

CALIBRATION OF THE SELECTED CROP GROWTH MODELS FOR SPRING BARLEY

KALIBRACE VYBRANÝCH RŮSTOVÝCH MODELŮ PRO JEČMEN JARNÍ

Pohanková E.¹, Trnka M.^{1, 2}, Hlavinka P.^{1, 2}, Takáč J.³, Kersebaum Ch.⁴, Orság M.^{1, 2}, Fischer M.^{1, 2}, Pokorný E.⁵, Žalud Z.^{1, 2}

¹Department of Agrosystems and Bioclimatology, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1/1665, 613 00 Brno, Czech Republic

²CzechGlobe, Centre for Global Climate Change Impact Studies, AS CR, v. v. i. Brno, Czech Republic

³Soil Science and Conservation Research Institute, Gagarinova 10, 827 13 Bratislava, Slovak Republic

⁴Institute of Landscape Systems Analysis, Eberswalder Straße 84, 153 74 Müncheberg, Germany

⁵Department of Agrochemistry, Soil Science, Microbiology and Plant Nutrition, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: Eva.Pohankova@seznam.cz

ABSTRACT

The climate change is one of the most discussed global problems. One option how to estimate the effects of expected future climate conditions on plant production is the use of the crop growth models. Our aim was the calibration of two models (Daisy and Hermes) based on observed and measured data that were collected for spring barley (represented by cultivars Tolar and Blaník) at experimental site Bystřice nad Pernštejnem during 2011 and 2012. The onset of flowering was underestimated by an average of 1.1 and 1.6 days and maturity by 5.8 and 9.0 days using Daisy and Hermes respectively. On average Daisy systematically underestimated yields by 0.3 t·ha⁻¹ and Hermes overestimated yields by 1.24 t·ha⁻¹. We expect further improvement of these models estimates using the available result from the following years.

Key words: spring barley, field experiment, crops growth model

Acknowledgments: This work was supported by projects funded by National Agency for Agricultural Research Q191C054 Soil Climate Atlas; „Partnerství v oblasti výzkumu klimatu a adaptačních strategií, reg. č. CZ.1.07/2.4.00/31.0056“; KONTAKT project no. LH11010 and project of Internal Grant Agency, AF MENDELU No.TP 9/2012 „Innovation of crop management practices in areas threatened by drought“.

ÚVOD

Ječmen jarní je po ozimé pšenici v České republice druhou nejrozšířenější pěstovanou plodinou. Tomu odpovídá i jeho ekonomický význam. Ze sedmdesátí procent je používán jako krmivo, kolem třiceti procent celkové sklizně ječmene jarního se uplatňuje při výrobě sladu. Jen velmi malé množství je určeno k přímé produkci potravin.

V roce 2011 byl pěstován na výměře 268 tis. ha s průměrným hektarovým výnosem $5,11 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. V roce 2012 se plocha pěstovaného ječmene zvýšila na 284 tis. ha. Odhad průměrného výnosu je o $0,62 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ nižší, tedy $4,49 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Mze, Stav sklizně obilovin a řepky - operativní zpráva k 28.8.2012).

Aby výnosy v budoucích letech nebyly ztrátové, bude nutné stále důkladněji vybírat vhodné pěstební lokality, odrůdy a další adaptační opatření, jako např. optimalizovat termín setí, technologii zpracování půdy či zefektivnit režim hnojení apod.

Kvůli zvýšené koncentraci skleníkových plynů včetně oxidu uhličitého v atmosféře a jeho vlivu na výměnu látek mezi rostlinou a prostředím a klimatické podmínky samotné, oblastí, kde se určitý druh plodin pěstuje nyní, pravděpodobně již nebudou v budoucnu k tomuto účelu vhodné (Žalud et al., 2008). Jednou z možností, jak předvídat, do jaké míry postihnou dopady změny klimatu výnosy zemědělských plodin v různých půdně-klimatických podmínkách, je využít růstové modely.

V tomto příspěvku byla hlavním cílem kalibrace dvou růstových modelů, Daisy a Hermes, na základě námi pozorovaných a naměřených dat u ječmene jarního na experimentálních stanovištích v Bystřici nad Pernštejnem v letech 2011 a 2012.

