

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Využití biomasy dočasných jetelovino travních porostů
k přímému spalování**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Michaela Pavelková

Obor studia: Rozvoj venkovského prostoru

Vedoucí práce: Ing. Pavel Fuksa, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití biomasy dočasných jetelovinotravních porostů k přímému spalování" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Pavlu Fuksovi, Ph.D., vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení a přínosné rady, které mi velice pomohly při psaní této diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat svým rodičům za tolik podpory a trpělivosti.

Využití biomasy dočasných jetelovínotravních porostů k přímému spalování

Souhrn

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnocení různých jetelovínotravních směsí jako potenciálního zdroje biomasy pro přímé spalování, zjištění jejich výnosové schopnosti a stanovení jejich produkce energie z hektaru. Neméně důležité bylo posouzení vlivu termínu seče a složení směsi na vyhodnocované parametry.

Pokusný porost se nacházel na pozemcích Výzkumné stanice České zemědělské univerzity v Praze na lokalitě Červený Újezd a byl založen v roce 2018. V této diplomové práci byl zdokumentován rok 2020 a částečně i rok 2019. Celý pokus zahrnoval 24 variant směsí vojtěšky, jetele lučního, štírovníku růžkatého, vičence ligrusu, kostřavy rákosovité a *festulolia* (křížence kostřavy rákosovité a jílku mnohokvětého) ve čtyřech opakováních každé varianty. Pro tuto diplomovou práci byly vybrány následující varianty:

- V – vojtěška
- V+J – vojtěška + jetel luční
- V+ FE – vojtěška + *festulolium*
- V+S+FE – vojtěška + štírovník + *festulolium*
- V+S – vojtěška + štírovník
- V+J+FE – vojtěška + jetel luční + *festulolium*

V průběhu vegetace byly provedeny tři seče, před každou sečí byly odebrány vzorky biomasy. Ty byly roztrženy na jednotlivé komponenty, zváženy a usušeny. Usušené vzorky byly drceny v mlýnku Fritsch a lisovány do pelet. Poté probíhalo spalování v adiabatickém kalorimetru IKA C5000 a muflové peci. Z výsledků spalování v kalorimetru byly zjištěny hodnoty spalného tepla (J/g), které byly použity k výpočtu výhřevnosti. Z výhřevnosti (J/g) a výnosů biomasy (t/ha) bylo vypočteno celkové množství energie vyprodukované z jednotky plochy (GJ/ha). Spalování v muflové peci sloužilo ke zjištění obsahu popelovin (%).

Z výsledků práce vyplynulo, že v roce 2019 se celkový výnos sušiny v součtu za všechny tři seče pohyboval v rozpětí 10,37 t/ha u varianty V+S+FE (vojtěška + štírovník + *festulolium*) do 11,66 t/ha u varianty V (vojtěška) a produkce energie byla od 188,83 GJ/ha (V+S+FE) do 212,34 GJ/ha (V). Rozdíly mezi variantami však nebyly statisticky významné.

V roce 2020, ve kterém byly porosty značně poškozeny hraboši, byl celkový výnos sušiny v součtu za tři seče průkazně nejvyšší u varianty V+FE (4,18 t/ha), u ostatních sledovaných variant se výnos pohyboval v rozpětí 2,08 – 3,43 t/ha. Celková produkce energie za všechny tři seče byla v souladu s výnosem také průkazně nejvyšší u varianty V+FE (75,56 GJ/ha). Produkce energie ostatních variant byla v rozmezí 38,52 – 61,95 GJ/ha.

Analyzované výsledky prokázaly v obou sledovaných letech vliv pořadí seče na výnos sušiny i produkci energie z hektaru.

Klíčová slova: Bioenergie, spalné teplo, výhřevnost, vojtěška setá, jetel luční, *festulolium*

Use of biomass of temporary multi-species grasslands for direct combustion

Summary

The aim of this diploma thesis was to evaluate various clover-grass mixtures as a potential source of biomass for direct combustion, to determine their yield ability and to determine their energy production per hectare. Equally important was the assessment of the influence of the cutting term and composition of the mixture on the evaluated parameters.

Experimental stand was located in the fields of the Research station of the Czech university of life sciences in Prague in the locality of Červený Újezd and was established in 2018. The year 2020 and partly also the year 2019 were documented in this diploma thesis. The whole experiment involved the 24 variants mixtures of *Medicago sativa*, *Trifolium pratense*, *Lotus corniculatus*, *Onobrychis viciifolia*, *Festuca arundinacea* and *festulolium* (a hybrid of *Festuca arundinacea* and *Lolium multiflorum*) in four repetitions of each variant. The following variants were selected for this diploma thesis:

- V – *Medicago sativa*
- V+J – *Medicago sativa* + *Trifolium pratense*
- V+FE – *Medicago sativa* + *festulolium*
- V+S+FE – *Medicago sativa* + *Lotus corniculatus* + *festulolium*
- V+S – *Medicago sativa* + *Lotus corniculatus*
- V+J+FE – *Medicago sativa* + *Trifolium pratense* + *festulolium*

During the vegetation, three cuts were performed, before each cut biomass samples were taken. Samples were sorted into individual components, weighed and dried. The dried samples were crushed in a Fritsch mill and compressed into pellets. Then the combustion took place in an adiabatic calorimeter IKA C5000 and a muffle furnace. From the results of combustion in a calorimeter, the values of calorific value (J/g) were found, which were used to calculate the heating value. From the heating value (J/g) and biomass yield (t/ha) the total amount of energy produced per area (GJ/ha) was calculated. Combustion in the muffle furnace was used to determine the ash content (%).

The results of the thesis showed that in 2019 the total dry matter yield in total for all three cuts ranged from 10.37 t/ha for the variant V+S+FE (*Medicago sativa* + *Lotus corniculatus* + *festulolium*) to 11.66 t/ha for variant V (*Medicago sativa*) and energy production was from 188.83 GJ/ha (V+S+FE) to 212.34 GJ/ha (V). However, the differences between the variants were not statistically significant.

In 2020, in which the stands were severely damaged by voles, the total dry matter yield for three cuts was demonstrably the highest in the V+FE variant (4.18 t/ha), in the other monitored variants the yield ranged from 2.08 to 3.43 t/ha. In line with the yield, the total energy production for all three cuts was also demonstrably the highest for the V+FE variant (75.56 GJ/ha). The energy production of other variants was in the range of 38.52 – 61.95 GJ/ha.

The analyzed results showed in both monitored years the effect of cut order on dry matter yield and energy production per hectare.

Keywords: Bioenergy, calorific value, heating value, *Medicago sativa*, *Trifolium pratense*, *festulolium*

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1 Úvod | 10 |
| 2 Vědecká hypotéza a cíle práce | 11 |
| 3 Literární rešerše | 12 |
| 3.1 Biomasa pro energetické účely | 12 |
| 3.1.1 Základní formy a zdroje biomasy | 13 |
| 3.1.1.1 Záměrně produkovaná biomasa..... | 14 |
| 3.1.2 Méně známé či netradiční energetické plodiny | 14 |
| 3.1.3 Získávání energie z biomasy..... | 15 |
| 3.1.4 Spalování biomasy | 17 |
| 3.1.5 Chemické složení biomasy | 18 |
| 3.1.5.1 Obsah popela v různých typech biomasy a uhlí | 18 |
| 3.1.6 Výhřevnost a spalné teplo..... | 19 |
| 3.1.7 Porovnání biomasy s fosilními palivy | 21 |
| 3.1.7.1 Spoluspalování biomasy s uhlím..... | 22 |
| 3.1.8 Výhody biomasy | 22 |
| 3.1.9 Nevýhody biomasy | 23 |
| 3.1.10 Výnosy plodin..... | 23 |
| 3.1.11 Ekonomická stránka pěstování biomasy..... | 24 |
| 3.2 Biomasa travních porostů | 26 |
| 3.2.1 Trvalé travní porosty..... | 26 |
| 3.2.2 Jetelotravní směsi, vojtěškotravní směsi..... | 27 |
| 3.2.3 Botanická charakteristika..... | 29 |
| 4 Metodika | 31 |
| 4.1 Popis stanoviště | 31 |
| 4.2 Popis počasí | 31 |
| 4.3 Popis pokusu | 32 |
| 4.3.1 Použité odrůdy | 34 |
| 4.3.1.1 Tolice vojtěška - ZUZANA..... | 34 |
| 4.3.1.2 Štírovník růžkatý – TABORAK..... | 34 |
| 4.3.1.3 Jetel luční – CALLISTO | 34 |
| 4.3.1.4 Festulolium – FELINA..... | 34 |
| 4.3.2 Hnojení..... | 34 |
| 4.4 Stanovení spalného tepla a výhřevnosti | 35 |
| 4.5 Statistické hodnocení | 35 |
| 5 Výsledky | 36 |

| | | |
|------------|--|--------------|
| 5.1 | Polní výsledky, rok 2020 | 36 |
| 5.1.1 | Výnos sušiny..... | 36 |
| 5.1.2 | Podíl komponentů ve směsi..... | 37 |
| 5.1.3 | Obsah sušiny..... | 37 |
| 5.2 | Laboratorní výsledky, rok 2020 | 38 |
| 5.2.1 | Obsah popela v biomase..... | 38 |
| 5.2.2 | Výhřevnost biomasy..... | 39 |
| 5.3 | Produkce energie, rok 2020 | 40 |
| 5.4 | Celkový výnos sušiny a produkce energie, rok 2020 | 41 |
| 5.4.1 | Celkový výnos sušiny za 3 seče..... | 41 |
| 5.4.2 | Celková produkce energie za 3 seče..... | 41 |
| 5.5 | Polní výsledky, rok 2019 | 42 |
| 5.5.1 | Výnos sušiny..... | 42 |
| 5.5.2 | Podíl komponentů ve směsi..... | 43 |
| 5.5.3 | Obsah sušiny..... | 43 |
| 5.6 | Produkce energie, rok 2019 | 44 |
| 5.7 | Celkový výnos sušiny a produkce energie, rok 2019 | 45 |
| 5.7.1 | Celkový výnos sušiny za 3 seče..... | 45 |
| 5.7.2 | Celková produkce energie za 3 seče..... | 45 |
| 6 | Diskuze | 46 |
| 7 | Závěr | 49 |
| 8 | Literatura | 51 |
| 9 | Samostatné přílohy | I |
| 9.1 | Polní výsledky, rok 2020 - grafické znázornění | I |
| 9.1.1 | Výnos sušiny rostlin..... | I |
| 9.2 | Laboratorní výsledky, rok 2020 - grafické znázornění | IV |
| 9.2.1 | Obsah popela v biomase..... | IV |
| 9.2.2 | Výhřevnost biomasy..... | VI |
| 9.3 | Produkce energie, rok 2020 - grafické znázornění | VIII |
| 9.3.1 | Produkce energie..... | VIII |
| 9.4 | Celkový výnos sušiny a produkce energie, rok 2020 - grafické znázornění | XI |
| 9.4.1 | Celkový výnos sušiny za 3 seče..... | XI |
| 9.4.2 | Celková produkce energie za 3 seče..... | XIV |
| 9.5 | Polní výsledky, rok 2019 - grafické znázornění | XVII |
| 9.5.1 | Výnos sušiny..... | XVII |
| 9.6 | Produkce energie, rok 2019 - grafické znázornění | XX |
| 9.6.1 | Produkce energie..... | XX |
| 9.7 | Celkový výnos sušiny a produkce energie, rok 2019 - grafické znázornění | XXIII |
| 9.7.1 | Celkový výnos sušiny za 3 seče..... | XXIII |

| | | |
|-------|--|------|
| 9.7.2 | Celková produkce energie za 3 seče | XXVI |
|-------|--|------|

1 Úvod

V 19. a 20. století se využívala jako zdroj energie především fosilní paliva, ale v současnosti se stále více klade důraz na ochranu životního prostředí a také udržitelnost, a proto vzrostl zájem o paliva z obnovitelných zdrojů.

Nejvýznamnější podíl mezi obnovitelnými zdroji paliv zaujímá biomasa. Biomasa lze nazvat kterýkoliv materiál rostlinného nebo živočišného původu, který lze energeticky využít nebo z něj vyrobit palivo. Mezi nejčastěji využívané druhy biomasy patří rychlerostoucí dřeviny, štěpka, dřevní brikety, odpad ze zemědělství, odpad z lesnictví, sláma, jednoleté rostliny jako čirok nebo vytrvalé, mezi které patří křídlatka.

Využití biomasy místo fosilních paliv má několik výhod. Kromě nízkých nákladů na výrobu paliva a jeho obnovitelnost, je spalování biomasy nástrojem ke zmírnění změn klimatu. Z hlediska znečišťování ovzduší je biomasa CO₂ neutrální, což znamená, že při jejím spalování nedochází ke zvyšování emisí skleníkových plynů. Oxid uhličitý, který se uvolňuje, využily rostliny již ke svému růstu.

Bohatým zdrojem biomasy jsou i travní porosty. V České republice zaujímají trvalé travní porosty cca 25 % (1 mil. ha) z celkové výměry zemědělského půdního fondu a jejich výměra se nadále zvyšuje. Víceleté pícniny na orné půdě představují jeteloviny, některé trávy, případně jejich směsi – jetelovino trávy. Jeteloviny i trávy jsou plodiny výrazně zlepšující půdní úrodnost, která tolik chybí v současných osevních sledech. Tato vlastnost spočívá v obohacování půdy o kvalitní biomasu kořenové hmoty a zlepšování půdních vlastností. Jeteloviny tvoří hlavní podíl pícnin na orné půdě. Jsou také významné z hlediska fixace vzdušného dusíku, zlepšují strukturu půdy a jsou vhodné jako předplodiny. Trávy dokáží vytvořit velké množství kořenové hmoty s vyšším obsahem uhlíku a zároveň přispívají k jeho ukládání do půdy. Současně podporují pohlcování skleníkových plynů.

V dočasných i trvalých travních porostech se v současnosti uplatňují i již zmíněné směsi jetelovin s travami. Výhodou více druhů ve směsi je snížení rizika kolísání produkce, kdy jeden druh může vykompenzovat úbytek jiného druhu. Proto jsou jetelovino travní směsi často výnosnější než monokulturní plodiny. Také není potřeba žádné hnojení, díky fixaci dusíku jetelovinami. Jetelovino travní směsi představují jednu z nejproduktivnějších skupin plodin. Mají mimoprodukční, půdoochrannou, zúrodňující a ekologickou funkci. Jsou vhodné také jako protierozní plodiny. Výběr vhodného typu jetelovino travní směsi závisí na podmínkách stanoviště, době využívání porostu, ale i na způsobu jeho obhospodařování a využití. Jsou také vhodné k energetickým účelům.

V této diplomové práci se hodnotí směsi vojtěšky s jetelem, štírovníkem a festuloliem a vhodnost využití těchto jetelotravních směsí ke spalování.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem diplomové práce je vyhodnotit potenciál různých jetelovinotravních směsí pro přímé spalování na základě jejich výnosové schopnosti a výhřevnosti biomasy.

Hypotézy:

Složení jetelovinotravního porostu a pořadí seče má vliv na výnos, hodnotu výhřevnosti biomasy a celkovou produkci energie z jednotky plochy.

3 Literární rešerše

3.1 Biomasa pro energetické účely

V posledních dvou stoletích se vývoj spotřeby energie na Zemi vyznačuje progresivním růstem, který souvisí jak s demografickým vývojem, tak především s industrializací lidské společnosti spojené s významným růstem spotřeby obecně. Devatenácté a dvacáté století se vyznačovalo naprosto jednoznačným trendem získávání energie z fosilních paliv. Až druhá polovina 20. století a zejména tzv. první ropná krize, se stávají bodem postupného obratu k šetrnějšímu přístupu ke zdrojům energie a významnějšímu využívání obnovitelných zdrojů (Hrdlička & Hrdlička 2006).

Evropská energetická politika podporuje postupné nahrazování fosilních paliv obnovitelnými zdroji. V Tabulce 1 je patrný podíl obnovitelných zdrojů energie. Motivací je rostoucí cena ropy, dále nutnost zajistit alespoň částečně energetickou nezávislost a nutnost snížit emise skleníkových plynů. Státy Evropské unie se zavázaly v roce 2009 dosáhnout do roku 2020 těchto cílů: 20% snížení emisí skleníkových plynů, 20 % veškeré energie EU z obnovitelných zdrojů a 20% zlepšení energetické účinnosti. Pro rok 2030 jsou dány cíle: nejméně 40% snížení emisí skleníkových plynů, nejméně 32% podíl na obnovitelné energii a minimálně 32,5% zlepšení energetické účinnosti (European commission 2020).

Biomasa patří k typu obnovitelného zdroje, který lze transformovat na teplo, elektrickou energii i na chemicky vázanou energii. Tato zcela zřejmá přednost biomasy však není obecně vázána na jakýkoliv druh a stav biomasy, ale konkrétní použití záleží na celé řadě vnějších i vnitřních faktorů. Nejvýznamnějším vnějším faktorem je obsah vody v biomase, vnitřní faktory (respektive biologické složení biomasy) jsou vázány na konkrétní druh biomasy (Hrdlička & Hrdlička 2006).

Van Loo & Koppejan (2008) uvádějí, že roste zájem o využití pevných, kapalných i plynných biopaliv pro energetické účely, a to celosvětově. Existují pro to různé důvody např.

- politické výhody (jako je snížení závislosti na dovážené ropě),
- vytváření pracovních míst (až dvacetkrát více pracovních míst než v průmyslu s uhlím nebo ropou),
- přínosy pro životní prostředí, jako je snížení emisí skleníkových plynů, snížení kyselých dešťů a zlepšení stavu půdy.

Do biomasy se řadí veškerá suchozemská a vodní vegetace a i takové materiály jako komunální tuhý odpad, odpad při zpracování dřeva a zemědělské zbytky, komunální biologické tuhé látky a některé průmyslové odpady (Klass 1998).

Biomasa, hlavně ve formě palivového dřeva, zbytků plodin nebo živočišných trusů, je hlavním zdrojem paliva pro přibližně dvě miliardy lidí a jediný zdroj energie, který je k dispozici většině lidí žijících ve venkovských oblastech třetího světa. Dále je důležitá i v rozvinutých zemích, například v USA pochází z biomasy až 4 % energie. Celkově se biomasa, která poskytuje asi sedminu světové energie, řadí na třetí místo spolu s plynem (první je hnědé uhlí, druhé jaderné palivo) (Carioca et al. 2020).

