostrinia nad other Maize Pests), aby se také Česká republika jako bezprostředně ohrožený stát zapojila do mezinárodního programu sledování tohoto škůdce.



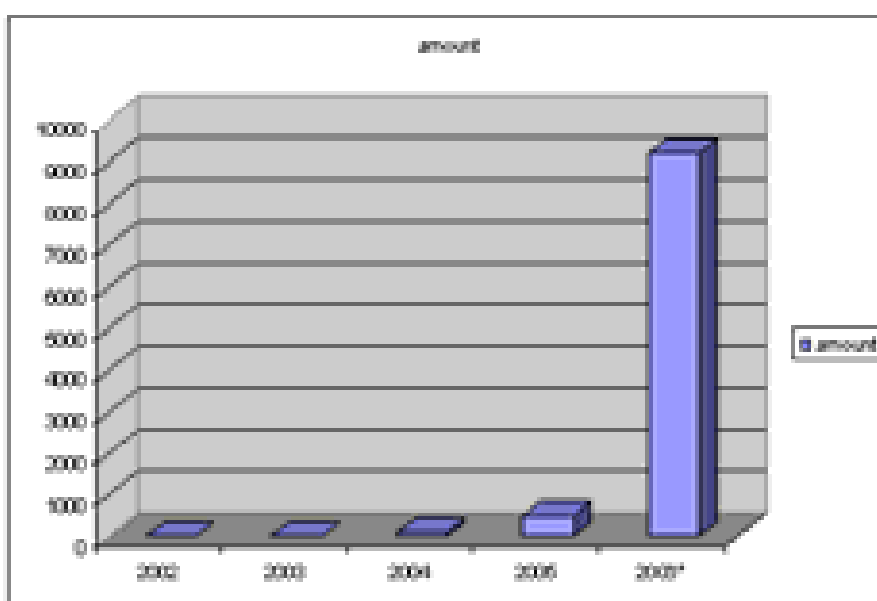
Mapa 2B1: Postup šíření *Diabrotica virgifera virgifera* v Evropě v letech 1992 - 2004



Mapa 2B2: Rozšíření *Diabrotica virgifera virgifera* v Evropě v letech 1992 - 2004

V letech 1999 až 2002 bylo pozorování prováděno na třiceti pozorovacích bodech, umístěných zejména v oblasti jižní Moravy, v blízkosti hranic se Slovenskem a dále ve vnitrozemí v blízkosti mezinárodních letišť a hlavních dopravních tepen. V prvních letech sledování byly k odchytu brouků využívány feromonové lapače a žluté lepové desky, v dalších letech se používaly výhradně maďarské feromonové lapače typu Csalomon® PAL. Po odchytu prvních brouků v roce 2002 byl počet pozorovacích bodů postupně zvyšován na 81 v roce 2003, 104 v roce 2004, 204 v roce 2005. V roce 2006 bylo sledování provedeno na 201 pozorovacích bodech.

V roce 2006 byl zaznamenán prudký nárůst počtu odchycených brouků v lapačích a došlo k proniknutí škůdce do okresů bezprostředně sousedících z Polskem, a to nejen na severní Moravě, ale i v severovýchodních Čechách. První záchyty dospělců do feromonových lapačů v jednotlivých letech jsou závislé na průběhu počasí a pohybují se v rozmezí od 10. do 21. července.



Graf 2B1: Počty odchycených jedinců bázlivce kukuřičného do feromonových lapačů v letech 2002 – 2006



Mapa 2B3: Šíření bázlivce kukuřičného v České republice

Škodlivost: Larvy se zpočátku živí jemnými kořínky, později napadají jádro kořenového systému. Žír larev působí deformace rostlin, jejich vyvracení a poléhání. Vylíhlí brouci se živí pyllem, květy, ale i vyvíjejícími se palicemi a listy kukuřice. Škody způsobené na sklizni mandelinkou mohou dosahovat 15-30%, někdy až 50%. K větším

škodám dochází na vlhkých (např. zavlažovaných) pozemcích a v polehlých porostech. Náklady na ošetřování půdními granulovanými insekticidy proti larvám a na postřiky proti broukům dosahují v Severní Americe ročně zhruba jedné miliardy dolarů.

Tolerantnější k poškození jsou obecně ty odrůdy, které mají velký nebo dobře regenerující kořenový systém. Nejlevnějšími a nejúčinnějšími ochrannými opatřeními proti bázlivci kukuřičnému jsou opatření agrotechnická, spočívající především ve vhodném osevním postupu, v němž jsou střídány různé plodiny a zásadně se nepěstuje kukuřice po kukuřici.

Základním způsobem ochrany v USA je pásová aplikace granulovaných insekticidů. Od roku 1996 bylo v USA přikročeno k preventivní metodě ochrany, spočívající v používání transgenní kukuřice s genem působícím produkci toxinu *Bacillus thuringiensis*. Zvláštním způsobem ošetření používaným proti dospělcům je postřik směsí insekticidu s potravním atraktantem (kukurbitacin). Mandelinka žere v zaschlých mikrokapkách postřiku, které obsahují potravní atraktant a současně i insekticid. Nejvhodnější termín k ošetření je v době, kdy 10 % samic začíná klást. Experimentálně se ověřuje možnost kombinace insekticidů a parazitických hlístic a možnost dezorientace dospělců pomocí kairomonu.

V ČR dosud nebyly zaznamenány škodlivé výskyty. Protože je ale bázlivec kukuřičný v EU regulovaným škodlivým organismem, při jehož výskytu se nařizují mimořádná rostlinolékařská opatření, a ČR je v současné době zemí, kterou probíhá hranice šíření bázlivce kukuřičného, vznikají náklady spojené především s nařizování povinného ošetřování v místech nových nálezů škůdce.

Tabulka 2B1: Náhrada majetkové újmy vzniklé nařízením mimořádných rostlinolékařských proti šíření bázlivce kukuřičného v ČR v letech 2003 - 2006

NMÚ DVV	rok	Počet případů	NMÚ v tis. Kč,-
	2003	1	38
	2004	2	62
	2005	0	0
	2006	10	364
Celkem		13	464

K nákladům spojeným s šířením bázlivce kukuřičného je nutné připočíst náklady SRS spojené s povinným monitoringem tohoto škůdce (feromonové lapače, pozorování). Tyto náklady činily v roce 2004 cca 115 tis. Kč, v roce 2005 195 tis. Kč, v roce 2006 210 tis. Kč. V roce 2007 činily jen náklady na nákup lapačů 250 tis. Kč. Náklady na ošetřování v roce 2006 přesáhly 600 tisíc Kč.

V Evropě jsou přímé škody způsobené bázlivcem kukuřičným hlášeny z jihovýchodní Evropy (Srbsko, Chorvatsko) ze střední Evropy z Maďarska a ze Slovenska. Nepřímé škody (náklady na monitoring a eradikační opatření) jsou v Nizozemí vyčísleny na 509 tis. EUR ročně (Muška, 2007).

Odhad budoucího rozšíření a významu na území České republiky

Zhodnocení rizika a možné výše škod v důsledku šíření bázlivce kukuřičného pro území České republiky je poměrně obtížné. Ve prospěch úvah o menší míře nebezpečí hovoří to, že *D. virgifera virgifera* v Evropě v oblastech nového rozšíření dosud nepůsobí závažné škody, s výjimkou oblasti prvotního rozšíření, a to, že intenzita pěstování kukuřice v České republice není tak vysoká, aby podporovala možnost přemnožení mandelinky. Kukuřice na zrno je pěstována jen na 1,5 % orné půdy, celkový součet ploch kukuřice včetně kukuřice sklizené na zeleno tvoří okolo 10 % výměry orné půdy. Zavedené osevní

postupy neuvžívají pěstování kukuřice po kukuřici, kukuřice je obvykle zařazována do osevního postupu v delším časovém sledu, což je považováno za jedno z hlavních ochranných opatření. V kukuřičné oblasti leží jen asi 7% z celkové výměry orné půdy v ČR a v celé ČR je pod závlahou jen asi 150 tis. ha, tato kapacita je však v posledních letech fakticky využívána jen asi z 1/3 - 1/4, přičemž podíl zavlažované kukuřice je minimální.

Pro větší míru ostražitosti naopak hovoří výše škod v USA, značná přizpůsobivost *D. virgifera* nepříznivým podmínkám, projevující se vytvářením rezistentních populací vůči používaným insekticidům, nárůst populační hustoty škůdce v zamořených oblastech Evropy i příklad mandelinky bramborové. I když je v ČR dosud osevní postup, v němž je pěstována kukuřice po kukuřici, používán jen výjimečně, situace se v brzké budoucnosti může změnit, neboť v současnosti dochází ke změnám ve struktuře zemědělských plodin a kukuřice je vhodnou plodinou pro výrobu bioplynu a biolihu.

Tabulka 2B2: rozsah pěstování kukuřice v ČR v roce 2005

výměra/ ha	na zrno	na siláž a na zeleno	celkem
kukuřice	79 981	210 564	290 545
orná půda	x	x	3 054 655
% kukuřice/ orná půda	2,6	6,9	9,5

Lze předpokládat, že bázlivec kukuřičný se v průběhu několika následujících let rozšíří v České republice do všech oblastí, v nichž se pěstuje kukuřice. V oblastech s vyšší výměrou kukuřice se stane škůdcem, proti němuž bude nutné provádět vhodná ochranná opatření. Škodlivost může v jednotlivých letech vzrůstat, za vhodných meteorologických podmínek, při nedodržování vhodných osevních postupů apod.

Perspektivní v boji proti tomuto škůdci, stejně jako proti zavíječi kukuřičnému, se jeví zavádění geneticky modifikovaných odrůd kukuřice s geny rezistence proti těmto škůdcům. Poté, co se bázlivec kukuřičný rozšíří na celé území ČR, nebudou dále nařizována mimořádná rostlinolékařská opatření, nebudou tedy vznikat náklady na preventivní ošetřování v rámci těchto opatření (zde vyčíslené pomocí nákladů na náhradu majetkové újmy).

ZAVÍJEČ KUKUŘIČNÝ (*OSTRINIA NUBILALIS*)

Taxonomické zařazení: Třída: Insecta (hmyz); řád: Lepidoptera (motýli); čeleď: Pyralidae (zavíječovití)

Hostitelské (živné) rostliny: Polyfágní druh, ze zemědělských plodin patří k hostitelům zejména kukuřice, chmel, paprika, brambory, konopí aj.

Dosavadní rozšíření: Původní oblast výskytu je v Evropě a Asii, byl zavlečen do řady dalších oblastí, zejména USA. Mimořádně přizpůsobivý druh s jednou a více generacemi v závislosti na podmínkách prostředí.

Rozšíření a škodlivost na území ČR: Zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*) je nejvýznamnější škůdce zrnové kukuřice v České republice. V podmínkách ČR má převážně jednu generaci v roce, v nejteplejších oblastech dvě generace. Přezimují housenky ve zbytcích kukuřičných stébel. V květnu se kuklí, dospělci se líhnou od poloviny června do konce srpna. Dospělé housenky zpravidla (v případě jedné generace v roce) prodělávají diapauzu do příštího května.

Po téměř čtyřicetiletém období (1961 – 1989) přítomnosti zavíječe kukuřičného v oblasti jižní Moravy byla nejvýraznější změna zaznamenána v období 1990 – 2000, kdy se škůdce rozšířil z původních nejvýše 10 okresů v regionu jižní a střední Moravy do cca 30 okresů ve všech produkčních oblastech Moravy a Čech).

Bylo prokázáno, že rozšíření zavíječe v období 1990 – 2000 pozitivně ovlivnily nadprůměrné teplotní podmínky této dekády. V uvedeném období se také rozšiřovaly pěstební plochy zrnové kukuřice do vyšších poloh (především díky používání hybridů s kratší vegetační dobou), což bylo sice předpokladem rozšíření škodlivého výskytu zavíječe, avšak nikoliv přímo určujícím faktorem.

Výskyty na území České republiky (Československa) do roku 1960

Ve starší literatuře nejsou uváděny na území České republiky škodlivé výskyty zavíječe kukuřičného na kukuřici. Zavíječ kukuřičný byl znám jako škůdce více zemědělských plodin, především chmele. Byl vážným škůdcem chmele v období 1879 – 1890, kdy se chmel pěstoval na dřevěných tyčovkách. Na území bývalého Československa jsou v letech 1921 – 1938 uváděny škodlivé výskyty na kukuřici na východním Slovensku a Podkarpatské Rusi. Příznaky poškození chmelu byly opět pozorovány v roce 2006.

V padesátých letech se uváděly škody na kukuřici a to především v oblastech jižní Moravy a jižního Slovenska. V uvedeném období se ovšem dosud neprojevil v kalamitním množství. Rozšíření zavíječe kukuřičného se uvádělo pouze po oblast pěstování zrnové kukuřice. Škůdce se nachází i v severních oblastech nevhodných pro pěstování kukuřice na zrno. V Čechách uvádí pouze výskyt na zanedbaných chmelnicích. Jediný potvrzený výskyt na kukuřici v padesátých letech v Čechách je z okolí Roudnice nad Labem a Žatce v roce 1955.

Výskyty na území České republiky v letech 1961 – 2006

Pro období 1961 – 2006 je k dispozici souhrnný přehled škod způsobených zavíječem kukuřičným v zemědělských plodinách na území České republiky. Tyto informace byly získány z Přehledů výskytu některých škodlivých organismů a poruch rostlin na území Československa (České republiky) za uvedené období. Tyto přehledy byly vydávány do roku 1989 ÚKZÚZ Brno a ÚKSÚP pro celé území bývalého Československa. Od roku 1990 jsou vydávány SRS Praha (dříve ÚKZÚZ Brno) pouze pro území České republiky. Tyto přehledy mají samozřejmě informativní charakter a nemohou pokrýt všechny výskyty v uvedených letech.

Začátkem 60tých let 20. století dochází k postupnému rozšiřování pěstování kukuřice (zpočátku silážní, později i kukuřice na zrno) do vyšších oblastí (okresy Benešov, Příbram a Českomoravské vrchoviny). Tím se postupně vytváří podmínky pro rozšíření plochy kukuřice se škodlivým výskytem zavíječe kukuřičného.

V následujících mapách jsou uvedeny škodlivé výskyty zavíječe kukuřičného v České republice v letech 1961 – 2006.



Mapa 2B4: Škodlivý výskyt zavíječe kukuřičného v ČR v letech 1961 – 1970. V uvedeném období byl sledován škodlivý výskyt pouze v tradičních oblastech pěstování kukuřice na zrno v okresech Břeclav, Hodonín a Uherské Hradiště. Jsou uváděny ojedinělé výskyty (ne škody) z vyšších poloh (Dačice a Jeseník).



Mapa 2B5: Škodlivý výskyt zavíječe kukuřičného v ČR v letech 1971 –1980. Dochází k rozšíření zavíječe kukuřičného do dalších okresů. Např. v roce 1975 napadení kukuřice v okrese Vyškov dosáhlo rozmezí 28–68 %. Za uvedené období se zdvojnásobil počet okresů se škodlivým výskytem zavíječe kukuřičného (na 6).



Mapa 2B6: Škodlivý výskyt zavíječe kukuřičného v ČR v letech 1981 –1990. Rozšiřování zavíječe kukuřičného nadále pokračovalo. Škodlivé výskyty byly hlášeny z deseti okresů. Výrazněji se projevil nejen v nížinách (okresy Břeclav, Hodonín), ale také ve vyšších polohách (okresy Třebíč, Zlín). Velmi silné napadení bylo v roce 1982, kdy rozsah napadení byl rozmezí 40 – 100 %.



Mapa 2B7: Škodlivý výskyt zavíječe kukuřičného v ČR v letech 1991 – 2000. V roce 1990 se jižní Morava uváděla jako hlavní oblast, kde zavíječ kukuřičný způsobuje škody. V následujícím období ovšem došlo k výraznému rozšíření areálu škodlivosti tohoto škůdce, kdy poškození kukuřice bylo hlášeno z 30 okresů (předěšlé období 10). V roce 1991 byl koncem července hlášen silný výskyt z okresu Liberec (horská oblast).



Mapa 2B8: Škodlivý výskyt zavíječe kukuřičného v ČR v letech 2001 – 2005. V roce 2001 byl poprvé hlášen škodlivý výskyt z okresu Plzeň – sever (západní Čechy), v roce 2002 z okresu Domažlice (západní Čechy) a Louny (severní Čechy), v roce 2003 z okresu Rakovník (střední Čechy), Strakonice (jižní Čechy) a Ústí nad Orlicí (východní Čechy).

