

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Predikce výnosu sóji v souvislosti se změnou klimatu

Diplomová práce

Bc. Vojtěch Krýza

Rostlinná produkce

doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Predikce výnosu sóji v souvislosti se změnou klimatu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí své diplomové práce doc. Dr. Mgr. Vere Potopové za ochotný přístup a dobré vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat MD. Rafique Ahasan Chawdhery za pomoc s modelováním v programu DSSAT a Štěpánu Pavelkovi z Argo Verdek a.s. za poskytnutí dat ze své praxe.

Predikce výnosu sóji v souvislosti se změnou klimatu

Souhrn

Cílem této diplomové práce bylo vytvoření predikce vhodnosti pěstování sóji luštinaté (*Glycine max* L.) na území České republiky a její potenciál pro zařazení do stálého osevního postupu. Proběhlo vyhledání a zpracování dat z Českého statistického úřadu a Českého hydrometeorologického ústavu. Zpracování a následná analýza a vyhodnocování dat bylo provedeno v Microsoft Excel. Zvlášť byly zpracovány lineární regresní modely pro Českou republiku a pro jednotlivé kraje, kde se sója pěstuje na alespoň 500 hektarech. U jednotlivých krajů byla regresí odhalena odchylka od lineárního trendu výnosu v jednotlivých letech. Zkoumána byla i odchylka výnosu od lineárního trendu v posledních 20 letech pro jednotlivé kraje. Sledovány byly kraje: Středočeský, Jihočeský, Královéhradecký, Pardubický, Jihomoravský, Olomoucký, Zlínský a Moravskoslezský. Ke každému kraji byla vytvořena predikce výnosu na základě interpolace bodových dat. Další predikce potenciálního výnosu do roku 2030 byla nasimulována v komplexním růstovém plodinovém modelu – DSSAT CROPGRO-Soybean. Vstupními daty byl soubor půdní modul (fyzikální a chemické vlastnosti půdy), modul počasí (denní úhrn srážek, globální sluneční záření, maximální a minimální teploty) a soubor managementu plodin (základní údaje o průběhu vedení porostu). Regresní lineární model pro Českou republiku naznačil, že výsledný výnos je nejvíce ovlivňován srážkami v září ($r=-0,22$) a teplotou v červnu ($r=0,37$). V jednotlivých krajích byl prokázán statisticky významný pozitivní vztah mezi červencovými srážkami a výnosem hned u 3 krajů, například Jihočeský ($r=0,53$). U průměrných měsíčních teplot byl nejvýraznější vztah s výnosem v září u Jihomoravského kraje ($r=0,41$).

Pro kraje byl následně predikován výnos pomocí interpolace bodových dat. Výslednou hodnotou byl zprůměrovaný výnos predikovaný mezi roky 2022-2030. U Jihomoravského byla dosažena nejvyšší predikovaná hodnota výnosu – 2,61 t/ha. Druhá predikce byla vytvořena na základě komplexního růstového modelu v systému Půda-Plodina-Atmosféra. Výstupem byla hodnota maximálního potenciálu výnosu sóji v roce 2030, kde model predikuje až 4,9 t/ha. Model vypočítal i nárůst hodnoty olejnatosti. Odhadovaná olejnatost by mohla být 18,74 %. Poslední hodnotou, kterou model vypočítal, je LAImax. Dnešní hodnotu, 6,01 m²/m², převyšuje simulovaná hodnota o více než 50 % na 9,43 m²/m², což dokazuje predikci výrazného nárůstu tvorby biomasy.

Diplomová práce je zaměřena na problematiku řešení výzkumného projektu TAČR: Prostředí pro život „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“ (SS02030027). V projektu je řešena souvislosti vazeb půda-rostlina-atmosféra pro vláhové potřeby zemědělských plodin s nejvyššími nároky na vodu.

Klíčová slova: výnos, klimatický model, růstový model, extrémní meteorologické jevy

Predicting soybean yield in the context of climate change

Summary

The aim of this thesis was to predict the suitability of cultivation of soybean (*Glycine max L.*) in the Czech Republic and its potential for inclusion in permanent crop rotation. Data from the Czech Statistical Office and the Czech Hydrometeorological Institute were searched and processed. The processing and subsequent data analysis and evaluation was carried out in Microsoft Excel. In particular, linear regression models were run for the Czech Republic and for individual regions where soybean is grown on at least 500 hectares. For each region, the regression revealed the deviation from the linear yield trend in each year. The deviation of the yield from the linear trend over the last 20 years for each region was also examined. The regions monitored were Central Bohemia, South Bohemia, Hradec Králové, Pardubice, South Moravia, Olomouc, Zlín and Moravia-Silesia. For each region, a yield prediction was made based on interpolation of the point data. Further prediction of potential yield until 2030 was simulated in a comprehensive crop growth model – DSSAT CROPGRO-Soybean. Input data were a soil module file (soil physical and chemical properties), a weather module (daily rainfall, global solar radiation, maximum and minimum temperatures) and a crop management file (basic data on crop management practices). The regression linear model for the Czech Republic indicated that the resulting yield is most influenced by rainfall in September ($r=-0.22$) and temperature in June ($r=0.37$). In individual regions, a statistically significant positive relationship between July rainfall and yield was found in 3 regions, for example South Bohemia ($r=0.53$). For average monthly temperatures, the most significant relationship with yield in September was in the South Moravian region ($r=0.41$).

Yield was then predicted for the regions by interpolating the point data. The resulting value was the averaged yield predicted between 2022-2030. The highest predicted yield value of 2.61 t/ha was obtained for South Moravia. The second prediction was made on the basis of a comprehensive growth model in the Soil-Crop-Atmosphere system. The output was the value of the maximum yield potential of soybean in 2030, where the model predicts up to 4.9 t/ha. The model also calculated the increase in oil content value. The estimated oil content could be 18.74 %. The last value calculated by the model is LAI_{max}. Today's value, 6.01 m²/m², exceeds the simulated value by more than 50 % to 9.43 m²/m², demonstrating the prediction of a significant increase in biomass production.

The thesis focuses on the issues of the research project "Water systems and water management in the Czech Republic under climate change" (SS02030027). The project deals with soil-plant-atmosphere linkages for moisture needs of agricultural crops with the highest water requirements.

Keywords: yield, climate model, growth model, extreme weather events

1 Obsah

2	Úvod.....	7
3	Vědecká hypotéza a cíle práce.....	8
4	Literární rešerše.....	9
4.1	Sója luštinatá (<i>Glycine max L.</i>).....	9
4.2	Význam sóji.....	10
4.2.1	Agrotechnika sóji.....	11
4.2.2	Výnosotvorné prvky sóji.....	15
4.2.3	Technologická karta plodiny.....	16
4.2.4	Šlechtění a semenářství sóji.....	19
4.3	Biotické a abiotické faktory ovlivňující pěstování sóji.....	25
4.3.1	Abiotické.....	25
4.3.2	Biotické.....	27
4.4	Sója v datech.....	29
4.5	Sója a klima.....	32
4.5.1	Sója v evropském klimatu.....	34
4.5.2	Vývoj agroklimatických podmínek v ČR.....	34
4.6	Růstové modely.....	36
5	Metodika.....	38
5.1	Regresní modely.....	38
5.2	Predikce výnosu a odchylky výnosu od trendu.....	39
5.3	DSSAT – SOYGRO V4.2.....	40
6	Výsledky.....	45
6.1	Regresní model pro ČR.....	45
6.2	Odchylky výnosu od dlouhodobého trendu.....	52
6.3	Prognóza výnosu sóji v jednotlivých krajích.....	57
6.4	Regresní modely pro sledované kraje.....	58
6.5	Výsledky DSSAT modelu.....	64
7	Diskuse.....	66
8	Závěr.....	68
9	Literatura.....	70

2 Úvod

Sója luštinatá (*Glycine max* L.) je důležitá kulturní plodina, která je díky svým biologickým vlastnostem pěstována v širokém spektru půdně klimatických podmínek. Sója se řadí mezi 4 nejvíce pěstované plodiny na světě. Lídři v produkci sóji jsou Brazílie a Spojené státy americké, následovány Argentinou a Čínou. Tyto státy jsou lídři i v pěstební ploše s tím, že před Čínou se řadí Indie. Čína díky větším výnosům dosahuje větší produkce než právě zmíněná Indie (Šariková & Hnát 2011).

Hlavním produktem sóji jsou sójové boby, které se používají především jako krmivo pro živočišnou produkci. Takto zpracováno je asi 75 % sójových bobů, zbytek je použit pro lidskou výživu nebo průmysl (Ritchie & Roser 2021).

V České republice nabývá v posledních letech sója na popularitě mezi zemědělci. Její pěstební plochy se konstantně zvyšují a lze předpokládat, že vzhledem k ekologickým tlakům bude díky její nenáročnosti na chemickou ochranu a výživu, doprovázenou o dobrý vliv na půdu, její plochy dále růst. Sója luštinatá, díky svému teplomilnému charakteru, má předpoklad k nižším výnosům v podnebí České republiky. Teplota a vláha jsou hlavními limitními faktory pro její správný růst. Nicméně, vývoj podnebí v posledních letech ukazuje na to, že se bude sóje dařit více a bude mít velký potenciál stát se tradiční rostlinou pěstovanou v České republice.

V závislosti na vývoji klimatu je možné, že pro kvalitní produkci sójových bobů bude potřeba využití zavlažovacích systémů.

Důsledkem globálního oteplování způsobeného klimatickými změnami je řada kaskádových efektů v rámci ekologického systému, jako je klesající biologická rozmanitost nebo zhoršující se stabilita půdy. Kromě postupně měnících se stanovištních podmínek pro produktivitu rostlin je zásadním dopadem změna variability počasí, spojená s výskytem hydrometeorologických extrémů (Nelson et al. 2014).

Diplomová práce zkoumá vliv klimatických faktorů na výnos. V úvodních kapitolách je sója rozebrána teoreticky, přes agrotechniku, výnosotvorné prvky nebo šlechtění. Je zde ukázána také praktická ukázka technologické karty z praxe. Dále jsou popsány abiotické a biotické faktory ovlivňující vývoj sóji v průběhu vegetace. Následují pěstební data o sóje a nastínění problematiky růstových modelů. V praktické části se diplomová práce zabývá regresními modely a zkoumáním vztahu mezi srážkami, teplotou a výnosem. V druhé polovině praktické části je nastíněn potenciál sóji v probíhajícím klimatu.

3 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem diplomové práce je zjištění, jakých výnosů může sója dosahovat v závislosti na změně klimatu. Dále podrobnější analýza růstových modelů pro predikci výnosů sóji v systému půda-plodina-atmosféra. Další částí práce je aplikace regresních modelů na určení dopadů v agrometeorologických podmínkách na výnosové parametry sóji.

Hypotéza:

Zjištění, zdali má sója při současném vývoji klimatu potenciál pro zařazení do stálého osevního postupu.

4 Literární rešerše

4.1 Sója luštinatá (*Glycine max* L.)

Sója je podle Slavíka (2000) taxonomicky definována následovně:

Říše: **rostliny** (*Plantae*)
Podříše: **cévnaté** **rostliny**
(*Tracheobionta*)
Oddělení: **krytosemenné**
(*Magnoliophyta*)
Třída: **vyšší dvouděložné** (*Rosopsida*)
Řád: **bobotvaré** (*Fabales*)
Čeleď: **bobovité** (*Fabaceae*)
Rod: **sója** (*Glycine*)



Obrázek 1: habitus sóji (Horčíčko 2004).

Sója pochází z východní Asie, konkrétně z dnešního území Číny. První zmínky o sóje pochází z čínských knih z období zhruba 1000 let př.n.l. K dnešnímu nejvýznamnějšímu pěstiteli, Spojeným státům americkým, se dostala sója v polovině 18. století. Divoký předchůdce sóji, *Glycine soja*, zůstal na území Asie a vyskytuje se zde v přilehlých mezích a kolem cest. Do Evropy se sója dostala po 1. světové válce. Je jednoletou rostlinou, která je podobná fazolu (Dudík et al. 1966).

Kulturní sója je specifikována jako diploidizovaný tetraploid ($2n=40$). Je samosprašná dvouděložná rostlina. Sója luštinatá (*Glycine max*) zahrnuje přes 75 druhů. Ve vhodných podmínkách může sója narůst až 150 centimetrů, běžné porosty však bývají vysoké kolem jednoho metru.

Kořenový systém je tvořen hlavním kulovým kořenem, který se zužuje směrem dolů. Na kulový kořen je navázána hustá síť postranních kořenů, které jsou mnohdy delší než samotný hlavní kořen. Na vedlejších kořenech se tvoří drobné hlízkky, jež jsou produktem hlízkových bakterií (*Rhizobium japonicum*). Tyto bakterie jsou schopny poutat vzdušný dusík a zabudovávají ho do svých struktur v půdě. Právě díky nim je sója plodinou, která obohacuje půdu o dusík. Rhizobní bakterie redukují trojnou vazbu vzdušného dusíku a zabudovávají ho do organické sloučeniny v podobě amoniaku NH_4

($N_2 + H_2 \rightarrow HN=NH + H_2 \rightarrow H_2N-NH_2 + H_2 \rightarrow 2 NH_3 + 2H^+ \rightarrow 2 NH_4^+$). Samotné kořeny dosahují do hloubek do 1 m. Některé zdroje ovšem uvádí prokořenění sóji až do 3 m.

Lodyha sóji je hrubá, většinou pokryta trichomy. Na průřezu je okrouhlá dlouhá 0,5-1,0 metru. Primární listy sóji jsou jednoduché, sekundární listy pak většinou trojčetné. Charakteristickou vlastností listů sóji je, že při zrání (v našich podmínkách konec srpna až začátek září) žloutnou a opadávají. Sklizeň pak probíhá při neolistentých lodyhách.

Květenstvím sóji je složený hrozen složený z 15–20 květů. Barva korunních lístků se liší podle odrůd, obvykle se nachází ve spektru bílé až fialové barvy. Plodem sóji luštinaté je lusk. Na povrchu lusku se také vyskytují početné jemné trichomy. Lusk bývá jemně zakřivený a dosahuje délky od 2 do 7 cm. V lusku se nachází 2-4 matná hladká semena s elipsoidním až kulovitým tvarem a žlutou až hnědou barvou. Na jedné rostlině se tvoří zhruba 20-40 lusků. Na světě se vyskytuje několik kultivarů, jenž mají tvar semen podlouhlý až plochý, jsou ale spíše výjimkou, kterou jsou i odrůdy se semeny zbarvenými do šeda, zelena nebo černa. Sója je komerčně pěstována ze semene. Odrůdy jsou pro šlechtitelské účely získávány v umělých podmínkách. Citlivost blizny k opylení je zhruba 1 den před vykvetením a další 2 dny po vykvetení. Díky této vlastnosti dochází zpravidla k opylení před otevřením květu. Klíčivost osiva klesá výrazněji až po 3 letech (Kuchčík et al. 1995).

4.2 Význam sóji

Sója je populární hlavně kvůli svému chemickému složení. Obsahuje vysoké procento hodnotných bílkovin (35-40 %) a rovněž dobrý podíl tuku (18-22 %). Ve srovnání například s lupinou, která se sóje dorovná obsahem bílkovin, má zhruba o 10 % tuku více. Důležitý je i velký podíl lecitinu, který podporuje správný chod nervové soustavy a je hlavní složkou buněčných membrán.

Sója je velmi hodnotnou potravinou, zralá i nezralá semena se mohou buď konzervovat, nebo konzumovat přímo. Zralá semena se zpracovávají na mouku, uplatňují při výrobě kaseinu, přidávají do sýrů nebo mají uplatnění při výrobě čokolády. Ze sójových semen se také lisuje kvalitní olej. Sójový olej je zpracováván potravinářským průmyslem nebo nachází uplatnění při výrobě barev, laků atd. Odpadní látky při výrobě (pokrutiny nebo extrahovaný škrob) se rovněž dají využít. Jsou hodnotným jadřným krmivem pro všechna domácí zvířata. Dobré výživové parametry má sója nazeleno, tak i seno nebo zrno (Dudík et al. 1966). Důležitost sóji lze spatřovat i v lidské stravě, kdy díky vysokému obsahu bílkovin je využívána jako náhrada za maso. Neméně výrazným důvodem k důležitosti sóji jsou její pozitivní půdní vlastnosti a působení jako přerušovač obilných sledů (Pagano & Miransari 2016).

4.2.1 Agrotechnika sóji

Způsob pěstování sóji prošel v průběhu let značným vývojem. V 60. letech minulého století uvádí Dudík et al. (1966), že sója je velice tolerantní k půdnímu druhu, protože lze pěstovat na středně těžké až lehčí půdě. Ideálními půdami jsou hlinité až hlinitopísčité půdy dobře zásobené vápníkem, biologicky činné. Dále uvádí, že je sója v osevních postupech zařazovaná téměř po všech druzích plodin. Ideálními předplodinami jsou okopaniny, olejiny nebo obilniny. Bez výnosové deprese snáší i pěstování v monokultuře. Z výživy porostů sóji je důležité hnojení především draselným a fosforečným hnojivem. V běžných podmínkách je pro dosažení středního výnosu potřeba zhruba 50-80 kg síranu amonného, 150-200 kg 40% draselné soli a 200-250 kg superfosfátu na 1 hektar. Sója má vysoké nároky na kvalitně zpracovanou půdu. Vyhovuje jí dobře prokypřená, čistá, ideálně včasně na podzim zoraná půda. Časně zjara je vhodné půdu usmykovat a 2 - 3krát do setby zvláčet. Důvodem těchto operací je zabránění evaporace z půdy a zničení klíčících plevelů. Následně Dudík et al. (1966) uvádí, že by před setím měla být rozmetána hnojiva a dle potřeby zvaženo kypření půdy, pro jejich lepší zapravení do hloubky. Osivo se očkuje Nitrazonem, který obsahuje hlízkové bakterie specifické pro luskoviny. Základem pro kvalitně provedené setí je dobře prohřátá půda (10-12 °C), dříve sója nevzchází. Seje se do řádků širokých 30-40 cm nebo i 45 cm (vhodné k plečkování, mohou se zde uplatnit stejné stroje, jako při plečkování řepy cukrovky). Hloubka setí je 3-5 cm, výsevek 70-110 kg/ha. Během růstu lze sóju plečkovat. Plevelé se hubí herbicidy (Gasegard 50 dávkou 2 kg/ha). Půdní škraloup je před vzejitím rozrušován ježkovými válci, po vytvoření 2 pravých lístků je prováděno bránami příčné vláčení; tím lze regulovat počet rostlin v řádku. Za optimální vzdálenost rostlin v širokých řádcích je považováno 8-10 cm. Během vegetace je sója plečkována až třikrát. Menší plochy jsou sklizeny travním žací strojem nebo speciální žací lištou na luskoviny. Vhodné je sklízet v ranních, rosných podmínkách. Hlavním důvodem pro toto opatření je snadné vypadávaní semen z lusků. Na větších výměřích je uplatňována dvoufázová nebo přímá sklizeň sklízecí mlátičkou. Mlátit sóju je potřeba pečlivě, aby semena nebyla pūlena. Po sklizni bývá nutné přečištění a sušení. Z 1 hektaru se průměrně sklídí 1-2 t semene a 2-3 t slámy, na dobrém stanovišti i více.

Pokud výše zmíněné informace srovnáme s vědomostmi, které máme o pěstování sóji o 55 let později, tak dojdeme k závěru, že zde nějaké rozdíly jsou. Například, jak zmiňuje Podrábský (2002), není vhodné pěstovat sóju po okopaninách, hlavně bramborách. Hlavním důvodem je podobné plevelné spektrum, které působí následně v sóje intenzivně na vzcházení a kvalitu porostu. Další nevhodnou předplodinou je slunečnice, jejíž výdrol je pro sóju rovněž zaplevelující. Sója zde doplácí na fakt, že pomalu vzchází. Nevhodné je pěstování po ostatních luskovinách. Dále není sóju nutné hnojit dusíkatými hnojivy. Jejich potřeba je jen při zjištění výrazného nedostatku N_{\min} v půdě. Sója má velké požadavky na půdní vláhu a vlhkost ovzduší. Voda je potřeba hlavně v období květu a nasazování lusků, kdy je její spotřeba rostlinou výrazná. V našich podnebných

podmínkách je ideální roční úhrn srážek 580-600 mm vody/m². Odchylkou od původních informací je teplota půdy. Dnešní odrůdy zvládají vzcházet už při 7,5 °C, což je minimálně o 2,5 °C méně, než uvádí dřívější literatura. Mladé rostliny sóji dokážou krátkodobě vzdorovat pozdním ranním mrazíkům s teplotami do -5 °C. Ideální termín setí bývá v našich podmínkách koncem dubna až začátkem května. Standardní výsevek cílí zhruba na 500 000 klíčivých semen/ha. To odpovídá zhruba 100-120 kg osiva/ha. Kvůli svým velkým semenům se sója seje do hloubky 4-6 cm, se vzdáleností řádků 15-30 cm. Další odchylkou od minulosti je způsob sklizně. Sója se dnes sklízí výhradně sklízecí mlátičkou a je zřídka pěstována technologií řádků s roztečí 45 cm s následným využitím plečkování (Houba et al. 2009). Jako předplodina je vhodná organicky hnojená cukrovka (dobrý obsah organické hmoty v půdě), kukuřice nebo obilniny. Novým poznatkem k náročnosti na půdu je náročnost na provzdušnění půdy (Lahola 1990).

Při pěstování sóji dochází k několika chybám:

- Důležitý je správně srovnaný pozemek, jednak kvůli rovnoměrnému vzcházení a vývoji ve všech patrech rostliny, tak kvůli následné kvalitě sklizně (lusky v nižších patrech jsou nízko nad zemí).
- Chybou může být i přílišné hýbání s půdou za sušších podmínek. Kultivace totiž půdu provzdušňuje, ta vysychá a semeno následně nemá přístup k vodě. Protiopatřením může být válení.
- Odmítání preemergentních herbicidů bývá častou chybou. Postemergentní přípravky působí stresově na mladé rostlinky sóji a mohou vyústit ke zkrácení stébla, prodloužení vegetace nebo redukci porostu.
- Před zařazením sóji do osevního postupu je třeba zvážit, zda obdělávané stanoviště má dostatečný přísun vody. Sóju nemá smysl pěstovat v oblastech srážkových stínů v kombinaci s písčitymi půdami.
- Při setí sóji po cukrové řepě je potřeba zvážit zařazení orby do předseťové přípravy. Po řepě mohou vznikat problémy s výraznými kolejami v porostu a zhutněním půdy, kdy je následně omezován správný růst rostlin.
- Zanedbání ošetření pcháče rolního (*Cirsium arvense*) vede k výnosovým ztrátám. Obecným pravidlem je, že místa v porostu nevyplněná sójou jsou vyplněna pcháčem. Jedinou možností jeho regulace je preemergentní aplikace herbicidu a mechanické odstranění v předseťové přípravě.
- Chyby vznikají i při sklizni. Správné nastavení sklízecí mlátičky je nutné k omezení ztrát zrn za kombajnem. Sklizňové ztráty vznikají nevysečením spodních pater lusků. Možným omezením těchto ztrát je použití pásové lišty, která lépe kopíruje terén a omezuje ztráty už na žací liště kombajnu. Pokud je porost polehlý, je nutné sklízet protisměrně (Podrábský 2002).



Obrázek 2: sklizeň sóji pásovou žací lištou

4.2.1.1 Zakládání porostu sóji

Pravděpodobně nejpodstatnější operací při vedení porostu sóji je setí. Při setí vzniká velké množství prostorů, při kterých mohou vznikat chyby. Problém může vznikat při nastavení správné hloubky setí. Pokud uložíme osivo moc mělce, tak při nedostatku vláhy dochází k zasychání klíčků a důsledkem je nevyrovnaný porost. Pokud je naopak sója seta do přílišné hloubky, dochází rovněž k nerovnoměrnému vzcházení s rizikem řídkého porostu. Další, dnes už méně vídanou chybou, bývá vynechání přimíšení inokulantů (Nitrazon N+, který obsahuje kmeny rhizóbií a půdních bakterií, které jsou schopny nahradit až 30 kg dusíku a zpřístupnit podobné množství fosforu). Pokud dojde k vynechání přidání inokulantů, dochází ke ztrátám na výnosu až o 20 %. Rostliny jsou navíc méně odolné poléhání a dochází k nežádoucímu prodloužení vegetace až o několik týdnů. Dalším podceněním může být i nízký výsevek, ze kterého plyne nízký zaplevelený porost s malým počtem lusků v horních patrech rostliny (Podrábský 2002). Štranc et al. (2012) v pokusech dokazuje, že teplotnost sóji, zejména v počátku růstu, je přeceňována a na rozdíl od toho její nároky na vláhu jsou často podceňovány. Rovněž je málo brán zřetel na fotoperiodicitu sóji a její nároky na délku dne. Ze sledovaných pokusů vyplývá, že při současném trendu stoupaní průměrných teplot v důsledku globálního oteplování lze sóju vysévat již při teplotě od 7 °C. Na těžších, méně strukturálních půdách, které se nacházejí v chladnějších polohách, je vhodné zahájit výsev při vyšší teplotě, zhruba od 9 °C. Pokud je setí vedeno v časném termínu za vlhčích

podmínek, mělo by být osivo uloženo do nižších hloubek, kolem 3 cm. Vrchní vrstva půdy se díky postupnému vzestupu teplot vzduchu rychleji prohřívá a sója má čas při dostatečné vlhkosti půdy nabobtnat, vyklíčit a rovnoměrně vzejít. Pokud je zvažován, například z důvodu nepříznivých podmínek, pozdní výsev za sušších podmínek, je vhodné umístit semena sóji do hloubek kolem 5 cm, kde je větší vláha. Nižší hloubky se už nedoporučují, protože by mohlo dojít k vysílení semene. Pokud jsou podmínky podnebí nevhodné, lze setí o pár týdnů odložit. Klíčovým faktorem je vláha a teplota půdy. Vláhý ale nesmí být příliš, při vlhkosti půdy nad 35 % se půdní částice lepí a půda je špatně prohřívána. Výsev v těchto podmínkách je obtížný a je vysoká pravděpodobnost jeho snížené kvality. Při pozdních nástupech jara lze set i při nižších teplotách půdy, kolem 6 °C, protože lze předpokládat, že teploty se skokově zvednou. Se stoupající nadmořskou výškou se logicky posouvá i termín setí. V kukuřičné výrobní oblasti, kterou lze definovat maximální nadmořskou výškou do 250 m je ideální termín výsevu kolem půlky dubna. Ve výrobní oblasti řepařské (250-350 m n.m.) je ideální pěstování sóji jen v podoblastech Ř1 a Ř2 s orientačním termínem výsevu ve druhé třetině dubna. Sóju lze pěstovat i obilnářské výrobní oblasti, O1, s nadmořskou výškou do 430 metrů a ideálním termínem je přelom dubna a května.

V tabulce 1 lze podle výzkumu Calviño (2003), kde bylo zkoumáno pěstování sóji v jednom roce po pšenici, vidět významný vliv termínu a dostatku vody na výnos. Provedena byla sklizeň pšenice a následné setí sóji. Je nutné si uvědomit, že výzkum byl veden na jižní polokouli, takže našim vnímáním podnebních podmínek červen je v pampách v prosinci. Pokus trval 2 roky a byl založen na sledování několika parametrů; termínu setí, přísunu vláhý a šířky řádku. Důležitým faktem v pokusu je, že ve druhém roce vedení pokusu byl lepší přísun přirozené vláhý. První sledovaný prvek, tedy termín setí, se zdá být klíčový pro celkový výnos. Brzký termín setí výrazně zvyšoval celkový výnos k hodnotám až o 40 %. V prvním roce, kdy nebyl dostatek srážek, lze pozorovat velký rozdíl mezi zavlažovaným a nezavlažovaným porostem. Ve druhém roce je tento rozdíl minimální. Šířka řádku vliv na výnos měla, ale malý (do 10 %). Lépe se prokázaly užší řádky.

Tabulka 1: výnos sóji v různých podmínkách (Calviño 2003).