Tabulka 1: Podíl obnovitelných zdrojů energie z primárních energetických zdrojů (PEZ) a obnovitelných zdrojů energie (OZE) v roce 2017 (Veverková 2019).

| | Energie z OZE celkem [GJ] | Podíl OZE na PEZ [%] | Podíl na energii z OZE [%] |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Biomasa (mimo domácnosti) | 48 183 068 | 2,68 | 25,46 |
| Biomasa | 75 817 912 | 4,21 | 40,06 |
| Vodní elektrárny | 6 730 070 | 0,37 | 3,56 |
| Bioplyn | 25 443 789 | 1,41 | 13,45 |
| Biologicky rozl. část TKO | 3 853 432 | 0,21 | 2,04 |
| Kapalná biopaliva* | 13 140 000 | 0,73 | 6,94 |
| Tepelná čerpadla ** | 5 223 499 | 0,29 | 2,76 |
| Solární termální systémy | 827 000 | 0,05 | 0,44 |
| Větrné elektrárny | 2 127 737 | 0,12 | 1,12 |
| Fotovoltaické elektrárny | 7 896 121 | 0,44 | 4,17 |
| Celkem | 189 242 628 | 10,51 | 100,00 |

Biomasa je jedním z mála obnovitelných přírodních zdrojů, které lze využít ke snížení jak množství spálených fosilních paliv, tak emitovaných skleníkových plynů vznikajících během procesů spalování fosilních paliv. Například jedním z primárních produktů spalování fosilních paliv je oxid uhličitý, který je skleníkovým plynem, o kterém se předpokládá, že je spojen s globálním oteplováním. Oxid uhličitý může být odstraněn z atmosféry fixací uhlíku fotosyntézou v biomase (Klass 1998). S tím souhlasí i Nussbaumer (2003), který dodává, že biomasa se stává stále důležitější v oblasti ochrany klimatu.

3.1.1 Základní formy a zdroje biomasy

Biomasu vhodnou pro výrobu energie je možno podle způsobu jejího vzniku rozdělit na následující skupiny:

- zbytková biomasa,
- recyklovaná biomasa z výrobků po ukončení jejich životnosti,
- záměrně produkovaná biomasa (Havlíčková 2010).

3.1.1.1 Záměrně produkovaná biomasa

Pro energetické účely se využívají cíleně pěstované rostliny:

1) Energetické plodiny:

- lignocelulóзовé rychlerostoucí dřeviny, např. vrby, topoly nebo olše
- obilniny, např. sláma, zrno, celé rostliny,
- travnaté porosty, např. ozdobnice čínská, chřastice, trvalé travní porosty,
- ostatní rostliny,

2) Rostliny na výrobu metylesterů olejů: (olejnaté) řepka olejka, slunečnice, len, dýně na semeno a jiné,

3) Rostliny na výrobu etylalkoholu: (škrobnato-cukernaté) brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), kukuřice a jiné (Piszczalka & Jobbágy 2012).

3.1.2 Méně známé či netradiční energetické plodiny

V tropických oblastech se běžně vyskytují víceleté traviny (*Miscanthus*, *Arundo* a další) hovorově nazývané „deltská“ nebo „sloní“ tráva. Dorůstají výšky až 7 m a v ideálních tropických podmínkách produkují 66 až 88 tun z hektaru za rok s obsahem asi 45 % C, 6 % H, 0,2 % N a 3 % popelovin. Výhřevnost absolutně suché biomasy dosahuje až 18,5 MJ/kg

V našich podmínkách mají zajímavý biologický potenciál jednoleté rostliny jako je čirok cukrový, zrnový, súdánská tráva, Hyso, ale také konopí seté.

Například zmiňovaný čirok cukrový má nízké nároky na vodu a má vysoký výnos (54 – 69 t/ha) ve srovnání s cukrovou třtinou, která vyžaduje třikrát více vláhy. Odolává biotickým a abiotickým faktorům a má nízké požadavky na hnojení. Proto je považován za plodinu s nízkými vstupy a nízkými náklady (Almodares & Hadi 2009). Výhřevnost čiroku se pohybuje kolem 17 – 19 MJ/kg (Pannacci & Bartolini 2018).

Z vytrvalých rostlin je velmi perspektivní planě rostoucí křídlatka z čeledi *Polygonum*, která má vysokou energetickou výtěžnost až kolem 37,50 t/ha. Velký potenciál má i krmný šťovík (kříženec špenátu a šťovíku ťanšanského), který má výnos 43 t/ha (Pastorek et al. 2004), který je podle Ušáka et al. (2020) jednou ze slibných energetických plodin. Je vhodný jak pro spalování, tak pro výrobu bioplynu. Jako biopalivo vykazuje relativně vysokou výhřevnost v suchém stavu, asi 18 MJ/kg.

3.1.3 Získávání energie z biomasy

Z principiálního hlediska lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy, které jsou znázorněny i v Tabulce 2:

- A) Termochemická přeměna biomasy (suché procesy pro energetické využití biomasy):
 - spalování,
 - zplyňování,
 - pyrolýza,
- B) biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy pro energetické využití biomasy):
 - alkoholové kvašení,
 - metanové kvašení,
- C) chemická přeměna biomasy:
 - esterifikace surových bioolejů,
- D) získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování, aerobním čištění odpadních vod, anaerobní fermentaci pevných organických odpadů apod.)

Přestože existuje více způsobů využití biomasy k energetickým účelům, v praxi převládá ze suchých procesů spalování biomasy a z mokrých procesů výroba bioplynu anaerobní fermentací. Z ostatních způsobů dominuje výroba metylesteru kyselin bioolejů, získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin (Pastorek et al. 2004). Gray et al. (2006) dodávají, že dalším z nejběžnějších obnovitelných paliv je dnes etanol získávaný ze škrobu kukuřičného zrna a sacharózy cukrové třtiny. Při zvyšování výroby etanolu by byla vhodná i lignocelulózová biomasa.

Tabulka 2: Vhodnost aplikace různých způsobů konverze biomasy k energetickým účelům (Pastorek et al. 2004).

| Druh biomasy | Ostatní procesy | | Suché procesy | | | Mokré procesy | | |
|--|-----------------------|---|---------------|------------|----------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| | Esterifikace bioolejů | Získávání odpadního technologického tepla | Spalování | Zplynování | Pyrolýza | Alkoholová fermentace | Aerobní fermentace | Anaerobní fermentace |
| Energetické plodiny lignocelulóзовé (dřevo, sláma, pícniny, obiloviny) | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Olejnate plodiny (řepka, slunečnice, len) | 3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Energetické plodiny škrobnaté nebo cukernaté (brambory, cukrová řepa, obiloviny) | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 3 |
| Odpady z živočišné výroby (exkrementy, mléčné odpady) | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 3 |
| Organický podíl komunálních odpadů | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0 | 1 | 3 |
| Organický odpad z potravinářské nebo jiné průmyslové výroby | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 |
| Odpady z dřevařských provozoven | 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Odpady z lesního hospodářství | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a z péče o krajinu | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 |
| Získané produkty | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |

Legenda:

- 0 – nelze použít nebo se v praxi nevyužívá
- 1 – technicky zvládnutelná technologie, avšak v praxi nepoužívaná
- 2 – vhodné jen pro určité technicko-ekonomické podmínky
- 3 – často používaná technologie
- I – olej, metylester, II – teplo vázané na nosič, III – teplo vázané na nosič, IV – hořlavý plyn (metan), V – pevné palivo, dehtový olej, plyn, VI – etanol, metylalkohol, VII – teplo vázané na nosič, VIII – metan.

3.1.4 Spalování biomasy

Cílem pěstování energetické biomasy je dosažení vysokých energetických výnosů na jednotku plochy (GJ/ha) a co nejlepší kvality paliva. Energetický výnos zahrnuje výnos biomasy a energetický obsah biomasy. Kvalita paliva je určena fyzikálními a chemickými vlastnostmi a ovlivňuje celý proces tepelného využití (Prochnow et al. 2009). Tahir et al. (2011) dodávají, že nízký obsah vlhkosti, nízký obsah popela, alkalických kovů a vysoký obsah vlákniny jsou žádoucími vlastnostmi plodiny, která má být použita jako zdroj bioenergie.

Nussbaumer (2003) uvádí, že spalování je osvědčenou technologií pro výrobu tepla a energie a jeho účinnost při výrobě tepla je značně vysoká. Dle Skály (2007) a Ma et al. (2018) je přímé spalování nejběžnější a také nejvíce využívaný způsob přeměny biomasy na teplo nebo elektrickou energii. Celosvětově, z devadesáti procent, je energie získávána z biomasy právě tímto způsobem, díky relativně pokročilým znalostem této technologie a komerční dostupnosti. Carioca et al. (2020) dodává, že přímé spalování je také nejlevnější způsob přeměny biomasy na energii.

Van Loo & Koppejan (2008) publikovali, že pro další užívání spalování biomasy je však nutné optimalizovat technologii spalování tak, aby splňovala požadavky na nižší náklady, nižší emise a zvýšenou účinnost.

Při spalování biomasy vznikají stejné základní látky jako při spalování jiných organických paliv. Jedná se především o CO_2 a H_2O . V závislosti na průběhu a podmínkách spalovacího procesu a na sloučeninách obsažených v biomase vzniká množství znečišťujících látek. V první řadě jde o oxid uhelnatý, který je produktem nedokonalého spalování. V případě dostatečné teploty spalování a dostatečného množství spalovacího vzduchu je CO oxidován na CO_2 a jeho emise jsou minimální. Dále se jedná o oxidy dusíku NO_x . V případě vysokých teplot, které ale při spalování biomasy nejsou obvyklé, vznikají především termické NO_x , při teplotách běžných pro spalování biomasy (700 až 900 °C) vznikají především palivové NO_x , z dusíku obsaženého v palivu. Síra je v biomase obsažena v minimálním množství, a proto emise SO_2 z jejího spalování jsou velmi nízké (Pastorek et al. 2004).

K přímému spalování biomasy se využívají dva typy kotlů, buď s pevným/pohyblivým roštem nebo fluidním ložem. Roštové typy kotlů jsou velmi běžné a patří sem běžně užívaná zařízení v domácnostech, jakož i velkokapacitní průmyslová zařízení s výkonem 50 MW schopná zvládnout spalování velmi rozdílných materiálů. Zařízení s fluidním ložem jsou atraktivní v případech, kdy výkon jde nad 10 MW. Jejich hlavní výhodou je schopnost zužitkovat směsi různých typů biomasy, nebo je spalovat spolu s ostatními palivy (Koukios 2002).

3.1.5 Chemické složení biomasy

Biomasa se skládá z následujících hlavních složek:

- stavební složky,
- popeloviny,
- extrahovatelné složky,
- voda.

Stavební složky: celulóza, hemicelulóza, lignin; 70 až 90 % suché hmoty rostliny.

Extrahovatelné složky: pryskyřice, vosky, pigmenty; 4 až 20 % suché hmoty rostliny.

Popeloviny: anorganické sloučeniny obsažené v rostlině; 0 až 6 % suché hmoty.

Voda: v původní vegetační hmotě cca 40 až 60 % (Hrdlička & Hrdlička 2006).

Biomasa se skládá z vlastního materiálu – organické struktury paliva, která je bohatá na kyslíkaté, sirmé a dusíkaté látky. Z hlediska zastoupení prvků v biomase lze říci, že biomasa dřevního charakteru je obecně považována za palivo nízkoalkalické a má nižší koncentrace chloru a vyšší koncentrace síry. Rostlinná biomasa je považována naopak za palivo vysokoalkalické, s vyšším obsahem chloru a nižším obsahem síry. Chlor a síra v biomase se podílejí na nežádoucích korozivních procesech kotlových těles, pokud je biomasa využívána k získávání energie spalováním (Voláková 2010).

Chemické vlastnosti travní biomasy a jejich dopady shrnul Obernverger et al. (2006). Obsah uhlíku, vodíku a kyslíku, které jsou hlavními složkami biopaliv, má zvláštní význam pro spalné teplo. Obsah vodíku také určuje spalné teplo. Obsah dusíku je odpovědný za tvorbu oxidů dusíku a neměl by překročit 0,6 % hmotnosti v sušině. Oxidy dusíku patří k hlavním faktorům dopadu spalování biopaliv na životní prostředí. Chlor a síra jsou odpovědné za tvorbu usazenin, koroze, emisí aerosolů a oxidů síry. Koncentrace síry i chloru by měly být v sušině nižší než 0,1 %. Obsah popela ovlivňuje výběr vhodné technologie spalování a ovlivňuje tvorbu usazenin. Hlavní prvky tvořící popel jsou hliník, vápník, železo, draslík, hořčík, sodík, fosfor, křemík a titan. Tyto prvky mají význam při tavení popela, tvorbě usazenin a koroze.

3.1.5.1 Obsah popela v různých typech biomasy a uhlí

Obsah nespalitelných látek v sušině je variabilní (Hrdlička & Hrdlička 2006). Biomasa zemědělských plodin a travních porostů se vyznačuje variabilním a poměrně vysokým (viz Tabulka 3) obsahem nespalitelných látek v sušině (obvykle 3 % a více) (Val Loo & Koppejan 2008). Vysoký obsah popela v biomase způsobuje při jejím spalování řadu problémů, zejména pokud obsahuje hodně draslíku. Popel se taví při nízkých teplotách, což má za následek znečištění spalovacího prostoru. Tvorba tvrdých útvarů z roztaveného popela může poškodit mechanické části pecí. Naopak dřevo (bez kůry) má méně než 1 % popela. Kůra může obsahovat až 3 % popela (Clarke et al. 2011).

Librenti et al. (2010) uvádí, že obsažený popel obsahuje hlavně vápník, draslík, hořčík a fosfor. Tavitelnost popela je klíčovým parametrem pro hodnocení výnosu biomasy. To úzce souvisí s chemickým složením popela a zejména s jeho obsahem alkalických prvků. Obsah popela v biomase se stanovuje jejím spálením při teplotě 550°C v muflové peci.

Tabulka 3: Obsah popela v jednotlivých typech biomasy (Van Loo & Koppejan 2008).

| Typ biomasy | Obsah popela (%) |
|-------------------------|------------------|
| Kůra | 5 – 8 |
| Dřevěná štěpka s kůrou | 1 – 2,5 |
| Dřevěná štěpka bez kůry | 0,8 – 1,4 |
| Piliny | 0,5 – 1,1 |
| Odpadní dřevo | 3 – 12 |
| Škrob a obiloviny | 4 – 12 |
| Ozdobnice (Miscanthus) | 2 – 8 |
| Uhlí | 5 – 45 |

3.1.6 Výhřevnost a spalné teplo

Výhřevnost udává energii dostupnou v palivu na jednotku hmotnosti v MJ/kg (J/g) (viz Tabulka 4). Čistá hodnota spalného tepla je skutečná energie dostupná pro přenos tepla. Rozdíly ve výhřevnosti různých paliv závisí na chemickém složení paliva, vlhkosti a obsahu popelovin. Například většina zemědělských zbytků má hodnoty výhřevnosti v rozmezí 14-19 MJ/kg. Výhřevnost uhlí se pohybuje v rozmezí 17-30 MJ/kg (Clarke et al. 2011). Výhřevnost zcela zdravého a suchého dřeva je poměrně vysoká, u listnáčů je to 18 MJ/kg, u jehličnanů 19 MJ/kg. Stejně hodnoty výhřevnosti mají stébelniny, zejména sláma obilovin a traviny. To je asi necelá polovina výhřevnosti ropných paliv (Pastorek et al. 2004).

Pastorek et al. (2004) dále uvádějí, jaký má na výhřevnost vliv vlhkost. Biomasa vždy obsahuje nejméně 10 % vody, v průměru mají dřevo i štěpka provětrávané a skladované pod střechou asi 30 % vlhkosti. Vlhkost slámy v balících uskladněných v halových skladech dosahuje 14 až 16 %. Při hoření se tato voda odpařuje a tím snižuje základní výhřevnost sušiny biomasy.

Na výhřevnost má vliv také obsah popela. Jenkins et al. (1996) říkají, že čím je větší koncentrace popela, tím se snižuje výhřevnost biomasy.

Vysokou výhřevnost má i lignifikovaná biomasa, a proto je žádoucí kvůli vysokému obsahu uhlíku v ligninu (Lewandowski & Kicherer 1997).

Existují dvě varianty výhřevnosti:

- Spalné teplo (Higher heating value - HHV) – množství tepla uvolněného úplným spalováním hmotnostní jednotky vzorku při konstantním objemu v kyslíkové atmosféře a za standardních podmínek (101,3 kPa, 25°C). HHV bere v úvahu latentní teplo odpařované vody.
- Výhřevnost (Lower heating value - LHV) – naopak nezahrnuje teplo kondenzace vody (Librenti et al. 2010).

Spalné teplo (HHV) je nejdůležitější vlastnost paliva, která určuje jeho energetickou hodnotu (Erol et al. 2010). Özyuguran & Yaman (2017) publikovali, že biomasa je jedním z obnovitelných a udržitelných zdrojů energie, který nevede k emisím skleníkových plynů. Efektivní využívání biomasy může pomoci k vyřešení problémů vyplývajících z fosilních paliv. Hlavní obavou související s využíváním této energie je však nižší výhřevnost, proto je spalné teplo klíčovým parametrem pro hodnocení kvality paliva biomasy.

Zároveň lze také využít odhadu spalného tepla na základě chemického složení biomasy, jelikož většinu její organické části tvoří makromolekulární složky, jako je hemicelulóza, celulóza a lignin. (Basu 2010).

Spalné teplo je silně závislé na vlhkosti biomasy. Například při vlhkosti 50 % je pouze 9,5 GJ/t. Při vlhkosti do 20 % vhodné pro přímé spalování ve většině kotlů s nižším výkonem je spalné teplo chrastice 14,7 GJ/t (Stražil et al. 2011).

HHV lze stanovit experimentálně v laboratoři pomocí adiabatického kalorimetru. Asi 1 g vzorku se umístí do kelímku a poté se vloží do bomby, která se následně naplní kyslíkem. Bomba je umístěna uvnitř kalorimetru, který se plní vodou a vzorek se zapaluje elektricky. Výsledné zvýšení teploty vody umožňuje vypočítat HHV. LHV se počítá bez vlhkosti vzorku a vody, která se tvoří při spalovací reakci. V praxi se hodnota získá odečtením kondenzace tepla vody produkované během spalování na HHV (Librenti et al. 2010).

Tabulka 4: Hodnoty výhřevnosti v J/g u jednotlivých typů biomasy a fosilních paliv (Ronak Briquetting Press Manufacturer, 2014).

| Typ paliva | Přibližná hodnota výhřevnosti J/g | |
|---|-----------------------------------|---------------|
| | Čerstvá hmota | Suchá hmota |
| Biomasa | | |
| Dřevo | 6300 | 14700 |
| Dobytčí trus | 4200 | 15500 |
| Obilná a řepná sláma | 10000 | 10500 |
| Třtinový odpad, listy a zbytky zeleniny | 12500 | 12500 |
| Kokosové slupky, suchá tráva, zbytky plodin | 14600 | 14600 |
| Skořápky podzemnice olejné | 16700 | 16700 |
| Rašelina | 27000 | 27000 |
| Fosilní paliva | | |
| Uhlí | | 16700 - 29300 |
| Koks | | 27200 |
| Dřevěné uhlí | | 29300 |
| Petrolej a nafta | | 41900 |
| Benzín | | 45200 |
| Zemní plyn | | 36000 |
| Bioplyn | | 19700 - 25000 |

3.1.7 Porovnání biomasy s fosilními palivy

Biomasa jako surovina ke spalování nabízí důležité výhody jako těkavost paliva a vysoká reaktivita paliva. Ve srovnání s pevnými fosilními palivy biomasa obsahuje mnohem méně uhlíku a více kyslíku, více oxidu křemičitého a draslíku, méně hliníku a železa, a má nižší výhřevnost, vyšší vlhkost, nižší hustotu a drobnost. Vysoký obsah vlhkosti a popelovin v biomase může způsobit problémy se zapálením a spalováním (Demirbas 2002). Demirbas (2002) také předpokládá, že mísení biomasy s kvalitnějším uhlím může snížit problémy se stabilitou spalování.