MATERIÁL A METODIKA

Růstové modely

V dnešní době je dostupná celá řada růstových modelů (např. APES, CROPSYST, DAISY, DSSAT, FASSET, HERMES, STICS, WOFOST), které z hlediska biologických a technologických aspektů udržitelnosti slouží jako nástroj pro plánování řízených ekosystémů (Challinor et al., 2009; Porter and Semenov, 2005). Snaží se přiblížit důsledky změny prostředí (vč. změny teploty, srážek a nárůstu koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře), na výměnu látek mezi rostlinou a prostředím.

Pro jejich kalibraci je zapotřebí vhodná databáze. Ta se skládá z informací o srážkách; teplotě vzduchu; vlhkosti vzduchu; denních sumách globální radiace; rychlosti větru; z informací o technologii pěstování (např. setí, zavlažování, hnojení) půdních vlastnostech (např. zrnitostní složení, hydrolimity, objemová hmotnost, obsah živin); jednotlivých fenologických fází

MENDELNET 2012

(např. kvetení, fyziologické zralosti, sklizni); listové ploše (LAI), množství nadzemní biomasy a dosažené vodní bilanci. Hlavním principem aplikace růstových modelů je zapracovat výsledky měřených biotických dějů s jejich provázaností na abiotické podmínky do základních algoritmů. Jednotlivé modely se současně liší architekturou, komplexností, samotnými algoritmy a jejich parametrizací (Palosuo et al., 2011).

Růstové modely Daisy a Hermes na základě informací o způsobu hospodaření s půdou a údajích o počasí simulují růst plodiny, vodní režim, tepelný režim půdy, bilanci organické hmoty a dynamiku dusíku.

Růstový model Daisy

Daisy je dánský agroekologický simulační model (Hansen et al. 1990).

Samotný model má hierarchickou strukturu a forma vstupních dat je do jisté míry flexibilní. Model k zahájení simulace vyžaduje:

1. Meteorologické údaje, které slouží k výpočtu evapotranspirace. Aplikován byl výpočet referenční evapotranspirace ET_0 dle Penmana-Monteitha (FAO) (Allen et al., 1998), který vyžaduje údaje o průměrné denní teplotě vzduchu ($^{\circ}\text{C}$), globálním záření ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$), denních srážkách (mm), rychlosti větru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), tlaku par nebo relativní vlhkosti vzduchu (%). Pokud chybí údaje o rychlosti větru a vlhkosti vzduchu model provede výpočet evapotranspirace ET_0 výstupem empirického vztahu Makinga.
2. Údaje o půdě, kde vstupují do modelu informace o zrnitostním složení půdy, objemové hmotnosti půdy, obsahu humusu, poměru C:N, hydraulické vodivosti půdy a parametrech retenční čáry.
3. Údaje o plodinách, kde mezi simulované procesy růstu rostliny patří fotosyntéza, respirace, rozdělení asimilátů, odumírání listů a kořenů, struktura porostu a stresové faktory. Fotosyntéza je počítána z indexu listové plochy (LAI), globálního záření, teploty vzduchu, vodního a dusíkového stresu. Model rozlišuje listy, stébla, zásobní orgány a kořeny rostliny. Rychlost vývoje rostliny je simulována na základě informací o teplotě a délce dne (Takač, Šiška, 2011).
4. Agrotechnické údaje, nazývané jako management, kde jsou pro Daisy definovány informace o hospodaření s půdou. Data, která tato část modelu rozlišuje, by se dala rozdělit na dvě části
 - a) přímá (orba, setí, sklizeň)
 - b) podmíněná (termín a množství hnojení, případně závlahy)

Model Daisy simuluje vodní bilanci povrchu i půdy. Pohyb vody v půdě je stanoven pomocí numerického řešení Richardsovy rovnice.

Daisy ke vkládání vstupních dat používá textový editor TextPad.

Růstový model Hermes

Hermes je německý agroekosystémový model. Z počátku byl vyvinut pro simulaci dynamiky dusíku v rostlinách a půdě (Kersebaum, 2011). V současné době komplexně simuluje celkový vývoj plodiny v daných podmínkách na základě specifických vstupních dat, mezi která patří:

1. Meteorologická data - průměrná denní teplota ($^{\circ}\text{C}$), relativní vlhkost (%), globální radiace ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}$), denní srážky (mm) a rychlost větru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) - která modelu slouží pro výpočet evapotranspirace. Hermes počítá evapotranspiraci na základě dvou vzorců. V rámci předkládané studie byl použit výpočet dle Penman-Monteith, který bere v úvahu výše uvedené proměnné. Alternativou je tzv. Haudeho vzorec, přičemž se jedná o standardní metodu Německé meteorologické služby.
2. Údaje o půdních vlastnostech, tj o obsahu organického uhlíku pro výpočet mineralizačního potenciálu půdy, o poměru C:N pro odhad obsahu organického dusíku v půdě, o objemové hmotnosti a půdní textuře pro určení maximální efektivní dosažitelné kořenové hloubky plodiny, o kamenitosti půdy, která vstupuje v úvahu při výpočtu půdní vlhkosti a hydrolimitech – bodu vadnutí a polní kapacitě – důležitých pro výpočet vodní bilance na základě tzv. kapacitní metody.
3. Údaje o agrotechnických opatřeních (termínech orby, hnojení, setí, závlah, sklizni).
4. Údaje o modelované plodině, kdy se do růstového modelu zadá základní charakteristika ječmene jarního. Nastavení odrůdy Tolar a Blaník v rámci modelu Hermes bylo vytvořeno rekalibrací odrůdy Orbit, která byla definována pro podmínky v České republice autorem modelu a aplikována v publikaci Rötter et al. (2012). Rekalibrace spočívala zejména v modifikaci délky fenologických fází.

Růstový model Hermes je schopen pracovat i s omezeným rozsahem vstupních dat. Všechny údaje, určené pro simulaci, musí být k dispozici ve speciálně definovaném formátu. Ke vkládání vstupních dat slouží jednoduchý textový editor.

Popis polního experimentu

Růstové modely byly kalibrovány na základě pozorovaných a naměřených dat z pokusného stanoviště v Bystřici nad Pernštejnem z let 2011 a 2012.

Experimentální lokalita se nachází v kraji Vysočina přibližně 60 km severo-severo-západně od Brna. Území s nadmořskou výškou 530 m n n náleží do bramborářsko-obilnářské výrobní oblasti. Podmínky pro intenzivní rostlinnou výrobu jsou zde ztíženy vyšší skeletovitostí a svažitostí půd jakož i nižším obsahem humusu a celkově horší kvalitou půdy a rizikem pozdním mrazů.

Design pokusu byl v obou letech totožný. Pokus s osmi variantami (označenými 1-8) byl založen na standardizovaných pokusných parcelách každé o velikosti $12,5 \text{ m}^2$ ve třech opakováních. Jednotlivé varianty se lišily:

1. odrůdou (odrůda Tolar, varianty 1,2,3,4 x odrůda Blaník, varianty 5,6,7,8)

2. termínem setí (varianty 1,2,5,6 s normální agrotechnickým termínem setí x varianty 3,4,7,8 s o 14 dní zpožděným agrotechnickým termínem setí)
3. dávkou hnojení (varianty 1,3,5,7 s běžnou úrovní hnojení x varianty 2,4,6,8 s o 1/3 zvýšenou dávkou hnojení)

Tab. 1. Rozdělení variant polního pokusu

varianty	odrůda	setí 2011	dávka č.N		
			(kg·ha ⁻¹) 2011	(kg·ha ⁻¹) 2012	
1	Tolar	12.04.	60	18.04.	70
2	Tolar	12.04.	69 + 20	18.04.	81+20
3	Tolar	27.04.	60	03.05.	70
4	Tolar	27.04.	69 + 20	03.05.	81+20
5	Blaník	12.04.	60	18.04.	70
6	Blaník	12.04.	69 + 20	18.04.	81+20
7	Blaník	27.04.	60	03.05.	70
8	Blaník	27.04.	69 + 20	03.05.	81+20

Tolar

Polopozdní sladovnická odrůda preferovaná některými sladovny. Je doporučena výzkumným ústavem pivovarským a sladařským pro výrobu Českého piva. Výnos předního zrna je ve všech oblastech nízký. Rostliny jsou středně vysoké až vysoké, středně až méně odolné proti poléhání. Zrno je středně velké, podíl předního zrna je nízký (VÚPS, 2009).

Blaník

Polopozdní sladovnická odrůda. Je doporučena Výzkumným ústavem pivovarským a sladařským pro výrobu Českého piva. Výnos předního zrna je v neošetřené variantě v kukuřičné oblasti a v ošetřené variantě v bramborářské oblasti vysoký, v ošetřené variantě v kukuřičné oblasti je velmi vysoký, v řepařské a obilnářské oblasti a v neošetřené variantě v bramborářské oblasti je středně vysoký. Rostliny jsou středně vysoké až vysoké, středně až méně odolné proti poléhání. Zrno je velké, podíl předního zrna je vysoký (VÚPS, 2009).