Termín setí	Dostupnost vody	Šířka řádku (cm)	Výnos (t/ha)
<i>Rok 1</i>			
19.12.	Zavlažované	19	3,46
		38	3
	Nezavlažované	19	2,72
		38	2,55
4.1.	Zavlažované	19	2,45
		38	2,38
	Nezavlažované	19	2,41
		38	2,26
<i>Rok 2</i>			
19.12.	Zavlažované	19	3,96
		38	3,91
	Nezavlažované	19	3,84
		38	3,67
4.1.	Zavlažované	19	2,42
		38	2,47
	Nezavlažované	19	2,35
		38	2,12

Závěrem ke kapitole setí sóji lze říct, že nejdůležitějšími faktory (sestupně) jsou termín setí, dostatek srážek a šířka zvoleného řádku. Klíčovost termínu setí tkví v tom, že sója stihne rovnoměrně dozrát.

4.2.2 Výnosotvorné prvky sóji

Z hlediska tvorby hospodářského výnosu jsou ideální hodnoty jednotlivých prvků následující (Pulkrábek et al. 2003):

- **počet rostlin/m²:** 60-80
- **počet lusků/rostlina:** 8-15

Počet lusků na rostlině je nejvariabilnějším prvkem výnosu. Potenciální schopnost luskovin v tvorbě poupat, květů a lusků je vysoká. V závislosti na podmínkách prostředí (vysoká teplota, malá vzdušná vlhkost, půdní sucho) může docházet k velké redukci založených generativních orgánů.
- **počet semen v lusku:** 2-4

Nejméně variabilním výnosovým prvkem je počet semen v lusku. Spodní lusky mají větší počet vyvinutých semen. Výrazný vliv má opylení. Při poruchách výživy, nepříznivých vnějších podmínkách a negativním působení patogenů se snižuje počet vyvinutých semen.
- **hmotnost tisíce semen (HTS):** 160-190

Je sice odrůdovým znakem, ale vlivem povětrnostních podmínek v období zrání může docházet k jejímu kolísání v jednotlivých letech na stejném stanovišti až o 20–30 %.

Faktory ovlivňující počet rostlin jsou různé. K nejvyšší redukci rostlin dochází v období vzcházení. Výši úbytku nelze předvídat, záleží totiž na mnoha faktorech. Prvním je kvalita setí, kam se řadí výsevku, doba a hloubka setí. Dalším, těžko předvídatelným faktorem, je kvalita osiva. Do té řadíme kvalitu, vitalitu, zdravotní stav a moření. V období vcházení je také nezanedbatelným faktorem působení vnějších podmínek. Do nich se řadí kvalita předseťové přípravy půdy, půdní vláha a teplota nebo výskyt patogenů v půdě.

Ke zdatelně menší redukci porostu dochází v průběhu vegetace. Jednou z příčin zde může být mezidruhová konkurence při špatně zvoleném výsevku. Dalším faktorem je negativní působení škůdců a chorob. Na snížení výnosu se může podílet i necitlivé zacházení s postřiky při ošetření porostu nebo povětrnostní podmínky.

4.2.3 Technologická karta plodiny

Díky datům z praxe, konkrétně od zemědělského podniku Agro Verdek a.s., bylo možné sestavit reálnou kartu sóji pěstované v roce 2022. Demonstrováný pozemek, na

kterém byla sója pěstována se nachází v mírně teplém a mírně vlhkém klima. Charakteristické hodnoty pro toto klima jsou znázorněny v tabulce 2. Co se týče půdních podmínek, tak ty jsou ideální. Nachází se zde hlinitý půdní druh, z čehož plyne, že zemina je schopna udržet dostatek vody a zároveň se dobře ohřívá. Velkým bonusem pozemků, na kterých Agro Verdek a.s. pěstuje sóju, je mírná svažitosť s jižní expozicí. Porosty mají dostatek světla po

Tabulka 2: klimatické podmínky (eKatalog BPEJ 2022).

Suma teplot nad 10 °C	2200 - 2500
Průměrná roční teplota °C	7-8
Průměrný úhrn srážek	550 - 650
Pravděpodobnost suchých vegetačních období v %	15 - 30
Vláhová jistota ve vegetačním období	4-10

celou dobu vegetace. Půdním typem je luvizem s bodovou výnosností zhruba 70 (středně produkční). Odrůda byla zvolena Silesia, která je klasifikována jako středně raná. Příprava půdy byla provedena dostatečně hluboko v dobré kvalitě. Na jaře byl použit kombinátor pro dobrou přípravu seťového lůžka a srovnání profilu terénu. Termín setí byl optimální (řepařská oblast). Důležitým prvkem přidání inokulantů pro aktivaci hlízkových bakterií. Stav porostu byl v pořádku po celou dobu vegetace. Díky preemergentní aplikaci silných herbicidů na hubení všech plevelů bylo zabráněno jejich dalšímu rozvoji v počáteční fázi růstu sóji. Tato herbicidní kombinace se ukazuje jako dlouhodobě velice účinná a dokáže podpořit sóju při slabší růstové dynamice v prvních týdnech. Velké výskyty škůdců ani chorob nebyly pozorovány v průběhu vegetace.

V jiných částech republiky byl ale v letošním roce pozorován ničivý výskyt svlušky chmelové (*Tetranychus urticae*), kvůli které se do porostu musí až třikrát aplikovat insekticid. Tím se úměrně zvyšují náklady, ale i přesto je sója velice zajímavá plodina z ekonomického pohledu (více v kapitole 4.1.3.1). Porost byl sklizen mlátičkou New Holland CR 9.80 s pásovou lištou. Tato technologie zvyšuje výnos až o 10 %. Jediným problémem při sklizni bylo velké množství kamenů, které ohrožovaly chod kombajnů. Variantou může být jarní válení povrchu hned po setí, kdy by došlo k zamačkání kamenů do půdy. Díky ideálním podmínkám ročníku byl výnos nadprůměrný a dosáhl hodnoty 3,5 t/ha s vlhkostí 19 %.

Tabulka 3: karta plodiny

Karta plodiny – sója luštinatá						
Druh:	Sója luštinatá		Odrůda:	Silesia	Užitkový směr:	Krmná
Název honu:	Hřbitov		Půdní typ:	Luvizem	Půdní druh:	Hlinitý
Cena půdy za m²:	25 Kč	BPEJ:	5.14.10			
Předplodina:	Pšenice s následným setím meziplodiny (svazanka+pohanka)					
Sklizena dne:	25.7/1.11	Výnos předplodiny (t/ha):	8,5/x			
Podmítka dne:	15.8.	Hloubka:	10 cm	Kvalita:	dobrá	
Způsob:	Diskový podmítač (před meziplodinou)					
Podzimní zpracování půdy:	Kypření (Horsch Terrano 4 fx), 1.11.2021, 25 cm					
Jarní zpracování půdy:	Kombinátor, 19.4.2022, 7 cm					
Osivo a založení porostu						
HTS (g):	170	Kategorie osiva:	C1	Čistota (%)	99	
Klíčivost (%):	97	Ošetření osiva:	Inokulant-Histick (rhizobní bakterie)			
Meziřádková vzdálenost v cm:	15	Hloubka:	4,5	Setí dne:	21.4.	
Struktura porostu a jeho charakteristika						
Struktura porostu na m ²	Po vzejití		Před sklizní			
	Počet rostlin:	Polní vzcházivost:	Počet rostlin:	Spodní lusky:	Počet lusků na rostlině:	
Ukazatel:	65	90	65	8 cm	14	
Datum:	15.5.	15.5.	25.9.	25.9.	25.9.	
Hodnocení:	OK	OK	OK	OK	OK	
Regulace škodlivých činitelů						
	Datum:	Činitel:	Stupeň napadení:	Přípravek, dávka (účinná látka)		
Plevel	22.4.	Dvouděložné a jednoděložné	Preemergentní aplikace	Sumimax, 100 g (flumioxazin) Somero, 2 l (pethoxamid)		
Sklizeň a její hodnocení						
Sklizení dne:	3.10.	Způsob:	Kombinovaná sklizeň		Výnos (t/ha):	3,2 netto
Kvalitativní ukazatelé produkce:			Vlhkost: 19 %			

4.2.3.1 Ekonomika plodiny

Jak lze pozorovat v tabulce 4, tak sója je ekonomicky velmi zajímavá plodina. V tabulce jsou reálná čísla z Agro Verdek a.s. Cena jednotlivých operací byla stanovena na základě normativů pro poradenství VÚZT, které byly upraveny pro daný podnik. Rok 2021 byl v okolí Dvora Králové nad Labem specifický pro svůj suchý srpen. Tento fakt měl velký vliv na celkový výnos, který je v hrubém o 1 t/ha menší než v následujícím roce. Rok 2022 byl naopak charakteristický svým pravidelným přísunem srážek a rostliny sóji tak měly dostatek času pro růst a dobré dozrání. Jako přidaná sledovaná jednotka byl rok 2022 s výnosem z roku předchozího, aby sledování ekonomiky bylo přesnější. Výkupní cena vzrostla meziročně o 5 800 Kč za tunu. Důvodem náhlého vzestupu výkupní ceny je Ruskem vyprovokovaná válka na Ukrajině a lze očekávat, že po uklidnění trhu dojde k opětovnému poklesu ceny.

I přes růst nákladů, především na pohonné hmoty, lze sledovat enormní nárůst příjmů z hektaru. Výsledek v roce 2022 je ovlivněn i dobrým výnosem. Při přepočtu na výnos z předešlého roku (který je víceméně republikovým průměrem) se stejně dostáváme přes hranici 25 000 Kč z hektaru.

Tabulka 4: ekonomika plodiny

	2021	2022	2022 (2,5 t/ha)	Rozdíl	Rozdíl (2,5 t/ha)
Průměrný výnos (t/ha)	2,5	3,5	2,5	1	0
Výkupní cena za 1 t (Kč)	10000	15800	15800	5800	5800
Hrubý příjem z ha (Kč)	25000	55300	39500	30300	14500
Náklady					
Podmítka (Kč/ha)	500	600	600	-100	-100
Kypření (Kč/ha)	900	1100	1100	-200	-200
Předsetová příprava (Kč/ha)	400	500	500	-100	-100
Setí (Kč/ha)	550	650	650	-100	-100
Postřik (Kč/ha)	250	300	300	-50	-50
Sklizeň (Kč/ha)	2200	2500	2500	-300	-300
Osivo (Kč/ha)	3600	7000	7000	-3400	-3400
Herbicidy (Kč/ha)	3000	3300	3300	-300	-300
Sušení					
Součet nákladů	11400	15950	15950	4550	4550
Příjem z ha i s náklady	13600	39350	23550	25750	9950

Ze získaných dat lze konstatovat, že sója luštinatá je v našem podnebí velmi dobře zpeněžitelnou plodinou. Nutno podotknout, že do nákladů by se ještě mohlo promítnout ošetření na svilušku chmelovou, které by snížilo příjem z hektaru zhruba o 7000 Kč.

4.2.3.2 Výživa sóji

Sója je v otázce výživy velmi nenáročnou plodinou. Stejně jako k ostatním luskovinám k ní není nutné organicky hnojit a většinou se to ani nedělá. Z půdních vlastností je sója citlivá na kyselost. Ideální pH půdy je 6,5-7,0 a pokud jsou půdy s pH pod 5,5, tak je dobré zvážit vápnění před založením porostu. Vápnění může být provedeno k předplodině nebo přímo, sója je vůči němu tolerantní. Dobré pH je potřeba především pro správné fungování hlízkových bakterií a pro výslednou kvalitu semene. Sóju je vhodné hnojit fosforem i draslíkem, jejich aplikace je doporučována na podzim (Vaněk et al. 2016).

Diskutovanou a stále aktuální otázkou je závislost sóji na hnojení dusíkem. Hlavním argumentem proti výživě dusíkem je činnost hlízkových bakterií, které jsou schopny určité množství dusíku nahradit. Velký obsah dusíku před setím navíc snižuje aktivitu hlízkových bakterií při tvorbě hlízek. Většina zdrojů se shoduje, že dusíkaté hnojivo bývá neefektivní a neúčelné. Dusíkem by se mělo hnojit jen na pozemcích chudých na živiny, nejlépe formou ledku amonného s vápencem v dávce do 40 kg N na hektar (Vaněk et al. 2016).

Samotnou kapitolou je hnojení ostatními živinami. Pokud je v ekonomických možnostech jejich aplikace, tak stojí za zvážení hnojení železem, zinkem, hořčíkem, sírou, bórem, molybdenem nebo mědí (Houba 2019).

4.2.4 Šlechtění a semenářství sóji

Cílem šlechtitelských stanic sóji v podnebných podmínkách střední Evropy je odrůda, která bude odolávat jarním mrazíkům a chladům na začátku vegetace a bude mít jistý výnos. Důležitým aspektem zisku nových plodin je i získání odrůdy s vyšším nasazením lusků z důvodu efektivnější sklizně (Dudík et al. 1966).

Hosnedl (1999) uvádí, že v podmínkách České republiky lze pěstovat pouze rané odrůdy se sumou vegetačních teplot kolem 1600 °C. Minimální požadovanou klíčivostí semen sóji je 80 %. Kvalitní výnos přímo koreluje s průběhem dozrávání a je závislý na relativní vzdušné vlhkosti v tomto období.

Výrazný vliv na kvalitu sóji může mít její desikace. Ideální termín je přibližně 10 dní před sklizní, kdy je minimální negativní vliv na následné klíčení osiva, v některých zkoumaných vzorcích dokonce došlo ke zvýšení klíčivosti v řádu jednotek procent. Pokud byla provedena výrazně předčasná desikace, zhruba 30 dní před sklizní, tak byl negativní vliv na klíčivost až 39 % (Štranc et al. 2013). Dle Pemmenter et al. (1999) je ztráta vody v důsledku desikace doprovázena metabolickými změnami, které ovlivňují podíl bílkovinné a sacharidové složky v semeni a zvyšuje výskyt volných radikálů, z čehož plyne nižší kvalita osiva. U semenářských porostů je nejdůležitější termín setí. Úbytek na výnosu osiva je důsledkem pozdního setí (Bastidas et al. 2008).

Trendy ve šlechtění lze pozorovat i ve Spojených státech amerických. Zde Hartman et al. (2007) zjistil, že patogen rzi sóji, *Phakospora pachyrhizi*, je tvořen 4 konkrétními geny. Následně byl vypsán projekt šlechtění, z něž byly vyšlechtěny nové linie sóji, které byly rezistentní vůči tomuto konkrétnímu patogenu.

4.2.4.1 Zkušební stanice

Pro české pěstitele sóji vydává každý rok Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) seznam doporučených odrůd. Testované odrůdy by měly být ideálními zástupci pro pěstování v podmínkách České republiky. Výsledky vychází z víceletého testování osvědčených a perspektivních odrůd na několika testovacích stanicích v ČR (viz obrázek 3). Lze je tedy považovat za relativně spolehlivé a objektivní. Sledovanými vlastnostmi ÚKZÚZem jsou výnos zrna a jeho jakost, odolnost vůči poléhání nebo odolnost proti napadení chorobami. Za výchozí kritéria hodnocení k následnému doporučení odrůd považuje ÚKZÚZ výnos zrna ve vztahu k ranosti, výšku nasazení prvního lusku, odolnost vůči poléhání a obsah dusíkatých látek.



Obrázek 3: Pracoviště ÚKZÚZ testující odrůdy sóji (Vytiska 2022).

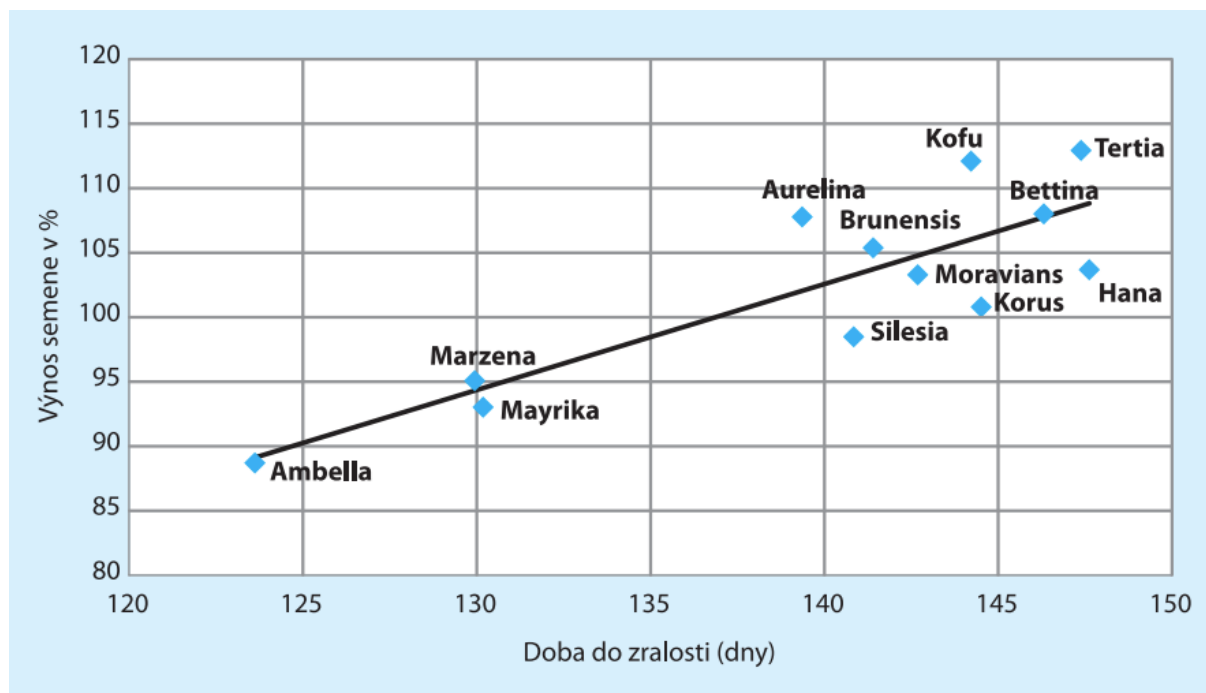
V tabulce 5 lze pozorovat seznam zkušebních stanic ÚKZÚZ, které se podílejí na sestavení doporučených odrůd. V ČR je nyní 10 pracovišť, které zkouší odrůdy sóji. Pouze 3 z nich se nachází na území Čech, 6 na území Moravy a poslední stanice ve Slezsku. Nadmořská výška je relativně rozmanitá, kdy dosahuje hodnot od 171 do 370 metrů nad mořem. To samé platí i pro průměrnou teplotu a dlouhodobý úhrn srážek. V Šumperku je průměrná teplota jen 7,5 °C, kdežto v Lednici na Moravě dosahuje k 9,6 °C. Úhrny srážek se pohybují v rozmezí 451-693 mm. Podmínky půdního druhu jsou všude ideální – hlinitý půdní druh.

Tabulka 5: meteorologické podmínky zkušebních stanic ÚKZÚZ (Vytiska 2022).

Zkušební stanice	Kód	Nadmořská výška (m.n.m.)	Průměrná teplota t_{30} (°C)	Průměrný úhrn srážek s_{30} (mm)	Půdní typ a druh
Čáslav	CAS	260	8,9	555	ČMm – h
Chrlice	CHR	190	9	451	FMm – h
Lednice na Moravě	LED	171	9,6	461	ČMm – h
Nechanice	NEC	235	8,8	597	HMm – h
Oblekovice	OBL	242	9,3	435	ČMm – h
Pusté Jakartice	PJA	295	8,3	597	HMI – h
Staňkov	STV	370	8,1	537	HMm – h
Šumperk	SU	315	7,5	693	HMI – h
Uherský Ostroh	UHO	196	9,1	521	KMm – h
Věrovany	VER	207	8,7	502	ČMm – h

Poznámka: ČMm= Černozem typická, FMm= Fluvizem typická, HMm= Hnědozem typická, HMI= Hnědozem luvizemní, KMm= Kambizem typická, h= hlinitá půda, jh= jílovitohlinitá půda

V grafu 1 lze pozorovat porovnání mezi odrůdami na základě jejich ranosti a výnosu. Data jsou zprůměrována z let 2018-2021. Lze pozorovat, že odrůda Silesia z karty plodiny (viz tabulka 3) už začíná být méně výhodnou a na trhu se nacházejí novější, výkonnější odrůdy s podobnou raností (např. Brunensis). V ukázaném grafu lze obecně říci, že s raností klesá výnos. Nejvýkonnější odrůdy jsou ty, které mají nejdelší vegetační dobu. Osivo nebylo fungicidně mořeno, před setím byla provedena inokulace osiva hlízkovými bakteriemi. Výsevek činil 700 tisíc klíčivých semen na hektar, meziřádková vzdálenost byla 25 cm. Hnojení dusíkem zpravidla nebylo prováděno, jen na chudých pozemcích byla přidána jednorázová dávka 40 kg N/ha. V průběhu vegetace nebylo prováděno fungicidní ošetření. Insekticidní ošetření bylo provedeno jen v případě potřeby (Vytiska 2022).



Graf 1: doporučené odrůdy (Vytiska 2022).

4.2.4.2 Odrůdy

AMBELLA

Fialově kvetoucí odrůda, která se vyznačuje svojí velkou raností. Habitus má vzpřímený až polovzpřímený, rostliny nízké. Stonek ochmýřený žlutohnědými trichomy. HTS středně vysoká, barva semene tmavě hnědá. Jak lze pozorovat v grafu 1, je to nejranější zkušební odrůda. Vyznačuje se také nejnižším výnosem, bude tedy vhodnější do vyšších poloh. Pěstitelským rizikem může být nízko nasazený první lusk.

Udržovatel: Saatucht Donau Ges.m.b.H. & CoKG, Rakousko

Zástupce v ČR: SAATBAU ČESKÁ REPUBLIKA s.r.o.

Registrace: 2019

AURELINA

Z grafu 1 lze vyznat, že odrůda Aurelina by mohla být ideálním nástupcem oblíbené odrůdy Silesia. Vyznačuje se totiž podobnou raností a prokazatelně vyšším výnosem. Jedná se o ranou, fialově kvetoucí odrůdu. Habitus má vzpřímený, středně vysoký. Stonek je šedě ochmýřený, HTS středně vysoká a barva pupku semene žlutá.

Udržovatel: Saatucht Donau Ges.m.b.H. & CoKG, Rakousko

Zástupce v ČR: SAATBAU ČESKÁ REPUBLIKA s.r.o.

Registrace: 2020

BETTINA

Z testovaných odrůd jedna z nejpozdnějších odrůd. V grafu 1 lze vyzorovat, že má výnos úměrný ranosti. Sama odrůda je klasifikována jako středně raná. Kvetे fialově, má střední výšku habitu, který je polovzpřímený. Barva trichomů na stonku žlutohnědá, HTS středně vysoká, barva semene hnědá. Rizikem při pěstování je nižší obsah dusíkatých látek.

Udržovatel: Saatucht Donau Ges.m.b.H. & CoKG, Rakousko
Zástupce v ČR: SAATBAU ČESKÁ REPUBLIKA s.r.o.
Registrace: 2018

BRUNENSIS

Další ze spektra raných odrůd, která je potencionální náhradou odrůdy Silesia. Vyznačuje se téměř stejnou raností, ale o zhruba 7 % vyšším výnosem. Má fialové květy, je středně vysoká se vzpřímeným habitem. Stonek je žlutohnědě ochmýřený, HTS středně vysoká a barva semene žlutá. Nemá výrazná pěstitelská rizika.

Udržovatel: Semences Prograin Inc., Kanada
Zástupce v ČR: Prograin ZIA, s.r.o.
Registrace: 2010

HANA

Novější odrůda, která se vyznačuje vysokým obsahem dusíkatých látek. V grafu 1 lze vyzorovat, že ve sledovaném pokusném období měla ale nižší výnos vůči průměru. Jedná se o středně ranou, fialově kvetoucí odrůdu. Rostliny středně vysoké s polovzpřímeným habitem mají žlutohnědě ochmýřený stonek, středně vysokou HTS a žlutá semena.

Udržovatel: Semences Prograin Inc., Kanada
Zástupce v ČR: Prograin ZIA, s.r.o.
Registrace: 2020

KOFU

Druhá nejvýnosnější odrůda v pokusech je až o 5 dní ranější než vítěz, odrůda Tertia. Jedná se o rané, fialově kvetoucí rostliny se vzpřímeným habitem. Stonek je žlutohnědě ochmýřený, HTS středně vysoká a barva semene žlutá.

Udržovatel: Semences Prograin Inc., Kanada
Zástupce v ČR: Prograin ZIA, s.r.o.
Registrace: 2015

KORUS

Raná, fialově kvetoucí odrůda, která má vzhledem k ranosti nejhorší výnos vůči průměru. Habitus je polovzpřímený, středně vysoký se žlutohnědým ochmýřením

stonku. HTS středně vysoká se žlutou barvou semen. Její předností je dobrá odolnost vůči poléhání.

Udržovatel: Prograin ZIA, s.r.o.
Zástupce v ČR: Prograin ZIA, s.r.o.
Registrace: 2012

MAYRIKA

Třetí nejranější odrůda v pokusech. Je specifická bílou barvou květu. Habitus vzpřímený, středně vysoký s šedě ochmýřeným stonkem. HTS nízká se žlutou barvou semene. Dobrou vlastností je vyšší nasazení prvního lusku.

Udržovatel: Prograin ZIA, s.r.o.
Zástupce v ČR: Prograin ZIA, s.r.o.
Registrace: 2018

MARZENA

Velmi podobná odrůda té předchozí jak v ranosti, tak výnosu. Hlavním rozdílem je její přednost, kterou je dobrá odolnost vůči poléhání a barva květu – fialová. Rostliny jsou středně vysoké se vzpřímeným, až polovzpřímeným habitem, stonek žlutohnědě ochmýřený. HTS nízká se žlutou barvou pupku semene. Pěstitelským rizikem může být nízký obsah dusíkatých látek.

Udržovatel: Semences Prograin Inc., Kanada
Zástupce v ČR: Prograin ZIA, s.r.o.
Registrace: 2020

MORAVIANS

Fialově kvetoucí, raná odrůda. Rostliny jsou středně vysoké s polovzpřímeným habitem a žlutohnědým ochmýřením stonku. HTS středně vysoká až vysoká se žlutou barvou semene.

Udržovatel: Prograin ZIA, s.r.o.
Zástupce v ČR: Prograin ZIA, s.r.o.
Registrace: 2008

SILESIA

Odrůda, která byla vyseta společností Agro Verdek v kartě plodiny (viz kapitola 4.1.3.) se podle výsledků ukazuje jako zastaralá. Její neoddiskutovatelnou předností, pro kterou se pěstuje i v Agru Verdek, je vysoké nasazení prvního lusku. Pokud se ale podíváme do pokusů, tak výnosem už zaostává oproti stejně raným odrůdám. Má fialově kvetoucí,

středně vysoké rostliny s polovzpřímeným habitem. Stonek je žlutohnědě ochmýřený, HTS středně vysoká a barva semen žlutá.

Udržovatel: Prograin ZIA, s.r.o.

Zástupce v ČR: Prograin ZIA, s.r.o.

Registrace: 2009

TERTIA

Odrůda s nejvyšším výnosem z pokusů a zároveň druhou nejdelší vegetační dobou. Kvete fialově, má středně vysoké rostliny s polovzpřímeným habitem a žlutohnědě ochmýřeným stonkem. HTS středně vysoká, barva semene žlutá. Její další předností je vysoký obsah dusíkatých látek.

Udržovatel: Semences Prograin Inc., Kanada

Zástupce v ČR: Prograin ZIA, s.r.o.

Registrace: 2018

4.3 Biotické a abiotické faktory ovlivňující pěstování sóji

4.3.1 Abiotické

Abiotické faktory jsou všechny neživé aspekty, které působí na rostlinu. Abiotické faktory jsou tím hlavním, co ovlivňuje celkový konečný výnos námi pěstované sóji. My jim můžeme jen porozumět a snažit se s nimi seznámit a naložit tak, abychom maximalizovali průsečík ekonomické a ekologické části rostlinné produkce.

