# Česká zemědělská univerzita v Praze

## Provozně ekonomická fakulta

## Precizní zemědělství a digitalizace v ČR

## QK23020058

**METODIKA:**

# DIGITÁLNÍ TRANSFORMACE ZEMĚDĚLSTVÍ V KONTEXTU ADAPTACE NA KLIMATICKÉ ZMĚNY A DALŠÍ GLOBÁLNÍ VÝZVY K DOSAŽENÍ EKONOMICKÉ A ENVIRONMENTÁLNÍ UDRŽITELNOSTI

**Autoři: Jana Kholová, Jan Pavlík, Jan Jarolímek, Lukáš Čechura, Zdeňka Žáková Kroupová, Lenka Rumánková, Jiří Vacek, Jiří Vaněk**

©2025 ČZU v Praze

**SOUHRN:**

Metodika poskytuje agro-ekonomické modelovací nástroje a postupy, které lze zodpovědně použít pro digitalizaci agro-ekonomických systémů v ČR. Digitalizované systémy jsou východiskem pro design zemědělských systémů v rámci jejich adaptace na klimatické změny. Tento koncept je primárně použit pro kukuřičné produkční systémy v ČR, které jsou nejvíce ohroženy klimatickou změnou. Metodika nabízí agro-ekonomické nástroje a navržené postupy pro substituci kukuřice čirokem. Stejné modelovací nástroje jsou následně použity k *in silico* identifikaci vhodných "ideotypů" čiroku a kultivačních metod, které s vysokou pravděpodobností povedou ke stabilizaci výnosů v těchto problematických oblastech.

Agronomické modelování poskytuje repozitář dostupných experimentálních dat a datových zdrojů (úroda, půda, meteorologické informace, agronomické postupy, budoucí globální modely klimatu [GCM] pro ČR), rekapitulace know-how a srovnání existujícího nastavení modelovacích nástrojů (primárně APSIM, SSM, DSSAT).

Ekonomické modelování: vstupní data a zároveň výstupy z agronomického modelování, dostupná polní data a další informace ekonomického charakteru slouží pro odhad stochastických produkčních modelů, které umožňují komparativní analýzu českých produkčních systémů kukuřice a alternativních plodin (čirok). Odhadnuté produkční modely poskytují informace o technické efektivnosti, efektivnosti z rozsahu, a produktivitě pro analyzované plodiny a pro různé agronomické postupy (vč. precizního zemědělství), půdní a další charakteristiky. Zároveň poskytnou srovnání jednotkových nákladů a ziskovosti v analyzovaných klimatických scénářích. Jednotlivé proměnné jsou vytvořeny v návaznosti na strukturu nákladů a výnosů relevantní pro model, hektarové výnosy, pěstební plochy s ohledem na výrobní oblasti a klimatické podmínky. Produkční modely jsou odhadnuty s využitím ekonometrického přístupu stochastické hraniční analýzy.

Optimální design agronomických produkčních systémů ČR: vhodný model (např. APSIM, DSSAT a SSM) je adaptován pro systémy v ČR. Následně je použit k agronomickému modelování relevantních kombinací potenciálních kultivarů alternativních plodin (tj. ideotypu čiroku doprovázeným vhodnými kultivačními metodami) pro tradiční kukuřičné produkční systémy v ČR ("GxM for E"). Výstupy simulací zahrnují optimalizovanou produktivitu plodin (výnos zrna a biomasy), optimalizované vstupní parametry (hnojiva, čas a hustota výsevu) a dynamiku využití zdrojů (např. organicky uhlík v půdě, efektivnost využití hnojiva).

Propojení ekonomického modelu s agronomickým modelem vytvoří podklad k tvorbě a testování klimatických scénářů, vč. zohlednění agronomických postupů, pro komerční kultivaci čiroku a přispívá k definování potenciálních ekonomických výhod.

**Hlavní výstupy:**

**Výstup 1:** Sada nástrojů pro modelování dat: Konfigurace a design datových struktur ČZU umožňující využití agro-ekonomických modelovacích nástrojů. Výstupem budou data a metadatové struktury pro agronomická a ekonomická zhodnocení (digitalizace dat).

**Výstup 2:** Prioritizované agronomické postupy a geografické cíle ČR s vysokým produkčním potenciálem alternativních plodin (ideotypu čiroku) v porovnání s tradičními systémy kukuřice.

**KLÍČOVÁ SLOVA:**

Agro-ekonomické modelování, produkční systémy, čirok, kukuřice, změna klimatu.

**DEDIKACE:**

Výsledky výzkumu prezentované v této metodice vznikly v rámci řešení výzkumného projektu QK23020058 "Precizní zemědělství a digitalizace v ČR" financovaného NAZV v rámci výzkumného programu: QK – Program aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2017-2025, ZEMĚ.

# Obsah

Úvod ..... 1
1 Cíl metodiky ..... 2
2 Srovnání novosti postupů ..... 3
3 Popis modelů ..... 6
3.1 Agronomický model a jeho nastaveni ..... 6
3.2 Ekonomický model ..... 15
4 Výsledky ..... 23
4.1 Výsledky simulací APSIM ..... 23
4.2 Ekonomický model ..... 25
5 Popis uplatnění metodiky ..... 56
6 Ekonomické aspekty ..... 57
7 Seznam použité související literatury ..... 58
8 Seznam publikací, které předcházely metodice ..... 60
9 Oponenti ..... 61
10 Dedikace ..... 61
11 Přílohy ..... 62

# METODIKA – HLAVNÍ ČÁST

## ÚVOD

Metodika je zpracována pro potřeby Ministerstva zemědělství České republiky (MZe ČR) a je zaměřena na podporu digitalizace agro-ekonomických produkčních systémů v České republice jako klíčového nástroje adaptace zemědělství na probíhající klimatickou změnu. Metodika poskytuje analytický a metodický rámec, který umožňuje hodnocení, návrh a optimalizaci zemědělských produkčních systémů s využitím integrovaného agronomického a ekonomického modelování.

Hlavní aplikační oblastí metodiky jsou produkční systémy kukuřice, která patří mezi nejvíce ohrožené plodiny v důsledku změn teplotního a srážkového režimu v České republice. Metodika se proto zaměřuje na identifikaci a hodnocení adaptačních strategií, zejména na substituci kukuřice čirokem, a to včetně návrhu vhodných ideotypů čiroku a odpovídajících agronomických postupů.

Metodika kombinuje agronomické modelování (např. APSIM, DSSAT, SSM) s ekonometrickým modelováním produkčních procesů, přičemž vychází z rozsáhlého souboru digitalizovaných dat zahrnujících výnosy, půdní a meteorologické charakteristiky, agronomické postupy a klimatické scénáře založené na globálních klimatických modelech (GCM) pro území ČR. Tento přístup umožňuje in silico analýzu produkčních systémů a testování jejich chování v různých klimatických a technologických scénářích.

Ekonomická část metodiky využívá výstupy agronomického modelování a dostupná produkční data k odhadu stochastických produkčních modelů, které umožňují komparativní hodnocení produkčních systémů kukuřice a alternativních plodin (čiroku). Modely poskytují informace o technické efektivnosti, jednotkových nákladech a ziskovosti jednotlivých agronomických postupů ve vybraných klimatických podmínkách. Tyto výsledky vytvářejí analytický základ pro posouzení ekonomických dopadů adaptačních opatření a jejich relevance pro rozhodování řídicí sféry.

Metodika klade důraz na řízení zemědělství založené na datech (data-driven management) a na využití digitalizovaných agro-ekonomických systémů jako nástroje pro identifikaci rizikových regionů a cílené nastavení adaptačních strategií, které jsou agronomicky funkční a zároveň ekonomicky smysluplné. Výstupy metodiky zahrnují nejen doporučení prioritních agronomických postupů, ve kterých má čirok při zohlednění klimatických scénářů a ekonomických souvislostí nejvyšší potenciál nahradit tradiční produkční systémy kukuřice.

# 1 CÍL METODIKY

Cílem metodiky je vytvořit integrovaný agro-ekonomický a modelový rámec, který umožní kvantitativní hodnocení produktivity, efektivnosti a ekonomické výkonnosti zemědělských produkčních systémů v České republice v podmínkách probíhající klimatické změny. Metodika je zaměřena na digitalizaci produkčních systémů a na propojení agronomického a ekonomického modelování jako nástroje pro analýzu a návrh adaptačních strategií.

Metodika poskytuje analýzu výnosového potenciálu, jednotkových variabilních nákladů a technické efektivnosti produkčních systémů, a to v návaznosti na:

- půdně-klimatické podmínky,
- aplikované agronomické postupy a technologickou úroveň.

Zvláštní důraz je kladen na produkční systémy kukuřice a jejich potenciální substituci čirokem jako adaptační strategii v klimaticky ohrožených oblastech. Metodika umožňuje in silico identifikaci vhodných ideotypů čiroku a odpovídajících agronomických postupů a vyhodnocení jejich agronomických a ekonomických dopadů v různých klimatických scénářích.

Metodika je současně určena jako rozhodovací podpora pro zemědělské podniky, kterým umožňuje identifikovat zdroje neefektivnosti, optimalizovat využití výrobních faktorů a přijímat informovaná rozhodnutí směřující ke zvyšování produktivity, stabilizaci výnosů a zvyšování ziskovosti v podmínkách rostoucí klimatické nejistoty.

## 2 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Novost této studie spočívá v použití nových vstupních dat, a především ve způsobu, jakým jsou existující datové zdroje a modelovací nástroje integrovány. Tato systematická integrace umožňuje úroveň prostorové, ekonomické a statistické analýzy, která dosud na simulace produkce čiroku v podmínkách České republiky nebyla aplikována. Výzkum představuje flexibilní a automatizovaný simulační rámec, jenž výrazně rozšiřuje rozsah i interpretační možnosti analýz založených na modelu APSIM.

APSIM je široce používaný modelovací rámec pro analýzu a návrh pěstitelských systémů (např. Chenu at al. (2011), Khlovoá et al. (2021), Ronaki et al. (2022) a Sarkar et al. (2025)). Modely růstu plodin (Crop Growth Models, CGM) byly vyvinuty již v 80. letech 20. století a od té doby jsou široce využívány v celosvětovém měřítku (viz např. McCown et al. (1995), Khlová et al. (2022) a Gavasso-Rita et al. (2023)). Jejich aplikace ve střední Evropě je však dosud relativně omezená, čemuž odpovídá i nedostatek vhodných, předpřipravených datových sad, které by bylo možné přímo využít jako vstupy pro simulační studie v tomto geografickém kontextu.

Historická meteorologická data vhodná pro simulace byla získána z databází Českého hydrometeorologického ústavu (https://opendata.chmi.cz) a pokrývají přibližně čtyři dekády od počátku 80. let 20. století. Přestože se jedná o dobře etablovaný zdroj dat, jejich příprava vyžadovala pečlivé čištění a harmonizaci tak, aby splňovala vstupní požadavky modelu APSIM. Zásadním omezením byla skutečnost, že bylo možné využít pouze podmnožinu meteorologických stanic, pro něž byly současně dostupné údaje o teplotě vzduchu, srážkách a slunečním svitu. Půdní informace byly odvozeny z půdní databáze H27 a genotyp čiroku byl zvolen na základě odrůdy vyšlechtěné v USA, potenciálně vhodné pro české agro-klimatické podmínky. Tyto kroky poskytly robustní a vnitřně konzistentní výchozí základ pro následné simulace.

Podle našich znalostí tato studie představuje jednu z prvních komplexních aplikací APSIM pro podmínky střední Evropy, a to nejen v rámci České republiky. Digitalizace pěstitelských systémů prostřednictvím modelů růstu plodin přináší zásadní výhody, zejména možnost doplnit a škálovat polní experimenty v prostoru i čase a testovat a kvantifikovat scénáře typu „co kdyby“ v oblasti managementu i prostředí. Tyto schopnosti jsou demonstrovány prostřednictvím úvodní případové studie (Ronaki et al. (2022)), která porovnává produkční potenciál čiroku a kukuřice v podmínkách omezené dostupnosti dusíku.

Přínos tohoto výzkumu spočívá v propojení prostorově explicitního a manažersky flexibilního simulačního rámce APSIM s novou statistickou hodnoticí metrikou. Společně tyto prvky umožňují komplexní průzkum produkčního potenciálu čiroku v podmínkách České republiky, který by nebylo možné realizovat pomocí konvenčních simulačních nastavení ani tradičních přístupů k vyhodnocení výsledků.

Hlavní metodologická inovace spočívá ve vývoji vlastního skriptovacího rámce, který automaticky generuje kombinace pěstitelských opatření z jediné výchozí simulace v APSIM. Tento přístup umožnil vytvoření tisíců simulačních běhů reprezentujících široké spektrum manažerských scénářů, aniž by bylo nutné manuálně duplikovat nebo předem definovat jednotlivé simulační soubory. Zásadním rozšířením oproti běžným postupům je dynamické přiřazování půdních profilů na základě geografické polohy.

Namísto toho, aby byly simulace předem zásobeny omezeným počtem reprezentativních půdních typů, skript využívá prostorová data a půdní informace ve formátu shapefile k identifikaci a přiřazení nejrozšířenějšího půdního typu pro každou simulační lokalitu na základě zeměpisné šířky a délky. Toto prostorově explicitní přiřazování půd představuje významný posun směrem k vyšší realističnosti a škálovatelnosti simulací a umožňuje hodnocení manažerských scénářů způsobem, který lépe odpovídá skutečným stanovištním podmínkám.

Velký počet simulací generovaných tímto rámcem si vyžádal plně automatizované zpracování, které bylo realizováno pomocí dávkového spouštění prostřednictvím nástrojů příkazového řádku. Přestože se podobná automatizace v modelování postupně stává standardem, v tomto případě byla klíčová pro zvládnutí výpočetní náročnosti faktoriálního experimentálního designu a pro zajištění plné reprodukovatelnosti všech simulačních běhů.

Další zásadní novostí studie je způsob statistického vyhodnocení simulačních výstupů. Namísto výhradního využívání absolutních hodnoty výnosu nebo biomasy je zaveden standardizovaný bodovací přístup založený na výpočtu z-skóre. Ten umožňuje zasadit každý jednotlivý výsledek simulace do kontextu celého rozdělení všech simulovaných scénářů. Výsledky jsou tak interpretovány relativně – jako odchylka od průměrné výkonnosti, nikoli pouze absolutně.

Kombinací vážených z-skóre pro výnos a biomasu byl vytvořen kompozitní ukazatel nazvaný Index shody (Index of Goodness, IoG). Tento index shromažďuje vícerozměrné simulační výstupy do jediné snadno interpretovatelné hodnoty, která se typicky pohybuje v rozmezí −3 až +3, což odpovídá přibližně normálnímu rozdělení výsledků. IoG tak umožňuje efektivní porovnávání tisíců simulací a usnadňuje identifikaci pěstitelských strategií, které dlouhodobě dosahují nadprůměrné či podprůměrné výkonnosti.

Prostorově explicitní přiřazování půd a bodování pomocí IoG představují dva na sobě nezávislé metodologické přínosy: první zvyšuje fyzikální realističnost simulací na úrovni jednotlivých lokalit, zatímco druhý zlepšuje interpretovatelnost a srovnatelnost velmi rozsáhlých souborů simulačních výsledků. Tyto přístupy navazují na předchozí práce využívající APSIM a půdní databáze, avšak zároveň řeší konkrétní omezení dřívějších studií, zejména manuální výběr půd a roztříštěnost hodnoticích metrik. Například studie Durrington et al. (2025) poukazuje na problém hodnocení scénářů G×E×M v situaci, kdy existuje velké množství možných metrik a obtížný proces výběru simulací s největším aplikačním potenciálem. Použití jediného indexu IoG tento proces výrazně zjednodušuje.

**Srovnání s existujícími přístupy**

Předchozí studie založené na APSIM a in silico modelování plodin (např. Diancoumba et al. (2024)) úspěšně využívaly rozsáhlé soubory manažerských a klimatických scénářů k charakterizaci produkčního prostředí plodin, včetně nedávných prací zaměřených na čirok a další plodiny. Mnohé z těchto studií však pracovaly buď s omezeným počtem reprezentativních půdních profilů, nebo s globálními mřížkovými půdními produkty, když nebyla k dispozici lokální půdní data. Použití malého počtu předdefinovaných půdních profilů sice zjednodušuje vstupy modelu, ale může opomíjet významnou stanovištní variabilitu, která ovlivňuje vodní a živinovou dynamiku.

Jiné výzkumy se zaměřily na využití vysoce rozlišených či harmonizovaných půdních mřížek (např. SoilGrids – https://soilgrids.org, půdně-hydraulické produkty JRC) nebo na generické sady půdních profilů, jako je HC27 (https://dssat.net/277/), které umožňují modelování v oblastech s nedostatkem lokálních dat. Tyto přístupy zlepšují prostorové pokrytí, avšak často oddělují přiřazení půd od přesných geografických souřadnic jednotlivých lokalit nebo vyžadují manuální přiřazení půdních typů k simulacím. Naproti tomu námi vyvinuté automatizované přiřazování půd na základě shapefile přímo mapuje převládající lokální půdu ke každé simulační lokalitě, čímž zvyšuje prostorovou realističnost bez nutnosti manuální předvolby.

Z hlediska vyhodnocení výsledků studie modelování plodin obvykle reportují absolutní hodnoty (výnos, biomasa) a někdy využívají indexy stability nebo frekvenčně založené metriky pro shrnutí výkonnosti napříč prostředími. Indexy výnosové stability a ukazatele typu „goodness-of-fit“ se v literatuře objevují (např. [10]), avšak jen málokteré studie kombinují standardizované hodnocení více výstupů do jediného váženého indexu navrženého specificky pro rozsáhlé faktoriální simulační prostory. Náš přístup založený na z-skóre a z něj odvozený Index shody (IoG) výrazně zjednodušují interpretaci tisíců simulačních běhů a poskytují konzistentní a srovnatelnou rankingovou metriku, která doplňuje (nikoli nahrazuje) absolutní ukazatele výkonnosti používané v předchozích studiích. Dalším přínosem studie je vytvoření modelové nadstavby hodnotící ekonomickou stránku výsledků.

# 3 POPIS MODELŮ

## 3.1 Agronomický model a jeho nastaveni

Agronomický model využívá k simulaci zemědělských produkčních systémů software APSIM. Tato subkapitola představuje nastavení softwaru a použitá data k modelování.

### 3.1.1 APSIM – představení softwaru APSIM a modelování plodiny čirok

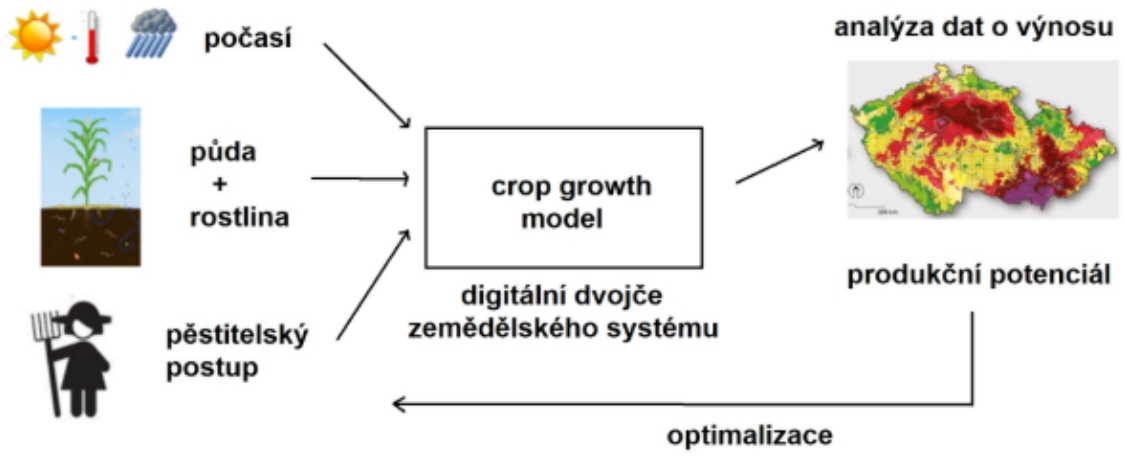
Simulátor zemědělských produkčních systémů (APSIM – *Agricultural Production Systems SIMulator*) je široce používaný modelovací rámec navržený k modelování bio-fyzikálních procesů v zemědělských systémech. Vyvinut byl ve spolupráci Organizace pro vědecký a průmyslový výzkum Commonwealthu (CSIRO), Ministerstva zemědělství a rybolovu ve státě Queensland a Univerzity Queensland. APSIM integruje moduly, které reprezentují plodiny, typ půdy, klima a způsob hospodaření. Jeho modulární struktura umožňuje uživatelům konfigurovat simulace pro různé prostředí a produkční systémy, od studií jedné plodiny až po komplexní osevní postupy a smíšené zemědělské systémy. APSIM je široce využíván v zemědělském výzkumu, hospodaření s přírodními zdroji a studiích dopadu změn klimatu, díky čemuž se řadí mezi nejrobustnější a nejuniverzálnější nástroje v rámci udržitelného zemědělství.

APSIM je obzvláště vhodný pro simulaci produkce plodin, neboť detailně zachycuje interakce mezi plodinami a jejich prostředím. Software zohledňuje klíčové faktory, jako jsou dynamika půdní vody a živin, fenologie plodin, akumulace biomasy a tvorba výnosu, a zároveň umožňuje zahrnutí zásahů řízení, například zavlažování, hnojení či termínů setí. Tato úroveň detailů umožňuje testovat, jak se plodiny chovají v různých klimatických podmínkách, typech půd a při různé strategii řízení. Poskytuje tak cenné poznatky o produktivitě a odolnosti. Díky silné historii validace napříč širokým spektrem plodin a regionů je APSIM spolehlivým nástrojem pro zkoumání potenciální adaptace plodin jako je čirok v regionech, kde dosud není široce pěstován.

Čirok (Sorghum bicolor L. Moench) je všestranná obilnina, která se hojně pěstuje v polosuchých a tropických oblastech Afriky, Asie a Ameriky, avšak v Evropě není běžně pěstován. Evropské zemědělství je zaměřeno převážně na plodiny jako pšenice, ječmen a kukuřice, které jsou dobře přizpůsobené mírnému podnebí a mají zavedené produkční systémy a trhy. Naopak čirok tradičně plní pouze okrajovou roli, s omezenou výměrou a převážně experimentální či specializovanou produkcí. Zájem o čirok však roste díky jeho odolnosti vůči teplu a suchu, což jsou vlastnosti, které mohou být zvláště důležité v souvislosti s očekávanou změnou klimatu. To z něj činí perspektivní alternativní nebo doplňkovou plodinu v evropských regionech, kde by nedostatek vody či rostoucí teploty mohly ohrozit produkci kukuřice.

APSIM byl široce testován a používán pro simulaci produkce čiroku v různých prostředích, zejména v regionech, kde je základní plodinou. Studie v Indii, Africe a Austrálii prokázaly schopnost modelu spolehlivě předpovídat růst čiroku, výnosy a využití zdrojů za různých klimatických, půdních a hospodářských podmínek. Například APSIM byl použit k vyhodnocení strategií adaptace čiroku klimatickým změnám v polosuché Indii a k posouzení potenciálu výnosu a efektivnosti využívání vody v afrických zemědělských systémech. Tyto aplikace potvrzují, že modul APSIM pro čirok přesně reprezentuje fyziologii plodiny, včetně

fenologie, akumulace biomasy a reakce na dostupnost vody a živin. Validace modelu v různých regionech produkujících čirok poskytuje jistotu o vhodnosti jeho využití pro zkoumání potenciálu produkce čiroku v nových prostředích, například v Evropě.

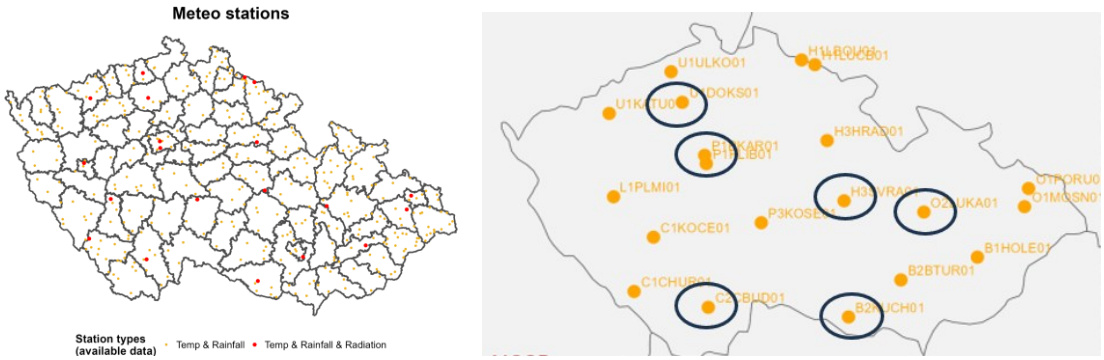



*Obrázek č. 1: Vstupy a výstupy modelu*
*Zdroj: vlastní zobrazení*

### 3.1.2 Vstupní meteorologická data do APSIM

### A) Analyzované lokality

Pro vyhodnocení metodického konceptu bylo vybráno šest lokalit v České republice (viz obr. č. 2), kde byl testován potenciál pěstování čiroku. Tyto lokality představují rozmanité agro-klimatické podmínky v rámci České republiky, což zajišťuje pokrytí různých environmentálních podmínek relevantních pro rostlinnou výrobu, a zároveň jsou pro tyto oblasti dostupná kvalitní meteorologická data.




*Obrázek č. 2: Místa vybraná pro testování konceptu. v ČR je více než 1200 meteorologických stanic (místa zvýrazněná žlutě, první mapa). Dlouhodobé (~40 let) meteorologické záznamy denních teplot Tmin, Tmax, radiace a srážek jsou však k dispozici pouze pro 20 z nich (první mapa červenými body a druhá mapa žlutými body). Stanice vybrané pro testování vstupů jsou zakroužkované černě.*
*Zdroj: vlastní zobrazení*

## B) Zdroje meteorologických dat

Pro každé stanoviště byla připravena meteorologická data ze **dvou typů zdrojů – pozemních meteorologických měření a syntetických/extrapolovaných datových sad.** Analýza syntetických/extrapolovaných dat byla provedena s cílem zjistit, jak překlenout omezení pozemních meteorologických měření (např. omezené prostorové a časové pokrytí) a jaký by byl nejspolehlivější způsob generování budoucích klimatických scénářů pro Českou republiku.

1. **Pozemní měření – Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ)**
    - Data získaná z webového portálu ČHMÚ (https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/).
    - Proměnné: denní minimální a maximální teplota, srážky a sluneční záření.
    - Rozsah dat (Obrázek č. 2):
        - Teplota: ~1 200 stanic (1961–2023)
        - Srážky: ~500 stanic (1961–2023)
        - Sluneční záření: pouze ~20 stanic, kratší záznamy (většinou od roku 1984).
    - Kontrola kvality: Pro porovnání byly použity pouze stanice měřící všechny proměnné (včetně slunečního záření). Stanice mimo zemědělské oblasti (např. horské oblasti, nadmořská výška >750 m n. m.) vykazující systematické odchylky nebyly zahrnuty.
    - Omezení: Oproti ostatním proměnným jsou údaje o radiaci řídké a časové rozpětí je kratší.
    - Zpracování: Byl vyvinut skript v jazyce Python pro převod dat ČHMÚ do formátu .met kompatibilního s APSIM, včetně metadat, záhlaví a denních záznamů.

2. **Extrapolované datové soubory**

    **– NASA POWER**

    - Poskytuje celosvětově dostupná denní meteorologická data (1984-současnost) odvozená ze satelitních pozorování a reanalýz (https://power.larc.nasa.gov/).
    - Data byla získána pomocí skriptu v R, který integruje balíčky **nasapower a apsimx**. Na základě zadané zeměpisné šířky a délky skript automaticky stáhne kompletní datovou sadu a převede ji přímo do formátu .met pro APSIM.
        - Výhoda: Dlouhodobé, kompletní záznamy, včetně odhadů slunečního záření pro lokality bez pozemních měření.
        - Omezení: Data získaná ze satelitů mohou obsahovat nejistotu, zejména u srážek a teplot v regionech s členitým reliéfem.

- **ERA5-Land a budoucí klimatické scénáře**

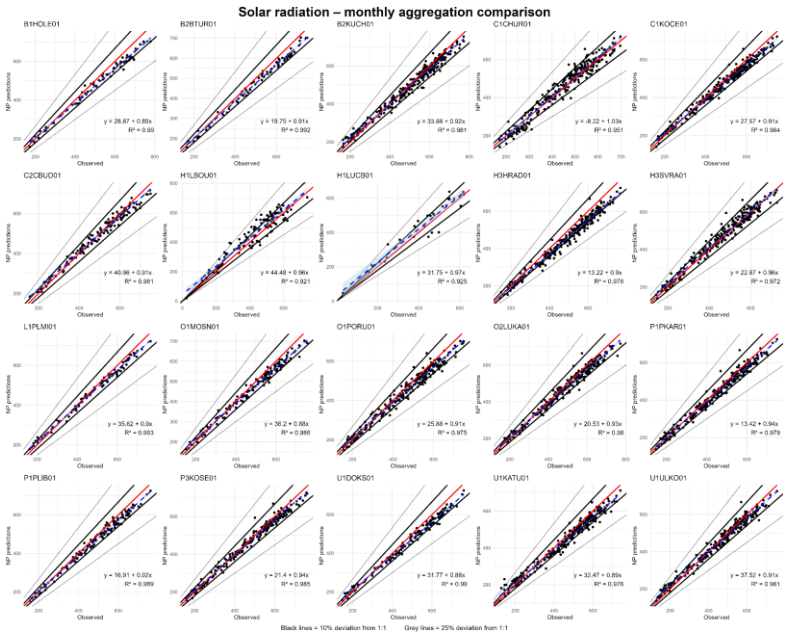
    - Reanalýza ERA5-Land (Muñoz, 2019, doi:10.24381/cds.68d2bb30), byla získána prostřednictvím **GEEClimt** (Lea, 2024, http://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1294446).
    - Budoucí klimatické scénáře: SSP2–4.5 a SSP5–8.5, generované pomocí GEECE (Lea, 2024).
    - Tyto datové soubory umožňují hodnocení jak ve středních, tak ve vysokých emisních trajektoriích s využitím souboru 34 klimatických modelů.

## C) Zpracování dat a kontrola kvality

1. **Srovnání pozorovaných a predikovaných dat:**

    - Proměnné byly porovnávané na **měsíční agregované úrovni** během zemědělské sezóny (od poloviny dubna do poloviny října).

    - Odchylky: až ~10 % u slunečního záření, ~25 % u srážek, nižší u teploty.



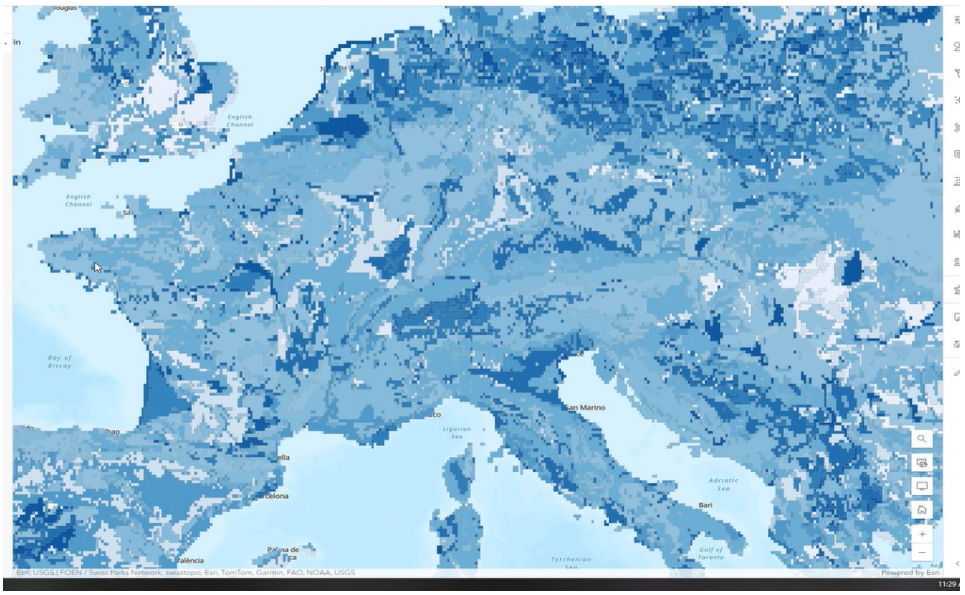

*Obrázek č. 3: Příklad srovnání meteorologických záznamů pro 20 meteorologických stanic v ČR. Grafy ukazují, že sluneční záření je obecně vyšší v syntetických/extrapolovaných datových souborech (NASApower).*
*Zdroj: vlastní zobrazení*

2. **Zpracování chybějících hodnot / odlehlých dat:** Byly použity vlastní skripty k detekci a opravě chybějících sekvencí (např. průměrováním přes mezery), aby byla zajištěna kontinuita vstupů pro APSIM.
3. **Převod formátu**: Všechny datové soubory byly sjednoceny a standardizovány do struktury APSIM .met pro přímé použití v simulacích.