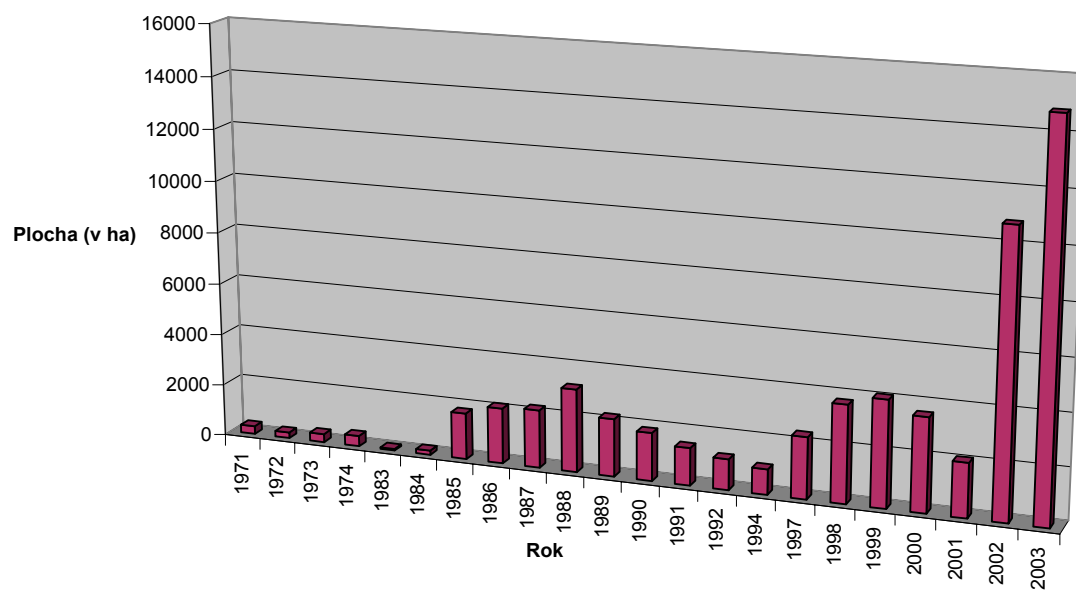


Mapa 2B9: Škodlivý výskyt zavíječe kukuřičného v ČR v roce 2006

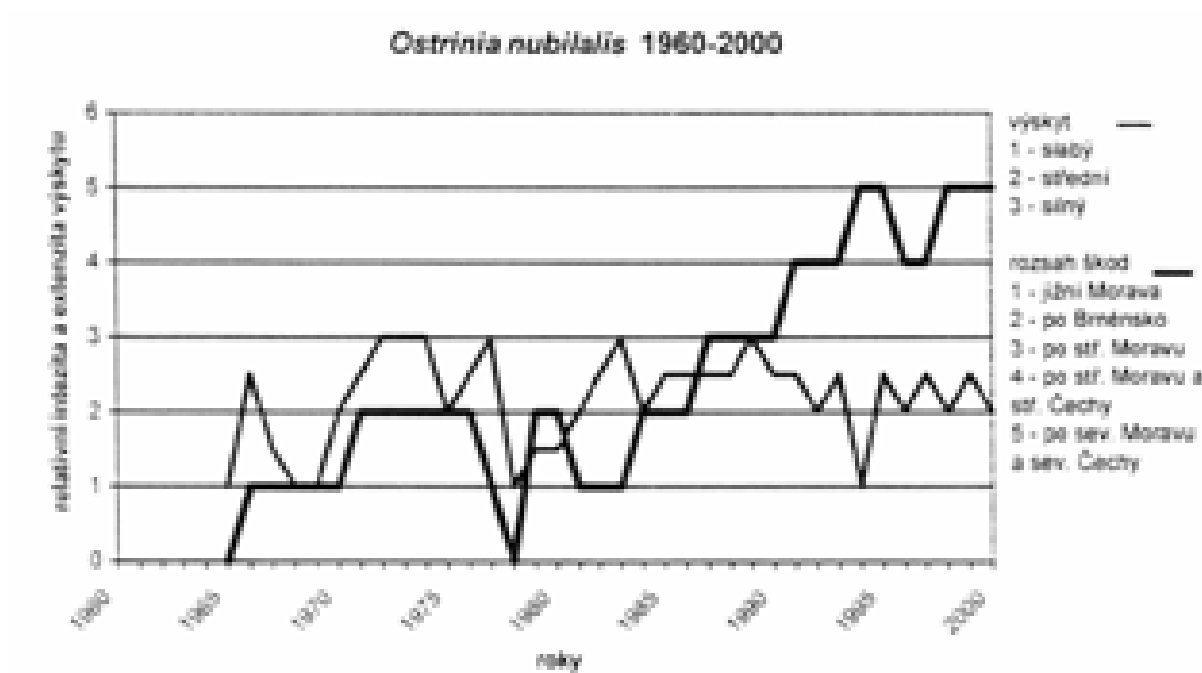
O zvyšujícím se významu zavíječe kukuřičného svědčí také graf s plochami ošetřené kukuřice proti zavíječi kukuřičnému v ČR v letech 1971 – 2003. V letech 1971 – 1984 byl rozsah ošetření za jeden rok v rozmezí 61 – 410 ha kukuřice. Zlomovým rokem je rok 1985, kdy bylo ošetřeno 1 788 ha. Od tohoto roku dochází k postupnému zvyšování této plochy až rekordnímu roku 2003 a to 14 814 ha.

O rostoucím rozsahu škod způsobených zavíječem kukuřičným na kukuřici v období 1960 – 2000 se zmiňuje také Šefrová (2003); z následujících grafů je dobře patrný nárůst rozsahu škod v poslední dekádě 20. století, což se shoduje s výše uvedeným trendem ve vývoji škod tohoto škůdce.

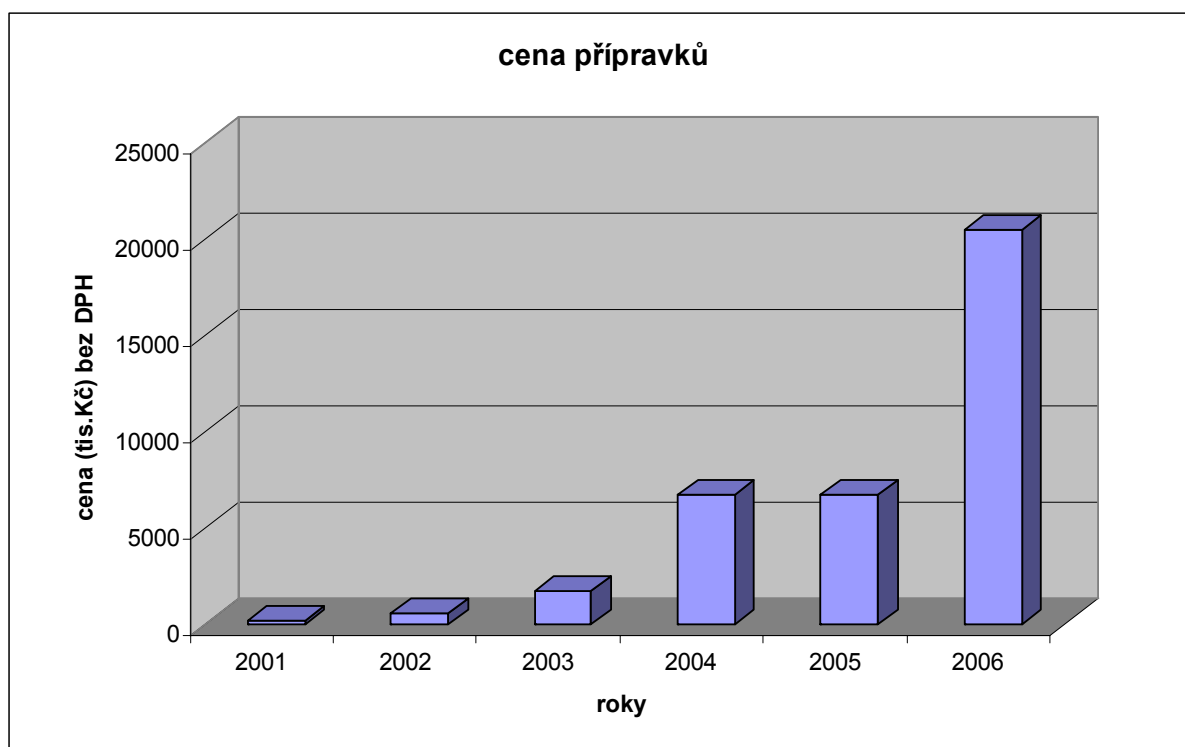
Plocha kukuřice ošetřená proti zavijечи kukuřičnému v ČR v letech 1971 - 2003



Graf 2B2



Graf 2B3



Graf 2B4: Náklady na ošetřování proti zavíječi kukuřičnému v letech 2001 – 2006.

Zdroj: Kolísání početnosti zavíječe kukuřičného a extenzita působených škod v ČR v letech 1960 – 2000 (Šefrová, 2003)

Odhad budoucího rozšíření a významu na území České republiky

V rámci výzkumných projektů, které se zabývají dopady měnících se klimatických podmínek na zemědělské škůdce v podmínkách ČR, byl zavíječ kukuřičný vybrán jako modelový organismus, u kterého je hodnocena závislosti vývoje a populační dynamiky na meteorologických charakteristikách včetně prognózování tohoto vývoje (projekt Interní grantové agentury MZLU v Brně č. 16/2006 „Vymezení agroklimatologické niky zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*)“, projekt Grantové agentury ČR č. 522/05/0125 „Dopady změny klimatu na potenciální výskyt vybraných patogenů a škůdců“; MZLU v Brně – E. Kocmánková, Z. Žalud, M. Trnka ad., SRS Brno – F. Muška a další pracoviště). Práce publikované v rámci řešení projektu jsou založeny mimo jiné na dlouholeté řadě dat o výskytu zavíječe kukuřičného na našem území sledovaného ÚKZÚZ a v pozdějším období Státní rostlinolékařskou správou. Na základě dosavadních výsledků studií jmenovaných autorů lze shrnout následující.

Podle scénářových předpokladů lze první znatelné změny nástupů vývojových fází a dynamiky populace očekávat mezi léty 2015-2025. Dojde k výraznému nárůstu plochy ohrožené zavíječem z 18% (1961-1990) na 35-100% území v roce 2050. Kromě šíření škůdce do vyšších nadmořských výšek se očekává nárůst počtu jeho generací během roku a tedy i zvýšení škodlivosti. Mezi léty 2020-2050 (v závislosti na scénáři) budou hlavní produkční oblasti minimálně v nejteplejších částech republiky (zejména jižní Morava) ve většině sezón ohrožovány výskytem kompletní druhé generace. (Limitujícím faktorem určujícím výskyt druhé generace je fotoperiodismus, vyvolávající u housenek nástup diapauzy.) Spolu s vhodnějšími klimatickými podmínkami pro vývoj škůdce se bude pravděpodobně rozšiřovat i oblast vhodná pro pěstování kukuřice na zrno jako nejatraktivnější hostitelské rostliny, což představuje další možnost pro zvětšení ekologické niky zavíječe kukuřičného.

Velmi perspektivní je z hlediska možné ochrany proti zavíječi kukuřičnému zavádění geneticky modifikovaných odrůd kukuřice s geny rezistence proti tomuto škůdci. Využívání těchto GM odrůd může pro řadu dalších let zajistit málo nákladnou a spolehlivou ochranu. V roce 2007 byly hybridy GM kukuřice pěstovány na území ČR na ploše více než 5 000 ha.

Řepka, mák

Výskyt a škodlivost blýskáčka řepkového jsou v posledních letech ustálené. Teplý průběh jara, jako v roce 2007, může uspišit vývoj řepky, což vede ke snížení škodlivosti blýskáčka. Náklady na ošetřování proti krytonosci řepkovému a čtyřzubému v letech 2001 – 2006 mírně vzrostly.

Růst teplot může mít v dalších letech vliv na vzrůst škodlivosti mšice makové u máku i jiných plodin.

Brambor

U nákladů na ošetřování proti plísní bramboru nedošlo v letech 2001 – 2006 k významným výkyvům. Epidemickému šíření této choroby lze úspěšně bránit správným systémem fungicidních ošetření. Škodlivost v jednotlivých letech závisí na meteorologických podmínkách daného roku. V případě klimatických změn, projevujících se mírnými zimami, které umožní přezimování nesklizených hlíz bramboru, bude, stejně jako u některých dalších patogenů bramboru, vzrůstat význam plevelných brambor, vzrostlých na loňských brambořištích, jako primárních zdrojů infekce.

MANDELINKA BRAMBOROVÁ (*LEPTINOTARSA DECEMLINEATA*)

Taxonomické zařazení: Třída: Insecta (hmyz); řád: Coleoptera (brouci); čeleď: Chrysomelidae (mandelinkovití)

Hostitelské (živné) rostliny: Vedle bramboru (*Solanum tuberosum*) napadá i ostatní lilkovité rostliny (Solanaceae), jako např. lilek – baklažán, rajčata apod.

Dosavadní rozšíření: Mandelinka bramborová pochází ze Severní Ameriky a v současné době je již rozšířena prakticky ve všech světadílech. Do Evropy byla zavlečena koncem 19. století. U nás se masově začala šířit až po roce 1950 (po druhé světové válce).

Rozšíření a škodlivost na území ČR: Mandelinka bramborová patří k nejdůležitějším hmyzím škůdcům bramboru ve světě i u nás. Nebezpečnost tohoto škůdce souvisí s velmi vysokou plodností samiček, s rychlým vývojem pokolení a s velikou žravostí brouků i larev. Dojde-li k holožírům, stěhují se mladí brouci na sousední bramborové pole. Brouci vydrží dlouho bez potravy a jsou velmi přizpůsobiví různým povětrnostním podmínkám. Brouci mandelinky dobře létají a větrem mohou být zaneseni na kilometrové vzdálenosti, což podporuje rozšiřování tohoto škodlivého organismu.

Výskyt a počet generací je závislý na vnějších podmínkách vývoje, které jsou kromě dostatku potravy dány především meteorologickými podmínkami.

Na území České republiky má mandelinka bramborová většinou 1–2 generace ročně. V letech s teplým vegetačním obdobím se rozšiřuje výskyt dvougenerační populace do vyšších nadmořských výšek. Nejvíce u nás škodí v teplých oblastech, a to především na jižní a jihovýchodní Moravě a v polabské oblasti, kde může vzhledem k příznivým klimatickým podmínkám vytvořit dvě generace.

Vysoké teploty v červnu a začátkem července podporují zvýšené kladení vajíček. Embryonální vývoj je značně závislý na teplotě okolního vzduchu a z části i na vlhkosti. Spodní hranice vývoje je 12–13 °C, horní mez vývoje je kolem 38–40 °C. Nejrychleji a s nejmenšími ztrátami proběhne vývoj za vysoké vlhkosti a za teploty kolem 25 °C.

Úspěšné přezimování brouků nejvíce záleží na průběhu zimy a na dostatku potravy v závěru vegetace. Čím proměnlivější je zimní počasí a čím méně je v závěru vegetace potravy, tím více bývá redukován stav přezimujících brouků a tím následné generace.

Obecně platí, že suché a velmi teplé roky vytvářejí vhodné podmínky pro silný výskyt. V suchých letech bývají napadány především rané odrůdy. Naopak v letech chladnějších mohou právě tyto odrůdy napadení uniknout.

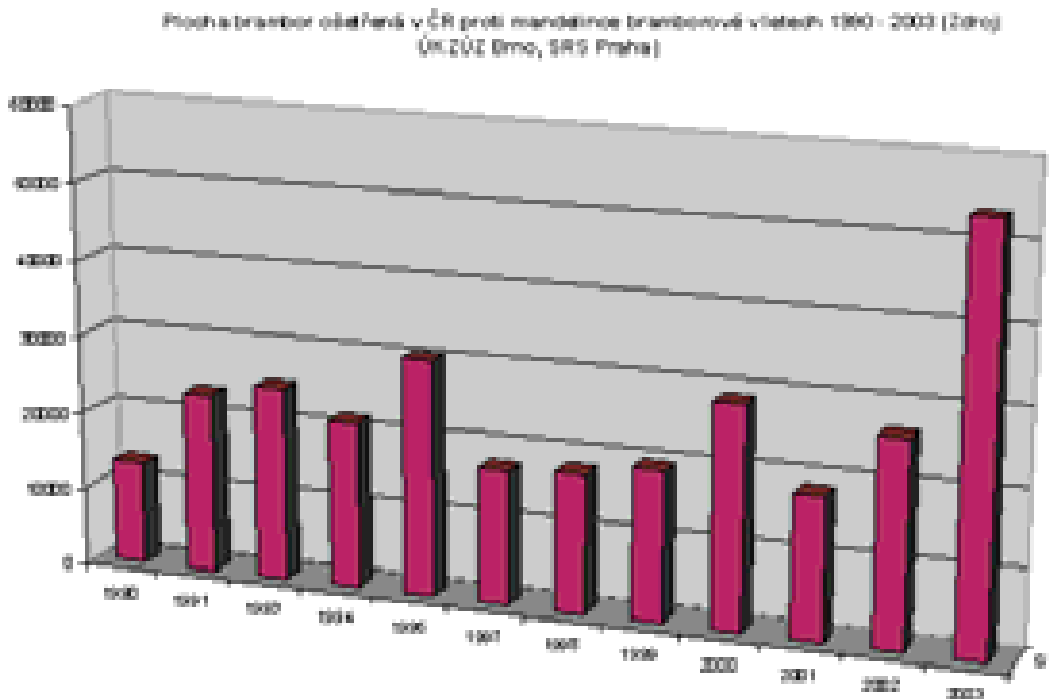


Mapa 2B10: Rozšíření mandelinky bramborové ve světě; zdroj: <http://cs.wikipedia.org>

- původní areál mandelinky bramborové
- současné rozšíření mandelinky bramborové
- původní areál bramboru

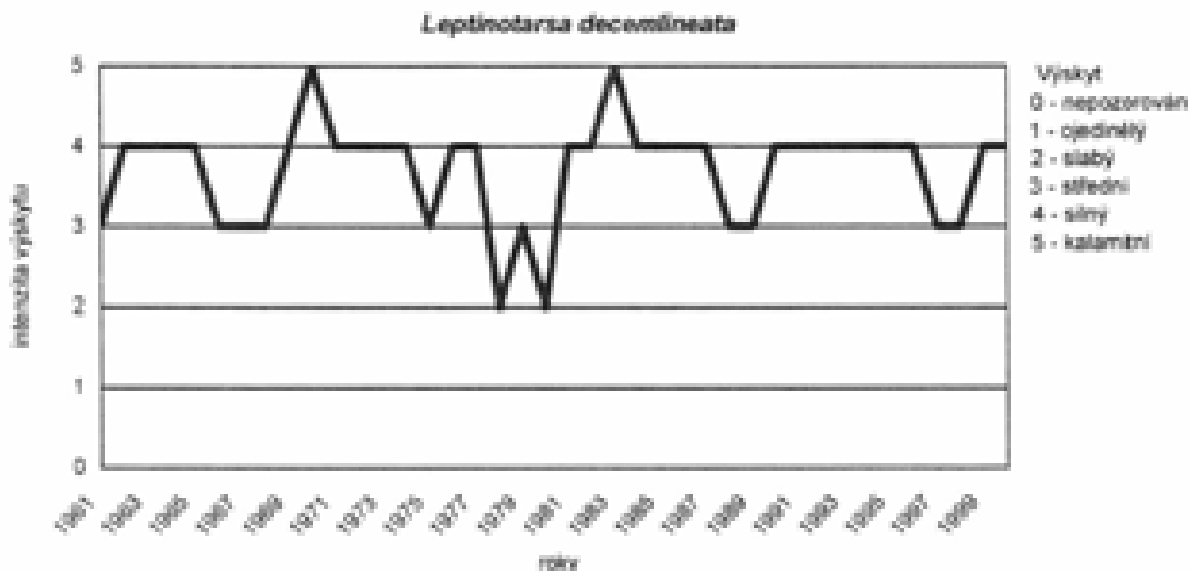


Mapa 2B11: Škodlivé výskyty mandelinky bramborové na bramboru v ČR v letech 1990 – 2005



Graf 2B5

Šefrová (2004) hodnotí mandelinku bramborovou na základě jejího výskytu v letech 1961 – 2000 jako druh, který se více či méně trvale udržuje na vysoké početnosti. Z grafu 2B6 je patrné kolísání intenzity výskytu v uvedeném období, avšak tento průběh nelze srovnávat s ostatními uvedenými údaji vzhledem k odlišným parametrům hodnocení i k částečně odlišnému hodnocenému období.