3.1.7.1 Spoluspalování biomasy s uhlím

Tumuluru et al. (2012) uvádějí, že roste zájem o využívání většího množství biomasy k výrobě energie na mezinárodní úrovni, a to vzhledem k potenciálu jejích environmentálních výhod a dlouhodobé udržitelnosti. Samotné využívání biomasy k výrobě energie však podléhá vážným výzvám, jako je spolehlivost, kvalita a stabilita dodávek surovin a také náklady, pokud není biomasa dodávána z místních zdrojů. Spalování biomasy spolu s uhlím nabízí několik výhod, mezi ně patří snižování problémů souvisejících s kvalitou biomasy, není nedostatečné množství surovin a snižují se náklady na přizpůsobování stávajících uhelných elektráren výhradně pro zásobování biomasou.

Modernější typy kotlů, v nichž se biomasa spaluje s uhlím, rašelinou nebo jinými palivy, jsou vysoce efektivní vzhledem k spalovanému množství a omezení rizika nedostatku paliva, protože lze kompenzovat sezónní výkyvy v dodávkách biomasy využitím jiných druhů paliv (Koukios 2002).

S tímto tvrzením souhlasí Demirbas (2002), který uvádí, že společné spalování biomasy s uhlím vedlo ke zvýšení účinnosti kotle, snížení nákladů na palivo a snížení emisí dusíku a fosilního oxidu uhličitého. Dále říká, že každá tuna biomasy, která se spaluje přímo, snižuje emise fosilního CO₂ o více než 1 t.

Hughes (2000) doplňuje, že společným spalováním biomasy s uhlím může dojít k přínosům pro životní prostředí, zejména ke snižování emisí skleníkových plynů.

3.1.8 Výhody biomasy

Hlavní výhodou biomasy oproti fosilním palivům je její nevyčerpatelnost jako zdroje energie (Ochodek et al. 2007). Navíc poskytuje přibližně 14 % světové energetické potřeby, přičemž produkce je obvykle z nevyužitých a nežádoucích produktů konkrétního procesu (Demirbas 2004).

Podle autorů Carioca et al. (2020) zemědělská a lesní odpadní hmota byla v poslední době stále častěji zkoumána jako možný zdroj energie. Výhodami těchto potencionálních zdrojů energie jsou – produkce z místních zdrojů, obnovitelnost zdroje energie a čistá přeměna bez zatížení životního prostředí. Biokonverze organických biologicky rozložitelných zdrojů je navíc atraktivní a její technologie neznečišťují prostředí. Demirbas (2004) říká, že používání biomasy poskytuje značné výhody, pokud jde o životní prostředí. Biomasa absorbuje oxid uhličitý během růstu a emituje ho během spalování. Proto využití biomasy jako paliva pro výrobu energie, nabízí výhodu obnovitelného a CO₂ neutrálního paliva.

3.1.9 Nevýhody biomasy

Monokulturní energetické plantáže po delší dobu mohou vést k problémům s erozí půdy, s chorobami plodin, sníženou produktivitou atd. Na druhé straně je střídání plodin nebo meziplodin vhodnější pro udržení úrodnosti půdy, ekologické rovnováhy a celkové soběstačnosti. Dále vzhledem k tomu, že biomasa je sezónním zdrojem, je její dostupnost jako zdroje paliva časově omezená (Carioca et al. 2020).

Özyuguran & Yaman (2017) dále uvádějí, že hlavním problémem souvisejícím s využitím biomasy je to, že energetická hustota biomasy je obvykle nižší než u fosilních paliv, jako je uhlí. Výhřevnost biomasy je pak výrazně ovlivněna obsahem vlhkosti. S tímto souhlasí Vassilev et al. (2015), kteří také považují vysokou vlhkost v biomase jako nevýhodu. Dále také popisují jako nevýhodu obsažené alkalické a halogenové prvky a některé nebezpečné stopové prvky v biomase, nižší hodnoty výhřevnosti nebo vysoce variabilní složení a její vlastnosti. Tento kolektiv autorů zmiňuje, že ačkoli nevýhody biomasy převažují nad výhodami, zdá se však, že hlavní environmentální, ekonomické a sociální přínosy kompenzují například nepříznivé složení a vlastnosti biomasy.

3.1.10 Výnosy plodin

V České republice se ekonomicky využitelný potenciál biomasy pohybuje okolo 10 milionů tun suché hmoty za rok. Při průměrné výhřevnosti 16 GJ na tunu sušiny toto množství odpovídá energii asi 158 109 MJ/rok. V ČR je zdrojem energetické biomasy především dřevní odpad z dřevozpracujícího průmyslu a lesní těžby. Využívají se vedlejší produkty ze zemědělské produkce (obilní, řepková sláma). Energetický zdroj mohou představovat dřevěné a lepenkové nekontaminované obaly, ale i energetické rychlerostoucí dřeviny a energetické byliny a traviny (Ochodek et al. 2007). Jejich odhadovaná produkce je znázorněna v Tabulce 5.

Syrový et. al (2014) uvádějí, že výnosy trvalých travních porostů se v celostátním průměru pohybují mezi 3,0 až 3,6 t/ha v přepočtu na seno. Výnosy v přepočtu na seno se u vojtěšky pohybují mezi 7,8 a 8,4 t/ha a jetele lučního 7,4 až 8,6 t/ha.

Podle Hakla (2014) patří dosahovaný výnos sušiny jednoznačně mezi rozhodující kritéria ovlivňující ekonomickou efektivnost výroby píce. Pěstování jetele lučního i ve směsích s travami je běžnou praxí a stále častěji se hovoří o pěstování vojtěškotravních směsí. V důsledku efektivnějšího využívání abiotických faktorů jsou vojtěškotravní porosty často výnosnější nežli vojtěška v monokultuře. Je to také proto, že je vojtěška ve směsi s trávou schopná zpřístupnit symbioticky fixovaný dusík travní složce. U těchto směsí dochází k vzájemným doplněním sezónních růstových rozdílů, kdy travní složka bývá produktivnější na jaře a vojtěška v létě.

Tabulka 5: Odhad produkce energetických paliv v České republice (Ochodek et al. 2007).

| Druh paliva | Zdroj | Produkce [t/r] |
|---|--|----------------|
| dřevo, kůra | odpady z lesní těžby a řezozpracujícího průmyslu, prozeřávky | 2 600 000 |
| sláma obilovin | 25 % celkové sklizně slámy při výnosu 4 t/ha | 1 600 000 |
| sláma olejnin | do 100 % celkové sklizně při výnosu 4 t/ha | 1 000 000 |
| traviny, rákos | cca z 20 % trvalých porostů při výnosu min. 2 t/ha | 800 000 |
| dřevní šrot, obaloviny a spalitelný komunální odpad | odpadové dřevo a obaly | 600 000 |
| polní dřevo a energetické obilí | účelově pěstované na půdě vyčleněné z výroby potravin | 4 000 000 |

3.1.11 Ekonomická stránka pěstování biomasy

S rostoucí poptávkou po biomase pro energetické účely se stává stále důležitější otázka, jakou bude mít biomasa v budoucnosti cenu. To je totiž jedním ze základních faktorů rozhodování jak investorů do využití biomasy pro výroby elektřiny a tepla, tak i subjektů, které by chtěly začít podnikat v oblasti cíleného pěstování biomasy pro energetické účely (Havlíčková 2010).

Havlíčková & Knápek (2011) souhlasí s tím, že cena biomasy je důležitým faktorem pro rozlišení mezi „teoretickým“ potenciálem energie v dané formě biomasy a potenciálem, který je možné reálně využít vzhledem k trhu s biomasou a dalšími energetickými komoditami. Často nastává situace, kdy je potenciál určité formy biomasy relativně velký, ale náklady na její získání jsou takové, že je z ekonomického hlediska nereálné jej využít. A zároveň autoři dodávají, že při odhadování ceny biomasy, resp. jednotlivých jejích forem, hraje roli řada skutečností. Jednou z nich je vztah mezi poptávkou a nabídkou na příslušném trhu. Nicméně je možné při odhadech budoucí ceny biomasy vycházet i z ekonomických modelů, které simulují procesy nezbytné pro získání dané formy biomasy, a které zohledňují očekávání investora na zhodnocení jím vloženého kapitálu. Pracuje se zde s předpokladem, že výstupy z takovýchto modelů představují tzv. dlouhodobé marginální náklady. To znamená, že za předpokladu dlouhodobé poptávky po biomase (v určité výši) se dlouhodobě ustálí cena biomasy.

Z ekonomického hlediska travní biomasa pro spalování konkuruje nejen fosilním palivům. V případě energetických trav i konvenčním a jiným bioenergetickým plodinám (Prochnow et al. 2009). Tito autoři dále uvádějí, že náklady na dodávku biomasy závisí hlavně na výnosech a technologiích těžby, zatímco náklady na spalování jsou ovlivněny velikostí a technickým designem zařízení. Pro ziskovost jsou rozhodující tržní ceny travní biomasy a možné dotace na využívání půdy. Pastorek et al. (2004) dodávají, že vliv může mít i tlak ekologické legislativy.

Podle Strašila et al. (2011) je ekonomika pěstování z pohledu potenciálních pěstitelů klíčovou otázkou, která v konečné fázi ovlivňuje jejich rozhodnutí o tom, zda budou plodiny za určitým účelem pěstovat či nikoliv. Jako příklad uvádějí porovnání pěstování fytomasy travních porostů na spalování a na bioplyn (viz Tabulka 6), podle kterého je zřejmé, že pěstování trav na bioplyn je dražší než na spalování.

Tabulka 6: Modelové náklady na pěstování trav podle jednotlivých sledovaných ukazatelů (Strašil et al. 2011).

| Plodina | pěstovaná na spalování | | | | pěstování na bioplyn | |
|-----------|------------------------|---------------|--------------------|---------------|----------------------|--------------------|
| | letní sklizeň | jarní sklizeň | letní sklizeň | jarní sklizeň | za sezónu | |
| | Kč.ha ⁻¹ | | Kč.t ⁻¹ | | Kč.ha ⁻¹ | Kč.t ⁻¹ |
| Sveřep | 10 879 | 8 376 | 1 876 | 1 571 | 17 306 | 2 545 |
| Chrastice | 10 759 | 8 800 | 1 855 | 1 651 | 17 471 | 2 569 |
| Ovsík | 11 326 | 8 871 | 1 562 | 1 408 | 17 601 | 2 080 |
| Srha | 10 796 | 8 293 | 1 389 | 1 489 | 17 410 | 1 989 |

3.2 Biomasa travních porostů

Mezi travní porosty lze řadit trvalé travní porosty a dočasné travní a jetelovinotravní porosty na orné půdě.

3.2.1 Trvalé travní porosty

Trvalé travní porosty (TTP), mezi které patří louky a pastviny, zaujímají v České republice téměř 25 % zemědělské půdy. Jejich zastoupení a hospodářský význam stoupá s nadmořskou výškou. V kukuřičné a řepařské výrobní oblasti se omezují téměř výhradně na plochy, které jsou podmáčené, svažité nebo kamenité. Jejich podíl na celkové výměře zemědělské půdy nepřesáhne obvykle 5 % a jako zdroj píce mají menší význam. V oblasti bramborářské zaujímají 20 až 30 % a v horské oblasti již 30 až 70 % zemědělské půdy a jsou hlavním zdrojem píce. Podíl luk na trvalých travních porostech se pohybuje kolem 70 % (Gerndtová et al. 2018). Gerndtová et al. (2018) dále uvádějí, že u TTP odpadají náklady na zpracování půdy a zakládání porostů. Většinu nákladů tvoří náklady na sklizeň a ošetřování porostů. TTP mají kromě produkční funkce velký význam i z ekologického hlediska, tvorby a ochrany krajiny a životního prostředí. Zajišťují ochranu půdy před erozí na svažitých pozemcích a v zaplavovaných územích kolem vodních toků.

Vytrvalé energetické plodiny mohou oproti tradičním pěstovaným jednoletým plodinám nabídnout mnoho výhod. Tyto alternativní plodiny mohou kromě podpory venkovské ekonomiky poskytovat environmentální výhody a cenné surovinové zdroje. Tyto plodiny mohou zlepšovat udržitelnost zemědělství prostřednictvím diverzifikace plodin, snížením eroze půdy, zlepšením kvality vody a podporou původních druhů volně žijících živočichů (Tolbert & Schiller 1996).

Jedním z nejslibnějších zdrojů biomasy jsou lignocelulózy plodiny, které lze použít k výrobě biopaliva a také jako jediný levný zdroj, který lze použít pro udržitelnou produkci velkého množství paliv (Yang & Wyman 2007).

Biomasa, která je vysoce lignifikovaná, je pro svůj vysoký obsah uhlíku v ligninu žádaná pro výslednou vysokou výhřevnost (Lewandowski & Kicherer 1997), oproti fosilním palivům je její výhřevnost přesto nižší, jak zmiňují Krishnan et al. (2018). Hlavní kandidát na bázi lignocelulózy jsou podle Lewandowskiho et al. (2003) vytrvalé trávy.

Bohužel, trávy využívané k energetickým účelům mají velký obsah popelovin, zatímco například kukuřice nebo piliny mají nízký obsah popelovin. Nižší obsah popelovin může být pro spalování vhodnější (Ma et al. 2018).

Vlastnosti paliva biomasy travních porostů se liší v širokém rozmezí. Fáze vegetace je hlavním faktorem ovlivňujícím chemické složení i některé fyzikální vlastnosti (Prochnow et al. 2009). Burvall (1997) dále uvádí, že mnohé výzkumy zabývající se biomasou travních porostů došly ke zjištění, že kvalita biopaliv se zlepšuje se zpožděnou sklizní.

Hadders & Olsson (1997) říkají, že na rozdíl od sklizně na konci léta má jarní sklizeň vyšší kvalitu. Zpožděná sklizeň vede ke snížení koncentrace většiny prvků, které jsou při

spalování nežádoucí, jako je dusík, síra, chlor nebo draslík. Výjimkou je oxid křemičitý, jehož koncentrace se v zimě zvyšuje.

Existují tři hlavní důvody, proč opožděná sklizeň zlepšuje vlastnosti biopaliv. Jedním je fakt, že se stářím rostlin se zvyšuje podíl stonků a ubývá biomasy listů (Christian et al. 2006). Většina živin se nachází v listech a ve stoncích jich je už méně (Burner et al. 2008). Druhý důvod je, že se živiny přesouvají a umisťují v kořenech rostlin a tento proces může probíhat nebo být dokončen před sklizní. Posledním důvodem je možnost vyluhování živin z vegetace za pomoci srážek (Prochnow et al. 2009).

Pro travu jako biopalivo je upřednostňován režim s jednou pozdní sečí a nízkou úrovní hnojení. Spalování trávy je možné jako samostatné spalování biomasy nebo společné spalování s jinými palivy (Prochnow et al. 2009). Dále Prochnow et al. (2009) uvádějí, že pokud jde o biogeochemické cykly, vlastností spalování je skutečnost, že žádný uhlík biomasy a dusík odebraný při sklizni se nemůže navrátit zpět do půdy. Tato skutečnost se může například kompenzovat fixací dusíku poskytovaného jetelovinami a luskovinami.

Ve snaze snížit emise skleníkových plynů, rozšířit domácí produkci energie a udržet ekonomický růst, se veřejné i soukromé investice orientují na pěstování specializovaných plodin pro výrobu biopaliv. Na rozdíl od potravinářských plodin pěstovaných na bázi obilného etanolu (např. kukuřice), které vyžadují vysoké vstupy hnojiv a pesticidů a obvykle se pěstují na kvalitní zemědělské půdě, mají energetické plodiny na bázi lignocelulózy (např. proso prutnaté) typicky neutrální nebo negativní uhlíkovou stopu a vyžadují relativně málo ekonomických a environmentálních vstupů a lze je pěstovat na marginálních půdách s nižší produktivitou (DiTomaso et al. 2007). Ketzer et al. (2017) dodávají, že se zvyšujícími se požadavky na snižování emisí skleníkových plynů a z dlouhodobého hlediska rostoucími cenami energie přitahují potenciály travních porostů biomasy větší pozornost.

3.2.2 Jetelotravní směsi, vojtěškotravní směsi

Jetelovinotravní směsi se hojně používají, protože většího celkového výnosu lze dosáhnout spíše pěstováním trav a jetelovin ve směsi než v monokulturních porostech. Trávy mají obvykle konkurenční výhodu nad jetelovinami a mají tendenci dominovat na pastvinách, ale pro udržení vysoké produktivity pastvin je žádoucí rovnováha mezi oběma složkami porostu (Haynes 1980). Kobes (2012) dodává, že monokultury vykazují oproti směsným společenstvům vyšší výnosy pícní biomasy v 1. a 2. užitkovém roce, od 3. užitkového roku jsou častěji výnosnější směsi než monokultury. Aponte et al. (2019) uvádějí, že v roce založení dominuje ve směsi vojtěška (77 – 99 % celkové biomasy), zatímco po zestárnutí porostu zvyšují svůj podíl trávy. Ve třetím roce tito autoři zaznamenali ve směsi 50 % trav z celkové biomasy.

Výsev travních a jetelovinotravních směsí může být dobrou volbou pro zlepšení zdraví půdy v souvislosti se zvýšenou produktivitou píce a čistého zisku farmy z produkce sena (Dhakal & Islam 2018). Směs jetelovin s travami má vyšší perzistenci a lepší výživnou hodnotu píce (Aponte et al. 2019).

Kobes (2012) uvádí, že jetelovinotravní směsi představují díky nízkým nákladům na pěstování jednu z nejproduktivnějších a ekologicky nejvhodnějších skupin plodin. Oproti ostatním plodinám mají vysokou produktivitu a podstatně lepší mimoprodukční, zejména půdoochranné a zúrodňující schopnosti.

Jetelovinotravní směsi plní funkci půdoochrannou, protierozní a ekologickou. Jeteloviny i trávy zanechávají velké množství opadanky, posklizňových zbytků i kořenové hmoty. Jeteloviny navíc zpřístupňují živiny z hůře přístupných forem v půdě. Proto jsou jetelovinotravní směsi nejvhodnějšími protierozními rostlinami na orné půdě.

Trávy čerpají vláhu i živiny z povrchových vrstev půdy, a na vláhu jsou náročnější než jeteloviny. Z živin tvávy odebírají více draslík a dusík. Jeteloviny hlouběji zakořeňují, čerpají vláhu i živiny z hlubších vrstev a z jednotlivých živin odebírají více fosfor, vápník a hořčík. Na neúrodných půdách horských a podhorských poloh nelze pěstovat samotné jeteloviny, jsou zde kyselé půdy s nedostatečným množstvím rhizobií, a proto jsou samotné jeteloviny nevýnosné (Kobes 2012).