## D) Půda

V České republice jsou údaje o půdě hypoteticky dostupné z několika **pozemních zdrojů pozorování půdy** (EJP, BPEJ) a ze **syntetických/extrapolovaných datových souborů** (ISRIC, HC27). Přístup k pozorovaným půdním parametrům pro území ČR je však omezený. Na druhé straně jsou údaje ISRIC příliš obecné a jejich bezproblémové použití v nastavení APSIM by vyžadovalo značné extrapolace. Syntetická data z databáze H27 jsou již specificky upravena pro použití v APSIM, a jsou tedy nejvhodnější pro podporu daného konceptu.

V důsledku toho byla pro každé z testovaných stanovišť (viz výše) určena převládající půdní jednotka pomocí půdního datového souboru HC27 z harmonizované světové databáze půd (Harmonized World Soil Database, HWSD). Pro tyto účely byl vyvinut skript v jazyce Python, s jehož využitím je proces extrakce automatizován. Skript jako vstupní údaje používá zeměpisnou šířku a délku každé lokality, dosazuje hodnotu HC27 a vrací kód půdní jednotky odpovídající dominantnímu typu půdy na daném místě. Tento přístup umožňuje efektivní a konzistentní extrakci půdních informací a zajišťuje, že jako vstup pro následné simulace APSIM bude použit nejreprezentativnější půdní profil.




*Obrázek č. 4: Vizualizace půdních dat „APSIM-ready" z databáze HC27 Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives - ScienceDirect*
*Zdroj: vlastní zobrazení*

## E) Plodiny

Pro simulační experimenty byly uvažovány dvě plodiny: čirok a kukuřice. Byly použity reálné druhy plodin (založené na existujících hybridech, experimentálních materiálech a odborných znalostech) i syntetické varianty plodin. Syntetické plodiny byly vytvořeny systematickou úpravou vybraných genetických (G) parametrů v rámci biologické variability dané plodiny, s cílem zajistit kontinuum vlastností plodin a analyzovat reakci systému a v různých scénářích hospodaření.

Možnosti hospodaření pro kukuřici byly inspirovány současnými postupy pěstování doporučovanými pro střední Evropu, zatímco širší soubor variant čiroku byl odvozen ze současných postupů využívaných v EU i v tropických zemích, jelikož pěstování čiroku není dosud v EU standardizováno.

### (i) Čirok

Základem pro hodnocení čiroku jsou parametry odvozené z následujících zdrojů:

- **Buster** (krátký trojitě zakrslý hybrid, Austrálie)
- **Německé typy čiroku** (probíhající experimenty v Německu, trojitě zakrslé hybridy)

**Variace parametrů čiroku:**

- **Fenologie:** endjuv_to_init testováno na 100, 150, and 200
- **Citlivost na fotoperiodu (PP sklon):** 0, 50, 100
- **Vitalita:** Úpravy main_stem_coefficient (2.6, 2.8, 3.0). V modelu APSIM toto odpovídá současné změně Ax0, AmaxS, a AmaxI o ±10 %.
- **Kardinální teploty:** Pro testování tolerance vůči chladu byly zkoumány hodnoty 5, 8 a 11 °C (na základě dostupných poznatků a nejnižších hodnot získaných z etiopského genetického materiálu).

**Testované možnosti pěstování čiroku:**

- **Termíny setí:** 1. duben, 15. duben, 30. duben, 15. květen, 30. květen
- **Hustota výsadby:** 15, 20, 25, 30, a 35 rostlin/m² (rozestup řádků: 300 mm)
- **Zavlažování:** bez zavlažování, **přirozené** dešťové srážky

### (ii) Kukuřice

Základem pro hodnocení kukuřice je zvolen **generický 18listý hybrid bez citlivosti na fotoperiodu, označovaný „USA typ“**. Varianty hybridů představují kukuřici s krátkou, střední a dlouhou vegetační dobou.

**Variace parametrů kukuřice:**

- **Fenologie**: endjuv_to_init testováno na 100, 150, and 200

- **Kardinální teploty**: Je použita kardinální teplota pro kukuřici mírného pásma z výchozího nastavení modelu.

**Testované možnosti pěstování kukuřice:**

- **Termíny setí:** 1. duben, 15. duben, 30. duben, 15. květen, 30. květen
- **Hustota výsadby:** 15, 20, 25, 30, a 35 rostlin/m² (rozestup řádků: 300 mm)
- **Zavlažování:** bez zavlažování, **přirozené** dešťové srážky

### 3.1.3 Nastavení simulace APSIM

Byla připravena výchozí simulace APSIM (soubor .apsim), která posloužila jako šablona pro všechny následné analýzy. Tento výchozí soubor obsahoval obecnou strukturu experimentu, včetně specifikace způsobu hospodaření a výstupů, které byly následně pro každou studovanou lokalitu upraveny pomocí automatizovaného pracovního postupu.

Byl vyvinut komplexní skript, který zajistil veškeré úpravy vstupních dat a generování scénářů. Pro každou lokalitu skript nejprve nahradil půdní profil ve výchozí simulaci odpovídajícími půdními údaji převzatými z databáze HC27, aby fyzikální vlastnosti půdy i vlastnosti půdní vody přesně odrážely místní podmínky. Následně skript přiřadil příslušné meteorologické soubory (.met) a ověřil dostupný rozsah dat. v případech, kdy meteorologické záznamy nepokrývaly celé období, byl počáteční rok simulace a její délka automaticky upraveny tak, aby odpovídaly dostupným datům, a zároveň byla zachována konzistence mezi simulacemi.

Skript poté prošel všechna relevantní nastavení parametrů hospodaření a plodin, a vygeneroval rozsáhlý soubor simulačních scénářů. Tyto parametry zahrnují datum setí, hustotu výsadby, tepelný čas do konce juvenilní fáze, citlivost na fotoperiodu (pp sklon), parametry indexu listové plochy a kardinální teploty. Systematickým kombinováním všech možných hodnot těchto parametrů vytvořil pracovní postup celkem 3 240 jedinečných simulací pro každou lokalitu. Každá simulace obvykle pokrývala období 40 let, což umožnilo robustní hodnocení dlouhodobého výkonu plodin za proměnlivých klimatických podmínek.

### 3.1.4 Simulační scénáře

| **Simulační nastavení - čirok** | |
|---|---|
| Období výsevu | 1-15duben, 16-30duben, 1-15květen, 16-31květen |
| Hustota výsevu | 15, 20, 25, 30, 35 |
| TT_EndJuvToInit | 100, 150, 200 |
| Sklon fotoperiody | 0, 50, 100 |
| Hodnoty LeafIndex (aX0, aMaxS, aMaxI) | (0.687, 22.25, 92.45), (0.7557, 24.475, 101.695), (0.6183, 20.025, 83.205) |
| Kardinální teplota (první hodnota) | 5, 8, 11 |

| **Simulační nastavení - kukuřice** | |
|---|---|
| Období výsevu | 1-15duben, 16-30duben, 1-15květen, 16-31květen |
| Hustota výsevu | 7, 10, 13, 16 |
| TT_EndJuvToInit | 100, 150, 200 |

### 3.1.5 Zpracování simulace

Po vygenerování všech simulačních scénářů byl implementován vícestupňový pracovní postup pro efektivní zpracování velkého množství běhů APSIM. Rozklad na jednotlivé faktory, popsaný výše, vytvořil kompletní soubor simulačních souborů rozšířením základního souboru .apsim na všechny možné kombinace parametrů pro každou lokalitu.

Pro rozložení výpočetního zatížení byl použit skript pro dávkové zpracování, který jednotlivé simulace sloučil do kompozitních souborů. Každá dávka obsahovala 100 simulací, což bylo zvoleno jako optimální s ohledem na velikost souboru a efektivností zpracování vzhledem k dostupným výpočetním prostředkům (stolní PC, AMD Ryzen 5 3600X, 6jádrový procesor, 32 GB RAM, Windows 10). Tento přístup významně snížil režijní náklady na spouštění tisíců samostatných souborů a zároveň umožnil udržet provedení simulací v rámci systémových limitů.

Dávky byly následně spuštěny pomocí systému front implementovaného pomocí skriptu Windows .bat. Tento skript postupně odesílá každou dávku do APSIM (verze 4221) přes příkazový řádek, čímž efektivně vkládá jeden soubor po druhém do APSIM. Tím je zajištěno, že všechny simulace jsou zpracovány kontrolovaným a automatizovaným způsobem, aniž by došlo k přetížení systémových zdrojů.

Celkově pracovní postup vygeneroval 19 440 simulací (3 240 pro každou lokalitu na šesti místech). Každá dávka obsahuje 100 simulací, bylo tedy potřeba provést 195 dávek. Tento přístup dávkování nejen zvýšil efektivnost zpracování, ale také umožnil snazší sledování postupu a řešení problémů v případě chyb během procesu provádění.

### 3.1.6 Analýza dat – technické zpracování

Pro vyhodnocení výsledků simulací byl vyvinut skript v jazyce Python, který systematicky zpracovává surové výstupní soubory APSIM. APSIM generuje výstupy ve formě souborů Daily.out a Harvest.out, což jsou polostrukturované textové soubory obsahující hodnoty oddělené tabulátory. Skript otevře každý z těchto souborů, identifikuje řádky odpovídající jednotlivým vegetačním obdobím pro každý rok simulace a extrahuje relevantní proměnné do strukturovanějšího formátu CSV vhodného pro následnou analýzu.

Během tohoto procesu skript také vypočítá základní souhrnné statistiky, jako průměr, součet a kumulativní hodnoty klíčových proměnných (např. celkový výnos a akumulace biomasy za sezónu, vlastnosti půdy a vody v klíčových intervalech či meteorologická data během vegetačního období). Tyto statistiky jsou připojeny jako další sloupce ve výsledných souborech CSV, což poskytuje detailnější informace prostřednictvím agregace důležitých ukazatelů. Tímto krokem je převeden rozsáhlý a složitý soubor výstupů APSIM do přehledné, standardizované datové sady, kterou je možné použít pro další statistické vyhodnocení a porovnání mezi lokalitami a simulačními scénáři.

Pokročilé statistické vyhodnocení – index shody (IoG)

Pro shrnutí výkonnosti každého simulačního scénáře do jednoho snadno interpretovatelného ukazatele byl vyvinut Index shody (IoG, Index of Goodness). IoG poskytuje kombinované měřítko výkonnosti plodin, které zachycuje jak výnos, tak produkci slámy za celé simulační období, obvykle 40 let.

Výpočet IoG probíhá v několika krocích. Nejprve se pro každou simulaci vypočítají průměrné hodnoty a hodnoty 10. percentilu výnosu a slámy za všechny roky. Průměrné hodnoty se použijí pro výpočet „klasického“ IoG, který představuje výkon za typických podmínek. Hodnoty 10. percentilu se používají pro výpočet konzervativnějšího „odrizikovaného“ IoG, který odráží výkonnost za méně příznivých podmínek. Tento přístup zohledňuje skutečnost, že některé simulace mohou někdy vykazovat roky s velmi vysokým výnosem, ale často také nízké výnosy. Konzervativní IoG poskytuje informaci o míře shody, což je zásadní zejména pro rozhodování orientované na minimalizaci rizika.

Následně jsou relevantní hodnoty (průměr nebo 10. percentil, v závislosti na variantě IoG) převedeny na standardizované z-skóre ve všech simulacích. To umožňuje vyhodnotit každou simulaci ve vztahu k celému souboru dat a určit, o kolik směrodatných odchylek nad nebo pod průměrem se konkrétní scénář nachází. Nakonec jsou z-skóre pro výnos a slámu kombinovány do jednoho IoG pomocí váženého součtu, přičemž 60 % váhy je přiřazeno výnosu a 40 % slámě. Toto vážení odráží relativní význam zrna oproti biomase při hodnocení celkového výkonu plodiny.

Zahrnutím komplexních víceletých výstupů a výstupů s více proměnnými do jediného ukazatele IoG usnadňuje přímé srovnání tisíců simulačních scénářů a zároveň identifikuje výkonné a spolehlivé produkční možností.

## 3.2 Ekonomický model

### 3.2.1 Transformační model

Transformační proces v zemědělské výrobě představuje komplexní systém, který využívá více vstupů (tj. výrobních faktorů) k produkci více výstupů (tj. produktů tržní i netržní povahy). Zemědělští producenti jako racionální ekonomické subjekty řídí tento proces s cílem minimalizovat náklady a/nebo maximalizovat zisk. Za předpokladu, že působí na dokonale konkurenčních trzích a jsou tedy cenovými příjemci, spočívá jejich rozhodování v rámci managementu výroby ve volbě struktury výstupů a v rozhodnutí o množství a alokaci používaných vstupů.

Některé vstupy, například fyzický kapitál, pracovní síla či zemědělská půda, podléhají různým typům frikcí, které znemožňují jejich okamžité přizpůsobení. Příkladem je časová náročnost instalace nových zařízení, nábor a zaškolování pracovníků nebo rigidita trhu s půdou. Flexibilita zemědělského producenta při užití těchto vstupů je navíc omezena agronomickými faktory, jako je například specifické období setí a sklizně. Alokace a množství těchto vstupů jsou proto dány rozhodnutími přijatými v předchozích obdobích a v období současného rozhodování jsou vnímány jako kvazi-fixní vstupy.

Naproti tomu variabilní vstupy, například hnojiva a pesticidy, může producent v krátkém období pružně upravovat s ohledem na aktuální situaci, včetně jeho aktuální produkční schopnosti i náhodných událostí–šoků, které mohou při výrobě nastat (např. šíření chorob a škůdců, poruchy strojů, selhání lidského kapitálu). Na rozhodovací proces zemědělského producenta v krátkém období lze proto nahlížet jako na volbu variabilních vstupů zajišťující dosažení cílů producenta, s ohledem na již předem dané kvazi-fixní vstupy a aktuální produktivitu.

Tento charakter rozhodovacího procesu způsobuje, že reálný transformační proces nevykazuje jednosměrný kauzální vztah mezi vstupy a výstupy. Náhodné události a produkční schopnost jednotlivých zemědělských producentů ovlivňují nejen jejich výstupy, ale také jejich rozhodování o alokaci vstupů, neboť jsou zemědělskými producenty plně pozorovatelné. Analytikům modelujícím transformační proces na základě pozorovaných (observačních) dat však tyto informace zůstávají skryty. To se projevuje problémem endogenity, který je nezbytné reflektovat pro validní modelování produkčního procesu a na něm založené analýzy efektivnosti a produktivity.

***Transformační funkce***

Formálním zápisem transformačního procesu s více vstupy a více výstupy je transformační funkce, která je v případě i-tého producenta využívajícího vektor variabilních vstupů $\boldsymbol{X}_{it}$ a vektor kvazi-fixních vstupů $\boldsymbol{Q}_{it}$ (tj. vstupů určených v období $t-1$) k produkci vektoru výstupů $\boldsymbol{Y}_{it}$ v období $t$ vyjádřena jako:

$$T(\boldsymbol{Y}_{it}, \boldsymbol{X}_{it} \exp\{-\omega_{it} - v_{it}\}, \boldsymbol{Q}_{it}) = 1 \qquad (1)$$

kde $\omega_{it}$ představuje produktivitu známou producentovi, zatímco $v_{it}$ je dočasný, nepozorovatelný šok, který není znám producentovi ani analytikovi, i = *1, …, N* a *t = 1, …, T*.

Transformační funkce splňuje standardní neoklasické předpoklady, kterými je spojitost, monotonie a konkávnost ve vstupech i výstupech. Specificky je tato funkce neklesající ve vstupech a nerostoucí ve výstupech. Dodatečným předpokladem je homotetická separabilita ve výstupech, která usnadňuje identifikaci v neparametrických modelech. v případě parametrické funkční formy však tento předpoklad není pro identifikaci ani pro odhad nutný.

**Krátkodobá nákladová funkce při minimalizaci nákladů**

Za předpokladu, že zemědělský producent volí vektor variabilních vstupů, který minimalizuje náklady na výrobu daného vektoru výstupů při daném vektoru kvazi-fixních vstupů a jeho produktivitě, a za předpokladu dokonalé konkurence na trzích vstupů, lze transformační proces popsat krátkodobou nákladovou funkcí:

$$C(\boldsymbol{W}_{Xt}, \boldsymbol{Q}_{it}, \boldsymbol{Y}_{it}) \tag{2}$$

Tato nákladová funkce je odvozena z optimalizační úlohy:

$$\min_{\boldsymbol{X}_{it}} (\boldsymbol{W}_{Xt}^{T} \boldsymbol{X}_{it} \exp\{-\omega_{it} - v_{it}\}) \tag{3}$$

za podmínky: $T(\boldsymbol{Y}_{it}, \boldsymbol{X}_{it} \exp\{-\omega_{it} - v_{it}\}, \boldsymbol{Q}_{it}) = 1$

kde $\boldsymbol{W}_{Xt} = (W_{X1t}, \dots, W_{XRt})$ je vektor cen variabilních vstupů. Krátkodobá nákladová funkce je spojitá, nerostoucí, konkávní, homogenní prvního stupně v cenách variabilních vstupů a nerostoucí ve výstupech.

***Heterogenní ceny a zobecněná nákladová funkce***

Uvolněním předpokladu homogenity a exogenity cen lze získat zobecněnou nákladovou funkci:

$$C_{it} = H(\boldsymbol{W}_{Xit}, \boldsymbol{Q}_{it}, \boldsymbol{Y}_{it}) \tag{4}$$

kde $C_{it} = \sum_{r=1}^{R} W_{Xrit}(X_{rit} \exp\{-\omega_{it} - v_{it}\})$ jsou variabilní náklady a $\boldsymbol{W}_{Xt} = (W_{X1it}, \dots, W_{XRit})$ je nezáporný vektor cen variabilních vstupů specifických pro i-tého producenta.

***Úprava pomocí homogenity***

Za předpokladu separability ve výstupech se stupněm homogenity $\phi^{Q}$a lineární homogenity v cenách variabilních vstupů lze nákladovou funkci přepsat do následujícího tvaru:

$$\tilde{C}_{it} = H(\mathbf{1}, \widetilde{\boldsymbol{W}}_{Xit}, \boldsymbol{Q}_{it}, F(\boldsymbol{Y}_{it}) \exp\{-\phi^{Q}(\omega_{it} + v_{it})\} \tag{5}$$

kde $\tilde{C}_{it} = \frac{C_{it}}{W_{X1it}}$ a $\widetilde{\boldsymbol{W}}_{Xit} = \left(\frac{W_{X2it}}{W_{X1it}}, \dots, \frac{W_{XRit}}{W_{X1it}}\right)$.

Z teorie duality vyplývá, že veškeré charakteristiky transformační funkce lze získat z charakteristik nákladové funkce. Protože však nákladová funkce v sobě nese analytikům nepozorovatelné složky je nutné k identifikaci využít například přístup proxy proměnných. Alternativou je využití metody instrumentálních proměnných. Identifikace validních instrumentů (tj. dostatečně korelovaných s endogenním regresorem a nekorelovaných s chybovými složkami) je však často problematická a v praxi ne vždy realizovatelná. Pro odhad nákladové funkce je dále nezbytná znalost cen variabilních vstupů jednotlivých producentů.

Řada datových zdrojů poskytujících data na podnikové úrovni však cenami nedisponuje. Variantním řešením je odhad vstupově-orientované vzdálenostní funkce (Input Distance Function, IDF).

***Input distance function***

K odvození IDF lze využít produkční množinu vstupů, tzv. input requirement set, která zahrnuje všechny vektory vstupů schopné vyprodukovat daný vektor výstupů:

$$L(\boldsymbol{Y}) = \{\boldsymbol{X} : \boldsymbol{X}\, produkuje\ \boldsymbol{Y}\} \tag{6}$$

kde $\boldsymbol{X} \in \mathbb{R}_+^{R+K}$ je vektor všech vstupů použitých k výrobě výstupu $\boldsymbol{Y} \in \mathbb{R}_+^M$. Produkční množina vstupů je uzavřená, konvexní a ohraničená izokvantou:

$$IsoqL(\boldsymbol{Y}) = \{\boldsymbol{X} : \boldsymbol{X} \in L(\boldsymbol{Y}), \lambda X \notin L(\boldsymbol{Y}), \lambda < 1\}, \tag{7}$$

a to za předpokladu silně (volně) dispozitivní vstupů a výstupů.

IDF lze definovat jako radiální míru vzdálenosti vektoru $\boldsymbol{Y}$ od izokvanty $IsoqL(\boldsymbol{Y})$:

$$D_I(\boldsymbol{Y}, \boldsymbol{X}) = sup\left\{\eta > 0 : \left(\frac{Y}{\eta}\right) \in L(\boldsymbol{Y})\right\} \tag{8}$$

kde $\eta$ reprezentuje maximální možnou proporcionální redukci vstupů $\boldsymbol{X}$ při zachování výstupů $\boldsymbol{Y}$. Kombinace vstupů a výstupů je technicky proveditelná právě tehdy, když $D_I(\boldsymbol{Y}, \boldsymbol{X}) \geq 1$, přičemž je-li $D_I(\boldsymbol{Y}, \boldsymbol{X}) = 1$, je výroba technicky efektivní. Za předpokladu, že *L(Y)* splňuje podmínky regularity, má IDF následující vlastnosti: symetrie, monotonie, lineární homogenita prvního stupně, konkávnost ve vstupech a kvazi-konkávnost ve výstupech.

***Rozklad vstupů***

Při rozkladu vstupů na variabilní a kvazi-fixní, za předpokladu separability variabilních vstupů se stupněm homogenity $\phi^Q$ a při zahrnutí produktivity lze IDF formulovat takto:

$$D_I(\boldsymbol{Y}_{it}, \boldsymbol{X}^*_{it}, \boldsymbol{Q}_{it}) = sup\left\{\eta > 0 : \left(\frac{\boldsymbol{Y_{it}}}{\eta}\right) \in L(\boldsymbol{Y}_{it})\right\} \tag{9}$$

kde $\boldsymbol{X}^*_{it} = \boldsymbol{X}_{it} \exp\{-\phi^X(\omega_{it} + v_{it})\}$, $\boldsymbol{X}_{it}$ je nezáporný vektor variabilních vstupů, $\phi^X$ je stupeň homogenity, $\omega_{it}$ je produktivita a $v_{it}$ je nepozorovatelný šok, $\boldsymbol{Q}_{it}$ je nezáporný vektor kvazi-fixních vstupů, $\boldsymbol{Y}_{it}$ je nezáporný vektor výstupů i-tého producenta v období *t*.

Za předpokladu homogenity prvního stupně ve variabilních vstupech a Hicks-neutrální produktivity má IDF následující tvar:

$$D_I(\boldsymbol{Y}_{it}, \boldsymbol{X}_{it} \exp\{\omega_{it} + v_{it}\}, \boldsymbol{Q}_{it}) = 1 \tag{10}$$

Pro empirickou analýzu je možné uvažovat následující vstupy jako variabilní: hnojiva ($F_{it}$), pesticidy ($H_{it}$) a ostatní materiálové vstupy ($O_{it}$), zatímco kapitál ($K_{it}$), půda ($A_{it}$) a práce ($L_{it}$) jsou považovány za kvazi-fixní vstupy. Kvazi-fixní vstupy a výstupy jsou predeterminovány, tj. určeny v období *t–1*, což odráží sekvenční rozhodovací proces. v jeho rámci je produkční mix a kvazi-fixní vstupy stanoven na základě informací z období *t–1*, zatímco variabilní vstupy se upravují podle dostupných informací v období *t*.

### 3.2.2 Empirická analýza

Empirická analýza provedená v této metodice je prvotním výstupem ekonomického modelování. v základní verzi je zaměřena na zhodnocení výnosů a variabilních nákladů dvou uvažovaných plodin – čirok a kukuřice – s ohledem na lokalitu a počasí.

***Analýza variabilních nákladů***

Ekonomický potenciál produkce čiroku ve vztahu k produkci kukuřice lze vyhodnocovat na základě analýzy variabilních nákladů a bodů zvratu v různých lokalitách. Analýza bodu zvratu je založena na následujícím vztahu:

$$\Delta V = \bar{Y}_C P_C + V_{BM} - VN_F - (V_O - VN_K), \tag{11}$$

kde $\Delta V$ je rozdíl mezi monetárním výnosem čiroku a kukuřice, $\bar{Y}_C$ je průměrný naturální výnos čiroku, $P_C$ je cena čiroku, $V_{BM}$ je monetární výnos biomasy, $VN_F$ je náklad na hnojiva, $V_O$ jsou ostatní variabilní náklady (tj. celkové variabilní náklady minus variabilní náklady na hnojiva) a $VN_K$ jsou variabilní náklady kukuřice.

Ze vztahu (11) je aproximována cena čiroku, při které se výnos čiroku stává ekonomicky rovnocenný výnosu kukuřice. Tuto cenu, která je kritickou úrovní pro konkurenceschopnost čiroku, lze kvantifikovat pro jednotlivé lokace, čímž je zohledněna heterogenita produkčních podmínek.

***Výnosová funkce***

Pro empirickou analýzu vlivu klimatických změn na výnosnost uvažovaných plodin lze specifikovat výnosovou funkci:

$$y = f(\boldsymbol{X}), \tag{12}$$

kde $y$ značí výnos plodiny a $\boldsymbol{X}$ je vektor klimatických a meteorologických ukazatelů.

Lze předpokládat, že výnosnost bude ovlivněna také dalšími faktory, které jsou lokalizačně specifické, avšak nepozorovatelné. Tuto heterogenitu lze zohlednit zahrnutím oblastně specifických dummy proměnných do výnosové funkce. Zároveň lze předpokládat, že na výnos působí i další vlivy, které způsobují odklon od maximálně dosažitelné úrovně výnosu. Zahrnutím této neefektivnosti nabývá výnosová funkce následující podobu:

$$y = \boldsymbol{X\beta} + \mu + v - u, \tag{13}$$

kde $\mu$ značí heterogenitu, $u$ technickou neefektivnost, v nesystematickou chybu a $\boldsymbol{\beta}$ je vektor odhadovaných parametrů.

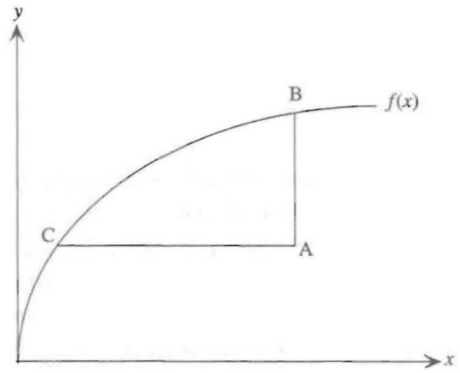
Zahrnutím faktoru času umožňujícího modelovat technologickou změnu a přepisem do flexibilní translogaritmické (TL) podoby je získána následující výnosová funkce:

$$y_{it} = \alpha_i + \sum_k \beta_k x_{kit} + \frac{1}{2}\sum_k \sum_l \beta_{kl} x_{kit} x_{lit} + \beta_t t + \frac{1}{2}\beta_{tt} t^2 + \sum_k \beta_{tk} t\, x_k + v_{it} - u_{it} \tag{14}$$

kde $\alpha_i$ představuje konstantu specifickou pro každou lokaci $i$, $i=1,\ldots,N$ a $t$ vyjadřuje časové období $t=1,\ldots,T$.

***Stochastická hraniční analýza***

Odhad TL výnosové funkce specifikované ve vztahu (14) je založen na stochastické hraniční analýze (Stochastic Frontier Analysis, SFA). SFA je ekonometrický přístup, který umožňuje odhadovat produkční hranici a k ní vztaženou efektivnost. Produkční hranice vyjadřuje pro každou úroveň vstupů maximálně dosažitelný výstup při dané produkční technologii. Produkční plán (kombinace použitých vstupů a dosažených výstupů) odpovídající této hranici představuje plné využití produkčního potenciálu. v obrázku č. 5 tomuto stavu odpovídají body na produkční hranici *f(x),* tj. bod B či bod C. Pokud aktuální výstup nedosahuje maximálně dosažitelné úrovně, pak se kombinace vstupu a výstupu nachází pod produkční hranicí, bod A, a výroba je technicky neefektivní.




*Obrázek č. 5: Vizualizace technické neefektivnosti na příkladu jedno-faktorové produkční funkce*
*Zdroj: Kumbhakar a kol., 2015*

Technická neefektivnost je obecně mírou toho, jak je aktuální produkční plán vzdálen od produkční hranice. Přičemž existují dva variantní přístupy k této neefektivnosti:

i) vstupově-orientovaná – pojímající bod a jako neefektivní, protože stejné úrovně výstupu lze dosáhnout při nižším množství vstupu, přičemž vzdálenost mezi a a C reprezentuje množství vstupů, které je možné snížit, aniž by se snížil výstup.

ii) výstupově-orientovaná – shledávající bod a jako neefektivní, neboť při současné úrovni vstupu lze získat vyšší množství výstupu, tzn. vzdálenost mezi a a B je ztrátou výstupu v důsledku neefektivnosti.

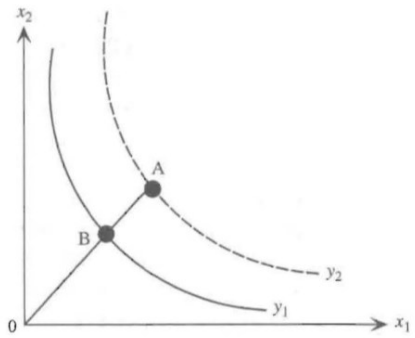
Matematicky lze toto zachytit jako:

$$y = f(x)\exp(-u), u \geq 0 \qquad (15)$$

kde u je výstupově-orientovaná technická neefektivnost (TI). Pro malé hodnoty u lze aproximovat $\exp(-u) = 1 - u$, z čehož je získán vztah mezi technickou efektivností (TE) a neefektivností (TI): $\text{TE} = \exp(-u) = 1 - \text{TI}$. Zároveň platí, že $TE = \frac{y}{y*}$, kde $y*$ značí maximálně dosažitelný výstup a $y$ skutečný výstup z daného množství vstupu při dané technologii. z tohoto poměru je patrné, že technické efektivnost nabývá hodnot mezi 0 a 1, přičemž je rovna jedné, pokud je výroba technicky efektivní.

Obrázek č. 6 doplňuje odvození neefektivnosti od izokvanty. Aktuální produkční plán je opět znázorněn bodem A. v tomto bodě je výroba technicky neefektivní, neboť kombinace vstupů

umožňuje produkovat vyšší množství výstupu, než jaké je reálně získáváno ($y_2 > y_1$), či alternativně pozorovaný výstup $y_1$ může být vyroben s nižším množstvím vstupů. To reprezentuje technicky efektivní bod B. Vstupově-orientovanou technickou neefektivnost lze měřit jako radiální posun z bodu a do bodu B, tj. AB/0A a technická efektivnost je poté doplňkem do jedné, tj. $TE = 1 - \frac{AB}{0A} = \frac{0B}{0A}$.




*Obrázek č. 6: Vizualizace technické neefektivnosti na příkladu izokvanty*
*Zdroj: Kumbhakar a kol., 2015*

Existují různé příčiny neefektivnosti, například nedostatečné manažerské schopnosti, rigidita managementu, strukturální a organizační problémy ve výrobním procesu, selhání lidského faktoru, poruchy strojů. v empirické analýze v této metodice je k neefektivnosti přistupováno v omezené podobě, a to pouze s ohledem na rozdílnosti mezi lokacemi z hlediska půdních charakteristik a klimaticko-meteorologických vlivů.

Kromě toto existují i další příčiny, proč při modelování produkčního procesu může docházet k odchylkám mezi skutečným výstupem a výstupem na produkční hranici. Tyto vlivy jsou součástí symetrické náhodné složky (náhodného šumu). SFA reflektuje existenci těchto různých odchylek od produkční hranice zahrnutím složeného chybového členu ($\varepsilon_{it}$) a jeho rozkladem na složku neefektivnosti ($u_{it}$) a náhodný šum ($v_{it}$) na základě distribučních předpokladů. Přičemž je zpravidla předpokládáno, že symetrická komponenta (náhodný šum) sleduje normální rozdělení $v_{it} \sim iidN[0, \sigma_v^2]$, zatímco jednostranná komponenta (neefektivnost) je polo-normálně rozdělena $u_{it} \sim iid\ N^+(0, \sigma_u^2)$, případně může sledovat jiné rozdělení, například exponenciální či gamma. Důležitým předpokladem SFA je, že tyto složky jsou distribuovány na sobě nezávisle.

Pro odhad TL výnosové funkce na základě panelových dat je nezbytné zohlednit heterogenitu lokace, což umožňuje specifikace modelu v podobě tzv. true fixed-effects stochastic frontier model. v tomto modelu, navrženém Greene (2005), je k latentnímu oblastně specifickému efektu ($\mu_i$) přistupováno jako k fixnímu parametru a na komponenty náhodné složky jsou uvaleny následující předpoklady: $v_{it} \sim iidN[0, \sigma_v^2]$ a $u_{it} \sim iid\ N^+(0, \sigma_u^2)$. Odhad modelu je založen na metodě maximální věrohodnosti (Maximum Likelihood Estomation, MLE), přičemž technická neefektivnost je kvantifikovaná pomocí postupu Jondrow a kol. (1982):

$$E[u_{it}|\varepsilon_{it}] = \frac{\sigma\lambda}{1+\lambda^2}\left[\frac{\phi(a_{it})}{1-\Phi(a_{it})} - a_{it}\right] \quad (16)$$

kde $\sigma = [\sigma_u^2 + \sigma_v^2]^{1/2}, \lambda = \frac{\sigma_u}{\sigma_v}, a_{it} = \frac{\varepsilon_{it}\lambda}{\sigma}$, $\phi(a_{it})$ je hustota standardního normálního rozdělení vyhodnocená v bodě $a_{it}$ a $\Phi(a_{it})$je distribuční funkce (CDF) standardního normálního rozdělení.