U variant 1,2,3 byly parcely zdvojené. Jedna byla odběrová, druhá sklizňová. Ve sklizňových parcelách byla do hloubky 30 cm umístěna dvě čidla TDR na měření obsahu půdní vláhy a v týdenním kroku zde byla měřena listová plocha pomocí přístroje SunScan (výrobce Delta-T Devices, Velká Británie).

Z odběrových parcel byly v průběhu vegetační sezóny prováděny odběry nadzemní biomasy a půdy a to minimálně 6x za sezónu. Jedna sada odběrů byla vždy provedena v době krátce po vzházení ječmene, jedna na počátku kvetení ječmene a jedna v době fyziologické zralosti ječmene.

U nadzemní biomasy byl vždy stanoven obsah sušiny na 1 m² a obsah dusíkatých látek v rostlině.

První půdní odběr proběhl ještě před setím, a to do hloubky 30 cm. Sloužil ke stanovení obsahu minerálního dusíku (NO₃ a NH₄) v jednotlivých vrstvách půdy. Díky tomu nám byly známi iniciální podmínky na pokusných parcelách. Ostatní půdní odběry se dělaly vždy následně po odběru nadzemní biomasy a po sklizni do hloubky 30 cm. Odebrané vzorky byly gravimetricky zpracovány a výsledky budou použity ke kalibraci čidel TDR umístěných ve sklizňových parcelách.

Podrobně se zde sledoval nástup a průběh fenologických fází (vzházení, odnožování, sloupkování, metání, kvetení, žlutá zralost, sklizeň), zdravotní stav porostu, hlavní výnosotvorné parametry, tj hustota porostu před sklizní, počet vzešlých rostlin na m², počet produktivních odnoží na m², sušina, hmotnost tisíce zrn, počet zrn v klase, jejich vlhkost a výnos.

V polních pokusech byla každý rok nainstalována meteorologická stanice.

Podle naměřených a pozorovaných údajů z polních pokusů z let 2011 a 2012 byly kalibrovány růstové modely Daisy a Hermes.

Ke statistickému vyhodnocení vztahu mezi naměřenými a modelovanými veličinami byly použity následující parametry (Davies & McKay 1989)

1. MBE, jako ukazatel průměrné systematické chyby
2. RMSE, jako střední kvadratická chyba, která popisuje průměrnou absolutní odchylku mezi pozorovanými a modelovanými hodnotami

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{n} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n}} \quad (2)$$

kde S_i odpovídá odhadované hodnotě dané veličiny,
O_i odpovídá pozorované hodnotě dané veličiny,
n je počet dvojic pozorovaných a odhadovaných hodnot

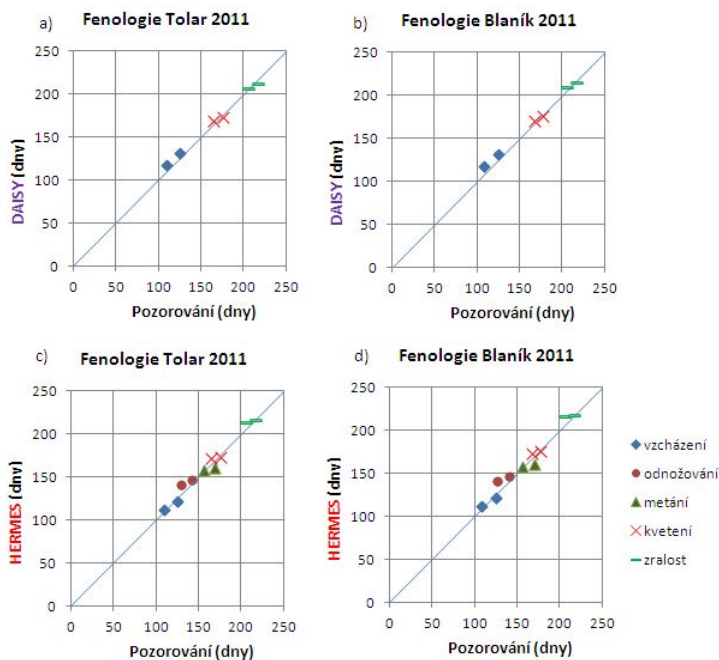
VÝSLEDKY A DISKUZE

Kalibrace růstových modelů Daisy a Hermes na základě naměřených a pozorovaných dat z polního pokusu s ječmenem jarním v Bystřici nad Pernštejnem probíhala v několika fázích. Prvním krokem

bylo co nejvíce přiblížit termíny modelovaných fenologických fází fenofázím pozorovaným. Pokus je zastoupen dvěma odrůdami. Kalibrace se dělala pro každou odrůdu zvlášť. U růstového modelu Daisy kalibrace fenofází probíhala postupným upravováním přednastavených parametrů vývojových stádií plodiny pro vegetativní a reprodukční fázi vývoje. V modelu Hermes byly postupně modifikovány teplotní sumy odpovídající jednotlivým fenologickým fázím.