Vojtěška setá (*Medicago sativa* L.) patří mezi nejvýznamnější druhy z čeledi vikvovitých, využívá se zejména jako monokultura. Ve směsích s travami se více uplatňuje jetel luční (*Trifolium pratense* L.) (Skládanka et al. 2014). Hlavním významem uvedených jetelovin je především produkce kvalitní bílkovinné píče, kde v celkové výrobě dusíkatých látek při velice příznivých nákladech na jednotku plochy nemají konkurenci (Hakl 2014). Pro jetelotravní porosty na orné půdě se využívají většinou volně trsnaté druhy trav, jako je jílek mnohokvětý (*Lolium multiflorum* Lam.), srha laločnatá (*Dactylis glomerata* L.), kostřava luční (*Festuca pratensis* Huds.) nebo jílek vytrvalý (*Lolium perenne* L.) (Skládanka et al. 2014).

Skládanka & Knot (2014) uvádějí, že výhody pěstování jetelotravních, resp. vojtěškotravních směsek vyplývají z odlišných biologických vlastností a odlišného živinového složení trav a jetelovin. Výhody pěstování směsek ve srovnání s čistým porostem jsou následující:

- vyvážený obsah cukrů (trávy) a dusíkatých látek (jeteloviny),
- lepší silážovatelnost díky cukrům obsaženým v travách,
- lepší pokrývnost půdy a tím vyšší odolnost proti zaplevelení,
- trávy kompenzují ústup jetelovin od druhého užitkového roku,
- alternace druhů v případě nepříznivých povětrnostních podmínek umožní do určité míry stabilizovat produkci v jednotlivých užitkových letech,
- vyšší odolnost drnu vůči zátěži,
- vyšší odolnost proti poléhání porostu.

Rozdělení jetelotravních směsí:

- Krátkodobé jetelotravní směsi (1 – 3 užitkové roky) – Do těchto směsí se zařazují vysoké volně trstnaté trávy a vysoké druhy jetelovin, zpravidla 2 – 3 druhy celkem. Převažují jeteloviny (65 % – 90 %), trávy tvoří menší podíl.
- Dočasné jetelotravní směsi (4 – 7 užitkových let) – Zařazují se především vysoké druhy trav a jetelovin, celkem 4 – 6 druhů. Poměr jetelovin a trav činí 40 – 60 % a 60 – 40 % jetelovin.
- Trvalé travní porosty (doba užívání více než 7 let) – Převládají zde trávy (75 – 85 %), více zastoupeny jsou i nízké a výběžkaté druhy, jeteloviny mají nižší zastoupení (15 – 25 %). Celkový počet zařazených druhů je 6 – 10 (Kobes 2012).

3.2.3 Botanická charakteristika

Čeleď bobovité (*Fabaceae*) je jednou z největších čeledí rostlinné říše, která obsahuje některé druhy pícnin, které jsou hojně využívány (Reynolds & Frame 2005). Rody jetel (*Trifolium*) a tolíce (*Medicago*) hrají nesmírně cennou roli při pastvě a ochraně přírody.

Výhody krmných luskovin jsou nejen v oblasti fixace dusíku, ale také ve vynikající hodnotě ve výživě hospodářských zvířat ve srovnání s travami (Reynolds & Frame 2005).

Jetel luční (*Trifolium pretense*)

Je nejen důležitým pícním druhem s kvalitním obsahem bílkovinných a minerálních látek, ale i podstatným článkem osevního postupu pro zlepšování úrodnosti půdy, což stále více nabývá na významu (Kraus & Říha 2016).

V České republice jsou plochy čistých porostů jetele lučního na orné půdě nižší než u vojtěšky seté, ale používá se mnohem častěji v jetelotravních a lučních směsích. Má nižší nároky na kvalitu půdy a oproti vojtěšce má i rychlejší počáteční vývoj a dokáže lépe odolat konkurenci okolních trav. Na rozdíl od vojtěšky se také lépe uplatní i na méně úrodných půdách a výrazně zvyšuje produkci i kvalitu píce (Skládanka 2014).

Nevýhodou jetele oproti vojtěšce, je jeho menší vytrvalost, menší tolerance vůči suchu a nižší obsah dusíkatých látek v píci (Skládanka 2014).

Tolíce vojtěška setá (*Medicago sativa*)

Vojtěška je známá jako královna pícnin pro své vysoké nutriční hodnoty. Je vysoce výnosná, vytrvalá luskovina, která se dobře hodí pro seno, siláže i pro pastvu. Vojtěška vyžaduje pro růst dobře odvodněné půdy s vysokou úrodností a má omezenou toleranci vůči škůdcům, chorobám a dlouhodobému suchu (Silva et al. 2020).

Je to víceletá pícnina, která má velký význam pro zemědělskou praxi. Je důležitým zdrojem krmiva pro přežvýkavce, ale také pozitivně působí na půdní úrodnost (Venclová 2020).

Je to typická plodina kukuřičné a řepařské oblasti. Předpokladem jejího pěstování je optimální poměr vody a vzduchu v půdě, propustnost spodiny a nižší hladina podzemní vody. Půdní podmínky jsou limitujícím faktorem jejího pěstování (Skládanka 2014).

Štírovník růžkatý (*Lotus corniculatus*)

Štírovník růžkatý je vytrvalá píce, nenáročná na půdní a klimatické podmínky. Je vhodným doplňkem pro trvalé luční a krátkodobé pastevní jetelovino travní porosty (Kraus & Říha 2016).

Vyznačuje se vysokou odolností vůči suchu, drsným podmínkám v zimě, chorobám i škůdcům. Krmné využití štírovníku spočívá v jeho zařazení do dočasných a trvalých směsí pro luční porosty na sušších místech, kde stabilizuje úrodu hlavně v 2. a 3. seči (Kovár 2014).

Festulolium (*Festulolium*)

Druh, který vznikl křížením kostřav a jílků. Cílem křížení bylo zkombinovat příznivé vlastnosti kostřav, jakou jsou vytrvalost, odolnost suchu a zimě s kladnými vlastnostmi jílků, zejména vysokou kvalitou píce, výnosem a rychlým vývojem (Müller 2017).

Odrůdy festulolií podstatně rozšířily sortiment trav a zájem o jejich pěstování se stále zvyšuje. Poskytují vysoké výnosy kvalitní píce a jsou určeny především pro široké využití v lučních i pastevních jetelotravních porostech (Kraus & Říha 2016).

4 Metodika

4.1 Popis stanoviště

Pokusné stanoviště se nachází na pozemcích Výzkumné stanice České zemědělské univerzity v Praze na lokalitě Červený Újezd. Stanice spadá do oblasti mírně teplé, mírně suché, převážně s mírnou zimou. Nachází se na 50°04' zeměpisné šířky a 14°10' zeměpisné délky. Průměrná doba slunečního svitu (údaje stanice Praha-Karlov 1926-1950) je 1902 hodin. Za vegetační období 1396 hodin. Klimatické podmínky podmiňují vznik hnědozemí, hnědozemí illimerizovaných, vyluhování vrchních půdních horizontů a posun koloidních částic do spodiny. Zájmové území je součástí Bělohorské plošiny mírně zvlněné. Terén pokusných ploch je jednoduchý, převážně s jižní expozicí, průměrná nadmořská výška je 405 m n. m. (nejvyšší bod 420 m n. m. je vrchol mírného svahu na jižním okraji území). Na území jsou hluboké kvarterní pokryvy, rovinný terén podmiňuje dobrý zásak srážkových vod, substráty mají dobrou vododržnost i dobrou vnitřní drenáž. Území Červeného Újezdu je geologicky tvořeno opukami křídového stáří, překrytými sprašemi a sprašovými pokryvy pleistocenními. Opuky jsou vápnité, se šterkovým rozpadem. Spraše a nevápnité sprašové pokryvy jsou převažujícím půdním druhem. Chemické vlastnosti půdy: mírný obsah humusu, reakce neutrální, střední sorpční kapacita, koloidní komplex je nasycen (Cihlár 2017).

4.2 Popis počasí

Tabulka 7 Hodnocení počasí v roce 2019 (Normál Praha Ruzyně 1981 – 2010)

| 2019 | teplot. normál (C°) | průměr. teplota (C°) | odchylka od normálu | hodnocení | srážkový normál (mm) | srážky (mm) | % normálu | hodnocení |
|------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-------------|-----------|-------------|
| leden | -1,4 | -0,65 | 0,8 | normální | 22 | 24,8 | 113 | normální |
| únor | -0,3 | 3,08 | 3,4 | silně nadnormální | 20 | 17,4 | 87 | normální |
| březen | 3,6 | 7,04 | 3,4 | silně nadnormální | 28 | 33,1 | 118 | normální |
| duben | 8,5 | 10,22 | 1,7 | nadnormální | 28 | 22,1 | 79 | normální |
| květen | 13,5 | 11,31 | -2,2 | podnormální | 70 | 55,3 | 79 | normální |
| červen | 16,2 | 21,60 | 5,4 | Mimořádně nadnormální | 67 | 41,4 | 62 | podnormální |
| červenec | 18,3 | 20,08 | 1,8 | silně nadnormální | 78 | 52,6 | 67 | normální |
| srpen | 17,9 | 20,00 | 2,1 | silně nadnormální | 66 | 97,5 | 148 | nadnormální |
| září | 13,5 | 14,54 | 1,0 | normální | 38 | 57,2 | 151 | nadnormální |
| říjen | 8,5 | 10,46 | 2,0 | nadnormální | 27 | 30,3 | 112 | normální |
| listopad | 3,1 | 5,19 | 2,1 | silně nadnormální | 30 | 34,4 | 115 | normální |
| prosinec | -0,3 | 2,43 | 2,7 | silně nadnormální | 28 | 13,3 | 48 | podnormální |
| duben - září | 14,7 | 16,3 | 1,6 | silně nadnormální | 347 | 326,1 | 94 | normální |
| říjen - březen | 2,2 | 4,6 | 2,4 | mimořádně nadnormální | 155 | 153,3 | 99 | normální |
| leden - prosinec | 8,4 | 10,4 | 2,0 | mimořádně nadnormální | 502 | 479,4 | 95 | normální |

Tabulka 8 Hodnocení počasí v roce 2020 (Normál Praha Ruzyně 1981 – 2010)

| 2020 | teplot. normál (C°) | průměr. teplota (C°) | odchylka od normálu | hodnocení | srážkový normál (mm) | srážky (mm) | % normálu | hodnocení |
|----------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|-------------|-----------|-----------------------|
| leden | -1,4 | 1,31 | 2,7 | nadnormální | 22 | 8 | 36 | normální |
| únor | -0,3 | 4,51 | 4,8 | Mimořádně nadnormální | 20 | 56,9 | 285 | mimořádně nadnormální |
| březen | 3,6 | 4,95 | 1,4 | normální | 28 | 45,4 | 162 | nadnormální |
| duben | 8,5 | 10,24 | 1,7 | nadnormální | 28 | 12,6 | 45 | podnormální |
| květen | 13,5 | 12,14 | -1,4 | normální | 70 | 50,4 | 72 | normální |
| červen | 16,2 | 17,45 | 1,2 | nadnormální | 67 | 71,8 | 107 | normální |
| červenec | 18,3 | 19,10 | 0,8 | normální | 78 | 29,2 | 37 | silně podnormální |
| srpen | 17,9 | 20,51 | 2,6 | mimořádně nadnormální | 66 | 110,9 | 168 | nadnormální |
| září | 13,5 | 15,74 | 2,2 | silně nadnormální | 38 | 58,1 | 153 | nadnormální |
| říjen | 8,5 | 9,71 | 1,2 | nadnormální | 27 | 87,8 | 325 | mimořádně nadnormální |
| listopad | 3,1 | 4,24 | 1,1 | nadnormální | 30 | 12,9 | 43 | podnormální |
| prosinec | -0,3 | 2,15 | 2,4 | nadnormální | 28 | 13,3 | 48 | podnormální |
| rok Ø | 8,4 | 10,2 | 1,7 | mimořádně nadnormální | 502 | 557,3 | 111 | nadnormální |

4.3 Popis pokusu

Pokusný porost byl založen v roce 2018 a s jeho využitím je počítáno do roku 2021. V této diplomové práci byl zdokumentován rok 2020 společně s rokem 2019. V pokusu je sledováno celkem 24 variant směsí vojtěšky seté, jetele lučního, štírovníku růžkatého, vičence ligrusu, kostřavy rákosovité a festulolia (kříženec kostřavy rákosovité a jílku mnohokvětého) ve čtyřech opakováních každé varianty (tj. celkem 96 parcel viz Tabulka 9). Každá varianta obsahovala vojtěšku s jedním nebo dalšími dvěma komponenty. Ve variantách byl různý podíl jetelovin ve směsi (25%, 50%, 75% nebo 100%), který vycházel ze základní úrovně počtu klíčivých semen na jednotku plochy.

Pro tento pokus byly vybrány následující varianty:

LU100 (varianta vojtěšky: 600 semen/ m²) – A7, B17, C2, D21,

LU100+FE (varianta vojtěšky a festulolia: 450+500 semen/ m²) – A10, B4, C17, D5

LU50+LO50 (varianta vojtěšky a štírovníku: 300+300 semen/ m²) – A18, B8, C21, D11

LU50+LO50+FE (varianta vojtěšky, štírovníku a festulolia: 225+225+500 semen/ m²) – A14, B19, C16, D11

LU50+TR50 (varianta vojtěšky a jetele: 300+300 semen/ m²) – A12, B6, C24, D15

LU50+TR50+FE (varianta vojtěšky, jetele a festulolia: 225+225+500 semen/ m²) – A16, B9, C6, D20

Označení hodnocených variant v diplomové práci

V – vojtěška

V+J – vojtěška + jetel luční

V+ FE – vojtěška + festulolium

V+S+FE – vojtěška + štírovník + festulolium

V+S – vojtěška + štírovník

V+J+FE – vojtěška + jetel luční + festulolium

Tabulka 9: Plánek pokusu (24 variant ve 4 opakováních A,B,C,D)

| | | | | | |
|----|------------|------------|------------|------------|----|
| 24 | LU50CS50 | LU100FA | LU50TR50 | LU25LO75FE | 24 |
| 23 | LU25LO75FA | LU25LO75 | LU75TR25 | LU75TR25FE | 23 |
| 22 | LU25TR75 | LU75LO25 | LU25TR75FA | LU50LO50FA | 22 |
| 21 | LU25CS75 | LU50TR50FA | LU50LO50 | LU100 | 21 |
| 20 | LU75LO25FA | LU75CS25 | LU25TR75FE | LU50TR50FE | 20 |
| 19 | LU75TR25FE | LU50LO50FE | LU75LO25FE | LU75TR25FA | 19 |
| 18 | LU50LO50 | LU75TR25FA | LU75CS25 | LU75TR25 | 18 |
| 17 | LU25LO75FE | LU100 | LU100FE | LU25LO75FA | 17 |
| 16 | LU50TR50FE | LU50LO50FA | LU50LO50FE | LU50CS50 | 16 |
| 15 | LU25TR75FA | LU25TR75 | LU25LO75 | LU50TR50 | 15 |
| 14 | LU75LO25 | LU75LO25FA | LU25CS75 | LU100FA | 14 |
| 13 | LU25TR75FE | LU75LO25FE | LU75TR25FE | LU50TR50FA | 13 |
| 12 | LU50TR50 | LU75TR25FE | LU75LO25FA | LU25TR75FE | 12 |
| 11 | LU100FA | LU50CS50 | LU25LO75FE | LU50LO50FE | 11 |
| 10 | LU100FE | LU25TR75FA | LU25LO75FA | LU75LO25FE | 10 |
| 9 | LU25LO75 | LU50TR50FE | LU75LO25 | LU25TR75 | 9 |
| 8 | LU75TR25FA | LU50LO50 | LU50TR50FA | LU25CS75 | 8 |
| 7 | LU100 | LU75TR25 | LU50LO50FA | LU75CS25 | 7 |
| 6 | LU75LO25FE | LU50TR50 | LU50TR50FE | LU25TR75FA | 6 |
| 5 | LU75CS25 | LU25TR75FE | LU100FA | LU100FE | 5 |
| 4 | LU50LO50FE | LU100FE | LU25TR75 | LU50LO50 | 4 |
| 3 | LU50LO50FA | LU25LO75FA | LU50CS50 | LU25LO75 | 3 |
| 2 | LU75TR25 | LU25CS75 | LU100 | LU75LO25FA | 2 |
| 1 | LU50TR50FA | LU25LO75FE | LU75TR25FA | LU75LO25 | 1 |
| | A | B | C | D | |

Velikost parcel je 2,5 x 7,2 metru se sklizňovou plochou 10 m². Při sklizni byl odebrán z každé parcely reprezentativní směsný vzorek (300 – 400 g) čerstvé biomasy pro stanovení sušiny po usušení na 60 °C a následný výpočet výnosu suché hmoty (t/ha). Teplota 60 °C byla zvolena z důvodu následných analýz pro stanovení kvalitativních parametrů píce.

Před každou sečí byly odebrány vzorky ze tří řádků (rozteč 12,5 cm) o délce 0,5 metru. Každý vzorek byl roztržěn na jednotlivé komponenty a plevel. Po roztržení a zvážení všech vzorků se sáčky se vzorky daly sušit při 60° C. Z usušených vzorků byly vybrány pouze varianty důležité pro tento pokus. Na základě procentického podílu komponentů ve směsi byly stanoveny výnosy sušiny každého komponentu (t/ha). Následně byl každý komponent z každé sledované varianty zvlášť rozdrcen v řezacím mlýnku Fritsch a lisován do pelet pro spalování v kalorimetru.

4.3.1 Použité odrůdy

4.3.1.1 Tolice vojtěška - ZUZANA

Odrůda ZUZANA je vhodná do oblastí s vyšším množstvím srážek během vegetace. Navíc snese i slabě kyselou půdní reakci, pH půdy 5,5. Její místo je v obilnářské oblasti a lze ji uplatnit i na vybraných pozemcích oblasti bramborářské. Snese i těžší půdy (Agriservis 2020).

4.3.1.2 Štírovník růžkatý – TABORAK

Odrůda TABORAK je středně ranná až pozdní odrůda, se střední odolností proti poléhání. TABORAK je vytrvalý a odolný nepříznivým půdním a klimatickým podmínkám především proti suchu. V požadavcích na stanoviště je velice skromný a nemůže se mu vyrovnat žádná jiná kulturní jetelovina (TAGRO Červený dvůr, s.r.o).

4.3.1.3 Jetel luční – CALLISTO

Odrůda CALLISTO je diploidní ranná až středně raná odrůda jetele lučního s vysokým výnosem hmoty a zejména dusíkatých látek. Dobře se hodí do všech jetelotravních směsí, zejména s druhy jako je jílek italský a hybridní a hlavně festulolii. Odrůda je zimovzdorná a má vysokou kvalitu píce (DLF seeds & science 2021).