### 3.3.3 Použitá data

#### A) Analýza výnosů a variabilních nákladů

**Výstupy:**

Cena Kukuřice: byla použita cena z roku 2015 pro krmnou kukuřice v Kč za tunu. Tato cena byla následně násobena cenovým indexem kukuřice (base year = 2015) v jednotlivých letech po celé délce časové řady (zdroj: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&z=T&f=TABULKA&katalog=31785&pvo=CEN02AA&evo=v874_!_CEN02AA-R_1#w=).

Cena Čiroku: v Čechách je cena nedohledatelná. Byla tedy vytvořena umělá cena čiroku z poměr ceny kukuřice a čiroku z Ameriky (Kukuřice, Čirok – zdroj: https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_Subject/index.php?sector=CROPS). z této zkoumání tohoto poměru bylo zjištěno, že mezi lety 1996 až 2024 byla cena čiroku na kilogram nižší o 4 procenta. Vzala se následně cena kukuřice a v každém roce byla ponížena o 4 procenta.

Cena Biomasy: byla vzata cena z roku 2015 pro siláž z ČSÚ v Kč za tunu. Tato cena byla následně násobena cenovým indexem pro output rostlinné výroby (base year = 2015) v jednotlivých letech po celé délce časové řady (zdroj: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&z=T&f=TABULKA&katalog=31785&pvo=CEN02AA&evo=v874_!_CEN02AA-R_1#w=).

**Vstupy:**

Cena dusíkatých hnojiv: Byla vypočteny na základě průměrné ceny tří typů hnojiv (ledek amonný s vápencem 27 %, síran amonný 21 %, DAM 390) z roku 2015 v kč za tunu. Následně byla tato cena násobena cenovým indexem vstupů do zemědělství. (zdroj: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystup-objekt&z=T&f=TABULKA&katalog=31785&pvo=CEN03D&evo=v433_!_CEN12C-2015_1).

#### B) Analýza efektivnosti

Popis použitých proměnných je uveden v Tabulce č. 1 a deskriptivní statistiky proměnných v Tabulce č. 2. v rámci analýzy bylo pracováno s nevyváženým panelem. Bylo použito vždy nejlepší pozorování ze tří typů hnojení pro danou oblast. Počet simulovaných let v daných oblastech je následující: B2KUCH01 T=40, C2CBUD01 T=21, H3SVRA01 T=40, O2LUKA01 T=40, P1PKAR01 T= 40 a U1DOKS01 T=20. Celkový počet pozorování pro odhad modelu je 603 pozorování. Data jsou logaritmicky transformována a normalizována (centrována).

| Proměnná | Popis |
|---|---|
| Endogenní | Výnos plodiny v kg/ha |
| Rain | Celkový úhrn srážek v mm za období |
| Radn | Celková radiace (sluneční záření) za období |
| t | Čas |

*Tabulka č. 1: Popis proměnných*
*Zdroj: vlastní zpracování*

| **Proměnná** | **Počet pozorování** | **Průměr** | **Sm. odchylka** | **Min** | **Max** |
|---|---|---|---|---|---|
| Čirok | | | | | |
| Yield(y) | 603 | 4251.61 | 2746.10 | 0.00 | 10000.30 |
| Rain | 603 | 425.39 | 118.04 | 159.40 | 902.90 |
| Radn | 603 | 2970.78 | 303.33 | 2023.89 | 3642.65 |
| Kukuřice | | | | | |
| Yield(y) | 603 | 8605.29 | 2785.20 | 0.00 | 12838.70 |
| Rain | 603 | 403.23 | 116.66 | 48.96 | 878.20 |
| Radn | 603 | 2893.88 | 317.21 | 659.96 | 3506.23 |

*Tabulka 2: Popisné statistiky proměnných*
*Zdroj: vlastní zpracování*

# 4 VÝSLEDKY

## 4.1 Výsledky simulací APSIM

Simulace (popsané v kapitole 3.1) byly analyzovány s důrazem na vyhodnocení potenciálu čiroku v českých produkčních systémech. Hlavním cílem bylo identifikovat oblasti, ve kterých by čirok mohl poskytovat větší stabilitu produkce ve srovnání s kukuřicí, a zároveň být ekonomicky efektivní. Dílčími cíli v této fázi vývoje metodiky bylo vyhodnotit:

- **produkční potenciál čiroku a**
- **možnosti snížení nákladů na pěstování čiroku**

**Vyhodnocení produkčního potenciálu:**

Tabulka č. 3 ukazuje, že **při dostatečném hnojení** a při jakémkoliv běžně používaném způsobu hospodaření jsou výnosy čiroku přibližně o **20 % nižší než výnosy kukuřice**.

| Row Labels | Average of biomass | Average of yield |
|---|---|---|
| ⊟B2KUCH01 | 18681 | 6454 |
| ⊞Maize | 20009 | 7632 |
| ⊞Sorghum | 18632 | 6410 |
| ⊟C2CBUD01 | 18377 | 6228 |
| ⊞Maize | 19345 | 7145 |
| ⊞Sorghum | 18341 | 6194 |
| ⊟H3SVRA01 | 14564 | 3157 |
| ⊞Maize | 16211 | 4032 |
| ⊞Sorghum | 14503 | 3125 |
| ⊟O2LUKA01 | 16390 | 4662 |
| ⊞Maize | 17864 | 5720 |
| ⊞Sorghum | 16335 | 4622 |
| ⊟P1PKAR01 | 17066 | 5949 |
| ⊞Maize | 18323 | 7040 |
| ⊞Sorghum | 17020 | 5909 |
| ⊟U1DOKS01 | 18369 | 6605 |
| ⊞Maize | 19290 | 7585 |
| ⊞Sorghum | 18335 | 6569 |

*Tabulka č. 3: Souhrn celkové biomasy a výnosu zrna čiroku a kukuřice v šesti různých lokalitách ČR při pěstování s optimálním hnojením a v rámci různých produkčních postupů. Kombinace velkých písmen a čísel představují kódy meteorologických stanic v ČR (viz Obrázek č. 2).*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Na základě provedené analýzy bylo zjištěno, že produkce čiroku by se významně zvýšila v rámci všech způsobů hospodaření v případě vyšlechtění pro odolnost vůči chladu (Tabulka č. 2). z výsledků plyne, že při nižší kardinální teplotě, tj. lepší adaptaci na chlad, by se čirok mohl vysazovat dříve na

jaře a očekávané výnosy by byly vyšší. Tento závěr agreguje výsledky všech ostatních testovaných možností hospodaření s plodinami (viz kapitola 3.1 – simulační scénáře).

| Row Labels | Average of biomass | Average of yield |
|---|---|---|
| ⊞ Maize | **19819** | **5658** |
| ⊟ Sorghum | **15535** | **3717** |
| 5 | 16644 | 5327 |
| 8 | 15779 | 3801 |
| 11 | 14180 | 2020 |

*Tabulka č. 4: Příklad výsledků simulace ukazující vliv šlechtění čiroku pro odolnost vůči chladu (tj. pro nízké kardinální teploty 5, 8, 11 °C).*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Druhy čiroku odolné vůči chladu, tj. druhy s kardinální teplotou ~ 5 °C by umožnily dřívější setí. Kombinace **časného setí s dalšími postupy pěstování specifickými pro danou lokalitu by dále zvyšovala úroveň produkce čiroku** (Tabulka č. 5). Tabulka ukazuje výnos čiroku s pěti nejlepšími kombinacemi hospodaření a genotypu, které vedly k nejvyšší produkci v jedné z lokalit (U1DOKS01). Uvedené výsledky ve srovnání s Tabulkami č. 4 a 5 ukazují, že optimalizace způsobu hospodaření a odrůdy čiroku by dále zvýšila produkční potenciál této plodiny.

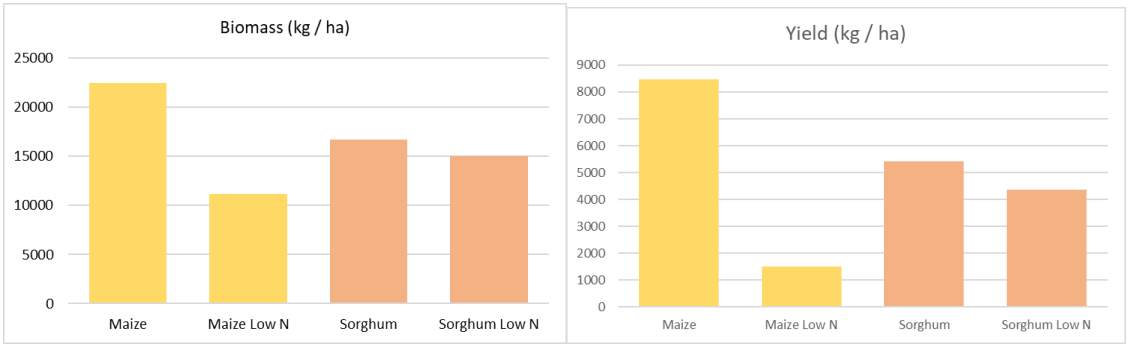
| sowing | density | tt_enjuv | biomass | yield |
|---|---|---|---|---|
| 1apr - 15apr | 35 | 150 | 22009 | 8352 |
| 1apr - 15apr | 30 | 150 | 21851 | 8570 |
| 1apr - 15apr | 35 | 100 | 21209 | 8784 |
| 1apr - 15apr | 35 | 200 | 21199 | 8784 |
| 1apr - 15apr | 25 | 150 | 21736 | 8674 |

*Tabulka č. 5: Výnos čiroku – kombinace hospodaření a genotypu*
*Zdroj: vlastní výpočty*

**Vyhodnocení efektivnosti využití hnojiv:**

V dalším kroku byla zjišťována efektivnost využívání hnojiv pro čirok a kukuřici. Produkce čiroku a kukuřice při optimálních dávkách hnojiv jedné z provedených simulací (U1DOCKS01) byla porovnána s hnojivovou praxí. Konkrétně byl simulován výnos kukuřice a čiroku při optimálním hnojení a při „nízkém N“, Doporučená dávka hnojiva pro čirok, představující přibližně ½-⅓ optimální dávky hnojiva pro kukuřici (60 kg DAP při setí a 140 kg močoviny jako přihnojování). Výsledky simulace naznačily, že výnosy čiroku by mohly být s **těmito dávkami hnojiva** zachovány, zatímco výnosy kukuřice by významně poklesly

(Obrázek č. 7). Tato výhoda by mohla být obzvláště významná v regionech, kde se produkce kukuřice již začíná potýkat s klesajícími srážkami.




*Obrázek č. 7: Porovnání produkční potenciálu (biomasa a výnos) kukuřice a čiroku při optimálním hnojení a při „nízkém N*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Výstupy ze simulací jsou dále použity v podobě vstupních údajů pro ekonomické modely (kapitola 4.2). Na základě ekonomických scénářů bude možné přesněji vyhodnotit nejen **ekonomické výsledky produkce čiroku ve srovnání s kukuřicí**, ale také v dalším výzkumu **aspekty udržitelnosti** (např. uhlíkovou stopu). Zjištění z bodových simulací budou dále extrapolována v čase a prostoru, aby bylo možné kvantifikovat příležitosti pro zavedení čiroku do českých produkčních systémů, zejména v regionech, kde se kukuřice potýká s rostoucími omezeními. Dále je naplánována spolupráce se zainteresovanými stranami, aby bylo možné modelový nástroj přizpůsobit pro konkrétní oblasti využití. Zejména spolupráce s partnery z odvětví kukuřice, vládními institucemi a správními orgány bude klíčová pro zavedení do praxe.

### Vývoj nástroje (z úrovně TRL5 na TRL6)

Pro zajištění technologického pokroku bude dále třeba zahrnout další datové sady od koncových uživatelů. Tímto bude zajištěna vyšší spolehlivosti modelů a vytvořena robustní simulační síť pro historická meteorologická data i pro budoucí scénáře. Tento krok bude vyžadovat práci s rozsáhlými datovými soubory, což vyžaduje automatizaci propojení agronomických modelů s modely socio-ekonomickými.

## 4.2 Ekonomický model

V rámci tvorby ekonomického modelu byly použity proměnné z veřejně dostupných zdrojů, přičemž cílem bylo komplexně vyhodnotit ekonomický aspekt využití čiroku v zemědělství České republiky. Model byl koncipován tak, aby umožnil porovnání různých variant produkce. Tento přístup umožňuje vytvořit robustní a transparentní nástroj pro rozhodování zemědělců i dalších subjektů ve výrobkové vertikále, který podporuje optimalizaci pěstebních strategií a efektivní využití zemědělské půdy.

### 4.2.1 Analýza výnosů a variabilních nákladů

Pro účely hodnocení ekonomické efektivnosti pěstování čiroku a kukuřice byla provedena analýza výnosů a variabilních nákladů. Všechny výpočty byly provedeny na základě simulovaných dat, kdy jednotlivé proměnné byly odvozeny z veřejně dostupných cen komodit a vstupů.

**Legenda k tabulkovým souborům:**

- V_zrno = yield*(cena krmné kukuřice/1000)
- V_BM = biomass*(cena siláže cena biomassy/1000)
- V_tot = V_zrno + V_BM
- VN-fert = fertilizer *(Cena dusíkatých hnojiv/1000)
- V_tot-VN = (V_tot – VN-fert)

**Průměrné výsledky pro top pět IoG v dané lokaci:**

Pro vyhodnocení ekonomického potenciálu čiroku a kukuřice byly použity průměrné výsledky pěti nejlepších simulací pro každou lokalitu. Tyto simulace představují kombinace genotypů a hnojivových schémat (Low Fertilize Plan, Normal Fertilizer Plan, Unlimited Fertilizer Plan), které dosáhly nejlepších výsledků z hlediska ekonomické efektivnosti. v Tabulce č. 6 je zahrnuto právě těchto pět nejlepších simulací pro každou lokalitu, přičemž každá simulace byla prováděna pro tři různé varianty hnojivového ošetření a následně pro každou lokaci zprůměrována.

**Grafy legenda:**

- Zelená přerušovaná přímka – průměrná cena čiroku pro danou simulovanou oblast
- Modrá přerušovaná přímka – cena čiroku, při které by se monetární výnos čiroku rovnal výnosu kukuřice.
- Černá plná přímka – funkce ceny čiroku-> (“Rozdíl mezi monetárním výnosem čiroku a kukuřice”) = Průměrný výnos čiroku*(x-Cena čiroku) + V_BM – (VN-fert) – (V_tot-VN(Kukuřice)

| Low Fertilizer Plan Kukuřice | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Lokace** | **V_Zrno** | **V_BM** | **V_tot** | **VN-Fert** | **V_tot-VN** | |
| B2KUCH01 | 33213,23 | 13867,48 | 47080,72 | 1013,65 | 46067,07 | |
| C2CBUD01 | 27194,37 | 9285,60 | 36479,97 | 753,82 | 35726,16 | |
| H3SVRA01 | 19703,58 | 11009,07 | 30712,65 | 1018,41 | 29694,23 | |
| O2LUKA01 | 29413,44 | 12017,39 | 41430,83 | 1018,41 | 40412,41 | |
| P1PKAR01 | 28670,36 | 11943,53 | 40613,90 | 1018,41 | 39595,48 | |
| U1DOKS01 | 26528,53 | 9633,12 | 36161,65 | 737,32 | 35424,33 | |
| **Low Fertilizer Plan Čirok** | | | | | | |
| **Lokace** | **V_Zrno** | **V_BM** | **V_tot** | **VN-Fert** | **V_tot-VN** | **Čirok - Kukuřice** |
| B2KUCH01 | 16985,68 | 10059,14 | 27044,82 | 1018,41 | 26026,41 | -20040,66 |
| C2CBUD01 | 9989,44 | 6655,95 | 16645,40 | 753,82 | 15891,58 | -19834,58 |
| H3SVRA01 | 9370,71 | 7727,98 | 17098,69 | 1018,41 | 16080,28 | -13613,96 |
| O2LUKA01 | 14790,76 | 9176,86 | 23967,62 | 1018,41 | 22949,20 | -17463,21 |
| P1PKAR01 | 17905,50 | 9110,12 | 27015,62 | 1018,41 | 25997,20 | -13598,28 |
| U1DOKS01 | 11990,91 | 6474,99 | 18465,90 | 737,32 | 17728,58 | -17695,75 |

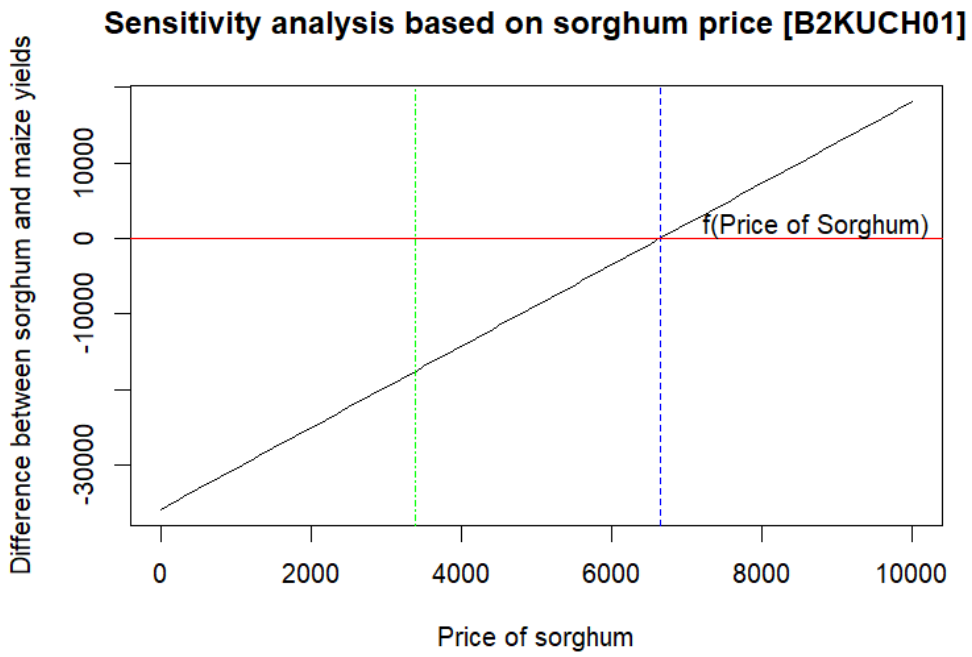
| Normal Fertilizer Plan Kukuřice | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Lokace** | **V_Zrno** | **V_BM** | **V_tot** | **VN-Fert** | **V_tot-VN** | |
| B2KUCH01 | 32073,02 | 14233,45 | 46306,46 | 2228,26 | 44078,20 | |
| C2CBUD01 | 26627,33 | 10394,72 | 37022,05 | 1649,90 | 35372,15 | |
| H3SVRA01 | 19894,86 | 11358,18 | 31253,04 | 2226,27 | 29026,78 | |
| O2LUKA01 | 28326,72 | 12812,25 | 41138,98 | 2240,51 | 38898,47 | |
| P1PKAR01 | 30551,12 | 13532,12 | 44083,24 | 2236,09 | 41847,16 | |
| U1DOKS01 | 28071,81 | 10001,09 | 38072,90 | 1622,10 | 36450,80 | |
| **Normal Fertilizer Plan Čirok** | | | | | | |
| **Lokace** | **V_Zrno** | **V_BM** | **V_tot** | **VN-Fert** | **V_tot-VN** | **Čirok - Kukuřice** |
| B2KUCH01 | 19114,05 | 11116,13 | 30230,19 | 2240,51 | 27989,68 | -16088,52 |
| C2CBUD01 | 8719,69 | 7127,15 | 15846,83 | 1658,40 | 14188,44 | -21183,71 |
| H3SVRA01 | 5071,16 | 7790,87 | 12862,03 | 2240,51 | 10621,52 | -18405,25 |
| O2LUKA01 | 8460,54 | 9084,41 | 17544,95 | 2240,51 | 15304,44 | -23594,03 |
| P1PKAR01 | 14865,50 | 9903,06 | 24768,56 | 2240,51 | 22528,05 | -19319,11 |
| U1DOKS01 | 12558,89 | 7184,93 | 19743,82 | 1622,10 | 18121,72 | -18329,08 |

| Unlimited Fertilizer Plan Kukuřice | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Lokace** | **V_Zrno** | **V_BM** | **V_tot** | **VN-Fert** | **V_tot-VN** | |
| B2KUCH01 | 32070,56 | 14226,54 | 46297,09 | 2180,63 | 44116,46 | |
| C2CBUD01 | 26688,87 | 10417,08 | 37105,95 | 1775,00 | 35330,95 | |
| H3SVRA01 | 19876,84 | 11351,36 | 31228,20 | 2055,35 | 29172,85 | |
| O2LUKA01 | 28298,58 | 12789,53 | 41088,11 | 2114,93 | 38973,18 | |
| P1PKAR01 | 29681,07 | 13358,63 | 43039,71 | 2262,26 | 40777,45 | |
| U1DOKS01 | 28269,87 | 10080,68 | 38350,55 | 1872,46 | 36478,09 | |

| Unlimited Fertilizer Plan Čirok | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lokace | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Čirok - Kukuřice |
| B2KUCH01 | 19078,45 | 11105,76 | 30184,21 | 2330,55 | 27853,66 | -16262,80 |
| C2CBUD01 | 8778,47 | 7154,90 | 15933,36 | 1985,89 | 13947,47 | -21383,47 |
| H3SVRA01 | 5063,32 | 7778,12 | 12841,43 | 2825,16 | 10016,27 | -19156,58 |
| O2LUKA01 | 8695,70 | 9257,39 | 17953,08 | 2658,28 | 15294,81 | -23678,37 |
| P1PKAR01 | 18849,96 | 10397,00 | 29246,97 | 2356,20 | 26890,77 | -13886,68 |
| U1DOKS01 | 16203,47 | 7628,42 | 23831,89 | 2024,67 | 21807,22 | -14670,87 |

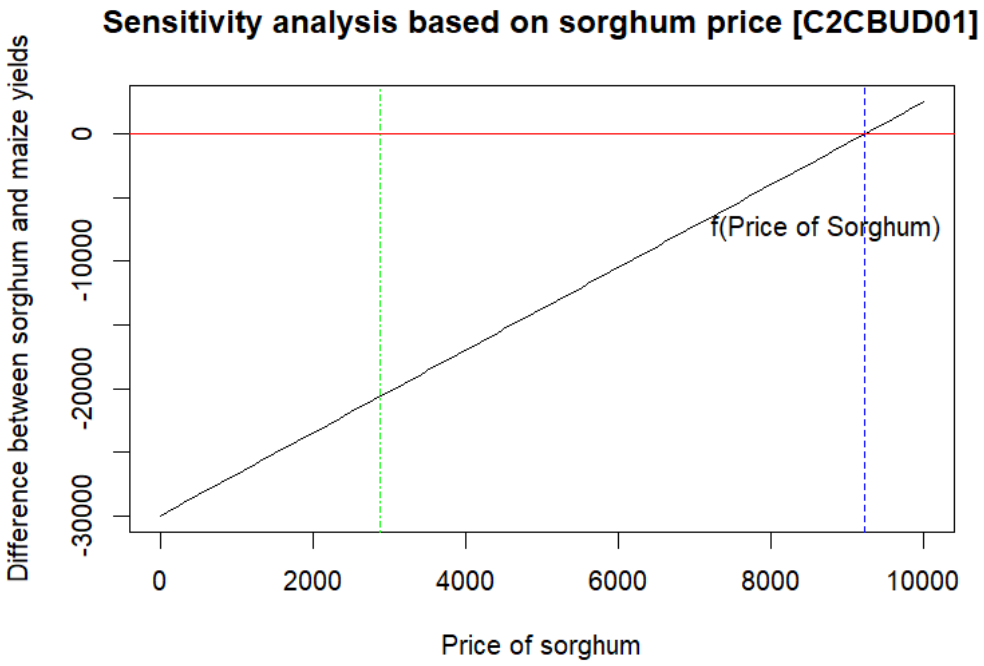
*Tabulka č. 6: Průměrné výsledky pro nejlepších pět IoG v dané lokaci pro daný plán hnojení*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Na základě výsledků uvedených v Tabulce č. 6 byla pro každou lokalitu provedena analýza citlivosti s cílem určit cenu čiroku, při které se výnos čiroku stává ekonomicky rovnocenný výnosu kukuřice. Tento postup umožňuje identifikovat kritické cenové úrovně, při nichž je pěstování čiroku ekonomicky konkurenceschopné, a zároveň poskytuje podklad pro strategická rozhodnutí zemědělců týkající se volby plodin. Analýza citlivosti zohledňuje variabilitu výnosů, nákladů na vstupy a různé hnojivové strategie, čímž umožňuje komplexní posouzení ekonomické stability a rizik spojených s pěstováním čiroku v jednotlivých lokalitách. Výstupy analýzy jsou prezentovány v Obrázcích č. 8–13.



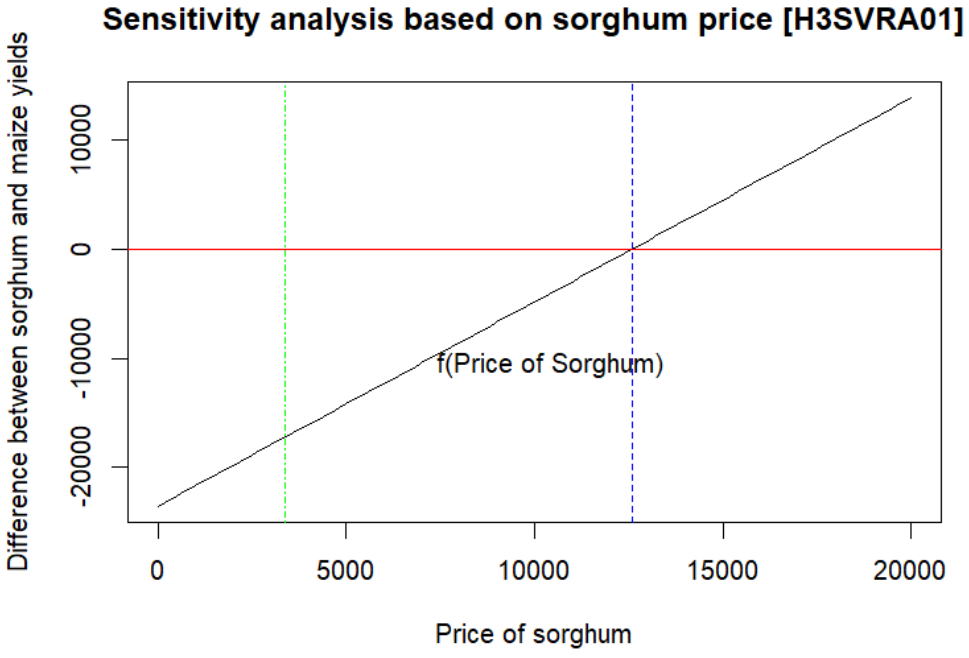

*Obrázek č. 8: Lokace B2KUCH01*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Cena čiroku pro B2KUCH01, při které je V_tot-N čiroku rovno V_tot-N kukuřice vypočítané z průměrných hodnot v dané lokalitě, je 6650,97 CZK. Při překročení této cenové úrovně je čirok ekonomicky preferovanou variantou oproti produkci kukuřice.



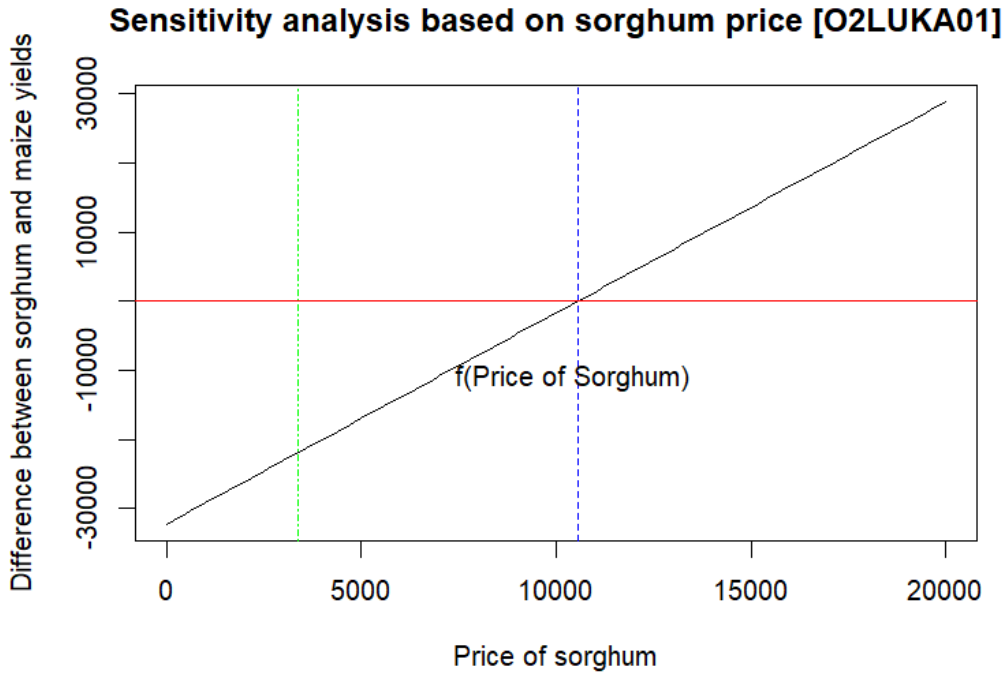

*Obrázek č. 9: Lokace C2CBUD01*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Cena čiroku pro C2CBUD01, při které je V_tot-N čiroku rovno V_tot-N kukuřice vypočítané z průměrných hodnot v dané lokalitě, je 9231,13 CZK.



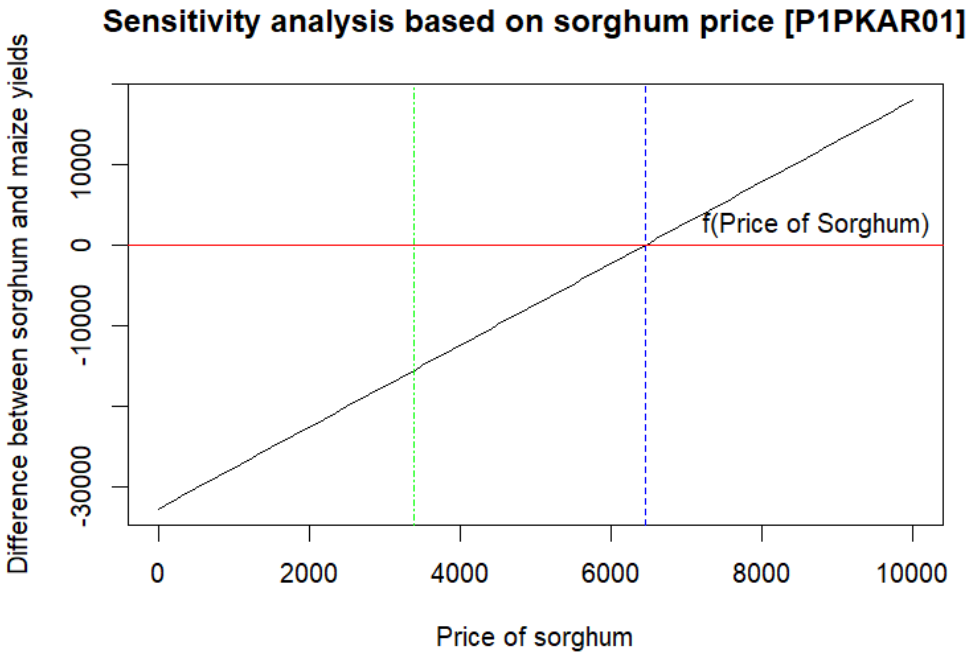

*Obrázek č. 10: Lokace H3SVRA01*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Cena čiroku pro H3SVRA01, při které je V_tot-N čiroku rovno V_tot-N kukuřice vypočítané z průměrných hodnot v dané lokalitě, je 12581,11 CZK, což reprezentuje nejvyšší kritickou cenu v rámci analyzovaných lokací.