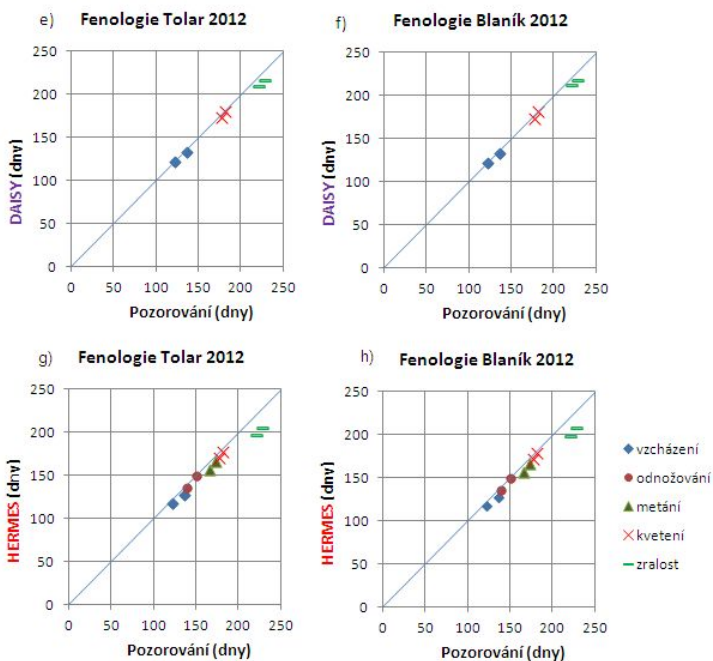
Graficky jsou výsledky kalibrace zachyceny pomocí obrázků 1 a 2. Dosažené hodnoty indikátorů MBE a RMSE jsou pak uvedeny v tabulce 2 a 3.

Obr. 1: Srovnání pozorovaného a modelovaného nástupu fenologických fází v roce 2011 pro odrůdy Tolar (a, c) a Blaník (b, d) pomocí modelů Daisy (a, b) a Hermes (c, d). V rámci obou modelů je odhadován termín vzházení, kvetení a zralosti. U modelu Hermes jsou mezi výstupy i odhadované termíny pro odnožování a metání. Jednotlivé termíny jsou definovány pomocí pořadového čísla daného dne od začátku roku



Obr. 2: Srovnání pozorovaného a modelovaného nástupu fenologických fází v roce 2012 pro odrůdy Tolar (a, c) a Blaník (b, d) pomocí modelů Daisy (a, b) a Hermes (c, d). V rámci obou modelů je odhadován termín vzházení, kvetení a zralosti. U modelu Hermes jsou mezi výstupy

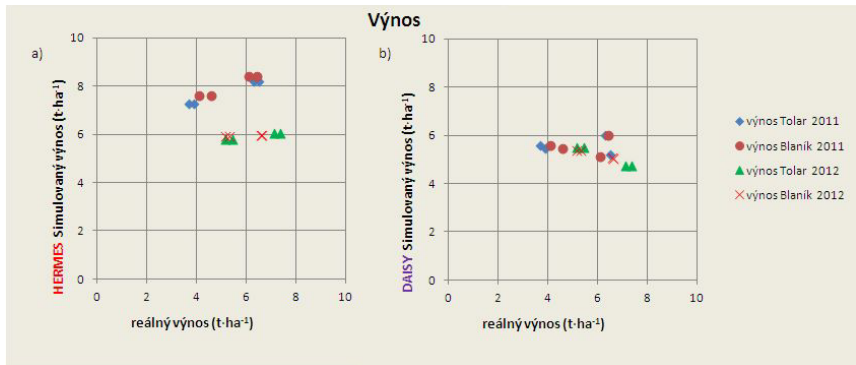
i odhadované termíny pro odnožování a metání. Jednotlivé termíny jsou definovány pomocí pořadového čísla daného dne od začátku roku.