4.3.1.1 Sluneční záření

Sluneční záření hraje významnou roli v růstu a vývoji sóji. Nadměrné sluneční záření může vést k poškození rostlin a snížení výnosů. Naopak nedostatek slunečního záření může mít negativní dopad na fotosyntézu a růst rostlin. Výzkum ukázal, že optimální intenzita slunečního záření pro růst sóji by měla být v rozmezí 800 až 1200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Studie ukázaly, že intenzita slunečního záření měla vliv na fotosyntézu a výnosy sóji. Výsledky studie naznačují, že intenzita slunečního záření nad 1300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ může vést k poškození rostlin a snížení výnosů. Naopak, pokud intenzita slunečního záření klesne pod 800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, může to vést k omezení fotosyntézy a růstu rostlin (Mouritzinis et al. 2017).

Další ukázaly, že sluneční záření ovlivňuje nejen růst a vývoj sóji, ale také vývoj a obsah fytochemikálií v rostlinách. Výsledky ukázaly, že zvýšená intenzita slunečního záření vedla k výraznému nárůstu obsahu isoflavonoidů, které mají důležitý význam ve stravě pro člověka, v rostlinách sóji (Je et al. 2021.)

4.3.1.2 Teplo

Teplo je dalším klíčovým faktorem ovlivňujícím růst a vývoj porostu sóji. Teplo má významný vliv na metabolismus, transpiraci, fotosyntézu a vodní využití rostliny. Nicméně, při příliš vysokých teplotách může být růst a vývoj porostu sóji narušen a může dojít k poškození rostliny, což omezuje výnosy. Například, teploty nad 35 °C mohou způsobit značné zhoršení výnosů sóji. Nižší teploty v létě s maximy pod 20 °C mohou mít také negativní vliv na výnos. Výzkum také ukázal, že tepelný stres snižuje kvalitu semen a zvyšuje jejich náchylnost k chorobám. Proto je důležité zajistit optimální teplotní podmínky pro růst a vývoj porostu sóji, aby se dosáhlo maximálního výnosu a kvality (Prasad et al. 2019).

4.3.1.3 Atmosféra

Atmosféra má významný vliv na růst a vývoj porostu sóji. Konkrétně se jedná o obsah oxidu uhličitého, kyslíku, dusíku a dalších plynů v ovzduší. Vysoké koncentrace CO₂ v ovzduší mohou vést ke zvýšené fotosyntéze, růstu a výnosu porostu sóji. Zvýšení koncentrace CO₂ z 380 na 700 ppm může zvýšit výnos sóji až o 20 %. Dále se atmosféra podílí na přenosu plynů a vody mezi rostlinou a okolním prostředím. Při suchu může docházet k omezené transpiraci a při vysoké vlhkosti k omezené difúzi plynů. Proto je důležité sledovat a udržovat optimální podmínky v atmosféře pro růst a vývoj porostu sóji (Ainsworth & Long 2005).

4.3.1.4 Voda

Voda je nezbytným faktorem pro růst a vývoj porostu sóji. Nedostatek vody může vést k omezené fotosyntéze a růstu, snížení výnosů a kvality plodin, zatímco nadbytek vody může způsobit napadení chorobami a škůdci, jako je například padlí a hniloba kořenů. Podle studie publikované v časopise *Agronomy Journal* je kritická fáze nedostatku vody pro sóju během období květu a tvorby lusků. Nedostatek vody v této fázi může způsobit snížení množství semen, narušení kvality semen a celkově snížení výnosu (Daryanto et al. 2015).

Správné zavlažování je proto klíčové pro optimalizaci růstu a vývoje sójových plodin. Jedním z přístupů je použití zavlažování kapkovou technologií, která zvyšuje účinnost využití vody a snižuje ztráty vody způsobené odpařováním a odtékáním. Studie také ukázaly, že kombinace zavlažování a aplikace dusíkatých hnojiv zvyšuje produkci sójových plodin a výnosy (Shen et al. 2016).

4.3.1.5 Půda

Půda je dalším klíčovým faktorem ovlivňujícím růst a vývoj porostu sóji. Faktory jako pH půdy, obsah dusíku a fosforu, struktura a druh půdy a obsah organické hmoty ovlivňují produkci a kvalitu sójových plodin. Studie také ukázaly, že přidání hnojiv bohatých na dusík a fosfor může zlepšit růst a vývoj sójových rostlin. Půda může také ovlivnit množství a kvalitu proteinu v sójových plodinách. Podle studie publikované v časopise *Plant and Soil* může obsah dusíku v půdě ovlivnit množství a kvalitu proteinu v sójových zrnech. (Gao et al. 2018).

4.3.2 Biotické

Jsou to živé organismy, které ovlivňují nějakým způsobem jiné živé organismy. Samotné organismy se dělí na mikroorganismy (houby, bakterie, viry, hlístice) a makroorganismy (lidé, zvířata, hmyz, rostliny). Vliv těchto faktorů může být pozitivní (mutualismus, kooperace), neutrální nebo negativní (predace, konkurence) (Ojumu 2016).

4.3.2.1 Půdní organismy

Půdní organismy mají zásadní vliv na růst a kvalitu sóji. Mezi nejdůležitější půdní organismy se řadí bakterie, houby a další mikroorganismy, které mohou mít jak pozitivní, tak negativní vliv na růst rostliny.

Podle Zhang et al. (2019) symbiotické bakterie *Rhizobium* mají neopomenutelný vliv na růst a výnosy sóji. Tyto bakterie vytvářejí s rostlinou symbiotický vztah, při kterém zajišťují příjem dusíku z atmosféry a jeho fixaci v kořenech rostliny. Dalšími užitečnými bakteriemi jsou například bakterie z rodu *Bacillus*, které mohou zlepšit růst rostlin a zvýšit odolnost proti stresu.

Mezi negativními půdními organismy mohou být například různé druhy hub, které mohou napadat kořeny sóji a omezovat tak její růst a výnosy. Na druhou stranu některé druhy hub mohou být pro rostlinu užitečné, například druhy z rodu *Glomus*, které se vyskytují v kořenovém systému rostlin a zlepšují přístup rostlin k vodě a živinám. Mikroorganismy také hrají důležitou roli při získávání živin z půdy, jako jsou fosfor a dusík. Bakterie z rodu *Azospirillum* například mohou pomoci při zvyšování příjmu dusíku z půdy, zatímco další druhy mikroorganismů mohou pomoci při získávání fosforu (Zhu et al. 2020).

4.3.2.2 Škůdci

Škůdci jsou významnými faktory ovlivňujícími výnosy a kvalitu plodin. V případě sóji jsou nejčastějšími škůdci různí brouci, mšice, housenky a roztoči, kteří napadají různé části rostliny a mohou způsobit značné škody. Nejvýznamnějším škůdcem v podnebí České republiky je v posledních letech sviluška chmelová, která například v roce 2022 způsobila devastační škody porostů na Nymbursku. Dalším významným škůdcem je mšice rodu *Aphis*, která napadá listy a výhonky a může přenášet různé choroby. Výsledkem napadení mšicemi může být snížení výnosu a kvality semen (Studnicki et al. 2018).

Proti škůdcům se využívají různé metody, jako je chemická ochrana pomocí insekticidů, biologická ochrana pomocí přirozených nepřátel škůdců nebo použití odolných odrůd. V poslední době se uplatňuje také integrovaná ochrana, která kombinuje různé metody a umožňuje snížit použití chemických přípravků a zvýšit biologickou rozmanitost v polích. Vzhledem k významu sóji jako plodiny s vysokým obsahem bílkovin a oleje je důležité monitorovat škůdce a včasné zasahovat, aby se minimalizovaly jejich škodlivé účinky (Feráková et al. 2019).

4.3.2.3 Choroby

Při výsevu do neprohřáté půdy je pravděpodobné napadení klíčnicích semen a klíčících rostlin půdními patogeny z rodu *Pythium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*. Důraz je nutné klást na zdravotní stav osiva, doporučené je jeho moření. K patogenům přenosným osivem patří bakterie *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea*, *Xanthomonas campestris* pv. *glycines* a dále *Peronospora manshurica*, původce plísně sóji. Také je potřeba připomenout, že i sója patří k hostitelským rostlinám *Sclerotinia sclerotiorum* (původce bílé sklerociové hniloby – hlízenky).

Sója může být napadena i řadou patogenů, které způsobují listové skvrnitosti a až zasychání rostlin. V našich podmínkách se zatím nerozšířily, není nutné provádět cílenou ochranu proti jednotlivým chorobám sóji. V případě výskytu houbových chorob byl při projevu primárních příznaků zatím dostatečně účinný postřik fungicidy. Dnes se pro fungicidní ochranu používá například přípravek Amistar Gold s účinnými látkami Azoxystrobin a Difenokonazol, který je registrován na choroby: cerkosporová listová skvrnitost, antraknóza, purpurová skvrnitost sóje a hlízenka obecná (Kazda et al. 2010).

4.3.2.4 Plevelé

Plevelné spektrum v porostech sóji je podobné ostatním luskovinám. Základem je regulace plevelů v předplodinách. Hlavními problematickými plevely u sóji jsou hlavně vytrvalé – pcháč rolní a pýr plazivý. Vzhledem k tomu, že se sója seje nejdříve v druhé

půlce dubna, tak je plevel vhodně zahubit totálním herbicidem na bázi glyfosátu. Ten zničí spolehlivě jak jednoleté, tak vytrvalé plevely. Herbicidní efekt se projeví do 10 dnů (Kazda et al. 2010).

4.3.2.5 Člověk

Člověk má vliv na porosty sóji zejména prostřednictvím zemědělského hospodaření a výběru používaných agrotechnických postupů a pesticidů. Sója je běžně pěstována jako monokultura, což může vést ke snížení biodiverzity a vzniku rezistence u škůdců a patogenů. Dále může být vliv člověka negativní, pokud dochází k nesprávnému použití pesticidů, které mohou znečišťovat půdu a vodu a negativně ovlivňovat zdraví lidí a zvířat. Na druhou stranu může člověk pozitivně ovlivnit porosty sóji pomocí správného používání hnojiv, zavlažování a výběru vhodného osiva. Důležité je také monitorování škůdců a patogenů, a případně provádění opatření na jejich kontrolu (Tolasz 2015).

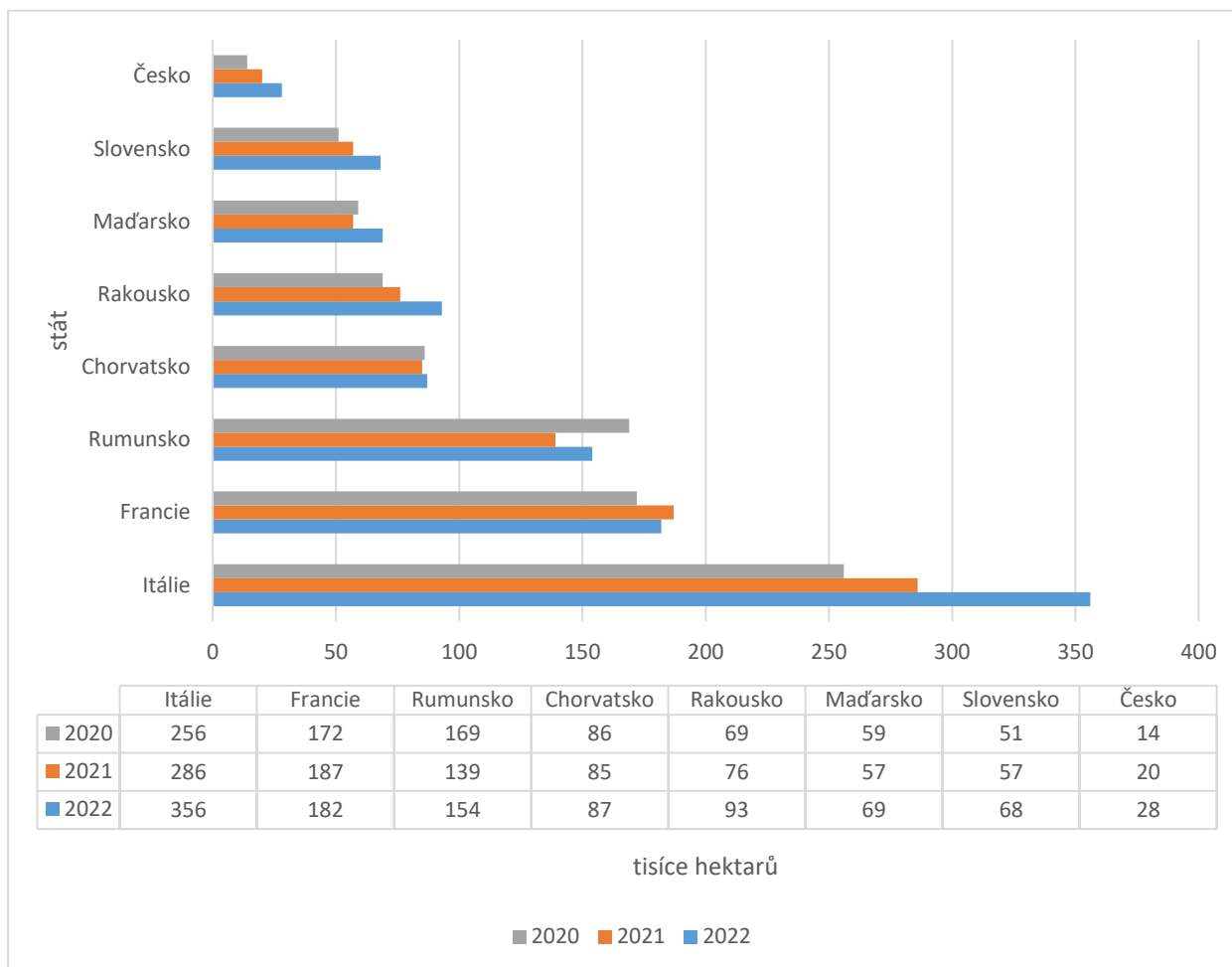
4.4 Sója v datech

Tabulka 6: produkce sóji ve světě (FAOSTAT 2023).

Stát	Plocha (mil. ha)		Celková produkce (mil. t)		Výnos (t/ha)	
	2015	2021	2015	2021	2015	2021
Brazílie	32,2	39,2	97,5	133,28	3,0	3,4
USA	33,4	34,9	106,9	122,15	3,2	3,5
Argentina	19,2	16,5	61,5	46,2	3,2	2,8
Čína	6,6	8,4	11,8	16,8	1,8	2
Paraguay	3,6	3,6	8,9	10,44	2,5	2,9
Indie	12,1	12,1	8,5	12,1	0,7	1
Evropská unie	0,92	0,94	2,4	2,726	2,6	2,9
Zbytek světa	13,3	13,86	19,1	27,969	1,4	2,017965
Celkem/průměr	121,32	129,5	316,6	371,665	2,6	2,87

V tabulce 6 lze vidět produkci sóji ve světě. Porovnány jsou 2 roky: 2015 a 2021. Za toto období nastala změna na postu největšího pěstitele na světě. Dřívější lídr, Spojené státy americké, byl vystřídán Brazílií. Nárůst ploch v Brazílii je přímo spojený s kácením tropických deštných pralesů v Amazonii. Na těchto úrodných plochách je často pěstována sója (Revkin 2014). Důkaz, že jsou tyto plochy úrodné, můžeme hledat ve vysokém výnosu, který dosahuje téměř 3,5 tuny z hektaru. Druhým největším producentem sóji jsou již zmíněné Spojené státy americké. Plochy zde během šesti let vzrostly o 1,5 milionu hektarů a výnos o 0,3 t/ha. Naopak Argentina je jedinou zemí na světě, kde výnos i plocha klesly. I přes tento fakt si drží suverénní náskok nad 4. Čínou. Sedmým největším producentem je Evropská unie, jejíž produkce kontinuálně stoupá.

Výnosy jsou zde oproti USA nebo Brazílii nižší, důvodem je nepoužívání GMO odrůd nebo přísnější omezení v oblasti ochrany rostlin.



Graf 2: osevň plochy sóji v EU (FAOSTAT 2023).

V grafu 2 lze vidět 7 největších pěstitelů sóji v Evropské unii v porovnání s Českou republikou. Dlouhodobým suverénem je Itálie, která pěstuje více než třetinu evropské sóji. Sója je ideální plodinou do pádské nížiny, kde ji pěstuje velké množství zemědělců. Oproti roku 2020 lze pozorovat během 2 let ohromný nárůst o přibližně 100 000 ha. Výraznější nárůst v plochách sóji nenastal ve Francii, která se v posledních 3 letech pohybovala kolem 180 tisíc hektarů. Třetí největší pěstitel sóji v EU, Rumunsko, zaznamenal výrazný pokles mezi roky 2020 a 2021, který byl ale místním trhem opět korigován v roce 2022. Nejstabilnějším státem, co se do plochy sóji týče, je čtvrté Chorvatsko. U obou našich sousedů, Rakouska a Slovenska, lze pozorovat, že i zde je sója velmi perspektivní plodinou na vzestupu, protože výměry zde konstantně rostou. Všechny výše zmíněné státy jsou jižně od České republiky, což dává předpoklad tomu, že se sóje bude v ČR dařit i při oteplování klimatu.

Tabulka 7: dovoz a vývoz sóji v ČR (Šindelková 2020).

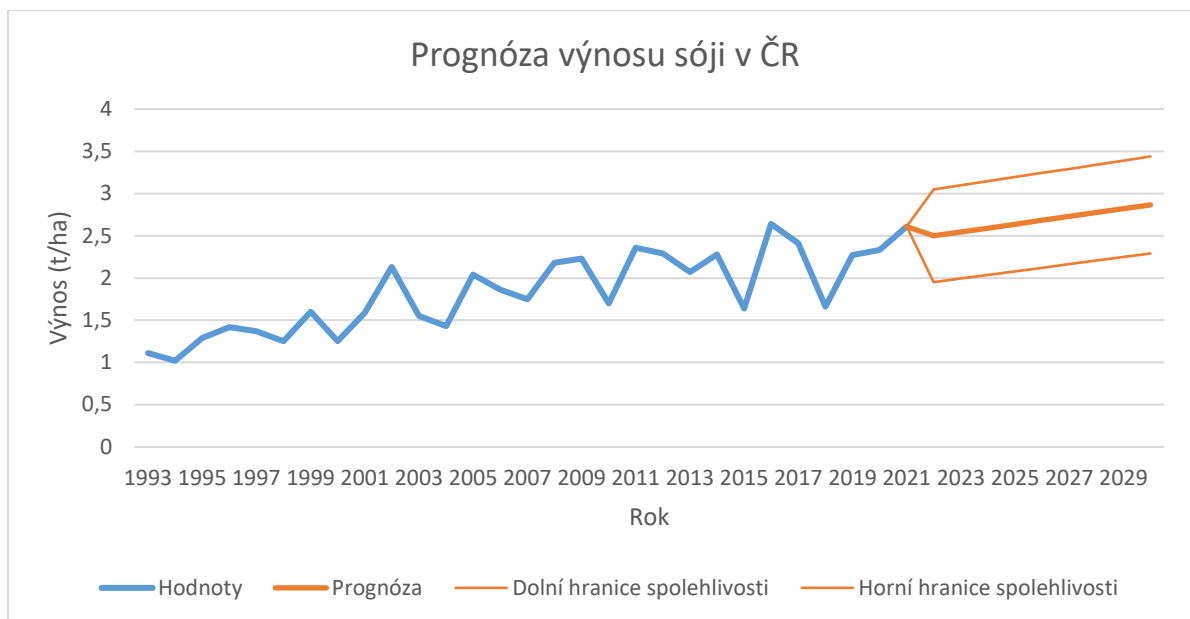
Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Dovoz (t)	36901	34766	20422	18168	16680	17175	23198	15923
Kč/t	11520	11317	10348	9784	10043	9950	9170	10350
Dovoz (mil. Kč)	425,100	393,447	211,327	177,756	167,517	170,891	212,726	164,803
Vývoz (t)	1707	5551	3993	4890	6386	3848	4400	7036
Kč/t	13442	13046	12487	11460	11122	11835	14830	10460
Vývoz (mil. Kč)	22,945	72,418	49,861	56,039	71,025	45,541	65,252	73,597

V tabulce 7 je dokázána nesoběstačnost České republiky v otázce soběstačnosti při spotřebě sóji. Během sledovaných 8 let došlo k výraznému poklesu dovozu, a naopak nárůstu vývozu. Je to důkaz faktu, že Česká republika se stává více soběstačnou, ale její závislost na dovozu bude ještě pár let trvat.

Tabulka 8: osevní plocha v ČR (CZSO 2023).

Česká republika	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Osevní plocha (tis. ha)	2 457	2 464	2 472	2 461	2 462	2 462	2 453	2 456
Výměra luskovin (ha)	45450	46241	58201	50383	46006	51447	43 080	45 634
Výměra sóji (ha)	12311	10608	15344	15230	12240	14145	19679	28538
Výnos sóji (t/ha)	1,64	2,64	2,41	1,66	2,27	2,33	2,61	N

V tabulce 8 je znázorněn vývoj osevní plochy v ČR a zdůrazněné zastoupení sóji a ostatních luskovin. V porovnání s rokem 2015, bylo v roce 2022 oseto přibližně stejné množství ploch. Výměra ostatních luskovin, kde není sója započtena, se během 8 let taktéž téměř nezměnila. Velkou změnu ve výměře zaznamenává právě sója, kdy její výměra stoupla více než dvojnásobně. Jak lze vidět v grafu 3, stoupající trend zaznamenávají také výnosy a podle prognózy by tento trend měl být zachován. Díky zlepšující se agrotechnice, novým odrůdám, vyvíjejícímu se klimatu a zdokonalené sklizně došlo k navýšení výnosu od roku 1993 o více než 1 t/ha. Prognóza predikuje, že by se výnos mohl blížit 3 t/ha kolem roku 2030.



Graf 3: prognóza výnosu sóji v ČR (CZSO 2023).

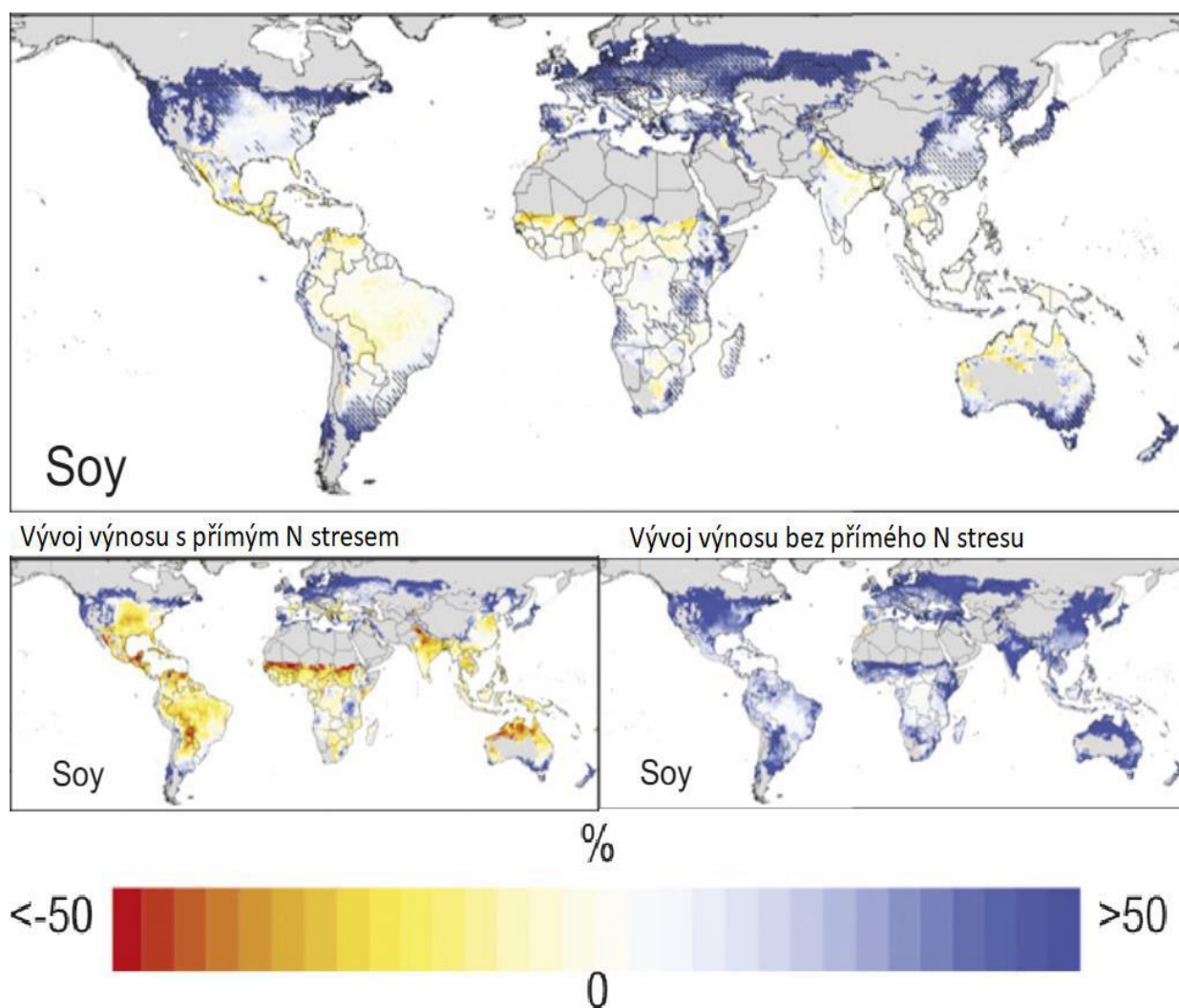
4.5 Sója a klima

Obsáhlý výzkum, který provedla Rosenzweig et al. (2014) ukazuje, že v rozvojových zemích do roku 2080 poklesne produkce zemědělských komodit o 10–15 % na hektar. Při pohledu do Evropy se například u pšenice předpokládá, že u 13 ze 14 stanovišť dojde k poklesu tvorby biomasy, což vyústí v nižší výnosy. Jedinou výjimkou v evropském zemědělství budou severské země, kde vlivem oteplení dojde ke zvýšení potenciálu produktivity. Otázkou v těchto oblastech zůstává nedostatečná kvalita půdy.

Negativní výsledek přináší i aplikování pozorovaných klimatických trendů na výnosy hlavních plodin (Potopová et al. 2018). Klimatické trendy negativně ovlivnily výnosy u 79 % regionů pěstujících pšenici, 70 % regionů pěstujících kukuřici, 67 % regionů pěstujících sóju a 53 % regionů pěstujících rýži. Roční produkce plodin byla ovlivněna variabilitou klimatu z 41 % (0,8 t/ha/rok) u kukuřice, 32 % (0,1 t/ha/rok) u rýže, 36 % (0,3 t/ha/rok) u pšenice a 43 % (0,5 t/ha/rok) u sóji. V Evropě výnosy vzrostly o 25-40 %, ale v posledních dekáдах je jasně vidět pokles růstu a stagnace výnosu i přes velké pokroky v oblasti šlechtění odrůd (Potopová et al. 2020).

V modelu, kdy svět bude mít průměrně o 1,5 °C více se předpokládá, že se výnosy sóji zlepší ve velké části východní Evropy a severozápadní Asie a mírně se sníží ve vnitrozemí Severní Ameriky a v rovníkových částech Jižní Ameriky a východní Asie. U sóji může být adaptace (včetně posunutí výsadby do časnějšího období a změny odrůd) na změny teplot účinná při rozdílů teplot do 4 °C. Na obrázku 4 lze vidět medián změn výnosů (%) v období 2070-2099 včetně porovnání s referenčním obdobím 1981-2010 se započteným přímým vlivem CO₂ (5 klimatických modelů × 20 růstových modelů).