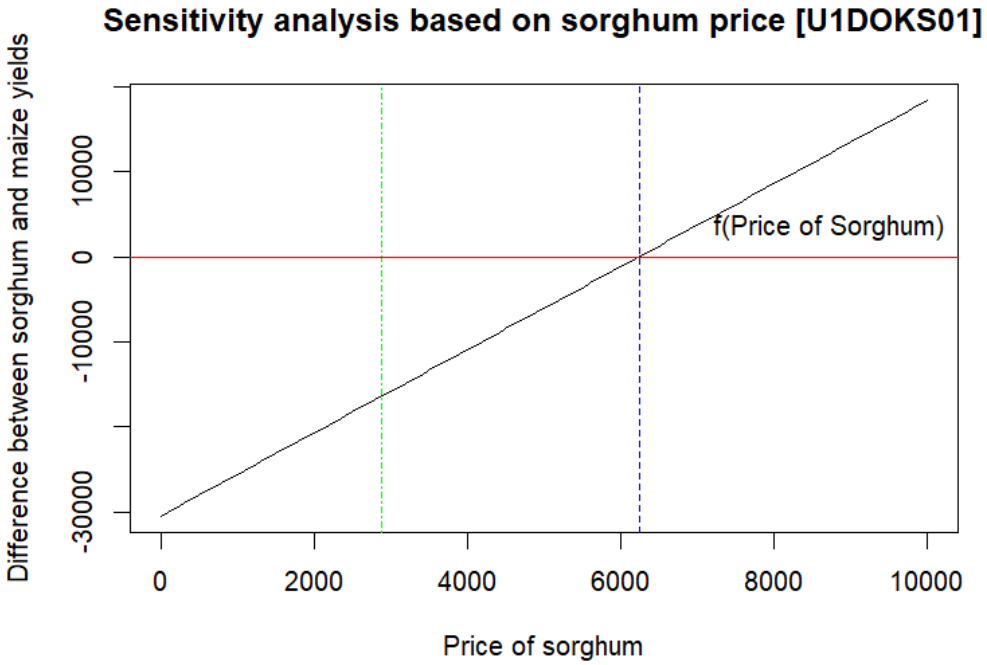

*Obrázek č. 11: Lokace 02LUKA01*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Cena čiroku pro O2LUKA01, při které je V_tot-N čiroku rovno V_tot-N kukuřice vypočítané z průměrných hodnot v dané lokalitě, je 10564,09 CZK.




*Obrázek č. 12: Lokace P1PKAR01*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Cena čiroku pro P1PKAR01, při které je V_tot-N čiroku rovno V_tot-N kukuřice vypočítané z průměrných hodnot v dané lokalitě, je 6454,90 CZK.




*Obrázek č. 13: Lokace U1DOKS01*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Cena čiroku pro U1DOKS01, při které je V_tot-N čiroku rovno V_tot-N kukuřice vypočítané z průměrných hodnot v dané lokalitě, je 6242,28 CZK, což reprezentuje nejnižší kritickou cenu v rámci analyzovaných lokací. z hlediska variabilních nákladů je čirok v této lokaci nejvíce konkurenceschopný kukuřici.

**Tabulky časových řad nejlepších simulací pro danou oblast a hnojící postup**

Tabulka č. 7 obsahuje nejlepší simulace podle ukazatele IoG v dané oblasti pro daný hnojivový plán.

| Maize B2KUCH01 LowN | | | | | | Sorghum B2KUCH01 LowN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 15356,31 | 6156,92 | 21513,22 | 488,69 | 21024,53 | 1984 | 0,00 | 2815,04 | 2815,04 | 488,69 | 2326,35 |
| 1985 | 16346,05 | 6894,69 | 23240,75 | 492,97 | 22747,78 | 1985 | 176,65 | 3646,89 | 3823,55 | 492,97 | 3330,58 |
| 1986 | 20834,57 | 7313,15 | 28147,72 | 498,95 | 27648,77 | 1986 | 351,71 | 3467,63 | 3819,35 | 498,95 | 3320,40 |
| 1987 | 14517,01 | 6510,28 | 21027,29 | 495,53 | 20531,76 | 1987 | 0,00 | 3069,75 | 3069,75 | 495,53 | 2574,22 |
| 1988 | 22318,06 | 7220,00 | 29538,06 | 496,02 | 29042,04 | 1988 | 2567,69 | 3949,68 | 6517,37 | 496,02 | 6021,35 |
| 1989 | 21131,93 | 6663,98 | 27795,91 | 522,90 | 27273,01 | 1989 | 3461,22 | 4024,43 | 7485,64 | 522,90 | 6962,75 |
| 1990 | 29370,12 | 7775,60 | 37145,72 | 538,06 | 36607,66 | 1990 | 703,76 | 3929,99 | 4633,75 | 538,06 | 4095,69 |
| 1991 | 20845,32 | 6917,61 | 27762,93 | 549,30 | 27213,62 | 1991 | 3939,32 | 4275,23 | 8214,55 | 549,30 | 7665,24 |
| 1992 | 33370,85 | 8346,22 | 41717,07 | 560,55 | 41156,52 | 1992 | 13123,42 | 5565,50 | 18688,91 | 560,55 | 18128,37 |
| 1993 | 30290,91 | 10314,83 | 40605,75 | 714,28 | 39891,47 | 1993 | 4228,05 | 6032,42 | 10260,48 | 714,28 | 9546,20 |
| 1994 | 38304,71 | 10904,51 | 49209,22 | 769,18 | 48440,04 | 1994 | 14813,08 | 7211,92 | 22025,00 | 769,18 | 21255,82 |
| 1995 | 39412,30 | 10953,57 | 50365,87 | 805,33 | 49560,54 | 1995 | 11109,23 | 7000,19 | 18109,42 | 805,33 | 17304,08 |
| 1996 | 44831,87 | 12391,66 | 57223,53 | 874,56 | 56348,97 | 1996 | 0,00 | 5728,58 | 5728,58 | 874,56 | 4854,02 |
| 1997 | 30046,88 | 13387,91 | 43434,80 | 983,01 | 42451,78 | 1997 | 4301,86 | 8338,67 | 12640,53 | 983,01 | 11657,51 |
| 1998 | 33591,81 | 12627,21 | 46219,02 | 965,32 | 45253,70 | 1998 | 4344,19 | 7557,47 | 11901,67 | 965,32 | 10936,34 |
| 1999 | 33151,34 | 12465,35 | 45616,69 | 903,79 | 44712,90 | 1999 | 4540,52 | 7983,21 | 12523,74 | 903,79 | 11619,95 |
| 2000 | 32629,56 | 15017,59 | 47647,16 | 996,09 | 46651,07 | 2000 | 11559,32 | 8826,41 | 20385,73 | 996,09 | 19389,64 |
| 2001 | 33221,92 | 13541,08 | 46763,00 | 1049,88 | 45713,12 | 2001 | 5587,36 | 7818,39 | 13405,75 | 1049,88 | 12355,87 |
| 2002 | 32543,23 | 14692,49 | 47235,73 | 1028,96 | 46206,77 | 2002 | 13317,33 | 10028,44 | 23345,77 | 1028,96 | 22316,80 |
| 2003 | 32161,07 | 14884,71 | 47045,78 | 1013,02 | 46032,75 | 2003 | 18808,65 | 11353,09 | 30161,74 | 1013,02 | 29148,72 |
| 2004 | 35525,63 | 15386,42 | 50912,05 | 1083,75 | 49828,30 | 2004 | 5843,05 | 8577,11 | 14420,16 | 1083,75 | 13336,41 |
| 2005 | 24502,50 | 15042,86 | 39545,36 | 1127,57 | 38417,78 | 2005 | 4467,43 | 9184,01 | 13651,44 | 1127,57 | 12523,87 |
| 2006 | 34542,83 | 16339,55 | 50882,38 | 1145,50 | 49736,87 | 2006 | 11458,15 | 10989,70 | 22447,86 | 1145,50 | 21302,35 |
| 2007 | 46177,28 | 17639,09 | 63816,37 | 1199,74 | 62616,63 | 2007 | 21014,39 | 12574,92 | 33589,31 | 1199,74 | 32389,57 |
| 2008 | 42982,27 | 18050,36 | 61032,63 | 1329,41 | 59703,22 | 2008 | 16734,37 | 12414,65 | 29149,03 | 1329,41 | 27819,61 |
| 2009 | 29753,12 | 17400,54 | 47153,66 | 1226,80 | 45926,86 | 2009 | 7999,49 | 11551,52 | 19551,01 | 1226,80 | 18324,20 |
| 2010 | 33281,47 | 16734,67 | 50016,14 | 1204,25 | 48811,89 | 2010 | 2252,21 | 9286,81 | 11539,02 | 1204,25 | 10334,77 |
| 2011 | 42271,84 | 18489,74 | 60761,57 | 1304,60 | 59456,97 | 2011 | 17717,80 | 12853,84 | 30571,64 | 1304,60 | 29267,04 |
| 2012 | 43629,35 | 18368,17 | 61997,52 | 1360,98 | 60636,53 | 2012 | 27515,92 | 14281,61 | 41797,53 | 1360,98 | 40436,55 |
| 2013 | 60434,56 | 19620,58 | 80055,14 | 1304,60 | 78750,54 | 2013 | 14436,17 | 11778,25 | 26214,42 | 1304,60 | 24909,82 |
| 2014 | 40202,54 | 17529,30 | 57731,84 | 1287,69 | 56444,15 | 2014 | 14640,92 | 11150,30 | 25791,21 | 1287,69 | 24503,52 |
| 2015 | 41775,00 | 18127,11 | 59902,11 | 1266,27 | 58635,84 | 2015 | 20596,11 | 12188,51 | 32784,62 | 1266,27 | 31518,35 |
| 2016 | 40306,24 | 17303,20 | 57609,44 | 1229,54 | 56379,89 | 2016 | 17697,97 | 12822,17 | 30520,13 | 1229,54 | 29290,59 |
| 2017 | 39557,24 | 17769,50 | 57326,74 | 1238,41 | 56088,33 | 2017 | 28088,29 | 14069,35 | 42157,64 | 1238,41 | 40919,23 |
| 2018 | 40535,14 | 18103,47 | 58638,61 | 1263,73 | 57374,88 | 2018 | 31185,89 | 14474,26 | 45660,15 | 1263,73 | 44396,42 |
| 2019 | 45132,03 | 18347,36 | 63479,39 | 1300,46 | 62178,94 | 2019 | 29558,71 | 14605,79 | 44164,50 | 1300,46 | 42864,04 |
| 2020 | 38945,54 | 18534,19 | 57479,74 | 1305,52 | 56174,22 | 2020 | 9739,86 | 11574,30 | 21314,15 | 1305,52 | 20008,63 |
| 2021 | 53757,85 | 20080,60 | 73838,45 | 1382,76 | 72455,69 | 2021 | 21912,00 | 13815,87 | 35727,87 | 1382,76 | 34345,11 |
| 2022 | 79374,34 | 25317,74 | 104692,08 | 1718,32 | 102973,76 | 2022 | 41448,38 | 18643,78 | 60092,16 | 1718,32 | 58373,83 |
| 2023 | 63955,15 | 23952,57 | 87907,72 | 1710,23 | 86197,49 | 2023 | 41962,95 | 18861,99 | 60824,94 | 1710,23 | 59114,71 |

| Maize B2KUCH01 Normal | | | | | | Sorghum B2KUCH01 Normal | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 18439,36 | 6116,07 | 24555,44 | 1075,12 | 23480,32 | 1984 | 2932,58 | 3646,66 | 6579,23 | 1075,12 | 5504,12 |
| 1985 | 19108,84 | 6649,71 | 25758,55 | 1084,53 | 24674,02 | 1985 | 6616,14 | 4583,11 | 11199,25 | 1084,53 | 10114,72 |
| 1986 | 19334,54 | 6725,30 | 26059,84 | 1097,68 | 24962,16 | 1986 | 11161,21 | 5286,76 | 16447,97 | 1097,68 | 15350,29 |
| 1987 | 15175,59 | 5812,56 | 20988,15 | 1090,17 | 19897,98 | 1987 | 6099,06 | 4398,91 | 10497,97 | 1090,17 | 9407,80 |
| 1988 | 23113,10 | 7195,44 | 30308,54 | 1091,24 | 29217,30 | 1988 | 12634,82 | 5463,55 | 18098,37 | 1091,24 | 17007,13 |
| 1989 | 24585,36 | 7159,43 | 31744,78 | 1150,37 | 30594,41 | 1989 | 11753,12 | 4660,01 | 16413,13 | 1150,37 | 15262,76 |
| 1990 | 26505,64 | 7531,09 | 34036,73 | 1183,74 | 32852,99 | 1990 | 11173,62 | 5232,06 | 16405,68 | 1183,74 | 15221,94 |
| 1991 | 25630,99 | 6846,90 | 32477,89 | 1208,47 | 31269,42 | 1991 | 10946,56 | 4914,16 | 15860,73 | 1208,47 | 14652,26 |
| 1992 | 33677,05 | 8584,37 | 42261,42 | 1233,20 | 41028,22 | 1992 | 24541,10 | 7020,97 | 31562,07 | 1233,20 | 30328,87 |
| 1993 | 29134,06 | 10001,29 | 39135,35 | 1571,41 | 37563,94 | 1993 | 17936,91 | 7784,79 | 25721,71 | 1571,41 | 24150,29 |
| 1994 | 38118,05 | 11527,12 | 49645,17 | 1692,20 | 47952,97 | 1994 | 24546,14 | 9069,01 | 33615,15 | 1692,20 | 31922,94 |
| 1995 | 39353,64 | 11168,93 | 50522,57 | 1771,73 | 48750,84 | 1995 | 17340,06 | 8400,61 | 25740,68 | 1771,73 | 23968,94 |
| 1996 | 44853,59 | 11741,76 | 56595,34 | 1924,03 | 54671,31 | 1996 | 15796,88 | 8220,72 | 24017,61 | 1924,03 | 22093,57 |
| 1997 | 30369,67 | 12669,56 | 43039,23 | 2162,63 | 40876,59 | 1997 | 17798,00 | 10096,74 | 27894,74 | 2162,63 | 25732,11 |
| 1998 | 32318,28 | 12713,20 | 45031,48 | 2123,71 | 42907,77 | 1998 | 18616,56 | 9748,58 | 28365,14 | 2123,71 | 26241,43 |
| 1999 | 32249,92 | 13123,51 | 45373,43 | 1988,34 | 43385,09 | 1999 | 18768,24 | 9680,04 | 28448,29 | 1988,34 | 26459,95 |
| 2000 | 35153,23 | 14589,76 | 49743,00 | 2191,40 | 47551,60 | 2000 | 26707,04 | 12249,74 | 38956,78 | 2191,40 | 36765,38 |
| 2001 | 34785,76 | 13305,35 | 48091,11 | 2309,74 | 45781,38 | 2001 | 17491,89 | 9913,10 | 27404,99 | 2309,74 | 25095,26 |
| 2002 | 33262,13 | 14724,40 | 47986,53 | 2263,72 | 45722,82 | 2002 | 23821,66 | 12146,15 | 35967,81 | 2263,72 | 33704,09 |
| 2003 | 30886,24 | 15048,85 | 45935,09 | 2228,65 | 43706,44 | 2003 | 26235,18 | 13596,58 | 39831,76 | 2228,65 | 37603,11 |
| 2004 | 33840,60 | 14823,00 | 48663,59 | 2384,24 | 46279,35 | 2004 | 25383,06 | 12009,77 | 37392,84 | 2384,24 | 35008,59 |
| 2005 | 24202,97 | 15012,35 | 39215,32 | 2480,66 | 36734,65 | 2005 | 19391,05 | 12574,66 | 31965,71 | 2480,66 | 29485,05 |
| 2006 | 33374,89 | 16902,26 | 50277,15 | 2520,11 | 47757,04 | 2006 | 23660,64 | 14132,54 | 37793,18 | 2520,11 | 35273,07 |
| 2007 | 45648,65 | 17674,45 | 63323,10 | 2639,43 | 60683,68 | 2007 | 33137,57 | 14953,53 | 48091,11 | 2639,43 | 45451,68 |
| 2008 | 44699,06 | 18521,62 | 63220,68 | 2924,70 | 60295,97 | 2008 | 34798,33 | 15266,00 | 50064,33 | 2924,70 | 47139,62 |
| 2009 | 26553,62 | 17790,71 | 44344,33 | 2698,96 | 41645,37 | 2009 | 22028,52 | 15308,37 | 37336,89 | 2698,96 | 34637,93 |
| 2010 | 34994,54 | 16491,88 | 51486,42 | 2649,35 | 48837,07 | 2010 | 19141,59 | 12898,13 | 32039,72 | 2649,35 | 29390,37 |
| 2011 | 43101,73 | 18326,59 | 61428,32 | 2870,13 | 58558,19 | 2011 | 33887,57 | 15816,83 | 49704,40 | 2870,13 | 46834,27 |
| 2012 | 0,00 | 236,60 | 236,60 | 544,39 | -307,79 | 2012 | 38894,61 | 16588,39 | 55483,00 | 2994,16 | 52488,84 |
| 2013 | 53914,12 | 19683,93 | 73598,05 | 2870,13 | 70727,92 | 2013 | 36419,86 | 15900,83 | 52320,69 | 2870,13 | 49450,56 |
| 2014 | 43434,50 | 18141,17 | 61575,67 | 2832,92 | 58742,76 | 2014 | 26129,04 | 13457,44 | 39586,48 | 2832,92 | 36753,56 |
| 2015 | 40937,84 | 18271,92 | 59209,76 | 2785,79 | 56423,98 | 2015 | 27917,27 | 15541,27 | 43458,54 | 2785,79 | 40672,75 |
| 2016 | 41737,32 | 18088,05 | 59825,37 | 2705,00 | 57120,37 | 2016 | 32157,44 | 15166,62 | 47324,06 | 2705,00 | 44619,06 |
| 2017 | 40492,27 | 17783,83 | 58276,10 | 2724,50 | 55551,60 | 2017 | 29350,43 | 14860,95 | 44211,38 | 2724,50 | 41486,88 |
| 2018 | 40724,26 | 18119,74 | 58844,00 | 2780,22 | 56063,79 | 2018 | 33257,96 | 16034,38 | 49292,34 | 2780,22 | 46512,13 |
| 2019 | 43708,11 | 18249,57 | 61957,68 | 2861,00 | 59096,68 | 2019 | 34224,16 | 16246,88 | 50471,05 | 2861,00 | 47610,04 |
| 2020 | 41027,22 | 19037,39 | 60064,62 | 2872,15 | 57192,47 | 2020 | 29157,56 | 15046,03 | 44203,59 | 2872,15 | 41331,45 |
| 2021 | 52268,00 | 19833,76 | 72101,76 | 3042,08 | 69059,68 | 2021 | 35507,75 | 16542,73 | 52050,48 | 3042,08 | 49008,40 |
| 2022 | 76368,22 | 25982,59 | 102350,81 | 3780,31 | 98570,50 | 2022 | 56498,50 | 22221,78 | 78720,28 | 3780,31 | 74939,97 |
| 2023 | 65338,79 | 23880,13 | 89218,92 | 3762,51 | 85456,41 | 2023 | 47717,14 | 21086,68 | 68803,82 | 3762,51 | 65041,31 |

| Maize B2KUCH01 Unlimited | | | | | | Sorghum B2KUCH01 Unlimited | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 18388,20 | 6106,66 | 24494,86 | 977,38 | 23517,48 | 1984 | 2926,80 | 3639,67 | 6566,47 | 1221,72 | 5344,75 |
| 1985 | 19108,44 | 6649,62 | 25758,06 | 985,93 | 24772,13 | 1985 | 6600,06 | 4572,56 | 11172,63 | 1109,17 | 10063,45 |
| 1986 | 19334,14 | 6724,33 | 26058,47 | 873,16 | 25185,32 | 1986 | 11159,10 | 5285,85 | 16444,95 | 1122,63 | 15322,32 |
| 1987 | 15174,19 | 5812,06 | 20986,25 | 867,18 | 20119,07 | 1987 | 6091,36 | 4393,59 | 10484,95 | 1238,83 | 9246,12 |
| 1988 | 23110,09 | 7193,95 | 30304,04 | 992,04 | 29312,00 | 1988 | 12610,36 | 5453,09 | 18063,45 | 1116,04 | 16947,40 |
| 1989 | 24575,98 | 7157,85 | 31733,83 | 915,07 | 30818,76 | 1989 | 11733,46 | 4651,30 | 16384,76 | 1045,79 | 15338,97 |
| 1990 | 26493,12 | 7527,72 | 34020,84 | 941,61 | 33079,23 | 1990 | 11131,56 | 5212,70 | 16344,26 | 1210,64 | 15133,62 |
| 1991 | 25619,99 | 6842,07 | 32462,06 | 961,28 | 31500,77 | 1991 | 10912,51 | 4900,08 | 15812,59 | 1235,93 | 14576,66 |
| 1992 | 33433,28 | 8435,26 | 41868,55 | 1121,09 | 40747,45 | 1992 | 24486,63 | 7007,36 | 31494,00 | 1261,23 | 30232,77 |
| 1993 | 29102,17 | 9997,24 | 39099,42 | 1249,99 | 37849,43 | 1993 | 17955,04 | 7792,05 | 25747,09 | 1607,13 | 24139,97 |
| 1994 | 37651,55 | 11041,86 | 48693,41 | 1346,07 | 47347,34 | 1994 | 24448,23 | 9035,84 | 33484,07 | 1730,66 | 31753,41 |
| 1995 | 39337,91 | 11150,38 | 50488,29 | 1409,33 | 49078,96 | 1995 | 17201,33 | 8342,15 | 25543,48 | 1812,00 | 23731,47 |
| 1996 | 44842,07 | 11739,12 | 56581,19 | 1530,48 | 55050,71 | 1996 | 15760,73 | 8207,34 | 23968,07 | 1967,76 | 22000,31 |
| 1997 | 30365,74 | 12668,28 | 43034,02 | 1966,03 | 41067,99 | 1997 | 17797,66 | 10096,56 | 27894,22 | 2457,54 | 25436,68 |
| 1998 | 32182,61 | 12640,95 | 44823,56 | 1930,65 | 42892,91 | 1998 | 18597,21 | 9738,03 | 28335,24 | 2171,98 | 26163,26 |
| 1999 | 32245,55 | 13119,56 | 45365,12 | 1807,58 | 43557,54 | 1999 | 18765,73 | 9678,33 | 28444,06 | 2259,47 | 26184,59 |
| 2000 | 35161,63 | 14592,41 | 49754,04 | 1992,18 | 47761,86 | 2000 | 26687,89 | 12241,62 | 38929,51 | 1992,18 | 36937,33 |
| 2001 | 34754,55 | 13290,03 | 48044,58 | 1837,29 | 46207,29 | 2001 | 17404,41 | 9862,62 | 27267,03 | 2362,23 | 24904,80 |
| 2002 | 33261,54 | 14719,91 | 47981,45 | 2057,92 | 45923,52 | 2002 | 23813,48 | 12152,65 | 35966,13 | 2315,16 | 33650,97 |
| 2003 | 30604,32 | 14819,42 | 45423,74 | 1519,54 | 43904,21 | 2003 | 26353,77 | 13648,04 | 40001,81 | 2026,05 | 37975,76 |
| 2004 | 33834,44 | 14814,61 | 48649,04 | 1896,56 | 46752,49 | 2004 | 25351,20 | 11994,22 | 37345,42 | 2438,43 | 34906,98 |
| 2005 | 24199,65 | 15009,69 | 39209,34 | 2255,15 | 36954,19 | 2005 | 19406,25 | 12584,78 | 31991,04 | 2537,04 | 29453,99 |
| 2006 | 33372,97 | 16899,08 | 50272,06 | 2291,01 | 47981,05 | 2006 | 23547,78 | 14077,87 | 37625,65 | 2577,39 | 35048,26 |
| 2007 | 45543,63 | 17587,21 | 63130,84 | 2099,54 | 61031,29 | 2007 | 33129,36 | 14950,63 | 48079,99 | 2399,48 | 45680,51 |
| 2008 | 44690,44 | 18519,34 | 63209,78 | 2658,82 | 60550,96 | 2008 | 34837,22 | 15282,96 | 50120,18 | 2991,17 | 47129,00 |
| 2009 | 26550,50 | 17789,19 | 44339,69 | 2453,60 | 41886,09 | 2009 | 22039,52 | 15315,18 | 37354,70 | 3067,00 | 34287,70 |
| 2010 | 34997,90 | 16493,95 | 51491,84 | 2709,56 | 48782,28 | 2010 | 19072,73 | 12839,87 | 31912,61 | 3010,63 | 28901,98 |
| 2011 | 43053,15 | 18305,40 | 61358,54 | 2283,06 | 59075,49 | 2011 | 33808,57 | 15784,38 | 49592,96 | 2935,36 | 46657,60 |
| 2012 | 0,00 | 236,68 | 236,68 | 1020,74 | -784,05 | 2012 | 38997,80 | 16627,14 | 55624,94 | 3062,21 | 52562,73 |
| 2013 | 53876,47 | 19632,07 | 73508,53 | 2283,06 | 71225,47 | 2013 | 36374,67 | 15877,63 | 52252,30 | 3261,51 | 48990,79 |
| 2014 | 43424,22 | 18126,04 | 61550,26 | 2253,46 | 59296,80 | 2014 | 26118,79 | 13454,02 | 39572,81 | 2575,38 | 36997,42 |
| 2015 | 40601,71 | 17861,94 | 58463,65 | 2215,97 | 56247,69 | 2015 | 27865,28 | 15513,37 | 43378,65 | 2849,10 | 40529,55 |
| 2016 | 41701,76 | 18052,24 | 59754,00 | 1844,32 | 57909,69 | 2016 | 32112,16 | 15147,15 | 47259,31 | 2766,48 | 44492,83 |
| 2017 | 40398,83 | 17610,17 | 58009,00 | 2167,22 | 55841,79 | 2017 | 29330,53 | 14852,76 | 44183,29 | 2786,42 | 41396,87 |
| 2018 | 40683,15 | 18072,86 | 58756,01 | 2211,53 | 56544,48 | 2018 | 33288,10 | 16048,27 | 49336,37 | 2527,47 | 46808,90 |
| 2019 | 43681,05 | 18213,08 | 61894,13 | 2600,91 | 59293,22 | 2019 | 34197,82 | 16236,82 | 50434,64 | 2600,91 | 47833,73 |
| 2020 | 41016,70 | 19029,06 | 60045,76 | 2611,04 | 57434,72 | 2020 | 29093,82 | 15017,88 | 44111,70 | 2937,42 | 41174,28 |
| 2021 | 52254,30 | 19814,89 | 72069,19 | 2419,84 | 69649,35 | 2021 | 35467,85 | 16523,13 | 51990,97 | 3111,22 | 48879,76 |
| 2022 | 76158,39 | 25733,19 | 101891,58 | 3436,65 | 98454,94 | 2022 | 56458,94 | 22210,31 | 78669,25 | 3866,23 | 74803,02 |
| 2023 | 65311,96 | 23816,89 | 89128,85 | 2992,91 | 86135,95 | 2023 | 47521,08 | 21015,35 | 68536,43 | 4275,58 | 64260,85 |

| Maize C2CBUD01 LowN | | | | | | Sorghum C2CBUD01 LowN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 21553,73 | 6018,64 | 27572,37 | 488,69 | 27083,68 | 1984 | 13530,03 | 4874,97 | 18405,00 | 488,69 | 17916,32 |
| 1985 | 18853,45 | 5883,38 | 24736,83 | 492,97 | 24243,87 | 1985 | 5635,08 | 3626,48 | 9261,56 | 492,97 | 8768,59 |
| 1986 | 16634,34 | 5719,55 | 22353,89 | 498,95 | 21854,94 | 1986 | 3846,97 | 3461,50 | 7308,48 | 498,95 | 6809,53 |
| 1987 | 0,00 | 221,47 | 221,47 | 495,53 | -274,06 | 1987 | 8692,82 | 4179,41 | 12872,23 | 495,53 | 12376,70 |
| 1988 | 21514,39 | 6340,16 | 27854,55 | 496,02 | 27358,53 | 1988 | 8171,76 | 4408,00 | 12579,75 | 496,02 | 12083,74 |
| 1989 | 22356,36 | 6202,76 | 28559,12 | 522,90 | 28036,22 | 1989 | 7224,23 | 4031,22 | 11255,46 | 522,90 | 10732,56 |
| 1990 | 25230,26 | 6563,58 | 31793,84 | 538,06 | 31255,78 | 1990 | 7718,52 | 4375,51 | 12094,03 | 538,06 | 11555,97 |
| 1991 | 28112,91 | 6384,52 | 34497,43 | 549,30 | 33948,13 | 1991 | 4847,13 | 3765,18 | 8612,31 | 549,30 | 8063,00 |
| 1992 | 21452,91 | 6776,08 | 28228,99 | 560,55 | 27668,44 | 1992 | 8838,27 | 4568,06 | 13406,32 | 560,55 | 12845,78 |
| 1993 | 29233,74 | 8685,20 | 37918,94 | 714,28 | 37204,66 | 1993 | 11464,81 | 5878,04 | 17342,85 | 714,28 | 16628,57 |
| 1994 | 36446,28 | 9341,58 | 45787,86 | 769,18 | 45018,67 | 1994 | 9597,38 | 6083,78 | 15681,15 | 769,18 | 14911,97 |
| 1995 | 32108,50 | 9753,33 | 41861,82 | 805,33 | 41056,49 | 1995 | 10511,82 | 5752,42 | 16264,24 | 805,33 | 15458,90 |
| 1996 | 49392,74 | 10312,03 | 59704,76 | 874,56 | 58830,20 | 1996 | 25674,62 | 7958,08 | 33632,69 | 874,56 | 32758,13 |
| 1997 | 35447,72 | 12504,99 | 47952,72 | 983,01 | 46969,70 | 1997 | 13771,02 | 8657,58 | 22428,60 | 983,01 | 21445,58 |
| 1998 | 33857,40 | 12115,37 | 45972,77 | 965,32 | 45007,45 | 1998 | 21050,37 | 9306,65 | 30357,03 | 965,32 | 29391,70 |
| 1999 | 28011,36 | 11185,53 | 39196,89 | 903,79 | 38293,10 | 1999 | 20002,89 | 8602,73 | 28605,61 | 903,79 | 27701,82 |
| 2000 | 37358,82 | 12030,44 | 49389,26 | 996,09 | 48393,17 | 2000 | 22586,53 | 9468,77 | 32055,30 | 996,09 | 31059,21 |
| 2001 | 35406,06 | 13193,35 | 48599,40 | 1049,88 | 47549,52 | 2001 | 14286,81 | 8908,29 | 23195,10 | 1049,88 | 22145,22 |
| 2002 | 30607,68 | 12427,14 | 43034,82 | 1028,96 | 42005,86 | 2002 | 13038,79 | 8899,23 | 21938,02 | 1028,96 | 20909,06 |
| 2003 | 32125,38 | 12926,48 | 45051,86 | 1013,02 | 44038,84 | 2003 | 18624,44 | 10081,71 | 28706,16 | 1013,02 | 27693,13 |
| 2004 | 36574,49 | 13268,95 | 49843,44 | 1083,75 | 48759,70 | 2004 | 20589,64 | 9697,82 | 30287,45 | 1083,75 | 29203,70 |

| Maize C2CBUD01 Normal | | | | | | Sorghum C2CBUD01 Normal | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 22622,21 | 7201,92 | 29824,13 | 1075,12 | 28749,02 | 1984 | 9927,30 | 5265,78 | 15193,08 | 1075,12 | 14117,97 |
| 1985 | 18937,78 | 6206,47 | 25144,25 | 1084,53 | 24059,73 | 1985 | 0,00 | 3621,50 | 3621,50 | 1084,53 | 2536,97 |
| 1986 | 16666,70 | 6010,04 | 22676,74 | 1097,68 | 21579,06 | 1986 | 0,00 | 3560,86 | 3560,86 | 1097,68 | 2463,18 |
| 1987 | 0,00 | 221,47 | 221,47 | 644,19 | -422,72 | 1987 | 1425,66 | 4284,75 | 5710,41 | 1090,17 | 4620,24 |
| 1988 | 21522,42 | 6914,01 | 28436,43 | 1091,24 | 27345,19 | 1988 | 2141,96 | 4681,17 | 6823,12 | 1091,24 | 5731,88 |
| 1989 | 22446,67 | 6383,52 | 28830,19 | 1150,37 | 27679,81 | 1989 | 0,00 | 4028,44 | 4028,44 | 1150,37 | 2878,07 |
| 1990 | 25310,12 | 7678,95 | 32989,07 | 1183,74 | 31805,34 | 1990 | 0,00 | 4423,00 | 4423,00 | 1183,74 | 3239,26 |
| 1991 | 28215,48 | 6809,17 | 35024,64 | 1208,47 | 33816,18 | 1991 | 0,00 | 3744,77 | 3744,77 | 1208,47 | 2536,30 |
| 1992 | 21466,60 | 6908,09 | 28374,69 | 1233,20 | 27141,49 | 1992 | 20,25 | 4720,90 | 4741,16 | 1233,20 | 3507,96 |
| 1993 | 29548,26 | 9334,51 | 38882,77 | 1571,41 | 37311,36 | 1993 | 1819,96 | 6163,81 | 7983,77 | 1571,41 | 6412,36 |
| 1994 | 36529,06 | 10280,75 | 46809,82 | 1692,20 | 45117,61 | 1994 | 0,00 | 5886,31 | 5886,31 | 1692,20 | 4194,11 |
| 1995 | 32357,55 | 10628,42 | 42985,96 | 1771,73 | 41214,23 | 1995 | 287,22 | 6139,70 | 6426,93 | 1771,73 | 4655,19 |
| 1996 | 51139,45 | 12503,30 | 63642,75 | 1924,03 | 61718,72 | 1996 | 13106,79 | 8328,18 | 21434,96 | 1924,03 | 19510,93 |
| 1997 | 35516,36 | 13325,61 | 48841,96 | 2162,63 | 46679,33 | 1997 | 2257,99 | 8878,65 | 11136,64 | 2162,63 | 8974,01 |
| 1998 | 34241,06 | 13318,67 | 47559,73 | 2123,71 | 45436,02 | 1998 | 12001,97 | 9832,92 | 21834,89 | 2123,71 | 19711,18 |
| 1999 | 29913,43 | 12979,42 | 42892,85 | 1988,34 | 40904,51 | 1999 | 17458,18 | 9570,54 | 27028,72 | 1988,34 | 25040,39 |
| 2000 | 37752,83 | 13717,10 | 51469,94 | 2191,40 | 49278,54 | 2000 | 15470,21 | 10140,96 | 25611,17 | 2191,40 | 23419,77 |
| 2001 | 35502,20 | 13939,30 | 49441,50 | 2309,74 | 47131,77 | 2001 | 843,12 | 8907,73 | 9750,85 | 2309,74 | 7441,11 |
| 2002 | 30662,59 | 13693,17 | 44355,77 | 2263,72 | 42092,05 | 2002 | 2419,72 | 9262,77 | 11682,48 | 2263,72 | 9418,77 |
| 2003 | 32731,50 | 14944,37 | 47675,87 | 2228,65 | 45447,22 | 2003 | 14443,02 | 11333,22 | 25776,24 | 2228,65 | 23547,58 |
| 2004 | 37590,85 | 15562,28 | 53153,13 | 2384,24 | 50768,89 | 2004 | 18854,39 | 11479,51 | 30333,90 | 2384,24 | 27949,66 |

