

DETERMINATION OF THE AGROCLIMATICAL NICHE OF THE EUROPEAN CORN BORER (*OSTRINIA NUBILALIS*)

VYMEZENÍ AGROKLIMATICKÉ NIKY ZAVÍJEČE KUKUŘIČNÉHO (*OSTRINIA NUBILALIS*)

Kocmánková E., Žalud Z., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Muška, F.

Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika

ABSTRACT

The aim of the project is to create a model enabling monitoring of the pest's life cycle, and assessment of risk of bivoltine population establishment under the expected climate conditions. The European corn borer's development is known to be closely correlated with daily air temperature and with other climate variables. Climatic parameters are therefore used in order to predict potential geographical distribution by both tested tools i.e. CLIMEX or ECAMON. These models allow quantifying the climate suitability for the pest's development and occurrence at given location. In the presented study we used meteorological data for the 1961 – 2000 period from 45 meteorological stations in the Czech Republic. The data were later modified according estimates based on combination of three SRES emission scenarios and two global circulation models. Results were subsequently visualized using Geographical Information Systems software GIS and under all climate change scenarios we noted marked shift of pests' potential niche to higher altitudes thus predicting increase of the infestation pressure during first half of this century.

Key words: *Ostrinia nubilalis*, CLIMEX, ECAMON, climate conditions, geographical distribution

ABSTRAKT

Cílem projektu je vytvoření modelu umožňujícího monitoring životního cyklu škůdce a v souvislosti s oteplením klimatu také vymezení oblastí ohrožených výskytem jeho druhé generace. Vývoj zavíječe kukuřičného je úzce spjat s denními teplotami vzduchu a dalšími klimatickými proměnnými. Klimatické parametry byly použity k odhadu geografické distribuce druhu stanovené pomocí dvou simulačních programů – CLIMEX a ECAMON. Tyto modely umožňují kvantifikovat vhodnost klimatu pro vývoj a rozšíření škůdce na dané lokalitě. V projektu byla jako vstupní data použita meteorologická data pro období 1961 – 2000 na 45 stanicích pro území celé ČR. Tato data byla posléze upravena na základě kombinace tří SRES emisních scénářů a dvou GCM modelů. Výsledky byly následně zpracovány s použitím GIS a na základě scénářů

klimatické změny. Byl zaznamenán posun potenciální niky škůdce do vyšších nadmořských výšek, což naznačuje zvýšení tlaku škůdce během první poloviny tohoto století.

Klíčová slova: *zavíječ kukuřičný*, CLIMEX, ECAMON, klimatické podmínky, geografická distribuce

ÚVOD

Jedním z nejvýznamnějších faktorů limitujících dosažení maximálního výnosu v provozních podmínkách je výskyt chorob a škůdců (Oerke *et al.*, 1995). Významným faktorem určujícím intenzitu a rozšíření škodlivých činitelů jsou celkové klimatické podmínky lokality a rovněž průběh počasí v rámci dané sezóny. V současnosti je možné změně klimatických podmínek věnována mimořádná pozornost a riziko dopadů těchto změn je vnímáno nejenom jako hrozba pro řízené agrosystémy, ale zároveň jako vědecká výzva pro studium těchto dopadů v období ovlivněném globální změnou klimatu (IPCC, 2001a). Presentovaný příspěvek se zabývá škůdcem kukuřice seté – zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*, Hübner, 1796) jednak proto, že se jedná o nejvýznamnějšího škůdce této plodiny, protože jeho vývoj je značně závislý na meteorologických charakteristikách dané sezóny a současně existují na území ČR dostatečná data o charakteru jeho výskytu.

Zavíječ je běžným druhem nejen v Evropě (s výjimkou severních oblastí), ale vyskytuje se i v severní Africe, v Egyptě, Malé Asii, Japonsku a Indii. Na počátku 20. století byl zavlečen do Spojených států, kde byl poprvé nalezen blízko Bostonu a postupně se šířil po středozápadní kukuřičné oblasti a východní Kanadě. Nyní je rozšířen až ke Skalistým horám v Kanadě i Spojených státech. (Capinera, 2001, Miller, 1956) a patří jednoznačně k ekonomicky nejvýznamnějším škůdcům. Zavíječ má velmi široký rozsah hostitelských rostlin. Největší škody způsobuje na kukuřici a konopí, ale škodí značně i na prosu a čiroku, méně na chmelu, cukrovce, fazolích, slunečnicích, bramborách, jirínách, chryzantémách, astrách apod. Z plevelů napadá přednostně černobýl (*Artemisia vulgaris*), dále pak laskavec (*Amaranthus*), řepěň (*Xanthium*) atd. Housenky škodí bezprostředně tím, že vyžírají dřev lodyh a větve kukuřičných palic apod., druhotně tím, že svým žírem otvírají brány fusariovým a jiným houbovým infekcím. Rostliny silněji napadené se především v kombinaci se silnějším větrem snadno lámou. Nebezpečnost tohoto škůdce je podporována jeho polyfágií a schopností snadného přizpůsobení se různým hospodářsko-ekologickým podmínkám (Miller, 1956).

V závislosti na klimatických podmínkách je zavíječ schopen vytvořit jednu, ale i více generací. Např. v severní Americe je počet generací závislý na oblasti výskytu kdy na severní hranici areálu se jedná o jednogenerační populace zatímco na jihovýchodě se vyskytují až 4 generace ročně. V podmínkách ČR se částečná druhá generace vyskytuje jen zcela výjimečně na Slovensku a to pouze v obzvláště teplých vegetačních sezónách. Dle Bírové, 1984 změna jednogeneračního zavíječe na dvougeneračního může být způsobena genetickou přeměnou nebo

vlivem dobré výživy a vhodných podmínek, kdy může dojít k vyloučení fenoménu diapauzy dorostlých housenek. Jedna z prvních studií zabývající 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 dvougenerační. Biologický cyklus škůdce je však silně ovlivněn i délkou dne, resp. délkou noci a zeměpisnou šířkou (Onstad a Brewer, 1996). Procentický podíl larev, které vstupují do diapauzy během léta ovlivňuje nejen počet generací, ale určuje i velikost následující populace a celkovou velikost škod. V současnosti na území ČR prakticky celá larvální populace vstupuje do diapauzy pravděpodobně z důvodu fotoperiodismu, který limituje výskyt druhé generace, jak je možné odvodit z řady prací z území USA, např. Onstad, Brewer (1996). V podmínkách ČR se jako klíčové jeví práce slovenských kolegů Bírové (1984) a především Cagáně (1998), Cagáně *et al.* (2000) a Tancika a Cagáně (2004). Podle Cagáně (1998) existuje řada nepřímých důkazů, že fotoperiodismus limituje výskyt druhé generace i v podmínkách střední Evropy obdobně jako v USA – výskyt alespoň několika jedinců druhé generace je podle tohoto autora vysoce pravděpodobný, pokud je délka dne mezi východem a západem slunce alespoň 15 h 30 min v době, kdy probíhá vývoj 4. larválního stádia. Očekávané zvýšení teploty 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.

Cílem příspěvku je objasnit nejen podmínky výskytu zavíječe v aktuálním klimatu, ale pokusit se odhadnout horizont možného dosažení dvougeneračního vývojového cyklu a vymezit zranitelné oblasti v rámci ČR. Jako nástroje pro tyto odhady nám poslouží simulační programy CLIMEX a ECAMON. Na základě výše jmenovaných informací o nárocích druhu na podmínky prostředí a dostatečného množství vstupních dat (výskytu zavíječe v historickém období až po současnost, klimatických dat a dalších nutných databází) jsou programy CLIMEX a ECAMON schopny stanovit potenciální rozšíření zavíječe kukuřičného v očekávaných klimatických podmínkách.