Graf 2B6; Zdroj: Kolísání početnosti mandelinky bramborové v ČR v letech 1960 – 2000 (Šefrová, 2004)

Odhad budoucího rozšíření a významu na území České republiky: Podobně jako u zavíječe kukuřičného bylo i u mandelinky bramborové pomocí modelů zjištěno rozšiřování potenciální niky do vyšších nadmořských výšek v souvislosti s oteplováním klimatu. Výsledky výzkumu rovněž naznačují nárůst počtu generací mandelinky, resp. rozšiřování dvougenerační populace směrem do vyšších poloh. Z toho vyplývá, že při naplnění scénářů změny klimatu do roku 2050 lze postupně očekávat nárůst škodlivosti (intenzity napadení) mandelinky na bramboru a také na ostatních hostitelských rostlinách.

Řepa cukrovka

Skvrničnatka řepná škodí především při teplém a na srážky bohatém počasí. K epidemii dochází, když po období letních veder přijdou delší deště. Ve sledovaném období nebyl zaznamenán trend nárůstu škodlivosti této choroby.

Pícniny

Hraboš polní škodí kromě pícnin v řadě dalších plodin. Jeho škodlivost kolísá v nepravidelných intervalech (většinou tři a více let), v souvislosti s gradacemi a poklesy jeho populací. Vývoj populací hraboše je ovlivněn řadou faktorů jak vnějších (teplota, srážky, početnost predátorů, dostupnost potravy, nemoci), tak i vnitřních faktorů uvnitř populací (věková skladba, příbuznost, změny v chování, vzájemná agresivita aj.). Posuzovat vliv jediného faktoru v tomto komplexu by proto mohlo vést k jeho nadhodnocení.

Ovocné dřeviny

U strupovitosti jabloně nedošlo v letech 2001 – 2006 k výrazným výkyvům nákladů na ošetřování. V letech 2005 – 2006 vzrostl rozsah ošetřování proti obaleči jablečnému. Škodlivost tohoto škůdce může být ovlivněna vyššími teplotami, škůdce může vytvářet dvě generace i ve vyšších nadmořských výškách. Nově využívané metody ochrany v systémech integrované produkce, které se v současnosti zavádějí (metoda matení samců pomocí feromonových odparníků), mohou zapříčinit vyšší škodlivost nalákanými dalšími obdobně škodícími teplomilnými druhy obalečů (*Grapholita janthinana*, *G. lobarzewski*). S rostoucími teplotami může vzrůstat i význam dalších škodlivých druhů motýlů, zejména obalečů. V letech 2005 – 2006 byl zaznamenán nárůst ošetřování proti houbám rodu *Monilinia*. Příznaky jednotlivých druhů tohoto rodu jsou zaměnitelné a odlišení původce je možné pouze laboratorními postupy. Je třeba posoudit, zda neexistuje souvislost mezi vyššími náklady na ošetřování proti houbám rodu *Monilinia*, a rozšířením druhu *Monilinia fructicola* v ČR, o němž je pojednáno v další kapitole.

Réva vinná

Z přehledu ošetřování v letech 2001 – 2006 vyplývá, že nárůst nákladů na ošetřování proti plísni révy je v letech 2005 – 2006 do jisté míry kompenzován poklesem nákladů na ošetřování proti padlí révy. Vývoj obou chorob podporují vyšší teploty a vlhko.

Chmel

Z přehledu ošetřování v letech 2001 – 2006 nelze u chmele vysledovat významné trendy.

Záznamy o škodlivém výskytu sledovaných škodlivých organismů na našem území, stejně jako spotřeba přípravků na boj proti nim, jsou obsaženy v PŘÍLOZE 2D.

2.4.5 Rozšíření nových škodlivých organismů na území ČR vlivem globálního

oteplení

Antropogenní přenos taxonů přes hranice biogeografických oblastí je nevyhnutelným jevem, provázejícím vývoj lidské civilizace (Strategie ochrany biologické rozmanitosti v ČR.). Již v současné době, tj. V posledních nejméně deseti letech, můžeme pozorovat zvýšené šíření nových nepůvodních druhů na území České republiky. I když šíření některých z těchto druhů je spojováno spíše se zvyšující se globalizací v souvislosti s rozšiřující se mobilitou, obchodem a cestovním ruchem, šíření většiny těchto druhů lze dát do přímé souvislosti se zvyšováním teplot. 11 z posledních 12 let patří k rokům nejteplejším, zima 2006 – 2007 byla vůbec nejteplejší zimou za posledních cca 200 let od počátku měření teplot v Klementinu.

Modely globálního oteplení pro období do poloviny tohoto století počítají s nárůstem průměrných ročních teplot o 2,5 - 3,0 °C (horní odhady), resp. 0,9 - 1,1 °C (dolní odhady). Nárůst průměrných měsíčních teplot v lednu je odhadován na 2,6 - 3,8 °C (horní odhady), resp. 1,0 - 1,4 °C (dolní odhady), v červenci na 2,2 - 2,9 °C (horní odhady), resp. 0,8 - 1,1 °C (dolní odhady).

Souhrnná zpráva o nových nepůvodních (invazních) druzích, které se v současnosti šíří na území České republiky a o nových nepůvodních (invazních) druzích, u kterých je důvodný předpoklad, že se v blízké budoucnosti rozšíří na území České republiky, stejně jako souhrn použité literatury, jsou obsaženy v PŘÍLOZE 2D.

Dopady klimatické změny na zemědělství - závěry

Následky klimatické změny se s vysokou pravděpodobností již v současné době projevují, intenzita jejich gradace v budoucnosti, i rychlost, s jakou se zesílené efekty objeví, velmi závisí na chování celého lidstva i jednotlivých komunit na dotčených územích. Z pohledu globálního jde především o snižování emisí skleníkových plynů (tj. mitigace, viz. následující kapitola); pro zmírnění účinků nově nastalých klimatických podmínek, jejichž existenci nemůžeme lokálně ovlivnit jinak, je nezbytné přijmout vhodná adaptační opatření.

Přestože v některých oblastech ČR může v budoucnosti dojít ke zvýšení zemědělského výrobního potenciálu (zejména kombinací zvýšení teploty a obsahu oxidu uhličitého v atmosféře), reálný výnos bude pravděpodobně limitován dalšími, současně působícími faktory (nedostatek vláhy během vegetačního období, zvýšená aktivita i počet generací významných škodlivých organismů apod.). Protože bude stále častěji čelit zemědělský sektor extrémním meteorologickým podmínkám (krupobití, záplavové deště, ale též např. dlouhotrvající sucho), proti kterým účinná technická ochranná opatření neexistují, jeví se jako nejvhodnější vyvinout a do praxe aplikovat vhodné ekonomicko-politické nástroje (dotace, pojištění) v kombinaci s vhodným usměrněním plodin vhodných k pěstování v dané výrobní oblasti. Je třeba si připomenout, že zemědělská výroba je do značné míry ovlivňována lokálními podmínkami (půdními i klimatickými), které se ovšem s klimatickou změnou mohou výrazně měnit – proto ani současné (touto studií zpřesněné) prostorové rozložení výrobních oblastí nesmí být v kontextu dlouhodobě nepředvídatelných výkyvů klimatické změny vnímáno jako konstantní.

Kromě těchto nástrojů je třeba přijmout také adaptační opatření týkající se přímo samotných výrobních procesů; především se jedná o agrotechnická opatření zabraňující ztrátám vody z půdy a naopak podporující retenční schopnost krajiny (viz. kap. 1), ale také např. vývoj a používání účinnějších pesticidů. Výběr a testování zcela nových a na našem

území dosud nepěstovaných plodin by se měl stát v blízké budoucnosti realitou, řešení také nabízí šlechtění nových odrůd stávajících plodin vytipovaných přímo pro očekávané podmínky jednotlivých výrobních oblastí (rezistence proti holomrazům, škodlivým organismům a/nebo proti suchu, změna v začátku či potřebné délce vegetačního období apod.).

V souvislosti s hrozícím vyšším výskytem epizod sucha je potřeba maximálně podpořit retenci vody v krajině – podpora malých vodních nádrží se z hlediska účelného zadržování vody (nejen) pro agrosystémy jeví jako nejvhodnější. Ačkoli se zdá, že investice do vývoje a budování závlahových systémů v již dnes suchem ohrožených oblastech stojí na okraji současných politických zájmů, ani příprava na použití tohoto typu adaptačních opatření by neměla být do budoucna opominuta – za předpokladu, že investičně (relativně) méně náročná řešení (např. pěstování zcela jiných plodin) nebudou dosahovat potřebného efektu.

Veškeré plánování však ztroskotá, nebude-li podpořeno šíření informací ke koncovým a tím nejvýznamnějším partnerům v adaptačním procesu – hospodařícím subjektům. V koncepci poradenství chybí především výzkum směřující ke konkrétním doporučením, která budou poradci distribuovat a adaptovat na konkrétní podmínky; pro správné fungování tohoto systému je potřeba zejména iniciovat vhodné rozšíření působnosti stávajících institucí o operační monitoring extrémních meteorologických jevů (např. ČHMÚ, případně ve spolupráci s klimatologickými ústavy univerzit) a také podpořit vývoj predikčních nástrojů pro vylepšení sezónních prognóz.

3 MITIGACE

Jako mitigační (zmírňující) jsou ve spojitosti s klimatickou změnou označována opatření, která vedou ke snížení jejích negativních projevů. Stejně jako adaptační opatření jsou významným krokem na cestě k budoucímu udržitelnému životu na planetě Zemi. Mezi nejvýznamnější mitigační přístupy patří snižování emisí skleníkových plynů do atmosféry a současně snižování obsahu skleníkových plynů v atmosféře. Tato kapitola se s ohledem na své zaměření na sektor zemědělství zabývá především druhým přístupem, avšak ani otázka snižování emisí radiačně aktivních (skleníkových) plynů by neměla být v dalším výzkumu opomenuta.

3.1 *Hodnocení a význam uhlíkové bilance v ekosystémech na území ČR*

Oxid uhličitý (CO₂) patří k nejvýznamnějším skleníkovým plynům vůbec. Protože je uhlík nejběžnějším a zároveň základním stavebním prvkem všech živých organismů na Zemi, je používán jako detektor úrovně nasycení atmosféry skleníkovými plyny (přepočítanými na ekvivalent CO₂). Každý typ krajiny (ekosystém) má schopnost vázat oxid uhličitý z atmosféry, dlouhodobě z něj uhlík akumulovat a tím zpomalovat proces globálního oteplování. Protože různé ekosystémy – a dokonce i různé způsoby pěstování zemědělských plodin, tj. agrosystémy – mají tuto schopnost rozdílnou, můžeme (s pomocí výsledků projektu CzechCarbo, které pro tento účel poskytlo Ministerstvo životního prostředí České republiky) vyčíslit hodnotu těchto významných krajinných segmentů. Tato informace by se měla stát cenným podkladem pro rozhodování o podpoře vhodných zemědělských aktivit a tím utváření krajiny (např. cestou agroenvironmentálních opatření).

3.1.1 **Hodnocení uhlíkové bilance v zemědělských ekosystémech [8]**

Stav v ČR a ve světě

Na rozvoj skleníkového efektu má značný vliv oxid uhličitý, jehož obsah v atmosféře se zvyšuje především spalováním fosilních paliv. Méně známé je, že na růstu koncentrace CO₂ v atmosféře se podílí také obdělávání půdy a způsob hospodaření v zemědělství. Zatímco měření koncentrace uhlíku v atmosféře je poměrně přesné, zjišťování, kolik uhlíku je v půdách a kolik v oceánu, je zatíženo velkými nejistotami. Nejméně toho víme o zásobníku uhlíku v půdních ekosystémech (CÍLEK, 2001).

Obsah CO₂ obecně úzce souvisí s fotosyntézou. Při fotosyntéze rostlin dochází k zachycování CO₂ z atmosféry a k jeho chemickému navázání v molekulách organických sloučenin. Značný podíl rostlinné tkáně tak tvoří sloučeniny na bázi uhlíku (např. obilky pšenice 46 % C, obilná sláma 50 % apod.). Vyprodukovaná hmota se kompletně (zelené hnojení) nebo částečně (posklizňové zbytky) dostává do půdy. Jen přísun uhlíku do půdy z odumřelé biomasy kořenů zemědělských plodin uvádí RESS (2005) 0,1 až 2,8 t C.ha⁻¹ za vegetační období. Odumřelé organické látky podléhají za spolupůsobení mikrobiální složky půdy humifikaci, tj. rozkladným a syntetickým procesům, kondenzaci, polymerizaci atd. Půdní organická hmota potom typicky obsahuje 50 % uhlíku, 40 % kyslíku a 5 % vodíku. Obsah hlavních biogenních prvků je logicky velmi podobný uváděnému složení posklizňových zbytků (např. slámy obilnin nebo olejnin), které jsou do půdy z velké části zapravovány po sklizni hlavního produktu.

Pohyb uhlíku v agroekosystému (konkrétně u pšenice) uvádí Schéma 3.1.

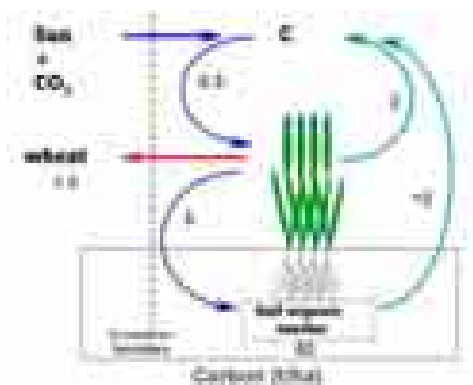


Schéma 3.1 Modelový příklad distribuce uhlíku u pšenice (Boehm, 2003)

Jedním ze způsobů jak snížit množství skleníkových plynů, které unikají do atmosféry je zvýšení obsahu půdní organické hmoty (FAVOINO, HOGG, 2002). Tato přeměna oxidu uhličitého na stabilní uhlík v půdě je označována jako sekvestrace uhlíku nebo "propady uhlíku" ("carbon sinks"). V přepočtu na 1 ha jsou v půdách obsaženy desítky až stovky tun organického uhlíku. Bylo spočteno, kolik CO₂ by bylo do atmosféry emitováno mineralizací půdní organické hmoty při poklesu o 1% (z celkové hmotnosti orné půdy) na celém území ČR. Toto množství činí 236 mil tun CO₂.

POKORNÝ, STRÁLKOVÁ (1998) v sedmiletém pokusu sledovali zásoby humusu a podorničí v různých osevních sledech. V ornici zjistili nejvyšší zásoby humusu ve variantě ječmen po cukrovce (118 t.ha⁻¹) a nejnižší zásoby ve variantě pšenice po vojtěšce (111 t.ha⁻¹). Uvážíme-li, že sedmitunový rozdíl vzniká v průběhu května až července, jedná se o rozdíl značný. V podorničí zjistili nejvyšší zásobu humusu ve variantě pšenice po vojtěšce (111 t.ha⁻¹) a nejnižší obsah ve variantě ječmen po obilnině (104 t.ha⁻¹). Druhá variabilita v obsahu humusu v podorničí byla opačná než u ornice – vyšší zásoby byly pod pšenicí. Celkový obsah (ornice a podorničí) byl nejvyšší u varianty ječmen po cukrovce (224 t.ha⁻¹) a pšenice po vojtěšce (222 t.ha⁻¹). Nejnižší obsah byl na variantě pšenice po ječmeni (214 t.ha⁻¹). V ornici byla průměrná zásoba 114 t.ha⁻¹ a v podorničí 107 t.ha⁻¹.

KLÍR uvádí průměrný obsah organické hmoty (humusu) v půdě 2 % (= 1,16 % C_{ox}), tj. V přepočtu 60 t organických látek na 1 ha (v profilu 0 – 20 cm). Každoročně se v průměru rozloží 4 t organických látek. RICHTER et al. (2001) uvádí v podmínkách ČR roční spotřebu nehumifikovaných organických látek v rozmezí 4 až 4,5 t.ha⁻¹. U nás dosud používané „Normativy potřeby organických látek na orné půdě“ (ŠKARDA, 1979) určují, že každoroční přísun organických látek do půdy ve formě organických hnojiv by měl činit 0 – 2,8 t.ha⁻¹ (v závislosti na osevním postupu a zrnitostním složení půdy). Za základní zdroj organické hmoty jsou považovány rostlinné zbytky, organická hnojiva jsou doplňujícím zdrojem. V současné době se v ČR ročně aplikuje ve stájových hnojivech (po odpočtu ztrát při skladování) odhadem pouze 0,6 až 0,7 t organických látek na 1 ha orné půdy (RICHTER et al. 2001). To znamená o 1 - 1,5 tuny na ha méně oproti potřebě.

Zemědělské půdy mají velký potenciál fixovat CO₂. Kapacita byla odhadnuta celosvětově na 20-30 tis. Mt C během přistích 50-100 let (PAUSTIAN,1997). Velká část půdního uhlíku může ale podléhat ztrátám vlivem lidské činnosti. Např. za posledních padesát let se v půdách mírného pásu v důsledku kultivace snížil obsah uhlíku o 20 až 40 % (KUTÍLEK, 2001). Převážná část ztrát je způsobena rozkladem, jímž se CO₂ uvolňuje do půdního vzduchu a odtud do atmosféry. Rychlost rozkladu je ovlivněna způsobem kultivace a vlastnostmi půdy. V obdělávaných půdách jsou nejvyšší ztráty CO₂ do ovzduší bezprostředně po orbě. Závlaha v polosuchých oblastech má přibližně stejný vliv na půdní dýchání jako orba. MOROWITZ in HONS (1991) uvádí, že středoevropský

zemědělec spotřeboval v tomto století více jak polovinu naakumulované organické hmoty půd, která se zde soustřeďovala 800-1000 let. U černoze jde v kvalitativním měřítku o snížení humusových látek ze 140 t.ha⁻¹ na dnešních 65-70 t.ha⁻¹, u hnědozemí z hladiny 70 t.ha⁻¹ na 30-40 t.ha⁻¹.