Mnoho regionů po celém světě počítá s tím, že v rámci klimatického scénáře, ve kterém jsou zahrnuty výnosy plodin, dojde ke snížení výnosů právě v důsledku klimatických změn. Například sucho v USA v roce 2012 vedlo ke snížení výnosů kukuřice nárazově o 25 % (což ve srovnání s některými modely do budoucna není zásadně velké číslo, protože v některých oblastech může dojít k výraznější změně klimatu). V tomto roce vývoz kukuřice v USA klesl o 46 %. Regiony s vyšší zeměpisnou šířkou budou mít v budoucnosti o dost vhodnější postavení než nyní, ovšem oblasti, kde se některé plodiny pěstují teď, mohou být touto dobou nevhodné pro pěstování plodin. Navíc je potřeba vést výzkumy ohledně toho, zda v oblastech s vyšší zeměpisnou šířkou bude možné pěstovat plodiny, které se nyní pěstují v teplejších oblastech. Klíčové bude zjištění, jestli je kvalita půdy dostatečná pro udržitelnou zemědělskou produkci v těchto lokalitách (Rosenzweig et al. 2014).



Obrázek 4: medián změn výnosů dle scénáře s kontinuálním nárůstem CO₂ v atmosféře (Rosenzweig et al. 2014).

4.5.1 Sója v evropském klimatu

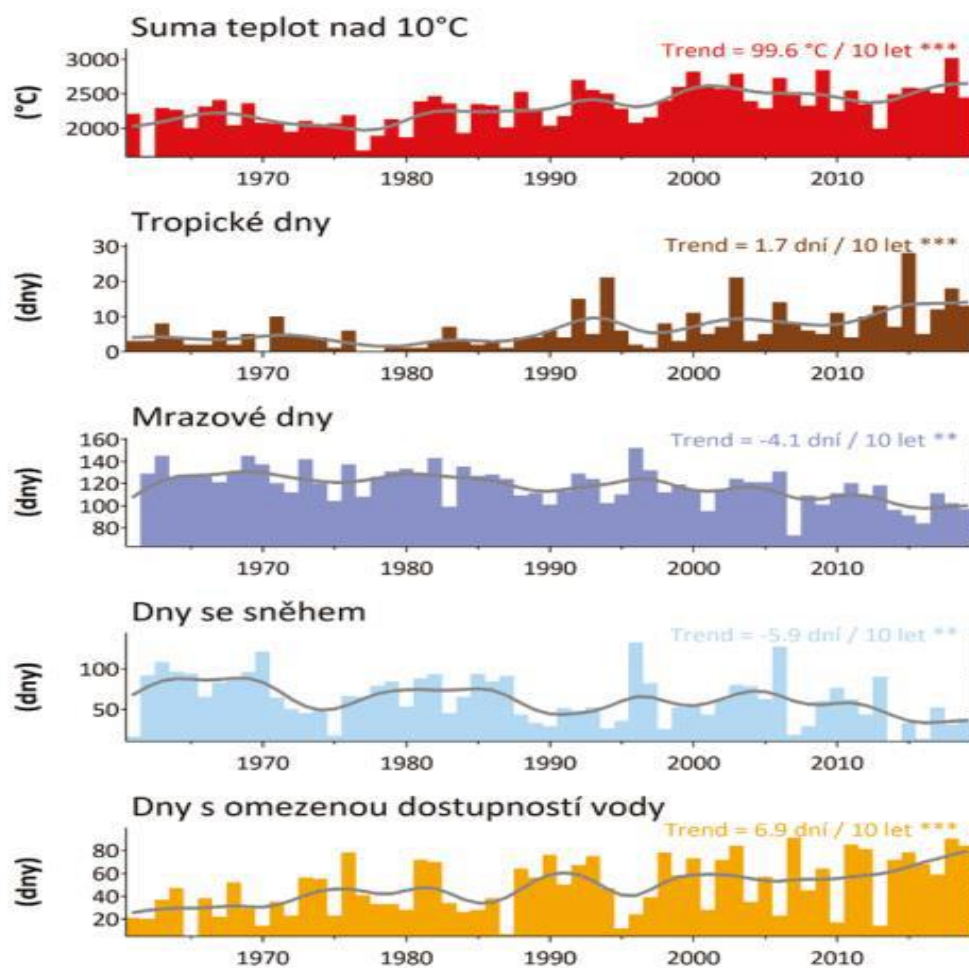
Evropská unie dovezla ročně v průměru 14 milionů tun sójových bobů a 18 milionů tun sójových koláčů (fermentovaný sójový koláč vyrobený s kulturou *Rhizopus oligoporus* z vařených sójových bobů a zrn, nejčastěji prosa nebo kukuřice) v období 5 let (mezi roky 2015-2019). 16 milionů tun pocházelo z jiných kontinentů než z Evropy. Ve stejné době vypěstovala EU průměrně 2,7 milionů tun sóji za rok, zatímco evropské země mimo EU vyprodukovaly dalších 8,4 mil. tun (Eurostat 2021).

V Evropě existuje mnoho tržních příležitostí pro sójové boby, a právě vysoká poptávka po sójovém proteinu je důležitým důvodem pro rozšíření pěstování sóji. Evropská soběstačnost v oblasti pěstování sóji by vyžadovala, aby 9–12 % všech ploch bylo oseto právě touto plodinou (Guilpart et al. 2020).

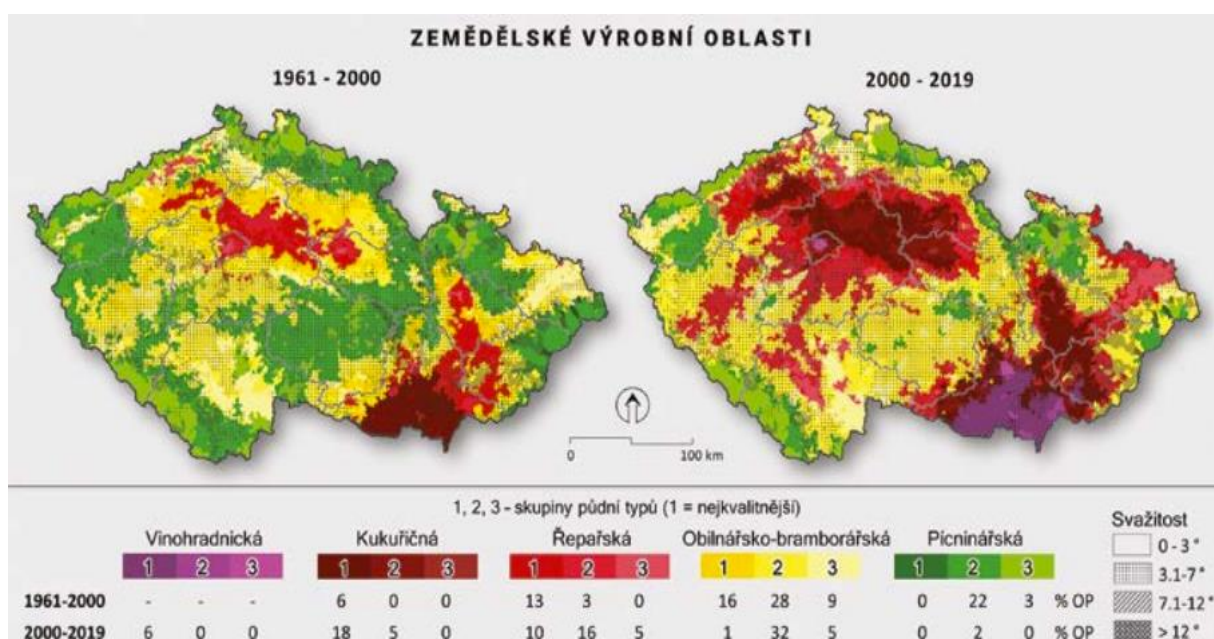
Klimatické podmínky pro pěstování sóji ve střední a severní Evropě jsou podobné jako například v Kanadě. Limitujícími faktory jsou kultivárně specifické požadavky na délku dne pro kvetení spolu s teplotou a srážkami, zejména v době klíčení a kvetení (Gaweda et al. 2020).

4.5.2 Vývoj agroklimatických podmínek v ČR

Trnka et al. (2021) vyhotovil rozsáhlý výzkum, který sleduje různé agroklimatické parametry v České republice v období šedesáti let. Na obrázku 5 lze vidět všechny sledované hodnoty ve studii. Již první graf dokazuje trend vzrůstající teploty, kdy každých 10 let dochází ke zvýšení sumy teplot ve vegetačním období téměř o 100 °C. Druhý, hnědý graf, je víceméně doplněním toho prvního. Je zde dokumentován nárůst počtu tropických dní. Trend této hodnoty je nárůst 1,7 dní za 10 let. Zároveň lze vidět, že do roku 1990 byl počet tropických víceméně stabilní a až od devadesátých let začal výrazněji stoupat, trend od tohoto období je tedy vyšší. Třetí a čtvrtý graf se týkají zimy. U obou grafů lze pozorovat negativní trend. U mrazových dní, které jsou definovány jako dny, kdy minimální teplota klesne pod bod mrazu lze vidět úbytek o průměrně 4 za 10 let. U dní se sněhem je trend ještě výraznější. Zatímco v sedmdesátých let bylo pravidelně pozorováno až 100 dní se sněhovou pokrývkou, v současném desetiletí jsou hodnoty pod 50. Poslední, žlutý graf znázorňuje dny, kdy je nedostatek vody pro rostliny. U tohoto ukazatele je také vidět negativní trend ve vztahu k rostlině, kdy dochází k jejich konstantnímu nárůstu s trendem 7 dní za 10 let.



Obrázek 5: mediánové hodnoty vybraných agroklimatologických charakteristik pro ornou půdu v České republice v období 1961-2019 (Trnka et al. 2021).



Obrázek 6: nové členění zemědělských výrobních oblastí (Trnka et al. 2021).

Zemědělské výrobní oblasti představují rajonizaci území České republiky podle půdně klimatických podmínek pro zemědělskou výrobu a z toho plynoucího výrobního zaměření rostlinné produkce. Na obrázku 6 lze pozorovat, že dochází k jejich proměně směrem do teplejších sfér. Znázorněný graf ukazuje, že v rozmezí let 1961-2000 byla na čtvrtině orné půdy pícninářská výrobní oblast, dnes je tato oblast jen na 2 % orné půdy. Většina těchto ploch se přesunula do obilnářsko-bramborářské oblasti. Ani to ale nestačilo, aby v této oblasti nastal nárůst na celkovém podílu. Z původních 53 % je nyní v obilnářsko-bramborářské oblasti 38 % orné půdy. Kde už lze pozorovat nárůst na procentuální výměře orné půdy, tak je oblast řepařská. Zejména v oblasti Polabí a povodí Odry. Ze šestnácti procent v minulém tisíciletí je momentálních 31 % výměry orné půdy. Zřejmá je i změna v procentuální výměře kukuřičné výrobní oblasti, kdy největší příbytky jsou v částech Polabí a Hornomoravského úvalu. Fenomémem je vznik úplně nové výrobní oblasti, která je označena jako vinohradnická. Ta si bere výměry původní kukuřičné oblasti a v momentálním členění zabírá zhruba 6 % výměry orné půdy. Oblast se nachází na jižní Moravě. Existence vinohradnické oblasti dokazuje, že vzhledem k oteplování klimatu v České republice bude potřeba se adaptovat i prostřednictvím osevních postupů, kam se zařadí teplomilnější plodiny (např. čirok, proso, slunečnice nebo právě sója). Sója je ideální plodinou pro nově vznikající podniky, a to dokazuje i fakt, že její podíl mezi plodinami stoupá (Trnka et al. 2021).

4.6 Růstové modely

Růstové modely jsou počítačové software, které se zabývají vývojem, výnosem a růstem plodin. Tyto modely fungují pomocí složitých algoritmů a vzájemného propojení. Každý růstový model simuluje procesy, které probíhají v atmosféře, rostlinách a půdě, a všechny jsou číselně vyjádřeny. Tyto modely zahrnují měřitelné procesy, jako jsou hydrologické, pedologické a chemické procesy, které jsou závislé na klimatických podmínkách. Růstové modely jsou tedy zjednodušeným pohledem na realitu.

Historicky se růstové modely začaly používat v 60. letech dvacátého století. Vývoj těchto modelů je velmi složitý proces, který zahrnuje zlepšování výpočetní techniky a sběr informací od vědců ze všech oborů. Tyto informace se musí složitým procesem převést do číselných hodnot a musí být dodržen přísný řád a systém. První významnou osobou, která se zabývala vytvářením růstových modelů, byl profesor de Witte v Nizozemí. Druhá skupina vědců, kteří se zabývali vývojem růstových modelů, se nacházela na univerzitách v USA. Díky neustálému vývoji techniky a získávání nových poznatků jsou dnes všechny růstové modely dokonalejší. (Pohanková 2016).

Jako nástroj pro plánování řízených ekosystémů dnes slouží několik různých růstových modelů, které z hlediska technologických a biologických aspektů udržitelnosti nabízejí široké možnosti využití. (Challinor et al. 2009).

Růstové modely slouží jako nástroj pro pomoc při operativních, strategických a rozhodovacích procesech v zemědělství. Tyto modely se snaží simulovat důsledky změn klimatu na celkové fungování rostliny, včetně výměny látek mezi plodinou a prostředím. V praxi se poté využívají například pro aplikaci závlah, optimálního množství živin vzhledem k termínu, predikci výnosů do budoucna a vytváření výnosových map. Díky svým vlastnostem jsou také ideální pro plánování dlouhodobých i krátkodobých investic v zemědělství. (Haberle et al. 2008).

Růstové modely lze dělit do tří základních skupin (Havlinka et al. 2015):

1. Minimalistické modely

Modely první skupiny jsou založeny na empirickém přístupu a vyžadují velké množství vstupních dat. Tyto modely provádějí složité výpočty, které kombinují velké množství dat a tvoří relativně komplexní systém. Dokážou poměrně podrobně odhadnout optimální úroveň a rozsah vnějších podmínek. Tyto modely jsou omezeně přenositelné mezi prostředími.

2. Prosté regresní modely

Druhá skupina modelů se skládá ze základních modelů, které byly vytvořeny v počátečních fázích vývoje s cílem najít vazby mezi podmínkami prostředí a požadovanými charakteristikami. Tyto modely poskytují pouze základní data, která odhalují limitující a optimální hodnoty konkrétních parametrů. Oproti první skupině jsou méně komplexní a využívají omezené množství dat. Tyto modely jsou pevně fixovány na dané podmínky, v nichž byly vytvořeny, a jsou nepřenositelné na jiná prostředí.

3. Dynamické modely

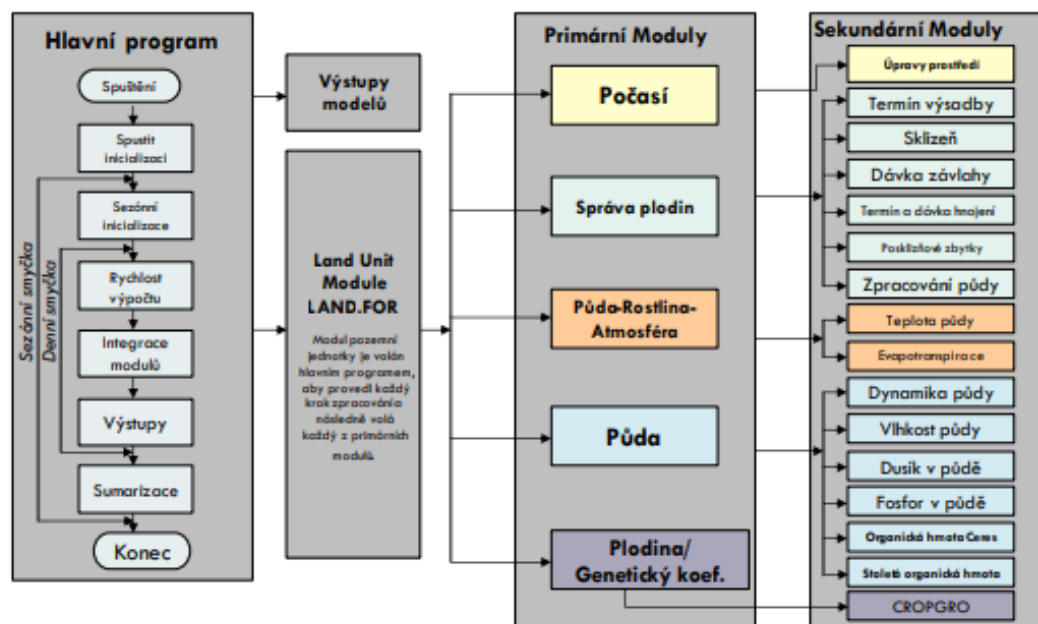
Nejdokonalejší jsou dynamické modely, které se vyznačují pokusem o zahrnutí hlavních složek atmosféra-rostlina-půda. V porovnání s ostatními modely mají nejvyšší nároky na množství vstupních dat. Díky velkému vzorku jsou schopny simulovat realitu na funkčním základu v přiměřené časové posloupnosti. Jejich výhodou je adaptabilita a přenositelnost mezi prostředími, avšak důležitou záležitostí je kalibrace a následná validace. Složitost nastavení a celková znalost softwaru je však komplikací těchto modelů.

Před aplikací růstových modelů je nutné provést několik důležitých kroků. Prvním z nich je adaptace na místní podmínky, tedy kalibrace a validace na základě reálných naměřených a pozorovaných dat. Po této úpravě jsou růstové modely používány k posouzení dopadů změn klimatu v daném prostředí, a to podle různých scénářů vývoje klimatických podmínek. (Kollas et al. 2015).

V posledních letech se trendem stává použití celého ansámblu, tedy sady růstových modelů, aby se dosáhlo co nejpřesnějších výsledků. Tento přístup umožňuje nejen

hodnotit kvalitu předpovědí jednotlivých modelů, ale také poskytuje jasnější představu o shodě mezi jednotlivými modely. (Palosuo et al. 2011).

Kromě modelování růstu a vývoje jednotlivých plodin se růstové modely také používají k modelování víceletých osevních postupů. V posledních letech se zlepšují simulace půdních procesů, což umožňuje komplexnější odhady dopadů změny klimatu. (Palosuo et al. 2011).



Obrázek 7: komponenty a modulární struktura růstových modelů (Potopová et al. 2023).

5 Metodika

5.1 Regresní modely

Byly vypracovány na základě dat z Českého hydrometeorologického ústavu (<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>). Vyhledávání dat bylo zvoleno přes přehled vývoje „územních teplot“ (průměrné teploty na území, které jsou vztaženy k průměrné nadmořské výšce) a „územních srážek“ (průměrný úhrn srážek na území). Tato data jsou k získání v sekci „historická data.“ V Excelu pak bylo vytvořeno několik tabulek pro tyto hodnoty pro celou ČR a vybrané kraje. Potřebnou veličinou, pro získání regresních modelů byl výnos sóji v jednotlivých krajích. Tato data jsou dostupná od roku 2002 pro kraje a od roku 1993 pro celou Českou republiku na webu Českého statistického úřadu (https://www.czso.cz/csu/czso/zemedelstvi_zem). Pro každý kraj byla získána pouze data z měsíců, která odpovídají vegetačnímu období sóji (květen, červen, červenec, srpen, září, říjen). Vybrány byly pouze kraje, kde dochází

k pěstování sóji na výměře vyšší než 500 ha (k roku 2021). Těmito kraji jsou Středočeský, Jihočeský, Královéhradecký, Pardubický, Olomoucký, Jihomoravský, Zlínský a Moravskoslezský. List v Excelu byl situovaný tak, že v prvním sloupci se nacházely roky, v druhém výnosy a v následujících 10 sloupcích průměrné teploty a srážky v daných měsících. V druhé fázi byla data zanalyzována přes horní lištu Excelu a funkcí „analýza dat.“ U dat byla provedena korelace.

Korelační koeficient je tedy vyjádřením těsnosti vazby mezi odchylkami výnosu a odchylkami územních teplot vzduchu a úhrnem srážek. V praxi to znamená, že pokud korelační analýza nabývá kladných hodnot, je vliv v daném měsíci pozitivní. Naopak pokud je hodnota r záporná, vliv ve vybraném měsíci je negativní. Hodnoty r se pohybují od -1 do $+1$.

Klasifikace této korelace je následná:

- slabá (0,1-0,3)
- střední (0,3-0,6)
- silná (0,6-0,8)
- velmi silná (větší než 0,9)

Lineární regresní rovnice byla použita i pro závislost výnosu na teplotách a úhrnu srážek (rovnice 1 a 2).

$$Y_d = a + b * t \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (\text{rov.1})$$

$$Y_d = a + b * P \text{ (mm)} \quad (\text{rov.2})$$

Kdy (a) vyjadřuje konstantu, tato hodnota je spíše hypotetická, znamená vertikální posun přímky při nulové hodnotě vstupního parametru. Šikmost, tudíž (b) vyjadřuje, zda jsou hodnoty rozloženy okolo průměru symetricky.

5.2 Predikce výnosu a odchylky výnosu od trendu

Další část v excelu byla věnována odchylkám výnosu od jeho trendu v jednotlivých krajích. Na horní liště v programu excel se zvolila „data“ a následně „analýza dat.“ Následně byla v tabulce vybrána „regrese“ a objevila se tabulka, kde se muselo do vstupní oblasti Y vybrat data výnosů, do vstupní oblasti X sledované roky. Možnost výstupu se dal nový list a rezidua se zaškrtl graf s rezidui. Po potvrzení se vytvořila data a příslušný graf. Následovala úprava grafu, který se přejmenoval pro lepší orientaci na „Odchylky výnosu od lineárního trendu (určitého kraje)“, dále se vložily a popsaly osy grafu a barevně se označily body. Červeně se označily záporné hodnoty odchylky výnosu od lineárního trendu a zeleně se naopak značily hodnoty kladné.

U každého kraje byla následně vytvořena prognóza výnosu. Do nového listu v Excelu bylo nutné vložit roky a k nim vázané výnosy v jednotlivých krajích. Otevřelo se okno, ve

kterém bylo třeba přes možnosti upravit data. Nejprve se zvolil rozsah časové osy, to znamená označení roků 2002-2020, dále rozsah hodnot, tedy výnosy v daných letech. Následně byl zvolen začátek prognózy 2022 a konec prognózy na rok 2023. V posledním bodě se muselo zaškrtnout zahrnutí statistiky prognózy a vytvořila se tabulka s predikovanými hodnotami a graf. Hodnoty v jednotlivých rocích prognózy se zprůměrovaly u predikovaného výnosu, dolní hranice spolehlivosti i horní hranice spolehlivosti. Tato 3 čísla z jednotlivých krajů byla následně vložena do samostatné tabulky, ze které byl vytvořen složený graf.

5.3 DSSAT – SOYGRO V4.2

DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) je softwareový nástroj, který slouží k modelování a simulaci růstu plodin a úrovní výnosů na zemědělských polích. Byl vyvinut na počátku 80. let v rámci spolupráce mezi US Department of Agriculture (USDA) a University of Georgia v USA. Historie DSSATu sahá do 70. let, kdy byly zahájeny první výzkumné projekty na modelování růstu rostlin a vývoj příslušného softwaru. V roce 1983 byl vydán první prototyp DSSATu, který obsahoval modely pro základní plodiny jako je kukuřice a bavlník. V následujících letech byl DSSAT rozšiřován o další plodiny a modely pro různé podmínky prostředí. V roce 1990 byl DSSAT vydán jako open-source software, což umožnilo další rozšíření a vývoj komunity uživatelů. DSSAT se stal populárním nástrojem pro výzkumníky a agronomy, kteří používají modelování a simulace pro testování nových technologií, stanovení optimálních hnojiv a správných postupů pro využití půdy. DSSAT umožňuje uživatelům vytvářet a testovat různé scénáře a predikovat výsledky pro různé klimatické podmínky a typy půdy. V současnosti je DSSAT stále aktivně vyvíjen a aktualizován, aby reflektoval nejnovější výzkum a poznatky o růstu rostlin a vlivu změny klimatu na zemědělství. DSSAT se stal nezbytným nástrojem pro udržitelné zemědělství a zvyšování výnosů plodin na celém světě.

Systém je schopen pracovat s velkým množstvím dat, jako jsou meteorologická data, vstupní data o půdě a plodinách, aplikace hnojiv a pesticidů a další. DSSAT se také snadno integruje s jinými softwary a nástroji, jako jsou geografické informační systémy (GIS), databáze a další. DSSAT je otevřený software a jeho zdrojový kód je k dispozici ke stažení na oficiálních stránkách projektu. Tento fakt umožňuje výzkumníkům a vývojářům přispívat k vývoji systému a jeho rozšiřování o nové modely a funkce. DSSAT má široké uplatnění v celém světě, a to zejména v zemědělských zemích, jako je například Indie, kde se používá k optimalizaci využívání půdy a zvýšení výnosů plodin. (Jones et al. 2003).

Modul CROPGRO pro sóju vychází z modelu SOYGRO V4.2, ale oproti původní verzi byl podstatně upraven. Růst je řízen modelem záchytu světla v porostu v kombinaci s modelem fotosyntézy v měřítku listů založeným na Farquharově přístupu k simulaci reakce na CO₂. Vegetativní a reprodukční vývoj je řízen teplotou a fotoperiodou

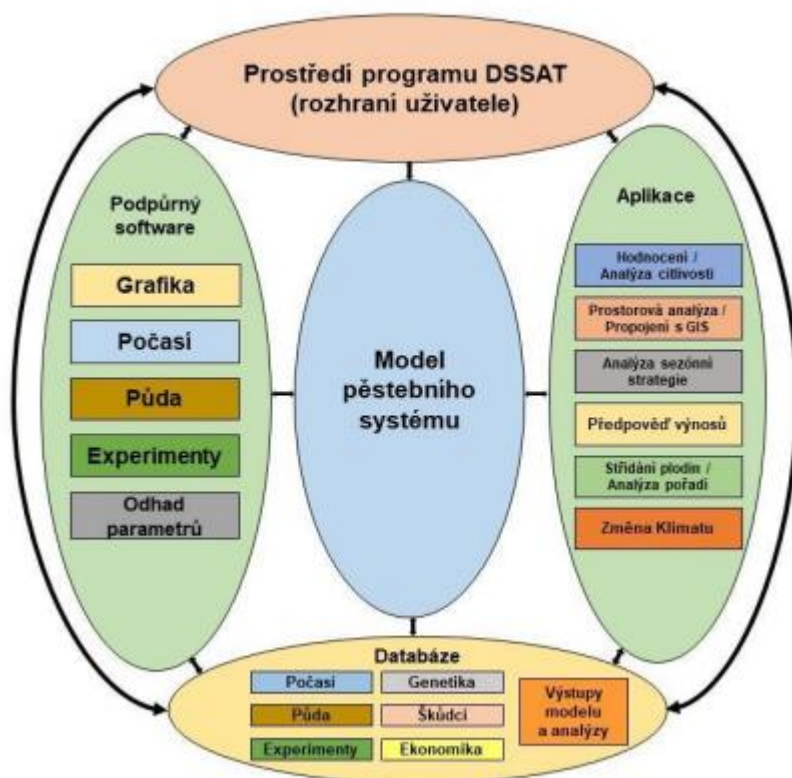
vypočítanou v hodinových intervalech. Genetické koeficienty pro reprodukční vývoj jsou dobře parametrizovány pro celý rozsah skupin zralosti sóji od 00 do X (Grimm et al. 1993).

Model vyžaduje vstupní údaje o způsobech hospodaření, podmínkách prostředí a odrůdově specifických znacích (genetické koeficienty) pro předpověď denního růstu a vývoje. Druhový soubor popisuje vlastnosti, které se předpokládají jako konstantní napříč odrůdami, jako je složení tkání, rozdělení a citlivost procesů na teplotu, světlo, deficit vody v rostlině a nedostatek N v rostlině. Požadované údaje o ekotypu a kultivaru zahrnují délky vývojových fází, vegetativní znaky, znaky listů, referenční velikost semen a složení semen (Boote et al. 2001).

Jako procesně orientovaný model lze CSM-CROPGRO-Soybean použít ke studiu reakce sóji na hospodaření, střídání plodin, podmínky prostředí a reakci odrůd, včetně genetického výnosového potenciálu. To zahrnuje příčiny prostorové variability výnosů, aplikace dálkového průzkumu Země a potenciální dopady klimatických změn (Bao et al. 2015).