Dalším ukazatel kalibrace růstových modelů je porovnání simulovaných a reálných výnosů u jednotlivých variant pokusu. Hermes nedokázal z hlediska výnosů rozlišit mezi nižší a vyšší úrovní hnojení.

Graficky jsou modelované a simulované výnosy zachyceny pomocí obrázku 3. Dosažené hodnoty indikátorů MBE a RMSE jsou pak uvedeny v tabulce 2 a 3.

Obr. 3: Srovnání pozorovaných a odhadovaných výnosů ječmene jarního (odrůdy Tolar a Blaník) pomocí modelu Hermes a Daisy v roce 2011 a 2012.



Model Daisy výnos v průměru za oba simulované roky systematicky mírně podhodnotil. Hermes v roce 2011 výnos systematicky nadhodnocoval, což by se částečně dalo vysvětlit polehnutím porostu v době trvání pokusu, které mohlo vést k nižšímu reálnému výnosu (tento fakt model nedokáže do svých odhadů zahrnout). V roce 2012 Hermes téměř nedokázal rozlišit mezi dříve a později setými variantami, což vyústilo v podhodnocení výnosů v prvním a mírnému nadhodnocení v druhém případě. Model Hermes v roce 2012 předpokládal, že později seté varianty profitovaly díky lepšímu rozložení srážek vzhledem k růstovým fázím. Díky tomu se v těchto variantách vytvořilo i více LAI (což potvrzují i měřené hodnoty). To se následně pozitivně projevilo u modelovaných výnosů, které se téměř dorovnaly odhadovaným hodnotám dříve setých variant. V případě pozorovaných výnosů se možnost delšího růstu u dříve setých variant (viz. pozorované termíny setí, vzházení a zralosti) pozitivně projevila na výnosech mnohem významněji, než tomu bylo u modelu.

Tab. 2. Vyhodnocení kalibrace dle statistického parametru MBE (Mean Bias Error)

2011	Daisy MBE			Hermes MBE		
	Kvetení (dny)	Zralost (dny)	Výnos (t·ha ⁻¹)	Kvetení (dny)	Zralost (dny)	Výnos (t·ha ⁻¹)
Tolar 1-4	1,0	-1,5	0,47	2,5	3,5	2,63
Blaník 5-8	0,5	1,0	0,24	2,0	6,0	2,66
2011 Ø MBE	0,8	-0,3	0,40	2,3	4,8	2,66
2012	Daisy MBE			Hermes MBE		
	Kvetení (dny)	Zralost (dny)	Výnos (t·ha ⁻¹)	Kvetení (dny)	Zralost (dny)	Výnos (t·ha ⁻¹)
Tolar 1-4	-3,5	-12,5	-1,16	-6,5	-23,5	-0,37
Blaník 5-6	-2,5	-10,0	-0,72	-4,5	-22,0	0,01
2012 Ø MBE	-3,0	-11,3	-0,90	-5,5	-22,8	-0,18
2011 a 2012 Ø MBE	-1,1	-5,8	-0,30	-1,6	-9,0	1,24

Růstový model Daisy simuloval kvetení v průměru o 1,1 dne dříve, než bylo pozorováno, zralost předběhl o 5,8 dní a celkový výnos o 0,3 t·ha⁻¹ podhodnotil. Hermes fenofázi kvetení předběhl o 1,6 dne, zralost o celých 9 dní. Výnos naopak o 1,24 t·ha⁻¹ nadhodnotil.

Tab. 3. Vyhodnocení kalibrace dle statistického parametru RMSE (Root Mean Square Error)