Biologický potenciál pro akumulaci uhlíku v evropských půdách (EU 15) je asi 90-120 mil. t.rok⁻¹ a zahrnuje možnosti jako jsou minimalizační technologie, pěstování vytrvalých plodin a hluboko kořenících plodin, efektivnější využívání organického hnojení, kompostování, aplikace kalu, zlepšené osevní postupy, zavlažování, bioenergetické plodiny, organické zemědělství a také zatravňování nebo zalesňování orné půdy (SMITH, 2004). Reálně jsou podle FREIBAUERA a kol. (2004) schopny zemědělské půdy států EU-15 ukládat až 16-19 mil. t C.rok⁻¹, což je méně než pětina teoretického potenciálu a odpovídá to asi 2 % evropských antropogenních emisí.

Pracovní skupina European Climate Change Programme (ECCP, 2006) zabývající se sekvestrací uhlíku v zemědělských půdách uvádí potenciál pro sekvestraci na úrovni až 3 t CO₂.ha⁻¹.rok⁻¹ s celkovým potenciálem pro země EU 15 pod 9 Mt CO₂.rok⁻¹. Podle projektu EU INSEA je redukováná orba, provozovaná nepřetržitě přes 20 let, schopna sekvestraci zvýšit průměrně o 0,2 t C.ha⁻¹.rok⁻¹ ve srovnání s konvenční orbou a minimalizace zpracování půdy zajistí redukcí o 0,31 t C.ha⁻¹.rok⁻¹. To by mohlo mít za následek technický potenciál 74 a 113 Mt CO₂ pro EU pro redukované zpracování půdy, resp. minimalizaci. Několik studií ze zemědělství USA (LAL ET AL., 1998; BRUCE ET AL., 1999; FOLLETT, 2001; SCHUMANN ET AL., 2002) informuje o potenciálech sekvestrace při minimalizaci pohybujících se mezi 0,3 a 0,8 t C.ha⁻¹.rok⁻¹ pro orné půdy a 0,1-0,4 C.ha⁻¹.rok⁻¹ pro půdy pod trvalými travními porosty (pastviny). Podle SMITHE, et. al. (2002) je bezorebný systém použitelný pro 87 % orné půdy v Evropě.

Značné rozdíly ve ztrátách CO₂ v různých pedologických regionech, v meteorologických situacích i ve způsobu zemědělského užití půdního fondu způsobují potíže v globálním bilancování. Celkově je však zřejmé, že změny v zemědělském užití půdního fondu mohou globální rovnováhu mezi produkcí biomasy a půdním dýcháním změnit. Podle současných odhadů změna této rovnováhy způsobuje zvýšení koncentrace CO₂ v atmosféře v množství odpovídajícím 20 až 30 % současné produkce CO₂ ze spalování fosilních paliv. Proto například v Kanadě, která podle odhadů svým zemědělstvím poměrně značně přispívá k emisím skleníkových plynů, byly uvolněny federální prostředky na zahájení projektu snižování emisí skleníkových plynů (Greenhouse Gas Mitigation Program – GHC Mitigation Program). Tento program mimo jiné určuje množství nejlepších technik (Best Management Practices – BMPs) v oblastech managementu půdy, živin a chovu hospodářských zvířat, které pomohou omezit emise skleníkových plynů. Projekt GHC Mitigation Program je vypracován tak, aby ukázal výhody správného managementu hnoje, hnojiv a půdy, které vedou ke zvýšenému využívání živin, nižším nákladům na produkci, zvýšené kvalitě půdy a zvýšenému obsahu organického uhlíku v půdě.

Podle CLARHOLMA (1985) byla celková roční respirace při orebném zpracování půdy (8250 kg C.ha⁻¹) vyšší než při půdoochranném (minimalizace + ponechání min. 30 % posklizňových zbytků) zpracování půdy (6980 kg C.ha⁻¹). Rozdíl v celkové roční respiraci byl způsoben rozdílnou bakteriální respirací. WEST, POST (2002) vyhodnocením dlouhodobých experimentů s přechodem od konvenčního k bezorebnému způsobu hospodaření zjistili zvýšení obsahu uhlíku o 570 kg ± 140 kg na hektar a rok. K dosažení maximálního obsahu uhlíku v půdě dochází 5. – 10. rok od přechodu na bezorebný systém a rovnovážný stav nastává 15 – 20 let po změně hospodaření. ANONYM (in Monsanto) uvádí redukcí uvolňování CO₂ do atmosféry při bezorebném systému hospodaření dokonce na úrovni 4,55 t.ha⁻¹ (tj. 1,24 t.ha⁻¹ uhlíku) ročně.

Vliv krycích plodin na zásoby a akumulaci uhlíku v půdě v subtropickém humidním regionu jihovýchodu USA sledovali SAINJU et al. (2006). Pro ukládání uhlíku byla efektivnější luskovinoobilní směska vikve s žitem ($267 \text{ kg C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ v hloubce 0-30 cm) než monokultura jedné z těchto dvou plodin a nebo půdy bez žádných krycích plodin (ztráta C až $967 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$).

V ČR závěry získané využitím výsledků laboratorních rozborů provedených při Komplexním průzkumu zemědělských půd (1961 – 1971) a laboratorních analýz uskutečněných v rámci podrobných hydropedologických průzkumů pro jednotlivé meliorační stavby potvrzují, že na odvodněných lučních pozemcích se po dvaceti až třiceti letech polního hospodaření snížil obsah organických látek v půdě v průměru o 40 až 60 % (VAŠKŮ, 2001).

Možnosti sekvestrace uhlíku v rámci osevních postupů na orné půdě

V každém půdním typu se formuje pro něj charakteristická dynamická rovnováha mezi mineralizací a humifikací, mezi stabilizací a aktivací humusových látek. Zjištěním rozdílů bilancovaných složek v každém půdním typu je možno vymezit tři následující typy humusového režimu: 1. pozitivní – „trvalý“ postupný přírůstek Cox (zpravidla pouze při použití vysokých dávek organických hnojiv), 2. bezdeficitní – s dynamickou rovnováhou mezi přírůstkem a úbytkem Cox v celém půdním profilu, 3. deficitní – výrazný úbytek, zpravidla odnosem humózní hmoty erozí, technickou úpravou povrchu apod. (SOTÁKOVÁ, 1986). Podle SOTÁKOVÉ (1982) souvisí zásoba, složení a dynamika obsahu humusu v půdách s celým souborem faktorů a podmínek půdotvorného procesu – rostlin, mikroorganismů, klimatu a matečnou horninou. Akumulaci půdní organické hmoty stimuluje i vysoké dávky vápence (KUBÁT, LIPAVSKÝ, 1999).

Zdroji uhlíkatých hmot v osevním postupu jsou víceleté pícniny na orné půdě a drnový fond. Jejich úloha v procesu střídání plodin se však liší. Víceleté pícniny působí totiž svým kořenovým systémem, kdežto drnový fond působí jen cestou cyklické kompenzační vazby. Spotřebiteli v procesu střídání plodin jsou všechny plodiny, které vyžadují působení cyklické kompenzační vazby: cukrovka, brambory, zelenina, kukuřice na zrno, krmná řepa, krmná kapusta, krmná mrkev, mák, ozimá i jarní řepka, vinná réva, ovocné dřeviny a chmel (KUDRNA, 1979). Každá z uvedených plodin či jejich skupin působí jako spotřebitel v různém stupni. Vyžaduje vždy buď vnesení organických hnojiv, tedy působení cyklické kompenzační vazby, anebo na půdách s vysokým obsahem jílových minerálů illitické či montmorillonitické skupiny, vnesení organické hmoty na zelené hnojení.

Obilniny řadíme do skupiny plodin, které se z hlediska bilance uhlíkatých hmot uplatní podle toho, jaké jejich množství se v podobě organických hnojiv vrátí do půdy. Vzhledem k jejich vysokému zastoupení ve struktuře soustavy jsou nezbytným substrátem pro činnost mikroorganismů a tím hlavní uhlíkatou složkou hmoty organických hnojiv. Do této skupiny řadíme také luskoviny, které kromě toho působí také svými rhizobii a obohacují půdu dusíkem. Vliv obilnin a luskovin jako celku je neutrální, a proto jsou považovány za neutrální plodiny. Zajímavá vlastnost neutrálních plodin spočívá v tom, že v procesu střídání plodin vždy vyrovnávají vliv zdrojů či spotřebitelů.

Otázkou je optimální obsah organické hmoty pro určitou půdu a jakým způsobem ho stanovit. Pro stanovení optimálního obsahu organické hmoty v půdě lze použít několik nebilančních postupů, které vycházejí ze současných znalostí dynamiky půdní organické hmoty. Většina z nich vychází z dlouhodobých polních pokusů. Bilanční metody pevně stanovují úbytek půdní organické hmoty v daném půdním druhu a při daném osevním postupu. V podmínkách negativní bilance by tedy muselo v krátkém časovém období (několik desetiletí) dojít k úplnému vyčerpání organické hmoty v půdě. Právě z výsledků

dlouhodobých polních pokusů lze dokázat, že tomu tak není. Z nich je zřejmé, že změnou způsobu obhospodařování a v menší míře i změnou genotypu rostlin jsou vyvolány změny v obsahu půdní organické hmoty (je porušena tzv. dynamická rovnováha). Pokud je tento způsob hospodaření používán dostatečně dlouho (20 – 40 let) vytvoří se nová dynamická rovnováha, při níž je vstup organické hmoty do půdy a její rozklad a mineralizace vyrovnaná (KÖRCHENS, 1997).

Podobné závěry prokazují i ukazují dvanáctileté pokusy z Litvy, kdy obsah organického uhlíku v důsledku nedostatečného hnojení klesal velmi pomalu (TRIPOLSKAJA, GREIMAS, 1998). ŠKARDA A DAMAŠKA (1982) uvádí snížení obsahu humusu na půdě bez organického hnojení asi o 0,0123 % za rok (tj. přibližně 320 kg C.ha⁻¹ za rok - pozn. autora).

Máme-li tedy k dispozici data z dlouhodobých pokusů prováděných v různých klimatických podmínkách, různých půdních typech a půdních druzích, můžeme usoudit, jaký obsah půdní organické hmoty na daném stanovišti při daném způsobu hospodaření odpovídá dynamické rovnováze půdní organické hmoty. Problémem je, že u nás ani ve světě není k dispozici dostatečný počet takto letitých polních pokusů a tím pádem i dostatečné množství reprezentativních dat. Dynamická rovnováha půdní organické hmoty se ustavuje několik desetiletí a první výsledky jsou k dispozici téměř až za 50 let (KLEMENT, HAVLÍKOVÁ, 2002). Určitou možností získání dalších informací je v našich podmínkách využití výsledků databáze bazálního monitoringu zemědělských půd ÚKZÚZ, který byl založen s cílem dlouhodobě sledovat stav a dynamiku půdních vlastností a na půdu působících vlivů na stálých, definovaných a reprezentativních bodech s přesně určeným a stabilním souborem měřících postupů. Do sledování je zařazeno celkem 189 pozorovacích ploch bazálního monitoringu půd.

Výpočty a výsledky

Na základě experimentálně zjištěných dlouhodobých výnosových řad a znalosti koeficientů tvorby biomasy fixací CO₂ u hlavních plodin lze zjistit, jaké přibližné množství CO₂ je porost určité plodiny schopen za vegetaci akumulovat do biomasy. K výpočtům byly použity výnosové výsledky z dlouhodobých pokusů prováděných MZLU v Brně (pšenice ozimá, ječmen jarní, řepa cukrová, kukuřice setá, luční porost, pastevní porost), odrůdových pokusů ÚKZÚZ (řepka ozimá, vojtěška setá, jetel luční, hořčice bílá, svazenka vrtičolistá) a VÚB v Havlíčkově Brodě (brambory) v rozdílných agroekologických podmínkách a při použití rozdílných technologií.

Ke stanovení množství posklizňových zbytků, které nebývá standardní součástí polních pokusů byly také z důvodu značné obtížnosti při zjišťování (např. vojtěška zakořeňuje až do hloubky 10 m a je tak obtížné přesně stanovit hmotu kořenů) použity střední hodnoty uváděné MÁLKEM a PROCHÁZKOVOU (2004) v kombinaci s průměrnými poměry hlavního a vedlejšího produktu (ČZU, 2004) a průměrným množstvím sklizňových zbytků v orniční vrstvě FORCHTSAM, PRCHAL (1960). Hodnoty byly přepočteny na stoprocentní sušinu podle průměrného obsahu sušiny při sklizni.

Výpočty bilance uhlíku v rámci osevních postupů

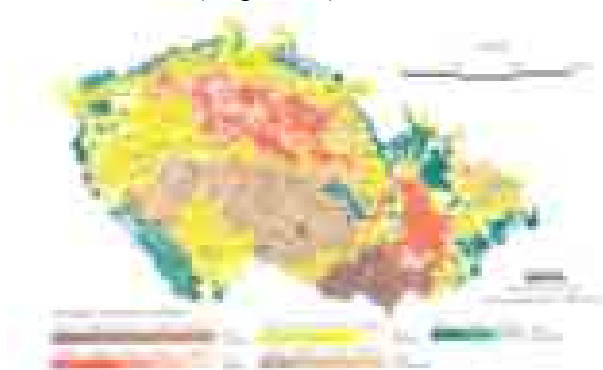
V případě izolovaného hodnocení uhlíkové bilance u jednotlivých plodin není možné zohlednit efekt meziplodiny nebo organického hnojení, případně kvantifikovat množství organické hmoty v půdě v meziorostním období. Proto byly pro zvýšení objektivitu výpočtů bilance uhlíku navrženy a použity jako jednotky pro bilanci osevní postupy. Zastoupení plodin v modelových osevních postupech vychází z agroekologických podmínek prostředí a nároků plodin na půdní a klimatické faktory. Při sestavování

osevních postupů byly zohledněny také faktory ekonomické a tržní. Dopad konkrétního osevního postupu tak vychází z jeho reálného nebo potenciálního plošného zastoupení na území ČR. To je dáno agroekologickými podmínkami pro jeho realizování (rozlohou příhodné výrobní oblasti – Mapa 3.1 a Tab. 3.1) a momentální strukturou pěstovaných plodin (tržní vlivy). Provedeny byly výpočty bilance uhlíku ve vybraných (nosných) osevních postupech kukuřičné, řepařské, obilnářské a bramborářské výrobní oblasti. Výpočty byly realizovány vždy v těchto variantách:

- „tradiční“, vycházející ze zásad optimálního střídání plodin na orné půdě v rámci osevního postupu (na bázi tradičního Norfolkského osevního postupu) a využívající v maximální možné míře organické hnojení. Subvariantami byl u této varianty odvoz nebo zaorávka slámy obilnin.
- „tržní“, odrážející a respektující současnou ekonomickou situaci v zemědělství, tzn. preferující ve zvýšené míře pěstování obilnin pro potravinářské využití a řepky. Subvariantami byl u této varianty odvoz nebo zaorávka slámy obilnin.
- „ekologická“, vycházející z druhové skladby a výnosů v ekologickém systému hospodaření (zařazeno pouze v některých, k ekologickému zemědělství příhodných, oblastech a osevních postupech).
- „s vyšším podílem řepky“ vycházející ze současné situace vysokého podílu řepky v osevních postupech a možného růstu podílu v souvislosti s rostoucí spotřebou biopaliv.

K postupu výpočtu bilance uhlíku v osevním postupu:

- Vstupy celkem: uhlík potřebný pro tvorbu organické hmoty při fotosyntéze + uhlík dodaný v hnojivech a osivu (sadbě).
- Dýcháním zpět: udává množství uhlíku vyprodukovaného při dýchání a navráceného tak zpět do atmosféry.
- Odvezeno produkcí: udává, kolik uhlíku je z plochy odvezeno v podobě sklizeného produktu (v semenech, hlízách, v seně apod.).
- Do půdy: udává, kolik uhlíku se dostane do půdy v podobě posklizňových zbytků, podzemních částí rostlin, opadu apod. + vysetá semena (sadba) + organická hnojiva (zelené hnojení, hnůj, kejda – s ohledem na současnou situaci v množství aplikovaných organických hnojiv) . Jedná se o potenciální množství uhlíku, které je možné do půdy v rámci konkrétního osevního postupu „zabudovat“.
- Rozkladem zpět: udává, jaké množství uhlíku se z půdy uvolní zpět do atmosféry při rozkladné činnosti mikroorganismů. V rámci osevního postupu, jako základní jednotky, je tato hodnota maximálně rovna množství uhlíku, který se do půdy dostane zaoráním zbytků a organických hnojiv. Na reálné množství uvolněného uhlíku (resp. CO₂) má vliv značné množství faktorů.



Mapa 3.1 Rozdělení produkčního území v ČR – zemědělské výrobní oblasti (zdroj: VÚZE)

Tab. 3.1 Charakteristika výrobních oblastí ČR a jejich plošné zastoupení na zemědělském půdním fondu

Charakteristika	Fyzická výrobní oblast (FVO)																				
	Severní (S)			Západní (Z)			Střední (St)			Východní (V)			Jihovýchodní (JV)								
Okres území	okres území území																				
Výšleňová výška	0 - 200 m																				
Klimatický region	mírný (VT)																				
Převládající půdy	přírodní (P1) přírodní (P2) přírodní (P3)																				
Převládající zemědělské využití	1 - 10%																				
Převládající zemědělské využití	100 - 900 ha																				
Podíl orných půd (%)	100 - 100%																				
Výčet některých agrotechnických ukazatelů	100 - 100%																				
Hlavní půdní jednotky	přírodní, zemědělské a lesní půdy v zemědělském využití																				
Zemědělské využití	zemědělské využití a lesní půdy v zemědělském využití																				
Podíl orných půd (%)	100 - 100%																				
Zemědělské využití (%)	10 - 10%																				
Lesní půdy (%)	100 - 100%																				
Hlavní zemědělské plodiny	obilniny, zelené hnojení, zelené hnojení, zelené hnojení, zelené hnojení, zelené hnojení																				
Podíl orných půd (%)	S1	S2	S3	S4	S5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	St1	St2	St3	St4	V1	V2	V3	V4	JV1	JV2	JV3
Převládající zemědělské plodiny	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Převládající zemědělské plodiny (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Zemědělské využití (%)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Poznámka: VUZE Praha - upraveno.