DSSAT, CSM-CROPGRO-Soybean model rozlišuje následující typy souborů (Potopová et al. 2023):

- Soubory managementu plodin (nakládání s posklizňovými zbytky, setí, zavlažování, hnojení, organická hmota, obdělávání půdy, sklizeň).
- Soubory počasí (denní úhrn srážek, sluneční záření, maximální a minimální teploty).
- Soubory půdy (fyzikální a chemické vlastnosti podle vrstvy).
- Soubory specifického genotypu plodin (specifika pro odrůdu, parametry ovlivňující růst a vývoj).
- Soubory pozorovaných dat (souhrny a časové řady pozorování)
- Soubory škůdců
- Ekonomické soubory



Obrázek 8: prostředí programu DSSAT (Potopová et al. 2023).

Důležitou vlastností programu DSSAT je předpověď výnosu v sezóně. Důvodů pro používání této funkce je několik. Zemědělství s sebou nese riziko v proměnlivosti počasí, kolísavosti cen, ohniscích škůdců či změně politické situace. Zároveň je tato nejistota vykoupena vysokými náklady a zvyšující se variabilitou klimatu. Jednoduchý statistický model je sestaven pomocí matice s historickými výnosy a několika agrometeorologickými parametry (např. teplota a srážky). Poté se odvodí regresní rovnice výnosu jako funkce jednoho nebo několika agrometeorologických parametrů. Dalším typ předpovědi výnosu je na základě dálkového průzkumu pomocí družic a měřených meteorologických pozorování na zemi. Zde se používá lineární regresní model pro výnosy na základě snímků NDVI. Následujícím typem předpovědi výnosu jsou modely plodin, které předpovídají výnos v závislosti na denních meteorologických údajích, řízení plodin a genetice. Jsou flexibilní, protože je lze použít v prostoru a čase a mohou být rychle aktualizovány, jakmile jsou k dispozici údaje o počasí (Potopová et al. 2023).

Experimentální data (viz tabulka 9) jsou shromážděna ze stanice Mochov ve středních Čechách. Pro model je potřebný komplexní soubor dat. Popisky dat jsou v angličtině z důvodu správné funkce modelu. Rok 2016 byl zvolen, kvůli nejkompatnějšímu obsahu získaných dat.

Vstupní data do CSM-CROPGRO-Soybean modelu byly pro lokalitu Mochov:

- Modul počasí: denní úhrn srážek, globální sluneční záření, maximální a minimální teploty
- Půdní modul: fyzikální a chemické vlastnosti půdy
- Management plodin: základní údaje k vedení porostu (viz tabulka 9)

Tabulka 9: soubor managementu DSSAT.

VARIABLE (Soybean)	2016
	Mochov
Measurement date (soil & other)	16/03/16
Starting date (Sim.)	27/03/16
Planting date	20/04/16
Emergence day	24/04/16
Leaf area index, maximum	6.01
Harvest date	08/10/16
Seed harvest (kg [dm] ha ⁻¹)	2450
Row spacing (tentative) (cm)	60-75
Dir-North	90
Planting depth (cm)	2
Description	CZMO2016

Tabulka 9 obsahuje data: měření, začátku simulace modelu, setí a klíčení. Následuje hodnota maximálního LAI (pokryvnost listovím) a datum sklizně. Dalším potřebným údajem je výnos, vzdálenost mezi řádky a hloubka setí. Model kvůli sběru dat vyžaduje dřívější datum začátku experimentu, z toho důvodu začíná už v březnu, i přes to, že sója je setá koncem dubna. Začátek simulace modelu je 16.3. z důvodu rozborů fyzikálních achemických vlastností půdy. Po odběrech půdy, nastává 27.3. spuštění modelu (analýza meteorologických a půdních podmínek před setím). 20.4. proběhlo setí sóji a za 4 dny proběhla fáze klíčení. Hloubka setí byla 2 cm, vzdálenost mezi řádky byla 60-75 cm. Během vegetace proběhlo měření listové plochy, kdy její maximální hodnota dosáhla 6,01 m².m². Sklizeň proběhla 8.10. a výnos byl stanoven na 2,45 t/ha netto.

Model DSSAT počítá se scénářem klimatu v tabulkách 10 a 11. Pro tuto práci byl použit scénář RCP 8.5, tudíž ten nejextrémnější. Jednotlivé scénáře se liší koncentrací skleníkových plynů a teplotou. Nejmírnější, RCP 2.6 počítá s variantou, že lidstvo nepřestane aktivně snižovat svoje emise a téměř zastaví nárůst. I tak lze pozorovat, že dojde koteplení a zvýšení radičního působení. Scénáře RCP 4.5 a RCP 6.0 jsou stabilizační. To znamená, že lidstvo přestane lineárně zvyšovat produkci skleníkových plynů. Použitý scénář, RCP 8.5, je ze všech scénářů nejradikálnější. Je odrazem reality, kdy budou nadále produkovány vysoké emise a trend jejich nárůstu bude pokračovat.

Tabulka 10: Vývoj koncentrací skleníkových plynů do konce 21. století (IPCC, 2013).

Vývoj koncentrace skleníkových plynů	Scénář	Popis	RF 2100 [W.m ²]	CO ₂ 2100 [ppm]
	RCP 2.6	Zmírňující nárůst	2,6	421
RCP 4.5	Stabilizační	4,5	538	
RCP 6.0	Stabilizační	6,0	670	
RCP 8.5	Vysoké emise	8,5	936	

Tabulka 11: Projektovaná změna globální průměrné teploty vzduchu pro druhou polovinu 21. století (IPCC, 2013).

Změna průměrné globální přízemní teploty (°C)	Scénář	Popis	2046-2065	2081-2100
	RCP 2.6	Zmírňující nárůst	0,4 až 1,6	0,3 až 1,7
RCP 4.5	Stabilizační	0,9 až 2,0	1,1 až 2,6	
RCP 6.0	Stabilizační	0,8 až 1,8	1,4 až 3,3	
RCP 8.5	Vysoké emise	1,4 až 2,6	2,6 až 4,8	

6 Výsledky

6.1 Regresní model pro ČR

Na základě dat průměrných měsíčních teplot a úhrnu měsíčních srážek byla provedena analýza dat za období 1993-2020 pro Českou republiku. Tato analýza dat proběhla na základě regresních lineárních modelů. Během vegetačního období sóji se stanovil vztah mezi průměrnou měsíční teplotou a měsíčním úhrnem srážek. Znázorněny jsou pouze měsíce, které odpovídají vegetaci rostliny sóji luštinaté.

Tabulka 12: regresní lineární model vyjadřující vztah mezi výnosem a srážkami.

	Lineární rovnice, p (mm)	r	R ² (%)	P-hodnota
Květen	Výnos = 1,60524 + 0,00320776*p	0,16	2,63	0,40
Červen	Výnos = 1,67313 + 0,0020352*p	0,12	1,34	0,53
Červenec	Výnos = 0,783949 + 0,0653566*p	0,09	0,69	0,67
Srpen	Výnos = 1,65231 + 0,00234737*p	0,17	1,49	0,37
Září	Výnos = 2,06323 – 0,00375287*p	-0,22	4,77	0,26
Říjen	Výnos = 1,71729 + 0,00252769*p	0,13	1,69	0,50

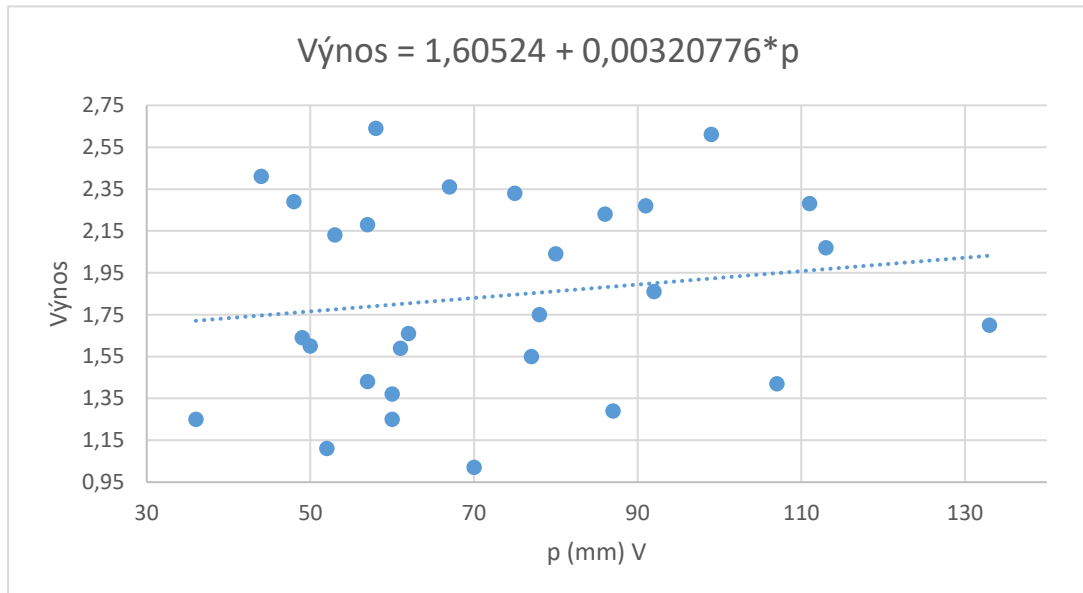
Tabulka 13: regresní lineární model vyjadřující vztah mezi výnosem a teplotou.

	Lineární rovnice, t (°C)	r	R ² (%)	P-hodnota
Květen	Výnos = 2,78234 – 0,0718052*t	-0,22	4,85	0,25
Červen	Výnos = -0,175611 + 0,120584*t	0,37	13,64	0,05
Červenec	Výnos = 1,175516 + 0,0418222*t	0,13	1,74	0,49
Srpen	Výnos = 2,35044 – 0,0287459*t	-0,09	0,75	0,65
Září	Výnos = 0,379855 + 0,111618*t	0,36	13,01	0,05
Říjen	Výnos = 1,67666 + 0,0195543*t	0,06	0,42	0,74

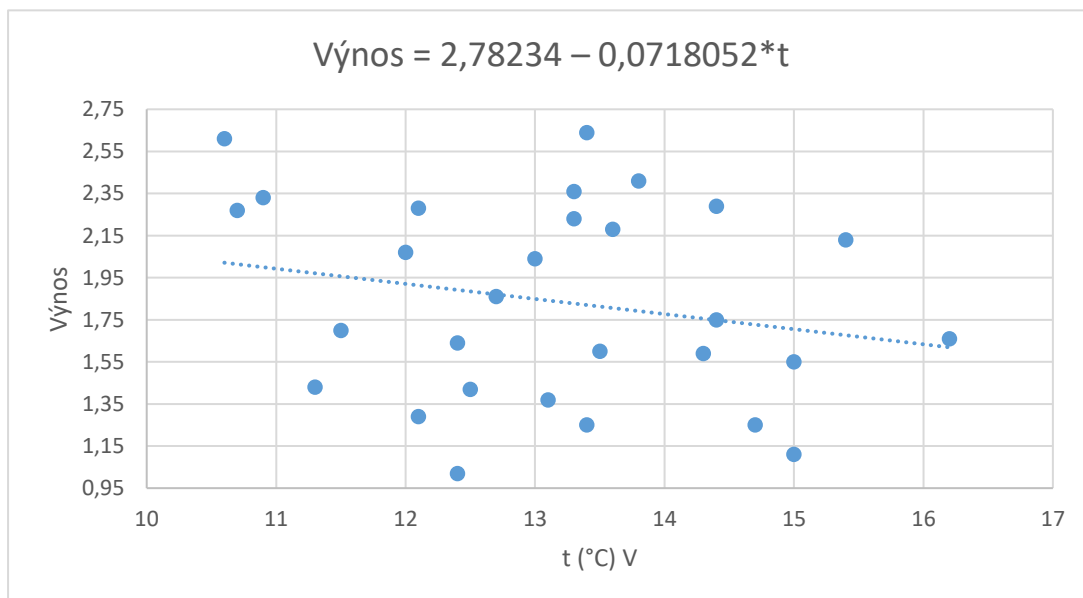
U srážek lze pozorovat, že jejich větší množství mělo pozitivní vliv na výnos ve všech měsících ($r=0,12-0,17$) kromě září. Tento jev je důkazem, že rostlina sóji potřebuje k vývinu velké množství vody a v září ($r=-0,22$), kdy dozrává, jsou srážky nežádoucí. Všechny korelace mezi srážkami a výnosem jsou hodnoceny jako slabé (menší než 0,3).

Největší vliv teploty na výnos je sledován v měsících červnu (13,64 %) a září (13,01 %). V červnu potřebují rostliny sóji teplo pro intenzivní růst a tvorbu biomasy. V září naopak potřebují teplo pro dozrávání.

V grafech 4 a 5 lze pozorovat závislost výnosu na srážkách a teplotě v květnu. Graf 4 udává závislost výnosu na srážkách. Korelační koeficient je 0,16, což ukazuje na poměrně slabý vztah mezi proměnnými. Na křivce v grafu 4 lze i přesto vidět, že přibývajícím srážkám v květnu mají pozitivní vliv na výnos. U teploty je scénář opačný. V květnu je korelační koeficient záporný (-0,22), což ukazuje na poměrně slabý, negativní vztah mezi proměnnými (graf 5). Důvodem může být konkurence plevelů v raných vývojových fázích sóji.

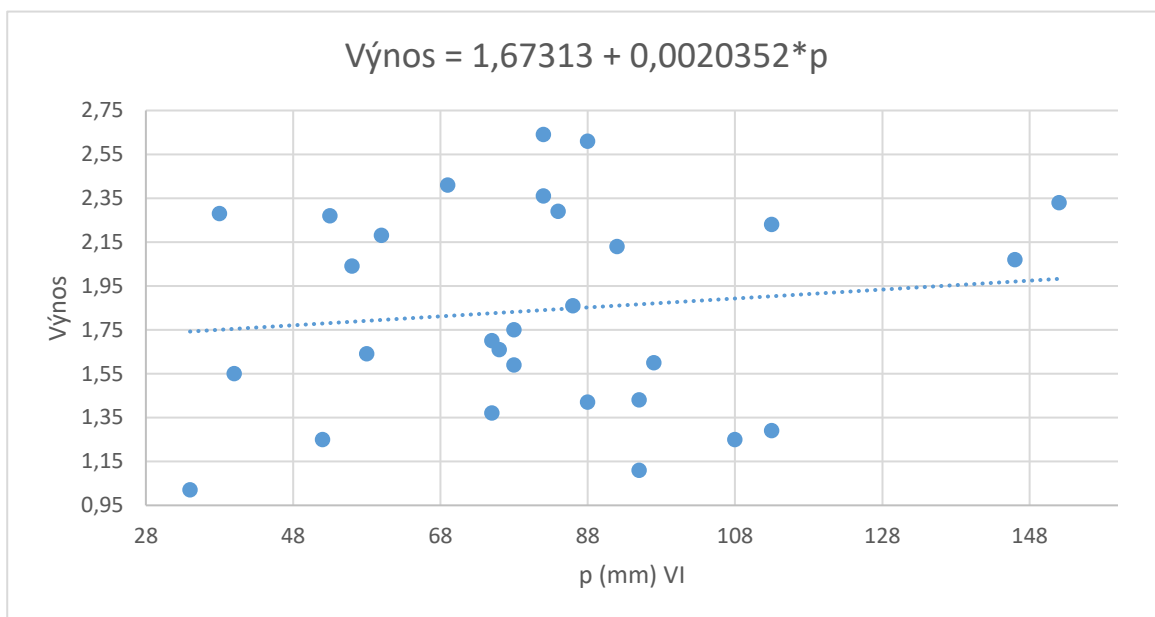


Graf 4: závislost výnosu sóji na srážkách v květnu.

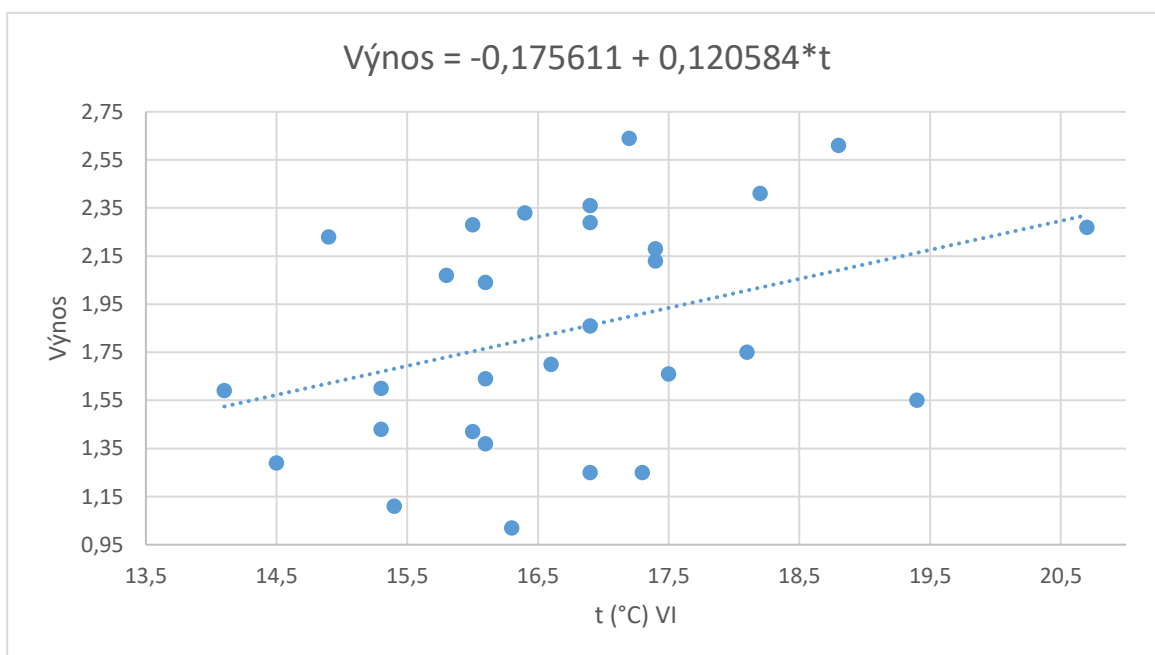


Graf 5: závislost výnosu sóji na teplotách v květnu.

V červnu korelační koeficient je 0,12, což značí slabý vztah mezi úhrnem srážek a výnosem (graf 6). Červnové teploty, znázorněné v grafu 7, se ukazují jako důležité pro výnos sóji. Rostoucí lineární přímka v grafu 7 naznačuje pozitivní vliv vyšších teplot na výnos. Tento vliv není statisticky významný.

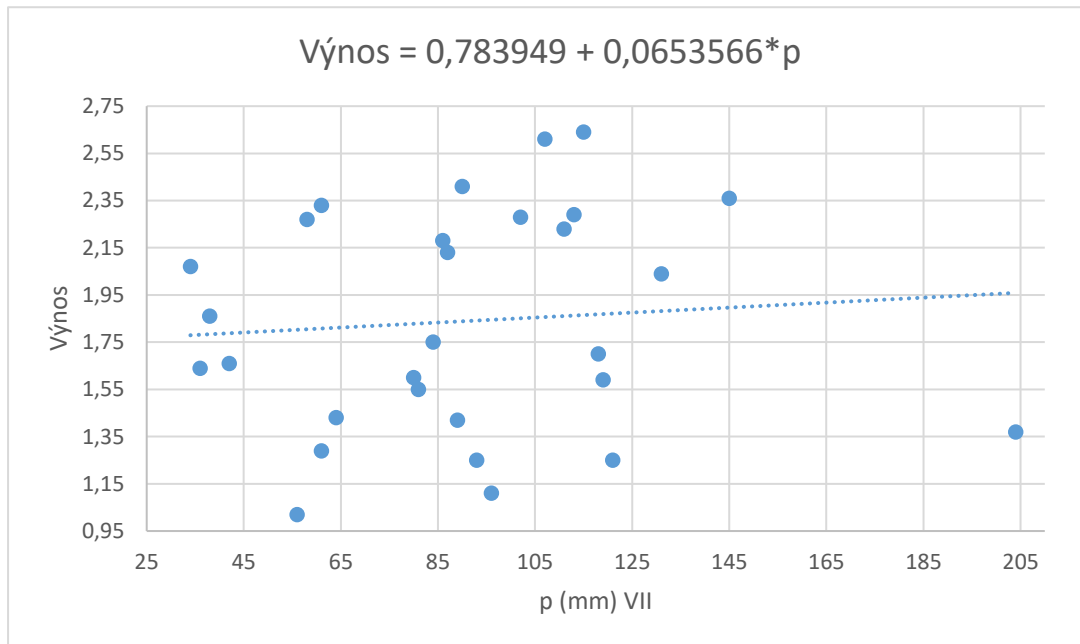


Graf 6: závislost výnosu sóji na srážkách v červnu.

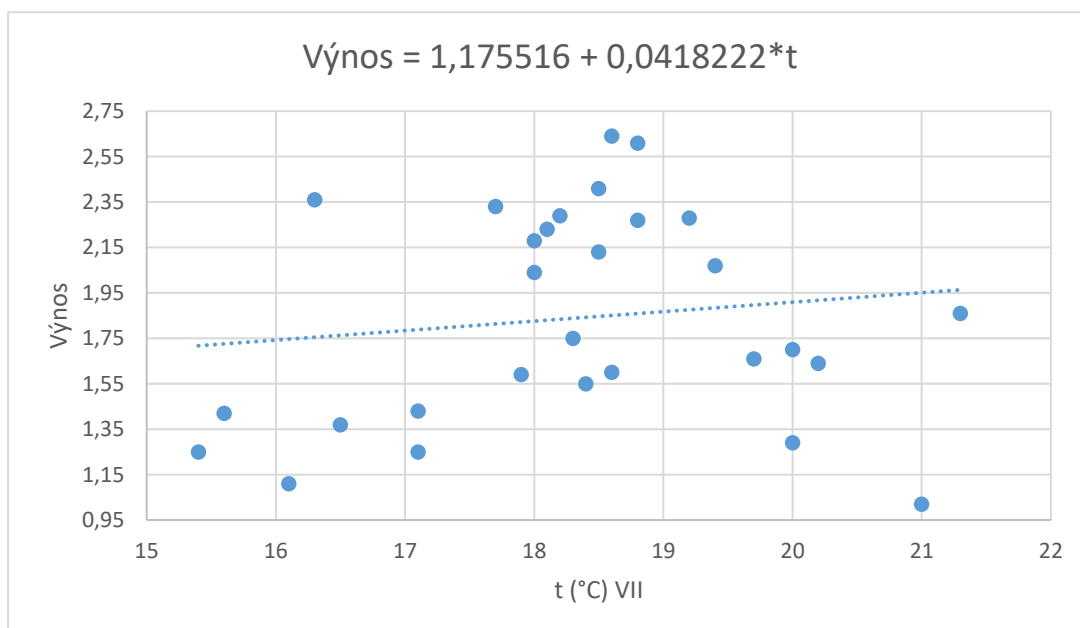


Graf 7: závislost výnosu sóji na teplotě v červnu.

V červenci korelační koeficient mezi teplotními a srážkovými poměry a výnosem vykazuje velmi slabou závislost (graf 8-9). Pozorovaná regresní lineární přímka znázorňuje, že rostliny sóji výnosově pozitivně reagují na srážky i teplotu v červenci.

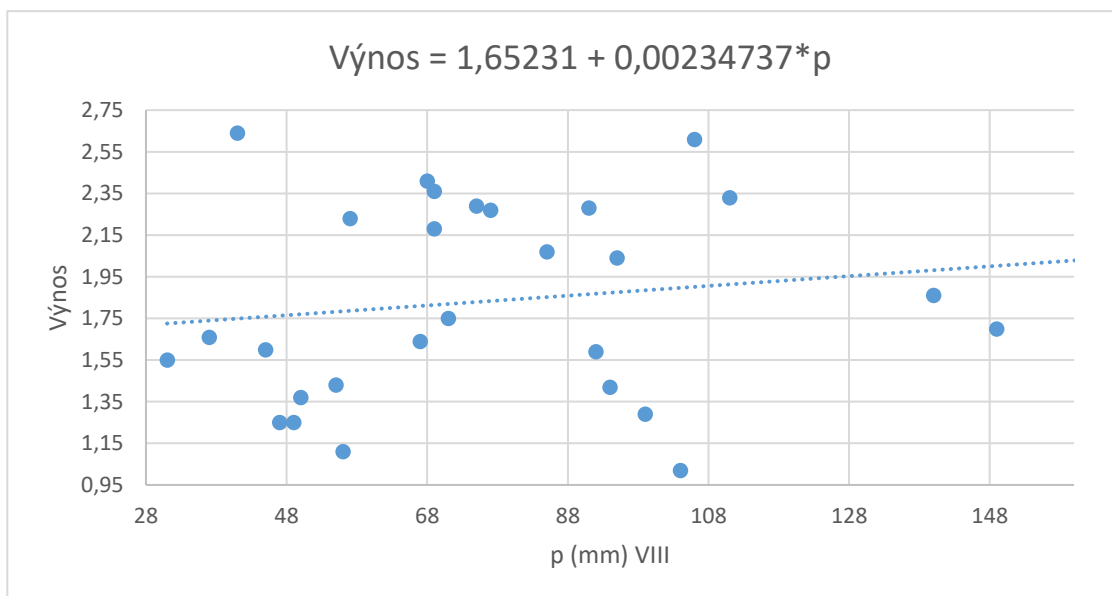


Graf 8: závislost výnosu sóji na srážkách v červenci.

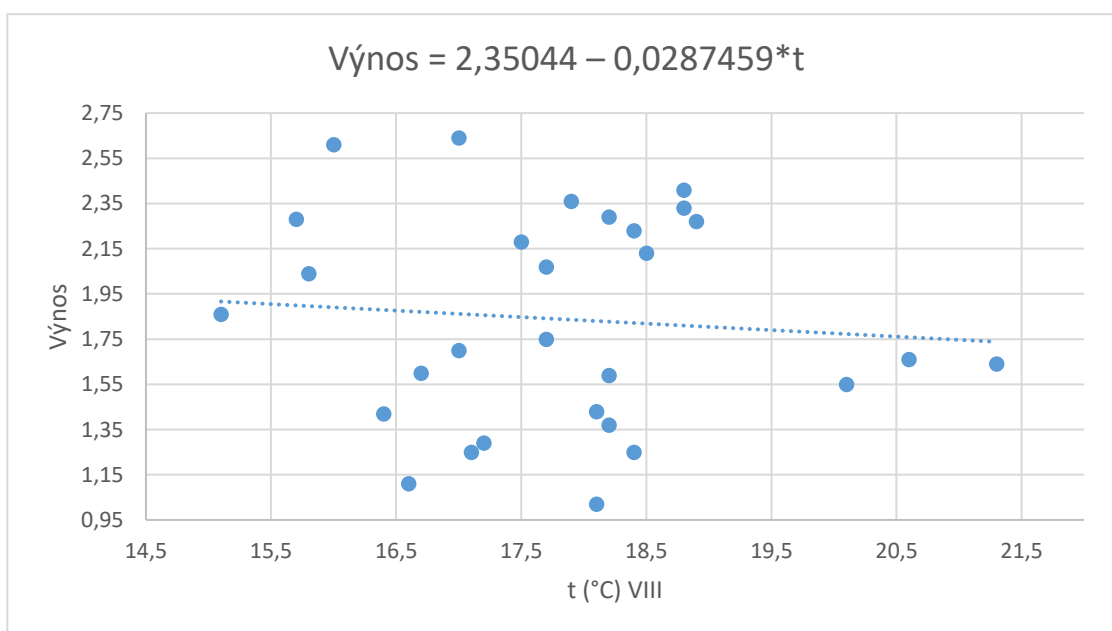


Graf 9: závislost výnosu sóji na teplotě v červenci.

V grafu 10 lze pozorovat závislost výnosu na srážkách v srpnu. Je zde vidět trend, podle kterého lze usuzovat, že rostliny sóji pozitivně reagují na větší množství srážek i v srpnu, vzájemný vztah však není statisticky průkazný. Graf 11 znázorňuje slabou nevýznamnou závislost výnosu na srpnové teplotě.

