



**Parametrizace a validace růstového modelu
pro řepku ozimou**

Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Petr Hlavinka, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. David Vrána



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. David Vrána**

Studijní program: Fytotechnika

Obor: Fytotechnika

Název tématu: **Parametrizace a validace růstového modelu pro řepku ozimou**

Rozsah práce: 50-60

Zásady pro vypracování:

1. Zpracovat literární přehled o možnostech využití růstových modelů.
2. Zpracovat literární přehled o nárocích a významu řepky ozimé.
3. Zpracovat databáze údajů z polních pokusů a připravit je do formátu odpovídajícího růstovému modelu.
4. Kalibrovat vybraný růstový model pro řepku ozimou na základě dat z polních pokusů.
5. Validovat nastavení modelu na nezávislém vzorku dat z polních pokusů.



Seznam odborné literatury:

1. MAVI, H S. – TUPPER, G J. *Agrometeorology : principles and applications of climate studies in agriculture*. New York: Food Products Press, 2004. 364 s. ISBN 1-56022-972-1.
2. ŽALUD, Z. a kol. *Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace*. 10. vyd. Brno: Folia Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, 2009. 154 s. 2. ISBN 978-80-7375-369-6.
3. BARANYK, P. – FÁBRY, A. a kol. *Řepka : pěstování, využití, ekonomika*. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2007. 208 s. ISBN 978-80-86726-26-7.
4. HLAVINKA, P. – TRNKA, M. – KERSEBAUM, K C. – ČERMÁK, P. – POHANKOVÁ, E. – ORSÁG, M. – POKORNÝ, E. – FISCHER, M. – BRTNICKÝ, M. – ŽALUD, Z. Modelling of yields and soil nitrogen dynamics for crop rotations by HERMES under different climate and soil conditions in the Czech Republic. *Journal of Agricultural Science*. 2013. ISSN 0021-8596. URL: <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=8810578>
5. HLAVINKA, P. – TRNKA, M. – EITZINGER, J. – SMUTNÝ, V. – THALER, S. – ŽALUD, Z. – RISCHBECK, P. – KŘEN, J. The performance of CERES-Barley and CERES-Wheat under various soil conditions and tillage practices in Central Europe. *Bodenkultur, Die*. 2010. sv. 61, č. 1, s. 5–17. ISSN 0006-5471.

Datum zadání diplomové práce: říjen 2013

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2015


Bc. David Vrána
Autor práce




Ing. Petr Hlavinka, Ph.D.
Vedoucí práce


prof. Ing. Jan Křen, CSc.
Vedoucí ústavu


prof. Ing. Ladislav Zeman, CSc.
Děkan AF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Parametrizace a validace růstového modelu pro řepku ozimou vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

PODĚKOVÁNÍ

Velice rád bych touto cestou chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Hlavinkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a materiály poskytnuté při zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za finanční a psychickou podporu po celou dobu studia.

Abstrakt

Tato práce pojednává o modelování růstu a vývoje řepky ozimé prostřednictvím softwaru DSSAT. Pro parametrizaci a následnou validaci posloužily následující ukazatele: termín počátku kvetení, termín dosažení plné zralosti, velikost výnosu, dynamika růstu biomasy a LAI (index listové plochy).

Pro účely simulace byla využita data z maloparcelkových polních pokusů vedených společností ÚKZÚZ (Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský) v Lednici v letech 1999 – 2006 a v Domanínku v letech 1999 – 2011. Zároveň byl v Domanínku pod vedením Mendelu (Mendelova univerzita v Brně) v letech 2012 – 2014 založen přímo za účelem růstové modelace vícevariantový pokus, který čítal celkem 8 variant, které se navzájem lišily termíny výsevu, dávkou dusíkatého hnojení a odrůdou. Na základě zmíněných víceletých pokusů byla vytvořena rozsáhlá databáze pro testování modelu DSSAT.

Navzdory tomu, že se jedná o vůbec první pokus o simulaci růstu řepky tímto modelem v pěstebních podmínkách střední Evropy, bylo dosaženo velmi zajímavých výsledků. I přes výrazné odchylky některých testovaných parametrů, model dokázal celkem úspěšně vystihnout pro řepku charakteristickou dynamiku růstu. Hlavním nedostatkem ovšem je, že model nereaguje na odumírání listové plochy v zimním období. Taktéž můžeme považovat za úspěch to, že model správně zareagoval na rozdílné podmínky stanoviště a je zde vidět charakteristický vegetační posun mezi jednotlivými lokalitami a pozdější nástup fenofází v chladnější a výše položené oblasti Domanínku, kde model vykazuje i větší přesnost simulovaných hodnot.

Klíčová slova: řepka ozimá, růstový model, parametrizace, validace, LAI, biomasa, fenologie, DSSAT

Abstract

This diploma thesis is focused on winter rape growth and development modeling by DSSAT software. The date of flowering, date of maturity, yields, above ground biomass dynamics and LAI dynamics were used for parameterization and consequent validation of the selected model.

The data from field trials conducted by Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture (ÚKZÚZ) within Lednice station (period from 1999 to 2006) and Domanínek station (period from 1999 to 2011) were used for simulations. Moreover data from field trials conducted by Mendel University in Brno within Domanínek station (period from 2012 to 2014) were used for winter rape modeling. This experiment consisted of eight variants with different sowing dates, nitrogen fertilization amounts and two cultivars. The dataset for DSSAT model testing was prepared based on above mentioned experiments.

Despite the first attempt to simulate winter rape growth and development in Central Europe by DSSAT model, interesting results were achieved. Although some deviations between observed and simulated parameters appeared, the model was able to mimic characteristic crop growth dynamics. One of the main shortcomings is that model is not able to simulate necrosis of leaves within winter period. On the other hand, the model was able to reproduce the effect of different climatic conditions within included locations (i.e. later onset of observed phenophases within cooler station with higher elevation etc.) and the parameters were estimated with higher accuracy at Domanínek station.

Key words: winter rape, crop growth model, parameterization, validation, LAI, biomass, phenology, DSSAT.

Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	LITERÁRNÍ PŘEHLED	11
2.1	Historie pěstování řepky	11
2.1.1	Rozšíření řepky na české území.....	11
2.1.2	Vývoj pěstitelských ploch řepky ozimé v ČR	12
2.2	Význam a využití řepky	13
2.3	Biologická charakteristika.....	14
2.3.1	Botanický základ.....	14
2.3.2	Fenologie řepky ozimé.....	15
2.3.3	Výnosotvorné prvky a fyziologie výnosu	17
2.4	Agroekologické požadavky řepky ozimé.....	20
2.4.1	Nároky na průběh počasí	20
2.4.2	Požadavky na půdu	23
2.4.3	Nároky na živiny.....	23
2.5	Základní seznámení s problematikou modelování.....	25
2.5.1	Využití růstových simulačních modelů	25
2.5.2	Slovníček základních pojmů.....	26
2.5.3	Historie růstových simulačních modelů	28
2.5.4	DSSAT.....	29
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
3.1	Cíl práce	32
3.2	Metodika pokusů.....	33
3.2.1	Agroekologická charakteristika pokusného stanoviště Domanínek	33
3.2.2	Metodika pokusu – Mendelu (Rohan a Labrador) – Domanínek	36
3.2.3	Metodika pokusu – ÚKZÚZ (Labrador) – Domanínek	42
3.2.4	Metodika pokusu – ÚKZÚZ (Artus) – Domanínek.....	46
3.2.5	Agroekologická charakteristika pokusného stanoviště Lednice.....	51
3.2.6	Metodika pokusu – ÚKZÚZ (Artus) – Lednice.....	53
3.2.7	Charakteristika použitých odrůd.....	58
3.2.8	Použité statistické metody	59

3.2.9	Programy použité pro úpravu vstupních dat	59
3.3	Výsledky a diskuse.....	60
3.3.1	Kalibrace (parametrizace) modelu DSSAT	60
3.3.2	Validace (evaluace) modelu DSSAT	67
4	ZÁVĚR.....	80
5	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	82
5.1	Literární zdroje.....	82
5.2	Internetové zdroje.....	85
6	SEZNAM TABULEK	86
7	SEZNAM OBRÁZKŮ	87
8	SEZNAM GRAFŮ	88

1 ÚVOD

Pěstitelské plochy oseté řepkou nabývají v posledních letech nebývalých rozsahů. Ve vegetační sezóně 2012/2013 byla v ČR sklizena rekordní plocha řepky (418 808 ha), což představovalo zhruba 17 % osevní plochy. Jelikož někteří převážně drobní zemědělci tuto plodinu nepěstují vůbec, dosahuje její koncentrace v osevních postupech větších zemědělských subjektů výrazně vyšších hodnot – často 20 % orné půdy, u některých podniků klidně i 25 – 33 %. Z toho vyplývá, že řepka se u těchto pěstitelů dostane na stejný pozemek znovu po 2 – 4 letech. Pro zemědělce je tedy v tomto případě značně složité dodržovat správné zásady osevních postupů. Je tedy nutné věnovat pozornost ostatním opatřením, které můžeme nějakým způsobem ovlivnit a maximalizovat tak ziskovost při intenzivním pěstování řepky. Jednou z cest může být optimalizace a správné načasování pěstebních opatření.

V současnosti již zasáhla výpočetní technika do všech odvětví lidské činnosti a stala se nezbytnou součástí našeho života. Nelze se tedy divit, že i v oblasti agroekologie a krajinného inženýrství došlo k vývoji specifických programů (tzv. modelů) simulujících reálné procesy v přírodě. Modely mohou posloužit v ochraně životního prostředí a půdy, v plánování a využití krajiny, případně mohou předpovědět následky klimatických změn či v užším zemědělském pojetí mohou posloužit k simulaci růstu a vývoje jednotlivých plodin, ale i jejich zařazení v rámci zmiňovaných osevních postupů. Mnohostranné využití těchto modelů může napomoci k rozhodnutím, která povedou k optimalizaci daného procesu s následným ekonomickým efektem.

I když prozatím nachází hlavní uplatnění ve vědecké oblasti, do budoucna mohou nalézt výraznější uplatnění i v podmínkách zemědělské praxe, kde ubývá agronomických odborníků. Tento rostoucí nedostatek specializovaných pracovníků bude nutné nějak nahradit a jednou z mnoha možností může být využití daných softwarů. V praxi jsou kladeny požadavky na shodu simulovaných a pozorovaných růstových charakteristik. Toho by mělo být následně využito pro správné načasování a určení míry agrotechnických opatření (zpracování půdy, setí, hnojení, zavlažování, použití pesticidu...), v závislosti na měnících se půdních a klimatických podmínkách nejen v průběhu vegetace.

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 Historie pěstování řepky

Přibližně do konce 18. století se nedělaly rozdíly mezi řepkou olejkou a řepicí, proto se o počátcích využívání těchto příbuzných druhů hovoří často společně. Dle dávných záznamů byla řepka pěstována v Indii již 4000 let př. n. l. Některé brukvovité jako řepice a různé druhy brukve vešly ve známost v době antiky, ale severně od Alp se začíná řepka pěstovat zřejmě až ve 13. století. Ke konci středověku se začíná využívat řepkového oleje jako lampového oleje ke svícení. Tuto svou roli si udržel až do konce 19. století, kdy dochází k nahrazení petrolejem. Kromě toho se olej využíval při výrobě mýdel. Od 16. století je již řepka rozšířena po Evropě jako polní plodina (Alpmann et al., 2009).

2.1.1 Rozšíření řepky na české území

K evropským průkopníkům v pěstování patřilo Nizozemí, odkud se koncem 18. století řepka dostává i na české území. K výraznějšímu rozvoji na našem území došlo až v letech 1820 – 1839 a v druhé polovině 19. století činila pěstitelská plocha v průměru již 18 tis. ha. Avšak po nástupu petroleje a minerálních olejů na přelomu 19. a 20. století došlo opět k poklesu výměry. Úpadek v pěstování olejnin pokračoval i v meziválečném období, kdy se konzumovaly převážně živočišné tuky. Kalus a Suchánek (1955) uvádí, že v roce 1933 činila plocha řepky v celé ČSR pouze 980 ha. Opětovný nárůst nastal až v dobách nacistické expanze, kdy následkem blokády kontinentu a úpadkem živočišné výroby dochází k rozšiřování plochy až na 37847 ha v roce 1944. V poválečném období zůstává řepka plánovitě pěstována víceméně v podobném rozsahu. K dalšímu výraznějšímu rozmachu dochází až od roku 1970 s vstupem selektivního herbicidu Treflan/Elancolan (trifluralin), díky kterému se změnila technologie pěstování řepky. Dále se začala ve vyšší míře využívat průmyslová hnojiva a na trh vstoupil desikant Reglone, což společně s nástupem nových „bezerukových“ odrůd vedlo k dalšímu rozvoji ploch (Vašák et al., 2000).

V roce 1983 vlivem snahy o další zlepšení stavu produkce vzniká sdružení tzv. Systém výroby řepky (SVŘ), které sdružuje výzkumné aktivity, zpracovatele a pěstitele. Po roce 1989 přejímá tuto roli Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin (SPZO), který v této oblasti působí dodnes (Baranyk, Fábry et al., 2007).

2.1.2 Vývoj pěstitelských ploch řepky ozimé v ČR

Pěstitelské plochy oseté řepkou nabývají v posledních letech nebývalých rozsahů. Náklady sice za předešlých pár let mírně vzrostly, ale dosahovaný výnos z hektaru a příznivé výkupní ceny dělají z řepky velmi rentabilní plodinu. Od roku 2003 po další čtyři roky klesly plochy pod 300 tis. ha, ale od roku 2007 přesahují opět hranici 300 tis. ha a produkce řepkového semene 1 mil. t. Přičemž ve sklizňovém roce 2013 byla sklizena rekordní plocha 418 808 ha a produkce dosáhla 1 444 421 t s průměrným hektarovým výnosem 3,45 t, který byl druhým nejvyšším výnosem v historii pěstování ozimé řepky v ČR po roce 2004 (výnos 3,6 t/ha). Netrvalo však dlouho a v následujícím sklizňovém roce 2014 byl překonán i tento rekord, kdy bylo dosaženo na ploše 389 298 ha historicky nejvyššího průměrného výnosu 3,95 t/ha a produkce překonala hranici 1,5 mil. tun (MZe, 2013; ČSÚ, 2015).

Tabulka č. 2.1: Plochy sklizně, výnosy a produkce semen řepky v letech 2000 až 2014 (ČSÚ, 2015)

Rok	Sklizňová plocha (ha)	Výnos (t/ha)	Produkce celkem (t)
2000	323 842	2,61	844 428
2001	343 004	2,84	973 321
2002	313 025	2,27	709 533
2003	250 959	1,55	387 805
2004	259 460	3,60	934 674
2005	267 160	2,88	769 377
2006	292 247	3,01	880 172
2007	337 571	3,06	1 031 920
2008	356 924	2,94	1 048 943
2009	354 826	3,18	1 128 119
2010	368 824	2,83	1 042 418
2011	373 386	2,80	1 046 071
2012	401 319	2,76	1 109 137
2013	418 808	3,45	1 444 421
2014	389 298	3,95	1 537 320

2.2 Význam a využití řepky

Řepka ozimá je v našich podmínkách nejvýkonnější olejninou, neboť dává nejvíce tuku z jednotky plochy a řadí se mezi naše nejvýkonnější plodiny vůbec. Spolu s cukrovkou dovede ve své sklizni nahromadit tolik sluneční energie jako málokterá plodina a tuto energii váže v nejčistší formě oleje a bílkovin. Využití řepky olejné je velmi rozsáhlé a nelze se divit, že se řepka stala postupem času jednou z nejvýznamnějších plodin českého zemědělství. Potencionálně lze zhodnotit všechny části rostliny a to v různých oblastech lidské činnosti.

Řepkový olej lze využívat jako potravinářskou surovinu pro lidskou výživu, ale po příslušném upravení je vhodný také pro použití ve spalovacích motorech nebo lze dále zpracovávat v oleochemii. Pozůstatky po zpracování semene řepky nacházejí své uplatnění v krmivářství. Řepkovou slámu lze také nadále využít a to třeba jako energetický nosič nebo jako izolační materiál, ovšem nejčastěji je ponechána na poli a využita jako organické hnojivo (Alpmann et al., 2009).

Sláma i strniště řepky jsou výborným zdrojem půdního humusu, a proto mají velký přínos k udržení a zvyšování půdní úrodnosti. Dnes při rostoucím podílu obilnin na orné půdě je řepka zároveň i cennou předplodinou, neboť svým speciálním biologickým a pěstitelským charakterem (mohutný kořenový systém, schopnost využívat i vyšší dávky minerálního hnojení, dlouhodobé zastínění půdy...) má významnou fyto-sanitární funkci v obilnářských osevních sledech při současném výrazném omezení pěstování okopanin (brambor). Působí především jako přerušovač infekčních cyklů mnoha půdních patogenů – stéblolam, fusarium. Jednoleté olejninu, mezi které řepka patří, jsou velmi dobrými předplodinami také z toho důvodu, že zanechávají včas pole v dobrém kulturním stavu pro následnou ozimou obilninu.

Dnešní vysoké zastoupení řepky v osevních postupech je sice na jednu stranu vítáno z předplodinového i ekonomického hlediska, na straně druhé se s masivním pěstováním řepky pojí i jistá negativa. Konkrétně se jedná o výskyt široké řady škodlivých organismů, proti kterým je nutno řepku chránit. Dochází tedy k rozsáhlému používání pesticidů, což přináší další zvyšování nákladů na produkci a v neposlední řadě se jedná o další zátěž pro životní prostředí (Baranyk, Fábry et al., 2007).

2.3 Biologická charakteristika

Řepka olejka náleží do čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*) a rodu brukev (*Brassica*). Jsou známy jarní a ozimé formy řepky. Jejich odlišnost spočívá ve snášenlivosti chladu. Ozimé odrůdy potřebují období vzájemného působení nízkých teplot a krátkého dne (tzv. jarovizace), aby mohli přejít z vegetativní do generativní fáze. V odolnosti proti chladu se však i jednotlivé ozimé odrůdy liší. Teploty nutné pro jarovizaci by se v závislosti na odrůdě, tvorbě listů a okolním prostředí měli pohybovat mezi 2 až 8 °C po dobu 30 až 60 dní. Vedle průběhu teplot a fotoperiodické reakce významně působí na vývoj i intenzita světla. Jedná se o klasickou dlouhodobou rostlinu, ale v průběhu jarovizace jsou vyžadovány světelné podmínky krátkého dne. Přechod do generativní fáze urychluje dlouhý den (Baranyk, Fábry et al., 2007).

Ozimé odrůdy převládají v západní a střední Evropě, protože dosahují vyšších výnosů. Vegetační doba se v těchto podmínkách pohybuje od 300 do 340 dnů, nejčastěji 320 až 330 dnů. Jarní forma slouží ve středoevropských zemích jako náhrada za vyzimovanou řepku nebo ke krmení na zeleno. Z celosvětového pohledu však převládají jarní řepky, které jsou spolu s řepicí pěstovány zejména v Číně a Kanadě, skandinávských a pobaltských státech, na Ukrajině a v Rusku (Alpmann et al., 2009).

2.3.1 Botanický základ

2.3.1.1 Kořen

Hlavní kulovitý kořen může nabývat tloušťky až 2 cm a zasahovat až hluboko do půdy (60 – 80 cm). Vedle hlavního kořene se tvoří mohutný systém bočních kořenů, které jsou sice silné, ale za to krátké. Sací plocha vedlejších kořenů je však značná, protože obsahují i velké množství kořenových vlásků (Kalus et Suchánek, 1955).

2.3.1.2 Stonek a listy

Délka lodyhy je značně variabilní (125 – 200 cm). Dnes jsou však vyšlechtěny trpasličí a polotrpasličí odrůdy s krátkým stonkem odolným vůči poléhání. Z úžlabí listů vyrůstají boční větve, které se podle odrůdy nadále rozvětvují. Nadzemní část rostliny prochází během růstu dvěma etapami – ve fázi listové růžice (vegetativní) přečká zimu a na jaře začíná fáze prodlužovacího růstu (generativní). V období listové růžice se má listová pokryvnost pohybovat v rozmezí 1,5 – 2,5 LAI (Baranyk, Fábry et al., 2007).

Na podzim vytváří rostlina pouze spodní listy, které přes zimu obvykle zmrznou a následně opadají. Ve středu těchto listů leží vegetační vrchol tvořený 8 – 10 zárodečnými lístky tzv. srdéčko. Na spodku těchto lístků se vyvine během podzimního období pupen, z něhož následně na jaře vznikají postranní větve (Kalus et Suchánek, 1955).

2.3.1.3 Květ

Řepka je označována jako fakultativně cizosprašná rostlina, protože se u ní objevuje opylení jednak vlastním, tak i cizím pylem. Výhodnější a častější je cizosprašení, při kterém rostlina vytváří více šesulí, které jsou delší a obsahují větší počet semen. Je výhodné ke kvetoucím lánům přistavovat pojízdné včelíny, jelikož cizosprašnost se převážně provádí pomocí hmyzu (Turčány et al., 1955).

2.3.1.4 Plod a semena

Plodem jsou cca 5 – 10 cm dlouhé šesule podélně přehrazené blanitou přepážkou, na kterou přisedá 15 až 20 semen. Na jedné rostlině se může vyskytovat až 570 šesulí. Pro řepku je charakteristická nejednotnost kvetení a dozrávání. Nejedná se jen o odrůdovou záležitost, ale na jednotnost působí také průběh počasí. V suchých teplých letech může z důvodu nedostatku vody v době dozrávání docházet k nouzové zralosti. Důsledkem toho je předčasné otvírání šesulí a tvorba extrémně malých semen. Pěstitelským cílem je zajistit dostatečnou pevnost šesulí a minimalizovat tak možnost předčasného vysypání semene (Alpmann et al., 2009).

Zralá semena jsou zbarvena do černa nebo fialově černa, nedozralá jsou cihlově červená. HTS se pohybuje v rozmezí 3,75 – 6,50 g. Semeno tvoří z cca 40 – 50 % tuky. Kromě oleje se v semeni vyskytuje 16 – 27 % bílkovin, které představují hlavní složku výživy v pokrutinách (Baranyk et al., 2010).

2.3.2 Fenologie řepky ozimé

Jak už bylo dříve zmíněno, vegetační doba řepky trvá zhruba 11 měsíců. Během tohoto období prochází rostlina nejprve vegetativní a následně generativní fází. Semeno řepky pro správné klíčení vyžaduje 60 hmotnostních procent vody. Ke klíčení dochází již při teplotě nad 1 °C, přičemž optimum je 20 – 25 °C (Baranyk, Fábry et al., 2007). Řepka vyžaduje pro periodu od zasetí po vzejití sumu teplot 100 – 140 °C (Diepenbrock et Grosse, 1995).

Na zakořeňování kladně působí výživa hořčíkem a řadou mikroelementů. Přičemž výrazné zásobení půdy dusíkem působí na omezení zakořeňování a společně s přebytkem vláhy podporuje růst nadzemní části. Při vodní kapacitě nad 70 % intenzita zakořeňování klesá. Pro optimální vývoj porostu před zimou potřebuje řepka 90 až 100 dnů při teplotě nad 5 °C (Baranyk, Fábry et al., 2007). Graf et Degner (1994) naopak uvádí, že řepka by měla pro správné přezimování dostat 100 – 110 vegetačních dní s teplotou nad 2 °C.

Na podzim prvního roku má vývoj končit ve stadiu listové růžice s minimálně 10 listy a mohutným křovitým kořenem o délce aspoň 15 – 20 cm. V podzimním období se hmotnost kořenové hmoty pohybuje kolem 1/5 hmotnosti nadzemní hmoty. Hmotnost sušiny nadzemní hmoty by se měla před nástupem zimy pohybovat v rozmezí 1,5 – 2,5 t/ha (Baranyk, Fábry et al., 2007). Obdobné hodnoty potvrzují i ostatní autoři. Na podzim porost obvykle vytvoří 2 t/ha sušiny nadzemní biomasy (Diepenbrock et Grosse, 1995), taktéž Vašák et al. (2000) uvádí hodnotu 2,0 – 2,5 t/ha.

Hlavní pěstitelskou snahou je vytvořit před zimou rostlinu s co nejrozsáhlejším kořenovým systémem při síle kořenového krčku mezi 8 a 12 mm, aby odolal i opakovaným holomrazům. Kořeny řepky rostou hlavně od listopadu, kdy se vlivem nižších teplot (3 – 5 °C) zastaví růst nadzemní biomasy. Kořeny pozastavují svůj růst až při poklesu teplot pod 2 – 3 °C (Baranyk, Fábry et al., 2007).

Základy budoucích květů se začínají objevovat již v zimním období po proběhnutí jarovizace. Hlavní generativní stadium však nastupuje až od února do května. V tomto období je položen základ pro 2000 – 3000 květů, avšak ani ne polovina dozraje v šešule. Fáze vytváření poupat je spojena s výrazným nárůstem lodyh a větví, který končí až v době plného květu. V období 2 – 3 týdny před kvetením naroste asi 50 % z celkové konečné hmotnosti. Optimální velikost listové pokrývnosti (LAI) se v této fázi vývoje pohybuje kolem 4. Kvetoucí řepka postupně ztrácí své velké lodyžní listy a vykazuje asi 80 % konečné hmotnosti. Zbývající listy opadávají v průběhu nalévání semen a jejich asimilační funkce se ujímá lodyha, větve a obaly šešulí. Výnos úzce souvisí s délkou setrvání listové plochy, která ovlivňuje výši produkce více než velikost listové plochy. Dynamika dozrávání semen významně ovlivňuje množství a kvalitu zásobních látek (Vašák et al., 2000). V závislosti na počasí trvá kvetení porostu 20 – 30 dnů a v našich podmínkách probíhá převážně v měsíci květnu (Vašák et al., 1997). Rozpětí optimální fotoperiody pro kvetení je mezi 16,6 a 18 hodinami (Diepenbrock et Grosse, 1995).

Šešule začínají růst a zvyšovat svou hmotnost v několika málo dnech po rozkvetu, rychlý růst semen je omezen na přibližně 20 dnů (Hocking at Mason, 1993). Rostliny dozrávají během tohoto období rozdílně. I když na vrchních výhoncích začínají první šešule už pukat, neznamená to ještě žádné ohrožení, protože v šešulích spodních pater se semena teprve vytvářejí a svým výnosem jsou schopna nahradit výnosovou ztrátu z horních šešulí (Alpmann et al., 2009).

Nejen pro výzkumné účely, ale i pro praktické agronomické činnosti, byly vytvořeny různé fenologické stupnice. Díky nim jsme schopni stanovit danou růstovou a vývojovou fází, ve které se rostlina právě nachází. Jednotlivé růstové fáze jsou zkráceně popsány a zpravidla i doplněny morfologickým nákresem. Dnes bývá nejhojněji využívána tzv. fenologická stupnice BBCH (Baranyk et al., 2010).

2.3.3 Výnosotvorné prvky a fyziologie výnosu

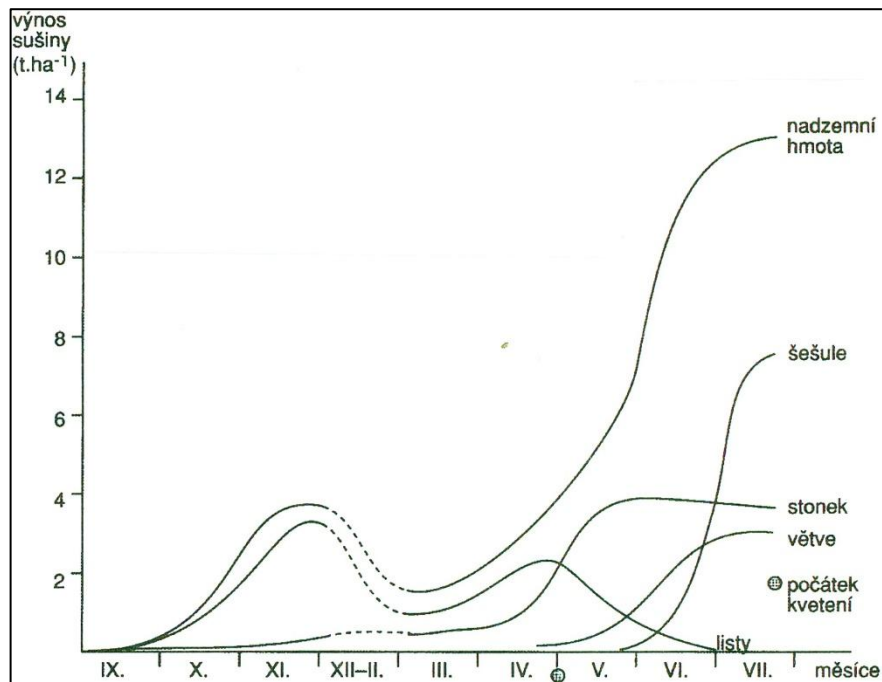
Úroveň výnosotvorných prvků je sice podmíněna genotypem odrůdy, ale z velké části je ovlivněna ročníkem, ekologickými podmínkami a agrotechnikou. Při tvorbě výnosu dochází ke vzájemnému spolupůsobení těchto faktorů. Na velikosti výnosu se spolupodílí jednotlivé prvky výnosu (viz tabulka č. 2.2). S postupem vegetace se zmenšuje možnost ovlivnit strukturu daných prvků výnosu agrotechnickými zásahy, ale výnos je ovlivňován převážně vlivy agroekologickými, fyziologickými a sklizňovými ztrátami. Z hlediska tvorby výnosu má u ozimé řepky značný význam utváření listové pokrývnosti (LAI) a tvorba sušiny (Vašák et al., 2000).