MATERIÁL A METODIKA

CLIMEX

Ke stanovení potenciální geografické distribuce zavíječe kukuřičného na území ČR byl použit simulační program CLIMEX verze 2.0 z roku 2001, přičemž první verze byla vyvinuta v australském CSIRO Entomology v roce 1985. Tento zjednodušený dynamický model umožňuje simulaci procesů závislých na klimatu, jenž určují relativní četnost, sezónní proměnlivost v počtu

a geografickou distribuci druhu. CLIMEX je založený na předpokladu, že znalost lokality obývané určitým druhem, dovoluje odvození klimatických podmínek, které je druh schopen tolerovat. Jinými slovy CLIMEX dokáže napodobit mechanismy, které limitují geografickou distribuci druhů, určují jejich fenologii v průběhu ročních období a v menší míře také určí relativní četnost těchto druhů. CLIMEX umožňuje stanovit potenciální geografickou distribuci a sezónní četnost druhů v závislosti na klimatu.

CLIMEX je použitelný ve třech různých funkčních variantách: Compare Locations, Compare Years a Match Climates. V Compare Locations je porovnáván vliv klimatu na druhy různých lokalit, zatímco funkce Compare Years porovnává klimatické podmínky jedné lokality v průběhu určité časové periody. Třetí funkce - Match Climates - srovnává dlouhodobá průměrná meteorologická data pro každou vybranou lokalitu s meteorologickými daty jedné konkrétní lokality a výstupem je pak klimatický srovnávací index, jenž vyjadřuje klimatickou podobnost srovnávaných lokalit, výsledek je použitelný např. pro stanovení risku introdukce druhů do nových oblastí.

V tomto projektu použitá funkce Compare Locations vyžaduje jako vstupní data meteorologickou databázi stávající z dlouhodobých (měsíčních) průměrných klimatických dat pro vybrané lokality (minimální a maximální teplota vzduchu, srážky a relativní vlhkost vzduchu) (Obr. 1) a jednoduchou charakteristiku modelovaného druhu skládající se ze zadání prahových hodnot klimatických prvků (teplota, vlhkost, denní délka, počet denních stupňů pro dokončení jedné generace, ...), které jsou optimální pro vývoj daného druhu (Obr. 2). Meteorologická databáze byla sestavena z údajů, jimiž disponuje řešitelské pracoviště. Jedná se o hodnoty z 45 klimatologických stanic z období 1961 – 2000.

Určení hraničních hodnot pro vývoj populace zavíječe v centrální Evropě bylo obtížné z důvodu nedostatku experimentálních dat, proto byly použity teplotní prahy definovány modelem pro výpočet denních stupňů podle Brown et al., 1982 a Madison et al. (1996). Dále bylo čerpáno z prací zabývajících se severoamerickou populací zavíječe (Beck a Hanec, 1960, Beck a Apple, 1961, Onstadt a Brewer, 1996) se srovnáním a posléze se středoevropskými pracemi (Bírová, 1962, Cagaň a Barabás, 1996).

Obr. 1 Příklad vstupních hodnot meteorologických prvků pro jednotlivé lokality.

Obr. 2 Vstupní parametry pro charakteristiku nároků druhu *Ostrinia nubilalis* na klimatické podmínky.

Obr. 1

	TMAX	TMIN	RAIN	RH9	RH3	
1	0.60	-4.80	23	80.9	.0	BT
2	3.41	-3.32	22	77.2	.0	BT
3	8.54	-0.06	25	70.5	.0	BT
4	14.65	4.07	30	63.0	.0	BT
5	19.68	8.51	58	64.3	.0	BT
6	22.77	11.56	72	65.7	.0	BT
7	24.77	13.05	66	64.2	.0	BT
8	24.70	12.98	54	64.5	.0	BT
9	20.14	9.62	41	70.7	.0	BT
10	13.96	5.16	31	75.2	.0	BT
11	6.55	0.88	38	81.0	.0	BT
12	1.88	-3.01	28	82.4	.0	BT
1	1.56	0.05	26	77.5	.0	CASL
2	3.70	-3.34	24	72.1	.0	CASL
3	8.57	-0.39	30	66.1	.0	CASL
4	14.29	3.09	32	61.5	.0	CASL
5	19.38	7.60	63	63.8	.0	CASL
6	22.41	10.95	71	66.4	.0	CASL
7	24.17	12.26	71	65.6	.0	CASL
8	24.17	12.03	68	64.4	.0	CASL
9	19.79	8.88	44	65.5	.0	CASL
10	14.06	4.60	29	68.5	.0	CASL
11	6.85	0.88	34	78.4	.0	CASL
12	2.84	-2.67	30	79.4	.0	CASL
1	-2.36	-3.48	38	85.9	.0	CERV
2	-0.68	-5.55	36	83.4	.0	CERV
3	3.63	-2.58	45	78.5	.0	CERV
4	9.71	1.77	52	70.2	.0	CERV
5	15.15	6.48	81	69.2	.0	CERV
6	18.23	9.56	96	71.1	.0	CERV
7	19.97	11.13	94	69.6	.0	CERV
8	19.90	11.19	84	69.4	.0	CERV
9	15.40	7.88	64	76.7	.0	CERV
10	9.96	3.76	52	80.6	.0	CERV
11	3.01	-1.40	54	87.1	.0	CERV
12	-1.27	-5.26	48	87.9	.0	CERV
1	1.39	-4.57	20	81.4	.0	DOKS
2	3.75	-3.40	19	79.2	.0	DOKS
3	8.77	-0.46	25	74.2	.0	DOKS
4	14.51	2.86	29	67.5	.0	DOKS
5	19.61	7.21	52	67.6	.0	DOKS
6	22.66	10.64	59	68.9	.0	DOKS
7	24.54	11.94	60	68.5	.0	DOKS
8	24.54	11.50	61	70.4	.0	DOKS
9	19.92	8.32	39	75.7	.0	DOKS
10	13.60	4.24	29	79.0	.0	DOKS

Obr. 2

Parameters: ECB					
Edit Comments...					
Copy to Clipboard					
<input checked="" type="checkbox"/> Temperature Index					
DV0	DV1	DV2	DV3		
10	18	28	38		
<input checked="" type="checkbox"/> Moisture Index					
SM0	SM1	SM2	SM3		
0	0	8	10		
<input checked="" type="checkbox"/> Light Index					
LT1	LT0				
14	14.5				
<input checked="" type="checkbox"/> Diapause Index					
DPD0	DPT0	DPT1	DPD	DPSW	
14.5	12	10	0	0	
<input type="checkbox"/> Cold Stress					
<input type="checkbox"/> Heat Stress					
<input type="checkbox"/> Dry Stress					
<input type="checkbox"/> Wet Stress					
<input type="checkbox"/> Cold-Dry Stress					
<input type="checkbox"/> Cold-Wet Stress					
<input type="checkbox"/> Hot-Dry Stress					
<input type="checkbox"/> Hot-Wet Stress					
Day-degree accumulation above DV0					
DV0	DV3				
10	38				
Day-degree accumulation above DV3					
DV3	*DV4				
38	100				
Day-degree accumulation above DVCS					
DVCS	*DV4				
10	100				
Degree-days per Generation					
PDD					
726					

Za klíčové parametry (Obr.2) pro odhad populační dynamiky a rozšíření zavíječe lze považovat dolní (10 °C – průměrná denní teplota) a horní (38 °C – průměrná denní teplota) teplotní prahové hodnoty a optimální rozmezí teplot pro vývoj zavíječe (18 – 28 °C). Dolní teplotní hranice 10 °C je použita také jako práh pro výpočet sumy denních stupňů nutných pro dokončení jedné generace (PDD = 726). Stejně rozčlenění prahových a optimálních hodnot jako pro teplotu je stanoveno i pro vlhkost vzduchu. Z důvodu nedostatku informací o požadavcích druhu na vlhkost byly hodnoty nastaveny na ideální rozmezí, jež napodobuje optimální podmínky pro výskyt druhu – zamezí se tak tomu, aby model na některých lokalitách indikoval příliš vysoký stres suchem. Odhad načasování diapauzy je umožněn nastavením několika parametrů, které omezují jak vstup tak výstup z diapauzy, jedná se zejména o parametr denní délky a teploty spouštějící diapausu (DPD0 = 14.5, DPT0= 12 °C) a teploty ukončující diapausu (DPT1 = 10 °C), hodnota DPSW = 0 značí zimní diapausu.

Potenciální geografická distribuce druhu byla vypočtena pomocí Ekoklimatického indexu EI, jenž vznikne kombinací skupiny indexů souvisejících s růstem populace a indexů stresových.