| Maize C2CBUD01 Unlimited | | | | | | Sorghum C2CBUD01 Unlimited | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 22012,62 | 6988,33 | 29000,96 | 977,38 | 28023,58 | 1984 | 9958,32 | 5283,65 | 15241,96 | 977,38 | 14264,59 |
| 1985 | 18904,89 | 6177,96 | 25082,85 | 862,69 | 24220,16 | 1985 | 0,00 | 3607,73 | 3607,73 | 1109,17 | 2498,55 |
| 1986 | 16650,72 | 6006,15 | 22656,87 | 997,89 | 21658,97 | 1986 | 0,00 | 3564,63 | 3564,63 | 1247,37 | 2317,27 |
| 1987 | 0,00 | 221,47 | 221,47 | 619,41 | -397,94 | 1987 | 1427,58 | 4290,05 | 5717,63 | 1238,83 | 4478,81 |
| 1988 | 21525,83 | 6912,99 | 28438,82 | 992,04 | 27446,78 | 1988 | 2150,24 | 4698,86 | 6849,10 | 1240,05 | 5609,05 |
| 1989 | 22456,54 | 6377,49 | 28834,04 | 915,07 | 27918,96 | 1989 | 0,00 | 4035,64 | 4035,64 | 1307,24 | 2728,40 |
| 1990 | 25325,65 | 7682,79 | 33008,44 | 1210,64 | 31797,80 | 1990 | 0,00 | 4426,17 | 4426,17 | 1345,15 | 3081,02 |
| 1991 | 28153,61 | 6798,91 | 34952,52 | 1098,61 | 33853,91 | 1991 | 0,00 | 3747,07 | 3747,07 | 1510,59 | 2236,49 |
| 1992 | 21511,64 | 6915,98 | 28427,62 | 1121,09 | 27306,53 | 1992 | 20,25 | 4722,62 | 4742,88 | 1401,37 | 3341,51 |
| 1993 | 29556,31 | 9315,27 | 38871,58 | 1428,56 | 37443,03 | 1993 | 1821,45 | 6168,92 | 7990,36 | 1607,13 | 6383,24 |
| 1994 | 36542,28 | 10284,57 | 46826,85 | 1730,66 | 45096,19 | 1994 | 0,00 | 5896,49 | 5896,49 | 2307,55 | 3588,94 |
| 1995 | 32459,14 | 10656,06 | 43115,19 | 1610,67 | 41504,52 | 1995 | 288,17 | 6156,40 | 6444,57 | 2214,67 | 4229,90 |
| 1996 | 49859,77 | 11850,50 | 61710,27 | 1530,48 | 60179,79 | 1996 | 13122,95 | 8336,34 | 21459,29 | 2186,40 | 19272,89 |
| 1997 | 35502,77 | 13320,79 | 48823,56 | 1966,03 | 46857,53 | 1997 | 2261,43 | 8890,44 | 11151,86 | 2457,54 | 8694,32 |
| 1998 | 34197,54 | 13284,80 | 47482,34 | 1930,65 | 45551,69 | 1998 | 12039,45 | 9855,67 | 21895,12 | 2413,31 | 19481,81 |
| 1999 | 29117,05 | 12745,90 | 41862,95 | 1807,58 | 40055,37 | 1999 | 17698,96 | 9667,98 | 27366,94 | 2259,47 | 25107,47 |
| 2000 | 37853,96 | 13749,29 | 51603,25 | 1992,18 | 49611,07 | 2000 | 15560,91 | 10191,45 | 25752,36 | 2490,23 | 23262,13 |
| 2001 | 35492,52 | 13936,38 | 49428,90 | 2099,76 | 47329,14 | 2001 | 842,08 | 8896,63 | 9738,71 | 2887,17 | 6851,55 |
| 2002 | 30673,46 | 13695,06 | 44368,52 | 2057,92 | 42310,59 | 2002 | 2420,00 | 9263,98 | 11683,98 | 2572,40 | 9111,58 |
| 2003 | 32733,42 | 14924,20 | 47657,62 | 2279,31 | 45378,32 | 2003 | 14454,61 | 11376,91 | 25831,52 | 2532,56 | 23298,96 |
| 2004 | 36991,99 | 15100,90 | 52092,89 | 1896,56 | 50196,33 | 2004 | 18940,14 | 11523,62 | 30463,76 | 2709,37 | 27754,39 |

| Maize H3SVRA01 LowN | | | | | | Sorghum H3SVRA01 LowN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 106,95 | 3117,55 | 3224,49 | 488,69 | 2735,81 | 1984 | 229,04 | 2173,35 | 2402,38 | 488,69 | 1913,69 |
| 1985 | 4208,97 | 4268,58 | 8477,55 | 492,97 | 7984,59 | 1985 | 2501,27 | 2968,98 | 5470,24 | 492,97 | 4977,28 |
| 1986 | 1934,11 | 3824,97 | 5759,08 | 498,95 | 5260,14 | 1986 | 5612,25 | 3581,81 | 9194,06 | 498,95 | 8695,11 |
| 1987 | 1671,80 | 3800,45 | 5472,25 | 495,53 | 4976,72 | 1987 | 1688,02 | 2617,85 | 4305,87 | 495,53 | 3810,34 |
| 1988 | 4917,92 | 4371,14 | 9289,06 | 496,02 | 8793,04 | 1988 | 5726,59 | 3446,71 | 9173,29 | 496,02 | 8677,27 |
| 1989 | 7237,03 | 4533,19 | 11770,21 | 522,90 | 11247,31 | 1989 | 6220,76 | 3309,02 | 9529,79 | 522,90 | 9006,89 |
| 1990 | 13368,99 | 5294,61 | 18663,60 | 538,06 | 18125,54 | 1990 | 5633,44 | 3624,42 | 9257,86 | 538,06 | 8719,80 |
| 1991 | 6573,56 | 4954,27 | 11527,83 | 549,30 | 10978,52 | 1991 | 5372,97 | 3319,34 | 8692,31 | 549,30 | 8143,01 |
| 1992 | 19641,60 | 6412,94 | 26054,53 | 560,55 | 25493,99 | 1992 | 18193,29 | 4977,36 | 23170,65 | 560,55 | 22610,10 |
| 1993 | 9682,36 | 6169,72 | 15852,07 | 714,28 | 15137,80 | 1993 | 9986,61 | 5510,83 | 15497,44 | 714,28 | 14783,16 |
| 1994 | 21057,22 | 8045,91 | 29103,13 | 769,18 | 28333,95 | 1994 | 20618,04 | 6664,14 | 27282,18 | 769,18 | 26513,00 |
| 1995 | 23736,06 | 8736,95 | 32473,01 | 805,33 | 31667,67 | 1995 | 17659,69 | 6816,27 | 24475,96 | 805,33 | 23670,63 |
| 1996 | 13298,42 | 7306,47 | 20604,89 | 874,56 | 19730,33 | 1996 | 7005,15 | 5502,76 | 12507,91 | 874,56 | 11633,35 |
| 1997 | 14974,29 | 9340,93 | 24315,22 | 983,01 | 23332,20 | 1997 | 12075,46 | 7255,47 | 19330,94 | 983,01 | 18347,92 |
| 1998 | 9447,50 | 8155,25 | 17602,74 | 965,32 | 16637,42 | 1998 | 9852,92 | 7088,18 | 16941,09 | 965,32 | 15975,77 |
| 1999 | 11858,47 | 9389,18 | 21247,65 | 903,79 | 20343,87 | 1999 | 12966,82 | 7214,96 | 20181,78 | 903,79 | 19277,99 |
| 2000 | 16453,18 | 8563,63 | 25016,81 | 996,09 | 24020,71 | 2000 | 14849,07 | 8247,95 | 23097,02 | 996,09 | 22100,93 |
| 2001 | 13741,60 | 8966,22 | 22707,81 | 1049,88 | 21657,93 | 2001 | 8813,45 | 6586,78 | 15400,23 | 1049,88 | 14350,35 |
| 2002 | 12394,78 | 10167,27 | 22562,05 | 1028,96 | 21533,08 | 2002 | 15311,91 | 8843,67 | 24155,58 | 1028,96 | 23126,62 |
| 2003 | 22991,06 | 12313,59 | 35304,65 | 1013,02 | 34291,62 | 2003 | 20072,54 | 10035,46 | 30108,00 | 1013,02 | 29094,97 |
| 2004 | 19029,50 | 11363,51 | 30393,00 | 1083,75 | 29309,26 | 2004 | 13046,83 | 8351,64 | 21398,46 | 1083,75 | 20314,72 |
| 2005 | 10788,96 | 10871,38 | 21660,34 | 1127,57 | 20532,77 | 2005 | 11347,03 | 8852,84 | 20199,88 | 1127,57 | 19072,30 |
| 2006 | 21682,36 | 12664,04 | 34346,40 | 1145,50 | 33200,90 | 2006 | 14258,06 | 9469,04 | 23727,10 | 1145,50 | 22581,59 |
| 2007 | 22060,75 | 12725,09 | 34785,85 | 1199,74 | 33586,11 | 2007 | 20695,49 | 10795,30 | 31490,79 | 1199,74 | 30291,05 |
| 2008 | 22261,41 | 13162,18 | 35423,59 | 1329,41 | 34094,18 | 2008 | 18816,03 | 10948,89 | 29764,92 | 1329,41 | 28435,51 |
| 2009 | 13144,02 | 13400,85 | 26544,87 | 1226,80 | 25318,06 | 2009 | 12957,45 | 10636,89 | 23594,34 | 1226,80 | 22367,54 |
| 2010 | 13521,77 | 11420,55 | 24942,32 | 1204,25 | 23738,07 | 2010 | 12128,01 | 9102,21 | 21230,22 | 1204,25 | 20025,97 |
| 2011 | 16511,73 | 12784,18 | 29295,91 | 1304,60 | 27991,30 | 2011 | 19508,28 | 11142,78 | 30651,05 | 1304,60 | 29346,45 |
| 2012 | 27678,34 | 15723,17 | 43401,51 | 1360,98 | 42040,53 | 2012 | 28869,60 | 12500,94 | 41370,54 | 1360,98 | 40009,56 |
| 2013 | 39570,76 | 14256,65 | 53827,41 | 1304,60 | 52522,81 | 2013 | 27874,11 | 11621,43 | 39495,54 | 1304,60 | 38190,93 |
| 2014 | 18592,86 | 12851,20 | 31444,06 | 1287,69 | 30156,37 | 2014 | 19086,12 | 10073,21 | 29159,33 | 1287,69 | 27871,64 |
| 2015 | 32274,77 | 13454,43 | 45729,20 | 1266,27 | 44462,93 | 2015 | 21710,99 | 11000,84 | 32711,83 | 1266,27 | 31445,56 |
| 2016 | 20066,76 | 13266,74 | 33333,50 | 1229,54 | 32103,96 | 2016 | 20449,13 | 10096,48 | 30545,61 | 1229,54 | 29316,07 |
| 2017 | 25604,95 | 14237,82 | 39842,78 | 1238,41 | 38604,37 | 2017 | 20797,73 | 11076,31 | 31874,03 | 1238,41 | 30635,63 |
| 2018 | 41165,66 | 14987,93 | 56153,59 | 1263,73 | 54889,86 | 2018 | 25640,62 | 12593,97 | 38234,59 | 1263,73 | 36970,86 |
| 2019 | 32456,64 | 16338,91 | 48795,56 | 1300,46 | 47495,10 | 2019 | 24340,40 | 11911,95 | 36252,36 | 1300,46 | 34951,90 |
| 2020 | 27252,30 | 14678,87 | 41931,17 | 1305,52 | 40625,65 | 2020 | 19347,34 | 11001,38 | 30348,72 | 1305,52 | 29043,20 |
| 2021 | 31187,24 | 16084,66 | 47271,90 | 1382,76 | 45889,14 | 2021 | 22413,16 | 11803,24 | 34216,40 | 1382,76 | 32833,63 |
| 2022 | 52573,48 | 19300,10 | 71873,58 | 1718,32 | 70155,25 | 2022 | 44833,29 | 16763,42 | 61596,71 | 1718,32 | 59878,39 |
| 2023 | 37801,78 | 18697,82 | 56499,61 | 1710,23 | 54789,37 | 2023 | 31942,66 | 14687,31 | 46629,97 | 1710,23 | 44919,74 |

| Maize H3SVRA01 Normal | | | | | | Sorghum H3SVRA01 Normal | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 107,55 | 3118,99 | 3226,54 | 1075,12 | 2151,42 | 1984 | 229,42 | 2175,86 | 2405,28 | 1075,12 | 1330,16 |
| 1985 | 4217,94 | 4271,20 | 8489,14 | 1084,53 | 7404,62 | 1985 | 2501,08 | 2969,18 | 5470,26 | 1084,53 | 4385,73 |
| 1986 | 1960,08 | 3836,26 | 5796,34 | 1097,68 | 4698,66 | 1986 | 5615,31 | 3583,79 | 9199,10 | 1097,68 | 8101,42 |
| 1987 | 1673,60 | 3801,33 | 5474,93 | 1090,17 | 4384,76 | 1987 | 1689,56 | 2620,63 | 4310,19 | 1090,17 | 3220,02 |
| 1988 | 4918,52 | 4371,52 | 9290,04 | 1091,24 | 8198,80 | 1988 | 5733,91 | 3450,78 | 9184,69 | 1091,24 | 8093,44 |
| 1989 | 7242,45 | 4534,58 | 11777,03 | 1150,37 | 10626,66 | 1989 | 6228,34 | 3312,76 | 9541,11 | 1150,37 | 8390,73 |
| 1990 | 13389,77 | 5299,82 | 18689,59 | 1183,74 | 17505,86 | 1990 | 5656,03 | 3638,15 | 9294,19 | 1183,74 | 8110,45 |
| 1991 | 6594,46 | 4959,59 | 11554,05 | 1208,47 | 10345,58 | 1991 | 5380,36 | 3323,56 | 8703,92 | 1208,47 | 7495,45 |
| 1992 | 19735,97 | 6467,27 | 26203,24 | 1233,20 | 24970,04 | 1992 | 19556,62 | 5386,92 | 24943,54 | 1233,20 | 23710,34 |
| 1993 | 9726,93 | 6182,67 | 15909,61 | 1571,41 | 14338,19 | 1993 | 10006,82 | 5521,46 | 15528,28 | 1571,41 | 13956,87 |
| 1994 | 21063,20 | 8055,32 | 29118,51 | 1692,20 | 27426,31 | 1994 | 22162,21 | 6959,93 | 29122,14 | 1692,20 | 27429,94 |
| 1995 | 23738,35 | 8989,51 | 32727,86 | 1771,73 | 30956,13 | 1995 | 18026,50 | 6952,23 | 24978,74 | 1771,73 | 23207,00 |
| 1996 | 13328,99 | 7312,88 | 20641,87 | 1924,03 | 18717,84 | 1996 | 7009,40 | 5506,28 | 12515,68 | 1924,03 | 10591,65 |
| 1997 | 15091,54 | 9384,48 | 24476,02 | 2162,63 | 22313,38 | 1997 | 12451,56 | 7412,03 | 19863,59 | 2162,63 | 17700,96 |
| 1998 | 9528,13 | 8188,49 | 17716,62 | 2123,71 | 15592,91 | 1998 | 9885,48 | 7104,48 | 16989,96 | 2123,71 | 14866,25 |
| 1999 | 11883,49 | 9404,67 | 21288,16 | 1988,34 | 19299,82 | 1999 | 13759,84 | 7591,50 | 21351,34 | 1988,34 | 19363,01 |
| 2000 | 16523,86 | 8584,40 | 25108,26 | 2191,40 | 22916,86 | 2000 | 14993,52 | 8311,44 | 23304,96 | 2191,40 | 21113,56 |
| 2001 | 13745,90 | 8967,52 | 22713,42 | 2309,74 | 20403,69 | 2001 | 8825,85 | 6595,15 | 15421,00 | 2309,74 | 13111,27 |
| 2002 | 12492,57 | 10222,03 | 22714,60 | 2263,72 | 20450,88 | 2002 | 15753,11 | 9079,51 | 24832,62 | 2263,72 | 22568,91 |
| 2003 | 23348,74 | 13075,60 | 36424,35 | 2228,65 | 34195,69 | 2003 | 24271,10 | 11937,49 | 36208,59 | 2228,65 | 33979,94 |
| 2004 | 19055,50 | 11377,59 | 30433,10 | 2384,24 | 28048,85 | 2004 | 13116,47 | 8391,33 | 21507,80 | 2384,24 | 19123,56 |
| 2005 | 10805,31 | 10879,70 | 21685,01 | 2480,66 | 19204,34 | 2005 | 11879,72 | 9212,86 | 21092,58 | 2480,66 | 18611,91 |
| 2006 | 21697,67 | 13455,13 | 35152,80 | 2520,11 | 32632,69 | 2006 | 19141,89 | 10769,25 | 29911,14 | 2520,11 | 27391,03 |
| 2007 | 22299,59 | 12826,44 | 35126,03 | 2639,43 | 32486,60 | 2007 | 20872,49 | 10879,00 | 31751,49 | 2639,43 | 29112,06 |
| 2008 | 22447,57 | 13248,56 | 35696,13 | 2924,70 | 32771,42 | 2008 | 19369,13 | 11210,47 | 30579,60 | 2924,70 | 27654,90 |
| 2009 | 13146,88 | 13408,17 | 26555,05 | 2698,96 | 23856,09 | 2009 | 13126,68 | 10758,49 | 23885,17 | 2698,96 | 21186,21 |
| 2010 | 13583,11 | 11450,08 | 25033,19 | 2649,35 | 22383,84 | 2010 | 12369,14 | 9256,37 | 21625,50 | 2649,35 | 18976,15 |
| 2011 | 16604,53 | 12823,63 | 29428,16 | 2870,13 | 26558,03 | 2011 | 19577,19 | 11175,61 | 30752,80 | 2870,13 | 27882,67 |
| 2012 | 27684,48 | 15747,86 | 43432,34 | 2994,16 | 40438,17 | 2012 | 30044,70 | 13045,30 | 43090,00 | 2994,16 | 40095,84 |
| 2013 | 39577,35 | 14587,95 | 54165,30 | 2870,13 | 51295,17 | 2013 | 28828,96 | 12026,17 | 40855,13 | 2870,13 | 37985,00 |
| 2014 | 18647,05 | 12873,10 | 31520,15 | 2832,92 | 28687,23 | 2014 | 19346,96 | 10203,13 | 29550,08 | 2832,92 | 26717,16 |
| 2015 | 32318,72 | 13542,47 | 45861,19 | 2785,79 | 43075,40 | 2015 | 24175,34 | 12333,62 | 36508,96 | 2785,79 | 33723,18 |
| 2016 | 20145,86 | 13302,33 | 33448,19 | 2705,00 | 30743,19 | 2016 | 23383,52 | 11610,40 | 34993,92 | 2705,00 | 32288,92 |
| 2017 | 25728,95 | 14478,87 | 40207,81 | 2724,50 | 37483,31 | 2017 | 21530,46 | 11467,76 | 32998,22 | 2724,50 | 30273,72 |
| 2018 | 41723,67 | 16378,15 | 58101,82 | 2780,22 | 55321,60 | 2018 | 29599,27 | 14468,67 | 44067,94 | 2780,22 | 41287,72 |
| 2019 | 32480,65 | 17032,83 | 49513,48 | 2861,00 | 46652,48 | 2019 | 30519,17 | 13657,30 | 44176,47 | 2861,00 | 41315,46 |
| 2020 | 27265,36 | 14727,84 | 41993,20 | 2872,15 | 39121,06 | 2020 | 20289,59 | 11519,47 | 31809,06 | 2872,15 | 28936,91 |
| 2021 | 31195,01 | 16142,16 | 47337,17 | 3042,08 | 44295,09 | 2021 | 22650,37 | 11915,06 | 34565,43 | 3042,08 | 31523,35 |
| 2022 | 53263,20 | 20070,51 | 73333,71 | 3780,31 | 69553,40 | 2022 | 47839,05 | 17660,81 | 65499,87 | 3780,31 | 61719,55 |
| 2023 | 38143,45 | 18972,41 | 57115,86 | 3762,51 | 53353,35 | 2023 | 42314,08 | 17354,89 | 59668,97 | 3762,51 | 55906,46 |

| Maize H3SVRA01 Unlimited | | | | | | Sorghum H3SVRA01 Unlimited | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 107,15 | 3118,07 | 3225,22 | 855,21 | 2370,01 | 1984 | 229,04 | 2173,69 | 2402,73 | 977,38 | 1425,35 |
| 1985 | 4211,76 | 4269,60 | 8481,36 | 985,93 | 7495,43 | 1985 | 2501,46 | 2969,41 | 5470,87 | 985,93 | 4484,94 |
| 1986 | 1961,28 | 3836,82 | 5798,10 | 997,89 | 4800,21 | 1986 | 5614,74 | 3582,91 | 9197,64 | 873,16 | 8324,49 |
| 1987 | 1673,20 | 3801,07 | 5474,27 | 991,06 | 4483,21 | 1987 | 1688,02 | 2617,91 | 4305,93 | 1114,94 | 3190,98 |
| 1988 | 4920,93 | 4372,22 | 9293,15 | 868,03 | 8425,12 | 1988 | 5730,05 | 3448,38 | 9178,43 | 744,03 | 8434,40 |
| 1989 | 7239,74 | 4534,02 | 11773,76 | 915,07 | 10858,69 | 1989 | 6223,37 | 3310,08 | 9533,44 | 915,07 | 8618,37 |
| 1990 | 13372,50 | 5296,52 | 18669,01 | 941,61 | 17727,40 | 1990 | 5640,65 | 3628,65 | 9269,30 | 941,61 | 8327,69 |
| 1991 | 6589,23 | 4957,90 | 11547,14 | 1098,61 | 10448,53 | 1991 | 5374,03 | 3319,63 | 8693,66 | 1098,61 | 7595,05 |
| 1992 | 19762,49 | 6473,66 | 26236,15 | 1261,23 | 24974,92 | 1992 | 19556,08 | 5386,95 | 24943,03 | 980,96 | 23962,07 |
| 1993 | 9731,58 | 6183,94 | 15915,51 | 1428,56 | 14486,96 | 1993 | 10000,28 | 5517,11 | 15517,40 | 1428,56 | 14088,84 |
| 1994 | 21068,87 | 8056,68 | 29125,54 | 1346,07 | 27779,48 | 1994 | 22084,55 | 6934,39 | 29018,94 | 1346,07 | 27672,87 |
| 1995 | 23740,97 | 8990,18 | 32731,15 | 1610,67 | 31120,48 | 1995 | 17879,90 | 6898,76 | 24778,67 | 1208,00 | 23570,67 |
| 1996 | 13328,99 | 7313,03 | 20642,03 | 1530,48 | 19111,55 | 1996 | 7005,57 | 5503,23 | 12508,80 | 1530,48 | 10978,32 |
| 1997 | 15093,68 | 9385,58 | 24479,26 | 2211,78 | 22267,48 | 1997 | 12450,19 | 7411,10 | 19861,29 | 2211,78 | 17649,51 |
| 1998 | 9533,25 | 8190,37 | 17723,62 | 1930,65 | 15792,98 | 1998 | 9883,63 | 7103,00 | 16986,64 | 1930,65 | 15055,99 |
| 1999 | 11884,66 | 9405,57 | 21290,23 | 1807,58 | 19482,65 | 1999 | 13759,28 | 7591,29 | 21350,57 | 1807,58 | 19542,99 |
| 2000 | 16524,91 | 8585,05 | 25109,96 | 1992,18 | 23117,78 | 2000 | 14993,19 | 8311,20 | 23304,39 | 1743,16 | 21561,23 |
| 2001 | 13743,39 | 8966,90 | 22710,29 | 2099,76 | 20610,53 | 2001 | 8817,93 | 6588,77 | 15406,69 | 1837,29 | 13569,40 |
| 2002 | 12497,86 | 10225,43 | 22723,29 | 2057,92 | 20665,37 | 2002 | 15738,17 | 9071,30 | 24809,48 | 1543,44 | 23266,03 |
| 2003 | 23399,53 | 13104,21 | 36503,73 | 2026,05 | 34477,68 | 2003 | 23669,99 | 11691,43 | 35361,41 | 1519,54 | 33841,88 |
| 2004 | 19038,74 | 11372,66 | 30411,40 | 2167,49 | 28243,91 | 2004 | 13079,68 | 8368,41 | 21448,09 | 1896,56 | 19551,53 |
| 2005 | 10805,31 | 10879,90 | 21685,21 | 2255,15 | 19430,06 | 2005 | 11873,59 | 9208,33 | 21081,92 | 1973,26 | 19108,66 |
| 2006 | 21701,22 | 13449,99 | 35151,21 | 2291,01 | 32860,20 | 2006 | 19486,24 | 10839,01 | 30325,25 | 2291,01 | 28034,24 |
| 2007 | 22304,26 | 12828,92 | 35133,17 | 2099,54 | 33033,63 | 2007 | 20868,38 | 10877,22 | 31745,61 | 2099,54 | 29646,06 |
| 2008 | 22452,31 | 13251,31 | 35703,62 | 2658,82 | 33044,79 | 2008 | 19365,41 | 11208,51 | 30573,92 | 2658,82 | 27915,10 |
| 2009 | 13147,14 | 13408,60 | 26555,75 | 2453,60 | 24102,14 | 2009 | 13122,43 | 10755,74 | 23878,17 | 2453,60 | 21424,56 |
| 2010 | 13584,94 | 11451,29 | 25036,23 | 2709,56 | 22326,67 | 2010 | 12310,83 | 9214,75 | 21525,58 | 2408,50 | 19117,08 |
| 2011 | 16616,78 | 12827,49 | 29444,27 | 2935,36 | 26508,91 | 2011 | 19560,80 | 11166,98 | 30727,78 | 1956,91 | 28770,87 |
| 2012 | 27690,18 | 15750,11 | 43440,29 | 2381,72 | 41058,57 | 2012 | 30057,76 | 13050,68 | 43108,44 | 2721,97 | 40386,48 |
| 2013 | 39576,88 | 14587,64 | 54164,52 | 2609,21 | 51555,31 | 2013 | 28800,95 | 12014,76 | 40815,71 | 2609,21 | 38206,50 |
| 2014 | 18649,02 | 12874,17 | 31523,19 | 2253,46 | 29269,73 | 2014 | 19287,35 | 10173,31 | 29460,66 | 1931,54 | 27529,12 |
| 2015 | 32317,67 | 13542,32 | 45859,98 | 2215,97 | 43644,01 | 2015 | 24053,49 | 12270,34 | 36323,83 | 2532,53 | 33791,30 |
| 2016 | 20154,21 | 13305,60 | 33459,81 | 2459,09 | 31000,72 | 2016 | 23354,26 | 11597,11 | 34951,37 | 2459,09 | 32492,28 |
| 2017 | 25738,43 | 14482,45 | 40220,88 | 2476,82 | 37744,06 | 2017 | 21462,35 | 11434,11 | 32896,45 | 2167,22 | 30729,24 |
| 2018 | 41738,25 | 16376,80 | 58115,05 | 2527,47 | 55587,58 | 2018 | 28972,80 | 14205,00 | 43177,80 | 1895,60 | 41282,20 |
| 2019 | 32462,74 | 17025,22 | 49487,96 | 2275,80 | 47212,16 | 2019 | 30493,19 | 13642,55 | 44135,74 | 2275,80 | 41859,94 |
| 2020 | 27258,83 | 14725,45 | 41984,28 | 2611,04 | 39373,24 | 2020 | 20279,84 | 11513,99 | 31793,83 | 2611,04 | 29182,79 |
| 2021 | 31191,81 | 16140,77 | 47332,58 | 2765,53 | 44567,06 | 2021 | 22629,32 | 11902,97 | 34532,29 | 2419,84 | 32112,45 |
| 2022 | 53289,19 | 20078,43 | 73367,62 | 3436,65 | 69930,97 | 2022 | 47753,85 | 17630,26 | 65384,11 | 3007,07 | 62377,05 |
| 2023 | 38248,03 | 19002,21 | 57250,24 | 3848,02 | 53402,22 | 2023 | 41397,89 | 17047,97 | 58445,86 | 2992,91 | 55452,96 |