Tabulka č. 2.2: Potenciální výnosová schopnost řepky ozimé (Baranyk et al., 2010)

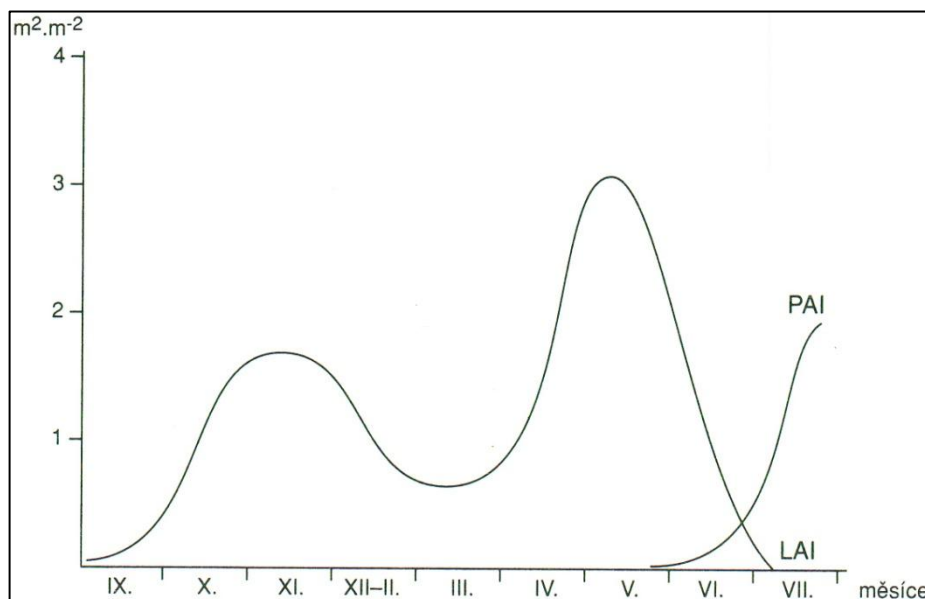
Počet rostlin na 1 m²	50
Hmotnost 1000 semen – HTS (g)	5
Počet větví 1. řádu na rostlině	8
Počet semen v šešuli	20
Počet šešulí na 1 rostlině	150
Počet šešulí na 1 m²	7 500
Počet semen na 1 rostlině	3 000
Počet semen na 1 m²	150 000
Výnosový potenciál (t/ha)	7,5

2.3.3.1 Nadzemní biomasa a LAI

Listová pokrývnost (LAI) vyjadřuje poměr listové plochy porostu k ploše půdy, která mu v porostu připadá. Jedná se o významný ukazatel velikosti asimilačního aparátu. Právě dynamika tvorby asimilačního aparátu je významným faktorem pro tvorbu výnosu. Proces utváření listové plochy koresponduje s vývojem množství sušiny listů během vegetace. Tuto vývojovou tendenci lze pozorovat při pohledu na grafy č. 2.1 a č. 2.2 (Vašák et al., 2000).



Graf č. 2.1: Vývoj množství sušiny během vegetace (Vašák et al., 2000)



Graf č. 2.2: Vývoj pokrývnosti listoví (LAI) a šišulí (PAI) během vegetace (Vašák et al., 2000)

Jak je patrné z grafu č. 2.1, tvorba biomasy listů a návazně i biomasy rostliny, vykazuje charakteristickou dvouvrcholovou křivku. Tento trend je způsoben odumíráním listové plochy před nástupem zimy a hlavně pomrznutím starších listů v zimním období. Hodnota LAI má na podzim dosahovat hodnot 1,5 – 2 m²/ m² půdy. Podzimní listy mají vyšší obsah sušiny a jsou silnější. Z toho důvodu je LAI v podzimním období při větší hmotnosti listů relativně nižší než před květem, kdy je plocha listů největší.

Z důvodu souladu s generativním vývojem by neměla listová pokryvnost v období maximálního vývinu rostlin před květem klesnout pod 3, ale nepřekročit ani hodnotu 4. Po odkvětu, kdy dochází k redukci listové plochy, se ujímají asimilační funkce šesule a zčásti i postranní větve a stonk. Ve fázi zelené zralosti by povrch šesulí (PAI) měl dosahovat hodnoty 2, přičemž celkový fotosyntetický aktivní povrch i s větvemi a stonkem by měl činit až 3 m²/ m² půdy. Hlavním agrotechnickým úkolem v této fázi je udržet tuto asimilaci co nejdéle a vhodně regulovat dozrávání.

V běžných podmínkách je ve zralosti dosahováno hodnot sušiny nadzemní biomasy 10 – 15 t/ha, přičemž hlavní podíl nesou šesule (45 – 65 %). Podíl semen z hmotnosti šesule činí asi 50 – 60 %. Výnos sušiny listů se pohybuje za celou vegetaci (podzim i jaro) kolem 3 – 5 t/ha (Vašák et al., 2000).

Vedle listové pokryvnosti je z výnosového hlediska významný i počet listů, protože pupeny nacházející se v úžlabí listů jsou potenciálně schopné vytvořit plodonosné větve. Přechod těchto úžlabních pupenů do generativní fáze je závislý na celkové délce podzimní vegetace, na vláhových a teplotních poměrech, na výživě porostu a na celkových vnitřních regulačních mechanismech. K intenzivní tvorbě vedlejších větví dochází také při porušení apikální dominance (Baranyk, Fábry et al., 2007).

2.4 Agroekologické požadavky řepky ozimé

Řepku se daří úspěšně pěstovat od nížin až do nadmořských výšek kolem 700 m. Nejvíce řepce vyhovují oblasti v nadmořské výšce 400 – 600 m s průměrnými ročními teplotami 6,5 až 8,5 °C a s ročním úhrnem srážek 550 – 750 mm. Těmto podmínkám nejvíce odpovídá bramborářská a řepařská výrobní oblast. S nárůstem významu této plodiny v evropském zemědělství však došlo k jejímu rozšíření do všech výrobních oblastí ČR. Dochází k přesouvání do nižších poloh (kukuřičné oblasti), kde na zdejších bohatších půdách méně strádá absencí živin, ale obvykle bývá více napadána chorobami a škůdci. Nicméně nejvyšší kvalitu, výnosy a jistotu produkce vykazuje v bramborářské oblasti, pokud obdrží všechny požadované vstupy, především dusík a dostatečnou chemickou ochranu (Bečka et al., 2007).

2.4.1 Nároky na průběh počasí

Úhrn teplot od zasetí řepky po zralost, tzv. vegetační tepelná konstanta, činí pro řepku 2300 – 2500 °C. Pokud jde o nároky na vláhu, tak se jedná s ohledem na mohutný kořenový systém o rostliny relativně suchovzdornou. Na srážky je náročná pouze v období po zasetí a v době tvorby semen (Kalus et Suchánek, 1955).

2.4.1.1 Podzimní vegetace

Baranyk, Fábry et al. (2007) uvádí, že od půlky srpna do listopadu by měl být optimální úhrn srážek 200 – 210 mm, přičemž nejdůležitější je dostatek vláhy v době po zasetí porostů. V tomto období od půlky srpna do začátku září by měla řepka optimálně dostat 70 – 80 mm srážek. Taktéž Bečka et al. (2007) upozorňuje, že při vzcházení je rizikové periodické vysychání půdy, které vede k zasychání kořínků a k následnému úhynu rostlin. Na druhou stranu výrazné srážky mají za následek nedostatek kyslíku a zvýšené zaplevelení. Ve fázi čtyř pravých listů je vhodnější spíše sušší počasí, aby nedocházelo k přerůstání rostlin a do začátku zimy byl vytvořen mohutný kořenový systém a listová růžice s minimálně 8 – 10 listy.

Dle Alpmann et al. (2009) potřebuje řepka pro ideální vývoj před zimou teplotní sumu cca 900 °C, přičemž od výsevu až po stádium klíčení je potřebná teplotní suma 80 °C (půda) a za dalších 75 dní by se měla teplotní suma pohybovat kolem 800 °C. Vašák et al. (2000) uvádí součet teplot 1000 °C za období od výsevu až do poklesu teplot pod 5°C.

2.4.1.2 Přezimování

Nejlepší pro výnos jsou roky s pozdějším nástupem zimy (po Vánocích) a brzkým jarem, nejlépe již koncem února. Během zimního období je pro řepku příznivější více srážek s mírnějšími teplotami do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dle Baranyk, Fábry et al. (2007) je příznivý úhrn srážek za zimní období 110 mm při poklesu teplot vzduchu pod $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při sněhové pokrývce může být úhrn i vyšší a to až 150 mm. Vedle množství srážek je podstatné i jejich časové rozložení.

Řepka nejen že je nesnášenlivá k opakovaným holomrazům pod -13 až $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale také ji nevyhovuje střídání teplot mezi dnem a nocí vyšší než $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, obzvláště v předjaří po obnově vegetace. V posledních obdobích se stále častěji setkáváme s pozdními mrazy, které způsobují zpravidla neškodné praskání stonků, ale také mohou zapříčinit i opad poupát, květů a mladých šesulí, což významně ovlivňuje pozdější objem úrody (Bečka et al., 2007).

Mrazuvzdornost jednotlivých částí rostliny je odlišná a snižuje se po nástupu jarní vegetace. Nejodolnější je proti mrazu kořenový krček a vegetační vrchol, ovšem při poškození těchto částí může dojít až k odumření rostliny. Naopak obvyklým jevem je poškození starších listů během zimního období, ale toto poškození obvykle nepřináší negativní dopad na další vývoj a růst.

Mrazuvzdornost je schopnost rostlin překonat působení mrazů bez škodlivého poškození. Tato vlastnost se během vegetace mění a je výrazně ovlivňována průběhem počasí. Z toho důvodu se úroveň odolnosti rostlin v různých letech značně liší. Je to způsobeno celou řadou vnějších a vnitřních faktorů. Z meteorogenních faktorů má největší vliv především průběh a intenzita poklesu teplot vzduchu a půdy, vlhkost půdy, výška a doba slunečního svitu a intenzita slunečního záření. Významnou ochranou funkci proti účinkům mrazu je rovněž výška sněhové pokrývky. Již 10 cm sněhu snižuje dopad rizikového mrazu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ na přijatelných $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z agrotechnických opatření ovlivňujících mrazuvzdornost a přezimování můžeme jmenovat dobu a způsob výsevu a taktéž výživu. Negativně na odolnost působí všechny zásahy, jež ovlivňují nadměrný růst a posunují vývoj do generativní fáze. Nevhodné je tedy přehnojení dusíkem na podzim. Taktéž jsou nevhodné přehoustlé porosty se slabými rostlinami, které bývají poškozeny již při prvním výskytu silnějších mrazů. Nezanedbatelný je též výběr vhodné odrůdy pro dané pěstební podmínky (Vašák et al., 2000).

Vašák et al. (2000) rozlišuje tři fáze průběhu mrazuvzdornosti. V podzimním období zejména v důsledku snižující se okolní teploty stoupá odolnost rostlin vůči mrazu (podzimní otužování). Pro dobré otužení rostlin je nutný postupný pokles teplot, dostatek slunečního svitu na podzim a nepřemokřená půda. Nejproměnlivější je druhá etapa, kdy odolnost kolísá podle doby trvání a počtu oblev (udržení odolnosti). V předjaří v důsledku obnovení vegetace dochází k rychlému poklesu mrazuvzdornosti (ztráta odolnosti).

Všechny ozimy mají tu velikou nevýhodu, že během svého vývoje musí přečkat zimu, která s sebou přináší celou řadu rizik. K nepříznivým faktorům zimy nepatří jen zmiňovaný mráz, ale i zaplavení rostlin vodou z tajícího sněhu nebo zimního deště. Dále může porosty poškodit ledová vrstva vzniklá zamrznutím tajícího sněhu nebo vody; vertikální pohyb půdy, ke kterému dochází při opakovaném mrznutí a tání vrchní vrstvy ornice; vyležení rostlin spojené s dlouho ležící sněhovou pokrývkou a zimní sucho. Tyto nepříznivé faktory obvykle nepůsobí jednotlivě, ale dochází k jejich kombinování. Pokud přímo nevedou k poškození porostů, mohou mít vliv na citlivost rostlin vůči ostatním faktorům (Baranyk, Fábry et al., 2007).

2.4.1.3 Jarní vegetace

Signálem obnovy jarní vegetace je objevení se bílých kořínků. Kořenový systém začíná regenerovat při teplotách nad 2,9 °C, což většinou nastává v první dekádě března. Raný nástup vegetace, s poměrně nízkými teplotami a s dostatkem vláhy, podporuje rychlý nárůst listové plochy a poměrně pozdější přechod do generativní fáze. Pozdní přechod do generativní fáze příznivě působí na budoucí výnos. Naopak opožděný nástup jarní regenerace s relativně vysokými teplotami a nedostatkem vláhy snižuje počet plodných větví a tím i šesulí (Fábry et al., 1992).

V generativním období se objevu fyziologický opad pupat, který bývá způsoben poruchou ve výživném stavu a v hladině fytohormonů. Stále častěji se však v poslední době setkáváme s pozdními mrazy, které způsobují zpravidla neškodné praskání stonků, ale také mohou zapříčinit právě opad pupat, květů a mladých šesulí. Opad může být také vyvolán nízkou vzdušnou vlhkostí nebo určitým šokem ze změny vláhových poměrů, například dojde-li k rychlému přísunu vláhy k porostům, které dlouho vegetovaly při nedostatku vláhy.

Optimální srážkový úhrn v době jarní vegetace až do období kvetení je asi 100 mm, přičemž průměrný měsíční úhrn srážek v březnu a dubnu je kolem 40 mm. V období květu je řepka, co se týká množství srážek velmi náchylná. Množství srážek v této fázi by nemělo klesnout pod 20 mm, ale ani překročit hranici 80 mm, jinak dochází k redukci dvou významných výnosotvorných prvků a to počtu semen v šešuli a hmotnosti 1000 semen (Baranyk, Fábry et al., 2007).

V průběhu zrání se olej tvoří později než proteiny. Obsah oleje je tedy z velké části limitován podmínkami zrání, které je závislé na teplotě. Nižší teploty v průběhu dozrávání příznivě působí na biosyntézu tuků a tedy i na olejnatost semen (Alpmann et al., 2009).

2.4.2 Požadavky na půdu

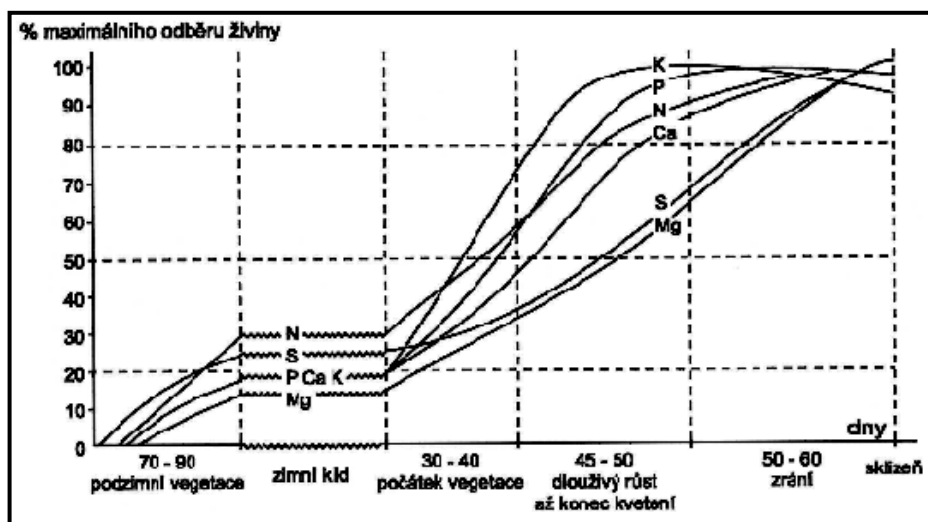
Řepka vyžaduje hluboké, provzdušněné a kapilárně aktivní půdy s dostatkem humusu (nad 1,5 %) a živin, s vysokou vodní kapacitou, s neutrální až slabě alkalickou reakcí (pH 6,5 – 7,5). Na půdách kyselějších je dobré vápnit nejlépe k předplodině. Řepce nejvíce vyhovují středně těžké, hlinité, písčitohlinité až hlinitopísčité půdy. Nevhodné jsou těžké, jílovité, slévací půdy, protože bývají obtížně zpracovatelné a hůře se tedy vytváří seťové lůžko. Řepka snese i půdy lehké, kamenité a mělké, pokud jsou ovšem dostatečně hnojeny a zásobeny vodou (Turčány et al., 1955).

Díky zvýšené pěstitelské úrovni, vysoké intenzitě hnojení a modernější zemědělské technice, lze dnes řepku pěstovat i na méně vhodných půdách než představují půdy humózní a hlinité. Na půdní úrodnost má významný vliv i samotná řepka, která vytváří velké množství biomasy (kořeny i nadzemní hmota), čímž je půda zpětně obohacena na konci vegetačního období o živiny a organickou hmotu. Zároveň její vegetační rytmus, způsob zakořeňování a půdní kryt nadzemní hmoty jsou významným protierozním činitelem (Baranyk, Fábry et al., 2007).

2.4.3 Nároky na živiny

Řepka se řadí mezi plodiny velmi náročné na živiny, má asi 2 až 3krát větší nároky než obilniny. Na druhé straně je hodnotnou předplodinou. Opadem listů (2 – 5 t/ha sušiny) a velkým množstvím posklizňových zbytků (10 – 15 t/ha sušiny) se do půdy navrácí značné množství organické hmoty, z které se vytvoří 1600 – 2400 kg humusotvorných látek, což odpovídá dávce hnoje 40 – 60 t/ha (Bečka et al., 2007)

Poměrně hluboký kořenový systém umožňuje využití živin i z hlubších vrstev půdy, což se týká hlavně fosforu. Oproti ostatním plodinám má řepka značně výkonný příjmový kořenový aparát. V porovnání s pšenicí je stejná povrchová jednotka kořene více než 3krát výkonnější. Díky tomu dochází k snadnému osvojování živin z půdy (Baranyk, Fábry et al., 2007).



Graf č. 2.3: Dynamika odběru hlavních živin u ozimé řepky (Richter, 2005)

Živiny je nutné dodávat v odpovídajícím množství a hlavně s patřičným předstihem, aby byla plně uspokojena dynamika odběru během vegetace (viz graf č. 2.1). Chceme-li dosáhnout požadované úspěšnosti při pěstování řepky, musíme se při hnojení zaměřit zejména na ty prvky, které si řepka není schopna tak snadno osvojovat (Mg, K, S a B). Velmi vysoké požadavky má především na dusík, který vyžaduje v hojném množství během velmi krátkého období od jarní regenerace do fáze žlutých pupat. Dále je také řepka poměrně náročná na draslík. Celkem dobře snáší nedostatek fosforu a vápníku. Odběrový normativ živin pro výnos 1 t semene a odpovídající množství slámy je uveden v tabulce č. 2.3 (Bečka et al., 2007).

Tabulka č. 2.3: Průměrná potřeba živin na výnos 1 t semene řepky (Balík et al., 2007)

Prvek	Potřeba živin v kg/ha	Prvek	Potřeba živin v g/ha
Dusík	52 – 59	Železo	140 – 170
Fosfor	11 – 18	Zinek	60 – 80
Draslík	40 – 50	Mangan	60 – 100
Vápník	30 – 38	Měď	18 – 25
Hořčík	4 – 6	Molybden	2 – 6
Síra	12 – 16	Bor	75 – 110

2.5 Základní seznámení s problematikou modelování

Během posledních třiceti let se výpočetní technika rozvíjí neuvěřitelným tempem. V současnosti již zasáhla do všech odvětví lidské činnosti a stala se nezbytnou součástí našeho života. Nelze se tedy divit, že i v oblasti agroekologie a krajinného inženýrství došlo k vývoji specifických programů (tzv. modelů) simulujících reálné procesy v přírodě. Primárním úkolem při tvorbě modelu je vytvoření základních algoritmů na podkladě výsledků z měření (pozorování) dějů probíhajících v rostlině v závislosti na podmínkách prostředí (např. závislost nástupu kvetení na teplotní sumě). Modely mohou posloužit v ochraně životního prostředí a půdy, v plánování a využití krajiny či v užším zemědělském pojetí k simulaci růstu a vývoje jednotlivých plodin, ale i jejich zařazení v rámci celých osevních postupů. Mnohostranné využití těchto modelů může napomoci k rozhodnutím, která povedou k optimalizaci daného procesu s následným ekonomickým efektem. Jedním z cílů snažení by mělo být pochopení vzájemných vazeb v agrosystému a využití těchto poznatků ke zvýšení efektivity udržitelného zemědělství.

2.5.1 Využití růstových simulačních modelů

Modely pro simulaci růstu a vývoje kulturních plodin mají mnoho současných i budoucích potenciačních využití, které s sebou přináší obrovské ekonomické výhody.

Hlavní uplatnění nachází prozatím ve vědecké oblasti, kde slouží pro přesnější pochopení vzájemných vztahů mezi půdou, atmosférou a rostlinou. Růstové modely ve smyslu výzkumném bývají často využívány k posouzení významu určitého (např. meteorologického) prvku v daném systému.

Jak již bylo řečeno v úvodu této práce, uplatnění těchto modelů v pěstitelské praxi není zatím výrazně rozšířené, ale jelikož počet agronomických odborníků má klesající charakter, tak bude nutné tento nedostatek specializovaných pracovníků nějak nahradit a jednou z mnoha možností může být využití daných softwarů. V praxi jsou kladeny požadavky na shodu simulovaných a pozorovaných růstových charakteristik. Toho by mělo být následně využito pro správné načasování a určení míry agrotechnických opatření (zpracování půdy, setí, hnojení, zavlažování, použití pesticidu...), v závislosti na měnících se půdních a klimatických podmínkách v průběhu vegetace.

Modely také mohou pomoci zákonodárcům jednak při tvorbě nařízení týkajících se eroze půdy, používání pesticidů a hnojiv, případně mohou předpovědět následky klimatických změn (Mavi et Tupper, 2004).

Dle Žaluda et al. (2009) existují jen dva způsoby, jak je možné posoudit dopady změny klimatu na výnos polních plodin. Ve stručnosti se jedná o to, jestli převládne kladný efekt způsobený oxidem uhličitým či negativní dopad zvýšené teploty a změny dalších meteorologických prvků. Přičemž jeden způsob, jak toto ověřit, je právě ve využití růstových simulačních modelů. Na rozdíl od experimentů v podmínkách řízené atmosféry se jedná především o méně finančně náročné řešení. Další výhodou též je rychlost proveditelnosti a možnost aplikace výsledků na větší územní celky.

2.5.2 Slovníček základních pojmů

Každý obor lidské činnosti používá svou vlastní terminologii, ani v oblasti růstových modelů tomu není jinak, proto bych chtěl upřesnit některé termíny použité v této práci.

System

Je úsekem reality, který se skládá z navzájem propojených komponentů. Vliv jednotlivých ekologických faktorů na rostlinu a jejich vzájemné ovlivňování je zdůrazňováno systémovým přístupem, na němž jsou růstové modely postaveny.

Model

Jde o zjednodušený pohled na systém vystihující jeho charakteristické vlastnosti. Má obvykle podobu počítačového programu, jenž simuluje jednotlivé procesy v systému.

Simulace = napodobování procesů

Dynamický proces používaný k popisu vzájemné interakce jednotlivých komponent systému. Jedná se o matematický výpočet výstupních parametrů na základě parametrizace exaktně stanovených vstupů.

Růstové simulační modely

Vznikly vzájemným propojením modelů simulujících průběh jednotlivých fyziologických procesů v rostlině jako je fotosyntézy, dýchání, translokace asimilátů, průběhu fenologických fází atd. Na základě těchto parametrů jsou schopné simulovat a do jisté míry předvídat růst, vývoj a výši výnosu v oblastech se známými klimatickými a půdními podmínkami.

Kalibrace (parametrizace)

Jedná se o úpravu parametrů modelu tak, aby jeho výpočet co nejpřesněji vystihoval skutečný stav v přírodě, resp. chování modelované odrůdy odpovídalo skutečnosti.

Evaluaace (verifikace, validace)= potvrzení správnosti, ověřování

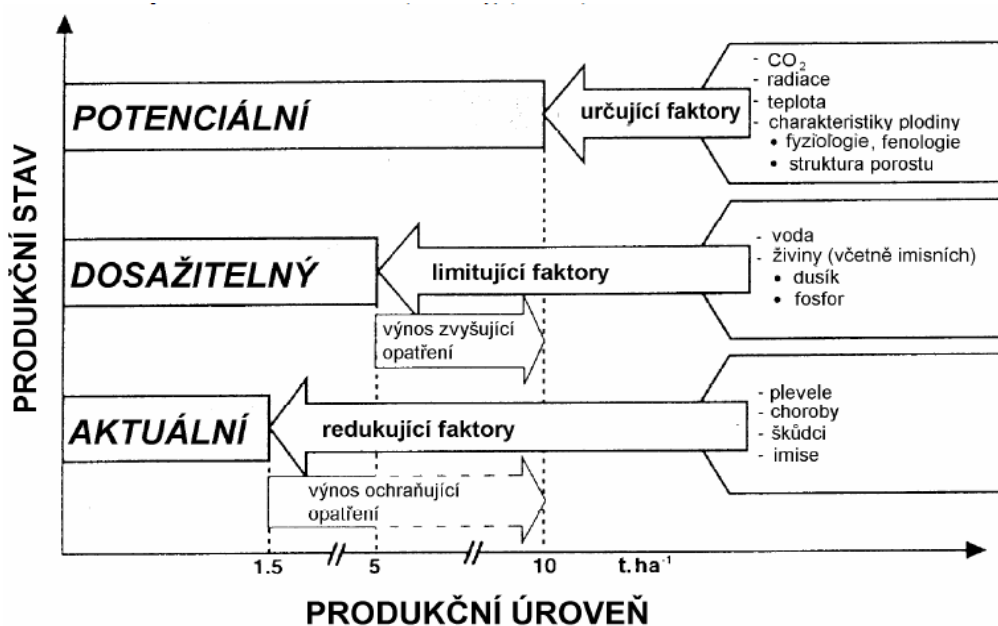
Jde o proces zkoumající, do jaké míry odpovídají výstupy modelu reálně zjištěným datům a jaká je tedy schopnost modelu reprezentovat daný systém. Validace se provádí na nezávislém vzorku dat, který nebyl použit pro předešlou kalibraci.

Doba vegetace

Validační parametr charakterizující počet dnů mezi dobou setí a fyziologickou zralostí.

Výnos

Výnos se obvykle rozděluje podle působení produkčních faktorů do tří základních skupin (viz obrázek č. 2.1):



Obrázek č. 2.1: Přehled produkčních faktorů a odpovídajících produkčních úrovní (Kostelanský et al., 1997)

Potenciální výnos

Maximálně možné množství produkce, kterého by rostlina dosáhla za předpokladu optimálního zásobení vodou a živinami, při eliminaci vlivu škodlivých organismů. Jedinými růst určujícími faktory jsou místně specifické podmínky lokality (koncentrace CO₂, teplota a radiace) a charakteristika dané plodiny (fyziologie, fenologie a morfologie).

Dosažitelný výnos

Jedná se o výnos limitovaný abiotickými zdroji. Výnos je omezen dostupností vody a živin v průběhu vegetace. Řízení růstu tedy spočívá v optimalizaci výživového stavu a vodního režimu půd.

Aktuální výnos

Jedná se o výnos redukováný jednak biotickými činiteli (plevele, choroby a škůdci), ale i abiotickými (imise). Tyto vlivy mohou být částečně omezeny použitím vhodných protipatření jako např. integrovaná ochrana rostlin.