Růstový index GI je termo-hydrologický index a popisuje potenciál lokality pro populační růst daného druhu během příznivého období roku. Týdenní GI_W v rozmezí 0 – 1 je počítán v týdenním kroku a je to produkt týdenního teplotního, vlhkostního, světelného indexu a indexu diapauzy (TI, MI, LI, DI), jenž také nabývají hodnot 0 – 1.

$$GI_W = TI_W \cdot MI_W \cdot LI_W \cdot DI_W$$

Týdenní růstový index GI_W je výchozí pro výpočet ročního růstového indexu GI_A v rozmezí 0 – 100:

$$GI_A = 100 \sum_{i=1}^{52} GI_W / 52$$

Pravděpodobnost přežití během nepříznivých období je vyjádřen pomocí čtyř ročních stresových indexů jako odpovědí druhu na studené, horké, vlhké a suché podmínky (CS, HS, WS, DS).

Roční růstový index GI_A (vyjádření růstu populace během příznivého období) je pak kombinován se stresovými indexy (růst populace během nepříznivých období) a získaný ekoklimatický index (EI) tak popisuje celkový potenciál lokality pro přetrvání a růst populace.

$$EI = GI_A \cdot (1-CS) \cdot (1-HS) \cdot (1-DS) \cdot (1-WS)$$

EI dosahuje hodnot 0 – 100, kde hodnota 0 indikuje lokalitu nevhodnou pro dlouhodobé přežití druhů. Hodnota 100 je dosažitelná jedině za konstantních a ideálních podmínek srovnatelných s inkubátorem, EI větší než 30 representuje velmi příznivé klima pro druhy (Sutherst, Myawald, 1985, Sutherst *et al.*, 2001). Hoddle (2003) naopak považuje lokality s hodnotou EI vyšší jak 25 za velmi vhodné pro populační růst a přežití druhu, EI = 10-25 za vhodné, hodnota EI nižší než 10 indikuje mezní lokality pro přežití. Sutherst (2003) upřesňuje, že v oblastech s mírným podnebím a jasně rozlišitelným vlhkým a suchým obdobím roku se maximální dosažitelná hodnota EI pohybuje okolo 50, EI přesahující 50 je omezena jen na vlhké tropy, EI přesahující 20 je shledána jako znak podporující značnou populační hustotu. Podle Wornera (1988) je nutné si uvědomit, že EI není absolutní hodnota a měla by být interpretována jako srovnávací nebo relativní.

Model pro rozšíření zavíječe v podmínkách současného klimatu byl z důvodu ověření funkčnosti vytvořen ve dvou různých variantách: v první variantě byla použita meteorologická data pro referenční období 1961 – 1990 a v druhé variantě meteorologická data neobvykle teplého desetiletí 1991 – 2000, kdy se průměrné roční teploty na 30 reprezentativních stanicích v ČR zvýšily o 0.2 – 0.9 °C (Květoň *et al.*).

Validace modelu proběhla srovnáním potenciálního rozšíření s reálným zaznamenaným výskytem zavíječe ve stejném období. Data o reálném výskytu zavíječe pocházejí ze světelných a feromonových lapačů z období 1977 – 2005 (registrace začátku, 50% a konce náletu motýlů), dále jsou to data o výskytu publikované Státní rostlinolékařskou správou, data z dalších literárních zdrojů a databáze získaná z osobních sdělení a evidence farmářů v období 1961 – 2003. Tato databáze zahrnuje téměř 900 potvrzených zpráv na více než 200 místech v celé ČR.

Po ověření a zkalibrování modelu byla vstupní meteorologická data upravena podle GCM (Globální Cirkulační Modely) a klimatických scénářů ECHAM, HadCM a NCAR a současně pro tři emisní scénáře (A2, B1, A1T, Dubrovský *et al.*, 2005). Jedná se v pořadí o scénáře změny klimatu vykazující spíše vyšší hodnoty oteplení, scénář ležící na dolním okraji a scénář průměrný. V modelech stanovení potenciální geografické distribuce zavíječe v budoucích klimatických podmínkách tak byla zachycena celá amplituda předpokládaného vývoje klimatu.

Výstupy všech modelů v CLIMEX – jak pro současné i očekávané klimatické podmínky – byly zpracovány v GIS. Digitální model terénu (gridová vrstva 1 x 1 km) byl modifikován pro účely projektu z pohledu výběru gridů s vhodnými charakteristikami pro pěstování kukuřice (nadmořská výška, odpovídající sklon terénu, kvalitní zemědělská půda, dostatečná retenční kapacita apod.).

Výsledky simulací v CLIMEX pak byly porovnány s druhou metodou stanovení výskytu zavíječe pomocí modelu ECAMON (Environmental Change Assessment Model for Ostrinia Nubilalis).

ECAMON

Semi-kvantitativní model pro stanovení rozšíření zavíječe kukuřičného v podmínkách změny klimatu, vytvořený na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie MZLU v Brně v roce 2005 (Trnka *et al.*, 2005). Tento model sjednocuje známé vztahy mezi podmínkami prostředí a výskytem zavíječe do jednoduchého systému. Skládá se ze dvou modulů i) fenologický modul a ii) environmentální stresový modul. Vstupní data jsou tvořena hodnotami minimální a maximální teploty, denní sumou globální radiace, úhrnem srážek, tlakem vodních par a rychlostí větru.

ECAMON dokáže určit datum počátku, 25%, 50% a 75% a dokončení vývoje každého vývojového stádia škůdce a to metodou denních stupňů s prahovou hodnotou pro výpočet nastavenou na 10 °C (Apple, 1952, Mason *et al.*, 1996, Porter *et al.*, 1991, Got a Rodolphe, 1989, Jarvis a Brindley, 1965). Pro výpočet denních stupňů jsou podle Arnolda (1960) používány denní hodnoty minimálních a maximálních teplot (TMIN, TMAX), kalkulace denních stupňů počíná za nepřítomnosti sněhové podmínky a teploty vzduchu ve 2 m nad zemí vyšší než 0,2 °C. Přítomnost sněhové pokrývky je simulována s pomocí jednoduchého modelu dle Runninga a Couglana (1988). Vývoj zavíječe významně klesá při dosažení maximálního teplotního prahu, proto maximální hodnota pro akumulaci denních stupňů byla určena na 32 °C, což je střed

v rozmezí hodnot publikovaných Got *et al.* (1996), Got *et al.* (1994), Calvin *et al.* (1991) a Anderson *et al.* (1982).

Stresový modul podle poměru mezi aktuální a referenční evapotranspirací hodnotí dny na suché (poměr menší než 0.4) a extrémně suché (při poměru menším než 0.2), dále se při stanovení vlhkostních stresů počítá s přítomností srážek nad 20 mm v období od kladení vajíček do ukončení 2. instaru.

Ze vstupních hodnot model tedy pro každou sezónu poskytuje podrobné informace o vývoji škůdce na jejichž základě je možné stanovit index vhodnosti klimatu dané lokality pro jednogenerační populaci CS_I , který informuje o poměru období, během kterých zavíječ úspěšně dokončí jednu generaci vs. celková doba hodnocení (např. 10, 20 či 30 let). Přežití životaschopné populace zavíječe vyžaduje stabilní podmínky prostředí, proto je kalkulace CS_I možná pouze na lokalitách, které dovolují ve všech letech vývoj a dokončené první generace nejméně u 25 % populace zavíječe, přičemž tuto hranici považovali autoři za minimum pro trvalé přežití životaschopné populace škůdce.