4.3.1.4 Festulolium – FELINA

Hlavními znaky odrůdy FELINA jsou vysoký výnos, vytrvalost, suchovzdornost a tolerance k vysoké hladině podzemní vody. Jedná se o křížence kostřavy rákosovité a jílku mnohokvětého. V porovnání s kostřavou luční a rákosovitou mají tyto odrůdy festulolia lepší krmnou hodnotu - vyšší obsah cukrů a energie. FELINA má rychlý jarní růst a dobrou produkci v letním období (DLF seeds & science 2021).

4.3.2 Hnojení

Bylo použito hnojivo NPK 15-15-15 LOVOFERT v dávce 200 kg před setím, tj. 30 kg N/ha, 30 kg P₂O₅ a 30 kg K₂O/ha. Jedná se o hnojivo určené k základnímu hnojení (na jaře před setím nebo před zahájením vegetace) a k přihnojování během vegetace, zejména u půd se střední a vysokou zásobou fosforu a draslíku. Hnojivo je vhodné pro zeleninu, jadrovinu, peckovinu, okrasné rostliny a trávníky. 40 % dusíku je v ledkové formě a draslík je ve vodorozpustné chloridové formě. Živiny jsou v hnojivu ve formě vápenatých, amonných a draselných solí kyseliny fosforečné (HOKR, 2021).

4.4 Stanovení spalného tepla a výhřevnosti

Další práce probíhaly v laboratoři s pomocí kalorimetru a spalné pece. Před samotným spalováním se z nadrcených vzorků biomasy vytvořily pelety o hmotnosti 0,8 - 1 g, které se následně znovu sušily při 60°C. Pro zjištění spalného tepla se vzorky spalovaly v adiabatickém kalorimetru IKA C 5000, který zaznamenává teplotní vzrůst vodní lázně, ve které je umístěna nádoba pro dokonalé spálení vzorku v atmosféře čistého kyslíku. Získané hodnoty spalného tepla byly zaznamenány v J/g. Ze spalného tepla byla vypočtena výhřevnost (J/g) dle vzorce:

$$q_{v.net.m} = (q_{v.gr.d} - 206W_{H.d}) \times (1 - 0,01M_T) - 23,05M_T$$

$q_{v.gr.d}$ – spalné teplo při konstantním objemu, vyjádřené v J/g paliva v bezvodém stavu

$W_{H.d}$ – obsah vodíku v palivu v bezvodém stavu vyjádřený jako hmotnostní zlomek v %, zahrnuje vodík z hydrátové vody popelovin a rovněž vodík z uhelné substance. Hodnota $W_{H.d}$ byla stanovena na 6,3 a to dle tabulkové hodnoty (ČSN ISO 1928 2010)

M_T – je obsah veškeré vody, pro který se výpočet požaduje, vyjádřený jako hmotnostní zlomek v %.

Z výnosů biomasy sledovaných porostů (t/ha) a hodnoty výhřevnosti (J/g) bylo vypočteno celkové množství energie vyprodukované z jednotky plochy (GJ/ha).

Pro zjištění obsahu popelovin byla využita muflová spalná pec. Při 550°C se vzorky spalovaly 8 hodin a následně v exsikátoru nejméně hodinu chladly. Zbylá nespálená hmota – popel, byla zvážena a následně byl vypočítán procentuální obsah popela ve spalovaných vzorcích.

4.5 Statistické hodnocení

Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny jednofaktorovou a vícefaktorovou analýzou rozptylu ($\alpha = 0,05$; Tukey HSD test) v programu Statistica 12.

5 Výsledky

Výsledky pokusu byly rozděleny do kategorií:

- polní výsledky (výnos sušiny, podíl komponentů, obsah sušiny),
- laboratorní výsledky (obsah popela, výhřevnost),
- produkce energie z hektaru,
- celkový výnos sušiny a celková produkce energie z hektaru.

5.1 Polní výsledky, rok 2020

5.1.1 Výnos sušiny

Nejnižší výnos sušiny byl prokázán u štírovníku ve variantě V+S+FE (viz Tabulka 10 a Graf 3). Nejvyšší výnos byl u festulolia ve variantě V+FE (viz Graf 4). Zároveň nejvyšší výnos sušiny vykazoval plevel ve variantě V+S (viz Graf 5). Celkově byla nejvýnosnější varianta V+FE a nejméně výnosná byla varianta V+ J (viz Graf 6).

V Tabulce 11 se projevil nejvyšší výnos u festulolia v první seči. Naopak nejnižší výnos byl u jetele ve třetí seči. Nízké výnosy sušiny ve všech sečích se projeví u štírovníku.

Vojtěška a štírovník měli nejvyšší výnosy v druhé seči, jetel s festuloliem v první seči (viz Grafy 1,2,3 a 4).

Tabulka 10 Výnos sušiny (t/ha). Rozdíly mezi variantami v průměru za 3 seče v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| V | 0,77 ^c | | | | 0,05 ^{ab} | 0,82 ^{ab} |
| V+J | 0,34 ^{ab} | 0,32 ^a | | | 0,03 ^{ab} | 0,69 ^a |
| V+FE | 0,35 ^{ab} | | | 1,04 ^a | 0,004 ^a | 1,39 ^c |
| V+S+FE | 0,21 ^a | | 0,02 ^a | 0,91 ^a | 0,001 ^a | 1,14 ^{bc} |
| V+S | 0,53 ^{bc} | | 0,18 ^b | | 0,07 ^b | 0,78 ^a |
| V+J+FE | 0,10 ^a | 0,10 ^b | | 0,54 ^b | 0,004 ^a | 0,74 ^a |
| <i>p-value</i> | <0,000 | 0,012 | 0,003 | <0,000 | 0,002 | <0,000 |

Tabulka 11 Výnos sušiny (t/ha). Rozdíly mezi sečemi v průměru za sledované varianty v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|-------------------|--------------------|-----------|-------------------|--------|-------------------|
| 1.seč | 0,32 ^a | 0,35 ^a | 0,04 | 1,32 ^a | 0,04 | 1,15 ^a |
| 2.seč | 0,63 ^b | 0,25 ^{ab} | 0,16 | 0,68 ^b | 0,02 | 1,13 ^a |
| 3.seč | 0,20 ^a | 0,02 ^b | 0,09 | 0,50 ^b | 0,02 | 0,51 ^b |
| <i>p-value</i> | <0,000 | 0,013 | 0,143 | <0,000 | 0,231 | <0,000 |

5.1.2 Podíl komponentů ve směsi

Z výsledků vyplývá, že byl zřejmý dominantní podíl festulolia ve variantách, které ho obsahovaly. Zároveň Tabulka 12 zobrazuje patrný vyšší podíl plevelu ve variantě V+S.

Tabulka 12 Podíl komponentů ve směsi (%). Rozdíly mezi variantami v průměru za 3 seče v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|--------------------|
| V | 90,18 ^c | | | | 9,82 ^{ab} |
| V+J | 54,07 ^b | 38,63 ^a | | | 7,30 ^{ab} |
| V+FE | 23,40 ^a | | | 76,38 | 0,22 ^a |
| V+S+FE | 16,87 ^a | | 1,36 ^a | 81,71 | 0,06 ^a |
| V+S | 62,81 ^b | | 25,82 ^b | | 11,37 ^b |
| V+J+FE | 12,60 ^a | 8,50 ^b | | 78,34 | 0,56 ^a |
| <i>p-value</i> | <0,000 | <0,000 | <0,000 | 0,771 | 0,002 |

5.1.3 Obsah sušiny

Obsah sušiny komponentů (%) ve všech třech sečích znázorňuje Tabulka 13. Jedná se o průměry ze čtyř opakování u všech variant. Nejvyšší hodnoty obsahu sušiny dosáhlo festulolium s 34,73 % ve druhé seči ve variantě V+J+FE, více pak plevel se 40 % obsahu sušiny v první seči a variantě V+J+FE. Naopak nejmenšího obsahu sušiny (20 %) dosáhly štírovník a plevel ve třetí seči a ve variantě V+S+FE.

Tabulka 13 Obsah sušiny (%) sledovaných druhů rostlin v roce 2020.

| | Varianta | 1. seč | 2. seč | 3. seč |
|-------------|----------|--------|--------|--------|
| vojtěška | V | 24,65 | 30,81 | 24,76 |
| | V+FE | 26,86 | 32,47 | 27,40 |
| | V+S | 25,22 | 30,63 | 25,89 |
| | V+S+FE | 25,45 | 29,55 | 32,76 |
| | V+J | 25,01 | 30,19 | 25,91 |
| | V+J+FE | 26,99 | 32,17 | 26,11 |
| štírovník | V+S | 21,97 | 28,11 | 22,71 |
| | V+S+FE | 25,47 | 23,99 | 20,00 |
| jetel | V+J | 21,85 | 28,66 | 20,81 |
| | V+J+FE | 23,80 | 31,70 | 23,08 |
| festulolium | V+FE | 31,24 | 34,43 | 28,76 |
| | V+S+FE | 31,67 | 34,23 | 31,04 |
| | V+J+FE | 31,44 | 34,73 | 28,76 |
| plevel | V | 32,10 | 26,32 | 22,62 |
| | V+FE | 22,84 | 25,00 | - |
| | V+S | 28,75 | 30,56 | 20,39 |
| | V+S+FE | 25,00 | 25,00 | 20,00 |
| | V+J | 30,70 | 24,08 | 20,27 |
| | V+J+FE | 40,00 | 23,81 | 26,32 |

5.2 Laboratorní výsledky, rok 2020

5.2.1 Obsah popela v biomase

Z laboratorních výsledků vyplývá, že významné rozdíly v obsahu popela se projevily jen mezi sečemi u variant s festulolím (viz Tabulka 15 a Graf 10). První seč vykazovala podstatně nižší procento popela než druhá a třetí seč.

Zároveň jsou patrné nejnížší hodnoty popela u variant s festulolím v průměru za všechny tři seče, naopak nejvyšší hodnoty se projevily u plevelu ve variantách, které ho obsahovaly.

Patrné byly rozdíly u obsahu popela v plevelu, jak mezi variantami, tak mezi sečemi (viz Tabulka 14 a 15). Údaje u obsahu popela v plevelu nebyly vyhodnoceny statisticky, pouze zprůměrovány, neboť plevel se nevyskytoval na všech parcelách.

U vojtěšky, jetele a štírovníku se neprokázaly statisticky významné rozdíly, jak zobrazují Grafy 7,8 a 9).

Tabulka 14 Obsah popela v biomase rostlin (%). Rozdíly mezi variantami v průměru za 3 seče v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| V | 10,15 | | | | 10,82 |
| V+J | 10,00 | 10,26 | | | 11,4 |
| V+FE | 10,16 | | | 9,83 | |
| V+S+FE | 10,20 | | 10,84 | 9,60 | |
| V+S | 10,37 | | 10,32 | | 10,20 |
| V+J+FE | 10,63 | 10,28 | | 9,62 | 11,99 |
| <i>p-value</i> | <i>0,395</i> | <i>0,977</i> | <i>0,083</i> | <i>0,629</i> | - |

Tabulka 15 Obsah popela v biomase rostlin (%). Rozdíly mezi sečemi v průměru za sledované varianty v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|--------|
| 1.seč | 10,35 | 10,30 | 10,60 | 8,16 ^a | 9,54 |
| 2.seč | 9,99 | 10,12 | 10,66 | 10,38 ^b | 10,29 |
| 3.seč | 10,42 | 10,37 | 10,48 | 10,50 ^b | 12,41 |
| <i>p-value</i> | <i>0,838</i> | <i>0,725</i> | <i>0,871</i> | <i><0,000</i> | - |

5.2.2 Výhřevnost biomasy

Z laboratorních výsledků vyplývá, že statistický rozdíl se projevil jen u jetele a štírovníku. Nejnižší hodnota výhřevnosti byla prokázána u jetele ve variantě V+J+FE a nejvyšší hodnota u štírovníku ve variantě V+S (viz Tabulka 16 a Graf 12 a 13).

Tabulka 17 zobrazuje nejnižší výhřevnost jetele v první seči a nejvyšší výhřevnost u vojtěšky ve druhé seči. Statistické rozdíly byly znatelné mezi sečemi u vojtěšky (lišily se všechny 3 seče), jetele (první seč se lišila od ostatních dvou) a festulolia (třetí seč se lišila od první a druhé seče), znázorněno v Grafech 11,12 a 14.

Údaje o výhřevnosti plevelu (viz Tabulky 16 a 17) nebyly statisticky vyhodnoceny, pouze zprůměrovány. Zobrazují, že nejnižší hodnotu výhřevnosti měl plevel z varianty V+S a zároveň byla nejnižší hodnota výhřevnosti v druhé seči.

Tabulka 16 Výhřevnost biomasy (J/g). Rozdíly mezi variantami v průměru za 3 seče v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel |
|----------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------|--------|
| V | 18484 | | | | 18259 |
| V+J | 18394 | 18061 ^a | | | 18217 |
| V+FE | 18158 | | | 18193 | |
| V+S+FE | 18202 | | 18220 ^a | 18041 | |
| V+S | 18512 | | 18538 ^b | | 17809 |
| V+J+FE | 18219 | 17783 ^b | | 18263 | 18366 |
| <i>p-value</i> | <i>0,099</i> | <i>0,022</i> | <i>0,013</i> | <i>0,085</i> | - |

Tabulka 17 Výhřevnost biomasy (J/g). Rozdíly mezi sečemi v průměru za sledované varianty v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------|
| 1.seč | 17936 ^a | 17030 ^a | 18412 | 18038 ^a | 18195 |
| 2.seč | 18716 ^b | 18357 ^b | 18443 | 18042 ^a | 17956 |
| 3.seč | 18333 ^c | 18380 ^b | 18282 | 18417 ^b | 18152 |
| <i>p-value</i> | <i><0,000</i> | <i><0,000</i> | <i>0,500</i> | <i>0,001</i> | - |

5.3 Produkce energie, rok 2020

Na základě polních a laboratorních výsledků byla vypočítána produkce energie v GJ/ha. Nejnižší hodnotu produkce energie, jak je patrné z Tabulky 18 a Grafu 17 a 18, měl štírovník ve variantě V+S+FE a nejvyšší hodnotu vykazovalo festulolium ve variantě V+FE. Celkově nejvíce energie vyprodukovala varianta V+FE (viz Graf 20).

V Tabulce 19 a Grafech 16 a 18, je vidět nejvyšší produkci energie u festulolia v první seči a nejnižší u jetele ve třetí seči. Zároveň je z Grafu 20 patrný nejnižší údaj v celkové produkci energie ze sledovaných variant ve třetí seči.

U vojtěšky a štírovníku se projevila nejvyšší produkce energie ve druhé seči, u jetele s festuloliem naopak v první seči (viz Grafy 15, 16, 17 a 18).

Plevel vykazoval nejnižší produkci energie v druhé seči (viz Graf 19), nevyskytoval se vůbec ve variantách V+FE a V+S+FE.

Tabulka 18 Produkce energie (GJ/ha). Rozdíly mezi variantami v průměru za 3 seče v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| V | 14,28 ^c | | | | 0,77 ^a | 15,05 ^{ab} |
| V+J | 6,37 ^{ab} | 5,68 ^a | | | 0,41 ^b | 12,46 ^a |
| V+FE | 6,43 ^{ab} | | | 18,76 ^a | | 25,19 ^c |
| V+S+FE | 3,76 ^a | | 0,28 ^a | 16,60 ^a | | 20,65 ^{bc} |
| V+S | 9,97 ^{bc} | | 3,38 ^b | | 0,86 ^a | 14,21 ^{ab} |
| V+J+FE | 1,78 ^a | 1,57 ^b | | 9,91 ^b | 0,01 ^c | 13,27 ^a |
| <i>p-value</i> | <0,000 | 0,012 | 0,003 | <0,000 | 0,013 | <0,000 |

Tabulka 19 Produkce energie (GJ/ha). Rozdíly mezi sečemi v průměru za sledované varianty v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1.seč | 5,80 ^a | 5,93 ^a | 0,81 ^a | 23,78 ^a | 0,65 ^a | 20,59 ^a |
| 2.seč | 11,86 ^b | 4,59 ^{ab} | 3,08 ^b | 12,27 ^b | 0,02 ^b | 20,56 ^a |
| 3.seč | 3,64 ^a | 0,36 ^b | 1,61 ^a | 9,21 ^b | 0,35 ^{ab} | 9,26 ^b |
| <i>p-value</i> | <0,000 | 0,017 | 0,140 | <0,000 | 0,022 | <0,000 |

5.4 Celkový výnos sušiny a produkce energie, rok 2020

5.4.1 Celkový výnos sušiny za 3 seče

Celkový výnos sušiny ze všech tří sečí dohromady byl nejvyšší u varianty V+FE. Zároveň je z Tabulky 20 a Grafu 26 patrné, že kombinace V+J a V+J+FE byly nejméně výnosné.

Z Grafů 21,22,23,24 a 25 je zřejmé, že statistické rozdíly se projevily u všech komponentů. Výnos sušiny u festulolia byl nejvyšší a u štírovníku nejnižší.

Tabulka 20 Celkový výnos sušiny (t/ha). Rozdíly mezi variantami celkem za 3 seče v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| V | 2,22 ^a | | | | 0,22 ^a | 2,44 ^a |
| V+J | 1,11 ^{ab} | 0,84 ^a | | | 0,13 ^a | 2,08 ^a |
| V+FE | 1,01 ^{ab} | | | 3,16 ^a | 0,009 ^b | 4,18 ^b |
| V+S+FE | 0,62 ^b | | 0,05 ^a | 2,76 ^a | 0,002 ^b | 3,43 ^{ab} |
| V+S | 1,54 ^{ab} | | 0,57 ^b | | 0,25 ^a | 2,36 ^a |
| V+J+FE | 0,28 ^b | 0,20 ^b | | 1,73 ^b | 0,01 ^b | 2,22 ^a |
| <i>p-value</i> | 0,005 | 0,026 | 0,024 | 0,008 | 0,012 | 0,001 |

5.4.2 Celková produkce energie za 3 seče

Ze statisticky vyhodnocených výsledků vyplývá, že nejvíce energie ve všech třech sečích produkovaly varianty V+FE a V+S+FE. Tabulka 21 a Graf 32 zároveň znázorňují, že nejméně energie produkovala varianta V+J.

Mezi jednotlivými komponenty byla vojtěška nejproduktivnější ve variantě V (viz Graf 27), jetel byl nejproduktivnější ve variantě V+J (viz Graf 28), štírovník ve variantě V+S (viz Graf 29), festulolium ve variantě V+FE (viz Graf 30) a největší produkce energie u plevele byla ve variantě V+S (viz Graf 31).