2.5.3 Historie růstových simulačních modelů

Růstové modely se poprvé objevili v 60. letech a jsou považovány za důležité nástroje pro mezioborový výzkum. Byly navrženy jako systém algoritmů na různých základech a jsou široce používány, například pro posouzení zemědělského potenciálu ve vybraných regionech nebo pro prognózu výnosu plodin. Pokroku bylo dosaženo ve vývoji modelů zaměřených na zachycení vývoje systému, ať už se jedná o modely zaměřené na rostliny, půdu nebo škodlivé organismy (Hlavinka et al., 2010). Na zásadním rozvoji dané problematiky se podílela tato dvě pracoviště:

2.5.3.1 Škola profesora de Wita (Holandsko)

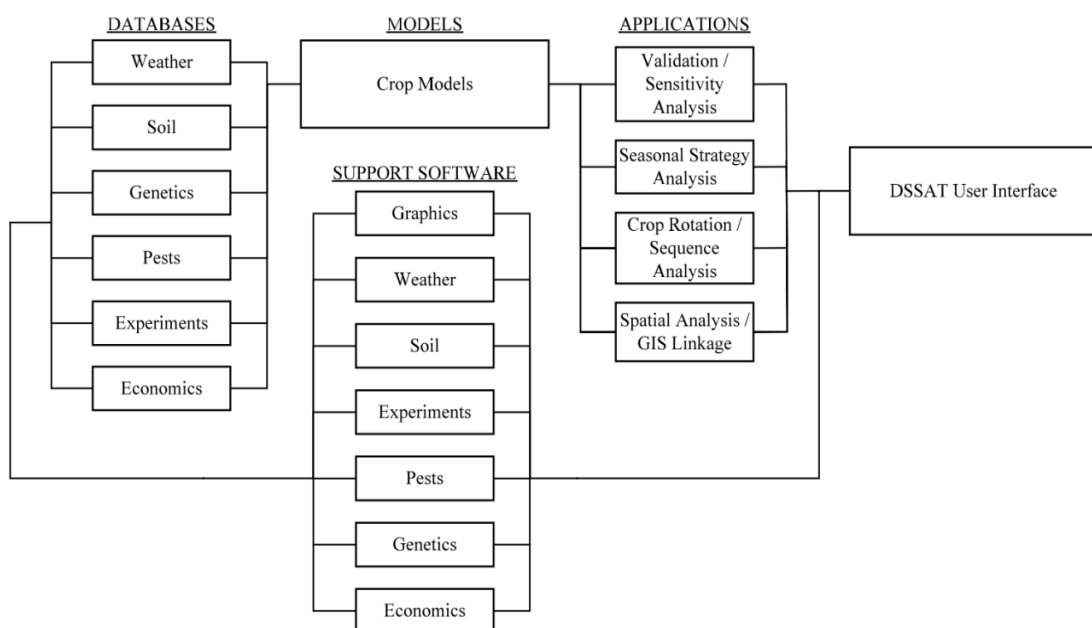
Tento vědecký tým pracuje v současnosti v hlavním holandském Expertním centru zemědělské krajiny (Alterra) na Univerzitě Wageningen v Holandsku. Tato skupina vznikla v polovině šedesátých let pod vedením Prof. De Wita, který prosazoval právě již zmíněný systémový přístup studia s důrazem na pochopení vzájemných vztahů v ekosystému. Výsledkem jejich činnosti byly první modely ELCROS (ELementary CROp Simulator) a BACROS (Basic CROp Simulator), schopné v omezeném rozsahu simulovat potenciální produkci. Na pokročilejším stupni pracují modely SUCROS (Simple Utility CROp Simulator), MACROS (Modules of an Annual CROp Simulator) a WOFOST (WOrld FOod STudies), které jsou zaměřené již na simulování produkce, která je limitována vodou. Model WOFOST je integrovaný spolu s geografickým informačním systémem (GIS) do Monitorovacího systému růstu rostlin (CGMS), který je používán k předpovědi výnosů a k analytickým studiím dopadů změny klimatu na rostlinnou produkci v zemích Evropské unie (Žalud, 2011)

2.5.3.2 Projekt IBSNAT (USA)

Jedná se o druhou nejvýznamnější skupinu, zabývající se růstovými simulačními modely. Zkratka IBSNAT pocházející z anglického (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) vystihuje strukturu i cíle celého projektu. Jedná se o síť pracovišť, mezi nimiž hlavní místo zaujímá University of Hawaii a University of Georgia, jako koordinátoři programu, jehož výstupy jsou využívány po celém světě. Základním nástrojem vytvořeným touto skupinou se staly modely řady CERES pracující v systémovém prostředí DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), který je využíván i v této práci (Hoogenboom et al., 1994)

2.5.4 DSSAT

Jedná se o velmi rozsáhlý program, prostřednictvím kterého lze tvořit a editovat základní databáze vstupních dat, nastavovat jednotlivé výpočty, zpracovávat výstupy a v neposlední řadě ovládat jednotlivé růstové modely. Do programu vstupují, jednak data týkající se vnějšího prostředí (meteorologická a pedologická) a dále data, která již konkrétně souvisí s pěstovanou plodinou (fyziologická a agrotechnická). Jakákoliv simulace růstovým modelem není možná bez získání dat ze všech čtyř skupin. Shromáždění vstupních dat včetně jejich úpravy do modelem požadované podoby je nezbytnou podmínkou pro využívání modelu (Aggarwal et al., 1994).



Obrázek č. 2.2: Schematické rozdělení funkcí programu DSSAT (Jones et al., 2003)

Součástí rozhraní DSSAT jsou také ovládací programy k daným databázím a již zmiňované růstové modely pro konkrétní plodiny. Na základě tohoto členění můžeme rozdělit DSSAT do těchto hlavních částí – databases, models, support software a applications. Podrobné rozdělení znázorňuje schéma na obrázku č. 2.2. Každá z těchto částí obsahuje editory, pomocí kterých mohou být všechny datové soubory editovány a dále využívány. Údaje ze vstupních databází parametrizovaných v tomto rozhraní lze pak použít jako vstupní data pro jednotlivé růstové modely, jelikož modely sdílejí vstupní i výstupní formáty (Jones et al., 2003).

Modely pracují v denním kroku a jsou založeny na poznacích o biologických procesech probíhajících v rostlině v daných fázích růstu a vývoje. Model bere v úvahu několik procesů současně tak, aby zajistil co největší soulad se skutečností. Simulace probíhá v několika na sebe navazujících krocích:

- fenologický vývoj a průběh jednotlivých fází
- tvorba biomasy (kořenů, listů, stonku, větví, plodů a semen)
- stav půdní vláhy a využití vody rostlinou
- odběr půdního dusíku a jeho distribuci jednotlivým orgánům

Výsledná data jsou po provedení simulace uložena do několika přehledně uspořádaných textových souborů, případně lze výsledky prezentovat v grafické podobě. Hlavním výstupním souborem je PlantGro.OUT, který obsahuje detailní výsledky simulací zaznamenávané v denním kroku. Tímto způsobem je pak možno sledovat růst a vývoj plodiny po jednotlivých dnech. Výstupní data obsahují informace o růstových fázích, objemu biomasy, LAI a mnoho dalších parametrů.

Výstupem modelů může být i stanovení výnosu a to konkrétně výnosu limitovaného vodou a živinami nebo výnosu potenciálního po nastavení modulu dusíku a vodní bilance na optimum. Simulovaná produkce je pro účely modelu vyjádřena jako funkce radiace, listové plochy (LAI) a redukujících faktorů. Asimiláty jsou nejprve rozděleny mezi listy, stonkem a kořeny a v příslušných fenologických fázích jsou pak produkty fotosyntézy dále distribuovány i do generativních orgánů

DSSAT umožňuje uživateli provést kalibraci a validaci simulovaných výsledků. Jedná se o totožné procesy, přičemž validace se provádí na nezávislém vzorku dat, který nebyl použit pro předešlou kalibraci. Jde o možnost porovnání poskytovaných výstupů modelu s konkrétními naměřenými hodnotami. O kladném výsledku můžeme hovořit při shodě reálných a simulovaných veličin za delší časové období.

Pro kalibraci a validaci modelu mohou být jako parametry zvoleny hospodářský výnos (kg/ha), množství vytvořené nadzemní biomasy (kg/ha), fenologické ukazatele (vzcházení, kvetení, zralost a vegetační doba) a hodnoty indexu listové plochy (m^2/m^2). Využití LAI jako měřítka je výhodné i z toho důvodu, že se jedná na rozdíl od výnosu o spojitý prvek relativně nenáročný na měření, které lze provádět i nedestruktivní metodou (Žalud, 2011).

Nejčastějším nedostatkem při parametrizaci a evaluaci modelů výnosem je poškození porostu nesimulovatelnými faktory (např. kroupy, choroby a škůdci), velikost sklizňových ztrát a určité nepřesnosti v experimentálních údajích.

U listové plochy se kritickým bodem stává metoda měření indexu listové plochy, jelikož přístroj SunScan měří rozdíl mezi dopadajícím (nad porostem) a prostupujícím zářením (u země) je zde započítána celková plocha porostu včetně stonku, větví a později i šesulí, zatímco růstový model nám modeluje pouze plochu listů (LAI). Měřené hodnoty by tedy už z tohoto důvodu měly být vyšší než simulované. Na tuto skutečnost by se nemělo zapomínat při vyhodnocení úspěšnosti simulace (Hlavinka, osobní sdělení)

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Cíl práce

Cílem této práce je na základě maloparcelkových polních pokusů s řepkou ozimou v Domanínku a v Lednici připravit databázi pro testování růstového modelu DSSAT. Poté s využitím části těchto dat kalibrovat vybrané parametry modelu a na závěr provést validaci na nezávislém vzorku dat. Hlavním cílem je vyhodnocení přesnosti modelu DSSAT na základě porovnání modelovaných a pozorovaných hodnot. K tomuto porovnání by měly posloužit následující ukazatele: termín počátku kvetení, termín dosažení plné zralosti, velikost výnosu, dynamika růstu biomasy a listové pokryvnosti (LAI).

3.2 Metodika pokusů

Přehled jednotlivých pokusů použitých pro zpracování této práce a jejich základní schéma uvádí tabulka č. 3.1.

Tabulka č. 3.1: Základní schéma pokusů

lokality		Domanínek		Lednice	
zakladatel pokusu		Mendelu ¹⁾	ÚKZÚZ ²⁾		
odrůda		Labrador Rohan	Labrador	Artus	
počet variant		8	1	1	1
Vegetační sezóna	1998/1999			x	x
	1999/2000			x	x
	2000/2001			x	x
	2001/2002			x	x
	2002/2003				
	2003/2004			x	
	2004/2005		x	x	x
	2005/2006				x
	2006/2007		x	x	
	2007/2008				
	2008/2009		x		
	2009/2010		x		
	2010/2011		x		
	2011/2012	x			
	2012/2013	x			
2013/2014	x				

Pozn.: ¹⁾ Mendelova univerzita v Brně

²⁾ Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

3.2.1 Agroekologická charakteristika pokusného stanoviště Domanínek

Pokus probíhal na pozemcích zkušební stanice v Domanínku u Bystřice nad Pernštejnem. Tato lokalita se nachází v bramborařské výrobní oblasti s průměrnou nadmořskou výškou 560 m n. m. Svažitosť pozemků se pohybuje kolem 4° a jedná se tedy o mírný svah.

3.2.1.1 Půdní podmínky

Dle VÚMOP (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy) – bodové hodnocení produkční schopnosti půd (2001) se jedná o kambizem luvickou mesobazickou slabě oglejenou a půdotvorným substrátem je biotitická pararula migmatitická. Zrnitostním složením odpovídá půdě středně těžké.

Tabulka č. 3.2: Zrnitostní složení půdy dle jednotlivých vrstev – Domanínek

Hloubka vrstvy (cm)	Zrnitostní složení půdy (%)				
	< 0.001 (mm)	0.001 - 0.01 (mm)	0.01 - 0.05 (mm)	0.05 - 0.25 (mm)	0.25 - 2.0 (mm)
0 - 24	15.8	20.3	29.7	17.2	17
24 - 66	26.3	12.5	33.6	16.7	10.9
66 - 94	18.6	14	24.7	24.6	18.1
94 - 130	13.3	7.1	12.5	25.7	41.4
130 - 150	12.9	7.9	18.3	26.9	34

Tabulka č. 3.3: Základní chemické a fyzikální vlastnosti půdy – Domanínek

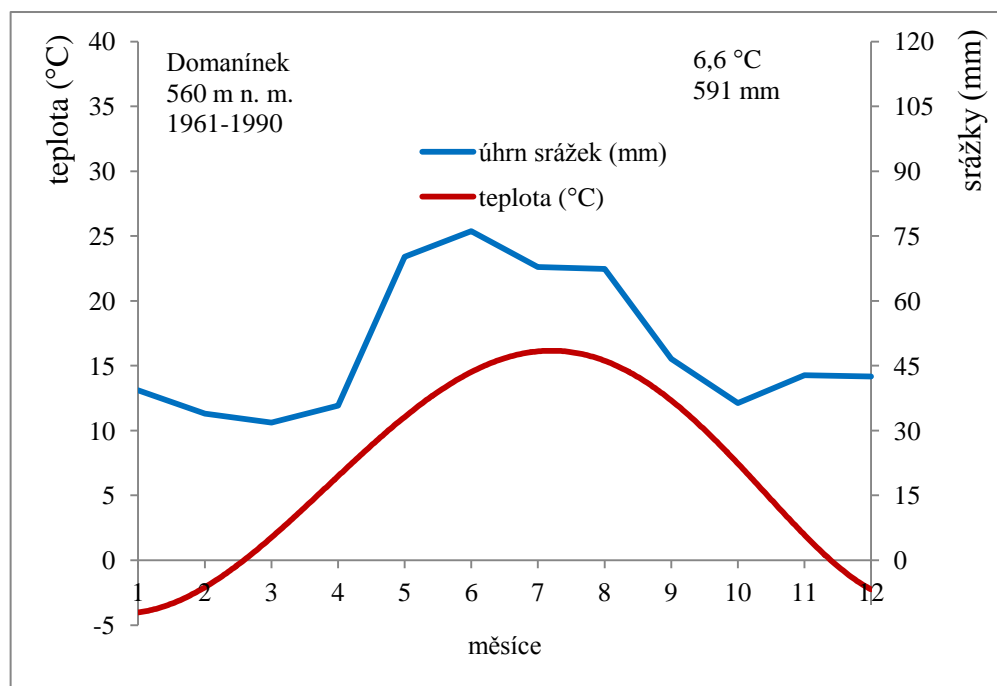
Hloubka vrstvy (cm)	C _{org} (%)	N _{min} (%)	C:N	pH (KCl)
0 - 24	1.54	0.16	9.6	5.4
24 - 66	0.16	<0.05	6.4	4
66 - 94	0.08	<0.06	3.2	3.4
94 - 130	0.08	<0.07	3.2	3.6
130 - 150	0.04	<0.08	1.6	3.7
Hloubka vrstvy (cm)	Objemová hmotnost (g/cm ³)	Pórovitost (% obj.)	Polní vodní kapacita (% obj.)	Bod vadnutí (% obj.)
0 - 24	1.64	47.2	30.2	14.9
24 - 66	1.64	42.9	32.2	17.6
66 - 94	1.59	39.7	25.7	13.3
94 - 130	1.64	38.5	16.9	8.9
130 - 150	1.63	38.5	18.1	9

3.2.1.2 Klimatické podmínky

Za normálové období (1961 – 1990) činí průměrná roční teplota vzduchu 6,6 °C a průměrný roční srážkový úhrn je 591 mm. Chod průměrných měsíčních teplot vzduchu a průměrných měsíčních úhrnů srážek v daném období je uveden v tabulce č. 3.4 a pro lepší porovnání jsou údaje znázorněny formou grafu č. 3.1.

Tabulka č. 3.4: Dlouhodobý normál (1961 – 1990) – Domanínek

Domanínek (1961 – 1990)	průměrná teplota (°C)	úhrn srážek (mm)
leden	-4	39
únor	-2.1	34
březen	1.7	32
duben	6.5	36
květen	11.3	70
červen	14.4	76
červenec	15.8	68
srpen	15.6	67
září	12.3	47
říjen	7.6	36
listopad	1.8	43
prosinec	-2.2	43
rok	6.6	591

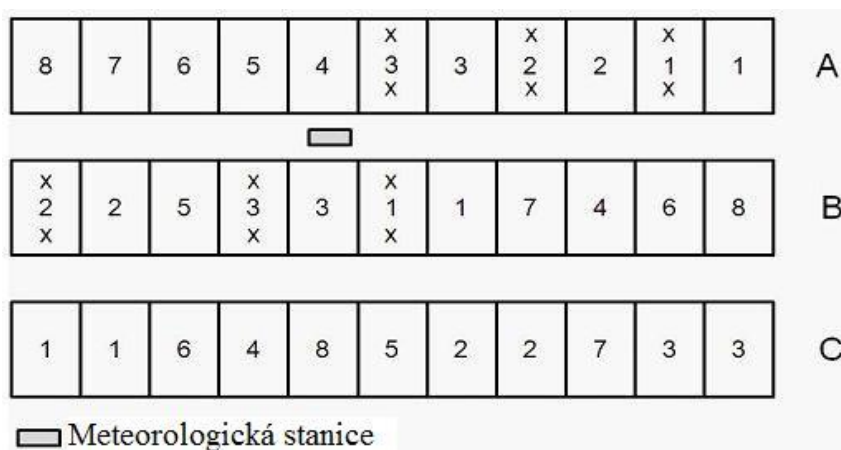


Graf č. 3.1: Přehled vybraných klimatických charakteristik za normálové období (1961 – 1990) – Domanínek

Jak je patrné z dlouhodobého normálu, potenciální produktivita území z pohledu zemědělské výroby není nějak omezena nedostatkem srážek, což je dáno především nadmořskou výškou a zeměpisnou polohou dané lokality.

3.2.2 Metodika pokusu – Mendelu (Rohan a Labrador) – Domanínek

Problematika byla řešena formou tříletého maloparcelkového polního pokusu ve vegetačních sezónách 2011/2012, 2012/2013 a 2013/2014. Plocha jedné pokusné parcelky činila 12 m². Každá varianta byla založena ve třech opakováních (A – C) dle schématu na obrázku č. 3.1, přičemž varianty 1, 2 a 3 byly zdvojené. Parcelky označené křížky (levé) byly sklizňové a sloužili k nedestruktivnímu měření indexu listové plochy LAI pomocí přístroje SunScan. Pravé parcelky 1, 2 a 3 nebyly sklizňové a sloužili pouze k odběrům biomasy a půdy v průběhu pokusu.



Obrázek č. 3.1: Schematické rozdělení pokusných parcelek – Domanínek

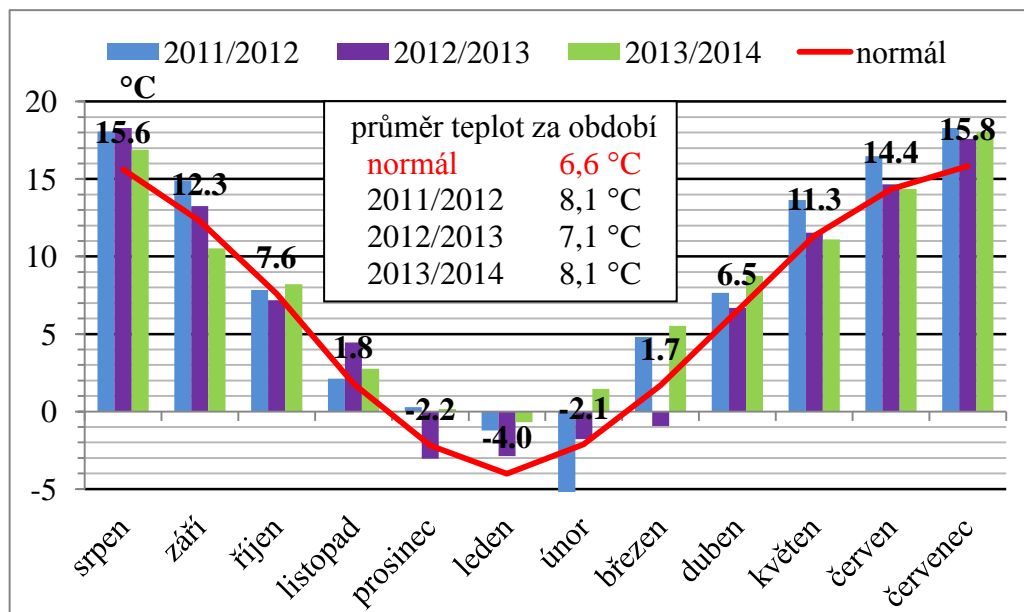
Do pokusu vstupovalo celkem 8 variant, které se navzájem lišily termíny výsevu, dávkou dusíkatého hnojení a odrůdou. Podrobné schéma jednotlivých variant v daných letech znázorňuje tabulka č. 3.5. Pro základní hnojení před setím bylo použito u všech variant hnojivo NPK (15-15-15) v dávce 20 kg N/ha, k regeneračnímu hnojení bylo aplikováno 50 kg N/ha v hnojivu DASA (26-13) a 40 kg N/ha ve formě LAV. Pro první produkční hnojení bylo zvoleno opět hnojivo LAV a pro druhé produkční hnojení bylo použito hnojivo LV v dávkách dle rozpisu.

Tabulka č. 3.5: Schematické rozdělení jednotlivých variant v daných letech – Domanínek

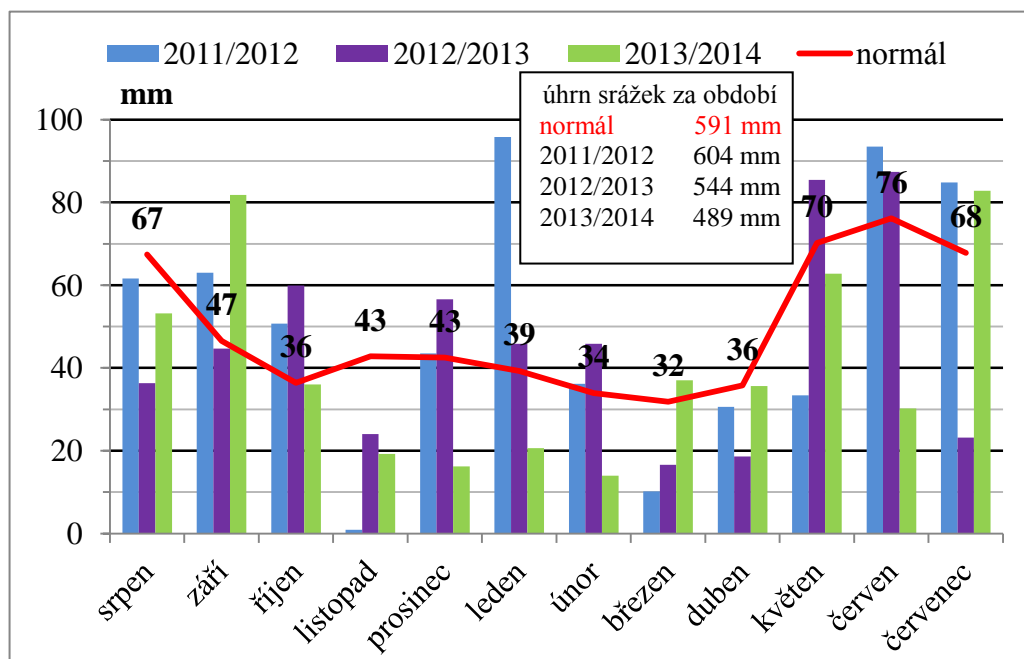
varianta	odrůda	setí	hnojení									
			regenerační		produkční I.		produkční II.		dusíku celkem (kg/ha)			
			datum	N (kg/ha)	datum	N (kg/ha)	datum	N (kg/ha)				
1	Rohan	18/08/11	2/3	90	8/4	70			160			
2							2/5	30	190			
3		29/08/11								160		
4							2/5	30	190			
5	Labrador	18/08/11										160
6							2/5	30	190			
7		29/08/11								160		
8							2/5	30	190			
1	Rohan	22/08/12	12/3	90	15/4	95			185			
2							7/5	30	215			
3		04/09/12								185		
4							7/5	30	215			
5	Labrador	22/08/12										185
6							7/5	30	215			
7		04/09/12								185		
8							7/5	30	215			
1	Rohan	23/08/13	24/2	90	31/3	70			160			
2							14/4	30	190			
3		05/09/13								160		
4							14/4	30	190			
5	Labrador	23/08/13										160
6							14/4	30	190			
7		05/09/13								160		
8							14/4	30	190			

3.2.2.1 Meteorologické podmínky v letech 2011 – 2014 (Domanínek)

Jak již bylo zmíněno, pokus se odehrával ve třech vegetačních sezónách. Porovnání měsíčních průměrných teplot vzduchu a úhrnů srážek mezi jednotlivými sezónami je vyjádřeno formou grafů č. 3.2 a č. 3.3. Zároveň jsou pro srovnání přidány i křivky popisující hodnoty za normálové období 1961-1990.



Graf č. 3.2: Průměrné měsíční teploty v letech 2011 – 2014 (Domanínek)



Graf č. 3.3: Měsíční úhrny srážek v letech 2011 – 2014 (Domanínek)

Vegetační sezóna 2011/2012

V porovnání s normálovým obdobím se jednalo o srážkově průměrnou sezónu, ovšem to samé nelze tvrdit o jejich rozložení, které bylo oproti normálu značně odlišné. Ze začátku sezóny se průběh počasí od dlouhodobého průměru nějak výrazně nelišil. Vše se ale následně změnilo s příchodem listopadu. Teplotně byl sice normální, ale co do množství srážek se jednalo o silný extrém. Listopad 2011 se stal nejsušším v celé historii měření srážek (od roku 1804).

Tabulka č. 3.6: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2011/2012

11/12	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	18.1	14.9	7.8	2.1	0.3	-1.2	-5.9	4.8	7.7	13.6	16.5	18.3
	mm	62	63	51	1	44	96	36	10	31	33	94	85

Během celého listopadu spadlo pouhých 0,9 mm srážek, což má ale pro řepku v této fázi vývoje spíše pozitivní vliv. Vlivem nízkých srážek totiž dochází k zesílení a zahloubení kořenové soustavy, čímž se vždy vylepší šance na přezimování. Srážky se začaly objevovat až s příchodem prosince, ve kterém už spadlo průměrné množství srážek (43,5 mm) a v lednu dokonce spadlo 95,8 mm (244 % normálu). Taktéž teplotně byl prosinec stejně jako leden nadprůměrný a tak zimní období začínalo pozvolna. Teplotní charakter zimy se změnil až v únoru, který byl teplotně značně podprůměrný ($-3,8$ °C pod normálem).

Při dalším pohledu na graf č. 3.2 vidíme, že od března se začala teplota opět pohybovat nad dlouhodobým normálem a jaro tedy na sebe nenechalo dlouho čekat. Za celý březen ovšem spadlo 10,2 mm srážek, což je zhruba třetina normálu. Dubnové srážky se sice přiblížily normálu, ale květen byl opět srážkově výrazně podprůměrný. Teploty se od března až do července pohybovaly výrazně nad hodnotou normálu pro toto období. Opět se však vyskytla celá řada teplotních výkyvů. Duben byl sice slabě nad normálem, ale kolem 9. dubna se dostavovaly i nežádoucí mrazy až $-6,6$ °C a 18. dubna opět teploty padly pod bod mrazu na $-2,9$ °C.

Nebývalý teplotní zlom a rychlý nárůst teplot nastal na konci dubna a způsobil rychlejší odkvetení porostů řepky, které trvalo zhruba 21 dní. Další velká teplotní změna přišla 18. května, kdy vpád studeného vzduchu ($-2,6$ °C) zasáhl rostoucí a odkvétající porosty řepky. Počasí se částečně srovnalo až s příchodem června, který byl teplotně i srážkově nadprůměrný a tento trend pokračoval i v červenci. Celkově lze říci, že navzdory extrémnímu rázu počasí, nedošlo k výraznému ohrožení výnosu řepky.

Vegetační sezóna 2012/2013

Srážkový úhrn za dané období se pohyboval mírně pod normálem (92 % normálu). Teploty se pohybovaly vesměs kolem normálu. Pouze měsíce srpen a listopad byly výrazně teplotně nadprůměrné (oba $+2,7$ °C nad normálem). Naopak v březnu se teploty pohybovaly zřetelně pod hodnotou normálu ($-2,6$ °C pod normálem).

Tabulka č. 3.7: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2012/2013

12/13	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	18.3	13.3	7.2	4.5	-3.1	-2.9	-1.8	-0.9	6.7	11.5	14.6	17.6
	mm	36	45	60	24	57	46	46	17	19	85	87	23

Srpen byl sice srážkově podprůměrný (54 % normálu), ovšem z celkového srpnového srážkového úhrnu (36,3 mm) spadlo 24,7 mm ke konci srpna po zasetí řepky, takže i přes sušší počátek srpna byly dobré podmínky pro vzcházení a růst řepky. Vhodné podmínky panovaly i v září, které se srážkově od dlouhodobého normálu zásadně nelišilo.

Říjen byl srážkově značně nadprůměrný (165% normálu) a teplotně jen mírně pod normálem, což mělo za následek výrazný nárůst biomasy. Podzimní vegetaci svými podmínkami u řepky nebývale protáhl měsíc listopad. Jak již bylo zmíněno, teploty se pohybovaly značně nad dlouhodobým normálem. Srážkově byl sice opět podnormální (56 % normálu), ale vláhy byl dostatek z předešlého období. Porosty tak měly ideální podmínky pro zesílení a zahloubení kořenové soustavy.

Prosinec přinesl výrazné ochlazení a teploty bod bodem mrazu. Došlo tak k ukončení podzimní vegetace. Prosinec byl teplotně podprůměrný (-0,9 °C pod normálem) a srážky se pohybovaly nad normálem, což trvalo až do února. Srážkový úhrn za toto období dosáhl hodnoty 148 mm. Teploty se od ledna začaly opět pohybovat nad hodnotou normálu (+1,1 °C nad normálem) a v únoru zůstaly též mírně nad normálem. Díky nevýraznému průběhu zimy se zdálo být ke konci února jaro pomalu za dveřmi. První dekáda měsíce března s sebou nesla ještě jarní ráz počasí, ale se začátkem druhé březnové dekády se charakter počasí otočil tak zásadním způsobem, že březen byl nakonec teplotně pod dlouhodobým normálem (-2,6 °C pod normálem). Průměrná teplota se pohybovala v období od 11. března do 8. dubna více než dva stupně Celsia pod nulou.

Taktéž srážky se v březnu a dubnu pohybovaly pod normálem (oba 52 % normálu). Ovšem na srážky bohaté období od prosince do února naštěstí zajistilo pro jaro dostatek vláhy. Jaro se naplno otevřelo s nástupem druhé dubnové dekády, kdy šly teploty strmě do plusových hodnot a přidaly se i slabší srážky. Řepka tak nastoupila do plné vegetace a po zbytek vegetace se již teploty pohybovaly kolem dlouhodobého normálu. Kvůli výše zmíněnému chladnému období však vegetace nabírala zhruba týdenní zpoždění.

V květnu se přidaly již výraznější srážky (122% normálu), které pokračovaly i v červnu. Toto období poskytlo dostatek prostoru pro plnohodnotný vývoj rostlin. K částečnému narušení optimálního vývoje došlo v červenci, který byl teplotně nadprůměrný (+1,8 °C nad normálem) a srážkově naopak výrazně podprůměrný (34 % normálu), což může vést až k nouzovému dozrávání.

Vegetační sezóna 2013/2014

Srážkový úhrn za dané období se pohyboval výrazně pod dlouhodobým normálem (pouze 83 % normálu). Naopak teploty se pohybovaly značně nad normálem (+1,5 °C nad normálem), pouze září bylo teplotně podprůměrně (–1,8 °C pod normálem).