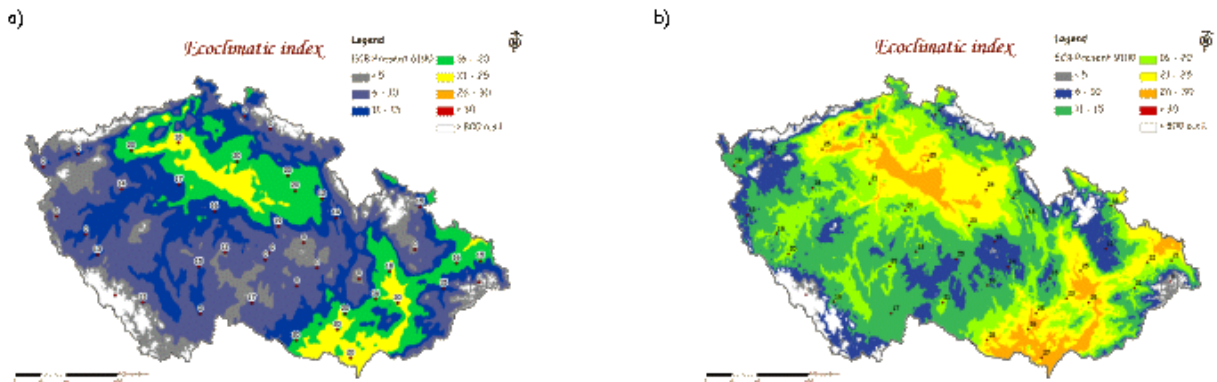
$$CS_I = X_{\text{suitable}}/n$$

kde X_{suitable} udává počet vhodných období, tento počet je založený na kritériích jmenovaných výše a n je celkový počet let. CS_I tedy udává část roku, během které je úspěšně dokončena jedna generace. Vhodnost klimatu pro dvougenerační populaci je uvažována na základě dokončení druhé generace alespoň u 5 % populace. Lokality s CS_I nebo CS_{II} vyššími než 0.70 mohou být považovány za primární oblasti výskytu zavíječe. Oblasti s CS_I menší než 0.55 jsou nevhodné pro dlouhodobější přetrvávání životaschopné jednogenerační populace (Trnka, *et al.*, 2005).

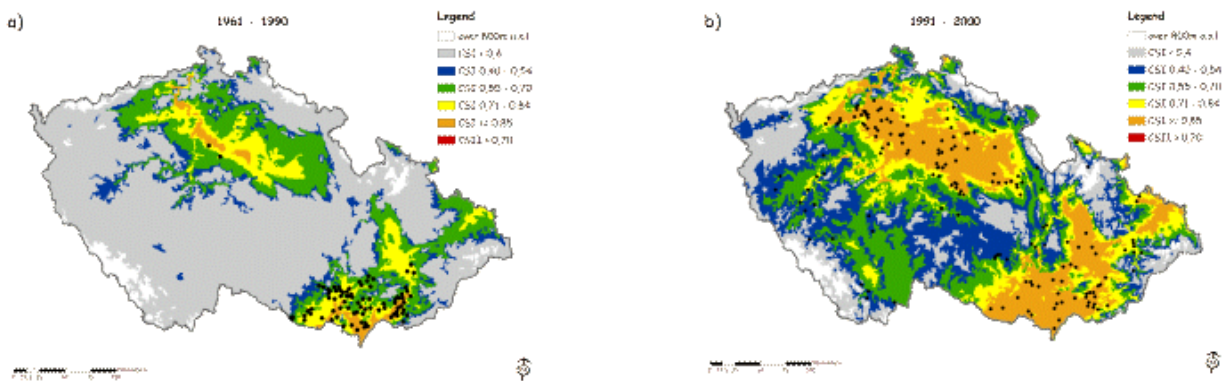
Postup při vytvoření modelu současného výskytu zavíječe na území ČR, validace modelu, vytvoření modelů budoucího výskytu škůdce odpovídá výše jmenovanému postupu metodou CLIMEXu.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Výstupy simulací současného výskytu zavíječe na území ČR pomocí modelu CLIMEX i ECAMON vykazovaly s malými odchylkami srovnatelný výsledek (Obr. 3 a Obr. 4).

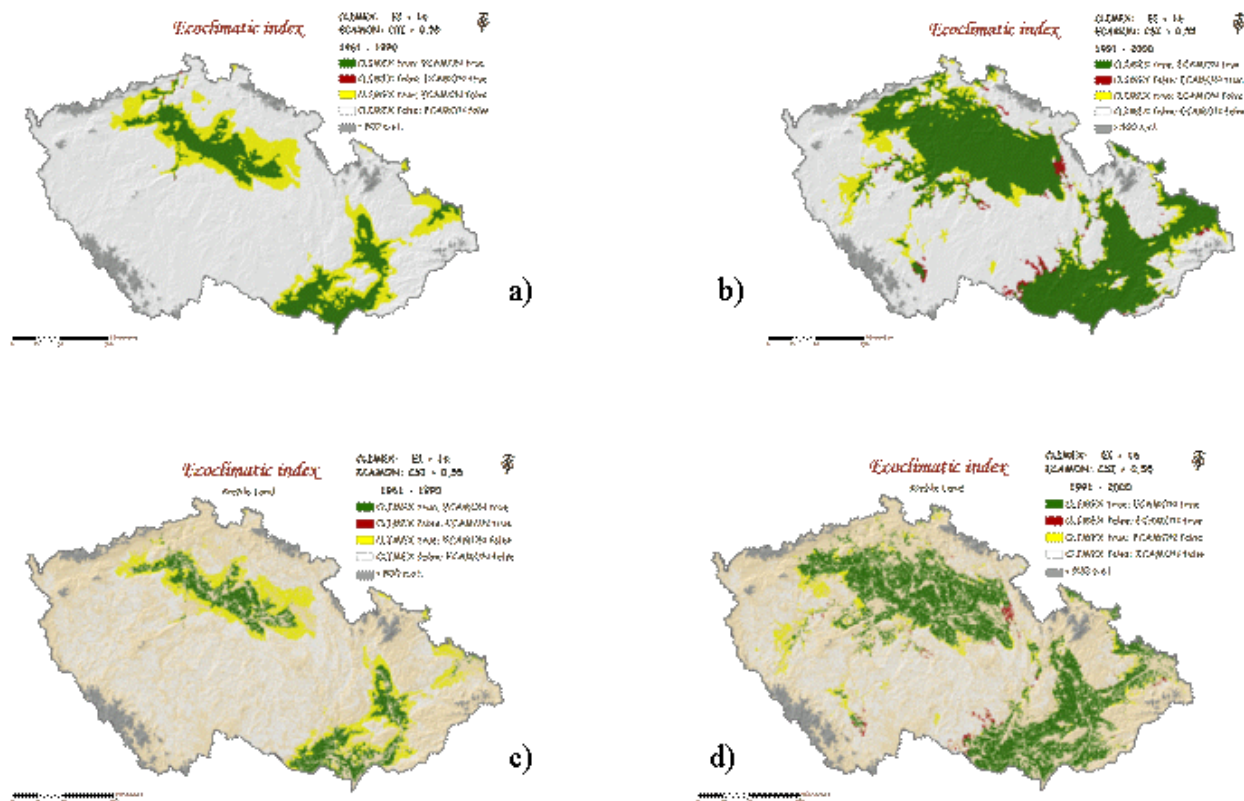


Obr. 3 Výskyt zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*) v České republice podle CLIMEXu: a) v období 1961 – 1990, b) v období 1991 – 2000.



Obr. 4 Výskyt zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*) v České republice podle ECAMON: a) v období 1961 – 1990, b) v období 1991 – 2000.

Oba modely velice dobře odlišily dvě modelovaná období 1961 – 1990 a 1991 – 2000. CLIMEX i ECAMON správně zaznamenaly rozšíření zavíječe na základě vyšších teplot poslední dekady minulého století. Detailní srovnání simulace rozšíření zavíječe v současných podmínkách jak ho stanovil CLIMEX i ECAMON je znázorněno na Obr. 5 a Obr. 6 a Tab 1 a Tab.2.