| Maize O2LUKA01 LowN | | | | | | Sorghum O2LUKA01 LowN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 8459,20 | 4380,70 | 12839,90 | 488,69 | 12351,21 | 1984 | 227,88 | 2544,21 | 2772,09 | 488,69 | 2283,40 |
| 1985 | 11592,62 | 5369,29 | 16961,91 | 492,97 | 16468,94 | 1985 | 1895,71 | 3255,17 | 5150,88 | 492,97 | 4657,91 |
| 1986 | 9254,86 | 4675,45 | 13930,31 | 498,95 | 13431,37 | 1986 | 5935,00 | 3799,89 | 9734,89 | 498,95 | 9235,94 |
| 1987 | 8023,58 | 4830,17 | 12853,75 | 495,53 | 12358,22 | 1987 | 1679,36 | 3041,47 | 4720,83 | 495,53 | 4225,30 |
| 1988 | 12802,68 | 5391,41 | 18194,09 | 496,02 | 17698,08 | 1988 | 6900,72 | 4008,63 | 10909,36 | 496,02 | 10413,34 |
| 1989 | 15686,64 | 5604,14 | 21290,78 | 522,90 | 20767,88 | 1989 | 6048,07 | 3624,67 | 9672,74 | 522,90 | 9149,84 |
| 1990 | 13653,16 | 5385,22 | 19038,38 | 538,06 | 18500,32 | 1990 | 4967,90 | 3848,72 | 8816,62 | 538,06 | 8278,56 |
| 1991 | 13344,00 | 5630,75 | 18974,74 | 549,30 | 18425,44 | 1991 | 4273,51 | 3536,26 | 7809,77 | 549,30 | 7260,46 |
| 1992 | 26016,69 | 6653,86 | 32670,55 | 560,55 | 32110,00 | 1992 | 16187,29 | 5190,53 | 21377,83 | 560,55 | 20817,28 |
| 1993 | 21326,45 | 8013,06 | 29339,50 | 714,28 | 28625,23 | 1993 | 12362,61 | 6568,66 | 18931,26 | 714,28 | 18216,99 |
| 1994 | 8384,67 | 4620,36 | 13005,03 | 769,18 | 12235,85 | 1994 | 13897,76 | 4907,01 | 18804,78 | 769,18 | 18035,60 |
| 1995 | 33244,31 | 9815,65 | 43059,95 | 805,33 | 42254,62 | 1995 | 15257,46 | 7259,84 | 22517,29 | 805,33 | 21711,96 |
| 1996 | 26490,49 | 8757,74 | 35248,24 | 874,56 | 34373,68 | 1996 | 8173,66 | 6185,37 | 14359,03 | 874,56 | 13484,47 |
| 1997 | 21152,96 | 10634,74 | 31787,70 | 983,01 | 30804,69 | 1997 | 12587,11 | 8128,70 | 20715,81 | 983,01 | 19732,80 |
| 1998 | 23288,68 | 9899,86 | 33188,54 | 965,32 | 32223,22 | 1998 | 11749,47 | 7898,47 | 19647,94 | 965,32 | 18682,62 |
| 1999 | 20133,36 | 10370,51 | 30503,87 | 903,79 | 29600,08 | 1999 | 10378,54 | 7544,36 | 17922,90 | 903,79 | 17019,11 |
| 2000 | 25530,61 | 9919,02 | 35449,63 | 996,09 | 34453,54 | 2000 | 18975,96 | 9077,83 | 28053,80 | 996,09 | 27057,71 |
| 2001 | 25165,60 | 10597,90 | 35763,51 | 1049,88 | 34713,63 | 2001 | 12124,95 | 8179,52 | 20304,47 | 1049,88 | 19254,59 |
| 2002 | 26047,33 | 12628,76 | 38676,09 | 1028,96 | 37647,13 | 2002 | 18941,06 | 10339,10 | 29280,16 | 1028,96 | 28251,20 |
| 2003 | 25573,65 | 12619,92 | 38193,56 | 1013,02 | 37180,54 | 2003 | 18857,40 | 10619,14 | 29476,55 | 1013,02 | 28463,52 |
| 2004 | 23597,97 | 11837,56 | 35435,54 | 1083,75 | 34351,79 | 2004 | 11852,33 | 8946,63 | 20798,95 | 1083,75 | 19715,21 |
| 2005 | 17734,34 | 12706,48 | 30440,81 | 1127,57 | 29313,24 | 2005 | 11434,30 | 9999,89 | 21434,19 | 1127,57 | 20306,62 |
| 2006 | 33372,70 | 14151,82 | 47524,52 | 1145,50 | 46379,02 | 2006 | 14723,66 | 10610,84 | 25334,50 | 1145,50 | 24189,00 |
| 2007 | 33085,68 | 14283,81 | 47369,50 | 1199,74 | 46169,76 | 2007 | 25407,34 | 12451,39 | 37858,73 | 1199,74 | 36658,99 |
| 2008 | 35928,95 | 14763,33 | 50692,27 | 1329,41 | 49362,86 | 2008 | 24167,87 | 12503,78 | 36671,66 | 1329,41 | 35342,25 |
| 2009 | 25435,05 | 15132,78 | 40567,83 | 1226,80 | 39341,02 | 2009 | 15888,49 | 11843,35 | 27731,84 | 1226,80 | 26505,04 |
| 2010 | 23958,30 | 13417,36 | 37375,66 | 1204,25 | 36171,41 | 2010 | 11321,11 | 9701,47 | 21022,58 | 1204,25 | 19818,33 |
| 2011 | 32856,69 | 15233,83 | 48090,53 | 1304,60 | 46785,92 | 2011 | 24328,83 | 12432,84 | 36761,67 | 1304,60 | 35457,06 |
| 2012 | 36079,63 | 16000,22 | 52079,85 | 1360,98 | 50718,86 | 2012 | 30305,84 | 13029,94 | 43335,78 | 1360,98 | 41974,80 |
| 2013 | 43917,88 | 14872,40 | 58790,27 | 1304,60 | 57485,67 | 2013 | 23634,45 | 12200,49 | 35834,94 | 1304,60 | 34530,34 |
| 2014 | 27449,90 | 13781,63 | 41231,54 | 1287,69 | 39943,84 | 2014 | 17816,88 | 10563,91 | 28380,78 | 1287,69 | 27093,09 |
| 2015 | 39888,67 | 14679,72 | 54568,39 | 1266,27 | 53302,13 | 2015 | 20951,87 | 11830,07 | 32781,94 | 1266,27 | 31515,67 |
| 2016 | 26264,98 | 13801,67 | 40066,65 | 1229,54 | 38837,11 | 2016 | 18696,30 | 10703,46 | 29399,76 | 1229,54 | 28170,21 |
| 2017 | 36198,96 | 15482,25 | 51681,21 | 1238,41 | 50442,80 | 2017 | 21067,15 | 11604,85 | 32672,00 | 1238,41 | 31433,59 |
| 2018 | 40797,14 | 15625,30 | 56422,44 | 1263,73 | 55158,71 | 2018 | 26348,53 | 13285,08 | 39633,62 | 1263,73 | 38369,88 |
| 2019 | 41157,18 | 16862,75 | 58019,93 | 1300,46 | 56719,47 | 2019 | 22882,70 | 12612,93 | 35495,63 | 1300,46 | 34195,18 |
| 2020 | 29709,53 | 14709,56 | 44419,09 | 1305,52 | 43113,57 | 2020 | 18233,01 | 11908,15 | 30141,16 | 1305,52 | 28835,64 |
| 2021 | 44602,73 | 16431,15 | 61033,88 | 1382,76 | 59651,11 | 2021 | 25969,50 | 12865,34 | 38834,85 | 1382,76 | 37452,08 |
| 2022 | 71995,98 | 21469,03 | 93465,00 | 1718,32 | 91746,68 | 2022 | 43938,07 | 17909,19 | 61847,27 | 1718,32 | 60128,94 |
| 2023 | 47476,86 | 20013,08 | 67489,94 | 1710,23 | 65779,70 | 2023 | 32874,62 | 15675,54 | 48550,17 | 1710,23 | 46839,93 |

| Maize O2LUKA01 Normal | | | | | | Sorghum O2LUKA01 Normal | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 8482,68 | 4385,29 | 12867,97 | 1075,12 | 11792,85 | 1984 | 0,00 | 2523,68 | 2523,68 | 1075,12 | 1448,57 |
| 1985 | 11605,97 | 5373,60 | 16979,58 | 1084,53 | 15895,05 | 1985 | 0,00 | 3273,54 | 3273,54 | 1084,53 | 2189,02 |
| 1986 | 9351,35 | 4704,40 | 14055,74 | 1097,68 | 12958,06 | 1986 | 110,46 | 3818,16 | 3928,62 | 1097,68 | 2830,94 |
| 1987 | 8028,99 | 4832,31 | 12861,30 | 1090,17 | 11771,13 | 1987 | 0,00 | 3064,83 | 3064,83 | 1090,17 | 1974,66 |
| 1988 | 12826,36 | 5411,19 | 18237,55 | 1091,24 | 17146,31 | 1988 | 447,69 | 4016,34 | 4464,03 | 1091,24 | 3372,79 |
| 1989 | 15691,82 | 5615,29 | 21307,11 | 1150,37 | 20156,74 | 1989 | 62,54 | 3629,64 | 3692,18 | 1150,37 | 2541,81 |
| 1990 | 13662,67 | 5392,22 | 19054,89 | 1183,74 | 17871,16 | 1990 | 0,00 | 3868,21 | 3868,21 | 1183,74 | 2684,47 |
| 1991 | 13346,47 | 5631,72 | 18978,19 | 1208,47 | 17769,72 | 1991 | 0,00 | 3551,05 | 3551,05 | 1208,47 | 2342,58 |
| 1992 | 26171,50 | 7166,70 | 33338,20 | 1233,20 | 32105,00 | 1992 | 10080,62 | 5697,05 | 15777,67 | 1233,20 | 14544,47 |
| 1993 | 21476,59 | 8081,29 | 29557,87 | 1571,41 | 27986,46 | 1993 | 2459,21 | 6589,33 | 9048,54 | 1571,41 | 7477,13 |
| 1994 | 8617,29 | 4678,33 | 13295,63 | 1692,20 | 11603,42 | 1994 | 6051,24 | 5061,27 | 11112,52 | 1692,20 | 9420,31 |
| 1995 | 33267,57 | 10435,18 | 43702,75 | 1771,73 | 41931,02 | 1995 | 3634,18 | 7350,56 | 10984,74 | 1771,73 | 9213,00 |
| 1996 | 26711,60 | 8810,13 | 35521,73 | 1924,03 | 33597,70 | 1996 | 0,00 | 6174,10 | 6174,10 | 1924,03 | 4250,07 |
| 1997 | 21289,51 | 10756,33 | 32045,84 | 2162,63 | 29883,21 | 1997 | 1524,32 | 8213,42 | 9737,74 | 2162,63 | 7575,11 |
| 1998 | 23386,92 | 9943,37 | 33330,28 | 2123,71 | 31206,57 | 1998 | 1487,08 | 7940,38 | 9427,46 | 2123,71 | 7303,75 |
| 1999 | 20205,23 | 10427,58 | 30632,81 | 1988,34 | 28644,47 | 1999 | 1248,89 | 7615,80 | 8864,68 | 1988,34 | 6876,35 |
| 2000 | 26058,30 | 10127,02 | 36185,32 | 2191,40 | 33993,92 | 2000 | 10608,98 | 9569,86 | 20178,83 | 2191,40 | 17987,43 |
| 2001 | 25181,03 | 10659,36 | 35840,39 | 2309,74 | 33530,66 | 2001 | 628,89 | 8237,76 | 8866,65 | 2309,74 | 6556,91 |
| 2002 | 26292,84 | 12803,45 | 39096,28 | 2263,72 | 36832,57 | 2002 | 8084,90 | 11001,20 | 19086,09 | 2263,72 | 16822,38 |
| 2003 | 26046,63 | 13534,16 | 39580,79 | 2228,65 | 37352,14 | 2003 | 13957,86 | 12172,55 | 26130,40 | 2228,65 | 23901,75 |
| 2004 | 23693,45 | 11907,98 | 35601,43 | 2384,24 | 33217,19 | 2004 | 813,74 | 8957,83 | 9771,57 | 2384,24 | 7387,33 |
| 2005 | 17772,64 | 12755,23 | 30527,87 | 2480,66 | 28047,21 | 2005 | 3904,34 | 10291,76 | 14196,10 | 2480,66 | 11715,44 |
| 2006 | 33907,46 | 16294,75 | 50202,21 | 2520,11 | 47682,10 | 2006 | 13548,64 | 12669,59 | 26218,23 | 2520,11 | 23698,12 |
| 2007 | 33648,15 | 14609,89 | 48258,04 | 2639,43 | 45618,61 | 2007 | 11203,82 | 12541,75 | 23745,57 | 2639,43 | 21106,14 |
| 2008 | 36340,91 | 15087,58 | 51428,49 | 2924,70 | 48503,78 | 2008 | 8421,38 | 12827,01 | 21248,39 | 2924,70 | 18323,69 |
| 2009 | 25445,72 | 15344,02 | 40789,75 | 2698,96 | 38090,78 | 2009 | 7995,24 | 12534,27 | 20529,50 | 2698,96 | 17830,54 |
| 2010 | 24081,60 | 13531,82 | 37613,41 | 2649,35 | 34964,06 | 2010 | 915,30 | 9839,83 | 10755,13 | 2649,35 | 8105,78 |
| 2011 | 33219,99 | 15416,32 | 48636,31 | 2870,13 | 45766,19 | 2011 | 12900,61 | 12928,21 | 25828,82 | 2870,13 | 22958,69 |
| 2012 | 36512,22 | 16479,13 | 52991,35 | 2994,16 | 49997,19 | 2012 | 19670,11 | 14180,96 | 33851,07 | 2994,16 | 30856,91 |
| 2013 | 43999,31 | 15208,71 | 59208,02 | 2870,13 | 56337,89 | 2013 | 5438,98 | 12262,37 | 17701,36 | 2870,13 | 14831,23 |
| 2014 | 27770,65 | 13885,61 | 41656,26 | 2832,92 | 38823,34 | 2014 | 5753,93 | 10673,97 | 16427,91 | 2832,92 | 13594,99 |
| 2015 | 40043,37 | 15391,30 | 55434,67 | 2785,79 | 52648,88 | 2015 | 14162,00 | 12727,07 | 26889,07 | 2785,79 | 24103,28 |
| 2016 | 26713,11 | 13997,55 | 40710,66 | 2705,00 | 38005,66 | 2016 | 11130,77 | 12348,33 | 23479,09 | 2705,00 | 20774,09 |
| 2017 | 36494,36 | 16230,11 | 52724,47 | 2724,50 | 49999,97 | 2017 | 11397,31 | 12104,20 | 23501,51 | 2724,50 | 20777,01 |
| 2018 | 41625,75 | 17374,13 | 58999,88 | 2780,22 | 56219,67 | 2018 | 30579,87 | 16784,40 | 47364,27 | 2780,22 | 44584,05 |
| 2019 | 41790,62 | 18604,79 | 60395,41 | 2861,00 | 57534,41 | 2019 | 21501,83 | 14886,26 | 36388,09 | 2861,00 | 33527,09 |
| 2020 | 29800,97 | 14807,66 | 44608,63 | 2872,15 | 41736,48 | 2020 | 5621,46 | 12058,53 | 17679,99 | 2872,15 | 14807,85 |
| 2021 | 44917,87 | 17153,54 | 62071,41 | 3042,08 | 59029,33 | 2021 | 9634,70 | 13560,78 | 23195,48 | 3042,08 | 20153,40 |
| 2022 | 72787,76 | 22606,17 | 95393,93 | 3780,31 | 91613,62 | 2022 | 28943,94 | 18564,81 | 47508,75 | 3780,31 | 43728,43 |
| 2023 | 49095,39 | 21531,79 | 70627,19 | 3762,51 | 66864,68 | 2023 | 35517,02 | 19269,33 | 54786,35 | 3762,51 | 51023,83 |

| Maize O2LUKA01 Unlimited | | | | | | Sorghum O2LUKA01 Unlimited | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 8464,62 | 4381,83 | 12846,45 | 977,38 | 11869,07 | 1984 | 0,00 | 2550,99 | 2550,99 | 1588,24 | 962,75 |
| 1985 | 11595,41 | 5371,04 | 16966,45 | 862,69 | 16103,76 | 1985 | 0,00 | 3119,00 | 3119,00 | 1478,90 | 1640,10 |
| 1986 | 9357,74 | 4706,34 | 14064,08 | 1122,63 | 12941,45 | 1986 | 0,00 | 3439,13 | 3439,13 | 1247,37 | 2191,77 |
| 1987 | 8029,79 | 4832,16 | 12861,95 | 867,18 | 11994,77 | 1987 | 0,00 | 2624,67 | 2624,67 | 1238,83 | 1385,84 |
| 1988 | 12829,57 | 5412,24 | 18241,82 | 868,03 | 17373,78 | 1988 | 0,00 | 3886,13 | 3886,13 | 1240,05 | 2646,08 |
| 1989 | 15693,79 | 5615,54 | 21309,33 | 915,07 | 20394,26 | 1989 | 0,00 | 3593,47 | 3593,47 | 1045,79 | 2547,68 |
| 1990 | 13672,44 | 5394,19 | 19066,63 | 1076,12 | 17990,50 | 1990 | 0,00 | 3921,48 | 3921,48 | 1479,67 | 2441,81 |
| 1991 | 13344,55 | 5631,04 | 18975,59 | 961,28 | 18014,30 | 1991 | 0,00 | 3735,36 | 3735,36 | 1373,26 | 2362,10 |
| 1992 | 26176,35 | 7163,85 | 33340,20 | 1121,09 | 32219,11 | 1992 | 9780,91 | 5684,96 | 15465,88 | 1541,50 | 13924,37 |
| 1993 | 21480,92 | 8082,81 | 29563,72 | 1249,99 | 28313,74 | 1993 | 1425,00 | 6372,75 | 7797,76 | 1964,26 | 5833,49 |
| 1994 | 8617,92 | 4678,88 | 13296,80 | 1538,36 | 11758,44 | 1994 | 8190,41 | 7231,69 | 15422,09 | 2307,55 | 13114,55 |
| 1995 | 33274,46 | 10436,32 | 43710,78 | 1610,67 | 42100,11 | 1995 | 272,44 | 6626,75 | 6899,18 | 2214,67 | 4684,52 |
| 1996 | 26724,45 | 8813,23 | 35537,68 | 1749,12 | 33788,56 | 1996 | 0,00 | 5452,34 | 5452,34 | 2842,32 | 2610,02 |
| 1997 | 21291,30 | 10757,32 | 32048,62 | 2211,78 | 29836,83 | 1997 | 0,00 | 7310,12 | 7310,12 | 2703,29 | 4606,83 |
| 1998 | 23386,60 | 9943,71 | 33330,31 | 1689,32 | 31640,99 | 1998 | 0,00 | 7679,05 | 7679,05 | 2413,31 | 5265,74 |
| 1999 | 20212,79 | 10430,78 | 30643,58 | 1807,58 | 28836,00 | 1999 | 24,58 | 7734,10 | 7758,68 | 2259,47 | 5499,21 |
| 2000 | 26099,24 | 10137,84 | 36237,09 | 1992,18 | 34244,90 | 2000 | 9203,45 | 9480,13 | 18683,58 | 2739,25 | 15944,33 |
| 2001 | 25181,03 | 10659,61 | 35840,64 | 2099,76 | 33740,88 | 2001 | 0,00 | 7404,24 | 7404,24 | 2887,17 | 4517,07 |
| 2002 | 26326,90 | 12816,33 | 39143,23 | 2057,92 | 37085,31 | 2002 | 8466,90 | 10025,58 | 18492,48 | 2572,40 | 15920,07 |
| 2003 | 26098,24 | 13548,82 | 39647,06 | 2026,05 | 37621,01 | 2003 | 15717,97 | 11488,39 | 27206,36 | 2532,56 | 24673,80 |
| 2004 | 23704,40 | 11911,63 | 35616,03 | 2167,49 | 33448,54 | 2004 | 0,00 | 8287,75 | 8287,75 | 2709,37 | 5578,38 |
| 2005 | 17772,64 | 12755,50 | 30528,14 | 1973,26 | 28554,88 | 2005 | 86,04 | 9237,03 | 9323,08 | 3100,83 | 6222,25 |
| 2006 | 33900,08 | 16281,56 | 50181,64 | 2291,01 | 47890,63 | 2006 | 4975,16 | 10610,43 | 15585,60 | 3722,89 | 11862,71 |
| 2007 | 33676,16 | 14622,57 | 48298,73 | 2099,54 | 46199,19 | 2007 | 15754,35 | 12882,21 | 28636,56 | 2999,35 | 25637,21 |
| 2008 | 36360,30 | 15092,53 | 51452,82 | 2326,47 | 49126,36 | 2008 | 8257,97 | 12335,96 | 20593,94 | 3655,88 | 16938,06 |
| 2009 | 25457,18 | 15350,18 | 40807,36 | 2453,60 | 38353,76 | 2009 | 6049,79 | 12316,43 | 18366,22 | 3373,70 | 14992,52 |
| 2010 | 24144,77 | 13553,09 | 37697,86 | 2709,56 | 34988,30 | 2010 | 0,00 | 8739,98 | 8739,98 | 3311,69 | 5428,30 |
| 2011 | 33233,56 | 15421,10 | 48654,66 | 2609,21 | 46045,45 | 2011 | 9264,60 | 12668,81 | 21933,41 | 3587,66 | 18345,75 |
| 2012 | 36527,14 | 16483,47 | 53010,61 | 2381,72 | 50628,89 | 2012 | 22771,71 | 14622,00 | 37393,71 | 3062,21 | 34331,50 |
| 2013 | 44013,43 | 15213,10 | 59226,53 | 2935,36 | 56291,17 | 2013 | 2761,97 | 11556,38 | 14318,35 | 3587,66 | 10730,69 |
| 2014 | 27789,63 | 13891,55 | 41681,18 | 2897,30 | 38783,87 | 2014 | 9447,38 | 11255,42 | 20702,80 | 2897,30 | 17805,50 |
| 2015 | 40081,70 | 15381,65 | 55463,34 | 2532,53 | 52930,81 | 2015 | 18273,86 | 12668,43 | 30942,29 | 3165,67 | 27776,62 |
| 2016 | 26729,43 | 14005,83 | 40735,27 | 2459,09 | 38276,18 | 2016 | 8550,28 | 12077,49 | 20627,77 | 3073,86 | 17553,91 |
| 2017 | 36513,32 | 16208,89 | 52722,22 | 2476,82 | 50245,40 | 2017 | 15584,30 | 12307,42 | 27891,72 | 3096,02 | 24795,70 |
| 2018 | 41549,50 | 17007,00 | 58556,51 | 2211,53 | 56344,97 | 2018 | 29909,63 | 16091,19 | 46000,82 | 2843,40 | 43157,42 |
| 2019 | 41818,45 | 18606,78 | 60425,23 | 2600,91 | 57824,32 | 2019 | 22061,28 | 14265,40 | 36326,68 | 2926,03 | 33400,65 |
| 2020 | 29806,77 | 14810,20 | 44616,98 | 2611,04 | 42005,94 | 2020 | 3032,97 | 11423,68 | 14456,66 | 3590,18 | 10866,47 |
| 2021 | 44934,77 | 17152,48 | 62087,25 | 2419,84 | 59667,41 | 2021 | 7055,69 | 12399,51 | 19455,20 | 3111,22 | 16343,98 |
| 2022 | 72945,61 | 22644,74 | 95590,35 | 3436,65 | 92153,70 | 2022 | 33609,90 | 18901,70 | 52511,60 | 3866,23 | 48645,37 |
| 2023 | 49481,96 | 21649,19 | 71131,15 | 3420,46 | 67710,68 | 2023 | 36129,39 | 18534,06 | 54663,45 | 4703,14 | 49960,31 |

| Maize P1PKAR01 LowN | | | | | | Sorghum P1PKAR01 LowN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 11978,28 | 5341,79 | 17320,07 | 488,69 | 16831,38 | 1984 | 208,81 | 2800,06 | 3008,87 | 488,69 | 2520,18 |
| 1985 | 18752,97 | 6096,54 | 24849,51 | 492,97 | 24356,55 | 1985 | 2063,56 | 3580,09 | 5643,65 | 492,97 | 5150,69 |
| 1986 | 17808,35 | 6087,94 | 23896,29 | 498,95 | 23397,34 | 1986 | 1674,18 | 3424,96 | 5099,14 | 498,95 | 4600,19 |
| 1987 | 14188,42 | 5650,22 | 19838,64 | 495,53 | 19343,11 | 1987 | 2669,17 | 3353,04 | 6022,20 | 495,53 | 5526,67 |
| 1988 | 18625,20 | 6126,62 | 24751,82 | 496,02 | 24255,80 | 1988 | 3836,60 | 3669,54 | 7506,14 | 496,02 | 7010,12 |
| 1989 | 19904,53 | 6261,35 | 26165,89 | 522,90 | 25642,99 | 1989 | 6371,19 | 3942,23 | 10313,42 | 522,90 | 9790,52 |
| 1990 | 27406,22 | 6822,65 | 34228,87 | 538,06 | 33690,81 | 1990 | 5107,06 | 4010,31 | 9117,37 | 538,06 | 8579,31 |
| 1991 | 21164,84 | 6153,91 | 27318,75 | 549,30 | 26769,45 | 1991 | 5332,05 | 4085,31 | 9417,37 | 549,30 | 8868,06 |
| 1992 | 29531,82 | 7271,86 | 36803,69 | 560,55 | 36243,14 | 1992 | 14025,83 | 5314,50 | 19340,34 | 560,55 | 18779,79 |
| 1993 | 29855,97 | 9453,29 | 39309,26 | 714,28 | 38594,98 | 1993 | 3600,99 | 5432,73 | 9033,72 | 714,28 | 8319,44 |
| 1994 | 33957,66 | 9677,54 | 43635,20 | 769,18 | 42866,02 | 1994 | 11924,20 | 6458,31 | 18382,51 | 769,18 | 17613,33 |
| 1995 | 37243,90 | 9870,16 | 47114,07 | 805,33 | 46308,73 | 1995 | 9781,33 | 6558,62 | 16339,95 | 805,33 | 15534,62 |
| 1996 | 35915,75 | 10190,42 | 46106,16 | 874,56 | 45231,60 | 1996 | 2097,97 | 5558,82 | 7656,79 | 874,56 | 6782,23 |
| 1997 | 30782,18 | 12072,68 | 42854,85 | 983,01 | 41871,84 | 1997 | 7972,98 | 7787,67 | 15760,65 | 983,01 | 14777,63 |
| 1998 | 25917,34 | 11312,49 | 37229,83 | 965,32 | 36264,51 | 1998 | 4048,07 | 6798,04 | 10846,11 | 965,32 | 9880,79 |
| 1999 | 30777,61 | 11348,52 | 42126,13 | 903,79 | 41222,34 | 1999 | 10920,44 | 8076,16 | 18996,60 | 903,79 | 18092,81 |
| 2000 | 24392,30 | 12452,33 | 36844,63 | 996,09 | 35848,54 | 2000 | 10179,66 | 7590,17 | 17769,83 | 996,09 | 16773,74 |
| 2001 | 33310,18 | 13158,37 | 46468,55 | 1049,88 | 45418,67 | 2001 | 10294,07 | 8090,34 | 18384,41 | 1049,88 | 17334,53 |
| 2002 | 29122,02 | 12978,86 | 42100,88 | 1028,96 | 41071,92 | 2002 | 12556,14 | 8988,46 | 21544,60 | 1028,96 | 20515,64 |
| 2003 | 29725,07 | 13518,54 | 43243,61 | 1013,02 | 42230,59 | 2003 | 15351,67 | 10198,64 | 25550,31 | 1013,02 | 24537,29 |
| 2004 | 36276,77 | 14278,58 | 50555,36 | 1083,75 | 49471,61 | 2004 | 11804,04 | 9108,08 | 20912,12 | 1083,75 | 19828,37 |
| 2005 | 24285,45 | 14109,82 | 38395,27 | 1127,57 | 37267,69 | 2005 | 10017,40 | 9949,20 | 19966,60 | 1127,57 | 18839,02 |
| 2006 | 30782,29 | 14183,42 | 44965,71 | 1145,50 | 43820,21 | 2006 | 13564,91 | 10550,75 | 24115,66 | 1145,50 | 22970,16 |
| 2007 | 40355,77 | 15543,10 | 55898,87 | 1199,74 | 54699,13 | 2007 | 13790,89 | 10729,96 | 24520,85 | 1199,74 | 23321,11 |
| 2008 | 38413,64 | 16153,78 | 54567,42 | 1329,41 | 53238,01 | 2008 | 20642,45 | 12007,00 | 32649,46 | 1329,41 | 31320,04 |
| 2009 | 26933,51 | 15074,51 | 42008,02 | 1226,80 | 40781,22 | 2009 | 11995,36 | 11017,28 | 23012,63 | 1226,80 | 21785,83 |
| 2010 | 28807,58 | 14821,67 | 43629,24 | 1204,25 | 42424,99 | 2010 | 11379,71 | 10237,77 | 21617,48 | 1204,25 | 20413,23 |
| 2011 | 40620,36 | 17412,37 | 58032,73 | 1304,60 | 56728,12 | 2011 | 24493,55 | 12808,14 | 37301,69 | 1304,60 | 35997,09 |
| 2012 | 45589,61 | 17169,08 | 62758,68 | 1360,98 | 61397,70 | 2012 | 23923,22 | 13069,50 | 36992,72 | 1360,98 | 35631,74 |
| 2013 | 55661,44 | 16529,29 | 72190,73 | 1304,60 | 70886,13 | 2013 | 19863,41 | 12314,31 | 32177,72 | 1304,60 | 30873,12 |
| 2014 | 40747,13 | 15899,22 | 56646,35 | 1287,69 | 55358,66 | 2014 | 15987,24 | 10881,86 | 26869,10 | 1287,69 | 25581,41 |
| 2015 | 37275,58 | 16291,59 | 53567,17 | 1266,27 | 52300,90 | 2015 | 17659,88 | 11858,19 | 29518,08 | 1266,27 | 28251,81 |
| 2016 | 35793,82 | 15040,24 | 50834,06 | 1229,54 | 49604,52 | 2016 | 18435,05 | 11631,53 | 30066,58 | 1229,54 | 28837,03 |
| 2017 | 36455,37 | 16067,71 | 52523,07 | 1238,41 | 51284,67 | 2017 | 18589,08 | 11957,82 | 30546,90 | 1238,41 | 29308,49 |
| 2018 | 41597,34 | 16927,65 | 58524,99 | 1263,73 | 57261,26 | 2018 | 20349,39 | 12716,32 | 33065,71 | 1263,73 | 31801,97 |
| 2019 | 42756,04 | 16288,90 | 59044,94 | 1300,46 | 57744,49 | 2019 | 20801,52 | 12945,87 | 33747,39 | 1300,46 | 32446,94 |
| 2020 | 38532,98 | 16907,76 | 55440,74 | 1305,52 | 54135,22 | 2020 | 17215,87 | 12258,96 | 29474,83 | 1305,52 | 28169,30 |
| 2021 | 48226,87 | 17224,12 | 65450,98 | 1382,76 | 64068,22 | 2021 | 21273,61 | 13172,55 | 34446,15 | 1382,76 | 33063,39 |
| 2022 | 68854,83 | 22059,27 | 90914,10 | 1718,32 | 89195,77 | 2022 | 30784,89 | 16903,39 | 47688,28 | 1718,32 | 45969,96 |
| 2023 | 58373,50 | 21839,82 | 80213,32 | 1710,23 | 78503,09 | 2023 | 25505,14 | 15635,43 | 41140,57 | 1710,23 | 39430,34 |

| Maize P1PKAR01 Normal | | | | | | Sorghum P1PKAR01 Normal | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 11475,64 | 4573,65 | 16049,29 | 1075,12 | 14974,18 | 1984 | 0,00 | 2376,81 | 2376,81 | 1075,12 | 1301,69 |
| 1985 | 15792,62 | 5736,61 | 21529,23 | 1084,53 | 20444,71 | 1985 | 0,00 | 3068,36 | 3068,36 | 1084,53 | 1983,84 |
| 1986 | 15630,12 | 5479,16 | 21109,29 | 1097,68 | 20011,61 | 1986 | 0,00 | 2796,35 | 2796,35 | 1097,68 | 1698,67 |
| 1987 | 7550,33 | 4371,63 | 11921,96 | 1090,17 | 10831,79 | 1987 | 0,00 | 2233,78 | 2233,78 | 1090,17 | 1143,61 |
| 1988 | 16607,11 | 6012,79 | 22619,89 | 1091,24 | 21528,65 | 1988 | 0,00 | 3266,86 | 3266,86 | 1091,24 | 2175,62 |
| 1989 | 19108,48 | 6080,35 | 25188,83 | 1150,37 | 24038,45 | 1989 | 1173,09 | 3865,97 | 5039,06 | 1150,37 | 3888,68 |
| 1990 | 25267,06 | 6861,40 | 32128,46 | 1183,74 | 30944,72 | 1990 | 2123,78 | 4269,03 | 6392,81 | 1183,74 | 5209,07 |
| 1991 | 19813,89 | 6101,70 | 25915,59 | 1208,47 | 24707,12 | 1991 | 0,00 | 3844,38 | 3844,38 | 1208,47 | 2635,92 |
| 1992 | 31651,91 | 8270,46 | 39922,37 | 1233,20 | 38689,17 | 1992 | 10908,86 | 5665,96 | 16574,82 | 1233,20 | 15341,61 |
| 1993 | 24007,92 | 8859,33 | 32867,25 | 1571,41 | 31295,84 | 1993 | 0,00 | 5055,48 | 5055,48 | 1571,41 | 3484,07 |
| 1994 | 36724,54 | 10883,97 | 47608,51 | 1692,20 | 45916,31 | 1994 | 6464,33 | 6556,86 | 13021,19 | 1692,20 | 11328,99 |
| 1995 | 35974,06 | 9943,19 | 45917,25 | 1771,73 | 44145,51 | 1995 | 648,38 | 6271,95 | 6920,33 | 1771,73 | 5148,60 |
| 1996 | 30734,98 | 9163,59 | 39898,58 | 1924,03 | 37974,54 | 1996 | 0,00 | 5016,01 | 5016,01 | 1924,03 | 3091,98 |
| 1997 | 0,00 | 231,11 | 231,11 | 1277,92 | -1046,81 | 1997 | 93,00 | 7494,95 | 7587,94 | 2162,63 | 5425,31 |
| 1998 | 24647,65 | 10821,41 | 35469,06 | 2123,71 | 33345,34 | 1998 | 0,00 | 6903,19 | 6903,19 | 2123,71 | 4779,48 |
| 1999 | 30834,64 | 12133,06 | 42967,70 | 1988,34 | 40979,36 | 1999 | 3496,66 | 7874,67 | 11371,34 | 1988,34 | 9383,00 |
| 2000 | 22425,72 | 11281,94 | 33707,65 | 2191,40 | 31516,25 | 2000 | 3446,97 | 7463,20 | 10910,16 | 2191,40 | 8718,76 |
| 2001 | 30971,42 | 12109,21 | 43080,63 | 2309,74 | 40770,90 | 2001 | 1216,11 | 7278,22 | 8494,33 | 2309,74 | 6184,59 |
| 2002 | 27296,59 | 12954,37 | 40250,96 | 2263,72 | 37987,24 | 2002 | 5600,62 | 8638,29 | 14238,91 | 2263,72 | 11975,19 |
| 2003 | 28851,30 | 14063,51 | 42914,81 | 2228,65 | 40686,16 | 2003 | 15428,09 | 10573,61 | 26001,70 | 2228,65 | 23773,04 |
| 2004 | 34163,98 | 14339,72 | 48503,70 | 2384,24 | 46119,46 | 2004 | 3114,37 | 8488,64 | 11603,00 | 2384,24 | 9218,76 |
| 2005 | 22430,81 | 13944,44 | 36375,25 | 2480,66 | 33894,58 | 2005 | 2954,43 | 9448,05 | 12402,47 | 2480,66 | 9921,81 |
| 2006 | 32087,47 | 16182,36 | 48269,83 | 2520,11 | 45749,72 | 2006 | 9003,90 | 10353,44 | 19357,34 | 2520,11 | 16837,23 |
| 2007 | 38161,13 | 15726,16 | 53887,29 | 2639,43 | 51247,86 | 2007 | 12517,15 | 11221,37 | 23738,52 | 2639,43 | 21099,09 |
| 2008 | 41403,37 | 17160,46 | 58563,83 | 2924,70 | 55639,13 | 2008 | 7122,41 | 10930,36 | 18052,77 | 2924,70 | 15128,06 |
| 2009 | 25099,68 | 15976,39 | 41076,07 | 2698,96 | 38377,11 | 2009 | 3530,69 | 10621,45 | 14152,15 | 2698,96 | 11453,18 |
| 2010 | 29657,86 | 14577,03 | 44234,89 | 2649,35 | 41585,54 | 2010 | 0,00 | 8323,69 | 8323,69 | 2649,35 | 5674,34 |
| 2011 | 38520,66 | 17612,28 | 56132,94 | 2870,13 | 53262,81 | 2011 | 10614,29 | 11919,13 | 22533,42 | 2870,13 | 19663,29 |
| 2012 | 45340,40 | 18587,33 | 63927,73 | 2994,16 | 60933,57 | 2012 | 13401,64 | 12526,59 | 25928,23 | 2994,16 | 22934,06 |
| 2013 | 52127,26 | 16513,26 | 68640,52 | 2870,13 | 65770,39 | 2013 | 854,08 | 10352,33 | 11206,40 | 2870,13 | 8336,27 |
| 2014 | 40283,22 | 16961,32 | 57244,54 | 2832,92 | 54411,62 | 2014 | 10067,01 | 10814,16 | 20881,17 | 2832,92 | 18048,25 |
| 2015 | 37240,42 | 16987,08 | 54227,50 | 2785,79 | 51441,71 | 2015 | 12946,53 | 11572,23 | 24518,76 | 2785,79 | 21732,98 |
| 2016 | 34899,75 | 15594,05 | 50493,80 | 2705,00 | 47788,81 | 2016 | 12229,07 | 11484,67 | 23713,75 | 2705,00 | 21008,75 |
| 2017 | 33754,27 | 16219,94 | 49974,21 | 2724,50 | 47249,71 | 2017 | 15272,73 | 11792,05 | 27064,78 | 2724,50 | 24340,28 |
| 2018 | 40121,40 | 18260,83 | 58382,23 | 2780,22 | 55602,02 | 2018 | 26110,29 | 14046,00 | 40156,29 | 2780,22 | 37376,07 |
| 2019 | 41293,63 | 18151,70 | 59445,33 | 2861,00 | 56584,33 | 2019 | 22335,33 | 13693,86 | 36029,19 | 2861,00 | 33168,19 |
| 2020 | 35792,01 | 17358,21 | 53150,21 | 2872,15 | 50278,07 | 2020 | 9422,17 | 11426,15 | 20848,32 | 2872,15 | 17976,18 |
| 2021 | 41670,53 | 16857,53 | 58528,06 | 3042,08 | 55485,98 | 2021 | 5490,83 | 11451,76 | 16942,59 | 3042,08 | 13900,51 |
| 2022 | 67720,72 | 24336,50 | 92057,22 | 3780,31 | 88276,91 | 2022 | 31105,61 | 17192,27 | 48297,88 | 3780,31 | 44517,57 |
| 2023 | 59299,94 | 23370,56 | 82670,51 | 3762,51 | 78907,99 | 2023 | 34456,28 | 17513,20 | 51969,47 | 3762,51 | 48206,96 |