Tabulka č. 3.8: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2012/2013

13/14	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	16.9	10.5	8.2	2.8	0.2	-0.7	1.5	5.5	8.7	11.1	14.4	18.0
	mm	53	82	36	19	16	21	14	37	36	63	30	83

Srpen byl opět srážkově podprůměrný (79 % normálu). Vše se změnilo koncem srpna, odkdy panovalo až do 21. září přeháňkové počasí, měnící se i v trvalejší déšť a vláhý byl v tomto období až nadbytek. V září se srážky nacházely výrazně nad normálem pro tento měsíc (176 % normálu). Zároveň bylo září i poměrně chladné, takže podmínky pro vzcházení nebyly příliš dobré. Pravděpodobně kvůli nadbytku vláhý byla slabá kořenová soustava a ani síla rostlin se nedala rozhodně srovnávat s předešlými dvěma podzimy.

Od 27. září došlo k propadu ranních teplot, které se pohybovaly kolem nuly, ale přes den docházelo k oteplení na 10 – 13 °C. Tento ráz počasí vydržel po celou první říjnovou dekádu. Srážkově byl říjen ještě průměrný, ale od listopadu začalo období s podprůměrným množstvím srážek, které trvalo až do konce února. V součtu za tyto čtyři měsíce spadlo 70 mm, zatímco dlouhodobý normál je 158,6 mm.

Naopak teploty se od druhé polovina října začaly pohybovat nad normálem, kde vydržely až do začátku května. Zimní počasí bylo nezvykle teplé. Průměr teplot za období prosinec až duben se pohyboval o 3,1 °C nad normálem. Průměrné teploty se po celé období pohybovaly nad bodem mrazu, pouze v lednu činil průměr – 0,7 °C, což bylo zapříčiněno výrazně chladným obdobím na jeho konci, kdy 26. ledna klesla teplota až na – 16,8 °C.

Celkově však byla zima z hlediska průměrné zimní teploty velmi teplá a z hlediska srážek jako mimořádně suchá. Výraznější srážky přišly až v polovině března, který byl srážkově mírně nadprůměrný (116 % normálu). Dalo by se tedy říci, že vegetace řepky běžela bez výrazného přerušení po celé zimní období. Ani ve výše uvedeném lednovém období pomyslné zimy nedošlo k výraznějšímu promrznutí půdy a kořenová soustava tak mohla vegetovat, což se kladně podepsalo na vylepšení stavu porostů řepek.

Daný charakter počasí způsobil, že řepky odrůstaly velkým tempem a kvetení začínalo již v druhé polovině dubna. Délka kvetení se ale především díky doplnění vody a relativně nízkým teplotám v první polovině května protáhla zhruba na 5 týdnů. V dubnu se srážky ještě pohybovaly na hodnotě normálu, ale od května začaly opět klesat pod normál. V červnu se srážky dokonce pohybovaly jen na 40 % normálu, zatímco teplotně byl červen stejně jako květen průměrný. Díky mírné zimě a brzkému otevření jara začaly žně oproti ostatním rokům o pár dní dříve.

3.2.3 Metodika pokusu – ÚKZÚZ (Labrador) – Domanínek

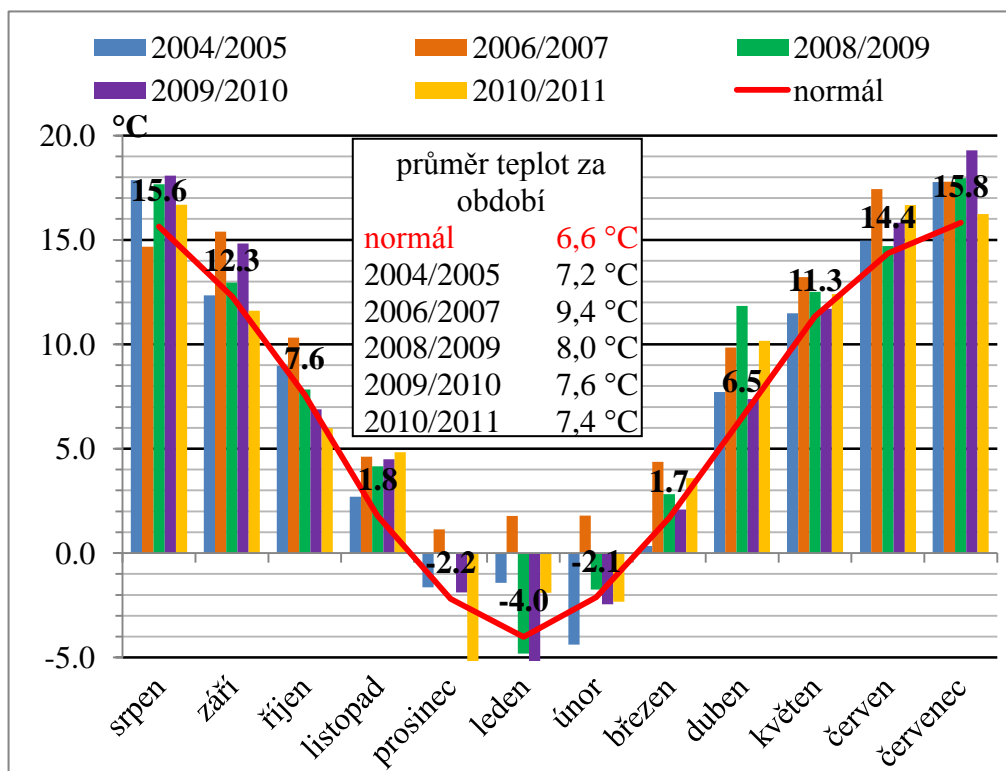
Problematika byla řešena formou pětiletého maloparcelkového polního pokusu ve vegetačních sezónách 2004/2005, 2006/2007, 2008/2009, 2009/2010 a 2010/2011. Plocha jedné pokusné parcelky činila 12 m². Každá varianta byla založena ve 3 opakováních (pouze ročník 2004/2005 ve 4 opakováních). Podrobné schéma jednotlivých variant v daných letech znázorňuje tabulka č. 3.9.

Tabulka č. 3.9: Schematické rozdělení variant v daných letech - LABRADOR

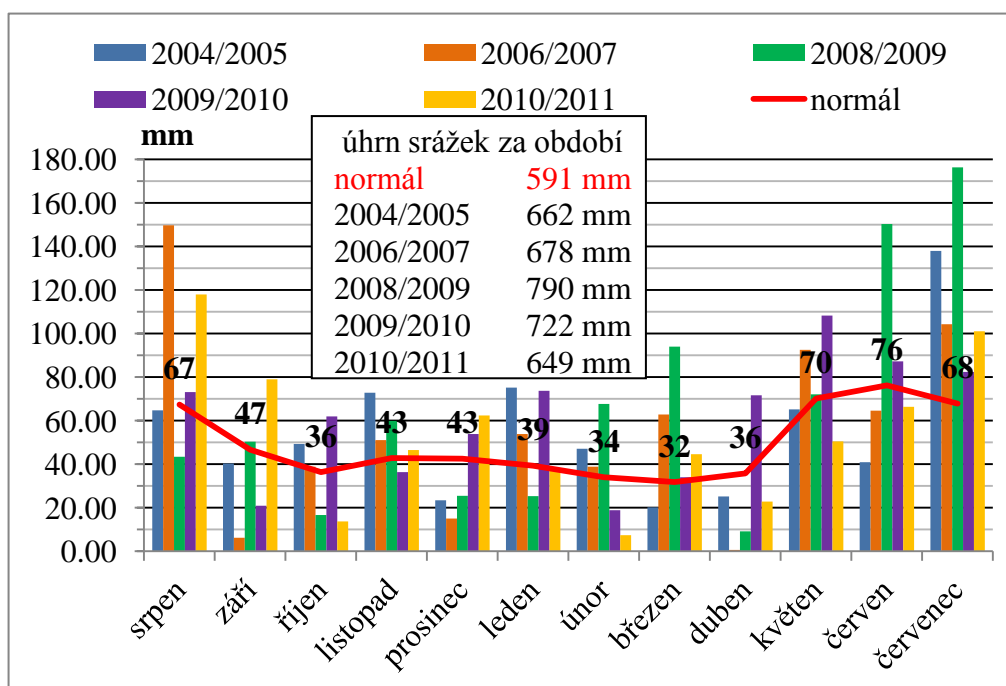
Vegetační sezóna	odrůda	setí	hnojení				
			regenerační		produkční I.		dusíku celkem (kg/ha)
			datum	N (kg/ha)	datum	N (kg/ha)	
2004/2005	Labrador	24.8.	30.3.	50	20.4.	40	90
2006/2007		5.9.	14.3.	50	5.4.	40	90
2008/2009		26.8.	31.3.	90	15.4.	40	130
2009/2010		25.8.	30.3.	90	19.4.	40	130
2010/2011		23.8.	3.3.	90	8.4.	40	130

3.2.3.1 Meteorologické podmínky v letech 2004 – 2011 (Domaníněk)

Porovnání měsíčních průměrných teplot vzduchu a úhrnů srážek mezi jednotlivými sezónami je vyjádřeno formou grafů č. 3.4 a č. 3.5. Zároveň jsou pro srovnání přidány i křivky popisující hodnoty za normálové období 1961-1990.



Graf č. 3.4: Průměrné měsíční teploty v letech 2004 – 2011 (Domaníněk)



Graf č. 3.5: Měsíční úhrny srážek v letech 2004 – 2011 (Domaníněk)

Vegetační sezóna 2004/2005

Srážkový úhrn za dané období se pohyboval nad dlouhodobým normálem (112 % normálu). Stejně tak teploty se pohybovaly mírně nad normálem (+0,7 °C nad normálem). Pouze měsíce únor (-2,3 °C pod normálem) a březen (-1,3 °C pod normálem) byly teplotně podprůměrné, zatímco lednové teploty byly značně nadprůměrné (+2,6 °C nad normálem) a stejně tak i srážky (191 % normálu). Začátek zimy byl tedy teplejší s výrazným množstvím srážek, naopak konec byl chladnější. Jaro bylo srážkově méně vydatné. V červnu spadlo pouze 54 % normálu a naopak s příchodem července se objevily vydatné srážky (203 % normálu).

Tabulka č. 3.10: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2004/2005

04/05	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	17.9	12.3	9.0	2.7	-1.6	-1.4	-4.4	0.3	7.7	11.5	15.0	17.8
	mm	65	40	49	73	23	75	47	20	25	65	41	138

Vegetační sezóna 2006/2007

V porovnání s dlouhodobým normálem se jednalo o srážkově mírně nadnormální období (115 % normálu), ovšem to samé nelze tvrdit o jejich rozložení, které bylo oproti normálu značně odlišné. Srpen byl značně deštivý (222 % normálu), což mělo vliv i na termín založení porostu, který se díky vydatným srážkám posunul až na počátek září, které bylo naopak srážkově výrazně podprůměrné (13 % normálu). V říjnu a listopadu se srážky pohybovaly mírně nad normálem, ale v prosinci klesly zpět pod hranici normálu (35 % normálu). Od ledna byl srážek opět nadprůměr, což vygradovalo v březnu, kdy padlo 197 % normálu, zatímco v dubnu padl pouze 1 mm srážek.

Teplotně se jednalo o mimořádně nadnormální období (+2,8 °C nad normálem). Srpen byl sice ještě teplotně podprůměrný (-1,0 °C pod normálem), ale po celé následující období se teploty pohybovaly už jen stále nad normálem. Za celé zimní teploty se průměr měsíčních teplot nedostal pod bod mrazu. V lednu byl dlouhodobý normál dokonce překonán o +5,8 °C.

Tabulka č. 3.11: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2006/2007

06/07	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	14.7	15.4	10.3	4.6	1.1	1.8	1.8	4.4	9.8	13.2	17.4	17.8
	mm	150	6	39	51	15	54	39	63	1	92	65	104

Vegetační sezóna 2008/2009

Srážkový úhrn za dané období se pohyboval výrazně nad dlouhodobým normálem (134 % normálu) a stejně tak se nad normálem pohybovaly i teploty (+1,4 °C nad normálem), pouze leden bylo teplotně mírně podprůměrný (−0,8 °C pod normálem). Nejvýraznější nárůst teplot oproti normálu byl zaznamenán v dubnu (+5,3 °C nad normálem). Během dané vegetační sezóny se střídaly období s výrazným srážkovým nadprůměrem a podprůměrem. V září se srážky pohybovaly ještě kolem normálu, ale říjen byl již srážkově podprůměrný (46 % normálu). V listopadu srážky vystoupaly ještě nad hranici normálu (140 % normálu), přičemž v prosinci a lednu se pohybovaly opět pod normálem (60 a 65 % normálu).

Další zlom nastal v únoru, kdy padlo 199 % srážkového normálu. Ještě větší rozdíl byl však v březnu, kdy spadlo 295 % normálu. Po tomto srážkově značně nadprůměrném období následoval v dubnu opět propad (25 % normálu). Květen byl pak srážkově průměrný, ale v červnu (197 % normálu) a červenci (260 % normálu) se srážky vyhouply opět nad hranici normálu.

Tabulka č. 3.12: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2008/2009

08/09	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	17.7	12.9	7.8	4.2	0.0	-4.8	-1.7	2.8	11.8	12.5	14.7	18.0
	mm	43	50	17	60	25	25	68	94	9	72	150	176

Vegetační sezóna 2009/2010

V porovnání s dlouhodobým normálem se jednalo o srážkově výrazně nadprůměrné období (122 % normálu) a stejně tak se mírně nad normálem pohybovaly i teploty (+1,0 °C nad normálem). Během období se vyskytly pouze tři měsíce, ve kterých srážkový úhrn padl pod hranici normálu. Jednalo se o září (45 % normálu), listopad (85 % normálu) a únor (56 % normálu).

V ostatních měsících se srážky pohybovaly již nad normálem, přičemž nejvýraznější rozdíl oproti normálu byl dosažen v říjnu (170 % normálu), v lednu (188 % normálu), v dubnu (200 % normálu) a v květnu (154 % normálu). Opět se tedy střídala období méně srážkově výrazná s obdobími srážkově hojně zásobenými. Teplotně se jednalo spíše o průměrné období. Pouze začátek a konec vegetace doprovázely teploty nad hranicí normálu. Naopak leden byl −1,4 °C pod normálem.

Tabulka č. 3.13: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2009/2010

09/10	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	18.1	14.8	6.9	4.5	-1.9	-5.4	-2.4	2.1	7.4	11.7	15.8	19.3
	mm	73	21	62	36	54	74	19	34	72	108	87	82

Vegetační sezóna 2010/2011

Toto období nebylo srážkově (110 % normálu) ani teplotně (+0,8 °C nad normálem) výrazně odlišné od normálu. Rozložení srážek i teplot během sezóny bylo však od normálu odlišné již více. Srpen i září (175 a 170 % normálu) bylo srážkově značně nadprůměrné, zatímco v říjnu došlo k poklesu srážek na 37 % normálu a stejně tak i teplot (-1,6 °C pod normálem). Období od listopadu do ledna bylo srážkově celkem v normě, ale teplotně značně kolísavé. Zatímco listopad (+3,1 °C nad normálem) a leden (+2,1 °C nad normálem) byl teplotně značně nadprůměrný, v prosinci se teploty pohybovaly výrazně pod dlouhodobým průměrem (-3,5 °C pod normálem).

V únoru padlo pouze 22 % normálu. V březnu byl srážek znovu nadprůměr, ale od dubna do června se srážky pohybovaly už jen pod normálem. Nad normálem se srážky objevily až v červenci, kdy dosáhly na 149 % normálu. Jaro bylo teplotně nadprůměrné, přičemž dubnový průměr byl dokonce o +3,7 °C vyšší než dlouhodobý normál.

Tabulka č. 3.14: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2010/2011

10/11	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	16.7	11.6	6.0	4.8	-5.7	-1.9	-2.3	3.6	10.2	12.4	16.7	16.2
	mm	118	79	14	46	62	37	7	45	23	50	66	101

3.2.4 Metodika pokusu – ÚKZÚZ (Artus) – Domanínek

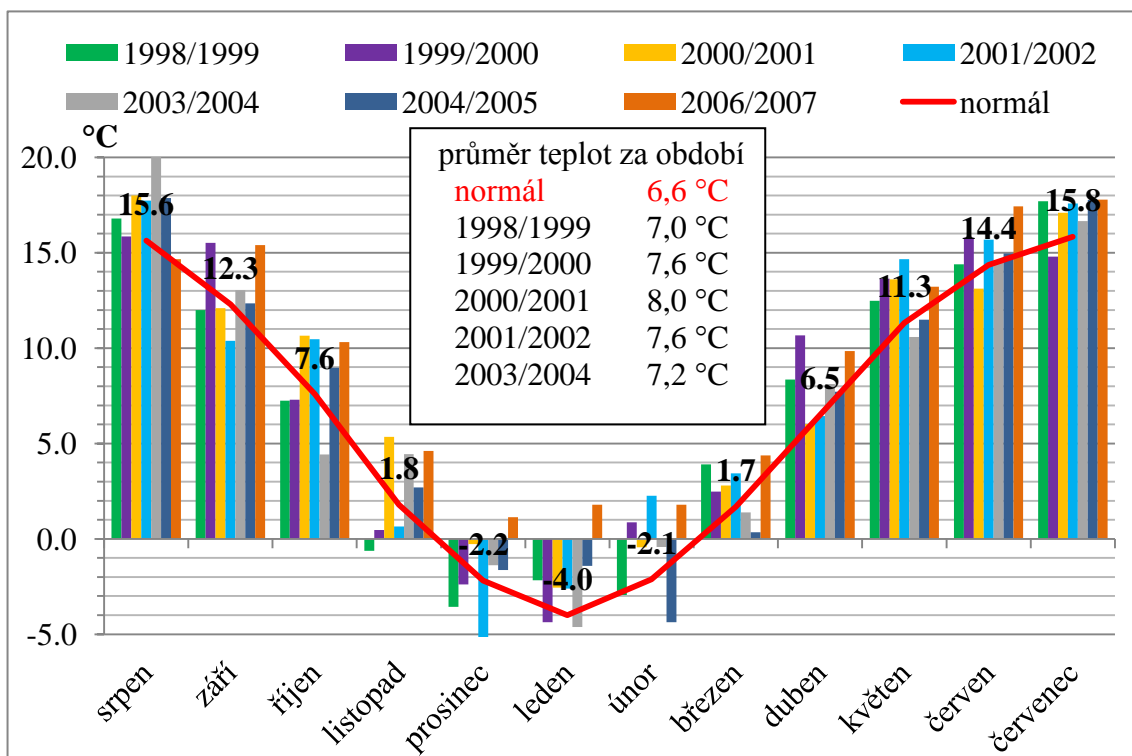
Problematika byla řešena formou sedmiletého maloparcelkového polního pokusu ve vegetačních sezónách 1998/1999, 1999/2000, 2000/2001, 2001/2002, 2003/2004, 2004/2005 a 2006/2007. Plocha jedné pokusné parcelky činila 12 m². Varianty byly založeny ve 4 opakováních (pouze ročník 2006/2007 ve 3 opakováních). Podrobné schéma jednotlivých variant v daných letech znázorňuje tabulka č. 3.15.

Tabulka č. 3.15: Schematické rozdělení variant – ÚKZÚZ Artus – Domanínek

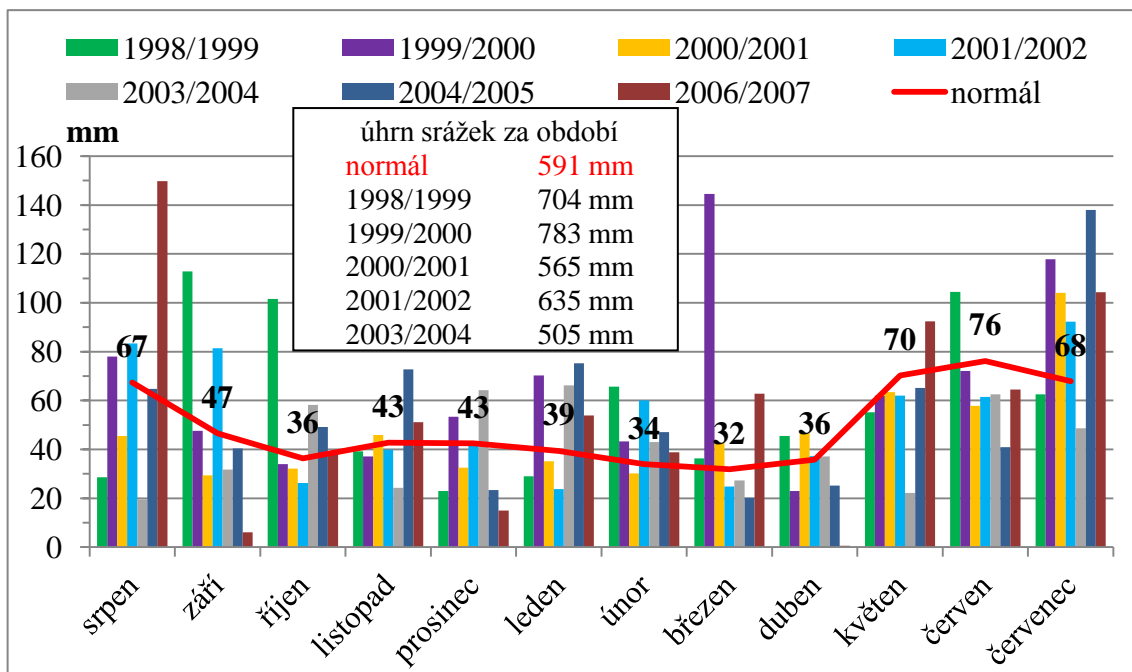
Vegetační sezóna	odrůda	setí	hnojení				dusíku celkem (kg/ha)
			regenerační		produkční I.		
			datum	N (kg/ha)	datum	N (kg/ha)	
1998/1999	Artus	28.8.	19.3.	60	24.4.	60	120
1999/2000		4.9.	1.4.	55	19.4.	55	110
2000/2001		29.8.	21.3.	60	10.4.	60	120
2001/2002		27.8.	24.2.	40	13.3.	50	90
2003/2004		26.8.	23.3.	50	15.4.	40	90
2004/2005		24.8.	30.3.	50	20.4.	40	90
2006/2007		5.9.	14.3.	50	5.4.	40	90

3.2.4.1 Meteorologické podmínky v letech 1998 – 2007 (Domanínek)

Porovnání měsíčních průměrných teplot vzduchu a úhrnů srážek mezi jednotlivými sezónami je vyjádřeno formou grafů č. 3.6 a č. 3.7. Zároveň jsou pro srovnání přidány i křivky popisující hodnoty za normálové období 1961-1990.



Graf č. 3.6: Průměrné měsíční teploty v letech 1998 – 2007 (Domanínek)



Graf č. 3.7: Měsíční úhrny srážek v letech 1998 – 2007 (Domanínec)

Vegetační sezóna 1998/1999

V porovnání s dlouhodobým normálem se jednalo o srážkově nadnormální období (119 % normálu). Střídala se však období méně srážkově výrazná s obdobími srážkově hojně zásobenými. V září i říjnu (242 a 279 % normálu) byly srážky silně nadnormální. Za tyto dva měsíce spadlo celkem 214 mm srážek. Listopadový srážkový úhrn byl již normální a během prosince a ledna zůstal srážkový úhrn pod hranicí normálu (54 a 74 % normálu). V únoru byl srážkový úhrn opět silně nadnormální. Po zbytek sezóny byly srážkové úhrny již normální, pouze červen byl nadnormální (137 % normálu).

Teplotně se jednalo o normální období. Ovšem listopad byl teplotně silně podnormální ($-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ pod normálem). Pod dlouhodobým průměrem teploty zůstaly i v prosinci ($-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ pod normálem), ale v lednu se naopak teploty pohybovaly již o $+1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad normálem. Taktéž období od března do května bylo teplotně nad normálem. V červnu se sice teploty pohybovaly kolem normálu, ale červenec byl silně nadnormální ($+1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ nad normálem).

Tabulka č. 3.16: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 1998/1999

98/99	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	$^{\circ}\text{C}$	16.8	12.0	7.2	-0.6	-3.6	-2.2	-2.9	3.9	8.4	12.5	14.4	17.7
	mm	29	113	102	39	23	29	66	36	45	55	104	63

Vegetační sezóna 1999/2000

Srážkový úhrn za toto období byl silně nadnormální (133 % normálu), ale srážkové úhrny v jednotlivých měsících byly vesměs normální. Ovšem leden byl silně nadnormální (179 % normálu). Nejvíce se ale normálu vymykal březen, který byl srážkově mimořádně nadnormální. V průběhu března spadlo rekordních 145 mm srážek, což je 454% normálu. Dále se silně nad normálem pohybovaly srážky v červenci (174 % normálu).

Teplotně se jednalo o nadnormální období (+1,0 °C nad normálem). Nejvýraznější teplotní nárůst oproti normálu byl v září (+3,2 °C), únoru (+3,0 °C) a v dubnu, kdy průměrná měsíční teplota byla dokonce o +4,2 °C vyšší než normál a jednalo se tedy o mimořádně nadnormální období. Mírně pod normál teploty klesly jen v období od října do ledna a pak až ke konci vegetace v červenci.

Tabulka č. 3.17: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 1999/2000

99/00	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	15.9	15.5	7.3	0.5	-2.4	-4.4	0.9	2.5	10.7	13.6	15.8	14.8
	mm	78	48	34	37	53	70	43	145	23	62	72	118

Vegetační sezóna 2000/2001

Srážkově se jednalo o normální období (96 % normálu). Taktéž měsíční srážkové úhrny byly normální, pouze červencový úhrn byl nadnormální (153 % normálu).

Teplotně šlo však o silně nadnormální období (+1,4 °C nad normálem). Pouze červen byl teplotně podnormální (-1,2 °C pod normálem). Mírný teplotní podprůměr byl zaznamenán ještě v září a dubnu, jinak už ostatní měsíce byly teplotně nadprůměrné. Nejvýraznější teplotní nárůst oproti normálu byl v říjnu (+3,1 °C) a listopadu (+3,6 °C). Oba měsíce byly teplotně mimořádně podnormální.

Tabulka č. 3.18: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2000/2001

00/01	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	18.0	12.1	10.7	5.4	-0.3	-2.6	-0.4	2.8	6.0	13.6	13.1	17.1
	mm	45	29	32	46	33	35	30	43	47	63	58	104

Vegetační sezóna 2001/2002

Z hlediska dlouhodobého normálu se jednalo o srážkově normální období (108% normálu). Taktéž měsíční srážkové úhrny byly celkem v normálu. Nadnormální srážkový úhrn padl v září (175 % normálu), únoru (177 % normálu) a v červenci (136 % normálu). Podnormální srážkový úhrn byl pouze v únoru (61 % normálu). Teplotně se také jednalo o nadnormální sezónu (+1,0 °C nad normálem). Vyskytly se však i měsíce, kdy byly teploty výrazně pod normálem. Nejvýraznější rozdíl byl v prosinci, kdy teploty spadly až o – 3,2 °C pod dlouhodobý normál. Naopak v únoru se již pohybovaly o +4,4 °C nad normálem.

Tabulka č. 3.19: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2001/2002

01/02	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	17.7	10.4	10.5	0.6	-5.4	-2.6	2.3	3.4	6.4	14.7	15.7	17.6
	mm	83	81	26	40	43	24	60	25	37	62	62	92

Vegetační sezóna 2003/2004

Na rozdíl od předešlých srážkově nadnormálních a normálních sezón se jednalo o srážkově podnormální období (85 % normálu). Méně srážek bylo již z kraje sezóny. Srpen byl srážkově silně podnormální (29 % normálu), taktéž v září nebylo srážkově příliš výrazné (68 % normálu). Ovšem říjen byl srážkově již nadnormální (160 % normálu). Listopad byl sice ještě srážkově na 57 % normálu, ale od prosince do února se srážky pohybovaly nad dlouhodobým normálem. Květen byl opět silně podnormální (32 % normálu) a po zbytek sezóny už nedošlo k nárůstu srážek nad hranici normálu. Teplotně se jednalo o nadnormální období. Již teploty v srpnu byly mimořádně nadnormální (+4,5 °C nad normálem). Postupně se však střídala období s teplotami nad normálem a pod normálem. Nejvýraznější rozdíl od normálu byl kromě srpna i v říjnu, kdy byly teploty naopak mimořádně podnormální (– 3,2 °C pod normálem). V listopadu však nastal obrat a teploty byly silně nadnormální (+2,7 °C nad normálem).

Tabulka č. 3.20: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2003/2004

03/04	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	20.1	13.0	4.4	4.4	-1.4	-4.6	-0.4	1.4	8.1	10.6	14.6	16.7
	mm	20	32	58	24	64	66	43	27	37	22	62	49

Vegetační sezóna 2004/2005 a 2006/2007

viz. strana č. 44

3.2.5 Agroekologická charakteristika pokusného stanoviště Lednice

Druhá část pokusu probíhala na pozemcích zkušební stanice ÚKZÚZ v Lednici na Moravě. Tato lokalita se nachází v kukuřičné výrobní oblasti s průměrnou nadmořskou výškou 180 m n. m. Svažitosť pozemků se pohybuje kolem 2° a jedná se tedy o rovinu.

3.2.5.1 Půdní podmínky

Dle VÚMOP - bodové hodnocení produkční schopnosti půd (2001) se jedná o černozem modální a půdotvorným substrátem je spraš. Zrnitostním složením se jedná o půdu středně těžkou (hlinitá).