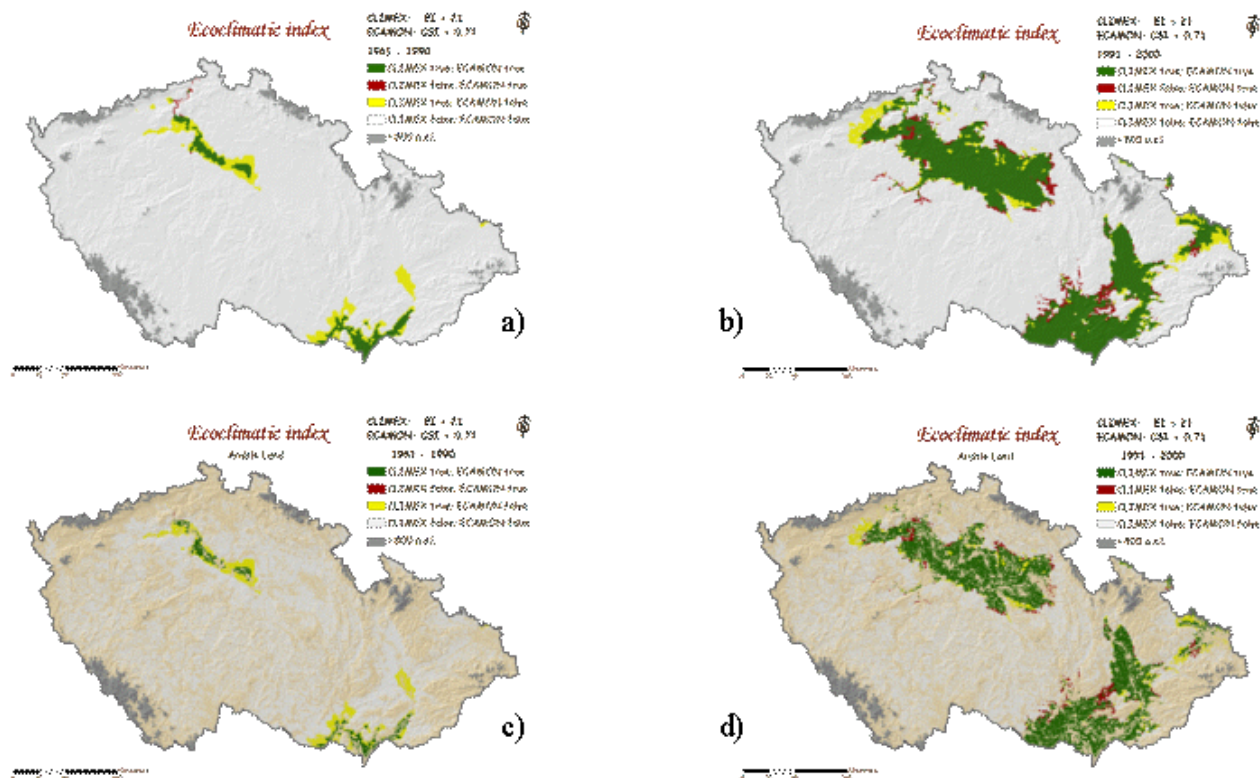


Obr. 5 Porovnání rozšíření zavijče v současných klimatických podmínkách jak ho modeluje CLIMEX a ECAMON ve vztahu k hranici výskytu, a) období 1961 – 1990, b) 1991 – 2000, c) 1961 – 1990 na orné půdě, d) 1991 – 2000 na orné půdě.

Podmínka 1: CLIMEX - EI > 16, ECAMON - CSI > 0,55

	Celá ČR		ČR do 800 m n.m.		Orná půda	
	1961 - 1990	1991 - 2000	1961 - 1990	1991 - 2000	1961 - 1990	1991 - 2000
CLIMEX ano; ECAMON ano	9.69	32.52	10.11	33.94	14.41	44.7
CLIMEX ne; ECAMON ne	77.91	58.65	76.94	56.83	67.99	46.28
CLIMEX ano; ECAMON ne	12.36	7.56	12.91	7.89	17.6	7.86
CLIMEX ne; ECAMON ano	0.04	1.27	0.04	1.33	0	1.16

Tab. 1 Procentické zastoupení gridů jednotlivých skupin v znázorněných v mapách na Obr. 5.



Obr. 6 Porovnání rozšíření zavijevče v současných klimatických podmínkách jak ho modeluje CLIMEX a ECAMON, a) období 1961 – 1990, b) 1991 – 2000, c) 1961 – 1990 na orné půdě, d) 1991 – 2000 na orné půdě.

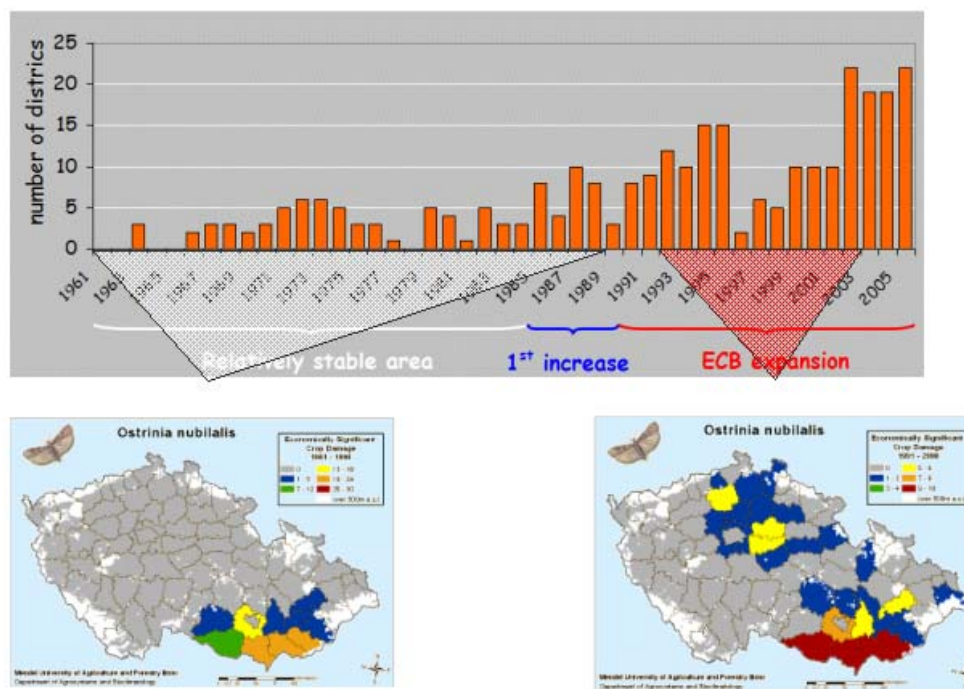
Podmínka 2: CLIMEX - EI > 21, ECAMON - CSI > 0,71

	Celá ČR		ČR do 800 m n.m.		Orná půda	
	1961- 1990	1991 - 2000	1961 - 1990	1991 - 2000	1961 - 1990	1991 - 2000
CLIMEX ano; ECAMON ano	1.78	17.60	1.85	18.37	2.26	26.49
CLIMEX ne; ECAMON ne	95.39	77.44	95.19	76.45	93.35	67.47
CLIMEX ano; ECAMON ne	2.75	3.03	2.87	3.17	4.38	3.57
CLIMEX ne; ECAMON ano	0.08	1.92	0.08	2.01	0.02	2.47

Tab. 2 Procentické zastoupení gridů jednotlivých skupin v znázorněných v mapách na Obr. 6.

Mapy na Obr. 5 a 6 znázorňují skupinu gridů, ve kterých se modely v odhadu přítomnosti škůdce shodly – zelená barva, červeně jsou vyznačeny gridy, ve kterých přítomnost zavijevče vygeneroval jen ECAMON, žlutě jsou zabarveny gridy s přítomností škůdce odhadovanou jen pomocí CLIMEX a bílá barva značí nepřítomnost škůdce potvrzenou oběma programy. Mapy a), b) jsou vyjádřením rozšíření škůdce v rámci celé ČR bez ohledu na využití půdy, zatímco mapy

c), d) zobrazují jeho rozšíření pouze na orné půdě. Tato čtveřice map na Obr. 5 je vytvořena s ohledem na hodnotu indexů EI větší jak 16 a CSI větší jak 0.55, což jsou hodnoty považované za hraniční pro výskyt zavíječe v daných klimatických podmínkách. Obr. 6 je vyjádřením téhož jen s tím rozdílem, že hraniční hodnoty indexů jsou vyšší, takže zobrazené oblasti výskytu reprezentují jádro s nejpříznivějšími klimatickými podmínkami pro výskyt zavíječe. Zmiňovaná skupina map a Tab. 1 a 2 vizualizují sklon CLIMEXu k mírnému nadhodnocování potenciálního rozšíření modelovaného škůdce oproti ECAMONu, který svým detailněji propracovaným fenologickým modulem tvoří citlivější a přesnější nástroj pro modelování potenciální niky zavíječe kukuřičného.