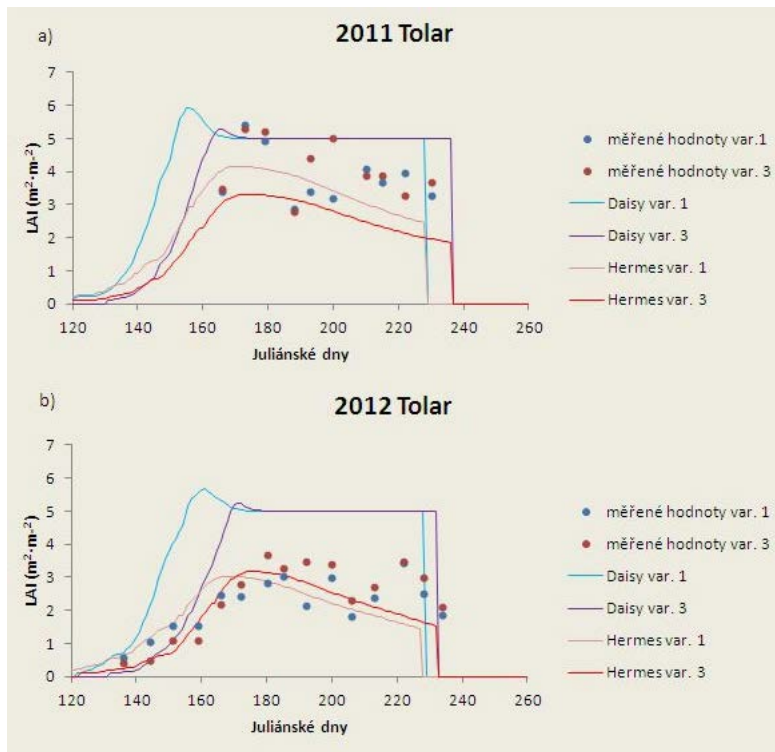
	Daisy RMSE			Hermes RMSE		
	Kvetení (dny)	Zralost (dny)	Výnos (t·ha ⁻¹)	Kvetení (dny)	Zralost (dny)	Výnos (t·ha ⁻¹)
2011						
Tolar 1-4	10,0	8,5	1,97	26,5	32,5	7,62
Blaník 5-8	6,5	10,0	1,02	20,0	61,0	7,62
2011 Ø RMSE	2,9	3,0	1,20	4,8	6,8	2,76
2012						
Tolar 1-4	14,5	156,5	3,19	44,5	552,5	0,84
Blaník 5-8	8,5	101	1,23	22,5	485,0	0,45
2012 Ø RMSE	3,4	11,3	1,50	5,8	22,8	2,03
2011 a 2012 Ø RMSE	3,1	8,3	1,40	5,3	16,8	2,03

Podle statistického parametru RMSE, průměrná tzv. absolutní chyba růstového modelu Daisy byla o velikosti 3,1 dne při kvetení, 8,3 dní při zralosti a 1,4 t·ha⁻¹ u výnosu. Průměrná chyba růstového modelu Hermes byla u kvetení 5,3 dní, zralosti 16,8 dní a u výnosu 2,03 t·ha⁻¹.

Kalibrační výsledky fenologie ječmene jarního vykazují určité rozpory s pozorováním i ve studii Rötter et al (2012), která porovnávala více růstových modelů (APESACE, CROPSYST, DAISY, DSSAT-CERES, FASSET, HERMES, MONICA, STICS a WOFOST) s růstem a vývojem ječmene jarního a do které byly zahrnuty výsledky z pozorování v rámci experimentů prováděných v několika evropských zemích. Kvetení se zde v průměru neshodovalo s realitou o ± 11 dní, zralost o ± 12 dní. Ani výnos zde žádný z modelů nesimuloval zcela uspokojivě. Daisy výnos systematicky podhodnocovala, Hermes prokázal lepší výsledky. I přesto tyto dva modely patřily mezi trojici nejlepších, co se odhadu výnosu týče.

Model Daisy byl kalibrován i na Slovensku. Zde se v jednotlivých simulacích rozdílly mezi simulovanými a reálnými úrody u ječmene jarního pohybovaly v rozmezí 0,1 t·ha⁻¹ do 2,2 t·ha⁻¹ (Takač, Šiška, 2011).

Obr. 4: Srovnání hodnot zaznamenaných přístrojem SunScan, odhadovaného vývoje listové plochy modelem Hermes a plochy rostlin (vč. stonků, klasů) modelem Daisy u varianty s normálním agrotechnickým termínem setí (varianta č. 1) a s o 14 dní zpožděným agrotechnickým termínem setí (varianta č. 3) v pokusných letech 2011 a 2012.



Růstové modely v obou letech relativně uspokojivě odhadly dynamiku vývoje listové plochy u variant 1 a 3 s rozdílným termínem setí.

V roce 2011 ve vegetační době porost ječmene díky nepříznivým podmínkám polehl. Naměřená data listové plochy jsou proto zatížena značnou chybou.

Z grafu na Obr.4 b) můžeme vyčíst, že v roce 2012 růstový model Daisy vývoj listové plochy nadhodnotil. Růstový model Hermes, na rozdíl od Daisy a SunScanem naměřených dat, bere v potaz jen samotnou listovou plochu bez zbývající plochy rostliny reprezentované stonky či klasy. Tímto způsobem by se dal částečně vysvětlit fakt, že simulované hodnoty LAI Hermesu jsou nižší než u Daisy.