Poznámka: výměra jednotlivých výrobních oblastí v tis. ha orné půdy: KVO 244, ŘVO 900, OVO 1202, BVO 591, PVO 161 tis. ha.

Seznam, popis a bilance uhlíku u všech analyzovaných osevních postupů

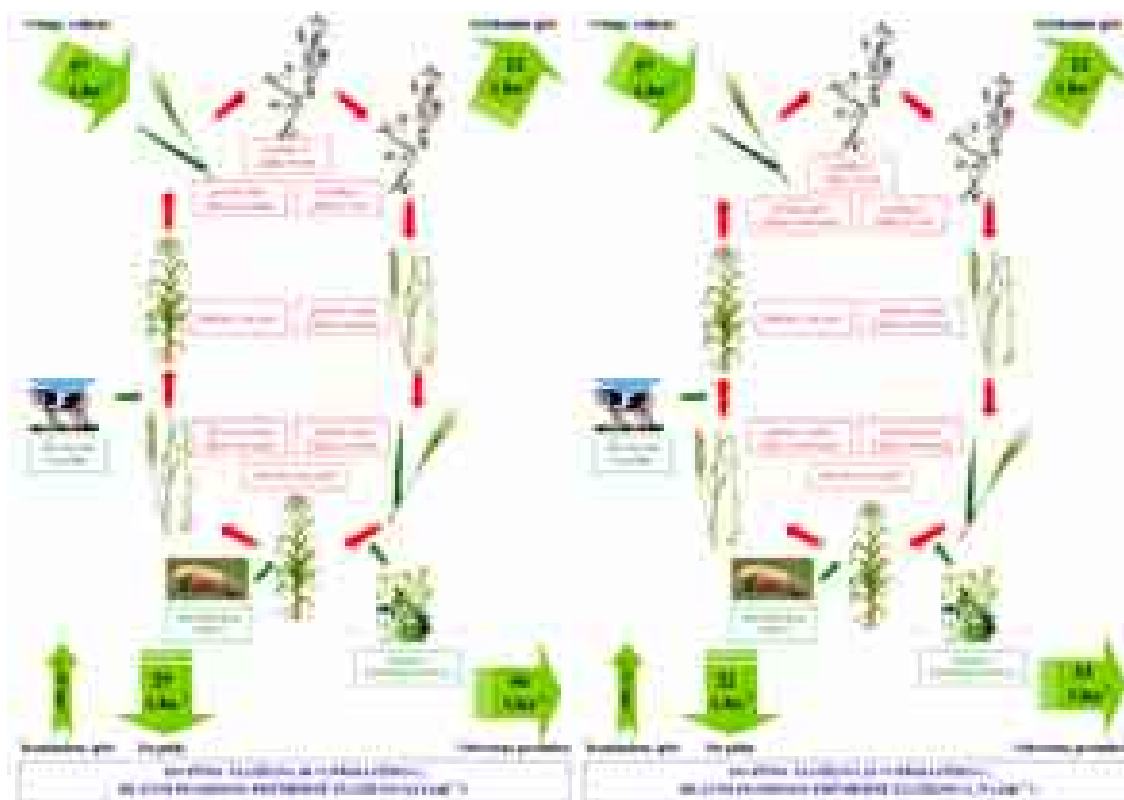
- Kukuřičná výrobní oblast (KVO, Obr. 3.1 až 3.4)
- Řepařská výrobní oblast (ŘVO, Obr. 3.5 až 3.12)
- Obilnářská výrobní oblast (OVO, Obr. 3.13 až 3.16)
- Bramborářská výrobní oblast (BVO, Obr. 3.16 až 3.24)

Poznámka: v závorce jsou u popisů osevního postupu uvedeny vstupy organických látek stájovými hnojivy nebo plodiny na zelené hnojení.

Kukuřičná výrobní oblast (KVO)

Komentář k Obr. 3.1 (osevní postup 1) KVO – „tradiční“ osevní postup, sláma zaorána:
vojtěška – vojtěška - pšenice ozimá - ječmen jarní - (hořčice) - kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - kukuřice zrnová - ječmen jarní
Průměrně je na ha uloženo 3 600 kg C.rok⁻¹ (30 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných organických látek (dále jen OL) to znamená přebytek +1 575 až +1 800 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek je +158 až +180 kg C.ha⁻¹ za rok, absolutní přírůstek v ornici tedy bude činit +0,006 % až 0,007 % humusu.

Komentář k Obr. 3.2 (osevní postup 2) KVO – „tradiční“ osevní postup, sláma odvezena:
vojtěška – vojtěška - pšenice ozimá - ječmen jarní - (hořčice) - kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - (hnůj) - kukuřice zrnová - ječmen jarní
Průměrně je na ha uloženo 2 750 kg C.rok⁻¹ (23 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek +725 až +950 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek je +73 až +95 kg C.ha⁻¹ za rok, absolutní přírůstek v ornici tedy bude činit +0,003 % až 0,004 % humusu.



Obr. 3.1: KVO – tradiční OP

Obr. 3.2: KVO – tradiční OP s odvozem slámy

Komentář k Obr. 3.3 (osevní postup 3) KVO – „tržní“ osevní postup, sláma zaorána:

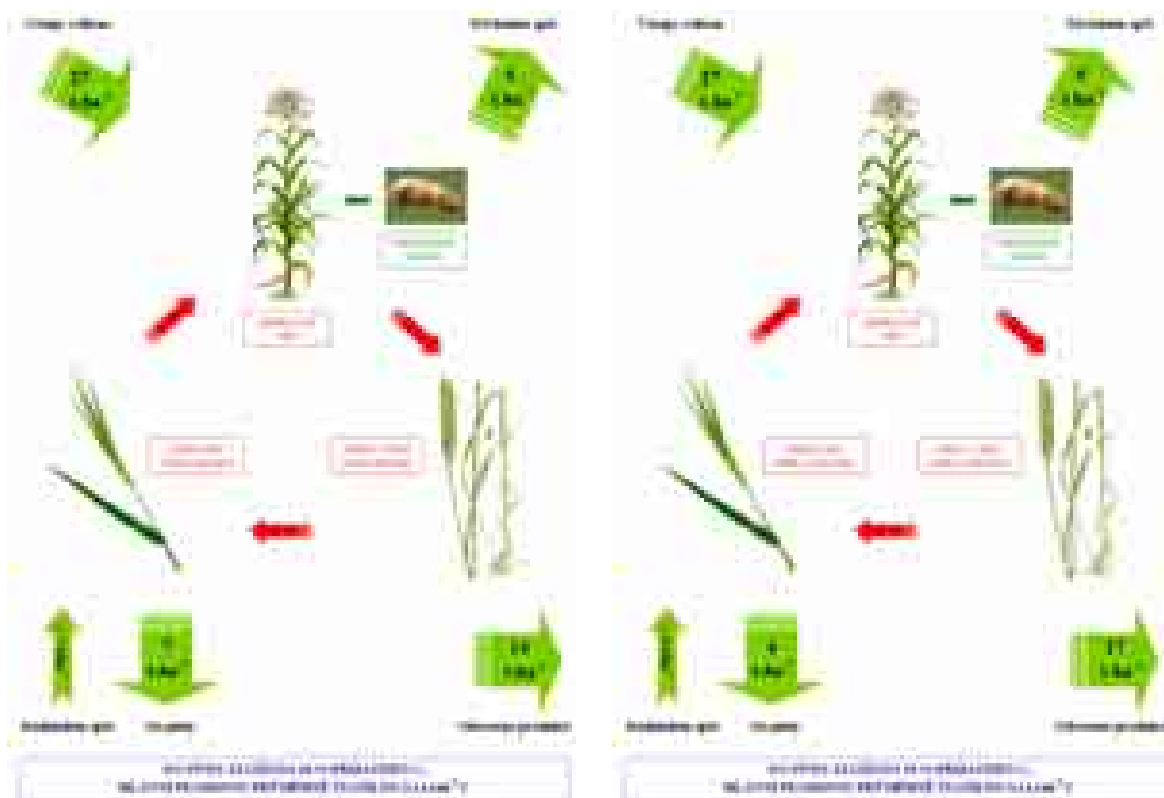
kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 2 300 kg C.rok⁻¹ (26 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek +275 až +500 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek je +28 až +50 kg C.ha⁻¹ za rok, absolutní přírůstek v ornici tedy bude činit +0,001 % až 0,002 % humusu.

Komentář k Obr. 3.4 (osevní postup 4) KVO – „tržní“ osevní postup, sláma odvezena:

kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 1 300 kg C.rok⁻¹ (15 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená úbytek -500 až -725 kg C.ha⁻¹ za rok. Absolutní roční úbytek v ornici pak bude činit 0,019 % až 0,028 % humusu.



Obr. 3.3: KVO – tržní OP

Obr. 3.4: KVO – tržní OP s odvozem slámy

Řepařská výrobní oblast (ŘVO)

Komentář k Obr. 3.5 (osevní postup 5) ŘVO – „tradiční“ osevní postup, sláma zaorána:

vojtěška - vojtěška - pšenice ozimá - (hořčice) - ječmen jarní - (hořčice) - kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - (hnůj) - (svazenka) - řepa cukrová - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 4 400 kg C.rok⁻¹ (34 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek +2 375 až +2 600 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek je +238 až +260 kg C.ha⁻¹ za rok, absolutní přírůstek v ornici tedy bude činit +0,009 % až 0,010 % humusu.

Komentář k Obr. 3.6 (osevní postup 6) ŘVO – „tradiční“ osevní postup, sláma odvezena:

vojtěška - vojtěška-pšenice ozimá - (hořčice) - ječmen jarní - (hořčice) - kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - (hnůj) - (svazenka) - řepa cukrová - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 3 000 kg C.rok⁻¹ (24 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek +975 až +1 200 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek je +98 až +120 kg C.ha⁻¹ za rok, absolutní přírůstek v ornici tedy bude činit +0,004 % až 0,005 % humusu.



Obr. 3.5: ŘVO – tradiční OP



Obr. 3.6: ŘVO – tradiční OP s odvozem slámy

Komentář k Obr. 3.7 (osevní postup 7) ŘVO – „tržní“ osevní postup, sláma zaorána:

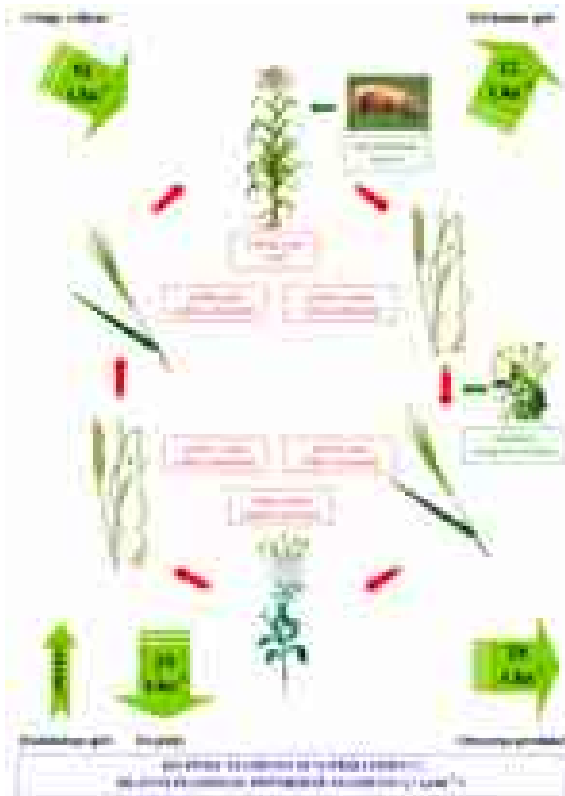
kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - (hořčice) - ječmen jarní - řepka ozimá - pšenice ozimá - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 3 000 kg C.rok⁻¹ (35 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek +975 až +1 200 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek je +98 až +120 kg C.ha⁻¹ za rok, absolutní přírůstek v ornici tedy bude činit +0,004 % až 0,005 % humusu.

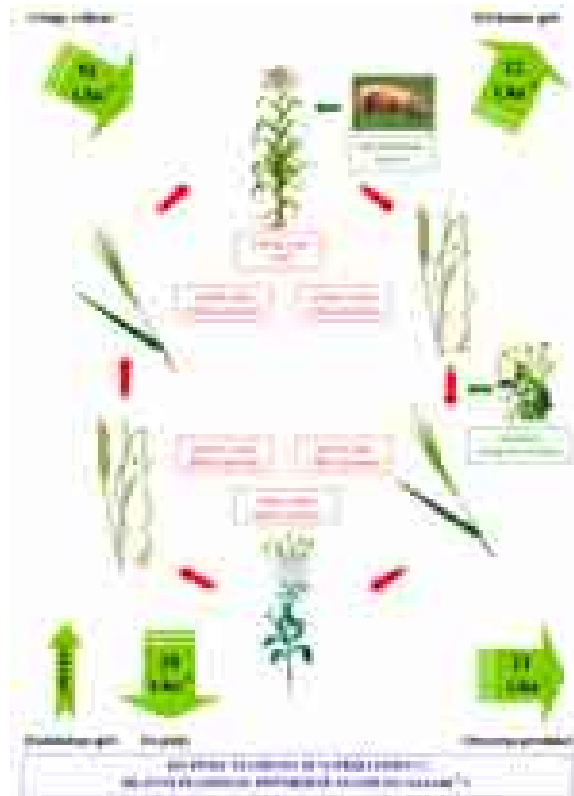
Komentář k Obr. 3.8 (osevní postup 8) ŘVO – „tržní“ osevní postup, sláma odvezena:

kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - (hořčice) - ječmen jarní - řepka ozimá - pšenice ozimá - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 1 700 kg C.rok⁻¹ (20 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená úbytek –100 až –325 kg C.ha⁻¹. Absolutní roční úbytek v ornici pak bude činit 0,004 % až 0,012 % humusu.



Obr. 3.7: ŘVO – tržní OP



Obr. 3.8: ŘVO – tržní OP s odvozem slámy

Komentář k Obr. 3.9 (osevní postup 9) ŘVO – osevni postup s vyšším podílem řepky, sláma zaorána:

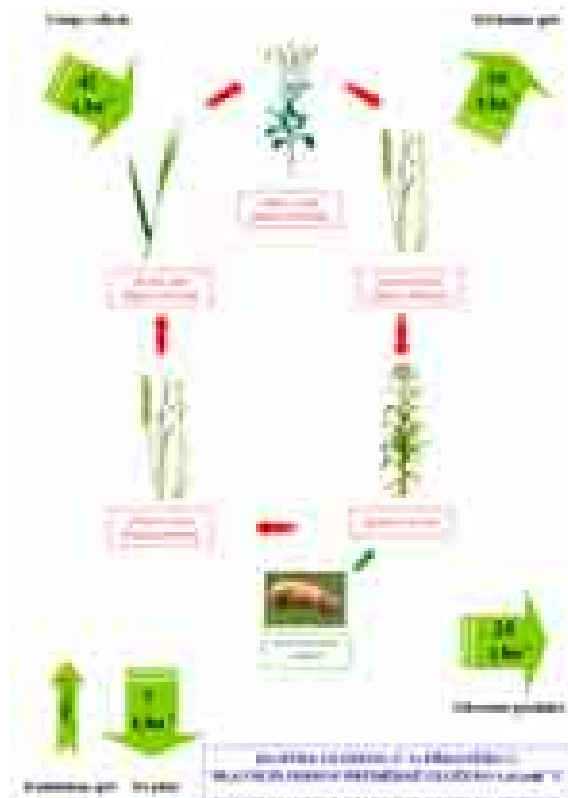
řepka ozimá - pšenice ozimá - kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - ječmen jarní
 Průměrně je na ha uloženo 2 700 kg C.rok⁻¹ (32 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přírůstek 675 až 900 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek: +68 až +90 kg C.ha⁻¹. Absolutní roční přírůstek v ornici pak bude činit 0,003 % až 0,004 % humusu.

Komentář k Obr. 3.10 (osevní postup 10) ŘVO – osevni postup s vyšším podílem řepky, sláma odvezena:

řepka ozimá - pšenice ozimá - kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - ječmen jarní
 Průměrně je na ha uloženo 1 400 kg C.rok⁻¹ (17 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená úbytek -400 až -625 kg C.ha⁻¹. Absolutní roční úbytek v ornici pak bude činit 0,002 % až 0,003 % humusu.



Obr. 3.9: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky
podílem řepky, sláma zaorána



Obr. 3.10: ŘVO – OP s vyšším
sláma odvezena

Komentář k Obr. 3.11 (osevní postup 11) ŘVO – ekologický systém, sláma zaorána:

vojtěška – vojtěška - pšenice ozimá - (hořčice) - (hnůj) – brambory - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 2 800 kg C.rok⁻¹ (35 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek +775 až +1 000 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek: +78 až +100 kg C.ha⁻¹ za rok. Absolutní roční přírůstek v ornici pak bude činit +0,003 % až 0,004 % humusu.

Komentář k Obr.12 (osevní postup 12) ŘVO – ekologický systém, sláma odvezena:

vojtěška – vojtěška - pšenice ozimá - (hořčice) - (hnůj) – brambory - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 2 400 kg C.rok⁻¹ (30 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek +375 až +600 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek je +38 až +60 kg C.ha⁻¹ za rok. Absolutní roční přírůstek v ornici pak bude činit +0,001 % až 0,002 % humusu.



Obr. 3.11: ŘVO – ekologický systém, sláma zaorána



Obr. 3.12: ŘVO – ekologický systém, odvoz slámy

Obilnářská výrobní oblast (OVO)

Komentář k Obr. 3.13 (osevní postup 13) OVO – „tradiční“ osevní postup, sláma zaorána:
 jetel - pšenice ozimá - (kejda) - řepka ozimá - (hořčice) - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo $3\,300\text{ kg C.rok}^{-1}$ (35 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek $+1\,275$ až $+1\,500\text{ kg C.ha}^{-1}$. Nezmineralizovaný zbytek je $+128$ až $+150\text{ kg C.ha}^{-1}$ za rok. Absolutní roční přírůstek v ornici pak bude činit $+0,005\%$ až $0,006\%$ humusu.