Tabulka 21 Celková produkce energie (GJ/ha). Rozdíly mezi variantami celkem ze 3 sečí v roce 2020.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|----------------------|-------|--------------------|--------------------|--------|---------------------|
| V | 42,85 ^c | | | | 2,32 | 45,17 ^a |
| V+J | 19,12 ^{abc} | 17,04 | | | 2,36 | 38,52 ^a |
| V+FE | 19,30 ^{abc} | | | 56,26 ^a | | 75,56 ^b |
| V+S+FE | 11,29 ^{ab} | | 0,85 ^a | 49,81 ^a | | 61,95 ^{ab} |
| V+S | 29,92 ^{bc} | | 10,14 ^b | | 3,43 | 43,49 ^a |
| V+J+FE | 5,34 ^a | 4,72 | | 29,73 ^b | | 39,79 ^a |
| <i>p-value</i> | 0,002 | 0,062 | 0,034 | 0,007 | 0,746 | 0,001 |

5.5 Polní výsledky, rok 2019

Výsledky z roku 2019 byly použity pro porovnání, protože pokusný porost byl v roce 2020 napaden hlodavci a potřebné údaje tak byly nepříznivě ovlivněny. Především zastoupené jeteloviny utrpěly škody, a proto byly konečné výsledky značně zkresleny.

Pro výpočet produkce energie rostlin v roce 2019 byly použity údaje o výnosu z roku 2019 a průměrné hodnoty výhřevnosti z roku 2020.

5.5.1 Výnos sušiny

Nejvyšší výnos sušiny patrný z Tabulky 22 byl u vojtěšky ve variantě V a nejnižší výnos u jetele a festulolia u varianty V+J+FE. Nejvíce plevele obsahovaly varianty V+J a V+J+FE (viz Graf 37). Celkově byla nejvíce výnosná varianta V, tj. samotná vojtěška, a nejméně výnosná varianta V+S+FE (viz Graf 38).

Významné statistické rozdíly se prokázaly u všech komponentů v průměru za sledované varianty. Odchyly byly především mezi první sečí a zbylými dvěma (viz Grafy 33,34,35,36 a 37).

Tabulka 23 a Grafy 33 a 36 znázorňují nejvyšší výnos u vojtěšky v první seči a nejnižší výnos u festulolia v druhé seči. Nejvýnosnější byla prokazatelně první seč (viz Tabulka 23 a Graf 38).

Tabulka 22 Výnos sušiny (t/ha). Rozdíly mezi variantami v průměru za 3 seče v roce 2019.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|--------------------|-------------------|-----------|--------------------|--------|--------|
| V | 3,88 ^c | | | | 0,004 | 3,88 |
| V+J | 2,37 ^{ab} | 1,17 ^a | | | 0,07 | 3,61 |
| V+FE | 2,78 ^a | | | 0,82 ^{ab} | 0,005 | 3,61 |
| V+S+FE | 1,71 ^b | | 0,63 | 1,06 ^b | 0,05 | 3,45 |
| V+S | 2,85 ^a | | 0,86 | | 0,03 | 3,74 |
| V+J+FE | 2,42 ^a | 0,60 ^b | | 0,60 ^a | 0,07 | 3,69 |
| <i>p-value</i> | <0,000 | 0,012 | 0,144 | 0,014 | 0,607 | 0,358 |

Tabulka 23 Výnos sušiny (t/ha). Rozdíly mezi sečemi v průměru za sledované varianty v roce 2019.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1.seč | 4,04 ^a | 1,94 ^a | 1,33 ^a | 1,91 ^a | 0,09 ^a | 6,18 ^c |
| 2.seč | 1,90 ^b | 0,26 ^b | 0,41 ^b | 0,19 ^b | 0,00 ^b | 2,22 ^a |
| 3.seč | 2,07 ^b | 0,45 ^b | 0,49 ^b | 0,38 ^b | 0,02 ^c | 2,60 ^b |
| <i>p-value</i> | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | 0,021 | <0,000 |

5.5.2 Podíl komponentů ve směsi

Z výsledků je zřejmý dominantní podíl vojtěšky ve všech variantách, zároveň Tabulka 24 zobrazuje největší podíl plevele ve variantě V+J.

Tabulka 24 Podíl komponentu ve směsi (%). Rozdíly mezi variantami v průměru za 3 seče v roce 2019.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel |
|----------------|---------------------|--------------------|--------------|---------------------|--------------|
| V | 99,93 ^c | | | | 0,07 |
| V+J | 72,36 ^{ab} | 26,27 ^a | | | 1,37 |
| V+FE | 81,66 ^a | | | 18,23 ^{ab} | 0,12 |
| V+S+FE | 56,38 ^b | | 17,41 | 25,25 ^b | 0,96 |
| V+S | 77,69 ^a | | 21,65 | | 0,66 |
| V+J+FE | 71,74 ^{ab} | 14,59 ^b | | 12,41 ^a | 1,27 |
| <i>p-value</i> | <i><0,000</i> | <i>0,044</i> | <i>0,322</i> | <i>0,048</i> | <i>0,465</i> |

5.5.3 Obsah sušiny

Obsah sušiny komponentů (%) ve všech sečích znázorňuje Tabulka 25. Jedná se o průměry ze 4 opakování variant. Nejvyšší obsah sušiny měla vojtěška v druhé seči ve variantě V (36,92 %) a nejnižší hodnotu měla vojtěška v první seči ve variantě V+S+FE (14,36 %).

Tabulka 25 Obsah sušiny sledovaných druhů rostlin (%) v roce 2019.

| | Varianta | 1. seč | 2. seč | 3. seč |
|-------------|----------|--------|--------|--------|
| vojtěška | V | 25,88 | 36,92 | 24,89 |
| | V+FE | 25,42 | 31,38 | 25,41 |
| | V+S | 23,70 | 30,22 | 24,46 |
| | V+S+FE | 14,36 | 33,82 | 26,68 |
| | V+J | 23,94 | 30,46 | 24,22 |
| | V+J+FE | 24,22 | 31,80 | 27,84 |
| štírovník | V+S | 17,15 | 24,35 | 17,16 |
| | V+S+FE | 19,34 | 28,08 | 20,54 |
| jetel | V+J | 18,46 | 27,41 | 17,15 |
| | V+J+FE | 19,21 | 26,69 | 19,42 |
| festulolium | V+FE | 24,01 | 26,65 | 19,85 |
| | V+S+FE | 24,81 | 30,09 | 20,33 |
| | V+J+FE | 25,87 | 26,76 | 20,25 |
| plevel | V | 18,48 | - | 33,33 |
| | V+FE | 35,21 | - | 23,41 |
| | V+S | 18,25 | - | 21,32 |
| | V+S+FE | 29,93 | - | 20,02 |
| | V+J | 25,82 | - | 25,92 |
| | V+J+FE | 27,90 | - | 21,12 |

5.6 Produkce energie, rok 2019

Největší produkci energie vykazovala vojtěška ve variantě V, nejméně vyprodukoval jetel ve variantě V+J+FE, obojí lze vidět v Tabulce 26 a Grafech 39 a 40. Celková produkce se napříč variantami příliš nelišila, nejvyšší byla opět produkce u samotné vojtěšky (viz Graf 44).

Tabulka 27 znázorňuje nejvyšší produkci energie u vojtěšky v první seči (viz Graf 39) a také v první seči celkem (viz Graf 44). Druhá seč byla nejméně produktivní ve všech variantách (viz Grafy 39,40,41,42 a 43).

Tabulka 26 Produkce energie (GJ/ha). Rozdíly mezi variantami v průměru za 3 seče v roce 2019.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|--------------------|--------------------|-----------|---------------------|--------|--------|
| V | 70,70 ^c | | | | 0,08 | 70,78 |
| V+J | 43,31 ^a | 20,29 ^a | | | 1,23 | 64,83 |
| V+FE | 50,65 ^a | | | 14,87 ^{ab} | 0,09 | 65,61 |
| V+S+FE | 31,26 ^b | | 11,53 | 19,26 ^b | 0,89 | 62,94 |
| V+S | 51,87 ^a | | 15,80 | | 0,50 | 68,17 |
| V+J+FE | 44,12 ^a | 10,42 ^b | | 10,83 ^a | 1,27 | 66,64 |
| <i>p-value</i> | <0,000 | 0,012 | 0,143 | 0,014 | 0,607 | 0,314 |

Tabulka 27 Produkce energie (GJ/ha). Rozdíly mezi sečemi v průměru za sledované varianty v roce 2019.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 1.seč | 72,44 ^a | 33,02 ^a | 24,44 ^a | 34,50 ^a | 1,71 ^b | 110,55 ^c |
| 2.seč | 35,49 ^b | 4,76 ^b | 7,62 ^b | 3,45 ^b | 0 ^a | 41,34 ^a |
| 3.seč | 38,03 ^b | 8,29 ^b | 8,94 ^b | 7,01 ^b | 0,32 ^{ab} | 47,60 ^b |
| <i>p-value</i> | <0,000 | <0,000 | <0,000 | <0,000 | 0,021 | <0,000 |

5.7 Celkový výnos sušiny a produkce energie, rok 2019

5.7.1 Celkový výnos sušiny za 3 seče

Statisticky významné rozdíly se projeví jen u vojtěšky (viz Graf 45), která byla nejméně výnosná ve variantě V, tj. samotné vojtěšky. Tabulka 28 a Graf 50 znázorňují, že celkový výnos sušiny byl nejvyšší u variant V a V+S. Nejnižší výnos vykazovalo festulolium ve variantě V+J+FE (viz Graf 50). Celkově nejméně výnosná byla varianta V+S+FE. Statistické údaje ostatních komponentů jsou zobrazeny v Grafech 46, 47, 48 a 49.

Tabulka 28 Celkový výnos sušiny (t/ha) v roce 2019.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| V | 11,66 ^c | | | | 0,008 | 11,66 |
| V+J | 7,82 ^{ab} | 2,86 | | | 0,15 | 10,83 |
| V+FE | 8,86 ^a | | | 1,95 | 0,012 | 10,82 |
| V+S+FE | 5,86 ^b | | 1,85 | 2,56 | 0,10 | 10,37 |
| V+S | 8,67 ^a | | 2,46 | | 0,07 | 11,20 |
| V+J+FE | 7,91 ^{ab} | 1,63 | | 1,39 | 0,13 | 11,06 |
| <i>p-value</i> | <i><0,000</i> | <i>0,091</i> | <i>0,493</i> | <i>0,138</i> | <i>0,464</i> | <i>0,529</i> |

5.7.2 Celková produkce energie za 3 seče

Z Tabulky 29 je zřejmé, že nejvíce energie vyprodukoval porost vojtěšky, a to ve variantě V, nejméně potom jetel ve variantě V+J+FE (viz Grafy 51 a 52). Celková produkce variant se příliš nelišila, ale opět vykazovala nejvyšší hodnotu samotná vojtěška a nejnižší byla u varianty V+S+FE (viz Graf 56).

U vojtěšky byly prokázány významné statistické rozdíly (viz Graf 51), u ostatních komponentů se žádné rozdíly neprokázaly (viz Grafy 52,53,54 a 55).

Tabulka 29 Celková produkce energie (GJ/ha) ze 3 sečí dohromady v roce 2019.

| | Vojtěška | Jetel | Štírovník | Festulolium | Plevel | Celkem |
|----------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| V | 212,11 ^c | | | | 0,23 | 212,34 |
| V+J | 129,92 ^{ab} | 60,88 | | | 3,68 | 194,48 |
| V+FE | 151,96 ^a | | | 44,62 | 0,25 | 196,83 |
| V+S+FE | 93,79 ^b | | 34,58 | 57,79 | 2,67 | 188,83 |
| V+S | 155,61 ^a | | 47,42 | | 1,49 | 204,52 |
| V+J+FE | 132,37 ^{ab} | 31,26 | | 32,49 | 3,82 | 199,94 |
| <i>p-value</i> | <i><0,000</i> | <i>0,064</i> | <i>0,356</i> | <i>0,080</i> | <i>0,614</i> | <i>0,486</i> |

6 Diskuze

V první části diplomové práce formou rešerše byla popsána důležitá témata týkající se biomasy a především jejího využití pro energetické účely. Konkrétní zaměření této diplomové práce se týkalo dočasných jetelovinotravních směsí a jejich využití pro spalování.

Druhá část práce předkládá výsledky polního pokusu, který probíhal na Výzkumné stanici České zemědělské univerzity v Praze na lokalitě Červený Újezd. Pro účely této práce byly použity získané údaje z roku 2020, přičemž pro srovnání byla použita i měření z roku 2019.

Biomasa získaná pěstováním jetelovinotravních směsí patří mezi obnovitelné zdroje energie, které jsou ekologicky velice příznivé a s tímto tvrzením souhlasí Kobes (2012), který dodává, že jetelovinotravní směsi představují při nízkých nákladech na pěstování jednu z nejproduktivnějších a ekologicky nejvhodnějších skupin plodin.

Jakubes et. al (2006) uvádějí, že z energetického hlediska je základním a nejčastějším konečným využitím biomasy její spalování, tedy termická přeměna (oxidace) biomasy za dostatečného přístupu kyslíku. Ohecová (2015) dodává, že většina světové energie z obnovitelných zdrojů pochází právě ze spalování biomasy.

Jedním z důležitých parametrů, které spalování biomasy ovlivňují, je výnos sušiny. Základem pro zjištění těchto údajů je procentuální obsah sušiny ve zkoumaných vzorcích a podíl jednotlivých komponentů ve směsích.

Z výsledků této diplomové práce vyplývá, že výnos sušiny ve zkoumaných jetelovinotravních směsích v roce 2020 byl nejvyšší ve variantách s festuloliem (viz Tabulka 10 a Graf 4). Ovšem celý porost byl negativně ovlivněn velkým výskytem hlodavců a především jeteloviny byly značně poškozeny, tudíž travní komponent byl ve sledovaných jetelovinotravních směsích dominantní. Z tohoto důvodu nelze také jednoznačně prokázat, která seč byla nejvýnosnější. První seč vykazovala díky festuloliu nejvyšší výnos, ale je patrné, že ve druhé seči už se začalo dařit i jetelovinám. Celkově lze tedy říci, že nejvýnosnější byla varianta V+FE a druhou nejvýnosnější byla varianta V+S+FE (viz Tabulka 10 a Graf 6). Obě tyto varianty byly nejvýnosnější také v celkovém výnosu sušiny za všechny tři seče (viz Tabulka 20 a Graf 26). Tato zjištění tedy potvrzují hypotézu, že směs jeteloviny s trávou je výnosnější než monokulturní porost, jak uvádí například Albayrak & Türk (2012). S tímto tvrzením souhlasí Ye et al. (2020), kteří říkají, že smíšené pěstování rychle rostoucích trav a jetelovin fixujících dusík je považováno za velice účinné pro dosažení trvale vysokých výnosů píce bez vyčerpání dusíku v půdě. Jak již bylo zmíněno v úvodu práce, právě tento rok byl ukázkou toho, kdy jeden druh je schopen vykompenzovat úbytek druhého druhu. Důvody mohou být různé, v případě tohoto pokusu se jednalo o poškození porostu hlodavci.

V roce 2019 naopak vykazovala nejvyšší výnos sušiny především varianta V, tj. samotná vojtěška a to i celkově (viz Tabulka 22, Graf 33 a 38). Ohledně výnosnosti sečí lze zkonstatovat, že nejlepší výsledky byly zaznamenány v první seči, kde opět dominovala vojtěška (viz Tabulka 23). Tím se nepotvrzuje výrok Sleugha et al. (2000), kteří uvádějí, že výnos jetelovin se zvyšuje především v pozdějších sečích.

V celkových výsledcích za všechny tři seče roku 2019 lze říci, že se výnosy sušiny variant příliš nelišily, nejvýnosnější byly varianty V, tj. samotné vojtěšky a V+S (viz. Tabulka

28 a Graf 50). Výsledky z roku 2019 by tedy mohly potvrdit hypotézu, že termín seče má vliv na výnos sušiny, jak uvádí například Gerndtová & Andert (2015), kteří říkají, že nejvyšší hodnoty výnosu v sušině vykazuje první seč, a významný vliv na produkci sušiny mají také termíny první seče.

Ovšem na druhou stranu tyto výsledky neprokazují jednoznačnou výhodu využití jetelotravní směsi proti monokulturnímu porostu.

Dalším parametrem, který se hodnotí při spalování biomasy, je obsah popela. Bakker & Elbersen (2005) říkají, že množství a kvalita popela v biomase závisí na velkém množství faktorů, včetně typu rostliny, podmínek pěstování, hnojení nebo i termínu sklizně. Autoři Obernverger et al. (2006) dodávají, že obsah popela ovlivňuje výběr vhodné technologie spalování a ovlivňuje tvorbu usazenin ve spalovacím prostoru kotlů. S tímto výrokem také souhlasí Raclavská et al. (2013), kteří říkají, že obsah popelovin v travách je z energetického hlediska významný, neboť může být limitujícím faktorem využitelnosti travní biomasy.

Obsah popela v biomase je také velmi důležitý proto, že při zvýšení koncentrace popela o 1 % se výhřevnost biomasy sníží o 0,2 MJ/kg (Jenkins et al. 1998).

Z laboratorních výsledků tohoto pokusu vyplývá, že nejnižší obsah popela mělo festulolium (viz Tabulka 14 a Graf 10). Tento výrok potvrzuje i Weiss (2019), který uvádí, že trávy mají obecně menší obsah popela než jeteloviny. Například kostřava obsahuje přibližně 7 – 9 % popela, zatímco jeteloviny jako vojtěška obsahují průměrně 10 – 12 %.

Jeho nejnižší obsah se také projevil zejména v první seči (viz Tabulka 15). Zařazení trávy do směsi s jetelovinou má tedy příznivý vliv na obsah popela ve sklizené biomase.

Neméně důležitým parametrem, který byl v této diplomové práci sledován, je výhřevnost, která udává dostupnou energii v Joulech na gram biomasy. Pro výpočet výhřevnosti byly použity hodnoty spalného tepla získané spalováním vzorků v adiabatickém kalorimetru IKA C 5000. Ibler & Ibler (2003) uvádějí, že výhřevnost se vypočte ze spalného tepla odečtením výparného tepla vody a zároveň dodává, že výhřevnost biomasy je závislá na obsahu vody. Protože obsah vody v biomase značně kolísá, hodnota výhřevnosti se rovněž v praxi pohybuje v širokém rozmezí.

Murtinger (2007) dodává, že vzhledem k výraznému vlivu vlhkosti na výhřevnost je nevyhnutelné biomasu před spalováním vysušit, protože výhřevnost výrazně klesá s rostoucím obsahem vody. Zároveň říká, že výhřevnost suché biomasy je zpravidla v rozmezí 15 - 19 MJ/kg.

Vypočtené údaje z tohoto pokusu se pohybovaly v rozmezí mezi 17 000 - 19 000 J/g, respektive 17 – 19 MJ/kg (viz Tabulka 16). Nejnižší hodnotu výhřevnosti vykazoval jetel v první seči, nejvyšší hodnoty dosahovala vojtěška ve druhé seči (viz Tabulka 17 a Grafy 11 a 12).

Ze získaných údajů o výhřevnosti jednotlivých komponentů a výnosů jejich sušiny byla stanovena produkce energie v GJ/ha. Tento údaj patří mezi další důležité ukazatele pro hodnocení vhodnosti jetelovinotravních směsí pro pěstování na energetické účely. MCKendry (2002) uvádí, že množství sušiny produkované biomasy na jednotku plochy určuje potenciální kapacitu výroby energie.