Tabulka č. 3.21: Zrnitostní složení půdy dle jednotlivých vrstev – Lednice

Hloubka vrstvy (cm)	Zrnitostní složení půdy (%)				
	< 0.001 (mm)	0.001 - 0.01 (mm)	0.01 - 0.05 (mm)	0.05 - 0.25 (mm)	0.25 - 2.0 (mm)
0 - 30	22.3	13.8	46.8	13.2	3.9
30 - 82	25.1	16.5	41.0	15.4	2.0
82 - 102	19.8	16.4	46.4	15.4	2.0
102 - 150	15.1	19.0	45.5	18.3	2.1

Tabulka č. 3.22: Základní chemické a fyzikální vlastnosti půdy – Lednice

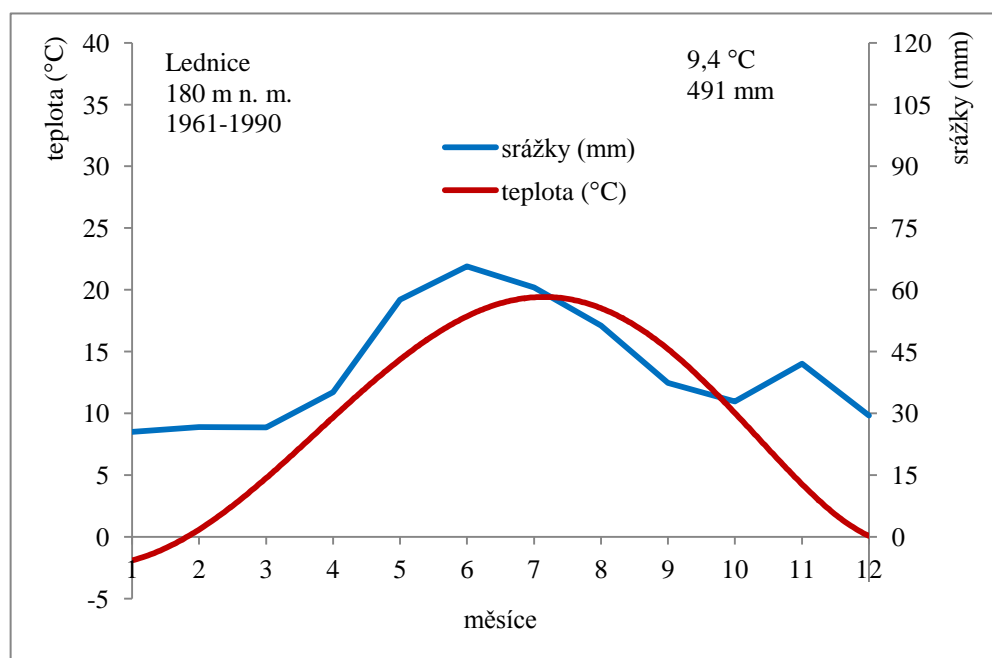
Hloubka vrstvy (cm)	C _{org} (%)	N _{min} (%)	C:N	pH (KCl)
0 - 30	1.4	0.2	9.4	5.5
30 - 82	1.0	0.1	9.2	6.9
82 - 102	0.5	0.1	6.0	7.2
102 - 150	0.1	0.0	3.0	7.6
Hloubka vrstvy (cm)	Objemová hmotnost (g/cm ³)	Pórovitost (% obj.)	Polní vodní kapacita (% obj.)	Bod vadnutí (% obj.)
0 - 30	1.49	48.8	34.2	16.3
30 - 82	1.49	47.4	35.0	18.1
82 - 102	1.55	44.2	32.6	15.1
102 - 150	1.59	41.2	29.9	12.5

3.2.5.2 Klimatické podmínky

Za normálové období (1961 – 1990) činí průměrná roční teplota vzduchu 9,4 °C a průměrný roční srážkový úhrn je 491 mm. Chod průměrných měsíčních teplot vzduchu a průměrných měsíčních úhrnů srážek v daném období je uveden v tabulce č. 3.23 a pro lepší porovnání jsou údaje znázorněny formou grafu č. 3.8.

Tabulka č. 3.23: Dlouhodobý normál (1961 – 1990) – Lednice

Lednice (1961 – 1990)	průměrná teplota (°C)	úhrn srážek (mm)
leden	-1.9	25
únor	0.5	27
březen	4.7	27
duben	9.8	35
květen	14.5	58
červen	17.6	66
červenec	19.2	61
srpen	18.9	51
září	15.2	37
říjen	9.9	33
listopad	4.3	42
prosinec	0.1	29
rok	9.4	491



Graf č. 3.8: Přehled vybraných klimatických charakteristik za normálové období (1961 – 1990) – Lednice

Jak je patrné z dlouhodobého normálu, potenciální produktivita území z pohledu zemědělské výroby je omezena relativním nedostatkem srážek, který v kombinaci s vyššími teplotami způsobuje, že na stanici jsou podmínky výrazně sušší, než je klimatologické optimum. K čemuž dochází hlavně v období od července do října, kdy se křivka srážek pohybuje pod křivkou teplot, což bývá právě často znakem nedostatečného zásobení srážkami. Stanice Lednice spadá mezi místa s velmi nízkým průměrným ročním úhrnem srážek.

3.2.6 Metodika pokusu – ÚKZÚZ (Artus) – Lednice

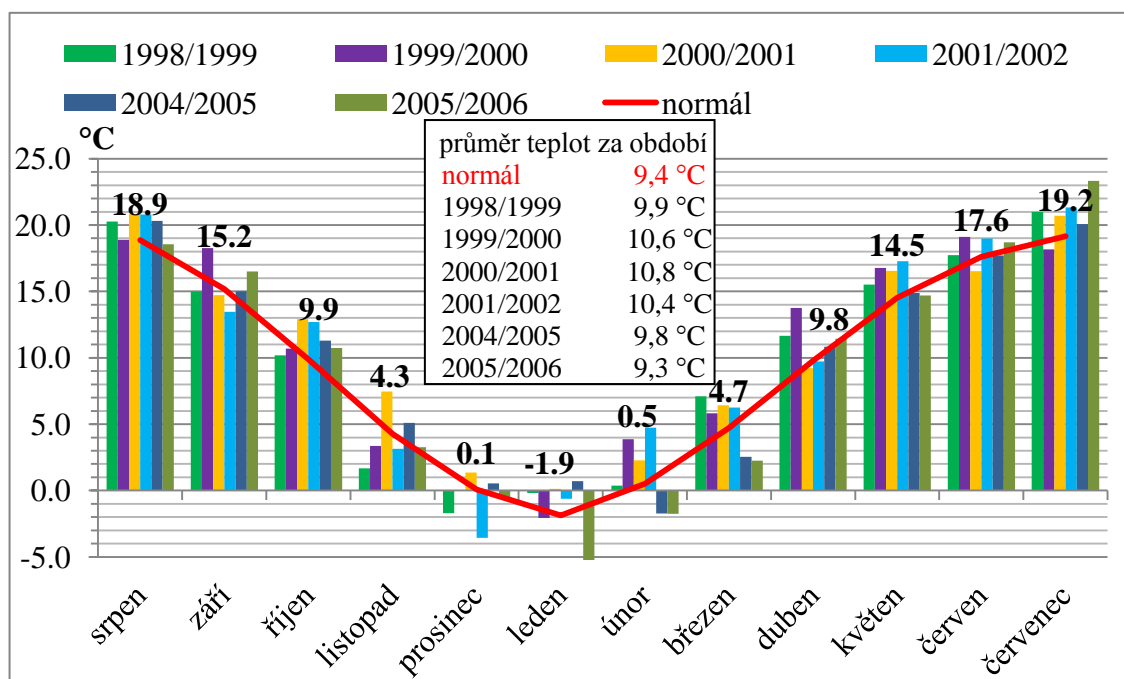
Problematika byla řešena formou šestiletého maloparcelkového polního pokusu ve vegetačních sezónách 1998/1999, 1999/2000, 2000/2001, 2001/2002, 2004/2005 a 2005/2006. Plocha jedné pokusné parcelky činila 10 m². Každá varianta byla založena ve 4 opakováních (pouze ročník 2005/2006 ve 3 opakováních. Podrobné schéma jednotlivých variant v daných letech znázorňuje tabulka č. 3.24.

Tabulka č. 3.24: Schematické rozdělení variant – ÚKZÚZ Artus – Lednic

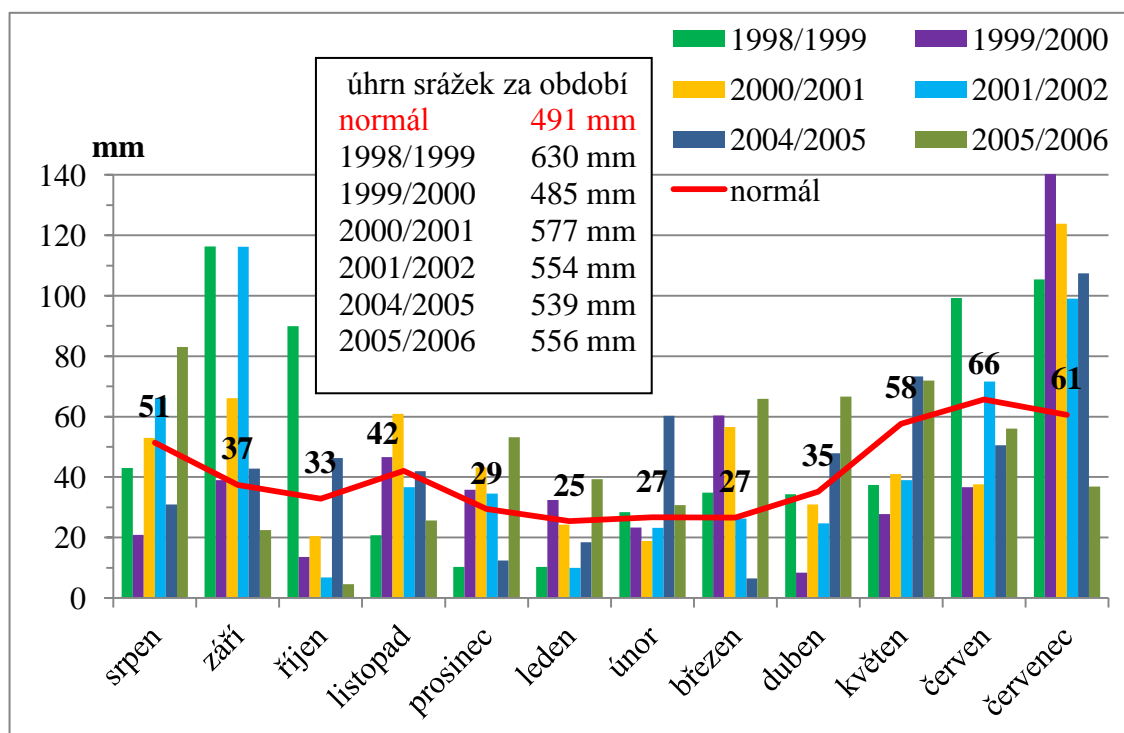
Vegetační sezóna	odrůda	setí	hnojení				dusíku celkem (kg/ha)
			regenerační		produkční I.		
			datum	N (kg/ha)	datum	N (kg/ha)	
1998/1999	Artus	26.8.	5.3.	50	29.3.	40	90
1999/2000		27.8.	23.2.	50	15.3.	40	90
2000/2001		29.8.	27.2.	50	20.3.	40	90
2001/2002		26.8.	1.3.	50	19.3.	40	90
2004/2005		24.8.	17.3.	50	6.4.	40	90
2005/2006		31.8.	24.3.	50	10.4.	40	90

3.2.6.1 Meteorologické podmínky v letech 1998 – 2006 (Lednice)

Porovnání měsíčních průměrných teplot vzduchu a úhrnů srážek mezi jednotlivými sezónami je vyjádřeno formou grafů č. 3.9 a č. 3.10. Zároveň jsou pro srovnání přidány i křivky popisující hodnoty za normálové období 1961-1990.



Graf č. 3.9: Průměrné měsíční teploty v letech 1998 – 2006 (Lednice)



Graf č. 3.10: Měsíční úhrny srážek v letech 1998 – 2006 (Lednice)

Vegetační sezóna 1998/1999

V porovnání s dlouhodobým normálem se jednalo o srážkově výrazně nadprůměrné období (128 % normálu). Střídala se však období méně srážkově výrazná s obdobími srážkově hojně zásobenými. V září i říjnu (311 a 274 % normálu) se srážky pohybovaly značně nad normálem. Za tyto dva měsíce spadlo rekordních 206 mm srážek. Zatímco v listopadu došlo k poklesu srážek na 49 % normálu a stejně tak i teplot ($-2,6$ °C pod normálem). Prosinec byl teplotně sice ještě podprůměrný ($-1,8$ °C pod normálem), ale v lednu se naopak teploty pohybovaly o $+1,7$ °C nad normálem. Během prosince a ledna ještě zůstal srážkový úhrn pod hranicí normálu (35 a 40 % normálu). Od února se již srážky pohybovaly ve směs kolem normálu nebo nad ním, pouze květen byl srážkově podprůměrný (65 % normálu). S jarem přišlo období nadprůměrných teplot. V březnu byla teplota dokonce o $+2,4$ °C vyšší než je normál a v dubnu o $+1,9$ °C. Celkově se jednalo jen o mírně teplotně nadprůměrnou sezónu ($+0,5$ °C nad normálem).

Tabulka č. 3.25: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 1998/1999

98/99	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	20.3	15.0	10.2	1.7	-1.7	-0.2	0.4	7.1	11.7	15.5	17.7	21.0
	mm	43	116	90	21	10	10	28	35	34	37	99	105

Vegetační sezóna 1999/2000

Srážkový úhrn za toto období dosáhl téměř normálové hodnoty (99 % normálu). S rozložením srážek už to však bylo různé. Z počátku vegetace se srážky pohybovaly spíše pod normálem. Naopak období od listopadu do ledna bylo srážkově mírně nadprůměrné. V únoru sice došlo k mírnému poklesu pod hranici normálu, ale v březnu byl srážek opět nadprůměr (227 % normálu). Od dubna se srážky začaly opět vyskytovat pod průměrem (24 % normálu), kde vydržely téměř do konce vegetace. Teplotně se jednalo o nadprůměrné období ($+1,2$ °C nad normálem). Nejvýraznější teplotní nárůst oproti normálu byl v září ($+3,1$ °C), únoru ($+3,4$ °C) a v dubnu, kdy průměrná měsíční teplota byla dokonce o $+4,0$ °C vyšší než normál. Mírně pod normál teploty klesly jen v období od listopadu do ledna a pak až ke konci vegetace v červenci.

Tabulka č. 3.26: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 1999/2000

99/00	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	18.9	18.3	10.7	3.4	0.0	-2.1	3.9	5.8	13.8	16.8	19.1	18.2
	mm	21	39	14	47	36	32	23	60	8	28	37	140

Vegetační sezóna 2000/2001

Srážkově se jednalo celkem o nadprůměrné období (117 % normálu). Během podzimní vegetace se srážky pohybovaly kromě října (62 % normálu) nad hranici normálu. Leden byl ještě srážkově průměrný, ale v únoru už se srážky pohybovaly jen na 71 % normálu. V březnu se sice srážky dostaly ještě výrazně nad normál (213 % normálu), ale od dubna bylo srážek opět méně. Změna nastala až v červenci, kdy padlo 204 % normálu.

Teplotně šlo také o výrazně nadprůměrné období (+1,4 °C nad normálem). Pouze červen byl zřetelně podprůměrný (-1,1 °C pod normálem). Mírný teplotní podprůměr byl ještě v září a dubnu, jinak už ostatní měsíce byly teplotně nadprůměrné. Nejvýraznější teplotní nárůst oproti normálu byl v říjnu (+3,0 °C) a listopadu (+3,2 °C).

Tabulka č. 3.27: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2000/2001

00/01	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	20.8	14.7	12.9	7.5	1.4	0.1	2.3	6.4	9.2	16.6	16.5	20.7
	mm	53	66	20	61	43	24	19	57	31	41	38	124

Vegetační sezóna 2001/2002

Opět se jednalo o srážkově nadprůměrnou sezónu (113 % normálu). Ovšem stejně jako v sezóně 1998/1999 bylo září rekordně srážkově nadprůměrné (311 % normálu), ale po zbytek vegetace se srážky pohybovaly spíše kolem normálu nebo klesly i pod dlouhodobý průměr. V říjnu padlo dokonce jen 21 % normálu a v lednu 39 % normálu. Rozdíl oproti normálu v ostatních měsících již nebyl tak patrný.

Teplotně se také jednalo o nadprůměrnou sezónu (+1,0 °C nad normálem). Vyskytly se však i měsíce, kdy byly teploty výrazně pod normálem. Nejvýraznější rozdíl byl v prosinci, kdy teploty spadly až o -3,6 °C pod dlouhodobý normál. Naopak v únoru se již pohybovaly o +4,0 °C nad normálem.

Tabulka č. 3.28: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2001/2002

01/02	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	20.8	13.5	12.7	3.1	-3.6	-0.6	4.7	6.3	9.7	17.3	19.0	21.3
	mm	66	116	7	37	35	10	23	26	25	39	72	99

Vegetační sezóna 2004/2005

Srážky se v tomto období nacházely na 110 % normálu. Jejich rozložení z pohledu vegetace bylo celkem optimální. Z počátku vegetace se srážkový úhrn pohyboval nad hranicí dlouhodobého normálu. S příchodem zimního období bylo srážek spíše méně. Srážkový úhrn za prosinec činil pouze 42 % normálu. K největšímu nárůstu srážek došlo v únoru, kdy padlo 226 % normálu. Potom však následoval srážkově málo vydatný březen (24 % normálu). Po zbytek vegetace už se ale srážky pohybovaly spíše nad průměrem.

Teplotně se jednalo celkem o průměrné období. Nejvýraznější rozdíl oproti normálu byl zaznamenán v lednu, kdy se teploty pohybovaly o +2,6 °C nad normálem. Poté ale přišlo chladnější období v únoru a březnu (oba –2,2 °C pod normálem). Od dubna se teploty opět začaly pohybovat mírně nad normálem.

Tabulka č. 3.29: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2004/2005

04/05	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	20.3	15.0	11.3	5.1	0.5	0.7	-1.7	2.5	10.8	14.9	17.7	20.1
	mm	31	43	46	42	12	18	60	6	48	73	51	107

Vegetační sezóna 2005/2006

Jednalo se opět o srážkově nadprůměrnou sezónu (113 % normálu), přičemž podzim byl značně srážkově podprůměrný. Od září do listopadu padlo pouze 53 mm srážek, což je 45 % normálu za toto období. Vydatnější srážky přišly až v prosinci, který naopak dosáhl 180 % normálu. Srážky se od té doby až do května pohybovaly nad dlouhodobým normálem. Nejvýraznější rozdíl oproti normálu byl v březnu (248 % normálu). Od června se srážkový úhrn začal opět propadat pod hranici normálu.

Teplotně šlo o průměrné období (pouze –0,1°C pod normálem). V zimním období však došlo k výraznému poklesu teplot oproti normálu, kdy průměrná lednová teplota je dokonce o – 3,9 °C nižší než dlouhodobý normál. Naopak červenec byl značně teplotně nadprůměrný (+4,2 °C nad normálem)

Tabulka č. 3.30: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2005/2006

05/06	měsíc	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
	°C	18.6	16.5	10.7	3.3	-0.5	-5.8	-1.7	2.2	11.4	14.7	18.7	23.3
	mm	83	22	5	26	53	39	31	66	67	72	56	37

3.2.7 Charakteristika použitých odrůd

Labrador

Jedná se o pozdní liniovou odrůdu 00 typu vhodnou spíše do chladnějších oblastí, kde dosahuje vysokého výnosu. Rostliny jsou vysoké s nízkou až střední náchylností k poléhání a s dobrým zdravotním stavem, obzvláště tolerancí vůči fómě. Obsah oleje v semeni je nízký až středně vysoký. Významným výnosotvorným faktorem je velmi vysoká HTS (5,04 g), semena obsahují velmi malé množství glukosinolátů. Na podzim se rychle vyvíjí, takže patří mezi odrůdy vhodné i pro pozdní setí. Doporučený výsevek je 50 – 70 semen/m². Jarní nástup do vegetace je pomalý, což snižuje nebezpečí poškození jarními mrazíky. Vytváří mnoho postraních větví a habitem připomíná hybridní řepku. Stejněměrně a rychle dozrává (ÚKZÚZ, 2015).

Rohan

Rohan je raný až středně raný pylově fertilní hybrid (MSL) určený pro kontinentální podmínky. Rostliny tvoří nízký až středně vysoký kompaktní porost středně odolný až odolný proti poléhání. Mezi přednosti této odrůdy patří rychlý počáteční vývoj a rychlá jarní regenerace. Předností je též velmi vysoká zimovzdornost a zároveň se tato odrůda také vyznačuje výjimečnou tolerancí k přisuškům. Obsah oleje v semeni je středně vysoký a obsah glukosinolátů je nízký až velmi nízký. Vhodný je pro střední až středně pozdní termín setí (ÚKZÚZ, 2015).

Artus

Jedná se o středně ranou hybridní odrůdu se středně vysokým až vyšším vzrůstem. Vhodný do všech pěstitelských oblastí. Specialista na pozdní termíny setí díky větší vitalitě a rychlosti růstu na podzim. Méně až středně odolná odrůda proti poléhání. Odolnost proti vyzimování je vyhovující. Semena obsahují velmi nízký obsah glukosinolátů. Výsevek 500000 klíčivých semen na ha, při pozdějších termínech setí po agrotechnické lhůtě výsevek až 600000 klíčivých semen na ha (ÚKZÚZ, 2015).

3.2.8 Použité statistické metody

Pro hodnocení simulovaných dat bylo využito dvou statistických ukazatelů. Jedná se o tzv. střední chybu (MBE - Mean Bias Error), která měří systematickou chybu, a střední kvadratickou chybu (RMSE - Root Mean Square Error), která popisuje průměrnou absolutní odchylku mezi pozorovanými a modelovanými hodnotami. Tyto dva ukazatele tedy umožnily srovnání pozorovaných hodnot s modelovými daty odhadnutými daným růstovým simulátorem.

Ukazatele MBE a RMSE byly počítány pro srovnání výsledků pozorovaných a modelovaných parametrů na základě vztahů (1) a (2):

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

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

kde: s_i ... odhadovaná hodnota dané veličiny
 o_i ... pozorovaná hodnota dané veličiny
 n ... počet dvojic pozorovaných a odhadovaných veličiny

3.2.9 Programy použité pro úpravu vstupních dat

SoilClim

Tento program slouží ke studiu a simulaci vodní bilance v systému půda – rostlina – atmosféra. Součástí programu je několik samostatných modulů. Pro naše účely byl použit modul k odhadnutí iniciální půdní vlhkosti (Hlavinka et al., 2011).

SnowMAUS

Jedná se o modul simulující přítomnost sněhové pokrývky a její vodní hodnotu. Byl vyvinut a testován v podmínkách střední Evropy, tudíž vhodně posloužil k transformaci meteorologických vstupních dat pro daný růstový model (Trnka et al., 2010).

3.3 Výsledky a diskuse

3.3.1 Kalibrace (parametrizace) modelu DSSAT

Jak již bylo zmíněno výše, jedná se v případě kalibrace (parametrizace) modelu o úpravu parametrů modelu takovým způsobem, aby jeho výpočet co nejpřesněji vystihoval skutečný stav v přírodě, resp. chování modelované odrůdy odpovídalo skutečnosti.

Parametrizace proběhla na základě pokusu s odrůdou Artus (Domanínek a Lednice), kde byly jako parametrizační parametry zvoleny: termín počátku kvetení (Juliánský den – JD), termín plné zralosti (JD) a výnos (kg/ha). Dále byla do kalibrace zahrnuta data z vícevariantového pokusu z Domanínku z vegetačního ročníku 2011/2012, kde byly předešlé parametrizační parametry rozšířeny o další hodnoty týkající se nárůstu biomasy (kg/ha) a LAI (m^2/m^2). Tyto parametry nám poskytly možnost lépe porovnat průběh simulovaného růstu rostliny pomocí počítačového softwaru s reálným růstem rostliny v přírodních podmínkách.

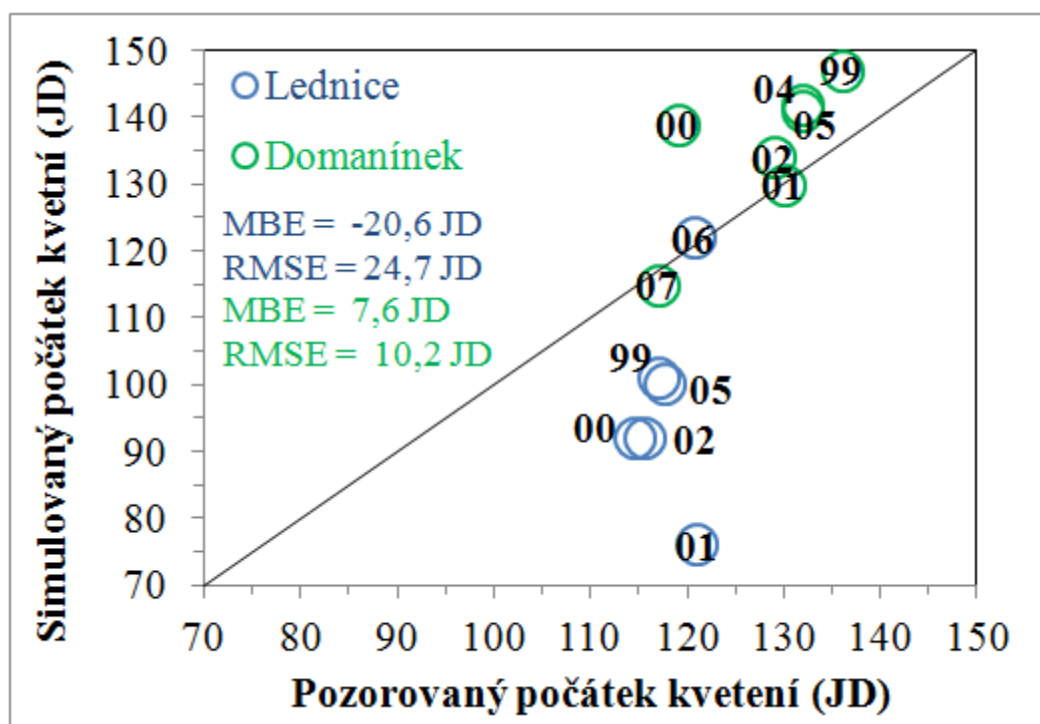
Po rozsáhlých konzultacích s autory modelu byly nastaveny takové parametry odrůd, aby co nejlépe odpovídaly námi pěstovaným odrůdám a pěstebními podmínkami střední Evropy, kde tento růstový model nebyl dosud pro ozimou řepku využíván. Jednalo se tedy o velmi složitou kalibraci, při které došlo ve spolupráci s autory modelu z Washington State Univerzity v USA (Prof. Gerrit Hoogenboom a Dr. Vakhtang Shelia) na základě dat z Lednice a Domanínku pro odrůdu Artus ke změně parametrů v souboru .cul. Konkrétně se jednalo o parametry ovlivňující zejména rychlost vývoje na základě hodnot teplotních sum a reakce rostliny na délku dne.

V rámci předložené diplomové práce byla navíc na základě podrobnějších dat z Domanínku (2011/2012) navržena změna parametru WTPSD (maximální hmotnost zrnka) v souboru .cul, dále byla navýšena hodnota VSSINK (tento parametr se podílí na určení počtu listů) a byly sníženy prahy pro přezimování FREEZ1 a FREEZ 2 v souboru .spe.

Jelikož se primárně jedná o model určený k modelaci růstu jarní řepky, více se o nastavení jednotlivých parametrů modelu můžeme dočíst v práci Saseendran et al. (2010) věnované modelu DSSAT pro modelaci růstu jarní řepky. Jedná se však o shodné parametry jako se nastavují v případě řepky ozimé.

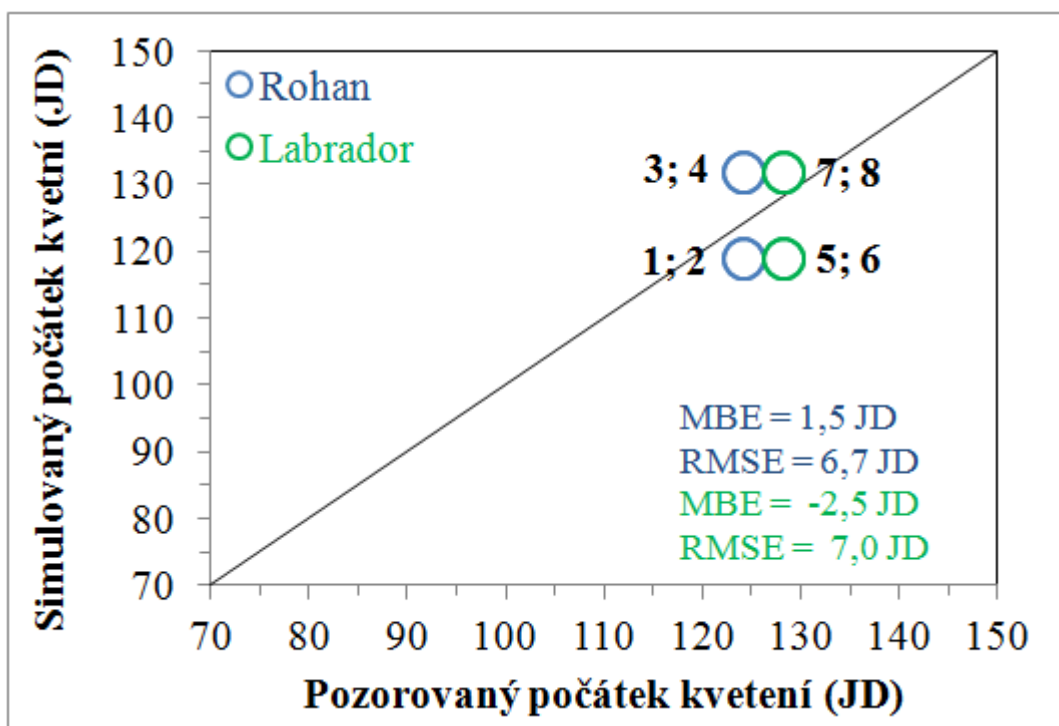
3.3.1.1 Kalibrace počátkem kvetení

Již při prvním pohledu na graf č. 3.11 je patrné, že model správně zareagoval na rozdílné podmínky stanoviště a je zde vidět charakteristický vegetační posun mezi jednotlivými lokalitami a pozdější nástup kvetení v chladnější a výše položené oblasti Domanínku. Dále můžeme konstatovat, že lépe reaguje model v Domanínku, kde sice ve většině let dochází k opoždění modelu oproti realitě, ale odchylky nejsou tak výrazné jak v Lednici, kde model simuluje naopak počátek kvetení o několik dní dříve než tomu je ve skutečnosti.