| Maize P1PKAR01 Unlimited | | | | | | Sorghum P1PKAR01 Unlimited | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 12161,08 | 5400,97 | 17562,05 | 977,38 | 16584,67 | 1984 | 1994,86 | 2836,32 | 4831,18 | 977,38 | 3853,80 |
| 1985 | 18846,68 | 6597,84 | 25444,52 | 985,93 | 24458,59 | 1985 | 6164,08 | 3701,61 | 9865,69 | 985,93 | 8879,76 |
| 1986 | 17939,79 | 6639,95 | 24579,74 | 1122,63 | 23457,11 | 1986 | 6201,18 | 3706,69 | 9907,87 | 997,89 | 8909,98 |
| 1987 | 14267,36 | 5752,87 | 20020,24 | 991,06 | 19029,18 | 1987 | 968,84 | 2712,16 | 3681,00 | 1114,94 | 2566,06 |
| 1988 | 18798,98 | 6575,39 | 25374,37 | 1116,04 | 24258,32 | 1988 | 7552,81 | 3993,22 | 11546,03 | 992,04 | 10553,99 |
| 1989 | 20754,13 | 6691,78 | 27445,91 | 1176,52 | 26269,39 | 1989 | 10837,77 | 4193,66 | 15031,43 | 1045,79 | 13985,64 |
| 1990 | 27549,18 | 7578,89 | 35128,07 | 1210,64 | 33917,43 | 1990 | 11987,94 | 4529,22 | 16517,16 | 1210,64 | 15306,52 |
| 1991 | 21314,70 | 6542,99 | 27857,70 | 1098,61 | 26759,09 | 1991 | 9188,75 | 4082,03 | 13270,78 | 1098,61 | 12172,17 |
| 1992 | 30671,13 | 8590,59 | 39261,72 | 1261,23 | 38000,49 | 1992 | 22362,39 | 6076,48 | 28438,87 | 980,96 | 27457,92 |
| 1993 | 30072,36 | 10446,39 | 40518,75 | 1607,13 | 38911,62 | 1993 | 15732,99 | 6754,01 | 22487,00 | 1428,56 | 21058,44 |
| 1994 | 34209,17 | 11011,87 | 45221,04 | 1538,36 | 43682,68 | 1994 | 22502,77 | 7598,18 | 30100,95 | 1538,36 | 28562,58 |
| 1995 | 37661,39 | 11144,24 | 48805,63 | 1812,00 | 46993,63 | 1995 | 18075,27 | 7237,14 | 25312,41 | 1812,00 | 23500,41 |
| 1996 | 36144,83 | 10443,51 | 46588,34 | 1967,76 | 44620,58 | 1996 | 6810,32 | 5931,86 | 12742,19 | 1749,12 | 10993,07 |
| 1997 | 30979,14 | 12905,14 | 43884,27 | 2211,78 | 41672,49 | 1997 | 15350,92 | 8437,04 | 23787,97 | 1966,03 | 21821,94 |
| 1998 | 26129,81 | 11765,94 | 37895,75 | 2171,98 | 35723,77 | 1998 | 15247,98 | 8558,06 | 23806,04 | 1930,65 | 21875,39 |
| 1999 | 31023,77 | 12739,23 | 43763,00 | 1807,58 | 41955,42 | 1999 | 19197,30 | 8929,99 | 28127,29 | 1807,58 | 26319,71 |
| 2000 | 25729,72 | 13200,72 | 38930,44 | 2241,20 | 36689,24 | 2000 | 21291,19 | 9949,26 | 31240,45 | 1992,18 | 29248,26 |
| 2001 | 33766,88 | 14072,88 | 47839,76 | 2099,76 | 45740,00 | 2001 | 16943,59 | 8323,53 | 25267,12 | 2099,76 | 23167,36 |
| 2002 | 30090,24 | 15002,24 | 45092,48 | 2315,16 | 42777,31 | 2002 | 21300,17 | 10154,26 | 31454,43 | 1800,68 | 29653,74 |
| 2003 | 30739,66 | 15839,70 | 46579,36 | 2279,31 | 44300,05 | 2003 | 23007,47 | 11531,65 | 34539,13 | 1772,79 | 32766,33 |
| 2004 | 36799,67 | 15961,82 | 52761,48 | 2438,43 | 50323,05 | 2004 | 20084,04 | 9925,91 | 30009,96 | 1896,56 | 28113,40 |
| 2005 | 24926,38 | 15987,75 | 40914,13 | 2537,04 | 38377,09 | 2005 | 15344,78 | 10872,24 | 26217,02 | 2537,04 | 23679,98 |
| 2006 | 34171,29 | 17498,47 | 51669,76 | 2863,76 | 48805,99 | 2006 | 19122,99 | 11339,13 | 30462,13 | 2291,01 | 28171,12 |
| 2007 | 41051,66 | 17614,57 | 58666,22 | 2699,41 | 55966,81 | 2007 | 30737,96 | 12736,57 | 43474,53 | 2099,54 | 41374,99 |
| 2008 | 39855,50 | 18122,92 | 57978,42 | 2991,17 | 54987,25 | 2008 | 29518,88 | 12914,18 | 42433,07 | 2658,82 | 39774,24 |
| 2009 | 27656,83 | 17408,59 | 45065,42 | 2760,30 | 42305,12 | 2009 | 17052,06 | 12173,23 | 29225,29 | 2146,90 | 27078,38 |
| 2010 | 29057,23 | 16335,03 | 45392,26 | 3010,63 | 42381,63 | 2010 | 12943,10 | 9635,74 | 22578,84 | 2709,56 | 19869,28 |
| 2011 | 42977,86 | 19861,33 | 62839,19 | 2935,36 | 59903,83 | 2011 | 27366,46 | 13289,57 | 40656,03 | 2609,21 | 38046,82 |
| 2012 | 47202,83 | 19874,29 | 67077,12 | 3062,21 | 64014,90 | 2012 | 34765,33 | 14879,35 | 49644,68 | 3062,21 | 46582,47 |
| 2013 | 56717,74 | 19483,33 | 76201,07 | 3261,51 | 72939,56 | 2013 | 25456,49 | 11958,28 | 37414,76 | 3261,51 | 34153,25 |
| 2014 | 41621,17 | 18370,44 | 59991,61 | 3219,23 | 56772,38 | 2014 | 25651,03 | 12088,26 | 37739,29 | 2253,46 | 35485,83 |
| 2015 | 39146,09 | 19564,99 | 58711,08 | 2849,10 | 55861,98 | 2015 | 24430,52 | 13081,32 | 37511,84 | 2215,97 | 35295,87 |
| 2016 | 36588,10 | 17301,46 | 53889,56 | 2766,48 | 51123,08 | 2016 | 28046,71 | 12702,04 | 40748,75 | 2151,70 | 38597,05 |
| 2017 | 37646,10 | 18515,74 | 56161,85 | 3096,02 | 53065,82 | 2017 | 26348,69 | 12513,43 | 38862,11 | 2476,82 | 36385,30 |
| 2018 | 43207,46 | 20110,37 | 63317,83 | 2527,47 | 60790,36 | 2018 | 31054,57 | 14859,09 | 45913,65 | 2211,53 | 43702,12 |
| 2019 | 44549,66 | 19657,98 | 64207,64 | 2926,03 | 61281,61 | 2019 | 30591,98 | 14182,43 | 44774,42 | 2600,91 | 42173,50 |
| 2020 | 39653,47 | 19705,63 | 59359,09 | 2611,04 | 56748,05 | 2020 | 26256,96 | 13118,29 | 39375,25 | 2284,66 | 37090,59 |
| 2021 | 49252,68 | 19850,34 | 69103,02 | 3456,91 | 65646,11 | 2021 | 25283,31 | 12281,07 | 37564,39 | 2765,53 | 34798,86 |
| 2022 | 72797,90 | 26250,05 | 99047,95 | 4295,81 | 94752,14 | 2022 | 52868,95 | 19198,39 | 72067,34 | 3436,65 | 68630,69 |
| 2023 | 62473,50 | 26791,90 | 89265,40 | 4275,58 | 84989,81 | 2023 | 42672,57 | 17344,48 | 60017,05 | 3420,46 | 56596,59 |

| Maize U1DOKS01 LowN | | | | | | Sorghum U1DOKS01 LowN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 19622,22 | 6314,22 | 25936,44 | 488,69 | 25447,75 | 1984 | 2827,79 | 3589,50 | 6417,29 | 488,69 | 5928,60 |
| 1985 | 17067,15 | 5992,26 | 23059,41 | 492,97 | 22566,45 | 1985 | 3458,02 | 3860,08 | 7318,11 | 492,97 | 6825,14 |
| 1986 | 23997,63 | 6269,11 | 30266,74 | 498,95 | 29767,80 | 1986 | 9001,26 | 4368,96 | 13370,22 | 498,95 | 12871,28 |
| 1987 | 19730,15 | 6253,83 | 25983,98 | 495,53 | 25488,45 | 1987 | 5696,48 | 4237,57 | 9934,05 | 495,53 | 9438,52 |
| 1988 | 19029,95 | 6388,30 | 25418,25 | 496,02 | 24922,23 | 1988 | 3679,41 | 3849,85 | 7529,26 | 496,02 | 7033,24 |
| 1989 | 23627,67 | 6519,79 | 30147,47 | 522,90 | 29624,57 | 1989 | 3758,99 | 4195,08 | 7954,07 | 522,90 | 7431,18 |
| 1990 | 24642,89 | 6522,84 | 31165,72 | 538,06 | 30627,66 | 1990 | 0,00 | 3438,36 | 3438,36 | 538,06 | 2900,30 |
| 1991 | 23828,80 | 7168,43 | 30997,23 | 549,30 | 30447,93 | 1991 | 5730,66 | 4424,46 | 10155,12 | 549,30 | 9605,81 |
| 1992 | 28392,80 | 7293,22 | 35686,03 | 560,55 | 35125,48 | 1992 | 8420,59 | 4820,34 | 13240,93 | 560,55 | 12680,38 |
| 1993 | 34089,62 | 9078,10 | 43167,73 | 714,28 | 42453,45 | 1993 | 1849,98 | 5215,43 | 7065,41 | 714,28 | 6351,13 |
| 1994 | 32107,10 | 9830,84 | 41937,94 | 769,18 | 41168,75 | 1994 | 7066,58 | 5729,37 | 12795,95 | 769,18 | 12026,77 |
| 1995 | 34336,21 | 9983,72 | 44319,93 | 805,33 | 43514,59 | 1995 | 12267,88 | 6918,98 | 19186,86 | 805,33 | 18381,52 |
| 1996 | 42014,18 | 10534,79 | 52548,97 | 874,56 | 51674,41 | 1996 | 15202,20 | 7625,84 | 22828,05 | 874,56 | 21953,49 |
| 1997 | 32623,45 | 12358,60 | 44982,05 | 983,01 | 43999,03 | 1997 | 12903,85 | 8288,91 | 21192,76 | 983,01 | 20209,74 |
| 1998 | 32707,38 | 12743,31 | 45450,69 | 965,32 | 44485,36 | 1998 | 23226,77 | 10251,24 | 33478,01 | 965,32 | 32512,68 |
| 1999 | 29849,71 | 11751,55 | 41601,26 | 903,79 | 40697,47 | 1999 | 18138,91 | 9111,41 | 27250,32 | 903,79 | 26346,53 |
| 2000 | 36073,19 | 12705,87 | 48779,06 | 996,09 | 47782,97 | 2000 | 13437,84 | 8498,49 | 21936,33 | 996,09 | 20940,24 |
| 2001 | 33137,26 | 12280,82 | 45418,07 | 1049,88 | 44368,19 | 2001 | 6882,69 | 8361,30 | 15243,98 | 1049,88 | 14194,10 |
| 2002 | 31616,72 | 13122,67 | 44739,39 | 1028,96 | 43710,43 | 2002 | 14540,86 | 9645,63 | 24186,49 | 1028,96 | 23157,53 |
| 2003 | 30307,85 | 12531,29 | 42839,14 | 1013,02 | 41826,12 | 2003 | 18061,28 | 9922,12 | 27983,40 | 1013,02 | 26970,38 |

| Maize U1DOKS01 Normal | | | | | | Sorghum U1DOKS01 Normal | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 19750,44 | 6524,00 | 26274,44 | 1075,12 | 25199,32 | 1984 | 2932,38 | 3939,72 | 6872,11 | 1075,12 | 5796,99 |
| 1985 | 17318,35 | 6155,68 | 23474,03 | 1084,53 | 22389,51 | 1985 | 3593,72 | 4228,98 | 7822,70 | 1084,53 | 6738,17 |
| 1986 | 24409,94 | 7083,73 | 31493,67 | 1097,68 | 30395,99 | 1986 | 9357,77 | 4734,87 | 14092,64 | 1097,68 | 12994,96 |
| 1987 | 20119,05 | 6569,32 | 26688,37 | 1090,17 | 25598,20 | 1987 | 5845,16 | 4559,73 | 10404,89 | 1090,17 | 9314,73 |
| 1988 | 19567,73 | 6510,66 | 26078,39 | 1091,24 | 24987,15 | 1988 | 3795,96 | 4193,17 | 7989,12 | 1091,24 | 6897,88 |
| 1989 | 24092,82 | 6865,46 | 30958,28 | 1150,37 | 29807,91 | 1989 | 3878,62 | 4548,04 | 8426,66 | 1150,37 | 7276,29 |
| 1990 | 24741,53 | 6573,95 | 31315,48 | 1183,74 | 30131,74 | 1990 | 0,00 | 3857,27 | 3857,27 | 1183,74 | 2673,54 |
| 1991 | 24237,41 | 7390,41 | 31627,82 | 1208,47 | 30419,35 | 1991 | 5937,35 | 4851,05 | 10788,41 | 1208,47 | 9579,94 |
| 1992 | 29325,40 | 7660,04 | 36985,44 | 1233,20 | 35752,24 | 1992 | 8658,44 | 5180,83 | 13839,27 | 1233,20 | 12606,07 |
| 1993 | 34343,16 | 9289,37 | 43632,52 | 1571,41 | 42061,11 | 1993 | 1943,00 | 5811,33 | 7754,32 | 1571,41 | 6182,91 |
| 1994 | 32292,50 | 10213,73 | 42506,23 | 1692,20 | 40814,03 | 1994 | 7342,78 | 6292,10 | 13634,88 | 1692,20 | 11942,68 |
| 1995 | 36279,15 | 11223,40 | 47502,55 | 1771,73 | 45730,82 | 1995 | 12779,40 | 7540,23 | 20319,63 | 1771,73 | 18547,90 |
| 1996 | 42556,54 | 11172,29 | 53728,83 | 1924,03 | 51804,80 | 1996 | 15636,94 | 8193,96 | 23830,90 | 1924,03 | 21906,87 |
| 1997 | 32853,29 | 12666,30 | 45519,60 | 2162,63 | 43356,96 | 1997 | 13325,59 | 8976,26 | 22301,85 | 2162,63 | 20139,22 |
| 1998 | 34119,46 | 13761,05 | 47880,52 | 2123,71 | 45756,81 | 1998 | 23363,16 | 10898,50 | 34261,66 | 2123,71 | 32137,95 |
| 1999 | 30773,83 | 12598,23 | 43372,06 | 1988,34 | 41383,72 | 1999 | 18275,22 | 9837,22 | 28112,44 | 1988,34 | 26124,10 |
| 2000 | 37247,54 | 13633,43 | 50880,97 | 2191,40 | 48689,57 | 2000 | 13912,50 | 9186,39 | 23098,90 | 2191,40 | 20907,50 |
| 2001 | 33238,07 | 12733,80 | 45971,86 | 2309,74 | 43662,13 | 2001 | 7103,11 | 9053,91 | 16157,02 | 2309,74 | 13847,28 |
| 2002 | 32451,90 | 14500,85 | 46952,75 | 2263,72 | 44689,03 | 2002 | 14598,65 | 10342,68 | 24941,33 | 2263,72 | 22677,62 |
| 2003 | 30885,97 | 13864,84 | 44750,81 | 2228,65 | 42522,16 | 2003 | 18398,60 | 10663,55 | 29062,14 | 2228,65 | 26833,49 |

| Maize U1DOKS01 Unlimited | | | | | | Sorghum U1DOKS01 Unlimited | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN | Year | V_Zrno | V_BM | V_tot | VN-Fert | V_tot-VN |
| 1984 | 19721,15 | 6483,21 | 26204,36 | 977,38 | 25226,98 | 1984 | 13005,89 | 4671,77 | 17677,66 | 1099,55 | 16578,11 |
| 1985 | 17322,34 | 6159,41 | 23481,75 | 1109,17 | 22372,57 | 1985 | 13636,31 | 4920,11 | 18556,42 | 1109,17 | 17447,24 |
| 1986 | 25035,80 | 7379,85 | 32415,65 | 1247,37 | 31168,28 | 1986 | 15582,16 | 5200,23 | 20782,38 | 1122,63 | 19659,75 |
| 1987 | 20155,11 | 6579,62 | 26734,74 | 1114,94 | 25619,79 | 1987 | 15715,71 | 5272,44 | 20988,15 | 991,06 | 19997,09 |
| 1988 | 19353,22 | 6477,05 | 25830,27 | 992,04 | 24838,23 | 1988 | 13948,04 | 4977,22 | 18925,26 | 1116,04 | 17809,22 |
| 1989 | 23841,37 | 6791,15 | 30632,52 | 1045,79 | 29586,72 | 1989 | 16532,40 | 5300,17 | 21832,57 | 1176,52 | 20656,05 |
| 1990 | 24820,90 | 6588,92 | 31409,82 | 1210,64 | 30199,18 | 1990 | 11771,62 | 4433,55 | 16205,17 | 1210,64 | 14994,53 |
| 1991 | 24271,24 | 7396,22 | 31667,45 | 1098,61 | 30568,84 | 1991 | 18003,70 | 5672,77 | 23676,47 | 1098,61 | 22577,86 |
| 1992 | 29447,14 | 7684,21 | 37131,36 | 1261,23 | 35870,13 | 1992 | 22583,82 | 6143,53 | 28727,36 | 1261,23 | 27466,13 |
| 1993 | 34323,66 | 9282,91 | 43606,57 | 1607,13 | 41999,44 | 1993 | 17862,91 | 6738,53 | 24601,44 | 1964,26 | 22637,17 |
| 1994 | 32362,69 | 10229,32 | 42592,01 | 1538,36 | 41053,65 | 1994 | 20839,85 | 7300,48 | 28140,32 | 1922,96 | 26217,37 |
| 1995 | 35360,60 | 11001,52 | 46362,13 | 1610,67 | 44751,46 | 1995 | 22306,54 | 8331,49 | 30638,04 | 1812,00 | 28826,04 |
| 1996 | 42696,12 | 11203,91 | 53900,03 | 1967,76 | 51932,26 | 1996 | 33884,44 | 9104,75 | 42989,19 | 1967,76 | 41021,43 |
| 1997 | 32941,23 | 12692,67 | 45633,89 | 2211,78 | 43422,11 | 1997 | 26752,08 | 10082,57 | 36834,65 | 2457,54 | 34377,11 |
| 1998 | 34278,82 | 13813,23 | 48092,04 | 2171,98 | 45920,07 | 1998 | 26541,59 | 11318,99 | 37860,58 | 1930,65 | 35929,93 |
| 1999 | 30613,79 | 12502,45 | 43116,25 | 1807,58 | 41308,67 | 1999 | 24699,28 | 10008,38 | 34707,65 | 1807,58 | 32900,08 |
| 2000 | 37469,39 | 13748,46 | 51217,86 | 2490,23 | 48727,63 | 2000 | 25675,40 | 10316,95 | 35992,35 | 2241,20 | 33751,15 |
| 2001 | 33334,22 | 12818,26 | 46152,48 | 2624,70 | 43527,78 | 2001 | 22884,32 | 9704,54 | 32588,85 | 2624,70 | 29964,16 |
| 2002 | 32687,13 | 14736,38 | 47423,51 | 2572,40 | 44851,10 | 2002 | 24562,82 | 11449,46 | 36012,29 | 2315,16 | 33697,12 |
| 2003 | 31005,11 | 13987,04 | 44992,14 | 2279,31 | 42712,84 | 2003 | 22149,68 | 10516,46 | 32666,14 | 2532,56 | 30133,58 |

*Tabulka č. 7: Časové řady nejlepších simulací pro danou lokaci a hnojící postup*
*Zdroj: vlastní výpočty*

### 4.2.2 Analýza efektivnosti

Výnosy čiroku a kukuřice byly analyzovány na základě stochastického hraničního modelu specifikovaného ve vztahu (14). Konkrétně byla odhadována následující TL výnosová funkce, a to pro výnos zrna i výnos biomasy:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln(rain) + \beta_2 \ln(radn) + \beta_3 0.5 \ln(rain)^2 + \beta_4 0.5 \ln(radn)^2 + \beta_5 (\ln(rain) * \ln(radn)) + \beta_6 t + \beta_7 0.5 t^2 + \beta_8 (t * \ln(rain)) + \beta_9 (t * \ln(radn)) + v_{it} - u_{it}$$

Z odhadu modelu výnosu zrna uvedeného v Tabulce č. 8 vyplývá, že celkový úhrn srážek v daném období má výrazně odlišný dopad na výnos zrna obou sledovaných plodin. u čiroku se projevuje silnější negativní efekt, kdy zvýšení srážek o 1 % vede k poklesu výnosu o 0,71 %. Naproti tomu u kukuřice je tento dopad podstatně mírnější. Nárůst srážek o 1 % způsobuje pokles výnosu pouze o 0,15 %. Tyto výsledky ukazují, že čirok je v analyzovaných podmínkách výrazně citlivější na nadměrné srážky.

Pozitivní vliv slunečního záření byl potvrzen u obou plodin. u čiroku činí průměrný efekt 2,25 %, zatímco u kukuřice 1,88 %. Vyšší úroveň slunečního záření tedy obecně přispívá ke zvyšování výnosu zrna, a to zejména v případě čiroku. v případě čiroku se žádné z parametrů druhého řádu ani křížové efekty neukázaly jako statisticky významné na hladině významnosti $\alpha = 0{,}01$.

U kukuřice je však situace jiná. Statisticky významný je parametr druhého řádu celkové radiace, jehož efekt je silně negativní (−17,69 %). Tento výsledek naznačuje, že ačkoli zvýšení slunečního záření výnos kukuřice podporuje, po překročení určité úrovně se může projevit její negativní působení. Jedná se přitom o nejsilnější vliv ze všech zkoumaných proměnných. Kromě toho je u kukuřice statisticky významný také křížový parametr mezi sluneční radiací a časem, jehož hodnota naznačuje negativní efekt −0,06 %. To znamená, že v kombinaci s narůstajícím časem (který může aproximovat technologické či klimatické posuny v čase) může vyšší úroveň radiace výnos kukuřice dále snižovat. Tento interakční efekt může indikovat postupné zhoršování podmínek pro růst kukuřice v obdobích s nadprůměrnou radiací, například v důsledku častějších období sucha.

Efekt času je významný u obou plodin a působí pozitivně: u čiroku činí 0,03 %, u kukuřice 0,01 %. Tyto pozitivní hodnoty mohou odrážet zlepšení agronomických postupů nebo adaptaci plodin na měnící se klimatické podmínky. Parametry druhého řádu času jsou však téměř nulové a u čiroku dokonce statisticky nevýznamné.

| SFA – výnosová funkce | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Kukuřice** | **Parametr** | **P-hodnota** | **Čirok** | **Parametr** | **P-hodnota** |
| ln_rain_sum | -0.153 | 0.000 | ln_rain_sum | -0.711 | 0.000 |
| ln_radn_sum | 1.882 | 0.000 | ln_radn_sum | 2.245 | 0.000 |
| ln_rain_sum_2 | -0.052 | 0.736 | ln_rain_sum_2 | 0.804 | 0.037 |
| ln_radn_sum_2 | -17.690 | 0.000 | ln_radn_sum_2 | -5.339 | 0.573 |
| rain_radn | 0.444 | 0.257 | rain_radn | -0.889 | 0.242 |
| t | 0.009 | 0.000 | t | 0.028 | 0.000 |
| t_2 | 0.000 | 0.001 | t_2 | 0.000 | 0.539 |
| ln_rain_sum_xt | 0.004 | 0.159 | ln_rain_sum_xt | 0.010 | 0.249 |
| ln_radn_sumxt | -0.056 | 0.000 | ln_radn_sumxt | -0.052 | 0.305 |
| Dummy proměnné nejsou ve výsledcích uvedeny. | | | | | |

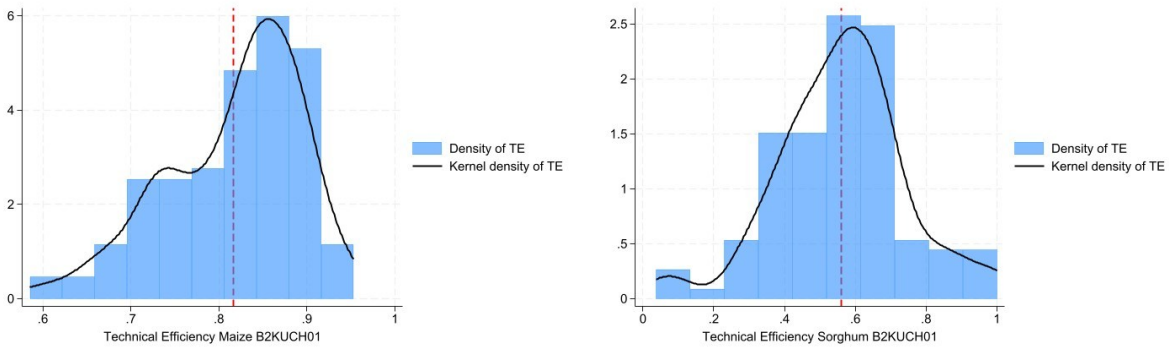
*Tabulka č. 8: Odhad SFA výnosové funkce*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Tabulka č. 9 prezentuje celkovou průměrnou technickou efektivnost (TE) a dílčí průměrné efektivnosti za jednotlivé lokace, což odhaluje produkční potenciál jednotlivých oblastí ve vztahu k analyzovaným plodinám. Čirok je v analyzovaných lokacích pěstován s větší neefektivností než kukuřice. Celková průměrná technická efektivnost je u kukuřice 79 %, zatímco u čiroku pouze 54 %. Produkce čiroku ve všech lokacích nedostatečně využívá produkční potenciál. Odstraněním neefektivnosti lze výšit výnos zrna v průměru o 46%. z hlediska jednotlivých lokací je nejvyšší efektivnosti dosaženo v lokalitě U1DOKS01 s průměrnou efektivností na úrovni 66%. Naopak nejnižší efektivnost byla v průměru zjištěna v lokalitě C2CBUD01, a to na úrovni 50%. z hlediska kukuřice naopak lokalita C2CBUD01 dosahuje nejvyšší průměrné hodnoty efektivnosti (83%). Lokalitou s nejnižší efektivností produkce kukuřice je H3SVRA01 s průměrnou efektivností na úrovni 72%.

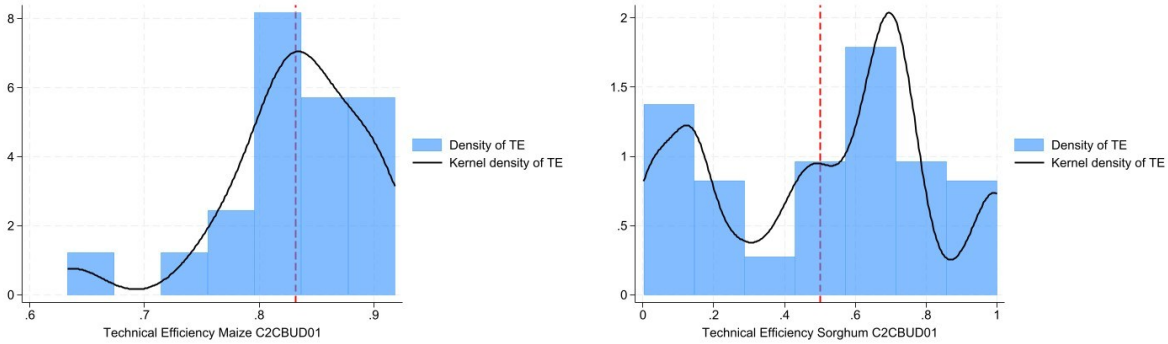
| Lokace | Kukuřice | Čirok |
|---|---|---|
| Celkem | 0.785 | 0.541 |
| B2KUCH01 | 0.817 | 0.561 |
| C2CBUD01 | 0.832 | 0.501 |
| H3SVRA01 | 0.717 | 0.525 |
| O2LUKA01 | 0.756 | 0.507 |
| P1PKAR01 | 0.809 | 0.525 |
| U1DOKS01 | 0.819 | 0.660 |

*Tabulka č. 9: Průměrné hodnoty TE produkce zrna*
*Zdroj: vlastní výpočty*

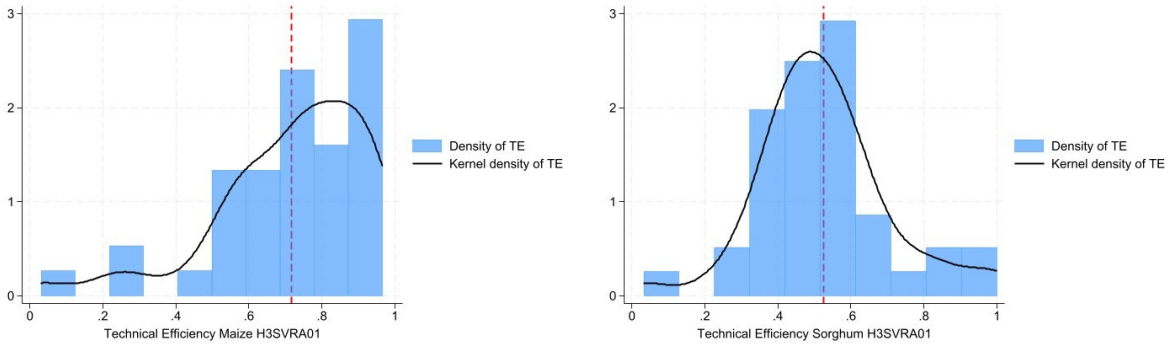
Obrázky č. 14 –19 znázorňují histogramy a jádrové odhady hustoty (kernel densities) technické efektivnosti pro jednotlivé oblasti. v grafech lze sledovat rozptyl, průměr (červená vertikální čára) a tvar rozdělení technické efektivnosti v příslušném souboru. Je patrné, že odhady technické efektivnosti čiroku vykazují vyšší variabilitu než odhady technické efektivnosti kukuřice. v případě kukuřice existuje ve všech lokalitách, s výjimkou nejméně technicky efektivní lokality H3SVRA01, pouze malé množství pozorování s technickou efektivností pod 60%. To ukazuje na konzistentní produkční potenciál pro produkci kukuřice napříč analyzovanými lokacemi, s výjimkou H3SVRA01. Uvedené nelze tvrdit v případě čiroku, kde existují početnější výskyty nízkých hodnot efektivnosti, tj. do 50%, ve všech lokalitách. v případě nejvíce neefektivní lokality C2CBUD01 lze dokonce pozorovat více vrcholů, což znamená, že se v této lokalitě vyskytují jak velmi neefektivní (TE 10–20%), tak i středně efektivní (TE 60%) pozorování.