Komentář k Obr. 3.14 (osevní postup 14) OVO – „tradiční“ osevní postup, sláma odvezena:

jetel - pšenice ozimá - (kejda) - řepka ozimá - (hořčice) - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo $2\,000\text{ kg C.rok}^{-1}$ (22 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek, resp. úbytek $+200$ až -25 kg C.ha^{-1} . Nezmineralizovaný zbytek je max. $+20\text{ kg C.ha}^{-1}$ za rok. Absolutní bilance humusu v ornici pak bude prakticky neutrální.



Obr. 3.13: OVO – tradiční OP
slámy

Obr. 3.14: OVO – tradiční OP s odvozem
slámy

Komentář k Obr. 3.15 (osevní postup 15) OVO – „tržní“ osevní postup, sláma zaorána:

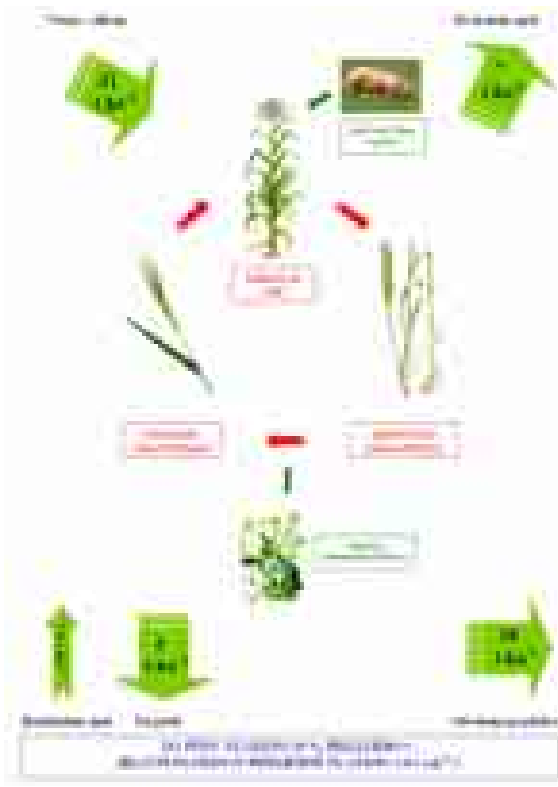
kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - (hořčice) - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo $3\,200\text{ kg C.rok}^{-1}$ (31 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek $+1\,175$ až $+1\,400\text{ kg C.ha}^{-1}$. Nezmineralizovaný zbytek je $+118$ až $+140\text{ kg C.ha}^{-1}$ za rok. Absolutní přírůstek v ornici pak bude činit $+0,005\%$ až $0,006\%$ humusu.

Komentář k Obr. 3.16 (osevní postup 16) OVO – „tržní“ osevní postup, sláma odvezena:

kukuřice silážní - (kejda) - pšenice ozimá - (hořčice) - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo $2\,000\text{ kg C.rok}^{-1}$ (19 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek, resp. úbytek $+200$ až -25 kg C.ha^{-1} . Nezmineralizovaný zbytek je max. $+20\text{ kg C.ha}^{-1}$ za rok. Absolutní bilance humusu v ornici pak bude prakticky neutrální.



Obr. 3.15: OVO – tržní OP
slámy



Obr. 3.16: OVO – tržní OP s odvozem slámy

Bramborářská výrobní oblast (BVO)

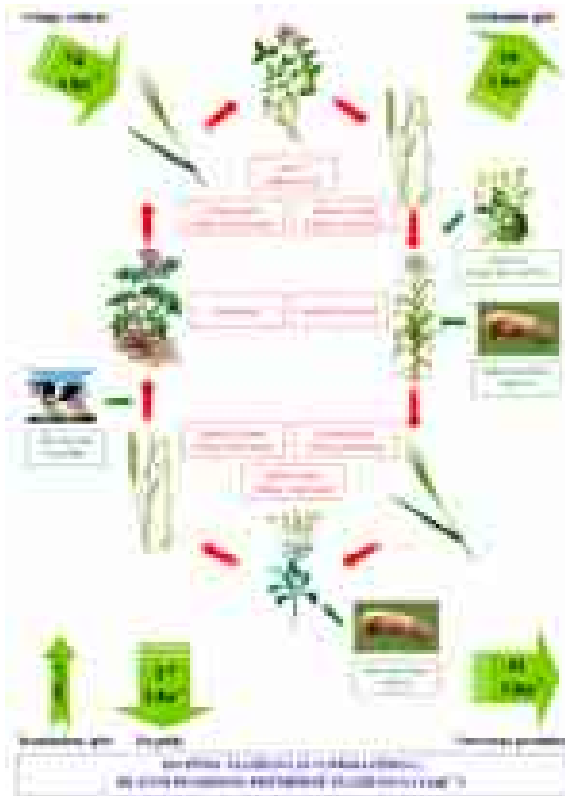
Komentář k Obr. 3.17 (osevní postup 17) BVO – „tradiční“ osevní postup, sláma zaorána:
jetel - pšenice ozimá - (hořčice) - kukuřice silážní - (kejda) - ječmen jarní - (kejda) - řepka ozimá - pšenice ozimá - (hnůj) – brambory - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 3 300 kg C.rok⁻¹ (35 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená roční přebytek +1 275 až +1 500 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek je +128 až +150 kg C.ha⁻¹. Absolutní přírůstek v ornici pak bude činit +0,005 % až 0,006 % humusu.

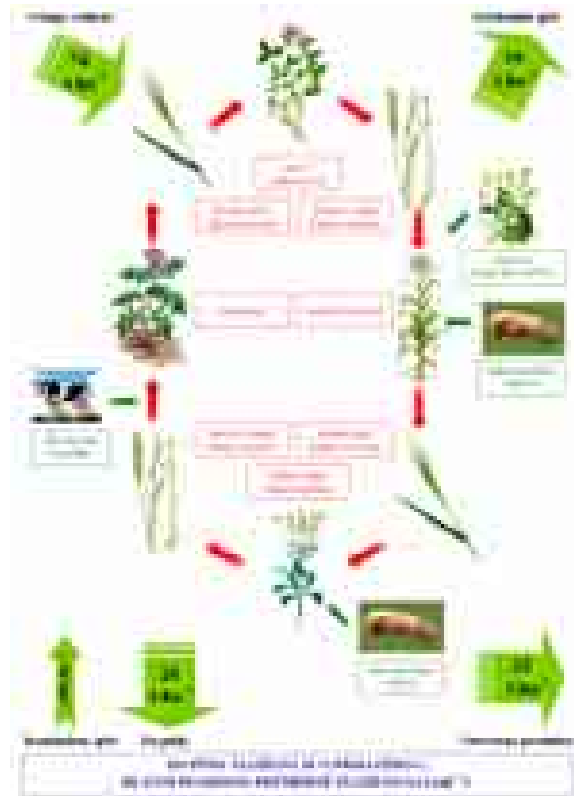
Komentář k Obr. 3.18 (osevní postup18) BVO – „tradiční“ osevní postup, sláma odvezena:

jetel - pšenice ozimá - (hořčice) - kukuřice silážní - (kejda) - ječmen jarní - (kejda) - řepka ozimá - pšenice ozimá - (hnůj) – brambory - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 2 100 kg C.rok⁻¹ (23 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená roční přebytek +75 až +300 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek je +7,5 až +30 kg C.ha⁻¹ za rok, absolutní přírůstek v ornici pak bude činit +0,000 3 % až 0,001 % humusu.



Obr. 3.17: BVO – tradiční OP



Obr. 3.18: BVO – tradiční OP s odvozem slámy

Komentář k Obr. 3.19 (osevní postup 19) BVO – „tržní“ osevní postup, sláma zaorána:

jetel - pšenice ozimá - řepka ozimá - (kejda) - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo $2\,800\text{ kg C.rok}^{-1}$ (31 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená roční přebytek $+775$ až $+1\,000\text{ kg C.ha}^{-1}$. Nezmineralizovaný zbytek je $+78$ až $+100\text{ kg C.ha}^{-1}$ za rok, absolutní přírůstek v ornici pak bude činit $+0,003\%$ až $0,004\%$ humusu.

Komentář k Obr. 3.20 (osevní postup 20) BVO – „tržní“ osevní postup, sláma odvezena:

jetel - pšenice ozimá - řepka ozimá - (kejda) - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo $1\,750\text{ kg C.rok}^{-1}$ (20 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená úbytek -50 až -275 kg C.ha^{-1} za rok. Absolutní roční úbytek v ornici pak bude činit $0,002\%$ až $0,011\%$ humusu.



Obr. 3.19: BVO – tržní OP
slámy



Obr. 3.20: BVO – tržní OP s odvozem slámy

Komentář k Obr. 3.21 (osevní postup 21) BVO – osevni postup s vyšším podílem řepky, sláma zaorána:

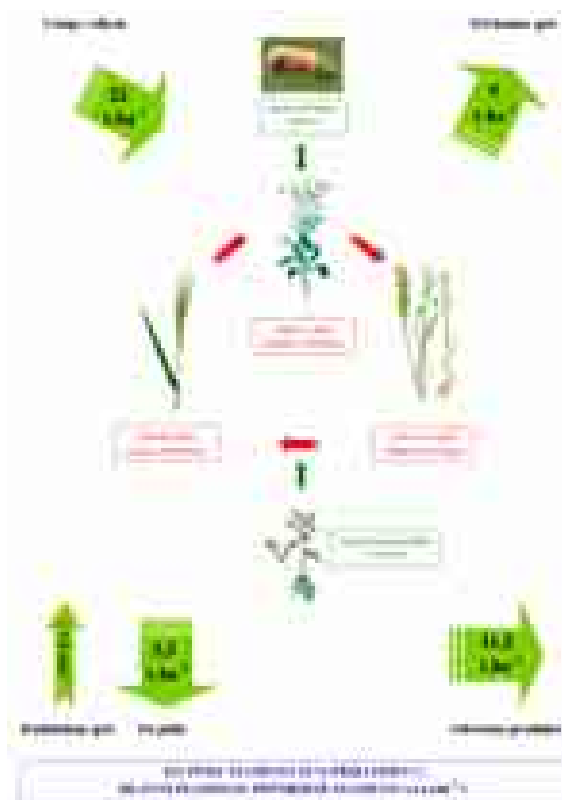
řepka ozimá - (kejda) - pšenice ozimá - (svazenka) - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 3 300 kg C.rok⁻¹ (45 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek +1 275 až +1 500 kg C.ha⁻¹. Nezmineralizovaný zbytek: +128 až +150 kg C.ha⁻¹ za rok. Absolutní roční přírůstek v ornici pak bude činit +0,005 % až 0,006 % humusu.

Komentář k Obr. 3.22 (osevní postup 22) BVO – osevni postup s vyšším podílem řepky, sláma odvezena:

řepka ozimá - (kejda) - pšenice ozimá - (svazenka) - ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo 1 800 kg C.rok⁻¹ (25 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená úbytek 0 až -225 kg C.ha⁻¹. Absolutní roční úbytek v ornici pak bude činit až 0,009 % humusu.



Obr. 3.21: BVO – OP s vyšším podílem řepky



Obr. 3.22: BVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz slámy

Komentář k Obr. 3.23 (osevní postup 23) BVO – ekologický systém, sláma zaorána:

jetel-pšenice ozimá-(hořčice)-(hnůj)-brambory-ječmen jarní

Průměrně je na ha uloženo $2\,800\text{ kg C.rok}^{-1}$ (42 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek $+775$ až $+1\,000\text{ kg C.ha}^{-1}$. Nezmineralizovaný zbytek: $+78$ až $+100\text{ kg C.ha}^{-1}$ za rok. Absolutní roční přírůstek v ornici pak bude činit $+0,003\%$ až $0,004\%$ humusu.

Komentář k Obr. 3.24 (osevní postup 24) BVO – ekologický systém, sláma odvezena:

jetel-pšenice ozimá-(hořčice)-(hnůj)-brambory-ječmen jarní

V průměru je na ha plodinou uloženo ročně $2\,300\text{ kg C.rok}^{-1}$ (35 % přijatého C), po odečtení roční spotřeby nehumifikovaných OL to znamená přebytek $+275$ až $+500\text{ kg C.ha}^{-1}$. Nezmineralizovaný zbytek je $+28$ až $+50\text{ kg C.ha}^{-1}$ za rok. Absolutní roční přírůstek v ornici pak bude činit $+0,001\%$ až $0,002\%$ humusu.



Obr. 3.23: BVO – ekologický systém
slámy



Obr. 3.24: BVO – ekologický systém, odvoz slámy

Souhrn výsledků

Souhrnně jsou výsledky uvedeny a seřazeny v Tab. 3.2.

K hodnocení přínosu konkrétního osevního postupu k sekvestraci uhlíku v půdě byly využity poznatky o množství organické hmoty každoročně rozložené v půdě ($4 - 4,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) a jejím složení, respektive obsahu uhlíku ($40 - 50 \%$). Na půdu je tedy nutno každoročně aplikovat cca $1800 - 2025 \text{ kg}$ nehumifikovaného uhlíku. Tuto dávku lze brát jako množství nutné pro udržení stávajícího obsahu humusu v půdě (tj. množství které ještě projde procesem humifikace případně mineralizace). Organicky vázaný uhlík nad tuto hranici bude také zčásti mineralizován (tj. zpátky metabolizován půdními mikroorganismy na CO_2) a zčásti použit na tvorbu humusových látek. U jednotlivých osevních postupů je pak známo průměrné aplikované množství uhlíku do půdy. Osevní postup je brán jako celek, protože záporná bilance jednoho roku může být (a často i je) vyrovnávána ze zásob z let minulých. Pro výpočty je použito množství průměrně ukládané do/na půdu. Z nezmineralizovaných organických látek je v půdě humifikováno pouze omezené množství ($<10 \%$). Proto je k vytvoření větší zásoby humusu třeba desetiletí až staletí (NĚMEČEK, SMOLÍKOVÁ, KUTÍLEK, 1990). Ve výsledné bilanci uhlíku je tak kalkulováno s humifikovaným množstvím 10% .

V případě, že by byla pro kultivaci půdy použita bezorebná technologie, mohl by být dle údajů z literatury (DERSCH, BOEHM, 2001; REICOSKY, 1998; VYN, et al., 2006; a další) nezmineralizovaný zbytek v průměru o 30% větší – Tab. 3.3.

Tab. 3.2 Množství uhlíku fixovaného v půdě v závislosti na osevním sledu, výrobní oblasti a variantě hospodaření (seřazeno sestupně)

Varianta	Balance uhlíku				
	Krátkodobě uloženo (měsíce)	Střednědobě uloženo (max. roky)		Dlouhodobě uloženo (desítky, stovky let)	
		průměrně kg C.ha ⁻¹	kg C.ha ⁻¹		kg C.ha ⁻¹
Osevní postup a varianta hospodaření		min	max	min	max
5: ŘVO – tradiční OP	4400	2375	2600	238	260
1: KVO – tradiční OP	3600	1575	1800	158	180
13: OVO – tradiční OP	3300	1275	1500	128	150
17: BVO – tradiční OP	3300	1275	1500	128	150
21: BVO – tržní OP s odvozem slámy	3300	1275	1500	128	150
15: OVO – tržní OP	3200	1175	1400	118	140
6: ŘVO – tradiční OP s odvozem slámy	3000	975	1200	98	120
7: ŘVO – tržní OP	3000	975	1200	98	120
11: ŘVO – ekologický systém	2800	775	1000	78	100
19: BVO – tržní OP	2800	775	1000	78	100
23: BVO – ekologický systém	2800	775	1000	78	100
2: KVO – tradiční OP s odvozem slámy	2750	725	950	73	95
9: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky	2700	675	900	68	90
12: ŘVO – ekologický systém, odvoz slámy	2400	375	600	38	60
3: KVO – tržní OP	2300	275	500	28	50
24: BVO – ekologický systém, odvoz slámy	2300	275	500	28	50
18: BVO – tradiční OP s odvozem slámy	2100	75	300	8	30
14: OVO – tradiční OP s odvozem slámy	2000	-25	200	0	20
16: OVO – tržní OP s odvozem slámy	2000	-25	200	0	20
22: BVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1800	-225	0	-225	0
20: BVO – tržní OP s odvozem slámy	1750	-275	-50	-275	-50
8: ŘVO – tržní OP s odvozem slámy	1700	-325	-100	-325	-100
10: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1400	-625	-400	-625	-400
4: KVO – tržní OP s odvozem slámy	1300	-725	-500	-725	-500

Poznámka:

Zeleně jsou označeny varianty s pozitivním efektem na ukládání uhlíku do půdy

Oranžově jsou označeny varianty s mírně pozitivním efektem na ukládání uhlíku do půdy

Červeně jsou označeny varianty s neutrálním nebo negativním efektem na ukládání uhlíku do půdy

Tab. 3.3 Množství uhlíku fixovaného v půdě v závislosti na osevním sledu, výrobní oblasti a variantě hospodaření při bezorebném zpracování půdy (seřazeno sestupně)

Varianta	Balance uhlíku				
	Krátkodobě uloženo (měsíce)	Střednědobě uloženo (max. roky)		Dlouhodobě uloženo (desítky, stovky let)	
		průměrně kg C.ha ⁻¹	kg C.ha ⁻¹		kg C.ha ⁻¹
Osevní postup a varianta hospodaření		min	max	min	max
5: ŘVO – tradiční OP	5720	3695	3920	370	392
1: KVO – tradiční OP	4680	2655	2880	266	288
13: OVO – tradiční OP	4290	2265	2490	227	249
17: BVO – tradiční OP	4290	2265	2490	227	249
21: BVO – tržní OP s odvozem slámy	4290	2265	2490	227	249
15: OVO – tržní OP	4160	2135	2360	214	236
6: ŘVO – tradiční OP s odvozem slámy	3900	1875	2100	188	210
7: ŘVO – tržní OP	3900	1875	2100	188	210
11: ŘVO – ekologický systém	3640	1615	1840	162	184
19: BVO – tržní OP	3640	1615	1840	162	184
23: BVO – ekologický systém	3640	1615	1840	162	184
2: KVO – tradiční OP s odvozem slámy	3575	1550	1775	155	178
9: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky	3510	1485	1710	149	171
12: ŘVO – ekologický systém, odvoz slámy	3120	1095	1320	110	132
3: KVO – tržní OP	2990	965	1190	97	119
24: BVO – ekologický systém, odvoz slámy	2990	965	1190	97	119
18: BVO – tradiční OP s odvozem slámy	2730	705	930	71	93
14: OVO – tradiční OP s odvozem slámy	2600	575	800	58	80
16: OVO – tržní OP s odvozem slámy	2600	575	800	58	80
22: BVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	2340	315	540	32	54
20: BVO – tržní OP s odvozem slámy	2275	250	475	25	48
8: ŘVO – tržní OP s odvozem slámy	2210	185	410	19	41
10: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1820	-205	20	-205	0
4: KVO – tržní OP s odvozem slámy	1690	-335	-110	-335	-110

Poznámka:

Zeleně jsou označeny varianty s pozitivním efektem na ukládání uhlíku do půdy

Oranžově jsou označeny varianty s mírně pozitivním efektem na ukládání uhlíku do půdy

Červeně jsou označeny varianty s neutrálním nebo negativním efektem na ukládání uhlíku do půdy

Závěr z výpočtů bilance uhlíku v rámci osevních postupů

Kromě osevních postupů číslo 14, 16, 22, 20, 8, 10 a 4 mají všechny projektované osevní postupy (orebně obhospodařované) kladnou uhlíkovou bilanci (Tab. 3.2). To znamená, že by docházelo k poutání C v půdě. Maximálního výsledku je dosaženo v osevním postupu č. 5 (Schéma Řepařská výrobní oblast - tradiční). Osevní postup je založen na bázi Norfolkského osevního postupu (obecný sled plodin: jetelovina – ozim – organicky hnojená okopanina – jařina) a ve vysoké míře je dále využíváno zelené hnojení meziplodinami a zaorávka posklizňových zbytků.