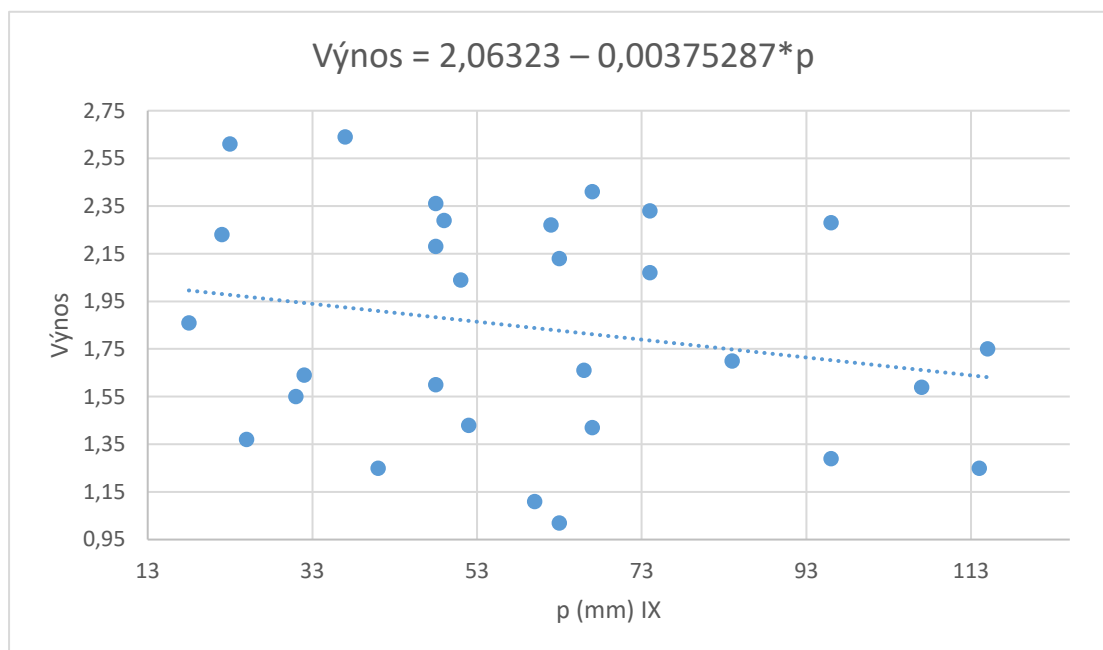


Graf 10: závislost výnosu sóji na srážkách v srpnu.

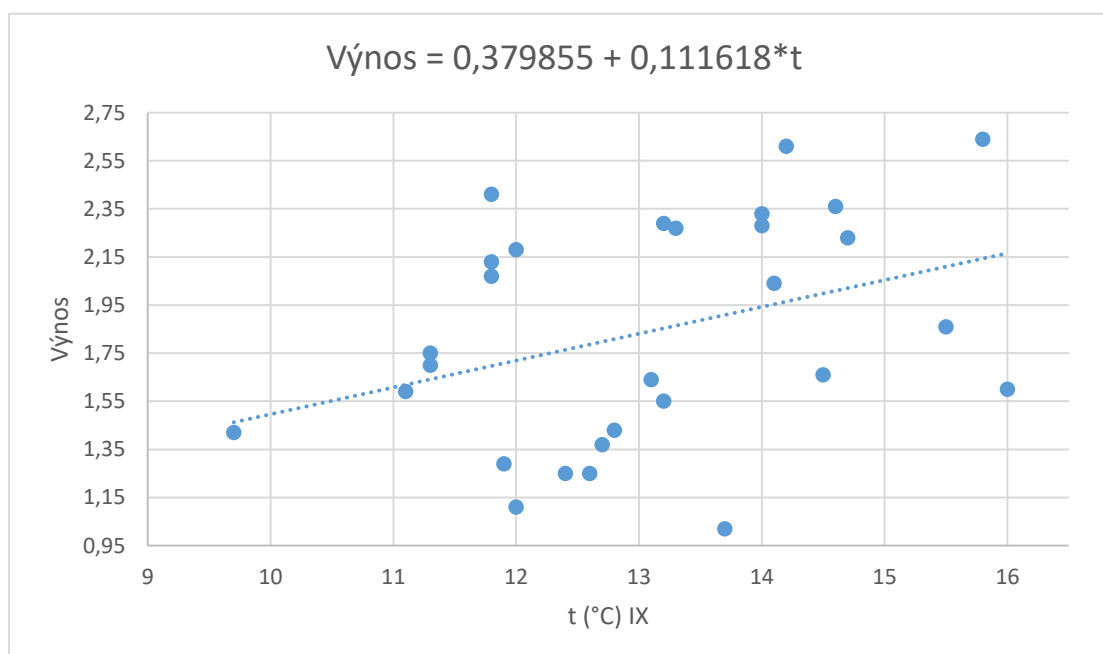


Graf 11: závislost výnosu sóji na teplotě v srpnu.

Grafy 12 a 13 ukazují závislosti výnosu sóji na srážkách a teplotě v září. V grafu 12 lze pozorovat že regresní lineární přímka s přibývajícými srážkami klesá, tím klesá i výnos. Graf 13 znázorňuje fakt, že důležitým aspektem na výnosu sóji je teplota v září. Hodnota P je pouze o 0,004 větší než limitní hodnota 0,05 (tab. 13).

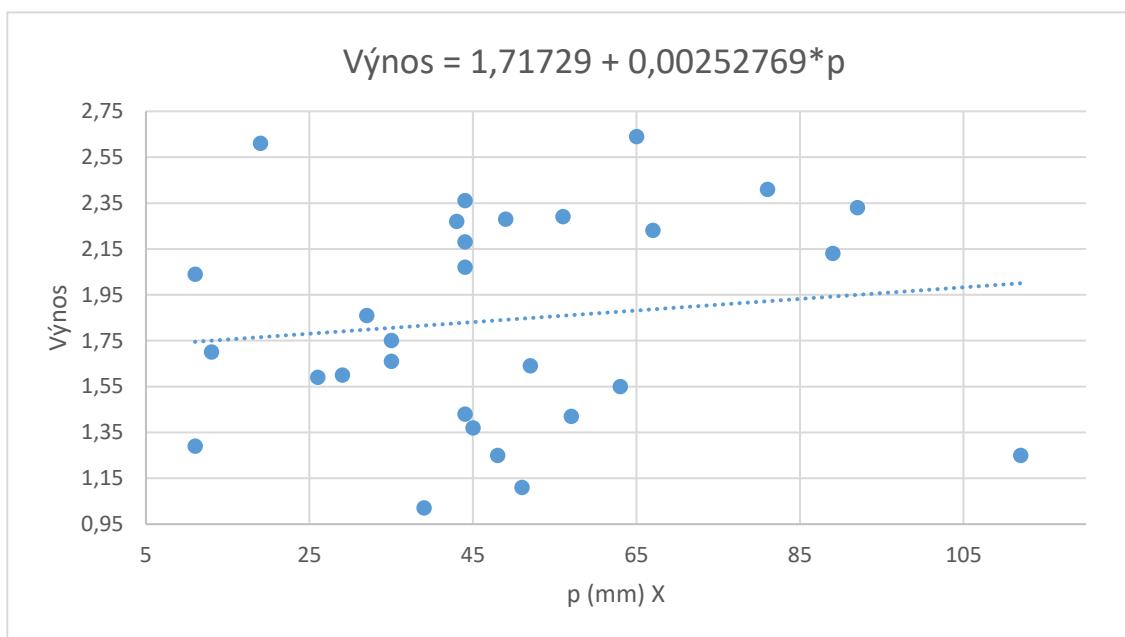


Graf 12: závislost výnosu sóji na srážkách v září.

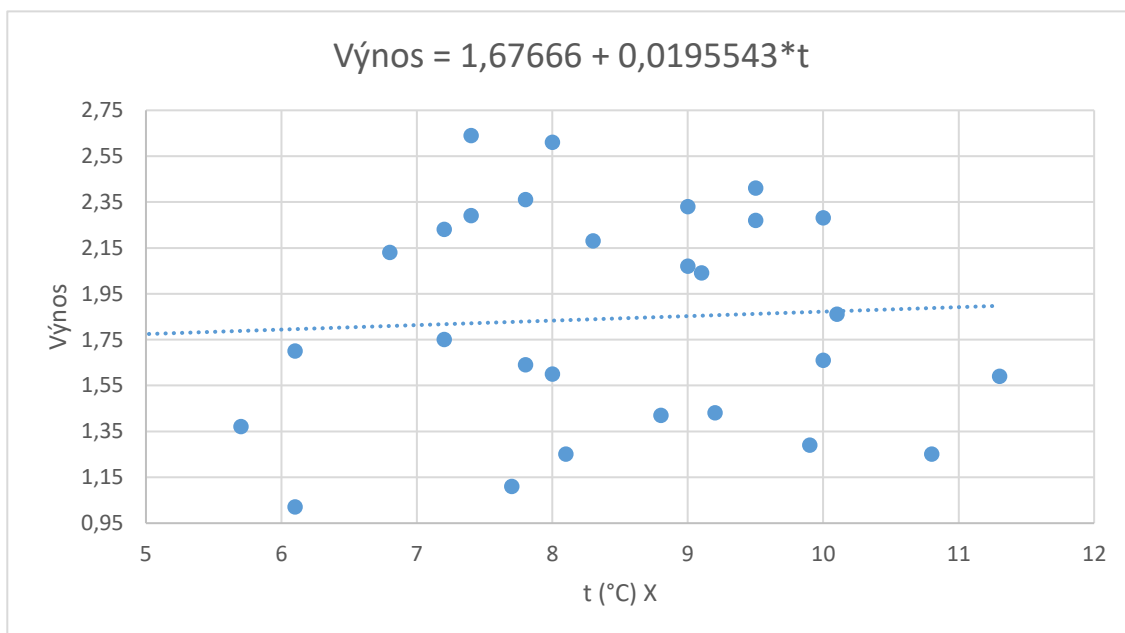


Graf 13: závislost výnosu sóji na teplotě v září.

V grafu 14 je znázorněna závislost výnosu na říjnových srážkách. Podle regresní lineární přímky lze sledovat, že přibývajícím srážkám mají lehce pozitivní vliv na výnos, ale vztah mezi nimi není statisticky průkazný. U teploty v grafu 15 je tento vztah s výnosem také statisticky neprůkazný.



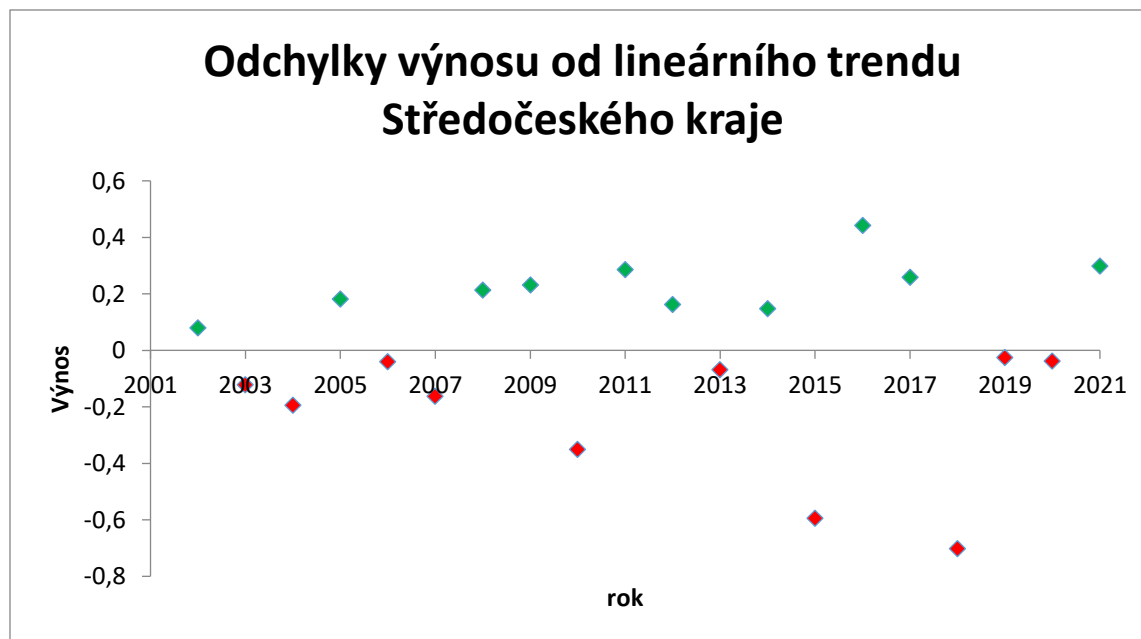
Graf 14: závislost výnosu sóji na srážkách v říjnu.



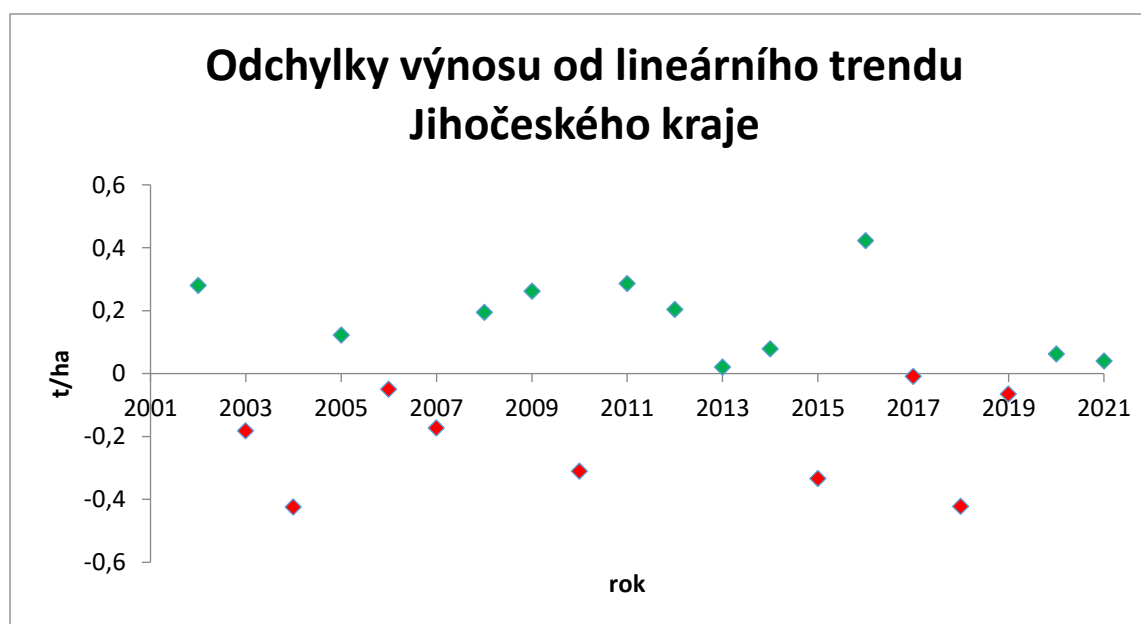
Graf 15: závislost výnosu sóji na teplotě v říjnu.

6.2 Odchylky výnosu od dlouhodobého trendu

Díky ČSÚ byly na základě hodnot výnosu za období 2002–2020 vytvořeny též odchylky výnosu od lineárního trendu ke každému kraji. Dále je zobrazen ke každému kraji graf s odchylkami výnosu od lineárního trendu. Zelené body zobrazují zisk a jedná se tedy o hodnoty kladné, naopak červené body zobrazují ztrátu a představují tedy hodnoty záporné. Záporné odchylky byly způsobeny suchem, nebo nepříznivými podmínkami klíčových měsíců pro tvorbu výnosu sóji (viz kapitola 6.4.).



Graf 16: zisky a ztráty výnosu sóji oproti trendu pro Středočeský kraj



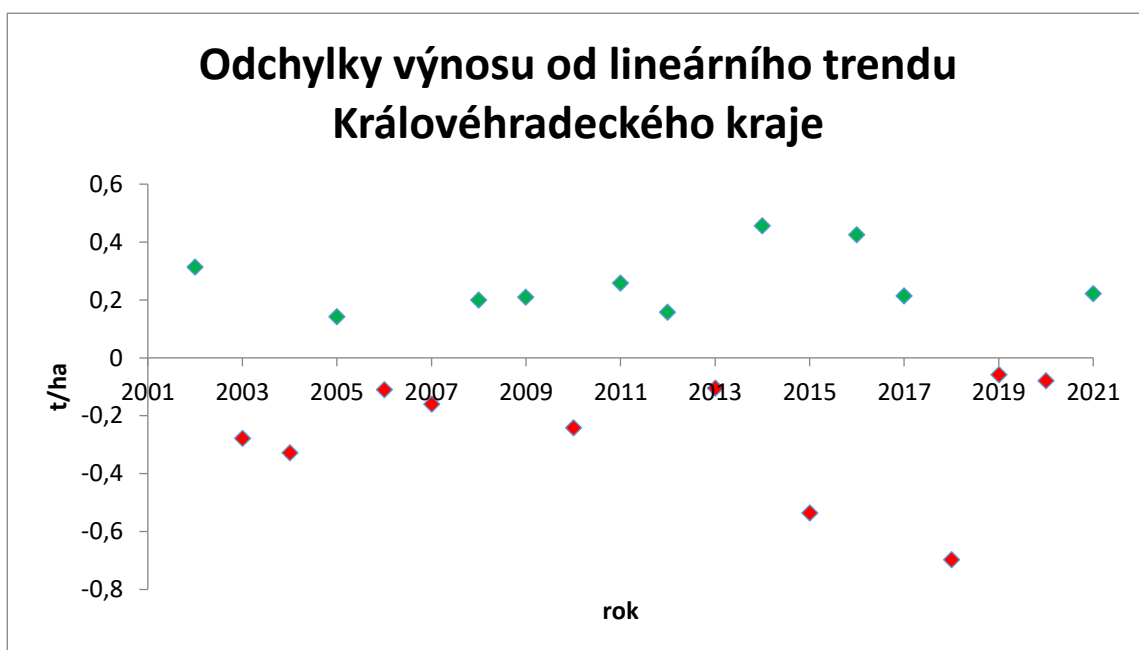
Graf 17: zisky a ztráty výnosu sóji oproti trendu v Jihočeském kraji.

Odchylku výnosu pro Středočeský kraj vyjadřuje graf 16. Zobrazuje nepravidelné střídání kladných a záporných hodnot, které mají výkyvy až 1 tunu mezi dvěma, po sobě jdoucími roky. Nejvyšší ztráta (-0,7 t/ha) byla v roce 2018, naopak nejvyšší výnos se objevil v roce 2016 (+0,44 t/ha). 30 % ročníků bylo se ziskem více než 0,2 t/ha, se stejnou ztrátou bylo 15 % ročníků.

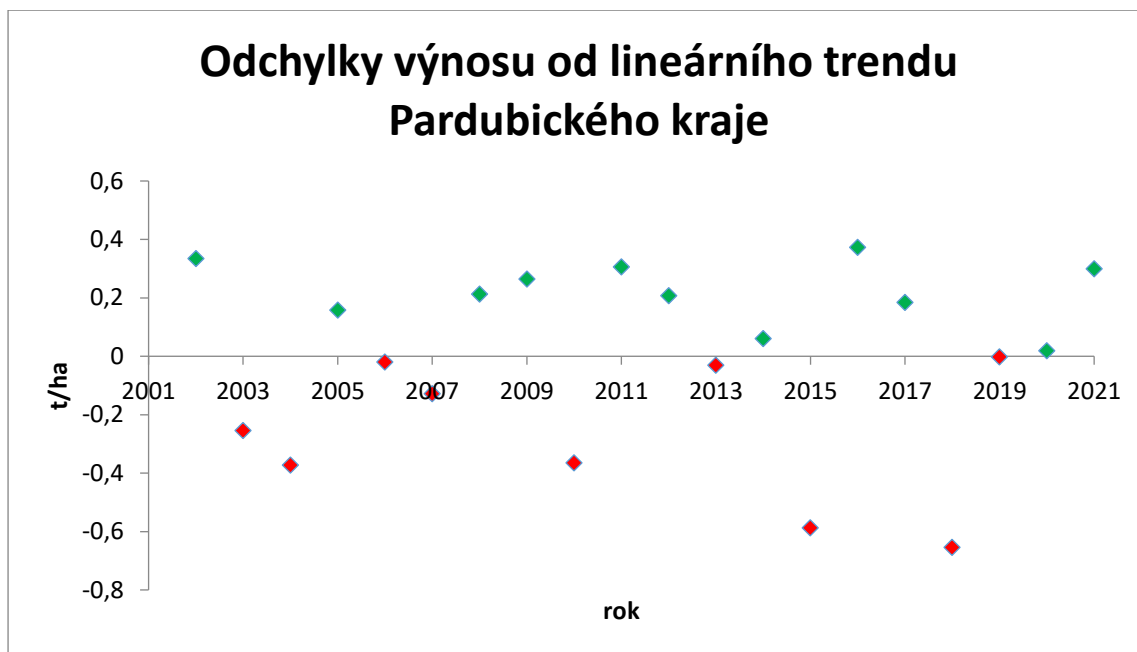
Pro Jihočeský kraj se odchylkou výnosu od trendu zabývá graf 17. Výnosy kolísají nepravidelně. Nejvyšší výnos byl zaznamenán v roce 2016 (+0,42 t/ha) a nejvyšší ztráty v letech 2004 (-0,43 t/ha) a 2018 (-0,42 t/ha). 25 % ročníků zaznamenalo zisk více než 0,2 t/ha, stejnou ztrátu zaznamenala také čtvrtina všech ročníků.

Odchylky výnosu od lineárního trendu v Královéhradeckém kraji jsou znázorněny v grafu 18. Nejvyšší výnosy byly zaznamenány v letech 2014 (+0,46 t/ha) a 2016 (+0,42 t/ha). Nejvyšší ztrátová hodnota byla naměřena v roce 2018 (-0,7 t/ha). U Královéhradeckého kraje byl zisk výnosu oproti trendu 0,2 t/ha zaznamenán u 35 % všech ročníků, stejná ztráta byla zaznamenána hned u 25 %.

Pardubický kraj vyjadřuje opět nejvyšší naměřenou hodnotu záporné odchylky od lineárního trendu v roce 2018 (-0,65 t/ha). Naopak nejvyšší kladná odchylka byla naměřena v roce 2016 (+0,37 t/ha). Celkově jsou odchylky od výnosu stabilnější než u Královéhradeckého kraje. Spolu s Královéhradeckým krajem patří mezi nejméně stabilní na území Čech. Zaznamenal stejný počet ziskových i ztrátových roků.



Graf 18: zisky a ztráty výnosu sóji oproti trendu v Královéhradeckém kraji.



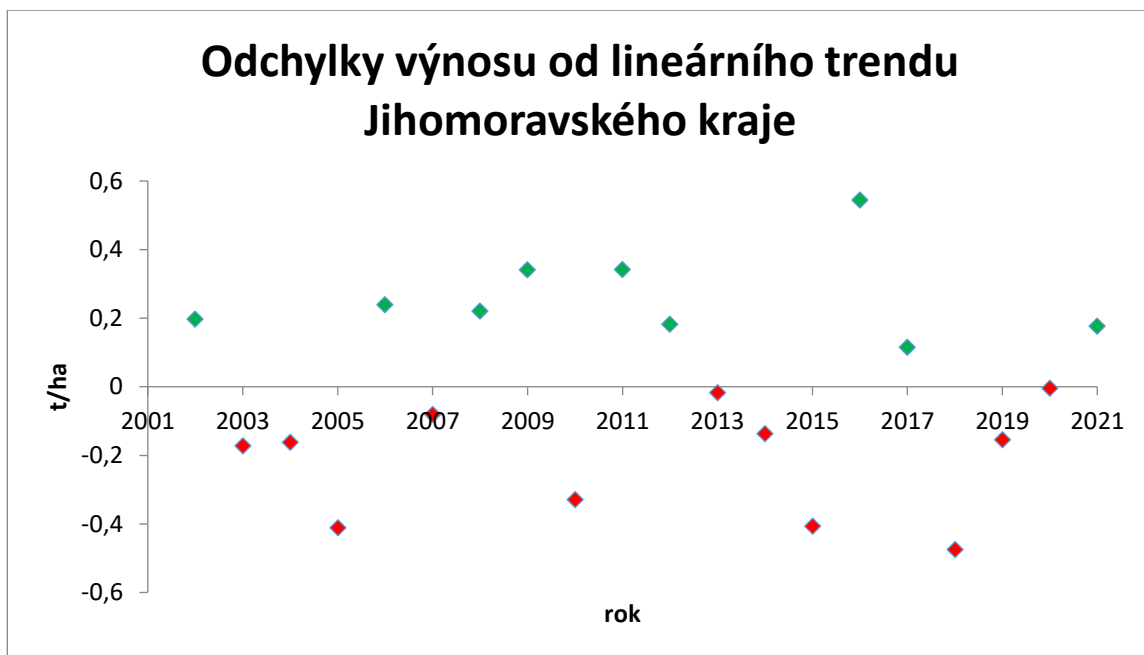
Graf 19: zisky a ztráty výnosu sóji oproti trendu v Pardubickém kraji.

Prvním moravským krajem se zobrazenými odchylkami výnosu od trendu je Jihomoravský (graf 20). Kladné odchylky od trendu se pohybovali mezi 0,11 – 0,54 t/ha. Nejvyšší kladná odchylka byla zaznamenána v roce 2016. Nejvyšších záporných hodnot dosahovaly roky 2005 (-0,41 t/ha), 2015 (-0,41 t/ha) a 2018 (-0,48 t/ha). Z hlediska odchýlení od lineárního trendu zaznamenal 9 ziskových a 11 ztrátových let.

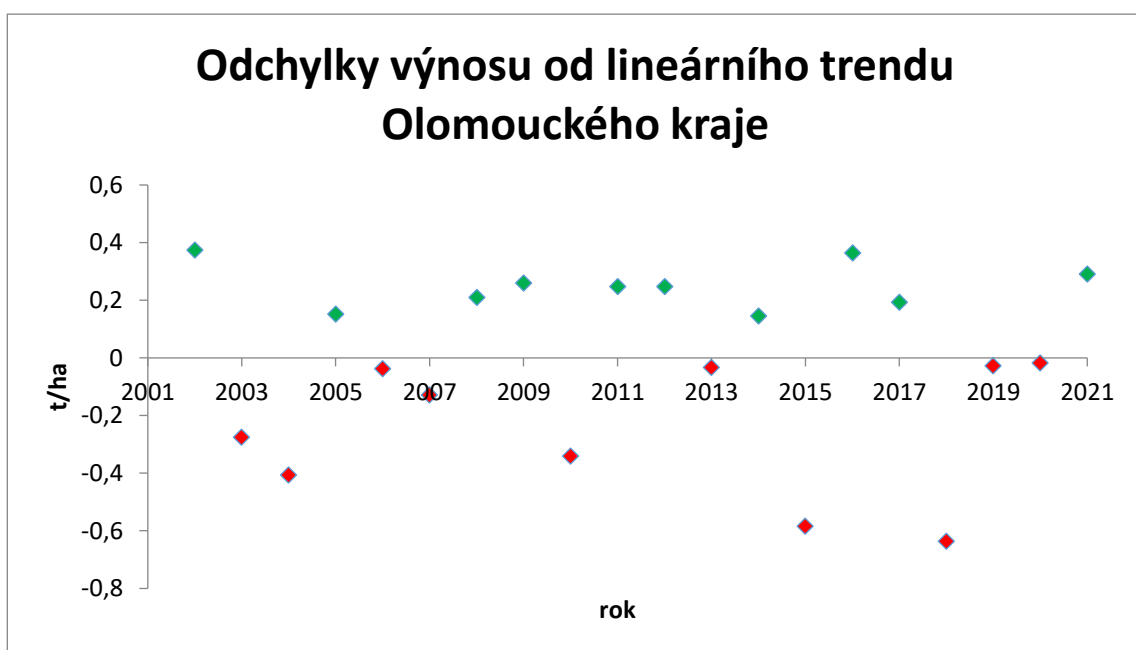
Odchytky výnosu od lineárního trendu olomouckého kraje jsou zobrazeny v grafu 21. Olomoucký kraj ukazuje celkem stabilní kladné odchylky. Nejvyšší byla v roce 2002 (+0,38 t/ha). Oproti tomu záporné odchylky jsou více variabilní nejnižší výnos byl naměřen v roce 2018 (-0,64 t/ha). 25 % všech roků bylo ziskových s odchýlením od trendu alespoň 0,2 t/ha, naopak ztrátových se stejnou hodnotou bylo 20 % ročníků. Z tohoto pohledu je Olomoucký kraj nejstabilnější ze všech krajů.