ZÁVĚR

Při kalibraci vybraných růstových modelů (Daisy a Hermes) pro ječmen jarní v klimatických podmínkách Českomoravské vrchoviny bylo dosaženo uspokojivých výsledků v oblasti fenologického vývoje. V případě odhadovaných výnosů oba modely nedokáží uspokojivě vysvětlit variabilitu pozorovaných výnosů. Modely obecně uváděly oproti pozorování o něco menší rozdíly ve výnosech mezi variantami s dřívějším a pozdějším termínem setí v jednotlivých letech. Ve většině případů uváděly velmi malé rozdíly u různě hnojených variant. Na druhou stranu zde byly malé rozdíly i v případě reálně pozorovaných výnosů a různého hnojení, přičemž v některých případech byl dokonce u variant a vyšší dávkou hnojení pozorován mírně nižší výnos.

Polní experiment se dvěma odrůdami ječmene jarního bude pokračovat i v příštím roce a bude doplněn o pokusy v růstových komorách, které umožní získání dat z podmínek s vyšší než současnou koncentrací CO₂ a modifikovaným teplotním a srážkovým režimem. Na základě získaných výsledků v sezónách 2011 a 2012 je pro sezónu 2013 také připravena modifikace pokusných variant (nahrazení varianty se zvýšenou dávkou N, variantou bez hnojení a změna nahrazení pozdního výsevu extrémně časným výsevem). Na základě nově získaných výsledků proběhne finální recalibrace růstových modelů.

Získané zkušenosti při aplikaci uvedených dvou modelů a dosažené výsledky jsou dobrým výchozím bodem k jejich dalšímu používání k různým účelům (např. hledání optimálních způsobů hospodaření v současných podmínkách či odhadu možných dopadů budoucích klimatických podmínek).

LITERATURA

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO. 326, ISBN 92-5-104219-5.

Davies, J.A. & McKay, D.C. 1988. *Evaluation of selected models for estimating solar radiation on horizontal surfaces*. Solar Energy 43, 153-168.

Hansen, S., Jensen, H. E., Nie Isen, N. E., Svendsen, H. 1990. *DAISY – A Soil Plant System Model. Danish Simulation Model for Transformation and Transport of Energy and Matter in the Soil-Plant-Atmosphere System*. Copenhagen: National Agency for Environmental Protection 272, ISBN 87-503-8790-1.

Challinor, A.J., Ewert, F., Arnold, S., Simelton, E., Fraser, E. 2009. *Crops and climate change: progress, trends, and challenges in simulating impacts and informing adaptation*. J. Exp. Bot. 60, ISBN 2775-2789.

Kersebaum, K.C. 2011. *Special Features of the HERMES Model and Additional Procedures for Parameterization, Calibration, Validation, and Applications: Leibniz-Centre for Agricultural Landscape Research, Institute for Landscape Systems Analysis, Muencheberg.3, WI 53711-5801*.

Palosuo, T., Kersebaum, K. C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J. E., Patil, R. H., et al. 2011. *Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: A comparison of eight crop growth models*. European Journal of Agronomy 35, 103-114.

Porter, J.R., Semenov, M.A. 2005. *Crop responses to climatic variation*. Philos. T. Roy.Soc. B 360, 2021–2035.

Rötter, R., Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Bindi, M., Ewert, F., Ferrise, R., Hlavinka, P., Moriondo, M., Nendel, C., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruger, F., Takač, J., Trnka, M. 2012. *Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: A comparison of nine crop models*. Field Crops Research 133, 23-36. ISSN 0378-4290.

Takáč, J., Šiška, B. 2011. *Calibration and Validation of DAISY model In Conditions of the Slovak Republic*. Vedecké práce Výskumného ústavu pôdoznanectva a ochrany pôdy, 161-172, 216.

Svaz pěstitelů sladovnického ječmen Čech, Moravy a Slezka, 2009. *Ječmenářská ročenka*. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, 38-42, 262.

Žalud, Z. 2008, *Folia Mendelovy Zemědělské a Lesnické Univerzity v Brně – Svazek 1, Mendelova Zemědělská a Lesnická Univerzita Brno, Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu - metodiky stanovení indikátorů ekosystémových služeb*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 176s., IBSN 978-80-7375-221-7