Graf č. 3.11: Kalibrace termínu počátku kvetení odrůdy Artus pro lokality Lednice (1999 – 2006) a Domanínk (1999 – 2007)

Co se týká vícevariantového pokusu z Domanínku z vegetační sezóny 2011/2012 (viz. graf č. 3.12) model zareagoval na rozdílné termíny setí. Podle zkušenosti mnoha agronomů by však během jarní vegetace mělo u různě setých ozimů stejné odrůdy dojít spíše k sladění fenologických fází. Naopak model nereaguje na rozdílnost odrůd, což je způsobeno totožným nastavením parametrů daných odrůd v důsledku omezeného rozsahu dat. Pro další práci je tedy nutné zaměřit se na přesnější kalibraci těchto odrůd. Přičemž hlavní rozdíl by měl být v ranosti těchto odrůd. Odrůda Rohan by měla být dle SDO ranější než Labrador, což potvrzují i naše výsledky.

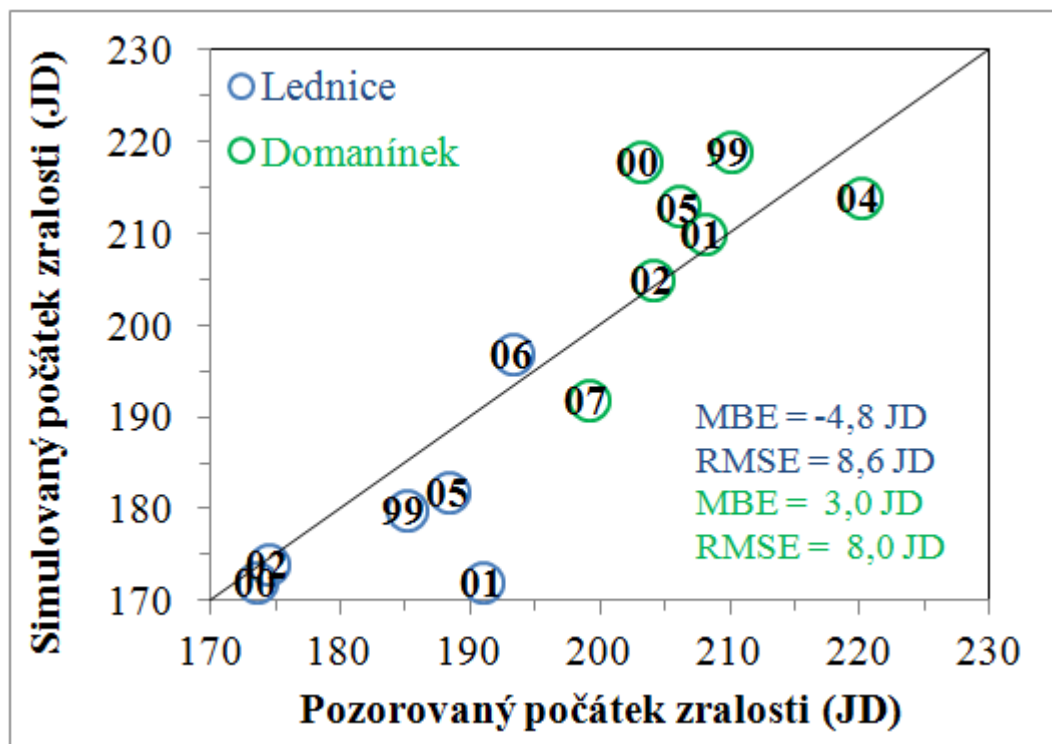


Graf č. 3.12: Kalibrace termínu počátku kvetení odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2011/2012)

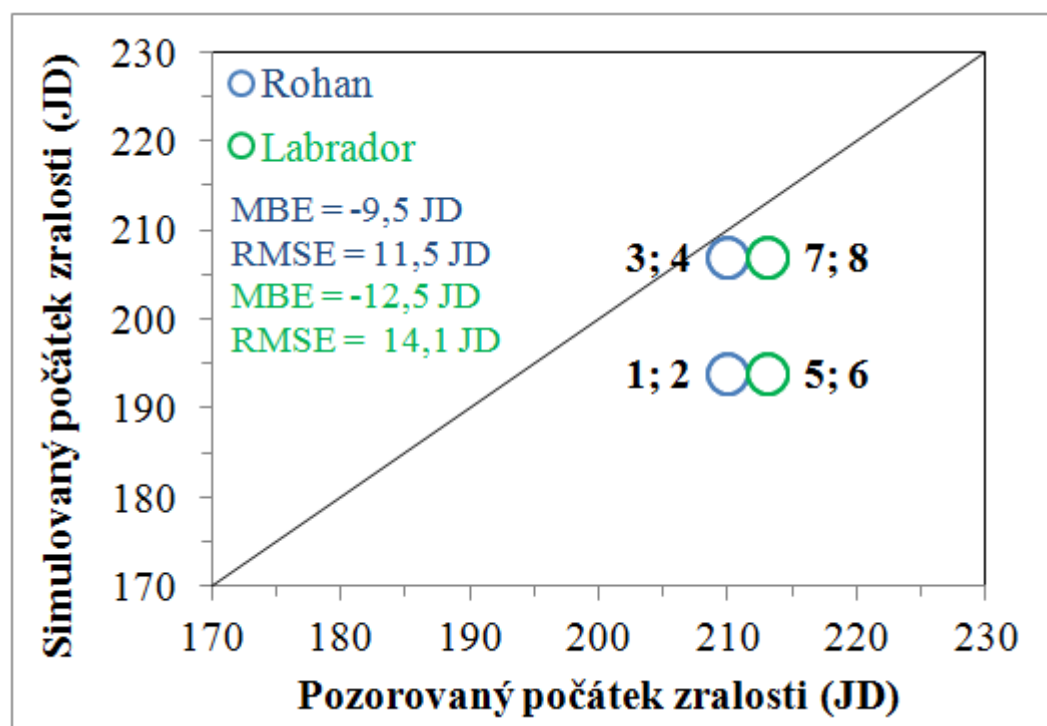
3.3.1.2 Kalibrace počátkem zralosti

Jako v předchozím případě se jedná o simulaci dané fenologické fáze. Model opět správně zareagoval na vegetační posun mezi lokalitami. Daná simulace byla již o něco přesnější, hlavně co se lokality Lednice týká. Simulovaná zralost pro Lednici se kromě roku 2001 výrazně nelišila od zralosti pozorované. Jako v případě kvetení zde dochází spíše k předbíhání modelu oproti realitě. Přičemž v Domanínku tomu je přesně naopak. Ve většině let dochází k opoždění modelu oproti realitě, ale odchylky jsou již méně výrazné než při simulaci kvetení. Můžeme tedy říci, že ke konci vegetace se model přibližuje skutečnosti více, než tomu bylo v případě kvetení.

Naproti tomu ve vícevariantovém pokusu z Domanínku z vegetační sezóny 2011/2012 se simulované a pozorované hodnoty ke konci vegetace rozcházejí více, než tomu bylo v případě kvetení. V tomto případě musíme mít však na vědomí, že se jedná pouze o data z jednoho roku, zatímco v předešlém případě se jedná o víceleté pozorování. Model simuluje termín plné zralosti o několik dní dříve, než tomu ve skutečnosti bylo. Realita opět potvrzuje, že termín zralosti je spíše ovlivněn odrůdou než termínem setí. Model na tuto skutečnost však nereaguje.



Graf č. 3.13: Kalibrace termínu plné zralosti odrůdy Artus pro lokality Lednice (1999 – 2006) a Domanínek (1999 – 2007)



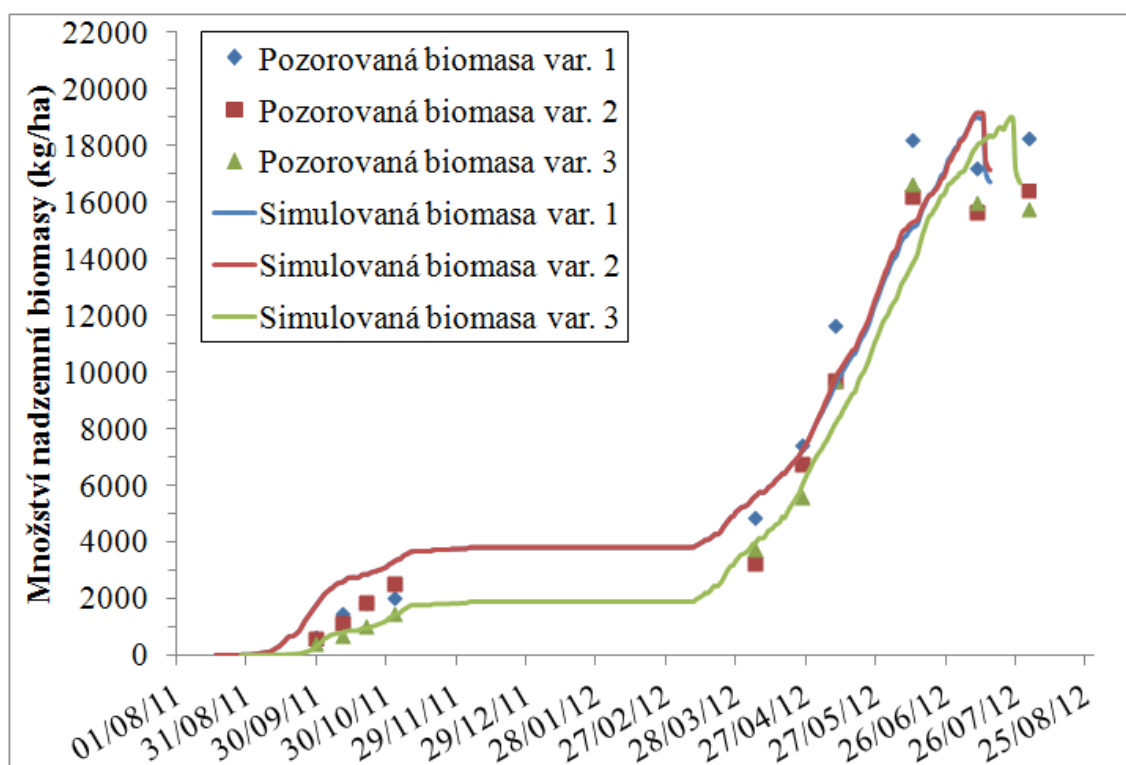
Graf č. 3.14: Kalibrace termínu plné zralosti odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2011/2012)

3.3.1.3 Kalibrace množstvím biomasy

Při pohledu na graf č. 3.15 lze říci, že model správně zareagoval na posunutý termín setí u varianty 3. U této varianty je dokonce u podzimní a z kraje jarní vegetace minimální rozdíl mezi simulovanými a skutečnými hodnotami, zatímco u variant 1 a 2 model množství nadzemní biomasy spíše nadhodnocuje. Celkově však můžeme říci, že model správně reaguje na dynamiku růstu řepky.

Jediné co by se dalo vytknout, že model nereaguje na odumírání listové plochy v zimním období, ale přes zimu dochází pouze k stagnaci růstu biomasy. Ve skutečnosti by se mělo jednat spíše o dvouvrcholovou křivku, jako ukazuje graf č. 2.1 (Vašák et al., 2000). Daný nedostatek modelu je z největší pravděpodobnosti způsoben nedostatečnou kalibrací modelu pro podmínky střední Evropy, kde dochází ke střídání čtyř ročních období. Pro přesnější výsledky modelu na dané lokalitě je tedy nutné se více zaměřit na kalibraci parametrů týkajících se přezimování.

Model ani skutečnost nezareagovala na pozdní přihnojení dusíkem u varianty 2, což poukazuje na to, že přihnojení dusíkem na začátku květu nemá již výrazný vliv na růst nadzemní biomasy, ale dle Alpmann et al. (2009) tato dávka slouží k zabránění redukčním procesům, jako je opadávání šesulí nebo snížená tvorba semen.

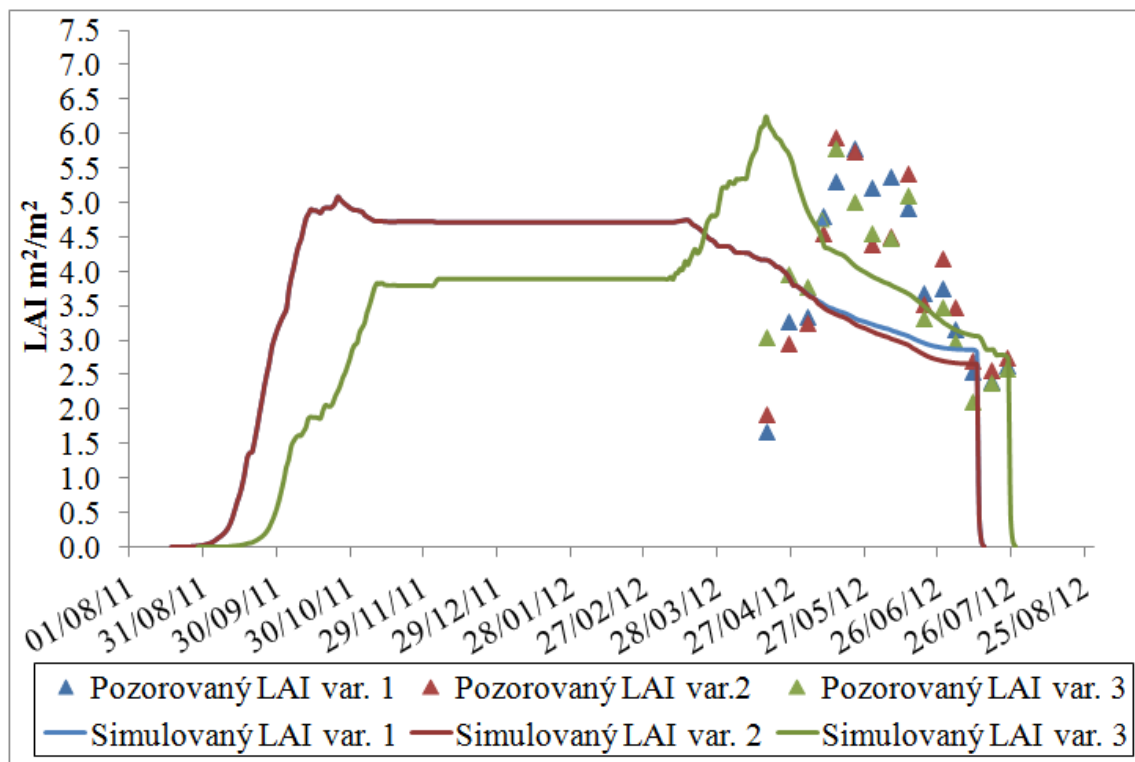


Graf č. 3.15: Kalibrace nárůstu nadzemní biomasy odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínky (2011/2012)

3.3.1.4 Kalibrace LAI

Stejně jako u množství biomasy je zde patrný rozdíl v termínu setí. Vašák et al. (2000) uvádí, že LAI má na podzim dosahovat hodnot 1,5 – 2 m²/ m² půdy, což potvrzují i pozorované hodnoty. Na první pohled je tedy patrné, že model v podzimním období tuto hodnotu značně nadhodnocuje hlavně u dřívě setých variant 1 a 2. U těchto variant dokonce LAI dosahuje maximálních hodnot již během podzimní vegetace. Dle Vašák et al. (2000) mají podzimní listy vyšší obsah sušiny a jsou silnější než listy v době kvetení. Proto je LAI na podzim při větší hmotnosti listů relativně nižší než před kvetením (viz. graf č. 2.1), kdy by měla hodnota LAI dosahovat maxima (3 – 4 m²/ m²). Jak již bylo zmíněno výše, simulované množství biomasy je oproti skutečnosti také o něco vyšší. Kombinace těchto dvou faktorů může mít tedy vliv na simulovaný průběh křivky LAI, s čímž souvisí i nadhodnocení indexu listové pokrývnosti modelem.

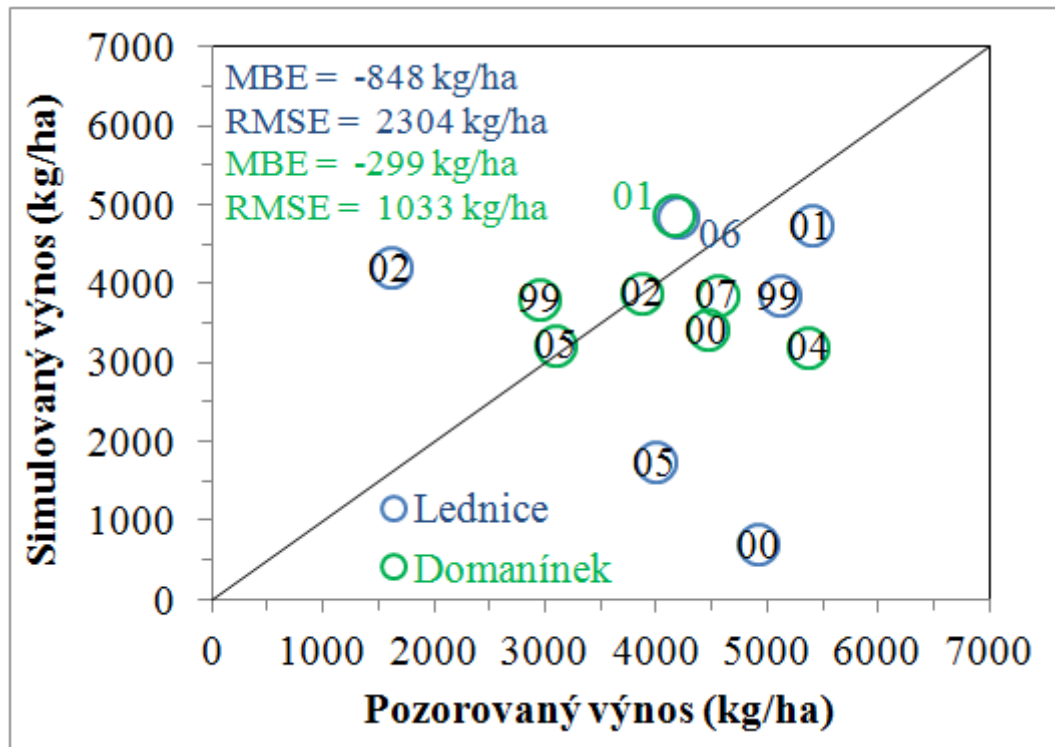
Vašák et al. (2000) též uvádí, že zmiňovaný průběh tvorby listové plochy a její hmotnosti je u pozdních výsevů zcela odlišný. Pro později setou variantu 3 však model vymodeloval průběh křivky LAI celkem přesně a pracuje s ní, jako kdyby byla zasetá v optimálním termínu. Pro další práci s modelem je tedy nutné se zaměřit na vliv termínu setí na podzimní modelaci dynamiky růstu.



Graf č. 3.16: Kalibrace pomocí LAI odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2011/2012)

3.3.1.5 Kalibrace výnosem

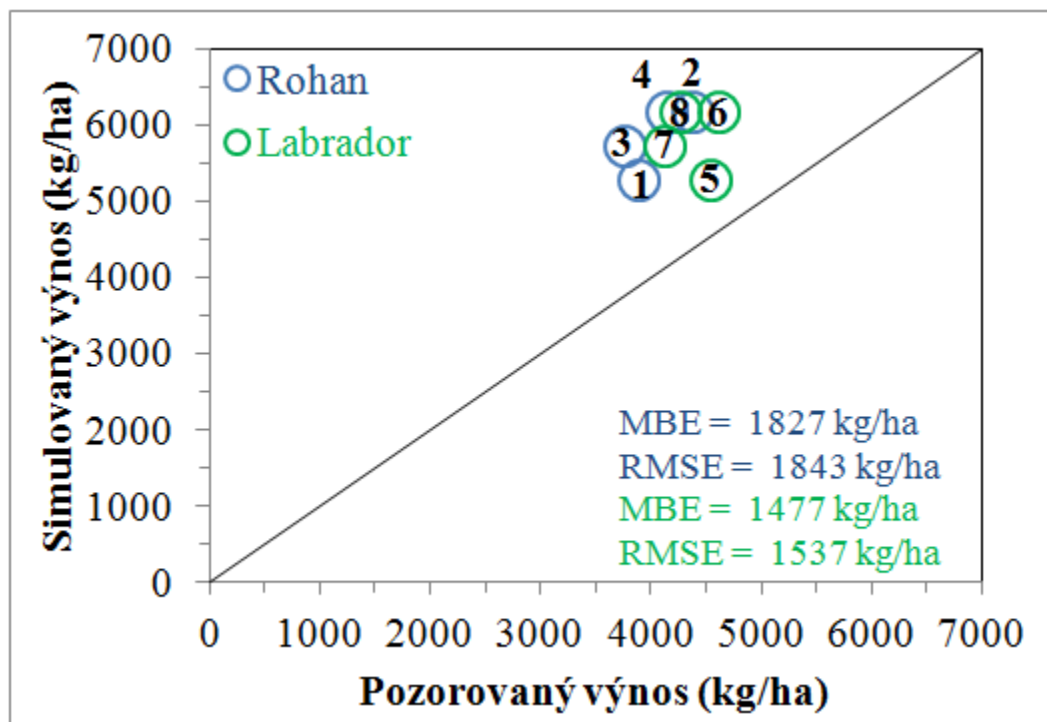
Při pohledu na graf č. 3.17 můžeme konstatovat, že k větší shodě mezi simulovaným a pozorovaným výnosem dochází pro lokalitu Domanínek, přičemž nejlepší shody bylo dosaženo v letech 2002 a 2005. Naopak v roce 2004 došlo modelem k podhodnocení výnosu o 2,2 t/ha. V Lednici došlo v roce 2000 dokonce k podhodnocení výnosu modelem o 4,2 t/ha.



Graf č. 3.17: Kalibrace výnosu odrůdy Artus pro lokality Lednice (1999 – 2006) a Domanínek (1999 – 2007)

Co se týká vícevariantového pokusu z Domanínku z vegetační sezóny 2011/2012 model nadhodnotil simulovaný výnos u všech variant. Mírné nadhodnocení simulovaných výnosů může být způsobeno výše zmíněnými nesimulovatelnými faktory.

Model úspěšně reaguje navýšením výnosu na přihnojení dusíkem na začátku květu u variant 2, 4, 6 a 8. Přičemž rozdíl ve výnosu mezi více a méně hnojenou variantou je výraznější u dříve setých variant. U pozdějšího setí není rozdíl ve výnosu u přihnojené varianty tak výrazný. K reakci modelu na rozdílnost odrůd opět nedochází a model nedělá rozdíl mezi odrůdami ani po výnosové stránce.



Graf č. 3.18: Kalibrace výnosu odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2011/2012)

3.3.2 Validace (evaluace) modelu DSSAT

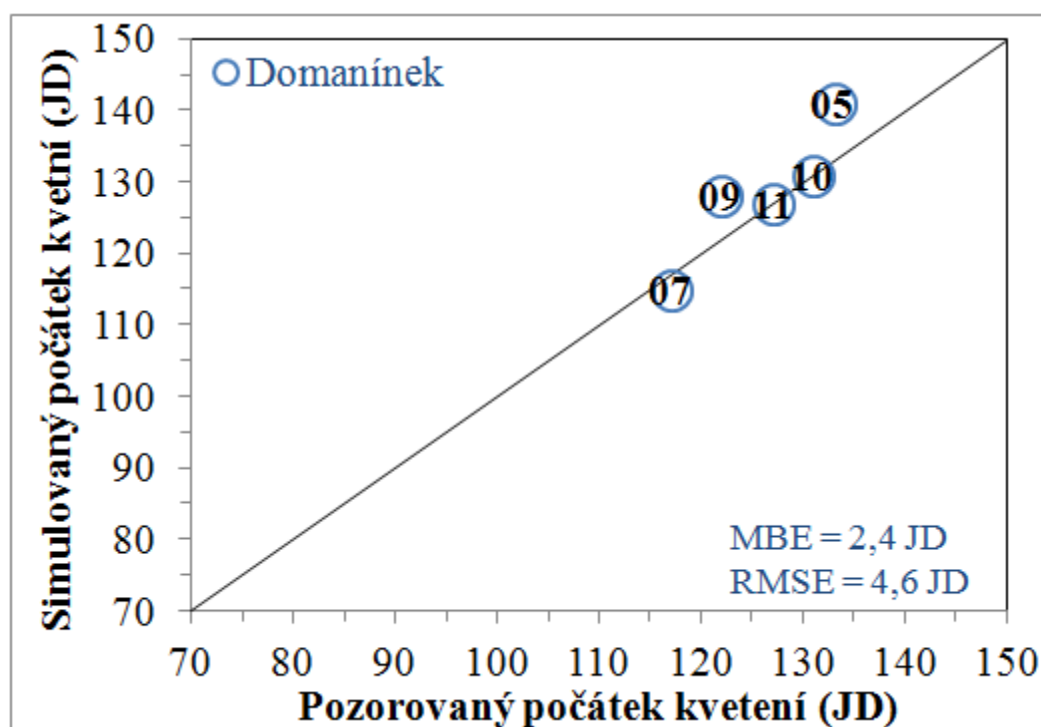
Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, jde o proces, při kterém se navzájem porovnávají výstupy modelu s reálně zjištěnými daty. Na základě tohoto srovnání se hodnotí, jaká je schopnost modelu reprezentovat daný systém. Validace se provádí na nezávislém vzorku dat, který nebyl použit pro předešlou kalibraci. Jinak se jedná o celkem totožné procesy (Mavi et Tupper, 2004).

Validace proběhla na základě dat z pokusu s odrůdou Labrador v Domanínku (2004 – 2011), kde byly jako validační parametry zvoleny: termín počátku kvetení (Juliánský den – JD), termín plné zralosti (JD) a výnos (kg/ha). Dále byla do validace zahrnuta data z vícevariantového pokusu z Domanínku tentokrát z vegetačního ročníku 2012/2013 a 2013/2014, kde byly validační parametry opět rozšířeny o detailnější hodnoty týkající se nárůstu biomasy (kg/ha) a LAI (m^2/m^2).

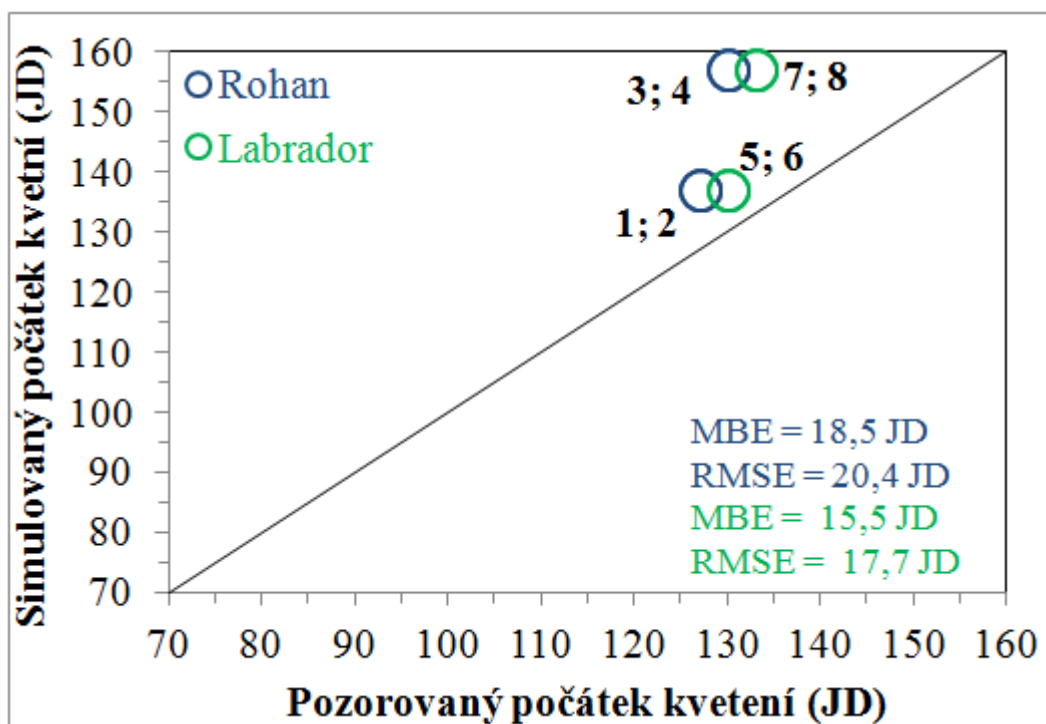
3.3.2.1 Validace počátkem kvetení

Při pohledu na graf č. 3.19 vidíme, že došlo k velmi dobré shodě mezi simulovaným a pozorovaným počátkem kvetení po většinu sledovaných ročníků. Střední chyba (MBE) nabývá hodnoty 2,4 JD. I přes drobné odchylku se jedná o nejlépejší simulaci ze všech pokusů zahrnutých do této práce.