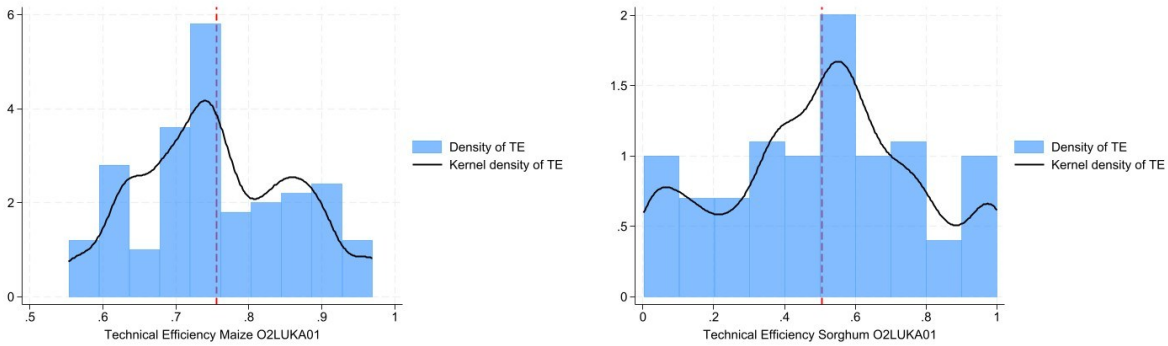

*Obrázek č. 14: Porovnání TE B2KUCH01*
*Zdroj: vlastní výpočty*



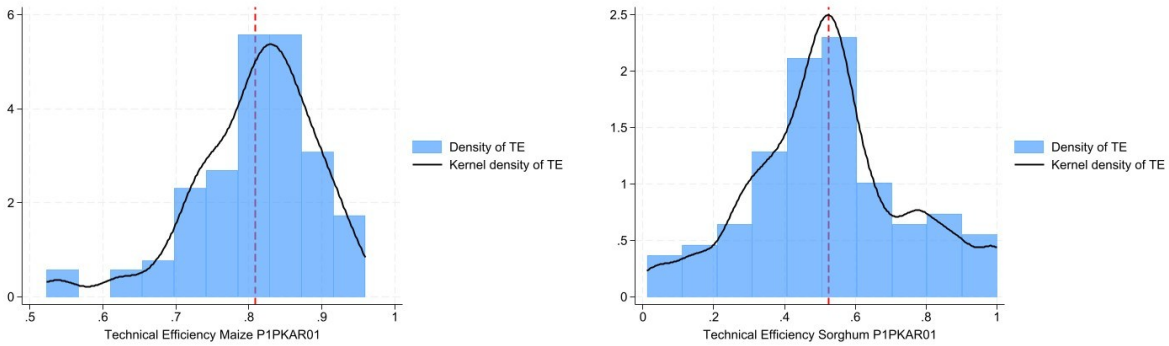

*Obrázek č. 15: Porovnání TE C2CBUD01*
*Zdroj: vlastní výpočty*



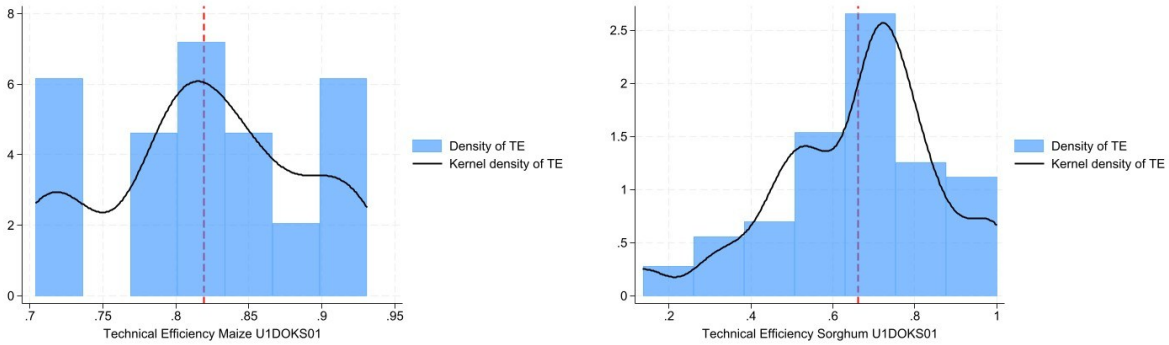

*Obrázek č. 16: Porovnání TE H3SVRA01*
*Zdroj: vlastní výpočty*




*Obrázek č. 17: Porovnání TE O2LUKA01*
*Zdroj: vlastní výpočty*

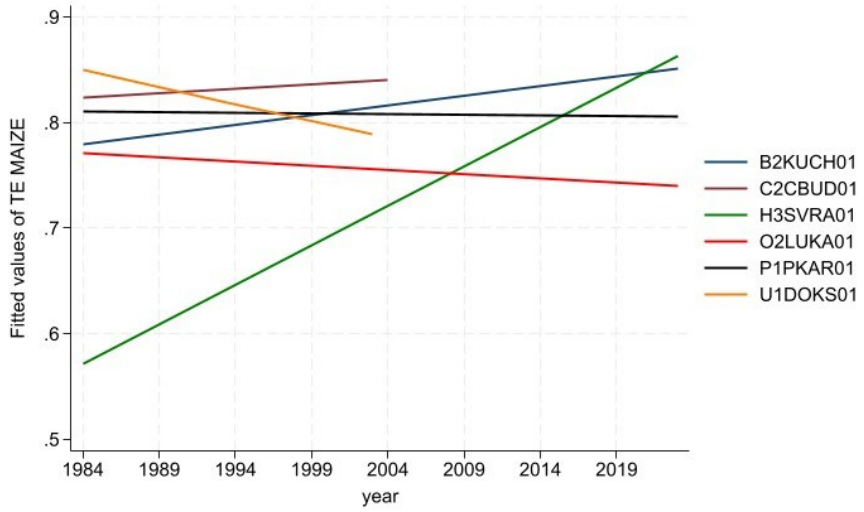



*Obrázek č. 18: Porovnání TE P1PKAR01*
*Zdroj: vlastní výpočty*

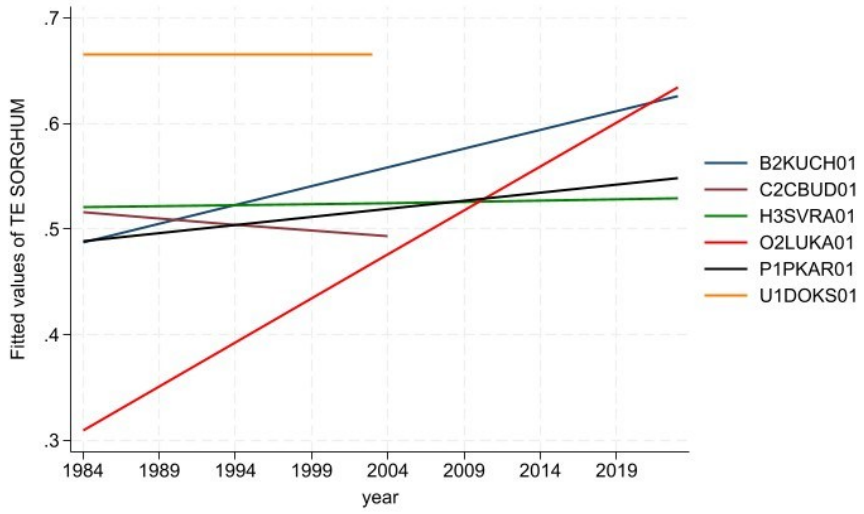



*Obrázek č. 19: Porovnání TE U1DOKS01*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Obrázek č. 20 zobrazuje lineární trendovou funkci technické efektivnosti kukuřice a Obrázek č. 21 lineární trendovou funkci technické efektivnosti čiroku. Trendové vyrovnání bylo zvoleno z důvodu vysoké variability technické efektivnosti, která ztěžuje interpretaci vývoje v čase, jak je patrné z grafů technické efektivnosti uvedených v Příloze 1 a Příloze 2.




*Obrázek č. 20: Lineární trendové funkce TE Kukuřice*
*Zdroj: vlastní výpočty*




*Obrázek č. 21: Lineární trendové funkce TE Čirok*
*Zdroj: vlastní výpočty*

Trend technické efektivnosti je u čiroku ve většině případů neklesající. Pouze oblast C2CBUD01 má výrazně klesající trend. Naproti tomu kukuřice vykazuje klesající trend v případě oblastí O2LUKA01, P1PKAR01 a U1DOKS01. Oblasti O2LUKA01 a P1PKAR01 lze označit za oblasti, ve kterých se čirok stává efektivnějším, zatímco technická efektivnost kukuřice zde oslabuje. v těchto oblastech má čirok značný potenciál v substituci kukuřice.

S využitím stochastické hraniční analýzy byly dále odhadnuty modely pro produkci biomasy zkoumaných plodin, obsahující stejné exogenní proměnné jako model výnosů zrna. Tabulka č. 10 ukazuje odhady technické efektivnosti na základě těchto modelů biomasy. Je patrné, že v celkovém průměru je technická efektivnost v produkci biomasy stejná pro obě plodiny, a to na úrovni 96 %. z hlediska jednotlivých lokalit dosahují nevyšší technické efektivnosti lokality B2KUCH01 a U1DOKS01, a to jak v případě čiroku, tak v případě kukuřice. Naopak nejméně efektivní je produkce biomasy z těchto plodin v oblasti H3SVRA01, což je rovněž oblast s nejnižší efektivností v produkci zrna z kukuřice, avšak s výrazným růstovým potenciálem, jak ukazuje Obrázek č. 21.

| Lokace | Kukuřice | Čirok |
|---|---|---|
| Celkem | 0.959 | 0.958 |
| B2KUCH01 | 0.961 | 0.959 |
| C2CBUD01 | 0.960 | 0.958 |
| H3SVRA01 | 0.956 | 0.957 |
| O2LUKA01 | 0.958 | 0.958 |
| P1PKAR01 | 0.960 | 0.958 |
| U1DOKS01 | 0.961 | 0.959 |

*Tabulka č. 10: Průměrné hodnoty TE produkce biomasy*
*Zdroj: vlastní výpočty*

# 5 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Metodika je určena k využití jak na úrovni řídicí sféry, tak na úrovni zemědělských podniků. Jejím hlavním přínosem je vytvoření kvantitativně podloženého rozhodovacího rámce, který umožňuje cílené nastavování adaptačních a podpůrných opatření v reakci na dopady klimatické změny a současně podporuje ekonomickou udržitelnost zemědělské výroby v České republice.

***Uplatnění metodiky na úrovni řídicí sféry***

Metodika je přímo využitelná při implementaci nástrojů Společné zemědělské politiky EU (SZP) a Strategického plánu SZP ČR, a to zejména v oblastech zaměřených na:

- adaptaci zemědělství na klimatickou změnu,
- udržitelné hospodaření se zdroji,
- zvyšování konkurenceschopnosti a odolnosti zemědělských podniků,
- podporu inovací a digitalizace zemědělství.

Výstupy agronomicko-ekonomických simulací poskytují analytický podklad pro cílení intervencí I. a II. pilíře SZP. Jedná se především to tyto oblasti:

- ekoschémata a agroenvironmentálně-klimatická opatření (AEKO),
- intervence zaměřené na diverzifikaci plodin a střídání osevních postupů,
- investiční podpory do precizního zemědělství a digitalizace,
- opatření podporující adaptační plodiny v rizikových výrobních oblastech.

Na úrovni státní správy a odborných institucí metodika dále umožňuje:

- hodnocení dopadů klimatických scénářů na produkční systémy,
- simulaci alternativních variant nastavení podpory z hlediska agronomických, ekonomických a environmentálních dopadů.

Propojení agronomických a ekonomických modelů rovněž poskytuje podklad pro strategické rozhodování, aktualizaci koncepčních dokumentů a odborné zdůvodnění opatření směřujících k posílení odolnosti českého zemědělství.

***Uplatnění metodiky na úrovni zemědělských podniků***

Zemědělské podniky mohou metodiku využít jako praktický nástroj na podporu rozhodování, a to při:

- volbě plodiny (kukuřice vs. čirok) v konkrétních půdně-klimatických podmínkách,
- optimalizaci agronomických postupů (termín a hustota výsevu, hnojení, volba kultivaru),
- hodnocení ekonomických dopadů adaptačních opatření,
- snižování produkčních rizik spojených s klimatickou variabilitou.

Výsledky in silico simulací umožňují farmářům testovat různé varianty hospodaření bez nutnosti okamžitého zavádění nákladných polních pokusů, a tím snižovat riziko chybných investičních a produkčních rozhodnutí. Metodika podporuje přechod k preciznímu a datově řízenému zemědělství, kdy jsou rozhodnutí založena na kombinaci historických dat, aktuálních podmínek a predikcí budoucího vývoje klimatu.

Přínos metodiky tak lze spatřovat ve: (i) stabilizaci výnosů v klimaticky ohrožených oblastech; (ii) zvýšení ekonomické odolnosti zemědělských podniků; (iii) cíleném zavádění alternativních plodin; (iv) efektivnějším využívání veřejné podpory v rámci SZP; (v) naplnění adaptačních a environmentálních cílů zemědělské politiky ČR.

Pro efektivnější využití metodiky byla vytvořena webová aplikace (viz Příloha 3), která usnadňuje rozhodování zemědělských podniků z hlediska zařazení čiroku do osevního postupu.

## 6 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomické aspekty metodiky spočívají především ve vytvoření kvantitativně podloženého rámce pro efektivnější alokaci veřejných prostředků do zemědělství a ve zvýšení ekonomické výkonnosti zemědělských podniků prostřednictvím optimalizace produkčních systémů v podmínkách klimatické změny. Metodika propojuje agronomické simulace s ekonometrickým hodnocením produkčních procesů, čímž umožňuje systematicky vyhodnocovat ekonomické dopady adaptačních opatření a jejich návratnost.

Konkrétní ekonomické přínosy lze vyjádřit jako zvýšení realizační efektivnosti veřejné podpory, tj. vyšší dosažený produkční a ekonomický efekt na jednotku vynaložených veřejných prostředků. Odhad čistého přínosu (po zohlednění nákladů na zavedení navržených adaptačních a technologických postupů) je založen na relativním vyjádření zvýšení realizační efektivnosti z celkové výše poskytovaných zemědělských podpor.

Na úrovni zemědělských podniků se ekonomické přínosy metodiky projevují zejména prostřednictvím: (i) zvýšení produktivity/efektivnosti; (ii) snížení jednotkových výrobních nákladů; a (iii) stabilizace a zvýšení ziskovosti v podmínkách klimatické variability.

Ekonometrické produkční modely odhadované v rámci metodiky (stochastická hraniční analýza) umožňují identifikovat zdroje neefektivnosti a kvantifikovat potenciál jejich eliminace prostřednictvím změn plodiny, kultivaru nebo agronomického managementu. Zvýšení technické efektivnosti se následně promítá do nižších průměrných nákladů na jednotku produkce a vyšší odolnosti podniků vůči cenovým a klimatickým šokům. Metodika dále umožňuje provádět ex-ante hodnocení nákladů a přínosů adaptačních opatření, zejména přechodu od tradičních produkčních systémů kukuřice k alternativním systémům založeným na čiroku. Čistý ekonomický přínos je definován jako rozdíl mezi: (i) dodatečnými výnosy plynoucími ze zvýšení produktivity a stability produkce; a (ii) náklady spojenými se zavedením nových kultivarů, změnou agronomických postupů či investicemi do precizního zemědělství.

Tento přístup umožňuje posoudit ekonomickou racionalitu adaptačních strategií v různých klimatických scénářích a podmínkách hospodaření.

## 7 SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY


Bacsi, Z. & Zsolt Hollósy, Z. (2019). a yield stability index and its application for crop production. Analecta Technica Szegedinensia. 13(1): 11–20.

Diancoumba, M., Kholová, J., Adam, M., Famanta, M., lerget, B., Traore, P.C.S., Weltzien, E., Vacksmann, M., McLean, G., Hammer, G.L., Van Oosterom, E.J. & Vadez, V. (2024). APSIM-based modeling approach to understand sorghum production environments in Mali. Agronomy for Sustainable Development. 44(3): 25 p.

Durrington, G., Saddig, J., Brider, J., Hammer, G. & WU, A. (2025). Enhancing sorghum yield and risk management via optimizing crop design. In: Silico Plants. 7(2).

Gavasso-Rita, Larissa, Y., Papalexiou, S.M., LI, Y., Elshorbagy, A., LI, Z. & Schister-Walace, C. (2023). Crop models and their use in assessing crop production and food security: a review. Food and Energy Security.13(1).

Greene, W. (2005). Fixed and Random Effects in Stochastic Frontier Models. Journal of Productivity Analysis 23: 7–32.

Chenu, K., Cooper, M., Hammer, G.L., Mathgews, K.L., M. F. Dreccer, M.F. & Chapman, S.C. (2011). Environment characterization as an aid to wheat improvement: interpreting genotype–environment interactions by modelling water-deficit patterns in North-Eastern Australia. Journal of Experimental Botany. 62(6): 1743–1755.

Jondrow, J., Lovell, C.A.K, Materov, I.S., & Schmidt, P. (1982). On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. Journal of Econometrics 19, 233–238.

Kholová, J., Hajjarpoor, A., Garin, V., Nelson, W., Diacoumba, M., Mesina, C.D., Hammer, G.L., Ammer, XU, Y., Urban, M.O. & Jarolímek, J. (2022). The role of crop growth models in crop improvement: integrating phenomics, envirotyping and genomic prediction. In: Burleigh Dodds series in agricultural science. 263–282.

Kholová, J., Milan Oldřich Urban, M.O., Cock, J., Arcos, J., Arnaud, E., Aytekin, D., Azevedo, V., Barnes, A.P., Ceccarelli, S., Paul Chavarriaga, P., Cobb, J.N., Connor, D., Cooper, M., Craufurd, P., Debouck, D., Fungo, R., Grando, S., Hammer, G.L., Jara, C.J., Messina, C., Mosquera, G., Nchanji, E., Ng, E.H., Prager, S., Sankaran, S., Selvaraj, M., Tardieu, F., Thornton, P., Valdez-Gutierrez, S.P., Van Etten, J., Wenzl, P. & XU, Y. (2021). In pursuit of a better world: crop improvement and the CGIAR. Journal of Experimental Botany. 72(14): 5158–5179.

Kumbhakar, S.C., Wang, H.-J. & Horncastele, A.P. (2015). a Practitioner‘s Guide to Stochastic Frontier Analysis Using Stata. Cambridge: Cambridge University Press, 359 p.

McCown, R.L., Hammer, G.L., Hargreaves, J.N.G.. Holzworth, D. & Huth, N.I. (1995). APSIM: an agricultural production system simulation model for operational research. Mathematics and Computers in Simulation. 39(3–4): 225–231.

Ronanki, S., Pavlík, J., Masner, J., Jarolímek, J., Stočes, M., Subhash, D., Talwar, H.S., Vilas A. Tonapi, V.A., Srikanth, M., Baddam, R. & Kholová, J. (2022). An APSIM-powered

framework for post-rainy sorghum-system design in India. Field Crops Research. 277, p. 108422.

Sarkar, S., Gaydon, S.S., Kamruzzaman, M., Mainuddin, M., Dhar, A., Dey, S. & Brahmachari, K. (2025). Climate-smart management of rice–pulse rotations in complex coastal saline ecosystems: an APSIM assessment. Agricultural Systems. 230, p.104473.

## 8 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE


Brabec, M., Benda, T., Benda, P., Šimek, P., Havránek, M., & Lohr, V. (2024). Developing a Functional User Interface for VR Simulations within Agricultural Equipment Contexts. Agris On-Line Papers in Economics and Informatics, 16(1), 15–22. https://doi.org/10.7160/aol.2024.160102

Hammouch, H., Patil, S., Choudhary, S., El-Yacoubi, M. A., Masner, J., Kholová, J., Anbazhagan, K., Vaněk, J., Qin, H., Stočes, M., Berbia, H., Jagarlapudi, A., Chandramouli, M., Mamidi, S., Prasad, K., & Baddam, R. (2024). Hybrid-AI and Model Ensembling to Exploit UAV-Based RGB Imagery: An Evaluation of Sorghum Crop's Nitrogen Content. Agriculture, 14(10), 1682. https://doi.org/10.3390/agriculture14101682

Kubata, K., Galba, A., Šilerová, E., Očenášek, V., & Cihelka, P. (2024). Practical use of Agriculture 4.0 digital technologies to meet the EU's strategic goals in Czech agriculture. Agris On-Line Papers in Economics and Informatics, 16(2), 63–74. https://doi.org/10.7160/aol.2024.160205

Novák, V., Ambruz, P., Kánská, E., Stočes, M., Vaněk, J., Veselý, J., & Sylvar, K. (2025). Predictive Battery Life Modeling for LoRaWAN Sensors Using Real-World Deployment Data. Agris On-Line Papers in Economics and Informatics, 17(3), 53–62. https://doi.org/10.7160/aol.2025.170305

Priyanka, G., Choudhary, S., Anbazhagan, K., Naresh, D., Baddam, R., Jarolimek, J., Parnandi, Y., Rajalakshmi, P., & Kholova, J. (2023). a step towards inter-operable Unmanned Aerial Vehicles (UAV) based phenotyping; a case study demonstrating a rapid, quantitative approach to standardize image acquisition and check quality of acquired images. ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 9, 100042. https://doi.org/10.1016/j.ophoto.2023.100042

Žáková Kroupová, Z., Aulová, R., Rumánková, L., Bajan, B., Čechura, L., Šimek, P., & Jarolímek, J. (2025). Drivers and barriers to precision agriculture technology and digitalisation adoption: Meta-analysis of decision choice models. Precision Agriculture, 26(1), 17. https://doi.org/10.1007/s11119-024-10213-1

Žáková Kroupová, Z., Rumánková, L., Aulová, R., & Čechura, L. (2025). Drivers and barriers to the adoption of Agriculture 4.0 technologies: a microeconomic and political perspective. (Chap. 13, 14 pp.). In F. da Silveira, J. G. A. Barbedo, C. Charatsari, & E. Lioutas (Eds.), Agriculture 4.0: Towards a New Agri-Food Ecosystem. Springer Nature. Kapitola přijata k publikaci.

Žáková Kroupová, Z., Rumánková, L., Bajan, B., Čechura, L., Hloušková, Z., Aulová, R., Šimek, P., & Jarolímek, J. (2025). Drivers and barriers to precision agriculture adoption in Czech agriculture Precision Agriculture, 29 pp. Článek přijat k publikaci.

## 9 OPONENTI

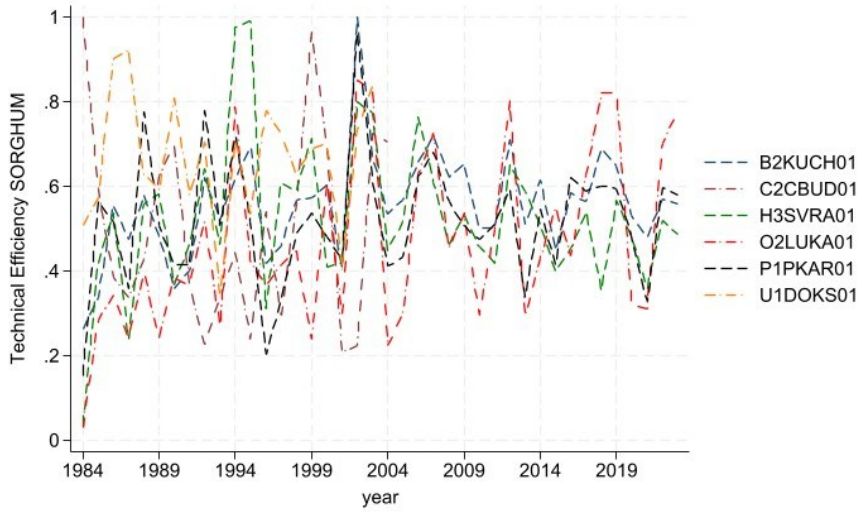
Doc. Ing. Artan Qineti, Ph.D. – FEM, SPU Nitra

## 10 DEDIKACE

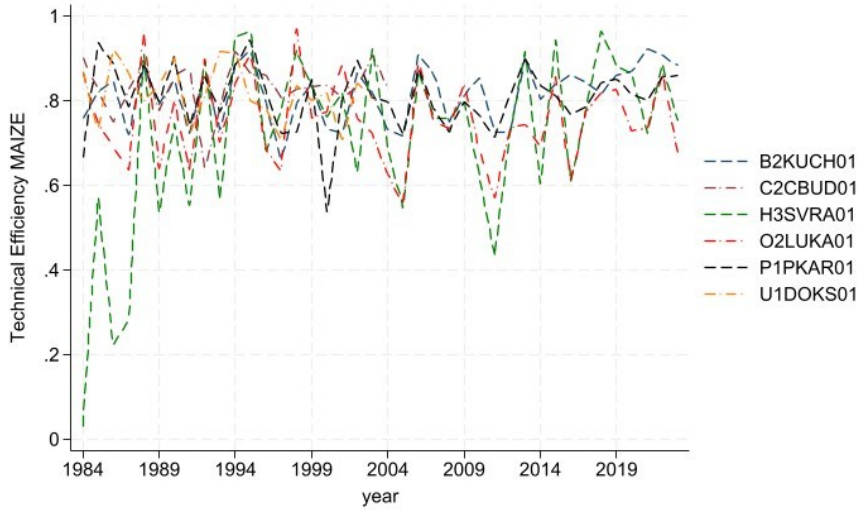
Výsledky výzkumu prezentované v této metodice vznikly v rámci řešení výzkumného projektu QK23020058 "Precizní zemědělství a digitalizace v ČR" financovaného NAZV v rámci výzkumného programu: QK – Program aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2017-2025, ZEMĚ.

# 11 PŘÍLOHY

**Příloha 1** Vývoj TE Čiroku podle lokalit




**Příloha 2** Vývoj TE kukuřice podle lokalit



**Příloha 3** Webová aplikace pro využití metodiky v praxi

## Úvod

Webová aplikace je vytvořena jako podpůrný nástroj pro hodnocení a praktické využití výsledků metodiky vytvořené v rámci projektu NAZV QK23020058. Jejím hlavním cílem je zpřístupnit odborné poznatky zpracované na základě simulačních modelů v jednoduché a přehledné formě, která je snadno využitelná v zemědělské praxi.

Aplikace, dostupná na webové adrese *https://predigcr.pef.czu.cz/*, umožňuje uživateli zadat základní podniková a produkční data a následně prostřednictvím předdefinovaných podmínek (filtrů) získat přehled o očekávaných výnosech a souvisejících ekonomických ukazatelích pro plodiny kukuřice a čirok.

Nástroj je určen především zemědělcům, agronomům a poradcům jako podpora při rozhodování o vhodnosti zařazení plodin do osevních postupů a při zvažování různých variant pěstování. Výstupy aplikace poskytují rychlou orientaci v možných dopadech zvolených parametrů na produkci i ekonomiku pěstování a doplňují tak detailní informace uvedené v metodice projektu.

## Účel aplikace

Tato webová aplikace je navržena jako jednoduchý nástroj pro podporu rozhodování v zemědělství, se zaměřením na podmínky České republiky. Jejím cílem je zpřístupnit výsledky simulačních modelů širokému spektru uživatelů – především zemědělcům, agronomům, poradcům a dalším zainteresovaným subjektům. Vzhledem k tomu, že čirok (sorghum) je v českých podmínkách zatím relativně málo známou plodinou, může tato aplikace sloužit jako zdroj užitečných informací při zvažování jeho zařazení do osevních postupů.

Aplikace umožňuje uživateli jednoduše nastavit vybrané parametry pěstování a na základě těchto voleb zobrazit odhadované výnosy a další související ukazatele. Cílem není nahradit detailní agronomické plánování, ale poskytnout rychlý přehled o tom, jak se mohou různé faktory projevit na produkci plodiny v dlouhodobém horizontu.

## Princip fungování a zdroj dat

Výsledky prezentované v aplikaci vycházejí ze simulačního modelování provedeného v systému APSIM (Agricultural Production Systems sIMulator), což je mezinárodně uznávaný nástroj pro modelování růstu plodin a zemědělských systémů. Pro každý scénář byly provedeny simulace na základě historických meteorologických dat z období let 1984–2024. Každý výsledek tedy představuje agregaci 40 jednotlivých ročních simulací, což umožňuje zohlednit meziroční variabilitu počasí a poskytuje robustnější odhad očekávaných hodnot.

Díky tomuto přístupu mohou uživatelé získat realističtější představu o dlouhodobém chování systému, nikoli pouze o výsledcích v jednom konkrétním roce. Je však důležité mít na paměti, že se stále jedná o modelové odhady, které nezohledňují všechny možné lokální vlivy (např. extrémní události, specifické hospodaření či mikroklimatické podmínky).

## Možnosti nastavení

Uživatel si může pomocí jednoduchého rozhraní zvolit kombinaci vstupních parametrů, které reprezentují různé varianty pěstování. Mezi hlavní nastavitelné faktory patří:

- Plodina: kukuřice nebo čirok

- Hnojení: nízká nebo vysoká úroveň (přibližně 200 kg nebo 440 kg)
- Typ půdy:
    - 10 (jílovitá, střední hloubka, vysoká úrodnost)
    - 11 (jílovitá, mělká, vysoká úrodnost)
    - 14 (jílovitá, mělká, střední úrodnost)
    - 22 (hlinitá, střední hloubka, střední úrodnost)
- Termín setí: začátek dubna, konec dubna, začátek května, konec května
- Výsevek (hustota setí):
    - čirok: 15, 20, 25, 30, 35 rostlin na jednotku plochy
    - kukuřice: 7, 10, 13, 16 rostlin na jednotku plochy

Kombinací těchto parametrů si uživatel může vytvořit konkrétní scénář, který odpovídá jeho podmínkám nebo plánovanému způsobu hospodaření.

**Výstupy aplikace**

Na základě zvolených parametrů aplikace zobrazí několik klíčových ukazatelů:

- Výnos zrna – odhad produkce hlavního produktu plodiny
- Výnos biomasy – celková produkce nadzemní hmoty
- Ekonomický ukazatel – orientační výpočet finančního výnosu, který je založen na násobení produkce zrna zvolenou (nebo předem definovanou) cenou

Tyto výstupy umožňují uživateli nejen porovnávat agronomické výsledky, ale také získat základní představu o ekonomických dopadech jednotlivých variant.

**Využití v praxi**

Aplikace může sloužit jako podpůrný nástroj při rozhodování o volbě plodiny, termínu setí nebo intenzitě hnojení. Zvláštní přínos může mít při posuzování potenciálu čiroku jako alternativní plodiny v podmínkách České republiky, zejména v kontextu klimatické změny a častějšího výskytu sucha.

Díky jednoduchému ovládání je vhodná jak pro rychlé orientační srovnání variant, tak jako doplněk k detailnějším analýzám. Uživatelé by však měli výsledky vždy interpretovat s ohledem na konkrétní podmínky svého podniku a využívat je spíše jako podpůrný podklad než jako jediný zdroj rozhodování.

**Závěr**

Cílem této aplikace je propojit pokročilé simulační modelování s praktickými potřebami zemědělské praxe. Poskytuje přehledný a snadno dostupný způsob, jak pracovat s komplexními daty a využít je při plánování pěstování plodin.

Aplikace přispívá ke zpřehlednění výsledků metodiky a umožňuje jejich přímé uplatnění v rozhodovacích procesech na úrovni podniku. Uživatelům nabízí možnost rychle porovnat různé varianty pěstování a lépe tak zohlednit produkční i ekonomické dopady jednotlivých

rozhodnutí. Zároveň podporuje širší povědomí o alternativních plodinách, jako je čirok, a jejich potenciálu v podmínkách České republiky.

Do budoucna je možné aplikaci dále rozšiřovat o další parametry, plodiny či ekonomické ukazatele tak, aby ještě lépe odpovídala potřebám uživatelů a aktuálním výzvám v zemědělství. Předpokládá se také její další rozvoj v návaznosti na nové poznatky výzkumu, aktualizaci vstupních dat a případné propojení s dalšími nástroji podporujícími precizní zemědělství.