Rok 2020 se v tomto polním pokusu vyznačoval nejvyšší hodnotou vyprodukované energie u varianty V+FE (viz Tabulka 18 a Graf 20). Z této směsi nejvíce energie vyprodukovalo festulolium (viz Graf 18). Co se týče produktivity sečí, první i druhá seč byly takřka totožné, přičemž v první seči dominoval zmíněný travní komponent a v druhé seči byly již produktivnější i jeteloviny (viz Tabulka 19 a Graf 20).

Statisticky vyhodnocené údaje celkové produkce energie ze všech tří sečí vyjadřují opět stejný trend neproduktivnější varianty V+FE (viz Tabulka 21 a Graf 32). Naopak nejméně produktivní se jevila varianta V+J.

V roce 2019 vykazovala největší hodnotu produkce varianta V, tj. samotná vojtěška (viz Tabulka 26 a Graf 39), která dominovala ve všech variantách. Nejmenší hodnoty produkce energie dosahovala varianta V+S+FE (viz Graf 44). Z hlediska sečí, nejproduktivnější byla první seč, zbylé dvě seče měly více než o polovinu menší produkci energie než první seč (viz Tabulka 27).

V celkové produkci energie za všechny tři seče se rok 2019 vyznačoval opět nejproduktivnější variantou samotné vojtěšky spolu s variantou V+S. Nejméně energie vyprodukovala varianta V+S+FE (viz Tabulka 29 a Graf 56).

Tyto údaje z obou let ukazují, jak odlišné mohou jednotlivé komponenty ve své produktivitě být, právě z důvodu již zmiňovaného napadení porostu hlodavci. Pokusný porost v roce 2020 obecně vykazoval několikanásobně nižší hodnoty produkce energie, jak u jednotlivých komponentů, tak i u směsí. V roce 2019 se hodnoty produkce energie u všech variant pohybovaly v rozmezí 62,94 GJ/ha (V+S+FE – vojtěška + štírovník + festulolium) až 70,78 GJ/ha (V – vojtěška), což tyto jetelovinotravní směsi ve srovnání s jinými energetickými plodinami činí konkurenceschopné. Například autoři Stražil & Šimon (2009) uvádějí, že sláma obilnin má produkci energie 65 GJ/ha, sláma řepky olejky 45 GJ/ha, produkce energie čiroku se pohybuje okolo 123 GJ/ha a energetického šťovíku až 132 GJ/ha. Za příznivých podmínek může tedy porost jetelovinotravních směsí být produktivnější než sláma z řepky olejné nebo i sláma z obilnin.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo vyhodnocení různých jetelovinotravních směsí jako potenciálního zdroje biomasy pro přímé spalování, zjištění jejich výnosové schopnosti a stanovení jejich produkce energie z hektaru.

Cíl diplomové práce byl naplněn, protože byly vyhodnoceny polní i laboratorní výsledky pokusu s různými jetelovinotravními směsmi, kdy byl hodnocen vliv složení směsi a termín seče. Pro porovnání byly využity výsledky z roku 2020 a částečně i z roku 2019.

Dosaženo bylo těchto výsledků:

- Rok 2020

- průkazně nejvyšší celkový výnos sušiny v součtu tří sečí byl stanoven u varianty V+FE (vojtěška + festulolium) a činil 4,18 t/ha, u ostatních sledovaných variant se výnos pohyboval v rozpětí 2,08 – 3,43 t/ha,
- v průměru za všechny varianty byl výnos první seče 1,15 t/ha, výnos druhé seče byl 1,13 t/ha a průkazně nižší výnos třetí seče činil 0,51 t/ha,
- obsah popela ve sledovaných kulturních druzích se pohyboval od 8,16 % (u festulolia v první seči) do 10,66 % (štírovník ve druhé seči), v biomase plevelů byl v rozpětí 9,54 – 12,41 %,
- nejnižší hodnotu výhřevnosti (17030 J/g) vykazoval jetel luční v první seči, nejvyšší hodnoty (18716 J/g) dosahovala vojtěška ve druhé seči, u všech kulturních druhů byly nejnižší hodnoty výhřevnosti zjištěny v první seči,
- první a druhá seč byly průkazně energeticky produktivnější (20,59 a 20,56 GJ/ha) ve srovnání s třetí sečí (9,26 GJ/ha),
- celková produkce energie v součtu za tři seče dosáhla průkazně nejvyšší hodnoty 75,56 GJ/ha u varianty V+FE (vojtěška + festulolium), ostatní varianty byly v rozmezí 38,52 – 61,95 GJ/ha.

- Rok 2019

- celkový výnos sušiny v součtu tří sečí se pohyboval od 10,37 t/ha u varianty V+S+FE (vojtěška + štírovník + festulolium) do 11,66 t/ha u varianty V (vojtěška), rozdíly mezi variantami nebyly statisticky významné,
- v průměru za všechny varianty vykazovala první seč nejvyšší výnos (6,18 t/ha), druhá seč byly 2,22 t/ha a třetí seč činila 2,60 t/ha,
- energeticky nejproduktivnější byla průkazně první seč s hodnotou 110,55 GJ/ha, nižší hodnoty byly zaznamenány ve druhé seči (41,34 GJ/ha) i ve třetí seči (47,60 GJ/ha),
- celková produkce energie v součtu za tři seče byla v rozmezí od 188,83 GJ/ha u varianty V+S+FE (vojtěška + štírovník + festulolium) do 212,34 GJ/ha (varianta V – vojtěška) bez průkazného rozdílu mezi sledovanými variantami.

Stanovené hypotézy měly potvrdit, že složení jetelovinotravní směsi a pořadí seče má vliv na výnos sušiny, hodnotu výhřevnosti a celkovou produkci energie.

Dosažené výsledky pokusu jednoznačně potvrzují vliv pořadí seče na výnos i produkci energie. Vliv složení směsi na výnos a množství energie nebyl v roce 2019 prokázán. V roce 2020 byly průkazně vyšší výnos i množství energie stanoveny u směsi V+FE (vojtěška + festulolium), ale současně je nutné konstatovat, že v tomto roce byly sledované porosty značně poškozeny hraboši.

Nižší hodnoty výhřevnosti byly u biomasy kulturních druhů zjištěny v první seči. Vliv složení směsi na výhřevnost prokázán nebyl.

Využití biomasy jetelovinotravních směsí pro energetické účely, bez ohledu na jejich složení, může být jednou z možností, jak postupně nahrazovat fosilní paliva, a to především z důvodu pozitivního vlivu jejich pěstování na životní prostředí. Ať již z hlediska snížení emisí skleníkových plynů, celkového zlepšení stavu půdy nebo zabraňování erozi.

8 Literatura

- AGRISERVIS. 2020. Osivo vojtěšky seté. AGRISERVIS. Available from <https://www.agriservis.cz/osivo-vojtesky-sete> (accessed February 2021).
- Albayrak S, Türk M. 2012. Changes in the forage yield and quality of legume-grass mixtures throughout a vegetation period. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **37**: 139-147.
- Almodares A, Hadi MR. 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research* **9**: 772-780.
- Aponte A, Samarappuli D, Berti MT. 2019. Alfalfa-grass mixtures in comparison to grass and alfalfa monocultures. *Agronomy journal* **111**: 628-638.
- Bakker RR, Elbersen HW. 2005. Managing ash content and quality in herbaceous biomass: an analysis from plant to product in 14th European biomass conference and exhibition. Wageningen University & Research centre, Wageningen.
- Basu P. 2010. Biomass gasification and pyrolysis, practical design and theory. Elsevier, Oxford.
- Burner DM, Tew TL, Harvey JJ, Belesky DP. 2008. Dry matter partitioning and quality of *Miscanthus*, *Panicum* and *Saccharum* genotypes in Arkansas, USA. *Biomass and Bioenergy* **33**: 610-619.
- Burvall J. 1997. Influence of harvest time and soil type on fuel quality in reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.). *Biomass and Bioenergy* **12**:149-154.
- Carioca JOB, PannirSelvan PV, Arora HL, DaSilva EJ. 2020. Energy from biomass. *Impact of Science on Society* **148**: 305-315.
- Cihlár P. 2017. Výzkumná stanice Červený Újezd. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Available from <https://www.af.czu.cz/cs/r-6779-katedry-a-soucasti/r-8736-ostatni-pracoviste/r-8759-vyzkumna-stanice-cerven-yjezd> (accessed January 2021).
- Clarke S, Eng P, Preto F. 2011. Biomass burn characteristics. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Available from https://www.researchgate.net/profile/Fernando_Preto/publication/265498636_Biomass_Burn_Characteristics/links/5592bb9808aed7453d463ce8.pdf (accessed January 2021).
- ČSN ISO 1928. 2010. Tuhá paliva – Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.

Demirbas A. 2002. Sustainable cofiring of biomass with coal. *Energy Conversion and Management* **44**: 1465-1479.

Demirbas A. 2004. Combustion characteristic of different biomass Fuels. *Progress in Energy and Combustion Science* **30**: 219-230.

Dhakal D, Islam MA. 2018. Grass-legume mixtures for improved soil health in cultivated agroecosystem. *Sustainability* **10**: 1-14.

DiTomaso JM, Barney JN, Fox AM. 2007. Biofuel feedstocks: The risk of future invasions. The Council for Agricultural Science and Technology. Available from <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1290&context=usdaarsfacpub> (accessed November 2020).

DLF seeds & science. 2021. CALLISTO. DLF seeds & science. Available from <https://www.dlf.cz/picniny/jeteloviny/picni-druhy/jeteloviny/jetel-lucni/callisto-prod1617> (accessed February 2021).

Erol M, Hykiri-Acma H, Küçükbayrak S. 2010. Calorific value estimation of biomass from their proximate analyses data. *Renewable Energy* **35**: 170-173.

European commission. 2020. Climate action. European union. Available from https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en#tab-0-0 (accessed November 2020).

Gerndtová I, Andert D. 2015. Vliv obhospodařování trvalých travních porostů na obsah a kvalitu organické hmoty. *Agritech Science* **15**: 1-5.

Gerndtová I, Hutla P, Andert D. 2018. Porovnání několika druhů energetických travin pro produkci lisovaných biopaliv. *Aktuální témata v pícninářství a trávníkářství* **2018**: 5-10.

Gray KA, Zhao L, Emptage M. 2006. Bioethanol. *Chemical Biology* **10**: 141-146.

Hadders G, Olsson R. 1997. Harvest of grass for combustion in late summer and in spring. *Biomass and Bioenergy* **3**:171-175.

Hakl J. 2014. Vojtěškotravní a jetelotravní směsi. *Zemědělec* **3**: 10-11.

Havlíčková K, Knápek J. 2011. Ekonomika pěstování ozdobnice pro energetické účely v České republice. Pages 55-59 in Benetka V, Bubeník J, Havlíčková K, Kozlíková K, Štochlová P, Weger J, Knápek J, Ošlejšek P, Hutla P, Stražil Z, Boháč J, Celjak I, Diviš J, Kohout P, Konvalina P, Moudrý J, Moudrý J, Pavelková L, Štěrba Z, Kajan M, Lhotský R, (eds.). *Acta Pruhoniciana. Výzkumný ústav SILVA TAROUČY pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., Průhonice.*

- Havlíčková K. 2010. Analýza potenciálu biomasy v České republice. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Pelhřimov.
- Haynes RJ. 1980. Competitive aspects of the grass-legume association. *Advances in Agronomy* **33**: 227-261.
- HOKR. 2021. NPK 15-15-15 LOVOFERT. HOKR. Available from <https://www.hokr.cz/agro/prumyslova-hnojiva/viceslozkova-hnojiva/npk-15-15-15-lovofert> (accessed February 2021).
- Hrdlička F, Hrdlička J. 2006. Spalování biomasy – zdroje obnovitelné energie. Vytápění, větrání, instalace **4**: 169-175.
- Hughes E. 2000. Biomass cofiring: economics, policy and opportunities. *Biomass and Bioenergy* **19**: 457-465.
- Christian DG, Yates NE, Riche AB. 2006. The effect of harvest date on the yield and mineral content of *Phalaris arundinacea* L. (reed canary grass) genotypes screened for their potential as energy crops in southern England. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **86**: 1181-1188.
- Ibler Z, Ibler Z jr. 2003. Možnosti rozvoje výroby tepla a elektřiny využitím biomasy v regionech a městech ČR. Česká energetická agentura, Česká republika.
- Jakubes J, Bellingová H, Šváb M. 2006. Moderní využití biomasy, technologické a logistické možnosti. Česká energetická agentura.
- Jenkins BM, Bakker RR, Wei JB. 1996. On the properties of washed straw. *Biomass and Bioenergy* **4**: 177-200.
- Jenkins BM, Baxter LL, Miles TR jr., Miles TR. 1998. Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology* **54**: 17-46.
- Ketzer D, Rösch C, Haase M. 2017. Assessment of sustainable Grassland biomass potentials for energy supply in Northwest Europe. *Biomass and Bioenergy* **100**: 39-51.
- Klass DL. 1998. Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals. Academic Press, London.
- Kobes M. 2012. Sestavování jetelovinotravních směsí. Zemědělec. Available from <https://www.zemedelec.cz/sestavovani-jetelovinotravnich-smesi/> (accessed February 2021).

Koukios EG. 2002. Biomass. In Koukios EG, Ossenbrink H, Fraenkel P, Reinhart CF, Becker M, Meinecke, Geyer M, Trieb F, Blanco M, Romero M, Ferriere A, Beurskens J, Jensen PH, Zervos A, Diakoulaki D, Mayer D, McNelis B, van Roekel G, Preiser K, Fraenkel P, Hennecke K, Hoffschmidt B, Meinecke W, Heinz Funken K, Sattler C, Richter C, Tamme R, Blanco J, Lédé J, (eds.). The future for renewable energy 2: Prospects and directions. EUREC Agency, USA.

Kovár P. 2014. Farebné d'atelinoviny. Pages 93-104 in Skládanka J, Cagaš B, Doležal P, Havlíček Z, Hejduk S, Horký P, Jankovič Ján, Klusoňová I, Knot P, Kovár P, Alba Mejía JE, Mikyska F, Nawrath A, Pokorný R, Sláma P, Szwedziak K, Tukiendorf M, Šeda J, Vozár L, Vyskočil I, Zeman L, Hrabě F, Kobes M, (eds.). Pícninářství. Mendelova univerzita v Brně, Brno.

Kraus P, Říha P. 2016. Přehled odrůd 2016: Jeteloviny a trávy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav, Brno.

Krishnan R, Hauchhum L, Gupta R. 2018. Prediction of equations for higher heating values of biomass using proximate and ultimate analysis. Pages 1- 5 in 2nd International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Smart Technology. India.

Lewandowski I, Kicherer A. 1997. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus giganteus*. European Journal of Agronomy **6**: 163-177.

Lewandowski I, Scurlock JMO, Lindvall E, Christou M. 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. Biomass and Bioenergy **25**: 335-361.

Librenti I, Ceotto E, Candilo MDI. 2010. Biomass characteristics and energy contents of dedicated lignocellulosic crops. 3rd International Symposium on Energy from Biomass and Waste. CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Venice.

Ma Y, Guan YJ, Zhang K, Xu G, Yang YP, Stevenson P. 2018. Dependency of the combustion behavior of energy grass and free other type of biomass upon lignocellulosic composition. Environmental Progress & Sustainable Energy **37**: 815-823.

MCKendry P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology **83**: 37-46.

Müller M. 2017. *Festulolium* - více než 2 v 1. Agromanual. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/festulolium-vice-nez-2-v-1> (accessed January 2021).

- Murtinger K. 2007. Možnosti využití biomasy. Biom.cz. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-biomasy> (accessed March 2021).
- Nussbaumer T. 2003. Combustion and co- combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Rediction. *Energy&Fuels* **17**:1510-1521.
- Obernberger I, Brunner T, Bärnthaler G. 2006. Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. *Biomass and Bioenergy* **30**: 973–982.
- Ochecová P. 2015. Popel z biomasy – významný zdroj živin. Biom.cz. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/popel-z-biomasy-vyznamny-zdroj-zivin> (accessed 2015).
- Ochodek T, Koloničný J, Janásek P. 2007. Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. Technická univerzita Ostrava – výzkumné energetické centrum, Ostrava.
- Özyuguran A, Yaman S. 2017. Prediction of calorific value of biomass from proximate analysis. *Energy Procedia* **107**: 130-136.
- Pannacci E, Bartolini S. 2018. Effect of nitrogen fertilization on sorghum for biomass production. *Agronomy Research* **5**: 2146-2155.
- Pastorek Z, Kára J, Jevič P. 2004. Biomasa – obnovitelný zdroj energie. FCC Public, Praha.
- Piszczałka J, Jobbágy J. 2012. Bioenergetika Zelená energia. SPU, Nitra.
- Prochnow A, Heiermann M, Plöchl M, Amon T, Hobbs PJ. 2009. Bioenergy from permanent grassland – a review: 2. Combustion. *Bioresource Technology* **100**: 4945-4954.
- Raclavská H, Frydrych J, Andert D, Juchelková D, Zajonc O, Gerndtová I. 2013. Význam popelovin v travní biomase pro energetické účely. Biom.cz. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyznam-popelovin-v-travni-biomase-pro-energeticke-ucely> (accessed March 2021).
- Reynolds SG, Frame J. 2005. Grasslands: developments, opportunities, perspectives. Science Publishers, USA.
- Ronak Briquetting Press Manufacturer. 2014. Calorific value of fuels. SCRIBD. Available from <https://www.scribd.com/doc/210705891/Read-the-Calorific-Value-of-Biomass-Fuels> (accessed January 2021).
- Silva LS, Mullenix K, Dillard SL, Kesheimer K, Russell D. 2020. Alfalfa establishment and management. Alabama Cooperative Extension System, Alabama. Available from https://www.researchgate.net/publication/344379096_Alfalfa_Establishment_and_Management (accessed December 2020).