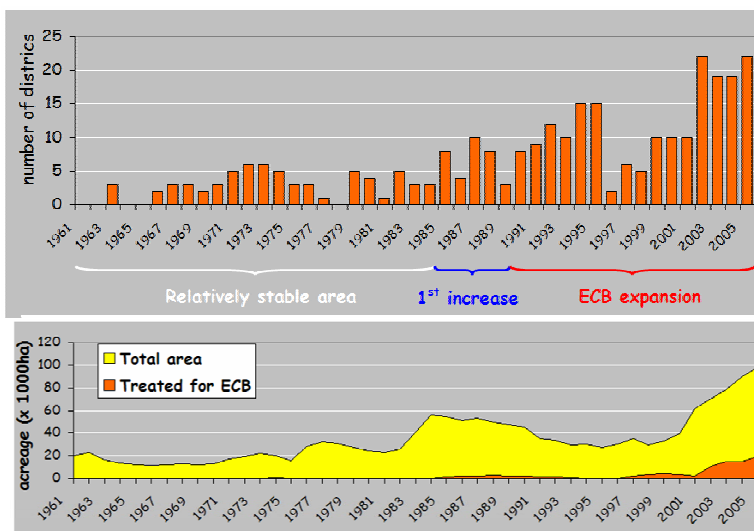


Obr. 7 Počet okresů, ve kterých byla zjištěna přítomnost zavíječe kukuřičného v období 1961- 1989 a jeho expanze v poslední dekádě dvacátého století.

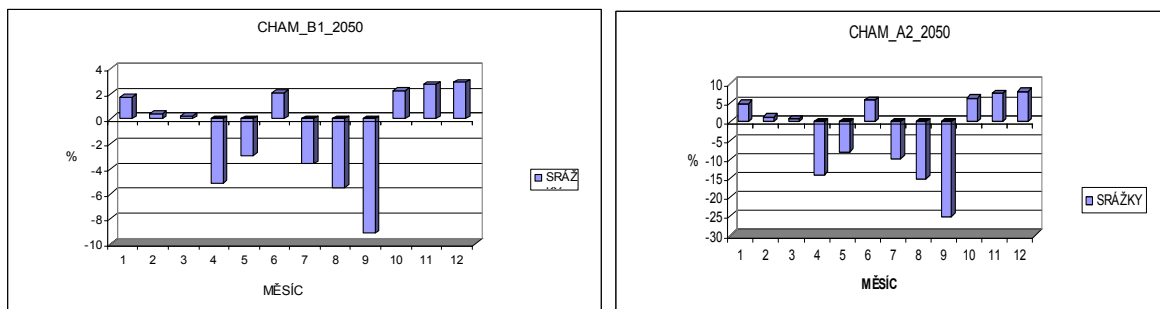
Přehledná ilustrace lokalizace výskytu zavíječe v letech 1961 – 2005 je na Obr.7. Po téměř čtyřicetiletém období (1961 – 1989) přítomnosti škůdce v oblasti jižní Moravy bylo první navýšení populačního tlaku zjištěno až posledních pěti letech. Výrazné zvýšení počtu výskytů škůdce na kukuřici bylo zaznamenáno v posledním desetiletí a zavíječ se tehdy rozšířil z jižní Moravy i do středních a severních Čech, což potvrzuje pozitivní reakci zavíječe na nadprůměrné teplotní podmínky této dekadý.

Na Obr. 8 je opět znázorněn výskyt zavíječe v rámci okresů a současně je v grafu vyjádřena rozloha zemědělské půdy s pěstováním kukuřice a rozloha půdy s napadenou a ošetřenou kukuřicí. Z obrázku je patrné, že výskyt zavíječe není přímo závislý na množství a rozloze pěstované kukuřice jako hostitelské rostliny. Přítomnost škůdce v průběhu období od šedesátých do poloviny devadesátých let není přímo úměrná množství pěstované plodiny. Z tohoto trendu lze usuzovat na přítomnost jiného faktoru prostředí, který ovlivňuje vývoj a rozšíření škůdce. Shoda v nárůstu rozšíření zavíječe, pěstované kukuřice a zároveň kukuřice ošetřené byla zaznamenána až v letech 1997 – 2005.

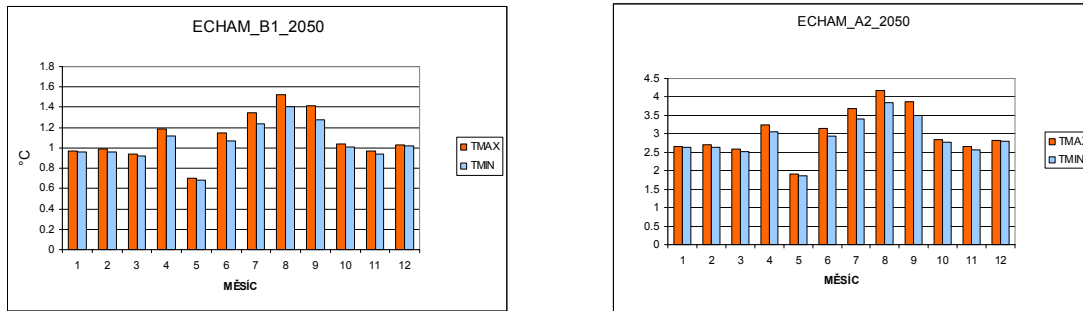
Obr. 8 Rozšíření zavíječe kukuřičného v porovnání s výměrou zemědělských ploch s pěstováním kukuřice (žlutá) a s výměrou zemědělských ploch se zasaženou kukuřicí, kde byla provedena ochrana proti zavíječi (oranžová), období 1961 – 2000.



Graf 1 Očekávané změny v průměrných měsíčních úhrnech srážek podle scénářů ECHAM B1 a ECHAM A2

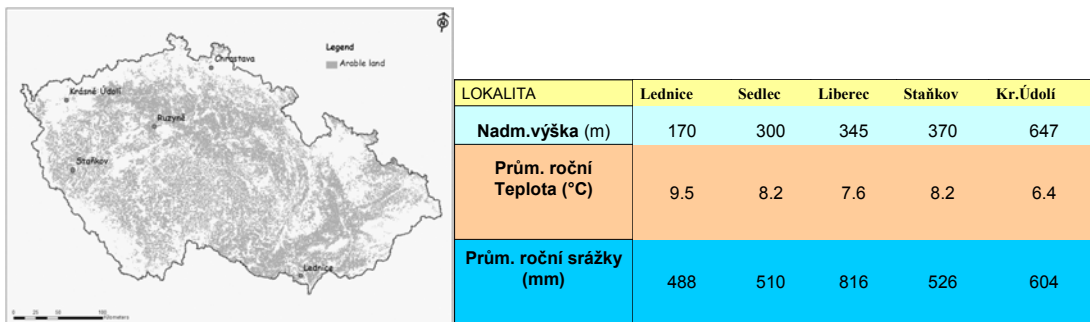


Graf 2 Očekávané změny průměrných měsíčních teplot podle scénářů ECHAM B1 a ECHAMA2.

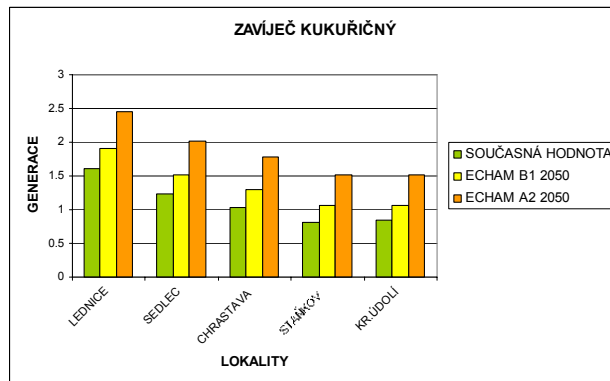


Vytvořené odhady dle výše zmíněných GCM scénářů pro odhad distribuce zavíječe v očekávaných klimatických podmínkách indikují v případě obou simulačních programů nárůst počtu generací škůdce (Graf 3, Obr. 9) a jeho rozšiřování do vyšších nadmořských výšek (Obr.10-13).