Pro Zlínský kraj jsou odchylky výnosu od trendu znázorněny v grafu 22. Mezi ostatními kraji ukazuje zlínský kraj průměrnou kladnou odchylku v nejsilnějším roce 2016 (+0,42 t/ha). Naopak nejvyšší záporná odchylka byla naměřena v letech 2015 (-0,59 t/ha) a 2018 (-0,69 t/ha). Jedná se o nejméně stabilní kraj mimo Čechy. 35 % všech ročníků bylo se ziskem větším než 0,2 t/ha a 25 % ročníků se stejnou ztrátou.

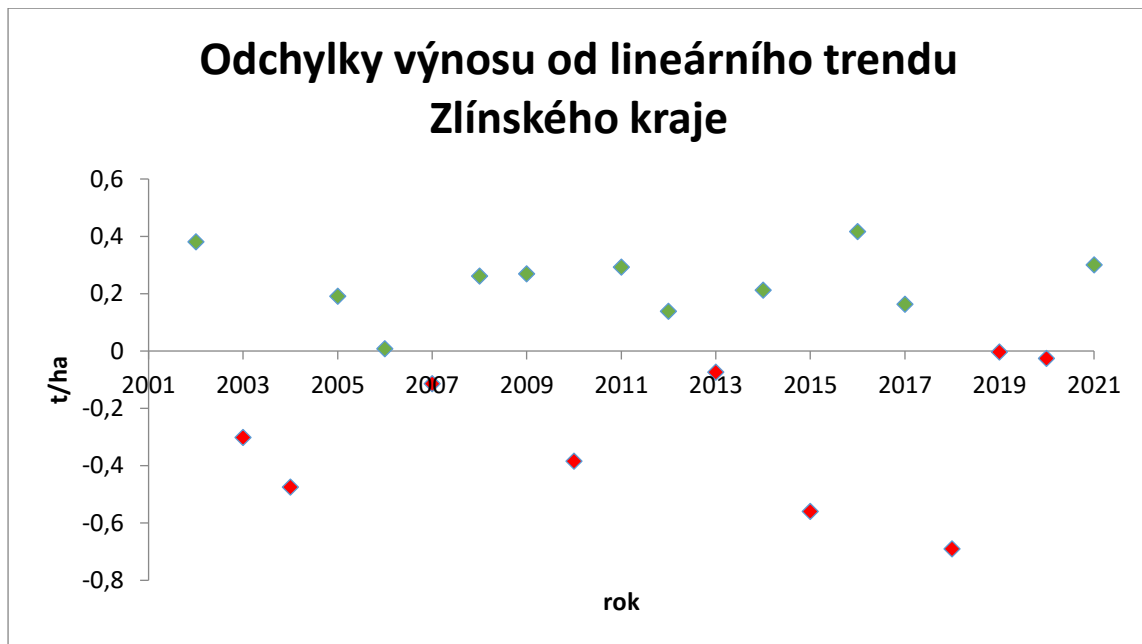
Moravskoslezský kraj má nejnižší kladné odchylky od trendu s maximem v roce 2002 (+0,37 t/ha) znázorněny v grafu 23. Nejvyšší záporná odchylka je sledována v roce 2015 (-0,57 t/ha). Nejvíce ročníků (12) ze všech krajů zde bylo v zisku oproti lineárnímu trendu, naopak ve ztrátě pouze 8.



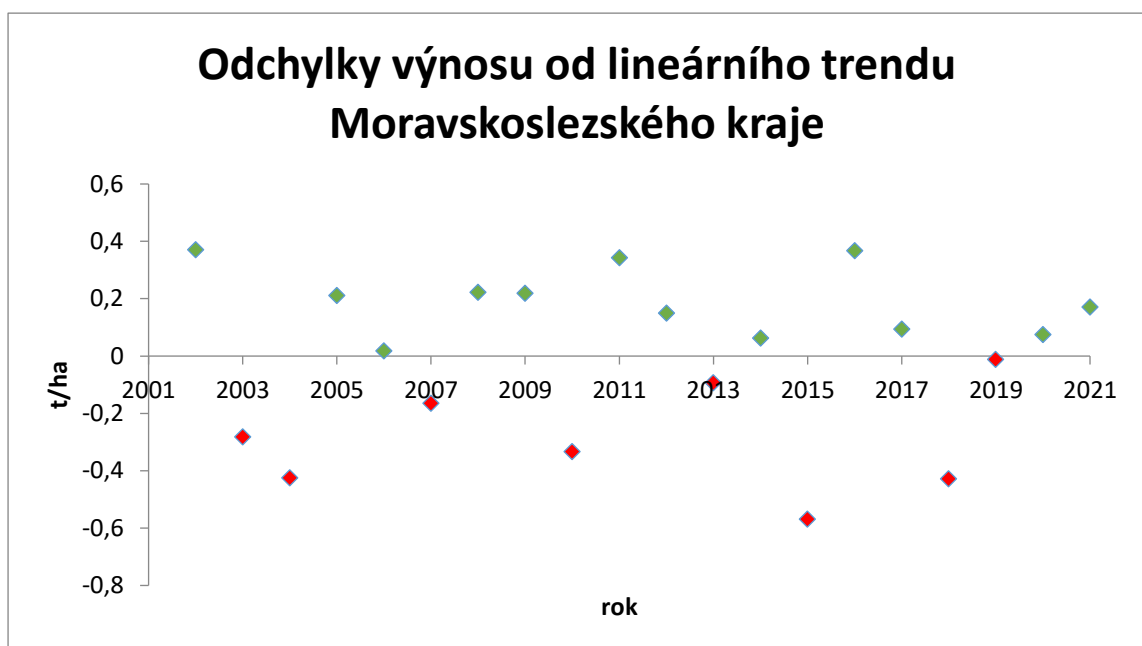
Graf 20: zisky a ztráty výnosu sóji oproti trendu v Jihomoravském kraji.



Graf 21: zisky a ztráty výnosu sóji oproti trendu v Olomouckém kraji.



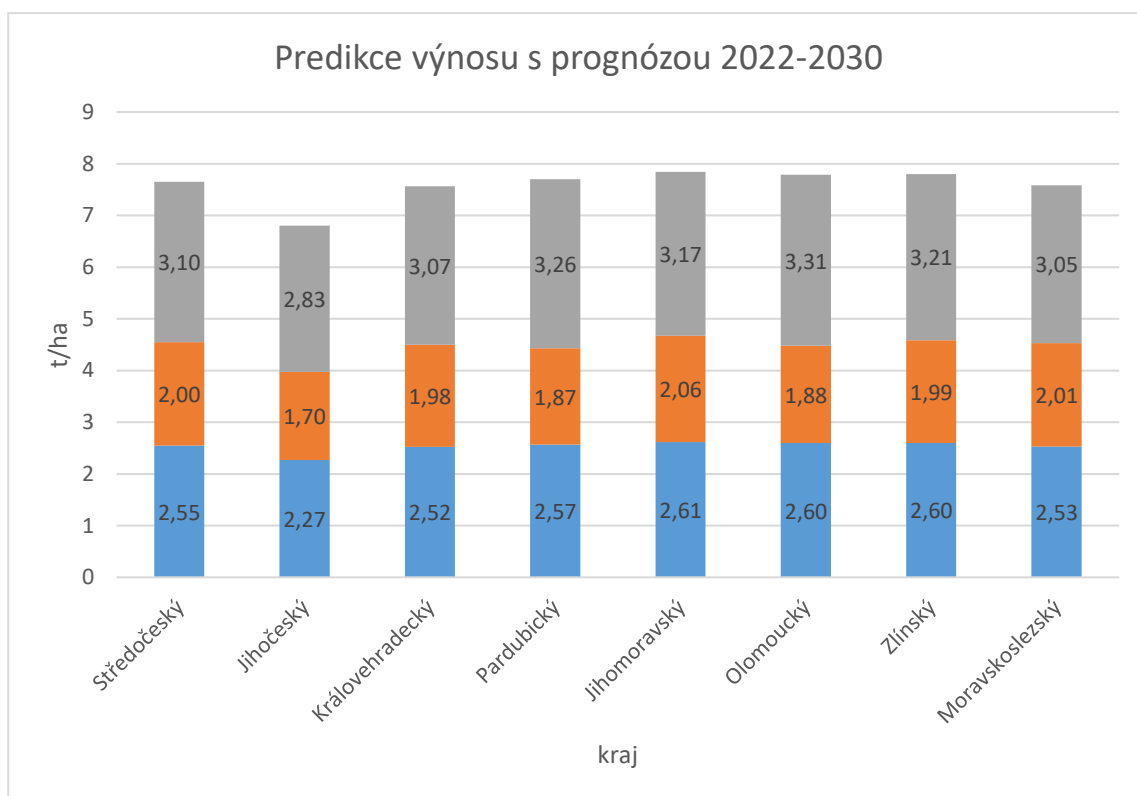
Graf 22: zisky a ztráty výnosu sóji oproti trendu ve Zlínském kraji.



Graf 23: zisky a ztráty výnosu sóji oproti trendu v Moravskoslezském kraji.

6.3 Prognóza výnosu sóji v jednotlivých krajích

V rámci krajů v České republice vznikl graf predikce výnosu s prognózou na období 2022–2030 dle interpolační metody v Excelu (graf 24). Sloupcový graf znázorňuje tři základní hodnoty v tunách na hektar u každého kraje. Jedná se o hodnoty prognózy (odhadovaného) výnosu. Tento graf vznikl tím, že se použily u každého kraje výnosy a časové období 2002–2021, dále se musel nastavit začátek prognózy, tj. rok 2022 a konec prognózy, tj. rok 2030. Na základě tohoto nastavení vygeneroval program Excel příslušné hodnoty, se kterými se dále pracovalo. Zprůměrovaly se hodnoty prognózy od roku 2022 až do roku 2030. Takovým to způsobem se pokračovalo u dolní hranice spolehlivosti a horní hranice spolehlivosti pro každý uvedený kraj. Každý sloupec v grafu tedy znázorňuje určitý kraj. Dále z něj lze zjistit prognózu, která je znázorněna modrou a příslušnou zprůměrovanou hodnotou. Dolní hranici spolehlivosti můžeme rozpoznat pomocí oranžového zbarvení a opět příslušnou zprůměrovanou hodnotou. U hranice spolehlivosti horní lze pomocí šedé barvy zjistit příslušné hodnoty, které byly zjištěny díky zprůměrování hodnot horních hranic spolehlivosti za období 2022–2030.



Graf 24: predikce výnosu s prognózou 2022-2030.

Z výše uvedeného grafu zde zjistit, že nejvyšší prognóza výnosu je v krajích na Moravě. Predikovaný výnos v roce 2030 je zde 2,60-2,61 t/ha. Suverénně nejnižší hodnota predikovaného výnosu je v kraji Jihočeském, činí 2,27 t/ha.

6.4 Regresní modely pro sledované kraje

Za období 2002-2021 pro vybrané kraje s pěstební plochou sóji nad 500 ha byly vytvořeny lineární regresní modely. Výslednými prvky byl korelační koeficient (r), koeficient determinace (R^2), hladina významnosti a lineární rovnice určující predikci výnosu.

Tabulka 14: závislost výnosu na květnových srážkách ve sledovaných krajích.

Květen – srážky				
Kraj	P	r	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,66	0,10	1,09	Výnos=1,954602+0,001514*p
Jihočeský	0,68	0,10	0,98	Výnos=1,859577+0,001245*p
Královéhradecký	0,67	0,10	1,02	Výnos=1,964824+0,001381*p
Pardubický	0,45	0,18	3,20	Výnos=1,925041+0,00262*p
Jihomoravský	0,46	-0,17	3,01	Výnos=2,20403-0,00241*p
Olomoucký	0,74	-0,08	0,65	Výnos=2,193978-0,00085*p
Zlínský	0,69	-0,10	0,92	Výnos=2,179918-0,0009*p
Moravskoslezský	0,93	-0,02	0,04	Výnos=2,058275-0,00015*p

Tabulka 15: závislost výnosu na květnových teplotách ve sledovaných krajích.

Květen – teplota				
Kraj	P	r	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,19	-0,30	9,08	Výnos=2,958767-0,06571*t
Jihočeský	0,58	-0,13	1,68	Výnos=2,25212-0,02321*t
Královéhradecký	0,32	-0,24	5,59	Výnos=2,711996-0,04954*t
Pardubický	0,38	-0,21	4,30	Výnos=2,689868-0,04362*t
Jihomoravský	0,36	-0,21	4,59	Výnos=2,765674-0,04986*t
Olomoucký	0,41	-0,20	3,83	Výnos=2,705077-0,044382*t
Zlínský	0,29	-0,25	6,11	Výnos=2,886165-0,05864*t
Moravskoslezský	0,41	-0,20	3,82	Výnos=2,588198-0,04264*t

Vztah mezi výnosem a květnovými srážkami a teplotami je uveden v tabulce 14 a 15. U krajů, které se nachází v Čechách je slabá, pozitivní korelace mezi výnosem a srážkami. Naopak u krajů na Moravě a Slezsku je korelace slabá, negativní. U teploty naznačuje regresní analýza negativní vztah mezi výnosem a teplotou v květnu u všech krajů. Nejsilnější negativní korelace je ve Středočeském kraji, kde je kvalita předpovědi výnosu na úrovni 9,08 %.

Tabulka 16: závislost výnosu na červnových srážkách ve sledovaných krajích.

Červen – srážky				
Kraj	P	r	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,55	0,14	1,95	Výnos=1,93604+0,001645*p
Jihočeský	0,78	0,07	0,43	Výnos=1,922674+0,000436*p
Královéhradecký	0,54	0,15	2,12	Výnos=1,957233+0,001512*p
Pardubický	0,27	0,26	6,72	Výnos=1,938697+0,002306*p
Jihomoravský	0,49	0,16	2,69	Výnos=1,913613+0,001863*p
Olomoucký	0,47	0,17	2,95	Výnos=1,982407+0,001806*p
Zlínský	0,92	-0,02	0,05	Výnos=2,12411-0,00023*p
Moravskoslezský	0,60	0,12	1,56	Výnos=1,945157+0,001034*p

Tabulka 17: závislost výnosu na červnových teplotách ve sledovaných krajích.

Červen – teplota				
Kraj	P	r	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,46	0,17	3,04	Výnos=1,31299+0,042101*t
Jihočeský	0,90	0,03	0,08	Výnos=1,871662+0,005611*t
Královéhradecký	0,70	0,09	0,86	Výnos=1,676861+0,023015*t
Pardubický	0,53	0,15	2,28	Výnos=1,470958+0,037717*t
Jihomoravský	0,42	0,19	3,59	Výnos=1,12181+0,049795*t
Olomoucký	0,36	0,21	4,40	Výnos=1,143432+0,057586*t
Zlínský	0,42	0,19	3,67	Výnos=1,156309+0,054136*t
Moravskoslezský	0,37	0,21	4,53	Výnos=1,144003+0,053462*t

V červnu je výnos srážkami (tabulka 16) a teplotou (tabulka 17) ovlivňován neprůkazně ve všech sledovaných krajích. U srážek je, kromě Zlínského kraje, kladný koeficient korelace. U teploty je ve všech sledovaných krajích pozitivní vztah s výnosem.

Tabulka 18: závislost výnosu na červencových srážkách ve sledovaných krajích.

Červenec – srážky				
Kraj	P	r	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,04	0,45	20,62	Výnos=1,701062+0,004596*p
Jihočeský	0,02	0,53	27,64	Výnos=1,580699+0,004097*p
Královéhradecký	0,10	0,38	14,09	Výnos=1,790918+0,003256*p
Pardubický	0,02	0,50	25,41	Výnos=1,735154+0,004523*p
Jihomoravský	0,25	0,27	7,18	Výnos=1,812521+0,003259*p
Olomoucký	0,06	0,42	17,87	Výnos=1,757427+0,004397*p
Zlínský	0,23	0,28	7,82	Výnos=1,867179+0,002782*p
Moravskoslezský	0,20	0,30	9,07	Výnos=1,812182+0,002342*p

Tabulka 19: závislost výnosu na červencových teplotách ve sledovaných krajích.

Červenec – teplota				
Kraj	P	r	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,14	-0,34	11,59	Výnos=3,987805-0,09973*t
Jihočeský	0,22	-0,29	8,14	Výnos=3,283636-0,0732*t
Královéhradecký	0,44	-0,18	3,30	Výnos=3,087822-0,05499*t
Pardubický	0,22	-0,28	8,11	Výnos=3,703174-0,08466*t
Jihomoravský	0,89	-0,03	0,11	Výnos=2,286181-0,01177*t
Olomoucký	0,59	-0,13	1,67	Výnos=2,924021-0,042634*t
Zlínský	0,77	-0,07	0,49	Výnos=2,59174-0,02549*t
Moravskoslezský	0,50	-0,16	2,62	Výnos=3,00386-0,05195*t

Červencové srážky (tabulka 18) ovlivňují průkazně výnos ve 3 sledovaných krajích (Středočeský, Jihočeský a Pardubický). U dalších 2 krajů je hodnota P nižší než 0,10. U Jihočeského kraje je dle lineární regrese výnos vysvětlen množstvím červencových srážek téměř z 28 %. Červencové teploty nevykazují v žádném z krajů statisticky významný vztah. U všech krajů ale dosahují negativního korelačního koeficient.

Tabulka 20: závislost výnosu na srpnových srážkách ve vybraných krajích.

Srpen – srážky				
Kraj	P	r	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,58	-0,13	1,71	Výnos=2,161214-0,0013*p
Jihočeský	0,46	0,17	3,05	Výnos=1,83695+0,001523*p
Královéhradecký	0,75	-0,08	0,57	Výnos=2,120805-0,00065*p
Pardubický	0,88	0,04	0,14	Výnos=2,092226+0,000327*p
Jihomoravský	0,83	-0,05	0,28	Výnos=2,087477-0,00054*p
Olomoucký	0,49	0,16	2,67	Výnos=1,987116+0,001744*p
Zlínský	0,34	0,23	5,12	Výnos=1,9178+0,002262*p
Moravskoslezský	0,11	0,37	13,52	Výnos=1,755049+0,003209*p

Tabulka 21: závislost výnosu na srpnových teplotách ve vybraných krajích.

Srpen – teplota				
Kraj	P	r	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,09	-0,39	15,13	Výnos=3,610046-0,08309*t
Jihočeský	0,26	-0,26	6,89	Výnos=2,748244-0,04534*t
Královéhradecký	0,06	-0,43	18,07	Výnos=3,757882-0,09449*t
Pardubický	0,10	-0,38	14,18	Výnos=3,567543-0,07984*t
Jihomoravský	0,54	-0,14	2,08	Výnos=2,657677-0,03122*t
Olomoucký	0,13	-0,35	11,93	Výnos=3,5755-0,080116*t
Zlínský	0,13	-0,35	12,27	Výnos=3,713257-0,0875*t
Moravskoslezský	0,19	-0,30	9,22	Výnos=3,377854-0,07498*t

Závislost výnosu na srpnových srážkách (tabulka 20) vyšla dle modelu statisticky neprůkazně. Nejvyšší koeficient determinace byl v Moravskoslezském kraji, 13,52 %. U srpnových teplot (tabulka 21) byla závislost také statisticky nepotvrzena, ale hodnoty P dosahovaly nízkých hodnot. Dle modelu ovlivňují vyšší srpnové teploty negativně výnos ve všech krajích.

Tabulka 22: závislost výnosu na zářijových srážkách ve vybraných krajích.

Září – srážky				
Kraj	P	R	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,48	-0,17	2,80	Výnos=2,175679-0,00259*p
Jihočeský	0,41	-0,20	3,87	Výnos=2,067213-0,00191*p
Královéhradecký	0,93	-0,02	0,05	Výnos=2,084302-0,00031*p
Pardubický	0,92	0,02	0,05	Výnos=2,102992+0,000272*p
Jihomoravský	0,47	-0,17	2,96	Výnos=2,151943-0,00194*p
Olomoucký	0,99	-0,01	0,02	Výnos=2,128654-0,000026*p
Zlínský	0,76	-0,07	0,52	Výnos=2,152542-0,00071*p
Moravskoslezský	0,83	0,05	0,26	Výnos=2,014438+0,000376*p

Tabulka 23: závislost výnosu na zářijové teplotě ve vybraných krajích.

Září – teplota				
Kraj	P	R	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,12	0,36	12,80	Výnos=0,800708+0,089537*t
Jihočeský	0,08	0,39	15,48	Výnos=0,898913+0,08401*t
Královéhradecký	0,24	0,28	7,59	Výnos=1,143159+0,06938*t
Pardubický	0,23	0,28	7,82	Výnos=1,16688+0,070375*t
Jihomoravský	0,07	0,41	17,01	Výnos=0,351421+0,11604*t
Olomoucký	0,24	0,27	7,52	Výnos=1,130121+0,074394*t
Zlínský	0,15	0,33	11,13	Výnos=0,732972+0,100811*t
Moravskoslezský	0,17	0,32	10,29	Výnos=0,902302+0,086882*t

Srážky v září (tabulka 22) mají dle modelu statisticky neprůkazný vliv na výnos. U 7 z 8 krajů byl zaznamenán negativní trend vlivu srážek na výnos. Ani u teplot nebyl zjištěn statisticky průkazný vztah s výnosem. U teplot v září (tabulka 23) se ovšem ukazuje pozitivní trend jejich ovlivňování výnosu. U 5 krajů bylo toto ovlivnění větší než 10 %.

Tabulka 24: závislost výnosu na říjnových srážkách ve vybraných krajích.

Říjen – srážky				
Kraj	P	r	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,12	0,35	12,61	Výnos=1,783805+0,006651*p
Jihočeský	0,55	0,14	0,02	Výnos=1,874102+0,002064*p
Královéhradecký	0,24	0,28	7,65	Výnos=1,866765+0,003783*p
Pardubický	0,34	0,23	5,16	Výnos=1,962799+0,003142*p
Jihomoravský	0,54	0,15	2,13	Výnos=1,957513+0,002286*p
Olomoucký	0,40	0,20	4,01	Výnos=2,004295+0,002315*p
Zlínský	0,41	0,20	3,88	Výnos=1,992906+0,001862*p
Moravskoslezský	0,24	0,28	7,65	Výnos=1,894275+0,002391*p

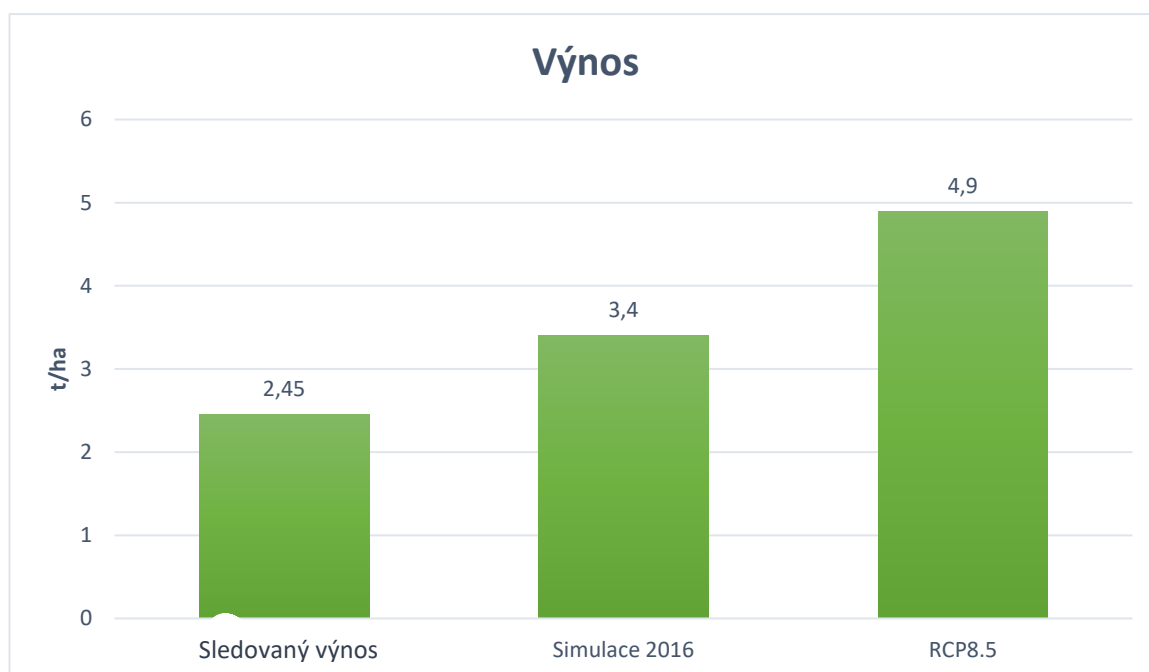
Tabulka 25: závislost výnosu na říjnových teplotách ve vybraných krajích.

Říjen – teplota				
Kraj	P	r	R ² (%)	Lineární rovnice
Středočeský	0,38	0,21	4,26	Výnos=1,580526+0,054698*t
Jihočeský	0,70	0,09	0,84	Výnos=1,821232+0,018647*t
Královéhradecký	0,46	0,17	3,05	Výnos=1,706806+0,044021*t
Pardubický	0,56	0,14	1,91	Výnos=1,835+0,033892*t
Jihomoravský	0,51	0,16	2,47	Výnos=1,667669+0,041689*t
Olomoucký	0,67	0,10	1,01	Výnos=1,921407+0,024981*t
Zlínský	0,76	0,07	0,51	Výnos=1,945562+0,018406*t
Moravskoslezský	0,43	0,19	3,57	Výnos=1,700552+0,041519*t

Posledním měsícem zahrnujícím vegetační období sóji v podmínkách pěstování v České republice je říjen. U všech krajů je zaznamenána pozitivní korelace. Nejvyšší hodnota P je u Středočeského kraje, 0,12. Tato hodnota potvrzuje statisticky nevýznamný vztah mezi oběma proměnnými na hladině spolehlivosti 95 %. U teploty je to podobné jako u srážek. Žádný z měsíců nevykazuje statisticky významný vztah, dokonce hladina hodnoty P neklesla v ani jednom z případů pod 0,35. Korelační koeficient je nejvyšší ve Středočeském kraji, kde má hodnotu 0,21.