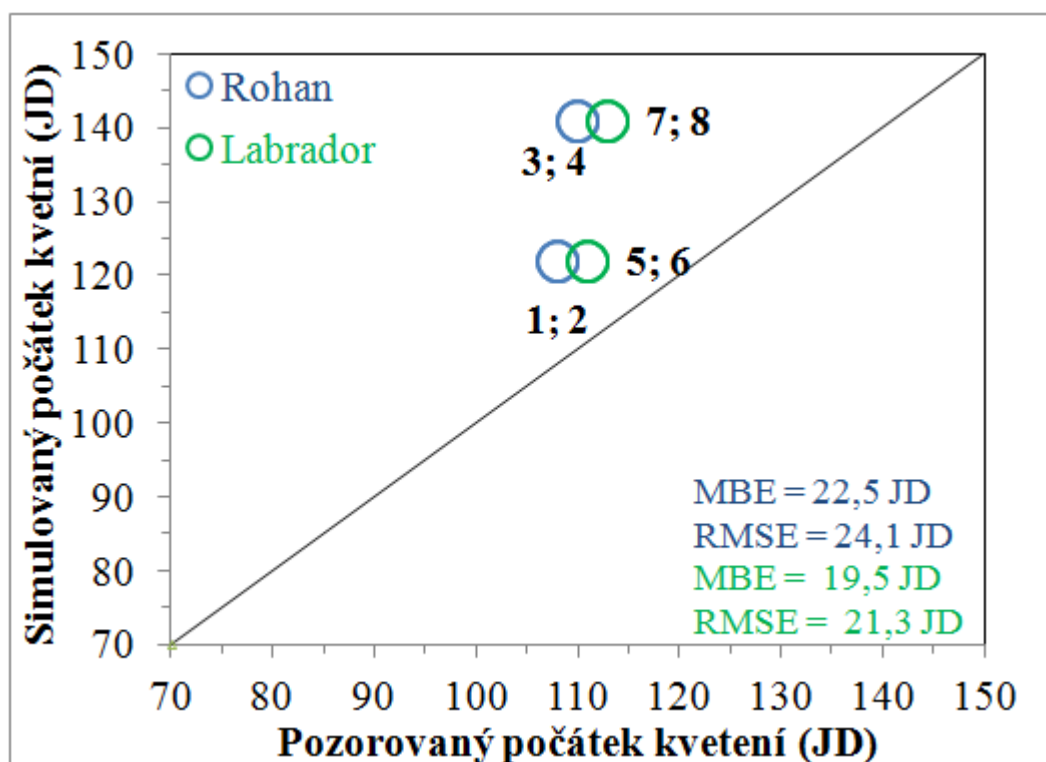
Model správně zareagoval na pozdější termín kvetení v ročníku 2004/2005, kdy řepka začala rozkvétat vlivem chladnějšího jarního období až 13. května (133 JD). Došlo ke správné reakci modelu na pozdější termín počátku kvetení, ale můžeme říci, že jeho reakce byla trochu přehnaná. Model totiž simuloval počátek kvetení ještě o 8 dní později, než tomu ve skutečnosti bylo. Naproti tomu ve vegetační sezóně 2006/2007 se projevil vliv teplé zimy a řepka kvetla na tuto lokalitu velmi brzo 27. dubna (117 JD). Model na tuto skutečnost opět zareagoval velmi dobře, přičemž termín květu posunul pouze o dva dny dříve.



Graf č. 3.19: Validace termínu počátku kvetení odrůdy Labrador pro lokalitu Domanínek (2005 – 2011)



Graf č. 3.20: Validace termínu počátku kvetení odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2012/2013)



Graf č. 3.21: Validace termínu počátku kvetení odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2013/2014)

Pokud se zaměříme na graf č. 3.20 z vícevariantového pokusu z Domanínku (sezóna 2012/2013) můžeme konstatovat, že model opět nepřiměřeně zareagoval na rozdílné termíny setí, jako tomu bylo v případě kalibrace. Rozdíly v termínu setí by během jarní části vegetace neměly mít na fenologii tak výrazný vliv jak simuluje model. Celkově dochází k opoždění modelu vůči realitě, což je ještě výraznější u pozdního termínu setí (4. září), kde odchylka v době květu dosáhla 27 dní u varianty 3 a 4. Tento ročník byl stejně jako sezóna 2004/2005 charakteristický pozdním otevřením jara a tím pádem i období květu nastalo o něco později než je obvyklé. U varianty 7 a 8 byl sledován počátek květu až 13. května (133 JD).

Podobně neuspokojivých výsledků bylo dosaženo i v sezóně 2013/2014, kdy model opět špatně zareagoval na rozdílné termíny setí (viz. graf č. 3.21). Nejvýraznější byla odchylka opět u varianty 3 a 4, kde rozdíl v počátku kvetení byl dokonce 31 dní. V tomto ročníku se naopak projevil vliv teplé zimy a brzkého otevření jara. Řepka začala kvést opravdu velmi brzo – varianta 1 a 2 již 18. dubna (108 JD).

V obou případech se jednalo o ne zcela typické ročníky. V těchto letech mívají modely obecně problémy se správnou simulací. Na základě našeho pozorování můžeme navíc říci, že rozdíl se ještě více prohlubuje v letech, kdy se přidá pozdní termín setí.

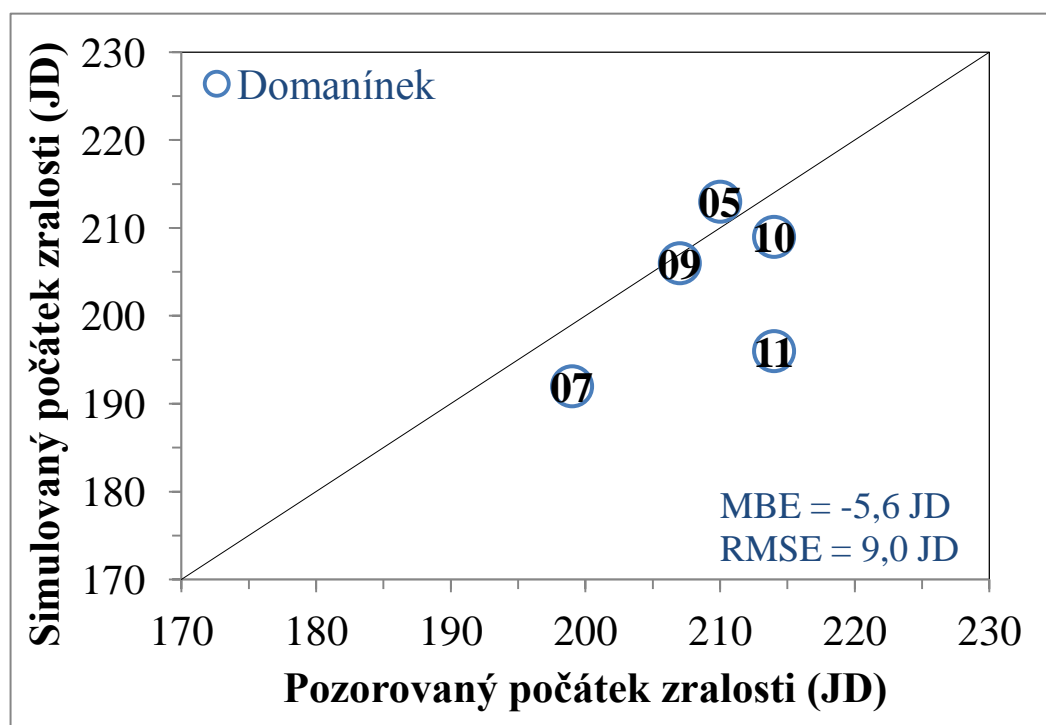
3.3.2.2 Validace počátkem zralosti

Jak je patrné z grafu č. 3.22 došlo oproti skutečnosti ke konci vegetace při simulaci růstu k urychlení vývoje, přitom v době květu bylo dosaženo velmi dobré shody. Pro další práci s modelem by bylo dobré se zaměřit na úpravu intervalu mezi počátkem kvetení (BBCH 61) a plnou zralostí (BBCH 89).

Hájková et al. (2012) uvádí, že doba mezi počátkem kvetení a žlutou zralostí (BBCH 85) trvá v průměru 69 dní pro oblasti položené více jak 500 m n. m., což odpovídá lokalitě Domanínku. Teplotní suma za toto období by měla dosáhnout hodnoty 1031 °C a délka slunečního svitu by se měla pohybovat kolem 501 h.

K úpravě intervalu nelze přistupovat pro všechna stanoviště stejně a je nutné vzít v potaz jejich nadmořskou výšku i zeměpisnou polohu. Pro naše druhé stanoviště v Lednici je délka této periody v průměru kratší o 5 dní, zatímco teplotní suma se pohybuje kolem 1061 °C a délka slunečního svitu má hodnotu 473 h. Na první pohled je tedy patrné, že teplejší podmínky tuto fázi zkracují.

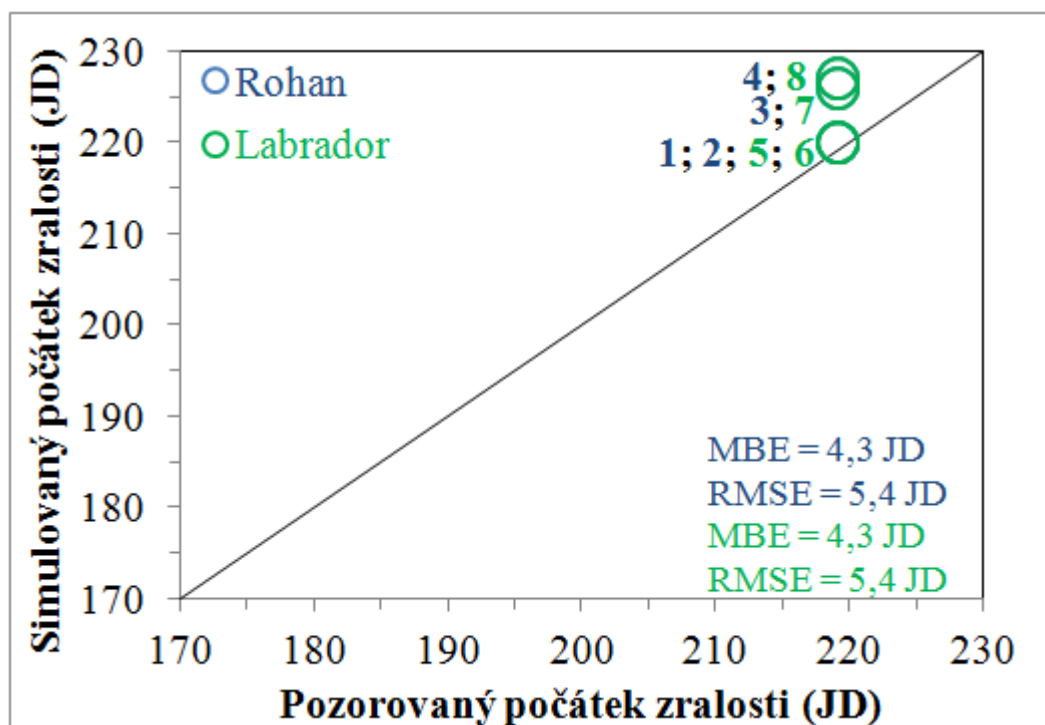
Dle Baranyk, Fábry et al. (2007) dynamika dozrávání významně ovlivňuje množství a kvalitu zásobních látek. V suchých teplých letech může dokonce docházet k nouzové zralosti vlivem nedostatku vody v době dozrávání. Taktéž Žalud et al. (2009) řadí řepku mezi k suchu citlivé plodiny. Už jen z tohoto důvodu jsou pro pěstování řepky vhodnější podmínky vláhově jistého Domanínku než aridní oblast Lednice. Další výzkum by se tedy měl zaměřit na dopad klimatických změn na produkci řepky, k čemuž může po přesnější kalibraci posloužit právě tento růstový model.



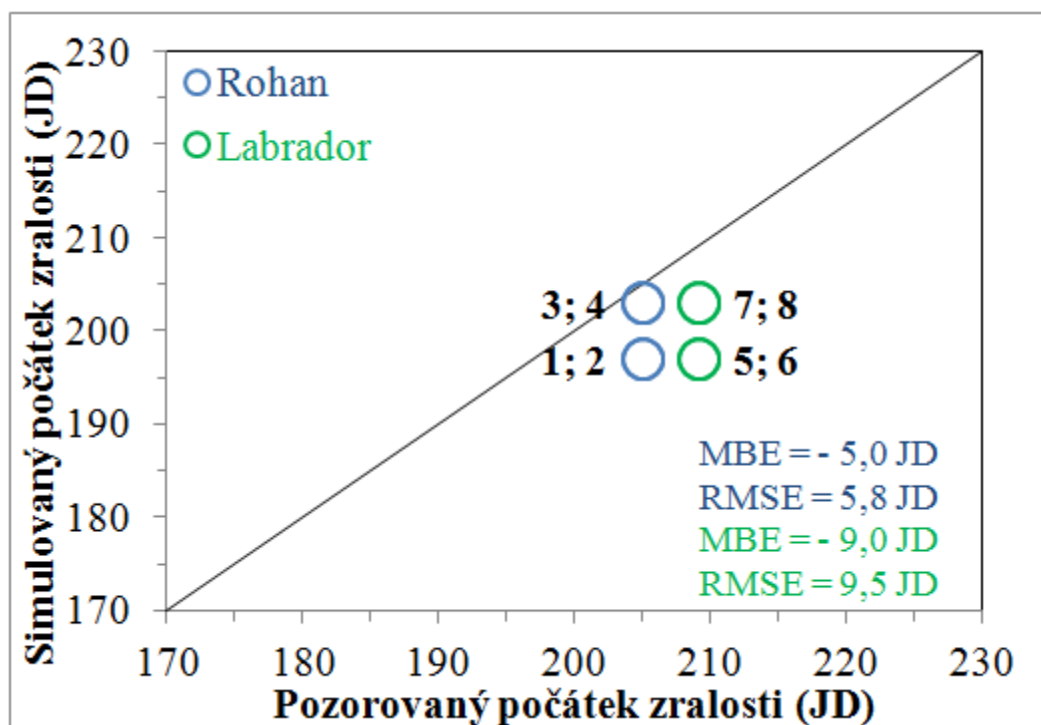
Graf č. 3.22: Validace termínu plné zralosti odrůdy Labrador pro lokalitu Domanínek (2005 – 2011)

Podobné závěry lze usoudit i z vícevariantového pokusu z Domanínku z let 2012/2013 a 2013/2014 (viz. graf č. 3.23 a graf č. 3.24). Zatímco v době květu reagoval model oproti realitě opožděně, během periody od počátku květu do plné zralosti došlo k urychlení reakce modelu a zkrácení tohoto intervalu oproti pozorovanému stavu. Tím pádem došlo ke konci vegetace ke sladění růstu simulovaného a pozorovaného, i když se tyto dva údaje v době květu výrazně rozcházejí. Tento fakt může být zapříčiněn již zmiňovanou nevhodně nastavenou délkou intervalu mezi kvetením a zralostí, ale nepřesnost můžeme hledat i v dřívější fázi vegetace. Konkrétně v nastavení hodnot rozhodujících o nástupu kvetení. Pro další práci s modelem by se tedy mělo s největší pravděpodobností zaměřit na vhodnou kombinaci obou zmiňovaných kritérií.

Navíc nás může při pohledu na grafy zaujmout, že v případě simulovaných hodnot není rozdíl mezi dříve a později setou variantou tak výrazný jako tomu bylo v době květu. K sladění vývoje těchto variant by však mělo docházet již v ranějších fázích.



Graf č. 3.23: Validace termínu plné zralosti odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2012/2013)



Graf č. 3.24: Validace termínu plné zralosti odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2013/2014)

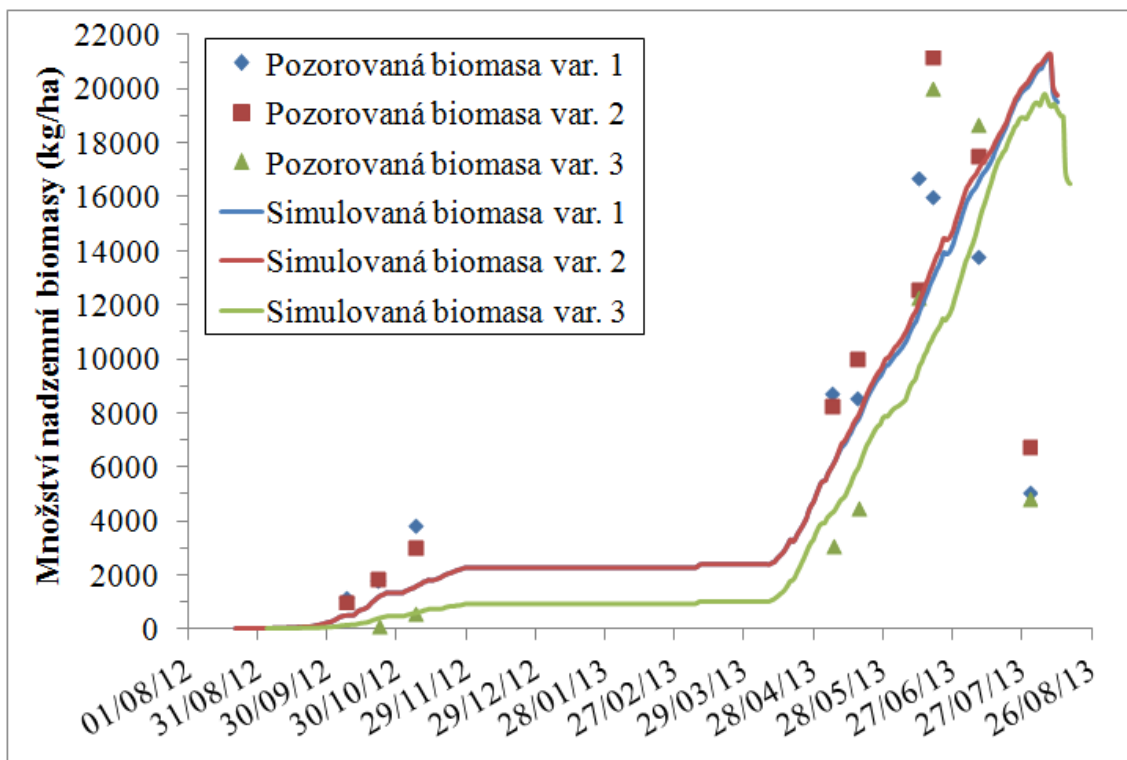
3.3.2.3 *Validace množstvím biomasy*

V ročníku 2012/2013 pozorované množství biomasy u varianty 1 mezi jednotlivými odběry značně kolísá, což může být způsobeno nesimulovatelnou růstovou depresí. Data týkající se této varianty bychom tedy měly brát s dostatečnou rezervou. Dále je nutné z grafu č. 3.25 vyloučit body zaznamenávající pozorované množství biomasy na konci vegetace, jelikož jejich hodnoty jsou na první pohled poznamenány určitou chybou v měření. Ke konci vegetace sice dochází vlivem opadu listů k mírnému poklesu množství biomasy, jak správně model zaznamenal, ale tak výrazný pokles jako je uveden v tomto případě není příliš reálný.

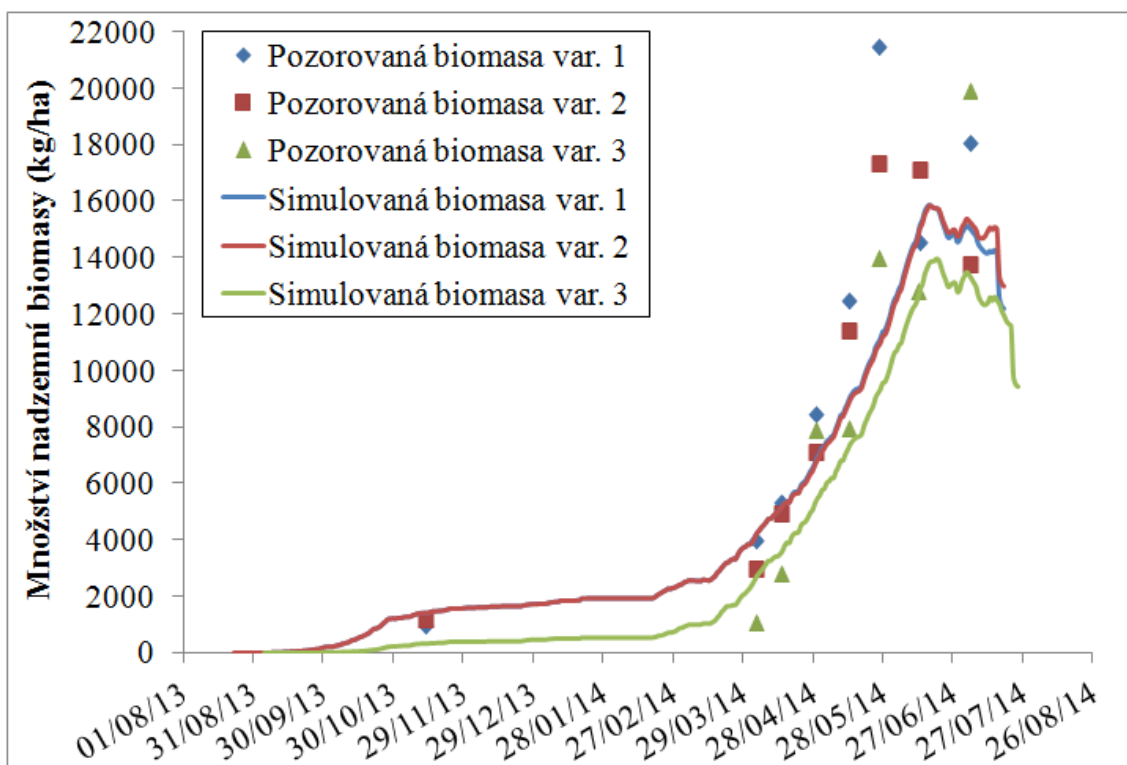
Celkově jsou odběry biomasy řepky v pozdních fázích vegetace dosti problematickou záležitostí. Když si představíme, jak jsou rostliny do sebe různě zapleteny, tak lze těžko určit skutečné množství biomasy připadající na danou plošnou jednotku. Taktéž bývá u těchto maloparcelkových pokusů obtížná i sklizeň jednotlivých parcel, kdy jsou jednotlivé parcely krajními rostlinami navzájem propojeny a je nutné jejich oddělení. Tím pádem je určitou chybou poznamenáno i přesné vyhodnocení výnosu a jeho přepočítání na hektar.

Dále můžeme konstatovat, že model stejně jako v případě kalibrace správně zareagoval na posunutý termín setí u varianty 3. V roce 2012/2013 byl opět u této varianty během podzimní a z kraje jarní vegetace zaznamenán minimální rozdíl mezi simulovanými a skutečnými hodnotami, zatímco u variant 1 a 2 model množství nadzemní biomasy spíše podhodnocuje. Celkově můžeme říci, že model nemá výrazný problém s modelací dynamiky nárůstu biomasy.

Ve vegetační sezóně 2012/2013 model dokonce vystihl u varianty 2 a 3 i pozorovanou hodnotu maximálního množství biomasy. Ovšem stejně jako v případě evaluace počátkem kvetení musíme říci, že model o několik dní zaostává za skutečným vývojem. Příčinou může být, že růstový model nestihl správně zareagovat na pozdější nástup jarní vegetace v tomto ročníku, což se projevilo jednak v posunu nárůstu biomasy, ale i ve fenologickém vývoji.



Graf č. 3.25: Validace nárůstu nadzemní biomasy odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2012/2013)



Graf č. 3.26: Validace nárůstu nadzemní biomasy odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2013/2014)

V ročníku 2013/2014 díky nadprůměrně teplé zimě běžela vegetace řepky bez výrazného přerušení po celé zimní období, což se podařilo modelem velmi pěkně vystihnout. Daný charakter počasí způsobil, že řepky odrůstaly velkým tempem a kvetení začínalo již v druhé polovině dubna (varianta 1 a 2). Délka kvetení se ale především díky doplnění vody a relativně nízkým teplotám v první polovině května protáhla zhruba na 5 týdnů, čímž došlo k mírnému zpomalení vegetace a potlačení výrazného nárůstu oproti běžným rokům. Model na tuto skutečnost reagoval z počátku velmi dobře, co se nárůstu biomasy týká. Problém v simulovaném množství nastal až ke konci vegetace, kdy modelované množství biomasy značně zaostávalo za skutečným stavem, což mohlo být způsobeno nedostatečným množstvím srážek a nadprůměrnými teplotami v tomto období.

Pro srovnání Hlavinka et. al (2013) uvádí ve studii týkající se růstového modelu Hermes a modelace růstu skupiny plodin (jarní ječmen, ozimá pšenice, oves, kukuřice, cukrová řepa a ozimá řepka), že v průměru dochází spíše k podcenění množství nadzemní biomasy uvedeným modelem v době zralosti, ale přesnost modelu se významně lišila podle plodiny, lokality a ročníku. Celkově však podhodnocení bývá ještě více umocněno v suchých letech, což je i případ ročníku 2013/2014.

3.3.2.4 *Validace LAI*

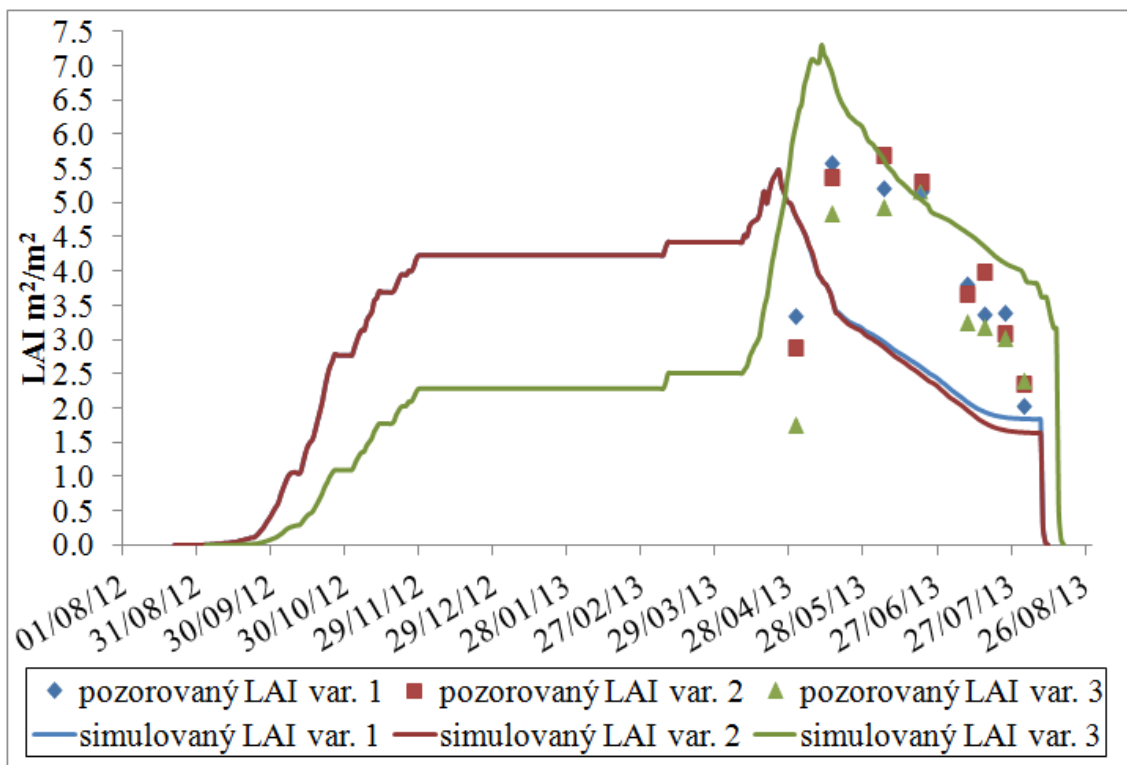
Při pohledu na graf č. 3.27 můžeme konstatovat, že model nemá výrazný problém s modelací dynamiky nárůstu biomasy hlavně v případě pozdějšího setí (varianta 3). Dochází zde sice k výraznému nadhodnocení množství, ale křivka docela koresponduje se skutečným stavem a dynamikou růstu. Nepřesnost v odhadovaném množství může být způsobena několika faktory. Nejpravděpodobnější je, že model nereaguje na stárnutí a následný opad listů, který je nejvýraznější po skončení zimního období a zahájení jarní vegetace. Danou problematikou se více zabývá Gabrielle et al. (1998), který právě upozorňuje na odumírání listové plochy během zimního období a odumírání starších listů vlivem zastínění nebo nedostatku dusíku.

Jak již bylo uvedeno dříve, dle Vašák et al. (2000) má být listová plocha největší v období počátku kvetení. Na tuto skutečnost model zareagoval zajímavým způsobem. Maximální simulované velikosti LAI bylo u varianty 1 a 2 dosaženo 22. dubna, přičemž pozorovaný počátek kvetení připadá až na 8. května a simulovaný počátek dokonce až na 17. května. Může se jednat o další důkaz toho, že model i přes celkem správné zachycení dynamiky růstu má problém s odhadem nástupu jednotlivých fenologických fází.