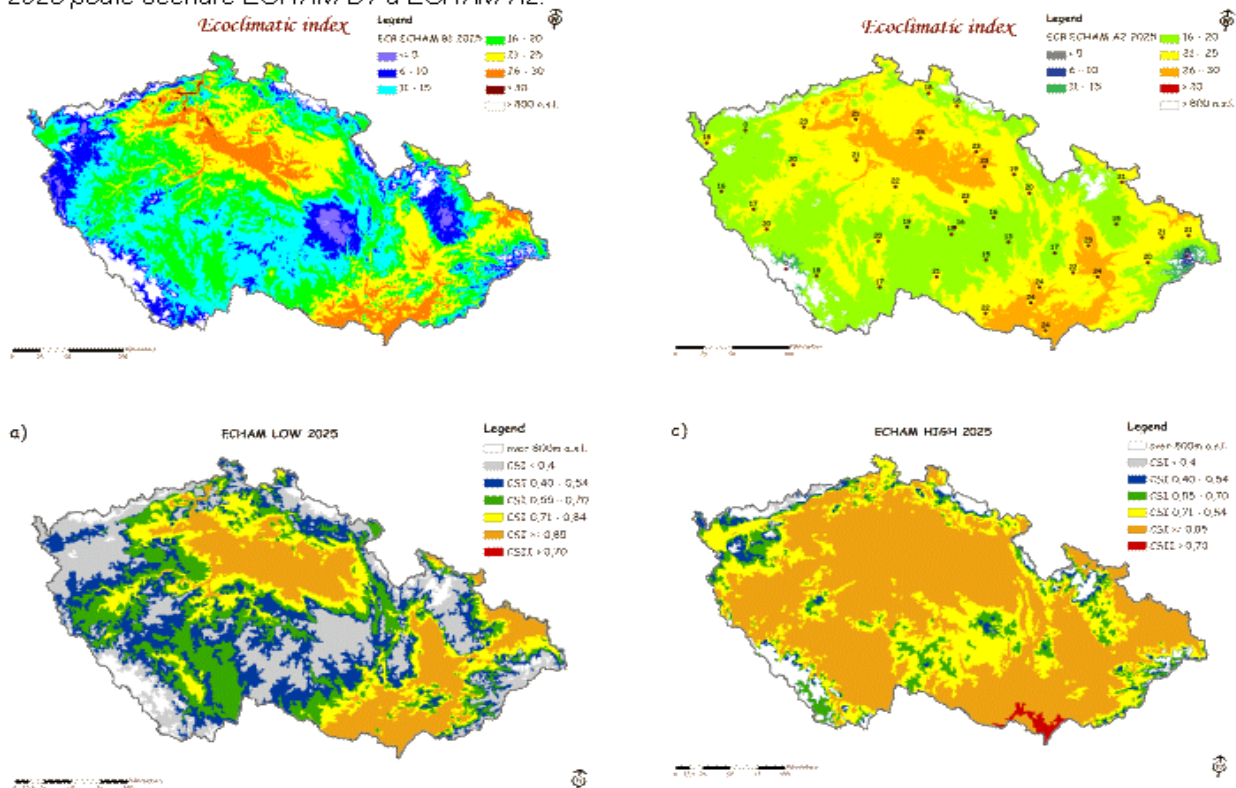
Obr. 9 Lokalizace vybraných stanic s jejich klimatickými charakteristikami.



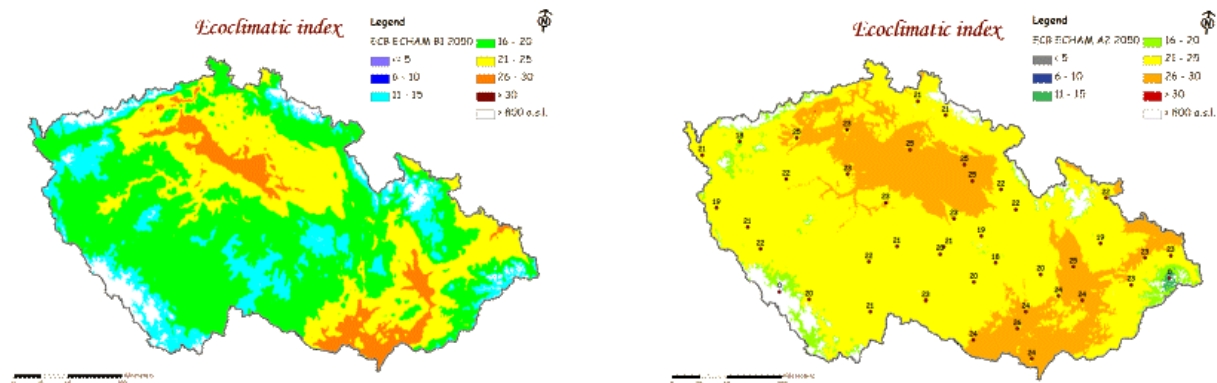
Graf 3 CLIMEX: Nárůst počtu generací na vybraných lokalitách podle scénářů ECHAM B1 a ECHAM A2 pro rok 2050.



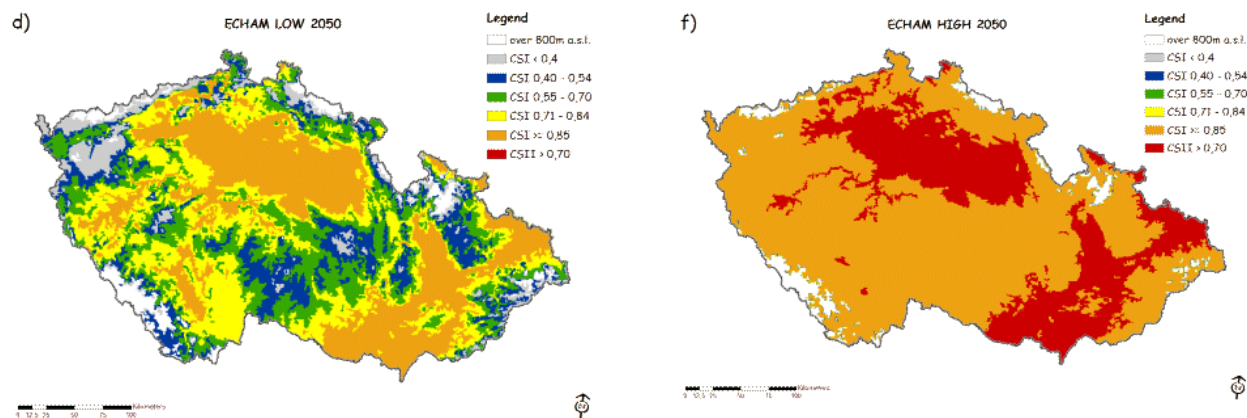
Obr. 10 CLIMEX – předpokládané rozšíření zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*) na území ČR v roce 2025 podle scénáře ECHAM B1 a ECHAM A2.



Obr. 11 ECAMON – předpokládané rozšíření zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*) na území ČR v roce 2025 podle scénáře ECHAM B1 a ECHAM A2.



Obr. 12 CLIMEX – předpokládané rozšíření zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*) na území ČR v roce 2050 podle scénáře ECHAM B1 a ECHAM A2.



Obr.13 ECAMON – předpokládané rozšíření zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*) na území ČR v roce 2050 podle scénáře ECHAM B1 a ECHAM A2.