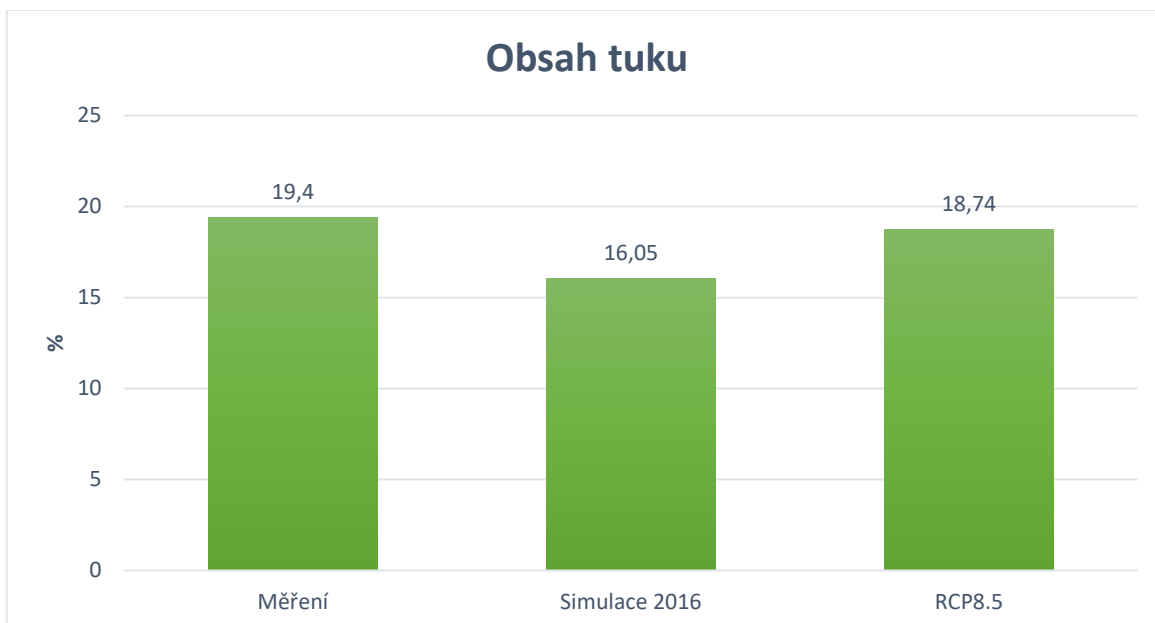
6.5 Výsledky DSSAT modelu

V grafu 16 lze pozorovat vývoj výnosu predikovaný modelem DSSAT. Průměrný reálný výnos v simulované oblasti pro rok 2016 byl 2,45 t/ha. Rok 2016 byl zvolen z důvodu komplexnosti dat. Simulovaný potenciální výnos v tomto roce je 3,4 t/ha. Tento výnos ukazuje, že vlivy biotických a abiotických faktorů jsou neoddiskutovatelné. Rozdíl mezi pozorovaným a potenciálním výnosem činí 0,95 t/ha. Při scénáři RCP 8.5, tedy vysokému navýšení CO₂ (dnešní obsah oxidu uhličitého ve vzduchu je zhruba 400 ppm, použitý scénář počítá s hodnotou 936 ppm), nárůstu radiačního působení (nyní je hodnota RF zhruba 2,1, W.m² simulovaný model počítá s 8,5 W.m²) a oteplením ovzduší o průměrně 3,7 °C model DSSAT ukazuje, pro pěstování sóji, velice pozitivní výsledky. Potenciální výnos sóji při těchto podmínkách je 4,9 t/ha.



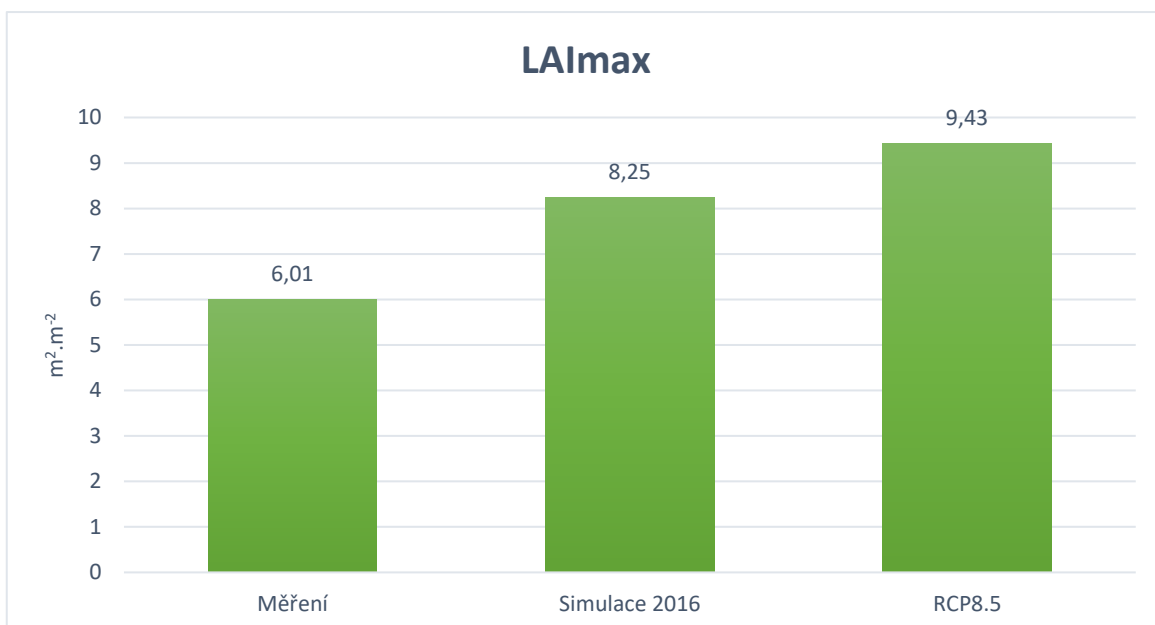
Graf 16: Predikce výnosu v DSSAT.

V grafu 17 je znázorněn obsah tuku v semenech neboli olejnatosť. Při měření byla brána průměrná olejnatosť sóji v České republice, která byla ve sledovaném roce rekordních 19,4 % obsahu oleje. Takto vysoký obsah byl způsoben teplým a slunečným zářím, kdy rostliny sóji stihly uzrát a utvořit dostatek zásobních látek v semeni. Model počítal přímo s lokalitou Mochov, kde podmínky byly ve srovnání s průměrem České republiky méně vhodné pro obsah tuku v semeni. I tak model v simulaci vykázal hodnotu 16,05 %, což by se dalo označit za průměrný obsah tuku v semenech. Při scénáři RCP 8.5 za období 2022-2030 lze sledovat nárůst olejnatosti o zhruba 17 % oproti simulaci 2016.



Graf 17: Predikce obsahu tuku v semenech sóji v DSSAT.

LAI_{max} je maximální index listové plochy měřený v obsahu listové plochy na m² půdy. Jeho simulované hodnoty jsou znázorněné v grafu 18. Hodnota LAI_{max} je důležitá pro představu hodnoty tvorby biomasy. Naměřená hodnota v Mochově byla 6,01. Při ideálním průběhu vegetace ukazuje Simulace pro rok 2016 potenciální LAI_{max} na hodnotě 8,25, což je rozdíl 37,5 % oproti měření. Model DSSAT spočítal pro scénář vývoje klimatu RCP8.5 nárůst o dalších 14,5 % na hodnotu 9,43.



Graf 18: Predikce LAI_{max} v porostech sóji v DSSAT.

7 Diskuse

Na základě dat získaných z Českého statistického úřadu a Českého hydrometeorologického ústavu byla provedena analýza dat pomocí programu Microsoft Office Excel. Dále bylo potřeba sehnat vhodná data, taktéž z Českého statistického úřadu a Českého hydrometeorologického úřadu pro analýzu klimatických podmínek jednotlivých krajů v České republice. Vybráno pro analýzu bylo 8 krajů, které disponují pěstitelskou plochou sóji větší než 500 ha. Podmínky výběru splňovaly následující kraje: Středočeský, Jihočeský, Královéhradecký, Pardubický, Olomoucký, Jihomoravský, Zlínský a Moravskoslezský.

Podle portálu intersucho.cz lze usuzovat, že v poslední dekádě dochází ke zhoršení vláhových podmínek v nejteplejších oblastech České republiky, které mají nejvyšší potenciál pro pěstování sóji. Z toho vychází, že teplotní podmínky sledovaných krajů odpovídají zvýšení potenciálu pro pěstování. Limitním faktorem se ukazuje nedostatek srážek.

Ze získaných výsledků vychází, že lineární regresní modely založené na zprůměrování teplot a měsíčních úhrnů srážek nejsou spolehlivé pro predikci potenciálního výnosu sóji na území České republiky. Proto byl v práci současně aplikován velmi složitý růstový model pro predikci výnosu sóji za použití velkého souboru dat.

Jak uvádí Štranc et al. (2002), tak v tomto roku dochází k zavádění nových výkonných odrůd. V porevolučním období nebyly dostupné vhodné odrůdy a sója se pěstovala na nízkých tisících hektarů. Následně, na přelomu tisíciletí došlo zásluhou pěstování kanadských odrůd sóji firmy Prograin k nárůstu ploch sóji o násobky. Tyto nové, výkonné odrůdy se začaly rozšiřovat i do vyšších zeměpisných šířek. Například uvádí, že pro kontinent Severní Ameriky – sever USA a jižní oblasti Kanady (45° – 49° severní šířky), tedy zeměpisné šířky přibližující se té v České republice, znamenaly tyto odrůdy okamžitý průnik sóji do osevních postupů tamních zemědělců.

Gaweda et al. (2020) i Mandić (et al. 2017) potvrzují, že pro podmínky pěstování sóji v České republice jsou podobné jako v jiných zemích nad 45° severní šířky. Limitujícími faktory jsou požadavky na délku dne specifické pro odrůdy. Dále dostupnost vody po většinu vegetační doby. Hlavními faktory kvalitního výnosu jsou srážky a teplota, převážně v době klíčení a kvetení.

Dle Aydinsakir (2018) je dostatečné zásobování vodou rozhodující pro růst sóji a dobré výnosy. Stres suchem v době klíčení nebo kvetení způsobuje podobné účinky jako chladový stres, ačkoli sucho v raných stádiích vývoje plodin nemá podle zpráv žádné významné důsledky omezující růst. V oblastech se suchými léty a písčítými půdami lze zvážit zavlažování, ale existuje jen málo publikovaných důkazů o tom, zda je zavlažování ekonomicky vhodné pro produkci sóji v mírném podnebném pásu.

Karges et al. (2022) poukazují na to, že pěstování sóji ve střední a severní Evropě je stále velmi nové téma, takže o jejím potenciálu je známo poměrně málo. Jejich studie prokázala vysoký agroekonomický potenciál pro pěstování časně zrajících odrůd sóji pro

krmné účely ve středoevropském prostředí. Hlavním zjištěním byla vysoká závislost na teplotě a rozložení srážek v červnu a září. V letech s nedostatečným nebo špatným rozdělením srážek byl zjištěn pozitivní vliv zavlažování na výnos i obsah bílkovin v semeni.

Potenciál sóji ve vyvíjejícím se globálním a regionálním klimatu ukazují i výsledky DSSAT. V modelovém roce 2016 byl reálný sledovaný výnos 2,45 t/ha. Simulovaný, potenciální výnos dosáhl hodnoty 3,4 tun z hektaru. Tento výsledek znamená, že model simulaci nadhodnotil vůči realitě. Při započtení scénáře RCP 8.5, kdy dojde k navýšení hodnoty CO₂ o více než 500 ppm, nárůstu radiačního působení o přibližně 6 W.m² a globálnímu oteplení o průměrně 3,7 °C, dochází k navýšení simulovaného výnosu na 4,9 t/ha semene se současnými odrůdami. Sledovaným parametrem v simulaci byla také olejnatost semen sóji. Tento parametr prokázal, že vliv ročníku je stále určujícím faktorem. Kvůli nadprůměrným teplotám v září 2016, kdy průměrná zářijová teplota byla o 1 °C vyšší než kterýkoliv rok v posledních 15 letech, byl i obsah oleje v semenech velmi vysoký. Model, který počítal s konzervativním průměrem ukázal hodnotu olejnatosti o více než 3 % nižší. V simulaci RCP 8.5 byl zjištěn pozitivní vliv teplejšího podnebí na olejnatost. Průměrné hodnoty maximální hodnoty LAI se v simulaci také zvětšují. Model DSSAT vypočítal pro RCP 8.5, že hodnota LAI max by se mohla zvětšit o více než 50 % oproti stávajícím hodnotám. Důležité je uvědomit si, že model počítá s daty pro stávající odrůdy, při uvážení, že odrůdy dosáhnou v budoucnu značného pokroku, tak mohou být tato čísla ještě vyšší.

Lze potvrdit hypotézu, že sója má velký potenciál pro pěstování v České republice jak z hlediska klimatu, ekonomiky i ekologie. Návrhem na pokračování ve výzkumu vlivu proměnlivých klimatických podmínek na našem území by mohl být praktický víceletý pokus, který by zahrnoval detailní sledování sóji v jednotlivých měsících na poli, a zkoumal její reakce na rozličné podmínky v jednotlivých měsících.

8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zjistit, zda má sója luštinatá potenciál pro pěstování ve vyvíjejících se podmínkách České republiky a zdali je plodinou, která může být součástí stálého osevního postupu. Metodika diplomové práce je založena na predikci výnosu sóji dle interpolační metody v Excelu a růstového plodinového model v systému Půda-Plodina-Atmosféra – DSSAT. Pomocí lineárních regresních modelů byl zkoumán vliv průměrných měsíčních teplot a měsíčního úhrnu srážek na výnos.

Rozdíl v predikci obou modelů je značný. Mezitím, co predikce pomocí interpolačních modelů ukazuje hodnoty bližší dnešku, tak DSSAT model prognostikuje téměř dvojnásobný nárůst výnosu. Interpolační model dělá prognózu pouze na základě vývoje průměrných výnosů od roku 2002. Růstový plodinový model v systému Půda-Plodina-Atmosféra má násobně vyšší množství vstupních dat. Navíc důležitým faktorem, který má DSSAT model k dispozici, je vývoj klimatu a rostoucí množství CO₂ v ovzduší, s kterým umí počítat ve výpočtu. Model DSSAT ukazuje plný potenciál sóji při komplexní analýze velkého množství dat. Rozdílnost výsledků lineárních regresních modelů pro Českou republiku a kraje je dána jinak dlouhou časovou osou, z které mohly být tyto výsledky čerpány.

Diplomová práce obsahuje v první kapitole literární rešerši. Ta napomáhá k lepšímu pochopení agrotechniky sóji, zakládání a vedení porostu nebo výběru konkrétní odrůdy. Dále je v této kapitole ukázána reálná karta plodiny z praxe. Na této kartě je demonstrován průběh vegetační doby sóji i se všemi agrotechnickými zásahy. Následně je popsán vliv všech abiotických a biotických faktorů, které mohou ovlivňovat celkový výnos sóji. V poslední části rešerše je pak nastíněn vývoj klimatu v České republice a postavení sóji na světovém, evropském a českém trhu.

První část výsledků se zabývá vztahem, mezi průměrným výnosem od roku 1993 do roku 2020 a průměrnými srážkami a teplotou za stejné období pro celou Českou republiku. U srážek nebyl potvrzen statisticky významný vztah pro žádná ze sledovaných měsíců. Nejblíže k prokázání statisticky významného vztahu na hladině spolehlivosti 95 % bylo září, u kterého byla zjištěna hodnota $P=0,26$ a korelační koeficient $-0,22$. Korelační koeficienty u ostatních měsíců lze označit jako slabé, ale kladné. Kromě září je výnos v jiných měsících rostoucími srážkami ovlivňován kladně, ale statisticky neprůkazně. U teploty byl zjištěn statisticky významný vztah u června ($P=0,048$), kdy byl potvrzen jeho pozitivní vliv na výnos při teplém průběhu měsíce. Středně silný korelační koeficient byl dokázán také u září, kdy $r=0,36$.

V druhé části výsledků byl zjišťován také vztah mezi výnosem a průměrnými srážkami a teplotou, ale pro jednotlivé kraje a v období 2002-2021. Důsledkem zvolení jiného časového rozpětí (kvůli dostupnosti dat) a skokovém vývoji kvalitnějších odrůd, ukazovaly výsledky v jednotlivých krajích často jiné významnosti vztahů u různých měsíců. Výsledkem bylo potvrzení, že jednotlivé kraje se svými specifiky liší a regresní analýza mezi nimi často ukazovala značné rozdíly. Nejvýznamněji výnos ovlivňujícím

parametrem byly červencové srážky. U těch byla hned ve 3 krajích stanovena kvalita regrese na více než 20 %. Teploty ovlivňují výnos nejvíce v červenci (negativně) a září (pozitivně). U teplot nebyl nalezen statisticky významný vztah.

Dle interpolační metody v Excelu se průměrný výnos mezi roky 2022-2030 v jednotlivých krajích odhaduje kolem 2,6 t/ha, výjimkou je Jihočeský kraj, kde odhad směřuje k průměrnému výnosu 2,3 t/ha.

Třetí část výsledků se zajímá o modelování výnosu při použití klimatického scénáře RCP 8.5. Výsledkem modelace je výrazně pozitivní vliv vývoje klimatu na území České republiky na celkový výnos v období 2022-2030. Potenciální hodnota výnosu by mohla být až 4,9 t/ha. Rostoucí tendence se ukazují i u hodnoty olejnatosti, které je predikován nárůst na průměrně až 18,74 %. Výrazný nárůst model predikuje i pro hodnotu LAI max, kdy výslednou hodnotou v simulaci pro časový horizont 2022-2030, je 9,43 m² listové plochy na m² půdy.

Stanovisko k hypotéze

Hypotéza: Zjištění, zdali má sója při současném vývoji klimatu potenciál pro zařazení do stálého osevního postupu.

Na základě několika zjištění lze potvrdit, že sója při současném vývoji klimatu má potenciál pro zařazení do stálého osevního postupu. Jedním z důkazů může být rapidní růst jejího podílu mezi pěstovanými plodinami. Za poslední 3 roky se její výměry zdvojnásobily a lze očekávat další nárůst. Vhodnost pro její pěstování ve vyvíjejícím se klimatu dokazuje i model DSSAT, který predikuje navýšení výnosů na téměř 5 t/ha.

9 Literatura

Ainsworth EA, Long SP. 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytologist*, **165**: 351-371.

Bao Y, Hoogenboom G, McClendon RW, Urich P. 2015. Soybean production in 2025 and 2050 in the southeastern USA based on the SimCLIM and the CSM-CROPGRO-Soybean models. *Climate Research* **63**:73-89.

Bastidas AM, Setiyono TD, Dobermann A, Cassman KG, Elmore RW, Graef GL, Specht JE. 2008. Soybean Sowing Date: The Vegetative, Reproductive, and Agronomic Impacts. *Crop Science* **48**:727-740.

Boote KJ. 2001. Physiology and modeling of traits in crop plants: Implications for genetic improvement. *Agric. Systems* **70**:395–420.

Crhová L, Kliegrová S, Valeriánová A. 2022. Short-term rainfall characteristics dependence on the length of processed period. EMS Annual Meeting, Germany.

Český statistický úřad. 2022. Vývoj osevních ploch zemědělských plodin k 31.5. Available from <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM02C&z=T&f=TABULKA&skupId=346&katalog=30840&pvo=ZEM02C#w=> (accessed February 2023).

Daryanto S, Wang L, Jacinthe PA. 2015. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: a review. *Agricultural Water Management* **172**:41-54.

Dudík D, Bareš I, Chmel V, Kovačič V, Srp A, Vaněček K, Žilka P. 1966. *Rostlinná výroba*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

eKatalog BPEJ. 2022. 51400. Available from <https://bpej.vumop.cz/51400> (accessed November 2022).

EUROstat. 2021. Available from <https://ec.europa.eu/eurostat/de/> (accessed March 2023).

FAOSTAT. 2020. Soybeans. Available from <http://data.un.org/Data.aspx?d=FAO&f=itemCode%3a236> (accessed February 2023).

Feráková V, Lichner M, Šimala M. 2019. Management of soybean pests: Current status and prospects for integrated pest management. *Plant Protection Science* **55**:129-137.

Gao Q, Zhang W, Mu P, Liu W, Liu W, Liang Y. 2018. Effects of nitrogen application rate and split application of nitrogen fertilizer on soybean protein quality. *Plant and Soil* **423**:59-70.

- Gaweda D, Nowak A, Haliniarz M, Wozniak A. 2020. Yield and Economic Effectiveness of Soybean Grown Under Different Cropping Systems. Available from <https://link.springer.com/article/10.1007/s42106-020-00098-1> (accessed March 2023).
- Grimm SS, Jones JW, Boote KJ, Herzog DC. 1994. Modeling the occurrence of reproductive stages after flowering for four soybean cultivars. *Agronomy Journal* **86**:31-38.
- Guilpart N, Iizumi T, Makowski D. 2020. Data-driven yield projections suggest large opportunities to improve Europe's soybean self-sufficiency under climate change. Available from <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.10.08.331496v1> (accessed March 2023).
- Haberle J, Trčková M, Růžek P. 2008. Příčiny nepříznivého působení vlivu sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití obilovinami a možnosti jeho omezení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Hartman GL, Miles MR, Frederick RD. Breeding for Resistance to Soybean Rust. *Plant disease* **89**.
- Hlavinka P, Trnka M, Kersebaum KC et al. 2014. 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* **152**:188-204.
- Hosnedl V. 1999. Stárnutí a vitalita osiva. Osivo a sadba-sborník referátů ČZU. Available from http://biocentrum.zf.jcu.cz/docs/ruzne/ruz-SEM_skr-01e9f8f800.pdf (accessed December 2023).
- Houba M. 2019. Pěstování luskovin (2): Sója-Glycine. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/pestovani-luskovin-2-soja-glycine> (accessed December 2023).
- Challinor AJ, Ewert F, Arnold S, et al. 2009. Crops and climate change: progress, trends, and challenges in simulating impacts and informing adaptation. *Journal of experimental botany* **60**:2775-2789.
- IPCC. 2013, Climate change 2013: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- Jones JW, Hoogenboom G, Porter CH, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA, Wilkerson GG. 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy* **18**:235-265.
- Karges K, Bellingrath-Kimura SD, Watson CA, Stoddard FL, Halwani M, Reckling M. 2022. Agro-economic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe. *European Journal of Agronomy* **133**.
- Kazda J, Mikulka J, Prokionová E. 2010. Encyklopedie ochrany rostlin. Profi Press, Praha.

- Kollas C, Kersebaum KC, Nendel C, et al. 2015. Crop rotation modelling – a European model intercomparison. *European Journal of Agronomy* **70**:98-111.
- Kuchtík F, Procházka I, Teksl M, Valeš J. 1995 Pěstování rostlin II celostátní učebnice pro Střední zemědělské školy. Nakladatelství FEZ, Třebíč.
- Lahola J. 1990. Luskoviny-pěstování a využití. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Mandić V, Bijelić Z, Krnjaja V, Simić A, Ružić-Muslić D, Dragičević V, Petričević V. 2017. The rainfall use efficiency and soybean grain yield under rainfed conditions in Vojvodina. *Biotechnol. Anim. Husb.* **33**:475-486.
- Mourtzinis S, Gaska J, Conley SP, Kandel HJ. 2015. Effect of planting date, maturity group, and temperature on soybean seed yield and quality in the northern Corn Belt. *Agronomy Journal* **107**:1710-1716.
- Nelson GC, Valin H, Sands RD, Havlík P, Ahamad H, Deryng D, Elliott J, Fujimori S, Hasegawa T, Heyhoe E. 2014. Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **111**:3274-3279.
- Ojumu B. 2016. Biotic factors affecting agricultural production. Available from <https://passnownow.com/classwork-series-exercises-agricultural-science-ss1-6-biotic-factors-affecting-agricultural-production/#comments> (accessed February 2023).
- Pagano MC, Miransari M. 2016. The importance of soybean production worldwide. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012801536000013> (accessed November 2022).
- Palosuo T, Kersebaum KC, Angulo C, et al. 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: a comparison of eight crop growth models *European Journal of Agronomy* **35**:103-114.
- Pammenter NW, Berjak PA. 1999. Review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms. *Seed Science Research* **8**:13-57.
- Podrábský M. 2002. Zvláštnosti agrotechniky a chyby při pěstování sóji. Zemědělská agentura, Praha.
- Pohanková E. 2016. Modelování růstu a vývoje ječmene jarního [disertační práce]. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Potopová V, Poláková J, Holec J. 2020. Změna klimatu a jeho ochrana jako priorita politické debaty. *Ochrana přírodních zdrojů v politice rozvoje venkova*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.
- Potopová V, Rafique AC, Muntean N, Hoogenboom G, Boote KJ, Musiolková M. 2023. Metodika simulace produkce plodin, hospodaření s vodou a živinami, klimatických rizik a environmentální udržitelnosti v DSSAT. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha

- Potopová V. 2018. Nové poznatky, které jsou odrazem změny klimatu – vliv sucha na rostlinnou produkci. *Agromanuál* **8**:102-105.
- Prasad PVV, Djanaguiraman M, Seaton PT. 2019. Effects of high temperature stress on soybean seed germination and vigor. *Plant Growth Regulation* **67**:11-22.
- Pulkrábek J, Capouchová I, Hamouz K. 2003. Speciální fytotechnika. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Revkin A. 2014. Brazil Posts Double Win with Simultaneous Soy Boom and Deforestation Drop. Available from http://dotearth.blogs.nytimes.com/2014/06/05/forget-the-world-cup-brazil-posts-double-win-with-simultaneous-soy-boom-and-deforestation-drop/?_php=true&_type=blogs&_r=0 (accessed December 2022).
- Ritchie H, Roser M. 2013. Land Use. Our world in data. Available from <https://ourworldindata.org/land-use> (accessed February 2023).
- Rosenzweig C, Elliott J, Deryng D, et al. 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proc. Natl Acad. Sci.* **111**:3268–3273.
- Shen Y, Zhang R, Li X, Yang S, Shen Y, Wang Z. 2016. Effects of water stress and irrigation modes on soybean yield and water use efficiency in the North China Plain. *Journal of Integrative Agriculture* **15**:2333-2343.
- Slavík B. 2000. Květena České republiky 4. Academia, Praha.
- Studnicki M, Leszczyński B, Wielgusz K. 2018. The influence of *Aphis fabae* and *Aphis glycines* infestation on the quality and quantity of soybean seed production. *Plant, Soil and Environment* **64**:315-320.
- Šariková D, Hnát A. 2011. Vplyv spôsobu pestovania a hnojenia na kvalitu sóje fazuľovej. Centrum výskumu rastlinej výroby, Piešťany.
- Šindelková T. 2020. Situační a výhledová zpráva olejnin. Available from https://eagri.cz/public/web/file/682857/SVZ_Olejnin_12_2020.pdf (accessed February 2023).
- Štranc D, Štranc J, Štranc P. 2002. Pěstování sóji v Česku: historie a možnosti. Available from <https://www.uroda.cz/pestovani-soji-v-cesku-historie-a-moznosti/> (accessed March 2023).
- Štranc P, Procházka P, Štranc J, Štranc D. 2013. Termín desikace porostů sóji významně ovlivňuje klíčivost osiva. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. Mezlík T. 2020.
- Tolász J. 2015. Sójový bob – významná plodina pro zemědělství a potravinářství. Available from <https://www.uroda.cz/sojovy-bob-vyznamna-plodina-pro-zemedelstvi-a-potravinastvi/> (accessed February 2023).

Trnka M, Balek J, Brázdil R, Dubrovský M, Eitzinger J, Hlavinka P, Chuchma F, Možný M, Prášil I, Růžek P, Semerádová D, Štěpánek P, Zahradníček P, Žalud Z. 2021. Posun agroklimatických podmínek Česka v posledních 60 letech. Available from http://www.akcr.cz/data_ak/21/a/AGRObase2102.pdf (accessed February 2023).

Trnka M. 2022. Velké sucho teď nikde není. Mladá fronta Dnes, Praha.

Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P, Kolář L. 2016. Výživa a hnojení polích plodin. Profi Press, Praha.

VÚZT. 2022. Normativy pro poradenství. Available from <https://www.vuzt.cz/databaze-a-programy/normativy-pro-poradenstvi/?fbclid=IwAR1WtWyu9oFwt4FZyGpfDLj88agfycOo9Qa7caTLaAEWtvv-UVCmsrOvrYs> (accessed November 2022).

Vytiska F. 2022. Seznam doporučených odrůd 2022 Hrách polní jarní, sója. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, Brno.

Ye JH, Lv JQ, Liu SR, Liu SR, Jin J, Wang YF, Wei CHL, Zao SQ. 2021. Effects of Light Intensity and Spectral Composition on the Transcriptome Profiles of Leaves in Shade Grown Tea Plants (*Camellia sinensis* L.) and Regulatory Network of Flavonoid Biosynthesis. *Molecules* **26**:5836.

Zhang C, Zhao J, Zhang J, Zhao X, Chen L, Ren X, Yang G. 2019. Soil microbial community structure and function are significantly affected by long-term organic and inorganic fertilization regimes in the North China Plain. *Applied Soil Ecology* **134**:33-42.

Zhu L, Xue C, Wang Y, Yang L, Wu X. 2020. Effects of soil factors on yield and quality of soybean in Northeast China. *Frontiers in Plant Science* **11**:99.