Výsledek je možno ještě umocnit použitím bezorebných technologií, kdy je v půdě navíc fixováno přibližně o 30 % více organické hmoty, resp. uhlíku (DERSCH, BOEHM, 2001). Osevní postup č. 22 (BVO, osevní postup s vyšším podílem řepky ozimé a s odvozem slámy), č. 20 (BVO, „tržní“ osevní postup s odvozem slámy), č. 8 (ŘVO, „tržní“ osevní postup s odvozem slámy), č. 10 (ŘVO, osevní postup s vyšším podílem řepky ozimé a s odvozem slámy) a č. 4 (KVO, „tržní“ osevní postup s odvozem slámy) jsou však i v tomto případě z hlediska poutání uhlíku v půdě nevhodné, protože znamenají zápornou uhlíkovou bilanci. V praxi by to znamenalo uvolňování již zhumifikovaného uhlíku

z půdní zásoby, s maximálním poklesem až o 0,028 % humusu za rok (ztráta cca 725 kg C.ha⁻¹ v osevním postupu č. 4).

Výsledky deficitních osevních postupů v průměru korespondují s výsledky ŠKARDY a DAMAŠKY (1982), kteří ve své práci uvádí snížení obsahu humusu na půdě bez organického hnojení asi o 0,0123 % za rok (přibližně 320 kg C.ha⁻¹ za rok, pozn. autora). Deficitní osevní postupy jsou charakteristické zpravidla malou diverzitou plodin (někdy jen tři druhy), nízkou úrovní hnojení statkovými hnojivými (chybí okopaniny), odvozem slámy obilnin a řepky (energetické využití, podestýlka), absencí nebo nízkým podílem jetelovin a vysokým podílem obilnin.

Ekonomická bilance fixace (uvolňování) uhlíku ve sledovaných osevních postupech

Stanovení „ceny uhlíku“, respektive finanční ohodnocení přínosu nebo ztráty způsobené jeho uložením nebo uvolněním je velmi komplikované a nejednoznačné. Cenu není možné exaktně vypočítat, paušalizovat. Pro různé účely použití je udávána různá cena za měrnou jednotku, přičemž rozpětí cen se pohybuje od jednotek až po stovky €, příp. USD (Tab. 3.4 a Tab. 3.5). Podstatné přitom také je, zda je cena kalkulována pro čistý uhlík či uhlík ve formě CO₂.

Tab. 3.4 Ekonomický benefit snížených emisí uhlíku nebo zvýšené sekvestrace uhlíku (kalkulováno na jednu tunu uhlíku)

Autor	Příjem z redukce uhlíku (\$·t ⁻¹)
Fankhauser a Pierce, 1994	20 - globálně
Nordhaus, 1993 Nordhaus a Yang, 1996	6 až 21 (v roce 2100) - globálně
Brown, 1998	8 až 59 - globálně
Mendelsohn a Neumann, 1998	0 - USA

Poznámka: převzato od TWEETEN, SOHNGEN, HOPKINS, 2007.

Tab. 3.5 Souhrn nákladů na redukci emisí nebo sekvestraci uhlíku (kalkulováno na jednu tunu uhlíku)

Autor	Ekosystém	Cena za tunu uhlíku (\$·t ⁻¹)
Nižší emise		
Decanio, 1996	USA obchodníci	negativní
Sekvestrace uhlíku: lesní ekosystémy a stromové plantáže		
Moulton a Richards, 1990	USA lesní plantáže na okrajové zemědělské půdě	8,5 až 38,29
Adams a kol. 1993	USA, při přechodu ze zemědělské půdy na lesní plantáže	7,4 až 60,75
Parks a Hardie, 1995	USA okrajová zemědělská půda	9 až 10
Sedyo, 1989	Mírné lesní pásmo	3,5
Hoen a Solberg, 1994	Norské lesy	79
Stavins, 1995	37 USA jižních států	méně než 66

Poznámka: převzato od TWEETEN, SOHNGEN, HOPKINS, 2007.

V současnosti se pro různé účely kalkuluje v podmínkách EU obvykle s cenou jedné tuny CO₂ ± 20 € (např. EU, 2007; HAVLÍKOVÁ, 2007 a další). BIELEK (2007) uvádí, že empiricky odhadnuté náklady na sekvestraci jedné tuny uhlíku do půdy představují 10 – 25 USD (v Evropě 20 €). Jistou možností pro čitelné vyjádření ceny uhlíku, respektive CO₂ je vycházet z ceny emisních povolenek. Vzhledem k tomu, že cena

emisních povolenek je vztažena k CO₂ a ne k čistému uhlíku, byl by výpočet v rámci osevních postupů poměrně komplikovaný. Různé plodiny spotřebují při tvorbě biomasy odlišné množství CO₂ na jednotku produkce. Při převodu C na CO₂ by tak musela být kalkulována množství spotřebovaného CO₂ pro každou plodinu zvlášť a poté proveden součet v rámci konkrétního osevního postupu. Získané množství spotřebovaného CO₂ by potom muselo být vynásobeno průměrnou cenou emisní povolenky (pro rok 2005 byla 613 Kč a pro rok 2006 byla 486 Kč za tunu CO₂ - Energetický regulační úřad, 2007).

Pro výpočet přínosu, respektive újmy konkrétního osevního postupu (Tab. 3.6 a Tab. 3.7) byla použita tzv. „společenská cena“ jedné tuny uhlíku, používaná Working Group II Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) z roku 2007. Uvedená cena je používána zejména pro účely ekonomických kalkulací dopadů klimatické změny a činí 43 USD, tj. cca 764 Kč. Vzhledem k autoritě IPCC v oblasti hodnocení vlivu klimatické změny na životní prostředí lze předpokládat, že se jedná o údaje relevantní a uznávané.

Tab. 3.6 Efekt osevního postupu vyjádřený v Kč na ha za rok (seřazeno sestupně)

Varianta	Finanční efekt (přínos + nebo ztráta -)				
	Krátkodobě uloženo (měsíce)	Střednědobě uloženo (max. roky)		Dlouhodobě uloženo (desítky, stovky let)	
Osevní postup a varianta hospodaření	průměrně Kč.ha ⁻¹	Kč.ha ⁻¹		Kč.ha ⁻¹	
		min	max	min	max
5: ŘVO – tradiční OP	3362	1815	1986	182	199
1: KVO – tradiční OP	2750	1203	1375	121	138
13: OVO – tradiční OP	2521	974	1146	98	115
17: BVO – tradiční OP	2521	974	1146	98	115
21: BVO – tržní OP s odvozem slámy	2521	974	1146	98	115
15: OVO – tržní OP	2445	898	1070	90	107
6: ŘVO – tradiční OP s odvozem slámy	2292	745	917	75	92
7: ŘVO – tržní OP	2292	745	917	75	92
11: ŘVO – ekologický systém	2139	592	764	60	76
19: BVO – tržní OP	2139	592	764	60	76
23: BVO – ekologický systém	2139	592	764	60	76
2: KVO – tradiční OP s odvozem slámy	2101	554	726	56	73
9: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky	2063	516	688	52	69
12: ŘVO – ekologický systém, odvoz slámy	1834	287	458	29	46
3: KVO – tržní OP	1757	210	382	21	38
24: BVO – ekologický systém, odvoz slámy	1757	210	382	21	38
18: BVO – tradiční OP s odvozem slámy	1604	57	229	6	23
14: OVO – tradiční OP s odvozem slámy	1528	-19	153	0	15
16: OVO – tržní OP s odvozem slámy	1528	-19	153	0	15
22: BVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1375	-172	0	-172	0
20: BVO – tržní OP s odvozem slámy	1337	-210	-38	-210	-38
8: ŘVO – tržní OP s odvozem slámy	1299	-248	-76	-248	-76
10: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1070	-478	-306	-478	-306
4: KVO – tržní OP s odvozem slámy	993	-554	-382	-554	-382

Poznámka:

Zeleně jsou označeny varianty s pozitivním ekonomickým efektem při ukládání uhlíku do půdy

Oranžově jsou označeny varianty s mírně pozitivním ekonomickým efektem při ukládání uhlíku do půdy

Červeně jsou označeny varianty s neutrálním nebo negativním ekonomickým efektem při ukládání uhlíku do půdy

Tab. 3.7 Efekt osevního postupu při bezorebném zpracování půdy vyjádřený v Kč na ha za rok (seřazeno sestupně)

Varianta	Finanční efekt (přínos + nebo ztráta -)				
	Krátkodobě uloženo (měsíce)	Střednědobě uloženo (max. roky)		Dlouhodobě uloženo (desítky, stovky let)	
	průměrně Kč.ha ⁻¹	Kč.ha ⁻¹		Kč.ha ⁻¹	
min		max	min	max	
5: ŘVO – tradiční OP	4370	2823	2995	282	299
1: KVO – tradiční OP	3576	2028	2200	203	220
13: OVO – tradiční OP	3278	1730	1902	173	190
17: BVO – tradiční OP	3278	1730	1902	173	190
21: BVO – tržní OP s odvozem slámy	3278	1730	1902	173	190
15: OVO – tržní OP	3178	1631	1803	163	180
6: ŘVO – tradiční OP s odvozem slámy	2980	1433	1604	143	160
7: ŘVO – tržní OP	2980	1433	1604	143	160
11: ŘVO – ekologický systém	2781	1234	1406	123	141
19: BVO – tržní OP	2781	1234	1406	123	141
23: BVO – ekologický systém	2781	1234	1406	123	141
2: KVO – tradiční OP s odvozem slámy	2731	1184	1356	118	136
9: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky	2682	1135	1306	113	131
12: ŘVO – ekologický systém, odvoz slámy	2384	837	1008	84	101
3: KVO – tržní OP	2284	737	909	74	91
24: BVO – ekologický systém, odvoz slámy	2284	737	909	74	91
18: BVO – tradiční OP s odvozem slámy	2086	539	711	54	71
14: OVO – tradiční OP s odvozem slámy	1986	439	611	44	61
16: OVO – tržní OP s odvozem slámy	1986	439	611	44	61
22: BVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1788	241	413	24	41
20: BVO – tržní OP s odvozem slámy	1738	191	363	19	36
8: ŘVO – tržní OP s odvozem slámy	1688	141	313	14	31
10: ŘVO – OP s vyšším podílem řepky, odvoz	1390	-157	15	-157	0
4: KVO – tržní OP s odvozem slámy	1291	-256	-84	-256	-84

Poznámka:

Zeleně jsou označeny varianty s pozitivním ekonomickým efektem při ukládání uhlíku do půdy

Oranžově jsou označeny varianty s mírně pozitivním ekonomickým efektem při ukládání uhlíku do půdy

Červeně jsou označeny varianty s neutrálním nebo negativním ekonomickým efektem při ukládání uhlíku do půdy

Návrh opatření pro zvýšení množství uhlíku sekvastrovaného v půdě při pěstování polních plodin

Na nežádoucí růst množství uhlíku emitovaného v agroekosystému mají vliv: intenzivní obdělávání půdy, eroze půdy, hnojení dusíkem, odvodnění a vápnění půd.

Pro zvýšení množství ukládaného uhlíku v rámci zemědělského půdního fondu jsou tak obecně zpravidla doporučována následující opatření:

- redukované zpracování půdy (bezorebné systémy, minimalizace),
- změna osevního postupu (zvýšení zastoupení leguminóz, víceletých píceňin),
- pěstování plodin pro účely fytoenergetiky,
- zapravování organických hnojiv (zeleného hnojení, slámy, kompostů, mulčování) do půdy,
- omezení období „černého úhoru“, použití vysoce výnosných odrůd, precizní zemědělství s vyváženým poměrem výnos x výživa (POST, et. al., 2004)
- konzervace půdy - zatravnění orné půdy,
- konzervace půdy – zalesnění, ať už rychle rostoucími dřevinami nebo dlouhodobé zalesnění.

3.1.2 Srovnání ztráty a produkce uhlíku pro různé typy ekosystémů [8]

(předběžné výsledky z projektu CzechCarbo „Studium cyklu uhlíku v terestrických ekosystémech České republiky“ – DATOVÝ PODKLAD MŽP)

Vědecké cíle projektu CzechCarbo:

- zkoumat schopnost základních typů ekosystémů v České republice vázat CO₂ z ovzduší,
- vypracovat scénáře očekávané klimatické změny pro území České republiky zkoumat závislost procesů cyklu uhlíku na klimatických podmínkách a dalších podmínkách prostředí,
- zkoumat možnosti cílených hospodářských zásahů člověka na zvýšení schopnosti ekosystémů poutat CO₂,
- poznat současný podíl krajiny na celkové bilanci CO₂ a umět předpovídat její budoucí vývoj, a to v závislosti na způsobu využívání území.

Sociálně - ekonomické cíle projektu:

- navrhnout vhodné postupy hospodaření v krajině (lesnictví, zemědělství) za účelem udržení a případně zvýšení kapacity krajiny vázat CO₂,
- odhadnout sociální, kulturní a ekonomické důsledky v souvislosti se změnami krajinných struktur a funkcí.

Plnění mezinárodních závazků:

- vypracovat metodické postupy oceňování podílu krajiny na bilanci uhlíku,
- naplnění požadavků Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu a Kjótského protokolu: věrohodné stanovení emisní bilance ze sektoru zahrnujícího využívání území a lesnictví (LULUCF).

Politické cíle:

- poskytnout vědecké podklady pro politická rozhodnutí o přijímání opatření včetně státních pobídkových dotací ke zvyšování schopnosti krajiny vázat CO₂.

V rámci této studie byly z hlediska ztráty a produkce uhlíku hodnoceny následující ekosystémy:

- agroekosystém,
- mokřadní ekosystém,
- horská louka,
- lesní ekosystém.

U zmíněných ekosystémů probíhají také terénní měření produkce CO₂.

Ztráty uhlíku respirací

Ztráty uhlíku respirací jsou závislé na množství živých organismů v ekosystému, množství organické hmoty v půdě a na teplotě ekosystému. Významné rozdíly mezi ekosystémy v respiraci byly nalezeny v jarních měsících, i když rozdíly teplot mezi ekosystémy byly v jarních měsících nižší ve srovnání s letním obdobím (Obr. 3.25).

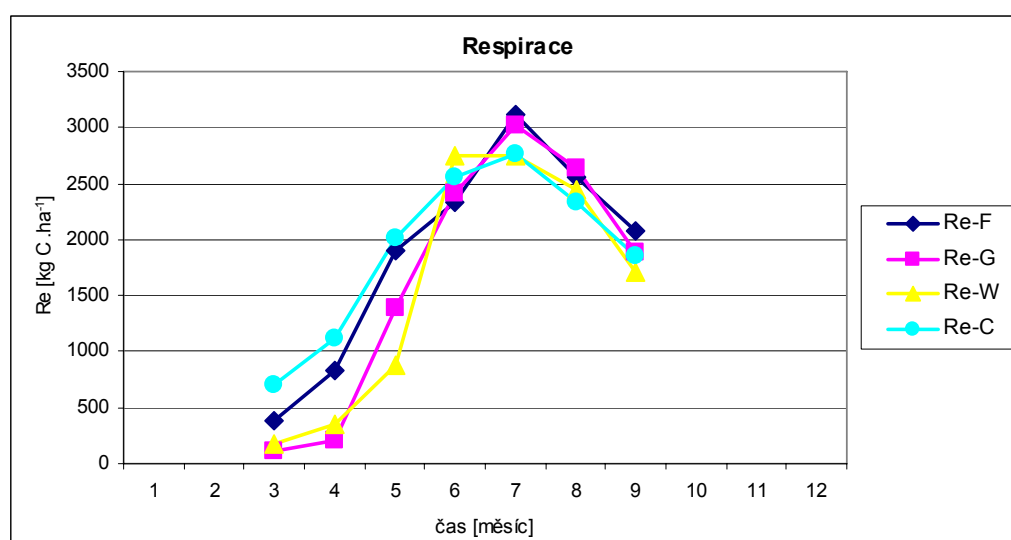
Jaro

- Nejvíce respiroval agroekosystém - na této lokalitě nebyla sněhová pokrývka a difúze CO₂ nebyla tlumena sněhovou pokrývkou.
- V mokřadním ekosystému difúzi CO₂ bránila především vyšší hladina spodní vody.

- V horských podmínkách ležel sníh až do konce dubna, tudíž louka byla celá pokryta sněhem.
- V lesním ekosystému se větší měrou na respiračních ztrátách podílela nadzemní biomasa porostu.

Pozdní léto

Převažovala respirace horských ekosystémů. Výsledkem byla ztráta uhlíku za období březen až září nejmenší u mokřadního ekosystému (11,1 t uhlíku na hektar), o málo vyšší byla u horské louky (11,7 t C ha⁻¹) a u lesního ekosystému (13,2 t C ha⁻¹) byla srovnatelná s polním ekosystémem (13,4 t C ha⁻¹). Tato shoda je dána protichůdnou rozdílností teploty ekosystému a množstvím organické hmoty v ekosystému.