ZÁVĚR

V příspěvku byly použity simulační programy CLIMEX a ECAMON, které kombinují známé nároky druhu na klimatické podmínky s odpovídajícími klimatickými charakteristikami zájmových lokalit za účelem stanovení rozsahu možného rozšíření druhu. Detailní evaluace modelů prokázala, že ECAMON je schopen dobře odhadnout nástup a trvání klíčových fenologických stádií, zároveň i vygenerovaná klimatická vhodnost jak pomocí EI v případě CLIMEX tak i CS indexu u ECAMON dobře korespondují s reálným výskytem zavíječe. Výsledky simulací obou programů pro modelaci současného výskytu zavíječe v nynějších klimatických podmínkách také realisticky odráží i zaznamenanou expanzi škůdce během neobvykle teplé periody 1991 – 2000. Tyto vlastnosti činí programy CLIMEX i ECAMON dobrými nástroji pro testování efektů klimatické změny na populaci zavíječe v zájmovém území celé ČR. Modely dokázaly, že klima je významný faktor ovlivňující vývoj a přežití zavíječe kukuřičného. Podle odhadů modelů se oblast rozšíření jednogenečního zavíječe během příštích 20 – 30 let významně rozšíří a do roku 2050 pokryje významnou část ploch vhodných pro zemědělství. Hrozba rozvoje dvougenerační populace zavíječe v příští dekádě není tak bezprostřední, ale je pravděpodobné, že se tak stane během periody 2025 – 2050 minimálně v nejteplejších místech ČR. Spolu s vhodnějšími klimatickými podmínkami pro vývoj škůdce se bude pravděpodobně rozšiřovat i oblast vhodná pro pěstování kukuřice jako nejatraktivnější hostitelské rostliny, což představuje další možnost pro zvětšení ekologické niky zavíječe kukuřičného.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen projektem Interní grantové agentury MZLU v Brně č. 16/2006 „Vymezení agroklimatologické niky zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*)“ a projektem

Grantové agentury ČR č. 522/05/0125 „Dopady změny klimatu na potenciální výskyt vybraných patogenů a škůdců“

LITERATURA

Anderson, T.E., Kennedy, G.G., Stinner, R.E., 1982. Temperature-Dependent Models of European Corn Borer Development in North Carolina, *Environ. Entomology*, 11, 1145-1150.

Apple, J.W., 1952. Corn borer development on canning corn in relation to temperature accumulations, *Journal of Economic entomology*, 45, 877-879.

Arnold, C.Y., 1960. Maximum and minimum temperatures as a basis for computing heat units, *Proc. Amer. soc. Hort. Sci.*, 76, 682-692.

Bírová, H., 1962. Niektore výsledky štúdia bionómie vijačky kukuričnej (*Pyrausta nubilalis* Hbn.) v oblasti nejintezívnejšieho pestovania kukurice v ČSSR; *Práce laboratória ochrany rastlin SAV*, 85-102.

Bírová, H., 1984. Výskyt dvoch generácií vijačky kukuričnej u nás, *Úroda* 32 (3), 109-110.

Beck, S.D., Apple, J.W., 1961. Effects of temperature and photoperiod on voltinism of geographical populations of the ECB, *Pyrausta nubilalis*, *Journal of Economic Entomology*, 54(3), 550-559.

Beck, S.D., Hanec, W., 1960. Diapause in the ECB, *Pyrausta nubilalis* (Hubn.). *Journal of Insect Physiology*, 4, 304-318.

Brown, G.C., 1982. Generalized Phenological Forecast Model for ECB, *Journal of the Kansas Entomological Society*, 55, 625-638.

Cagáň, L., 1998. Voltinism of the ECB *Ostrinia Nubilalis* Hbn, in Slovakia, *Plant Protection Science* 34, 81-84.

Cagáň, L., Barabás, L., 1996. Phenology of the ECB (*Ostrinia Nubilalis* Hbn) in Slovakia II. Moth emergence in cages and in action sites, oviposition, damage of leafs and stalks, *Pfl. Schutzberih*, 56, 45-60.

Cagáň, L., Sobota, G., Gabryš, B., Cania, C., 2000. Voltinism of the ECB, *Ostrinia nubilalis* Hbn. in Poland. *Plant Protection Science*, 147-149.

Calvin, D.D., Higgins, R.A., Knapp, M.C., Poston, F.L., Welch, S.M., Showers, W.B., Witkowski, J.F., Mason, C.E., Chiang, H.C., Keaster, A.J., 1991. Similarities in Developmental Rates of Geographically Separate European Corn Borer Populations, *Environ. Entomology*, 20, 441-449.

Capinera, J.L., 2001. *Handbook of Vegetable Pests*, *Academic Press*, s. 95 – 99.

- Dubrovsky, M., Nemedová, I., Kalvova, J., 2005a. Uncertainties in climate change scenarios for the Czech Republic. *Climate Research* 29: 139-156.
- Got, B., Labatte, J.M., Piry, S. 1996. European Corn Borer Development Time Model, *Environ. Entomology*, 25, 310-320.
- Got, B., Meusnier, S., Peypelut, L., Fleury, F., 1994. First Step in European Corn Borer Diapause Mechanistic Modelling: Wing Disks Development Model, *Environ. Entomology*, 23, 955-964.
- Got B., Rodolphe F. 1989. Temperature-Dependent Model for ECB (Lepidoptera: Pyralidae) Development, *Environmental Entomology*, 18, 85-93.
- Hoddle, M.S., 2003. The potential adventive geographic range of glassy-winged sharpshooter, *Homalodisca coagulata* and the grape pathogen *Xylella fastidiosa*: implications for California and other grape growing regions of the world. *Crop Protection* 23 (2004), pp. 691-699.
- Květoň, V., 2001. Normály teploty vzduchu na území České republiky v období 1961 – 1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961 – 2000, Praha, p.217.
- IPCC – (Editors) McCarhy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.j., White, K.S., 2001 a. *Climate change Impacts 2001: Impact, Adaptation and Vulnerability*, pp. 1005
- Jarvis J.L., Brindley T.A. 1965. Predicting moth flight and oviposition of ECB by the use of temperature accumulations, *Journal of Economic Entomology*, Vol. 58 (2), 300-302.
- Julien, M., Skarratt, B., Maywald, G.F., 1995. Potential Geographical Distribution of Alligator Weed and its Biological Kontrol by *Agasicles hygrophyla*, *J. Aquat. Plant Manage.* 33: 55 – 60.
- Mason, C.E. (Ed.), 1996. ECB – Ecology and Management, North Central Regional Extension Publication No. 327, Iowa State University, Ames.
- Miller, F., 1956. *Zemědělská entomologie*, Nakladatelství Československé akademie věd, 460-469.
- Oerke, E.C., Dehne, H.W., Schonbeck, F., Weber, A., 1995. Production and Crop protection: Estimated loses in Major Food and Cash Crops, The Netherlands, 808 p.
- Onstad, D.W., Brewer, E.F., 1996. Modeling induction of diapause in North American *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae) populations, *Population Ecology*, 25(5), 1140-1146.
- Porter, J.H., Parry, M.L., Carter, T.R., 1991. The potential effects of climatic change on agriculture insect pests, *Agriculture and Forest Meteorology*, 57, 221-240.
- Running, S.W., Coughlan, J.C., 1988. A general model of forest ecosystem processes for regional applications. I. Hydrological balance, canopy gas exchange and primary production processes. *Ecol. Model.* 42, 125–154.

Sutherst, R. W., 2003. Prediction of species geographical ranges, Blackwell Publishing Ltd, Journal of Biogeography, 30, 805-816.pp.

Sutherst, R. W. and Maywald, G. F., (1985). A computerised system for matching climates in ecology. *Agriculture Ecosystems and Environment* 13: 281 – 99.

Sutherst, R.W., Maywald, G.F., Bottomley, W., Bourne, A., 2001. CLIMEX v2 User's Guide, CSIRO Entomology, 12 - 13 13: 281 – 99.

Tancik, J., Cagaň, L., 2004. Phenology of the ECB, *Ostrinia nubilalis* Hbn. – Moth emergence in cages, oviposition and damage of leaves, *Acta fytotechnica et zootechnica*, Vol. 7, 313-315.

Trnka, M., Muška, F., Semerádová, D., Dubrovský, M., Kocmánková, E., Žalud, Z., 2006. European Corn Borer Life Stage Model: Regional Estimates of Pest Development and Spatial Distribution under Present and Expected Climate, submitted.

Worner, S.R., 1988. Ecoclimatic assessment of potential establishment of exotic pests, *J. Econ. Entomol.*, 81, pp. 973-983.