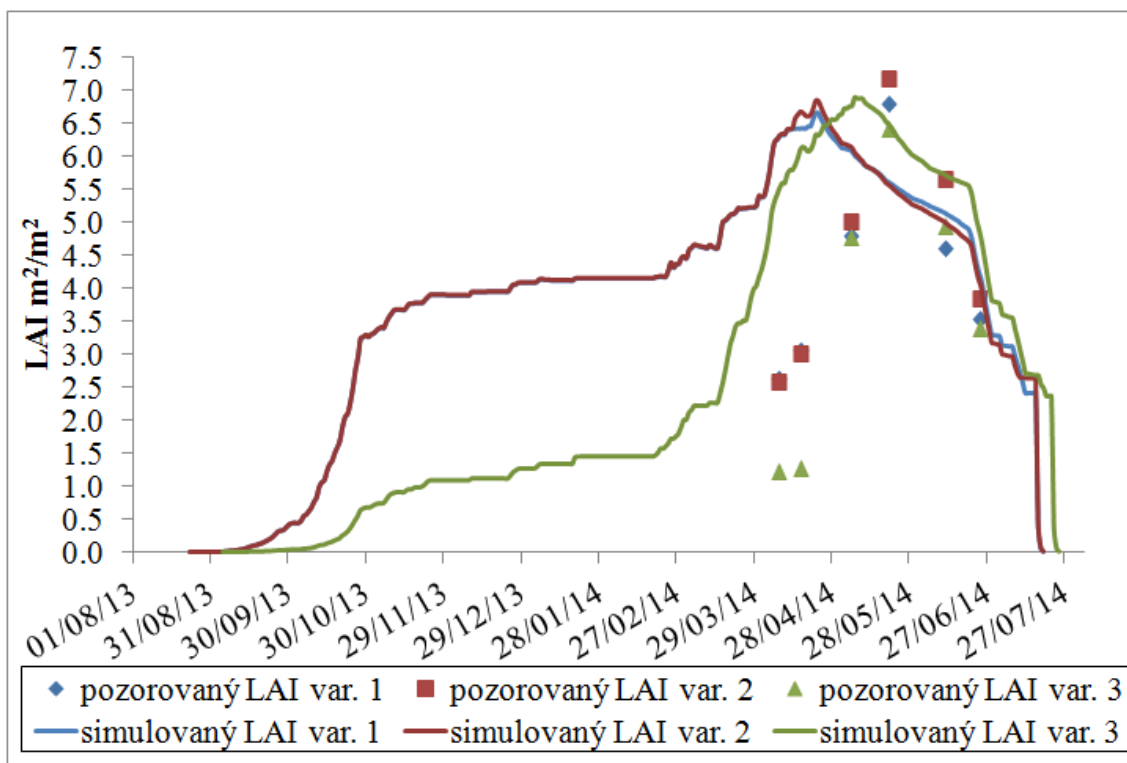
Stejně jako v případě kalibrace dochází u později seté varianty 3 k větší shodě simulovaných a pozorovaných hodnot. Ovšem simulované maximum listové pokrývnosti nabývá značně nadhodnocených hodnot oproti realitě, stejně tak v porovnání s grafem č. 2.2 je tato hodnota o několik jednotek výše.

Co se týká výsledků z vegetační sezóny 2013/2014, model správně zareagoval, jako v případě nárůstu biomasy, na teplé zimní období a při pohledu na graf. 3.28 můžeme spatřit nárůst LAI i v zimním období a reakci na brzký nástup jarní vegetace. Přičemž model opět na tyto změny reaguje rychleji, než tomu bylo ve skutečnosti. V tomto případě model i správně vystihl moment dosažení maximální velikost listové plochy v době pozorovaného počátku květu. Simulovaný počátek květu nastává opět o několik dní později, co bylo dosaženo maxima LAI.

Stejně jako v případě kalibrace nemá přihnojení dusíkem v době květu vliv na nárůst simulovaných hodnot listové pokrývnosti ve sledovaných ročnících. Problematikou modelace nárůstu listové plochy v závislosti na hnojení dusíkem se více zabývá ve své práci zmiňovaný Gabrielle et al. (1998).



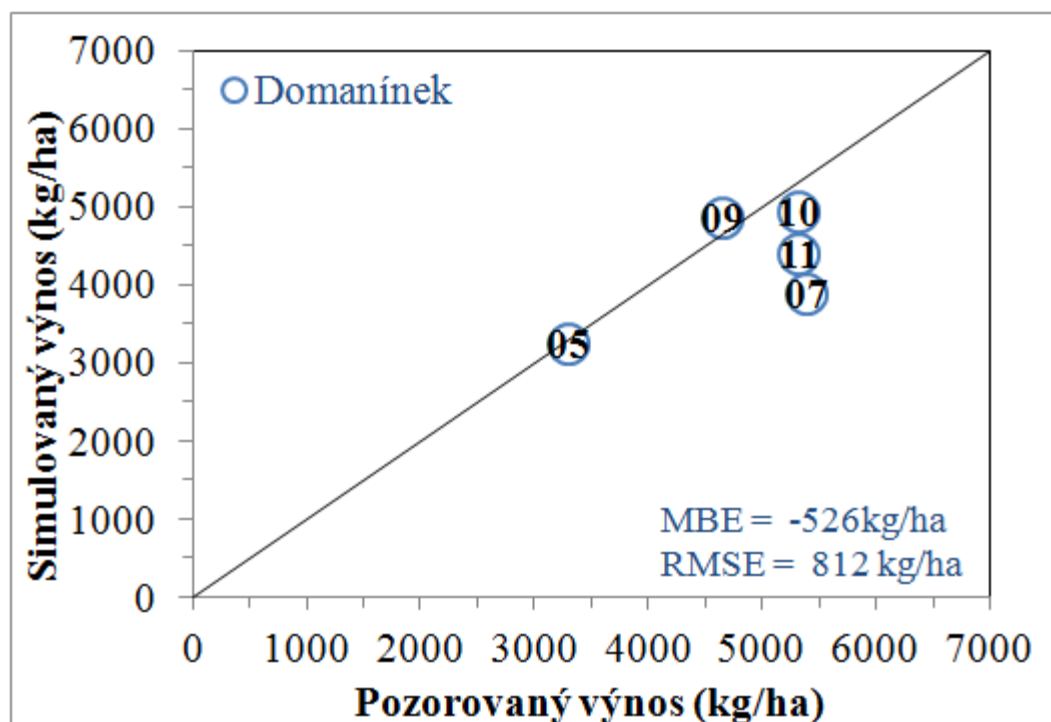
Graf č. 3.27: Validace pomocí LAI odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2012/2013)



Graf č. 3.28: Validace pomocí LAI odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2013/2014)

3.3.2.5 Validace výnosem

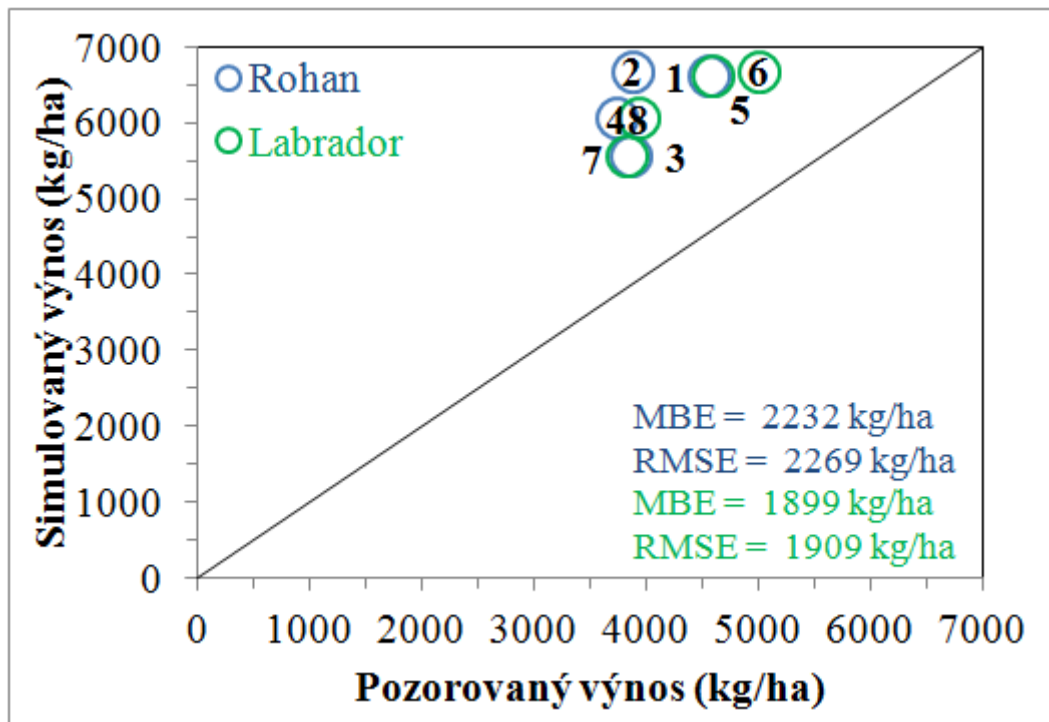
Graf č. 3.29 srovnává simulovaný výnos řepky ozimé v Domanínku (odrůda Labrador) pro periodu 2005 až 2011 s výnosem pozorovaným. V letech 2005 a 2009 došlo k velmi dobré shodě simulovaných a pozorovaných výnosů. V roce byl simulovaný výnos dokonce jen o 59 kg/ha nižší než byl pozorovaný. Zároveň je nutno podotknout, že se jednalo o výnosově slabší ročník. Naproti tomu v teplotně nadprůměrném roce 2007 došlo k podhodnocení výnosu modelem o 1,5 t/ha. Tentokrát se ovšem jednalo o výnosově silný ročník. Celkově lze konstatovat, že ve většině let došlo modelem k podhodnocení výnosu a střední chyba (MBE) nabývá záporné hodnoty – 526 kg/ha.



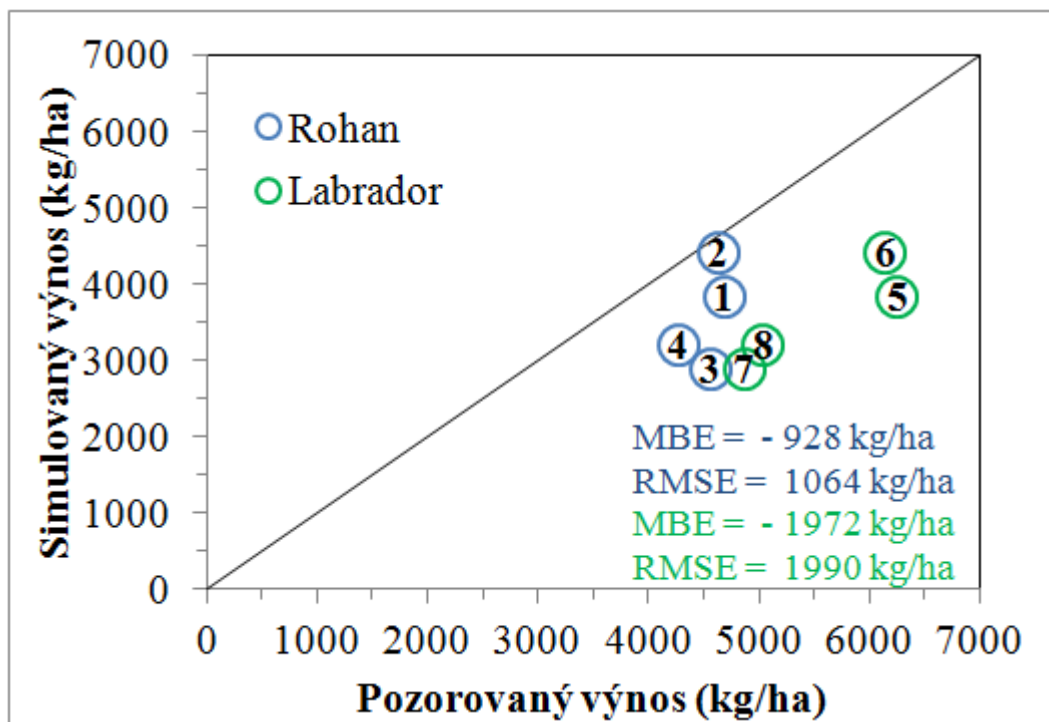
Graf č. 3.29: Validace výnosu odrůdy Labrador pro lokalitu Domanínek (2005 – 2011)

Dále byl pro evaluaci výnosu řepky ozimé použit vícevariantový experiment v Domanínku ve vegetační sezóně 2012/2013 a 2013/2014 (graf č. 3.30 a č. 3.31). Na úvod je nutno připomenout, že se jednalo o jedny z nejvýnosnějších roků v historii pěstování řepky v ČR. Model na tuto skutečnost však zareagoval v jednotlivých ročnících zcela odlišně. Zatímco ve vegetační sezóně 2012/2013 došlo k nadhodnocení výnosu modelem (MBE = 2232 kg/ha pro odrůdu Rohan a MBE = 1899 kg/ha pro odrůdu Labrador), v sezóně 2013/2014 model naopak výnos podhodnotil (MBE = – 928 kg/ha Rohan a MBE = – 1972 kg/ha Labrador).

Model úspěšně reaguje drobným navýšením výnosu na přihnojení dusíkem na začátku květu u variant 2, 4, 6 a 8. K reakci modelu na rozdílnost odrůd opět nedochází a model nedělá rozdíl mezi odrůdami ani po výnosové stránce.



Graf č. 3.30: Validace výnosu odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2012/2013)



Graf č. 3.31: Validace výnosu odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2013/2014)

4 ZÁVĚR

Tato práce pojednává o modelování růstu a vývoje řepky ozimé prostřednictvím softwaru DSSAT. Pro parametrizaci a následnou validaci posloužily následující ukazatele: termín počátku kvetení, termín dosažení plné zralosti, velikost výnosu, dynamika růstu biomasy a listové pokryvnosti (LAI). Na základě víceletých pokusů byla vytvořena rozsáhlá databáze pro testování modelu DSSAT. Výsledky daného testování růstového model lze shrnout do těchto bodů:

- Model správně zareagoval na rozdílné klimatické podmínky stanoviště a je zde vidět charakteristický vegetační posun mezi jednotlivými lokalitami a pozdější nástup fenofází v chladnější a výše položené oblasti Domanínku, kde model vykazuje i větší přesnost simulovaných hodnot.
- Obecně model nemá problém vystihnout pro řepku charakteristickou dynamiku růstu. V některých letech však dochází k posunu termínu nárůstu biomasy a LAI, případně se vyskytly určité odchylky mezi pozorovaným a simulovaným množstvím biomasy i velikostí listové plochy. Hlavním nedostatkem ovšem je, že model nereaguje na odumírání listové plochy v zimním období.
- Ve skutečnosti by rozdíly v termínu setí neměly mít na jarní fenologický vývoj řepky tak výrazný vliv, jak tomu dochází v případě dané růstové simulace.
- Oproti skutečnosti dochází k urychlení simulovaného vývoje během periody od počátku květu (BBCH 61) do plné zralosti (BBCH 89) a zkrácení tohoto intervalu oproti pozorovanému stavu. Tento fakt může být zapříčiněn nevhodně nastavenou délkou intervalu mezi kvetením a zralostí, ale nepřesnost můžeme hledat i v dřívější fázi vegetace.

Celosvětově převládá pěstování spíše jarních odrůd řepky, jedná se tedy o jeden z mála pokusů zabývajících se modelací růstu ozimé varianty řepky pomocí programu DSSAT a vůbec o první pokus v podmínkách střední Evropy. Jelikož tento program byl původně navržen právě pro řepku jarní, může se jednat o jednu z hlavních příčin odchylek v simulaci růstu. I když se tyto odchylky podařilo celkem dobře eliminovat, vede k širšímu využití tohoto modelu pro modelaci růstu ozimé řepky ještě dlouhá cesta.

Autoři systému DSSAT budou seznámeni s dosavadními výsledky a předkládaná diplomová práce poslouží jako podklad k dalšímu zpřesňování modelace růstu řepky ozimé. To bude možné i na základě doplnění databází polních pokusů z aktuální a budoucích vegetačních sezón. Jelikož se jedná o složitou problematiku, je nutná dlouhodobější odborná práce, která je však nad rámec časových podmínek pro tvorbu diplomové práce.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

5.1 Literární zdroje

Alpmann L. et al. (2009): *Řepka – plodina s budoucností*. BASF, Praha, 180 s.

Aggarwal P. K., Kalra N., Singh A. K. et Sinha S. K. (1994): *Analyzing the limitations set by climatic factors, genotype, water and nitrogen availability on productivity of wheat. I. The model description, parameterization and validation*. Field Crops Research, svazek 38, číslo 2: s. 73 – 91.

Baranyk P. et al. (2010): *Olejniny*. Profi Press, Praha, 205 s.

Baranyk P., Fábry A. et al. (2007): *Řepka – pěstování – využití – ekonomika*. Profi Press, Praha, 208 s.

Bečka D. et al. (2007): *Řepka ozimá – Pěstitelský rádce*. ČZU v Praze, Praha, 56 s.

Diepenbrock W., Grosse F. (1995): *Rapeseed (Brassica napus L.) – Physiology*, s. 21 – 53. In: Diepenbrock W., Becker H. C. (1995): *Physiological potentials for yield improvement of annual oil and protein crops*. Advances in Plant Breeding 17. Supplements to the Journal Plant Breeding, Blackwell, Berlin – Vienna, 291 s.

Fábry A. et al. (1975): *Řepka, hořčice, mák a slunečnice*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 358 s.

Fábry, A. et al. (1992): *Olejniny*. MZe, Praha, 419 s.

Gabrielle B., Denoroy P., Gosse G., Justes E. et Andersen M. N. (1998): *A model of leaf area development and senescence for winter oilseed rape*. Field Crops Research, svazek 57, číslo 2: s. 209–222.

Graf T., Degner J. (1994): *Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Winterraps*. Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUF) Thüringen, Jena, 24 s.

Hájková L. (2012): *Atlas fenologických poměrů Česka: Atlas of the phenological conditions in Czechia*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 311 s.

Hlavinka P., Trnka M., Eitzinger J., Smutný V., Thaler S., Žalud Z., Rischbeck P. et Křen J. (2010): *The performance of CERES-Barley and CERES-Wheat under various soil conditions and tillage practices in Central Europe*. Die Bodenkultur, svazek 61, číslo 1: s. 5 – 17.

Hlavinka P., Trnka M., Balek J., Semerádová D., Hayes M., Svoboda M., Eitzinger J., Možný M., Fischer M., Hunt E. et Žalud Z. (2011): *Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates*. Agricultural Water Management, svazek 98, číslo 8: s. 1249 – 1261.

Hlavinka P., Trnka M., Kersebaum K. C., Čermák P., Pohanková E., Orság M., Pokorný E., Fischer M., Brtnický M. et Žalud Z. (2013): *Modelling of yields and soil nitrogen dynamics for crop rotations by HERMES under different climate and soil conditions in the Czech Republic*. The Journal of Agricultural Science, svazek 152, č. 2: s. 188 – 204.

Hocking P. J., Mason L. (1993): *Accumulation, distribution and redistribution of dry matter and mineral nutrients in fruit of canola (oilseed rape), and the effects of nitrogen fertilizer and windrowing*. Australian Journal of Agricultural Research, svazek 44, číslo 6: s. 1377 – 1388.

Hoogenboom G., Jones J. W., Wilkens P. W., Barchelor W. D., Bowen W. T., Hunt L. A., Pickering N. B., Singh U., Godwin D. C., Bear B., Boote K. J., Ritchie J. T. at White J. W. (1994): *Crop models, DSSAT Version 3.0. International Benchmark sites Network for Agrotechnology Transfer*. University of Hawaii, Honolulu, 692 s.

Jones J. W., Hoogenboom G., Porter C.H., Boote K. J., Batchelor W. D., Hunt L. A., Wilkens P. W., Singh U., Gijssman A. J. et Ritchie J. T. (2003): *The DSSAT cropping system model*. European Journal of Agronomy, svazek 18, číslo 3 – 4: s. 235 – 265.

Kalus J., Suchánek A. (1955): *Ozimá řepka*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 112 s.

Kostelanský F. et al. (1997): *Obecná produkce rostlinná*. MZLU v Brně, Brno, 215 s.

Mavi H. S., Tupper G. J.(2004): *Agrometeorology : principles and applications of climate studies in agriculture*. Food Products Press, New York, 364 s.

- Ministerstvo zemědělství (2013): *Řepka olejka*, s. 22 – 26. In: Situační a výhledová zpráva olejnin, Prosinec 2013, MZe, Praha, 55 s.
- Saseendran S. A., Nielsen D. C., Ma L. et Ahuja L. R. (2010): *Adapting CRQPGRO for Simulating Spring Canola Growth with Both RZWQM2 and DSSAT 4.0*. *Agronomy Journal*, svazek 102, číslo 6: s. 1606 – 1621.
- Trnka M., Kocmánková E., Balek J., Eitzinger J., Ruget F., Formayer H., Hlavinka P., Schaumberger A., Horáková V., Možný M. et Žalud Z. (2010): *Simple snow cover model for agrometeorological applications*. *Agricultural and Forest Meteorology*, svazek 150, číslo 7 – 8: s. 1115 – 1127.
- Turčány J. et al. (1955): *Olejniny*. Štátne pôdohospodárske nakladateľstvo, Bratislava, 214s.
- Vašák J. et al. (1997): *Systém výroby řepky - česká a slovenská pěstitelská technologie ozimé řepky pro roky 1997 – 1999*. SPZO, Praha, 116 s.
- Vašák J. et al. (2000): *Řepka*. AGROSPÓJ, Praha, 321 s.
- Zeman J., Volf M. (2012): *Výsledky pěstování řepky v České republice v roce 2011/12*, s. 3 – 21. In: 29. vyhodnocovací seminář, Hluk, 21. – 22. 11. 2012. Sborník Hluk 2012. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin, Praha, 275 s.
- Zeman J., Volf M. (2013): *Výsledky pěstování řepky v České republice v roce 2012/13*, s. 3 – 22. In: 30. vyhodnocovací seminář, Hluk, 20. – 21. 11. 2013. Sborník Hluk 2013. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin, Praha, 288 s.
- Zeman J., Volf M. (2014): *Výsledky pěstování řepky v České republice v roce 2013/14*, s. 3 – 25. In: 31. vyhodnocovací seminář, Hluk, 19. – 20. 11. 2012. Sborník Hluk 2014. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin, Praha, 264 s.
- Žalud Z. (2001): *Možnosti využití růstových modelů*. Habilitační práce (dep. knihovna MENDELU v Brně), MZLU v Brně, Brno, 151 s.
- Žalud Z. et al. (2009): *Změna klimatu a české zemědělství - dopady a adaptace*. MZLU v Brně, Brno, 154 s.

5.2 Internetové zdroje

Český statistický úřad (2015): *Zemědělství – časové řady*. Databáze online [cit. 25-04-2015]. Dostupné na: https://www.czso.cz/csu/czso/zemedelstvi_zem

Richter R. (2005): *Řepka ozimá*. In: Ryant P., Richter R., Hřivna L. et Poulík Z.: *Multimediální učební texty z výživy a hnojení polních plodin*, Databáze online [cit. 25-04-2015]. Dostupné na: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/html/olejniny/repka_ozima.htm

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (2015): *Seznam doporučených odrůd*. Databáze online [cit. 25-04-2015]. Dostupné na: <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/odrudy/seznam-doporucenych-odrud/>

6 SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 2.1: Plochy sklizně, výnosy a produkce semen řepky v letech 2000 až 2014 (ČSÚ, 2015).....	12
Tabulka č. 2.2: Potenciální výnosová schopnost řepky ozimé (Baranyk et al., 2010).....	17
Tabulka č. 2.3: Průměrná potřeba živin na výnos 1 t semene řepky (Balík et al., 2007).....	24
Tabulka č. 3.1: Základní schéma pokusů.....	33
Tabulka č. 3.2: Zrnitostní složení půdy dle jednotlivých vrstev – Domanínek.....	34
Tabulka č. 3.3: Základní chemické a fyzikální vlastnosti půdy – Domanínek.....	34
Tabulka č. 3.4: Dlouhodobý normál (1961 – 1990) – Domanínek	35
Tabulka č. 3.5: Schematické rozdělení jednotlivých variant v daných letech – Domanínek.....	37
Tabulka č. 3.6: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2011/2012.....	39
Tabulka č. 3.7: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2012/2013.....	40
Tabulka č. 3.8: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2012/2013.....	41
Tabulka č. 3.9: Schematické rozdělení variant v daných letech – LABRADOR.....	42
Tabulka č. 3.10: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2004/2005.....	44
Tabulka č. 3.11: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2006/2007.....	44
Tabulka č. 3.12: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2008/2009.....	45
Tabulka č. 3.13: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2009/2010.....	46
Tabulka č. 3.14: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2010/2011.....	46
Tabulka č. 3.15: Schematické rozdělení variant – ÚKZÚZ Artus – Domanínek.....	47

Tabulka č. 3.16: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 1998/1999.....	48
Tabulka č. 3.17: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 1999/2000.....	49
Tabulka č. 3.18: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2000/2001.....	49
Tabulka č. 3.19: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2001/2002.....	50
Tabulka č. 3.20: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2003/2004.....	50
Tabulka č. 3.21: Zrnitostní složení půdy dle jednotlivých vrstev – Lednice.....	51
Tabulka č. 3.22: Základní chemické a fyzikální vlastnosti půdy – Lednice.....	51
Tabulka č. 3.23: Dlouhodobý normál (1961 – 1990) – Lednice.....	52
Tabulka č. 3.24: Schematické rozdělení variant – ÚKZÚZ Artus – Lednic.....	53
Tabulka č. 3.25: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 1998/1999.....	55
Tabulka č. 3.26: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 1999/2000.....	55
Tabulka č. 3.27: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2000/2001.....	56
Tabulka č. 3.28: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2001/2002.....	56
Tabulka č. 3.29: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2004/2005.....	57
Tabulka č. 3.30: Průměrné měsíční teploty a úhrny srážek v sezóně 2005/2006.....	57

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 2.1: Přehled produkčních faktorů a odpovídajících produkčních úrovní (Kostelanský et al., 1997).....	27
Obrázek č. 2.2: Schematické rozdělení funkcí programu DSSAT (Jones et al., 2003).....	29
Obrázek č. 3.1: Schematické rozdělení pokusných parcel – Domanínek.....	36

8 SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 2.1: Vývoj množství sušiny během vegetace (Vašák et al., 2000).....	18
Graf č. 2.2: Vývoj pokrývnosti listoví (LAI) a šesulí (PAI) během vegetace (Vašák et al., 2000).....	18
Graf č. 2.3: Dynamika odběru hlavních živin u ozimé řepky (Richter, 2005).....	24
Graf č. 3.1: Přehled vybraných klimatických charakteristik za normálové období (1961 – 1990) – Domanínek.....	35
Graf č. 3.2: Průměrné měsíční teploty v letech 2011 – 2014 (Domanínek).....	38
Graf č. 3.3: Měsíční úhrny srážek v letech 2011 – 2014 (Domanínek).....	38
Graf č. 3.4: Průměrné měsíční teploty v letech 2004 – 2011 (Domanínek).....	43
Graf č. 3.5: Měsíční úhrny srážek v letech 2004 – 2011 (Domanínek).....	43
Graf č. 3.6: Průměrné měsíční teploty v letech 1998 – 2007 (Domanínek).....	47
Graf č. 3.7: Měsíční úhrny srážek v letech 1998 – 2007 (Domanínek).....	48
Graf č. 3.8: Přehled vybraných klimatických charakteristik za normálové období (1961 – 1990) – Lednice.....	52
Graf č. 3.9: Průměrné měsíční teploty v letech 1998 – 2006 (Lednice).....	54
Graf č. 3.10: Měsíční úhrny srážek v letech 1998 – 2006 (Lednice).....	54
Graf č. 3.11: Kalibrace termínu počátku kvetení odrůdy Artus pro lokality Lednice (1999 – 2006) a Domanínek (1999 – 2007).....	61
Graf č. 3.12: Kalibrace termínu počátku kvetení odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2011/2012).....	62
Graf č. 3.13: Kalibrace termínu plné zralosti odrůdy Artus pro lokality Lednice (1999 – 2006) a Domanínek (1999 – 2007).....	63
Graf č. 3.14: Kalibrace termínu plné zralosti odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2011/2012).....	63
Graf č. 3.15: Kalibrace nárůstu nadzemní biomasy odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2011/2012).....	64

Graf č. 3.16: Kalibrace pomocí LAI odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2011/2012).....	65
Graf č. 3.17: Kalibrace výnosu odrůdy Artus pro lokality Lednice (1999 – 2006) a Domanínek (1999 – 2007).....	66
Graf č. 3.18: Kalibrace výnosu odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2011/2012).....	67
Graf č. 3.19: Validace termínu počátku kvetení odrůdy Labrador pro lokalitu Domanínek (2005 – 2011).....	68
Graf č. 3.20: Validace termínu počátku kvetení odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2012/2013).....	69
Graf č. 3.21: Validace termínu počátku kvetení odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2013/2014).....	69
Graf č. 3.22: Validace termínu plné zralosti odrůdy Labrador pro lokalitu Domanínek (2005 – 2011).....	71
Graf č. 3.23: Validace termínu plné zralosti odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2012/2013).....	72
Graf č. 3.24: Validace termínu plné zralosti odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2013/2014).....	72
Graf č. 3.25: Validace nárůstu nadzemní biomasy odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2012/2013).....	74
Graf č. 3.26: Validace nárůstu nadzemní biomasy odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2013/2014).....	74
Graf č. 3.27: Validace pomocí LAI odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2012/2013).....	77
Graf č. 3.28: Validace pomocí LAI odrůdy Rohan (varianta 1 – 3) pro lokalitu Domanínek (2013/2014).....	77
Graf č. 3.29: Validace výnosu odrůdy Labrador pro lokalitu Domanínek (2005 – 2011).....	78

Graf č. 3.30: Validace výnosu odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2012/2013).....	79
Graf č. 3.31: Validace výnosu odrůdy Rohan a Labrador vícevariantovým experimentem pro lokalitu Domanínek (2013/2014).....	79