Obr. 3.25 Respirace pro jednotlivé ekosystémy (F - les, G - louka, W - mokřad, C – agroekosystém)

Výsledky měření respirace různých ekosystémů na vrcholu vegetační sezóny (v červnu) a na jejím konci (v říjnu) udává Tab. 3.8. Vysoce úživný biotop na organickém podkladu, vykazoval extrémně vysoké hodnoty půdní respirace na vrcholu vegetačního období (v rozmezí $55 \pm 26 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ve srovnání s $31 \pm 18 \mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ na rašelinných loukách a 20 ± 16 na loukách na minerální půdě) (Tab. 3.8). Na konci vegetačního období byla na rašelinných loukách také vyšší respirace než na srovnávaných lokalitách, avšak hodnoty byly na všech třech lokalitách nižší a rozdíly mezi nimi nebyly tak výrazné.

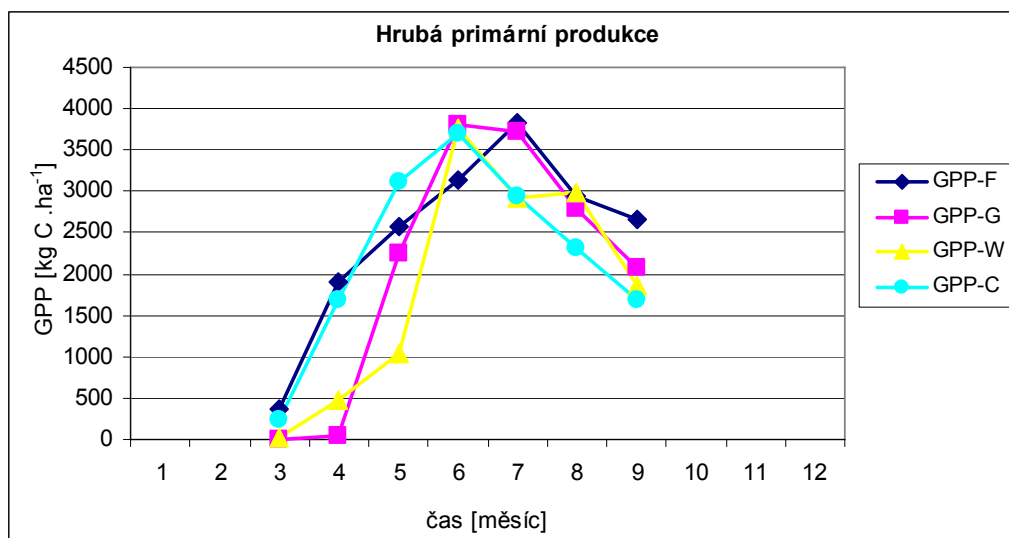
Tab. 3.8 Výsledky půdní respirace na vrcholu vegetační sezóny

Lokalita	$\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
organická půda s vysokou úživností v důsledku intenzivního organického hnojení	55 ± 26
rašelinné louky (lokalita s organickou půdou, nehnojená, sečená jednou ročně)	31 ± 18
louka na minerální půdě v nivě řeky	20 ± 16

Hrubá primární produkce

Hrubá primární produkce závisí především na množství (ploše) asimilačního aparátu a na dopadající radiaci (Obr. 3.26). V průběhu vegetační sezóny se množství aktivní asimilační plochy významně mění. Zde se výrazně odlišuje jehličnatý porost, který má

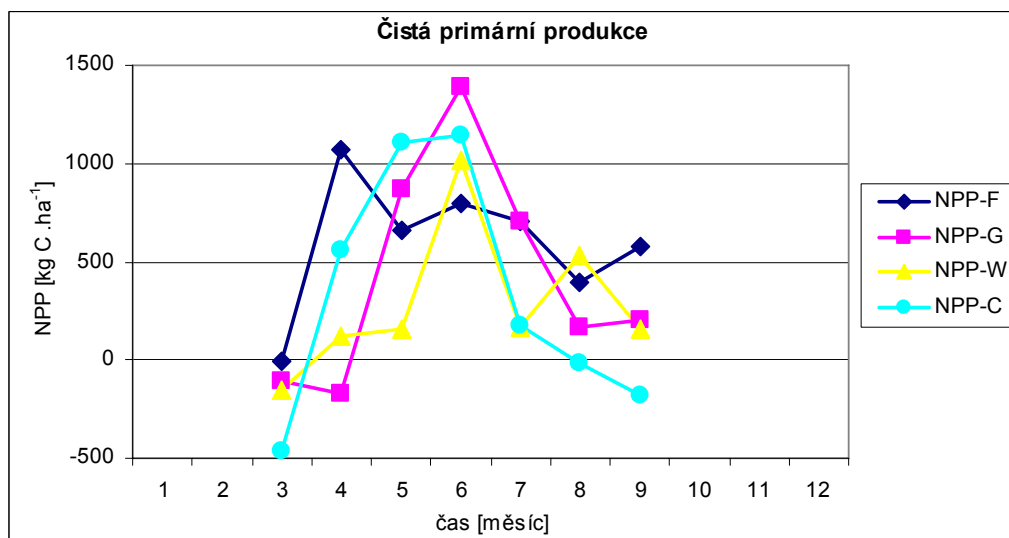
připravený asimilační aparát na produkci hned po období vegetačního klidu a porost je produktivní, i když ještě na zemi je sněhová pokrývka. S přirůstem nových letorostů asimilační aktivita smrkového porostu poklesla, protože ještě ne zcela vyvinuté letorosty zastínily starší ročníky jehlic. U ostatních ekosystémů byl patrný strmý nárůst hrubé primární produkce s nárůstem asimilačních orgánů. Lze konstatovat, že maximální asimilace byla u všech typů ekosystémů srovnatelná. Celková produkce díky déle trvající aktivitě činila u lesního ekosystému 17,4 t C ha⁻¹, na poli 15,7 t C ha⁻¹, na louce 14,7 t C ha⁻¹ a u mokřadu 13,0 t C ha⁻¹.



Obr. 3.26 Hrubá primární produkce pro jednotlivé ekosystémy (F - les, G - louka, W - mokřad, C - agroekosystém)

Čistá primární produkce

Čistá primární produkce jako výsledek asimilace a respiračních ztrát byla v daném období nejvyšší u lesního ekosystému (4,2 t C ha⁻¹), i když v nejproduktivnějším období roku (květen, červen) byla primární produkce u lesního ekosystému ve srovnání s ostatními ekosystémy výrazně nižší (Obr. 3.27). Čistá primární produkce za dané období potom u horského travního ekosystému činila 3,1 t C ha⁻¹, u agro-ekosystému 2,3 t C ha⁻¹ a u mokřadu 2,0 t C ha⁻¹.



Obr. 3.27 Čistá primární produkce pro jednotlivé ekosystémy (F - les, G - louka, W - mokřad, C - agroekosystém)

V Tab. 3.9 jsou uvedeny výsledky respirace, hrubé primární produkce a čisté primární produkce za vegetační období březen až říjen pro vybrané typy ekosystémů.

Tab.3. 9 Vyhodnocení respirace, hrubé primární produkce a čisté primární produkce za období březen až říjen pro vybrané typy ekosystémů

Ekosystém	respirace	hrubá primární produkce	čistá primární produkce
	tC.ha ⁻¹		
mokřadní ekosystém	11,1	13,0	2
horské louky	11,7	14,7	3,1
lesní ekosystém	13,2	17,4	4,2
agroekosystém	13,4	15,7	2,3

Destruktivní odběry nadzemní biomasy

Odběry nadzemní biomasy proběhly ve čtyřech hlavních typech porostů na Mokřých Loukách u Třeboně, které se vyskytují v oblastech s různým zásobením vodou: porost s dominantním pýrem plazivým (nejsušší), psárkou luční, chrasticí rákosovitou a ostřicí štíhlou (nejvlhčí). Porosty ze sušších, kosených částí Mokřých luk vykazovaly vysokou nadzemní biomasu svědčící o vysoké produkci (Tab. 3.10). Tato vysoká produkce je vysvětlena intenzivním organickým hnojením této části luk. Porost ostřic v nekosené dlouhodobě zaplavené části luk měl naopak nadzemní biomasu velmi nízkou (hodnoty zjištěné v minulosti z blízké lokality se pohybovaly od 500 do 800 g.m⁻²). Vysvětlením této nízké biomasy je stav porostu, který je v degenerativní fázi, trsy ostřic mají jen málo zelené biomasy a plochu mezi nimi zaujímá z cca 50-80% volná půda.

Tab. 3.10 Souhrnné hodnoty maximální nadzemní biomasy (g.m⁻²) u hlavních typů porostů na Mokřích Loukách u Třeboně v r. 2005

Rostl. dominanta	1.seč	2. seč	celkem
Pýr plazivý	630	665	1295
Psárka luční	656	579	1235
Chrastice rákosovitá	943	513	1456
Ostřice štíhlá			217

Dosavadní výsledky z lučních ekosystémů ukazují, že v horizontu Adn, který je považován za nejvíce důležitý z hlediska akumulace kořenových systémů, je variační koeficient na opuštěné (nekosené) louce vyšší, než na louce kosené (53,1 versus 23,6 %). Naopak oglejený kambický horizont Bvg v hloubce do 42 cm, kde končí husté prokořenění, vykazoval vyšší CV na mírně kosené louce (55,4 versus 35,6 %).

Konkrétní příklad změny fixace uhlíku krajinou ČR v roce 2006

Projekt CzechCarbo se snaží současně době odpovědět i na otázku po přesném odhadu mitigační fixace uhlíku naší krajinou (resp. krajinnými segmenty na území ČR). Abychom mohli alespoň přibližně odhadnout trend současné fixace uhlíku a zhruba vyčíslit jeho přínos k mitigaci klimatické změny, vyjdeme zjednodušeně z údajů o zalesňování a zatravnění orné půdy v roce 2006. V tomto roce došlo (podle Zelené zprávy o stavu zemědělství za rok 200) v rámci programu Agroenvironmentální opatření (AEO) k zatravnění 13,95 tisíc hektarů orné půdy a k zalesnění 1,2 tisíc hektarů zemědělské půdy. Vyjdeme-li z výsledků současného výzkumu (viz. výše) a použijeme-li jako průměrnou hodnotu fixace uhlíku plodinami na orné

půdě čistou primární produkci 2,3 t uhlíku / ha a 3,1 t / ha trvalých travních porostů (TTP), resp. 4,2 t / ha smíšeného lesa, pak v roce 2006 přispěl program AEO ke zvýšení fixace vzdušného uhlíku do půdy o 25 110 tun za zvýšení výměry TTP a 3 480 tun za zalesňování zemědělské půdy. Aplikací přibližné hodnoty 764 Kč za tunu trvale poutaného uhlíku v ekosystému, vyjádřené ve výše uvedených souvislostech, můžeme říci, že zmíněné dva segmenty AEO programu přispěly v roce 2006 k celosvětovému mitigačnímu úsilí částkou 2 658 720 Kč (zalesňování) a 19 184 040 (zatravnění), tedy celkem téměř 22 miliony Kč. Vezmeme-li v potaz také množství nesklizené biomasy z nových ploch TTP, která je odhadována na 1,6 t uhlíku / ha (nadzemní biomasu čerstvě zalesněných ploch opomeneme), je třeba tuto částku adekvátně zvýšit o dalších 17 052 480 Kč (22 320 t), tedy celkem 38,9 milionů Kč.

Závěr

Z předběžných výsledků projektu CzechCarbo vyplývá, že nejvýraznější „pohlčovač“ atmosférického CO₂ je lesní porost, přičemž síla pohlcování závisí na mnoha faktorech, zahrnujících podmínky prostředí, stav a strukturu porostu a způsoby obhospodařování.

Dále lze říci, že se zvyšující se dostupností vody stoupá schopnost pohlcovat CO₂ také u lučních ekosystémů. Pro distribuci uhlíku ve vodních ekosystémech je kritický rozvoj fytoplanktonu, který rovněž váže většinu uhlíku.

Ve spojitosti s mitigačními opatřeními je třeba upozornit na uhlíkovazný potenciál krajiny (resp. typů jejího využívání) a zvážit případné ohodnocení péče o zvláště hodnotné (tj. uhlík poutající) části krajiny ve smyslu shora uvedených souvislostí.

Mitigace - závěry

Analýza koloběhu uhlíku v zemědělském ekosystému naznačuje značné rozdíly v potenciálu plodin při ukládání uhlíku do půdy. Ze sledovaných plodin (sledováno celkem 49 variant) do půdy ukládaly nejméně uhlíku brambory v ekologickém systému pěstování. Nejvíce uhlíku fixovala kukuřice na zrno v kukuřičné výrobní oblasti. Druhové rozdíly se potom promítají i do bilancí uhlíku v rámci osevních postupů (sledováno 24 variant). Značné diference v množství fixovaného uhlíku se projevuje také v časovém aspektu. Krátkodobě (měsíce, max. roky) je plodinami do půdy ukládáno značné množství uhlíku (až 4,4 t.ha⁻¹ ročně). Narozdíl od srovnatelného množství uhlíku poutaného v lesním ekosystému (4,1 t.ha⁻¹ ročně) je však uhlík z orné půdy mineralizací brzy emitován zpět do atmosféry. Proto mají z dlouhodobého hlediska význam zejména údaje o množství uhlíku v orné půdě humifikovaného (max. cca 400 kg C.ha⁻¹.rok⁻¹).

S použitím aktuálního ocenění jedné tuny uhlíku, 43 USD tj. cca 764 Kč (IPCC 2007), byl vypočten finanční přínos, respektive ztráta, u konkrétního osevního postupu. V krátkodobém horizontu (měsíce, max. roky) se přínos v závislosti na variantě (osevním postupu) pohybuje od 993,- Kč.ha⁻¹.rok⁻¹ do 3362 Kč.ha⁻¹.rok⁻¹. V dlouhodobém horizontu desítek nebo stovek let činí každoroční přínos (+), resp. ztráta (-) poutáním uhlíku do půdy +199,- Kč.ha⁻¹ až -554,- Kč⁻¹.

Uhlíková bilance a tím i finanční efekt fixace uhlíku do půdy polními plodinami může být vylepšen redukováním zpracováním půdy (cca o 30 %), precizním zemědělstvím, zvýšením podílu organicky hnojených plodin, plodin hluboko kořenících a plodin zanechávajících velké množství posklizňových zbytků. Dále maximálním využíváním organických hnojiv a omezení období, kdy jsou pozemky bez vegetace. V rámci uvádění půdy do klidu dochází ke zvýšenému poutání uhlíku do půdy při zatravnění a zalesňování, vyšší význam by proto měl být z pohledu snižování množství CO₂ v atmosféře přiznán trvalým travním a lesním porostům.

Seznam použité literatury pro zpracování této kapitoly je obsahem PŘÍLOHY 3.

4 ZÁVĚR A DOPORUČENÍ DALŠÍHO VÝZKUMU

Výzkum provedený v rámci této studie prokázal, že naše znalosti v oblasti předpovědi klimatické změny a jejích vlivů na rozličné složky života na Zemi mají stále pouze omezené obzory. Pomineme-li samozřejmou nutnost výzkumu precizních nástrojů pro predikci budoucího stavu klimatu (tj. globální či regionální cirkulační modely v kombinaci s pravděpodobnými emisními scénáři), je nezbytné zaměřit podporu na výzkum dalších (dosud neprávem opomíjených) aspektů této komplexní a rámcem mnoha vědních oborů přesahující problematiky. Podle autorů této zprávy by se měla věnovat zvláštní pozornost zejména následujícím tématům:

Snižování obsahu radiačně aktivních plynů v atmosféře

Snížením obsahu radiačně aktivních (skleníkových) plynů v atmosféře je podle výsledků četných studií možno významně zmírnit průběh klimatické změny. Snižování emisí těchto plynů by se mělo okamžitě stát světovou i národní prioritou. Nezbytný vývoj opatření pro snížení emisí skleníkových plynů se přirozeně týká také sektoru zemědělství.

Nová a efektivnější adaptační opatření

- Nástroje pro předpověď a monitoring sucha v ČR
- Predikce potenciálních budoucích škůdců a chorob, příprava na boj proti nim
- Doporučení odrůd pro pěstování v „nových“ výrobních oblastech
- Doporučení změny druhového složení lesních společenstev

Smíříme-li se faktem, že klimatická změna je nezvratná (jakkoli můžeme polemizovat o její rychlosti či intenzitě), musíme také přijmout nutnost optimalizace a vývoje nových adaptačních opatření.

Zvýšený výskyt sucha bude v blízké budoucnosti pravděpodobně nejvýznamněji ovlivňovat zemědělství v České republice. Je proto logické, že pozornost by měla být věnována nejen adaptačním opatřením proti suchu (závlahám), ale především způsobům sucha v dostatečném předstihu předpovídat. Možnosti predikce sucha v podmínkách ČR jsou v současnosti velmi omezeny, zatímco např. v USA je již systém monitoringu a předpovědi sucha používán. Jako ideální se jeví vývoj nástroje pro sledování tohoto fenoménu společně s dalšími státy středoevropského regionu (Rakousko, Polsko, Slovensko).

Se změněným klimatem se objeví nové choroby a škůdci zemědělských rostlin, případně se změní počty generací a tím i škodlivost v současnosti se vyskytujících škodlivých organismů. Tato studie ilustrovala toto nebezpečí dostatečně (kap. 2.2), nicméně otázka připravenosti na budoucí stav zůstává výzvou pro další výzkum.

Ačkoli můžeme již dnes s větší či menší přesností odhadnout nové rozložení výrobních oblastí, také doporučení vhodných odrůd či druhů zemědělských plodin pro pěstování (zejména v „nových“ výrobních oblastech) je třeba podrobit pečlivé analýze. Analogicky k tomuto bodu pak přibývá v sektoru lesnictví nutnost stanovení nejvhodnějších druhů dřevin pro pěstování ve změněných klimatických podmínkách.

Pro provedení optimalizace či pro vývoj některých nových návrhů adaptačních opatření je třeba zpracovat řadu přípravných studií (např. posouzení vlivu protierozních opatření na snižování škod záplavami, či jejich vlivu na zvyšování hladiny podzemních vod, atd.). Také tento výzkum by měl být podpořen.

Zvláštním bodem zůstává potřeba výzkumu vlivu změny klimatu na další krajinné složky České republiky (např. na biodiverzitu).