- Skála Z, Ochodek T. 2007. Biomass energy parameters. Technická univerzita, Ostrava.
- Skládanka J. 2014. Základní druhy jetelovin. Pages 73-92 in Skládanka J, Cagaš B, Doležal P, Havlíček Z, Hejduk S, Horký P, Jankovič Ján, Klusoňová I, Knot P, Kovár P, Alba Mejía JE, Mikyska F, Nawrath A, Pokorný R, Sláma P, Szwedziak K, Tukiendorf M, Šeda J, Vozár L, Vyskočil I, Zeman L, Hrabě F, Kobes M, (eds.). Pícninářství. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Sleugh B, Moore KJ, George JR, Brummer EC. 2000. Binary legume-grass mixtures improve forage yield, quality and seasonal distribution. *Agronomy Journal* **92**: 24-29.
- Strašil Z, Kohoutek A, Diviš J, Kajan M, Moudrý J, Moudrý J jr. 2011. Trávy jako energetický surovina. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Strašil Z, Šimon J. 2009. Stav a možnosti využití rostlinné biomasy v energetice ČR. *Biom.cz*. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/stav-a-moznosti-vyuziti-rostlinne-biomasy-v-energetice-cr> (accessed April 2021).
- Syrový O, Gerndtová I, Jevič P, Kára J, Kubín K, Pražan R, Šedivá Z. 2014. Minimální potřeba energií pro zajištění základních funkcí zemědělství v krizové situaci a možnosti jejího zajištění z vlastních energetických zdrojů resortu. Výzkumný ústav zemědělské techniky v.v.i, Praha.
- TAGRO Červený dvůr, s.r.o. 2007. TABORAK. TAGRO Červený dvůr, s.r.o, Tábor. Available from <http://www.tagro.cz/PDF/%C5%A0t%C3%ADrovn%C3%ADk%20r%C5%AF%C5%BEkat%C3%BD%20TABORAK.pdf> (accessed February 2021).
- Tahir MHN, Casler MD, Moore KJ, Brummer EC. 2011. Biomass yield and quality of reed canarygrass under five harvest management systems for bioenergy production. *BioEnergy Research* **4**: 111-119.
- Tolbert VR, Schiller A. 1996. Environmental enhancement using short-rotation woody crops nad perennial grasses as alternative agricultural crops. U. S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information. United States. Available from <https://www.osti.gov/biblio/398558> (accessed October 2020).
- Tumuluru JS, Hess JR, Boardman RD, Wright CT, Westover TL. 2012. Formulation, pretreatment, and densification options to improve biomass specifications for co-firing high percentages with coal. *Industrial Biotechnology* **3**: 113-132.
- Ušťak S, Šinko J, Muñoz J. 2020. Hybrid sorrel: cultivation potential and use as a novel non-food multipurpose crop. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* **15**: 131-149.
- Van Loo S, Koppejan J. 2008. Biomass combustion&co-firing. Earthscan, London.

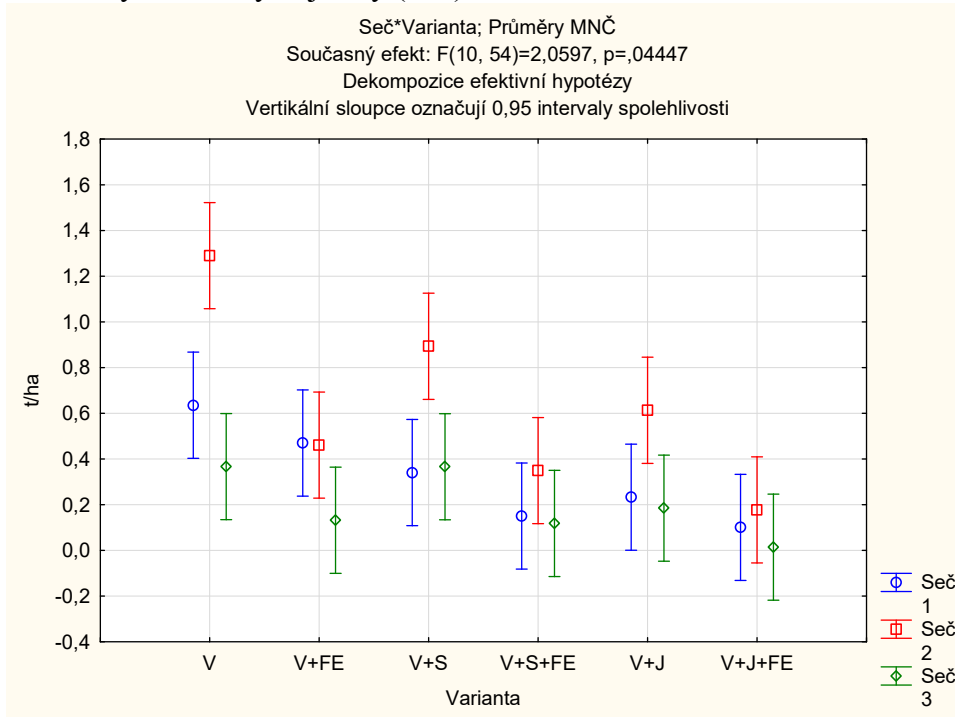
- Vassilev SV, Vassileva CG, Vassilev VS. 2015. Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: An overview. *Fuel* **158**: 330-350.
- Venclová B. 2020. Plevelé v nově založených porostech vojtěsky seté. Úroda. Available from <https://www.uroda.cz/plevele-v-nove-zalozenych-porostech-vojtesky-sete/> (accessed December 2020).
- Veverková J. 2019. Pozice obnovitelných zdrojů energie v energetické bilanci České republiky. Tzbinfo. Available from <https://oze.tzb-info.cz/19358-pozice-obnovitelnych-zdroju-energie-v-energeticke-bilanci-ceske-republiky-1> (accessed February 2021).
- Voláková P. 2010. Prvkové složení biomasy. Biom.cz. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/prvkove-slozeni-biomasy> (accessed January 2021).
- Weiss B. 2019. Forages. The Ohio State University, Ohio. Available from <https://forages.osu.edu/news/feeding-high-ash-forages> (accessed April 2021).
- Yang B, Wyman CE. 2007. Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol. *Biofuels Bioproducts & Biorefining* **1**: 26-40.
- Ye, Y, Rui Y, Zeng Z, He X, Wang K, Zhao J. 2020. Responses of soil nematode community to monoculture or mixed culture of a grass nad legume forage species in China. *Pedosphere* **30**: 791-800.

9 Samostatné přílohy

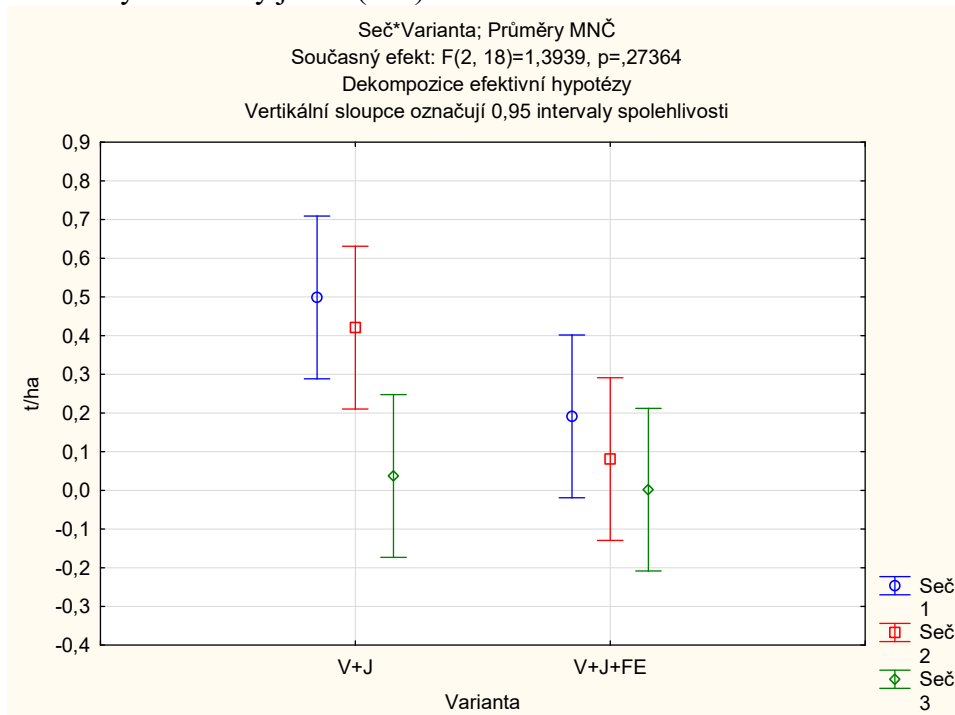
9.1 Polní výsledky, rok 2020 - grafické znázornění

9.1.1 Výnos sušiny rostlin

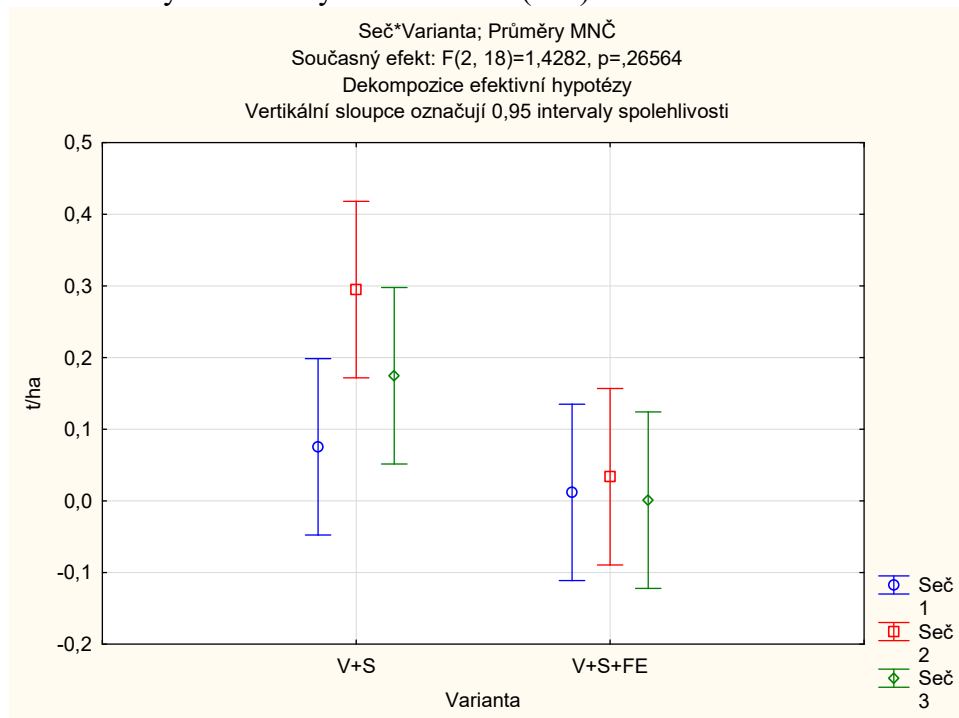
Graf 1 Výnos sušiny vojtěšky (t/ha) v roce 2020 - interakce seč a varianta



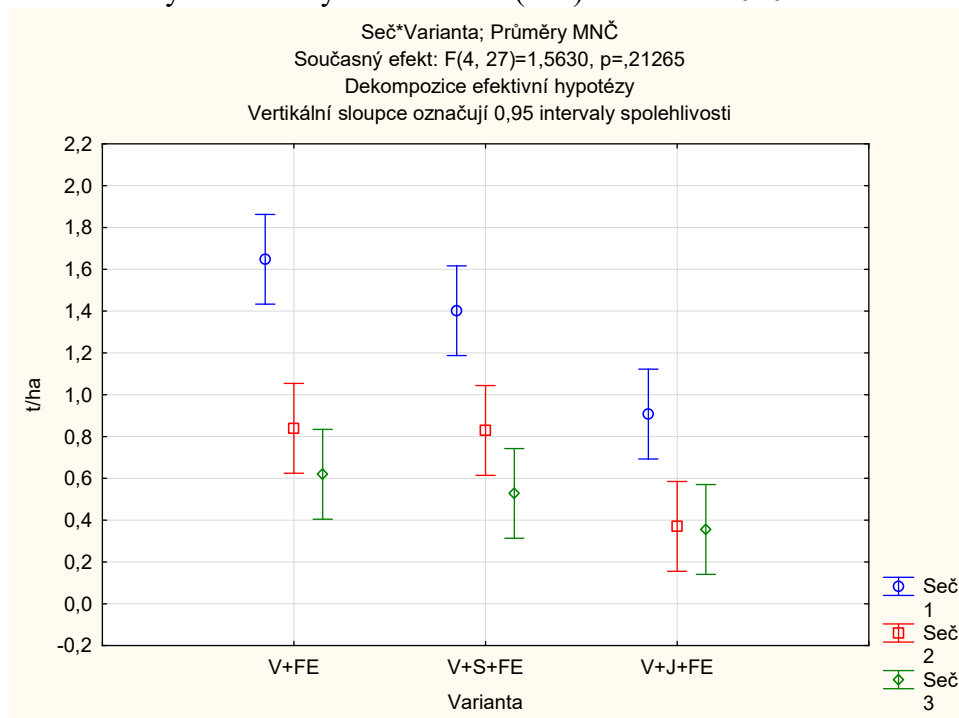
Graf 2 Výnos sušiny jetele (t/ha) v roce 2020 - interakce seč a varianta



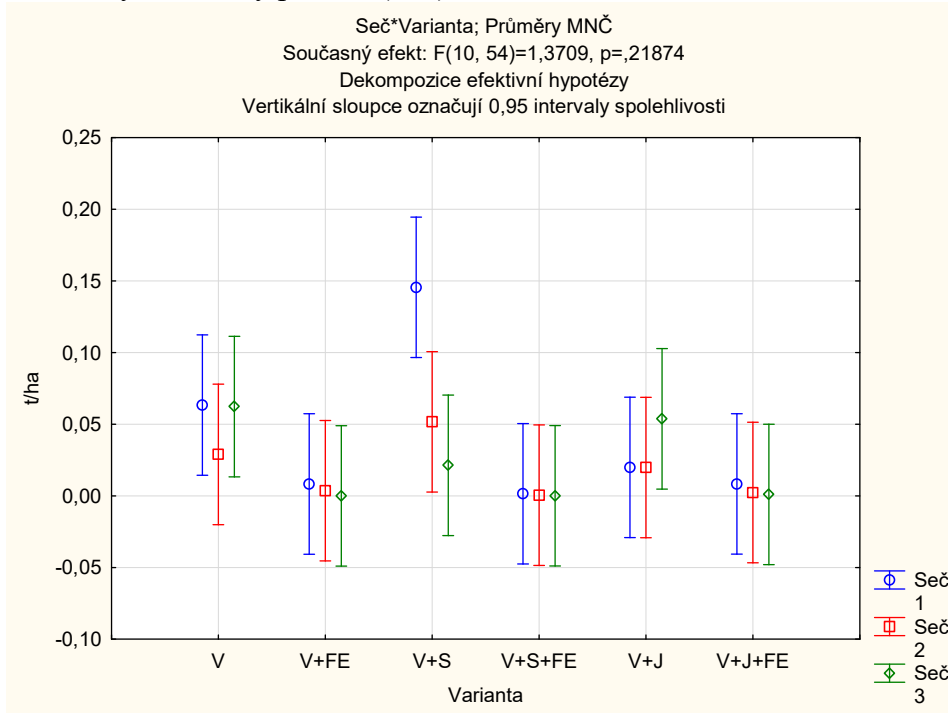
Graf 3 Výnos sušiny štirovníku (t/ha) v roce 2020 - interakce seč a varianta



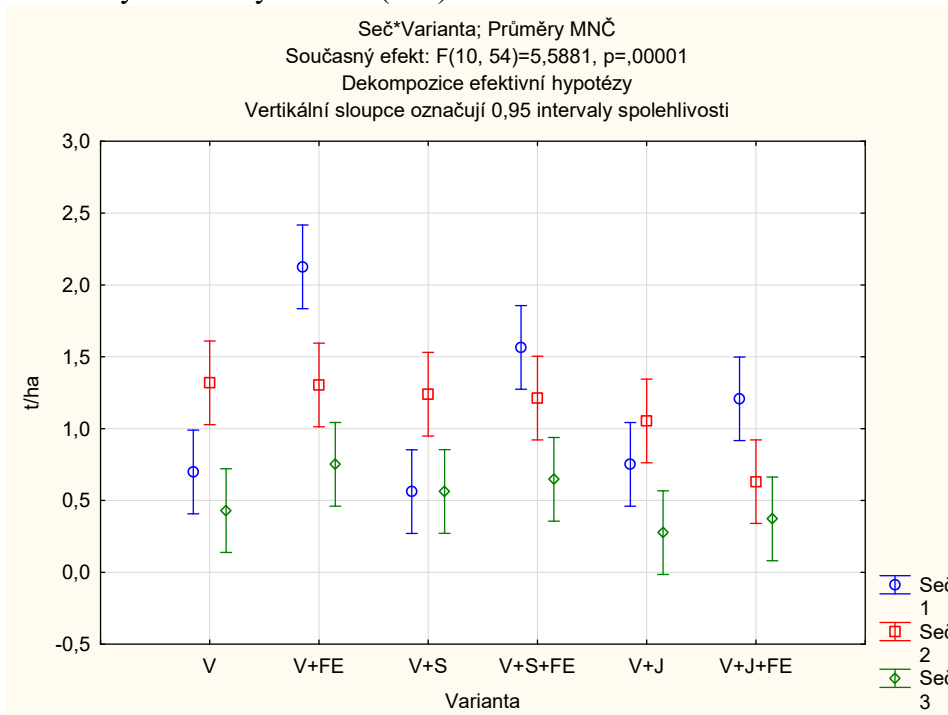
Graf 4 Výnos sušiny festulolia (t/ha) v roce 2020 - interakce seč a varianta



Graf 5 Výnos sušiny plevele (t/ha) v roce 2020 - interakce seč a varianta



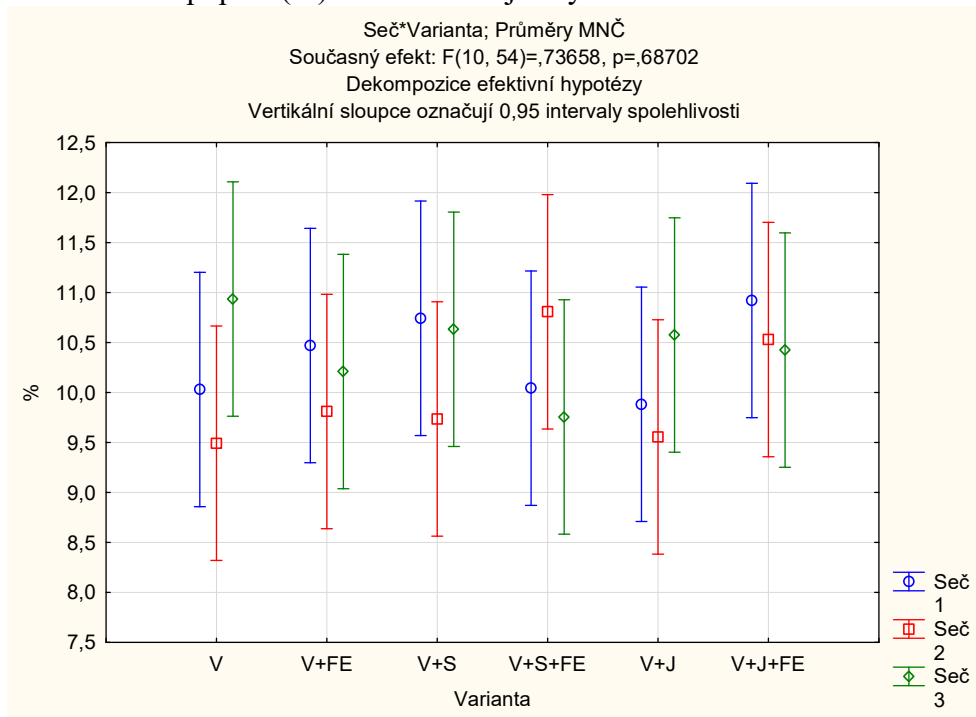
Graf 6 Výnos sušiny celkem (t/ha) v roce 2020 - interakce seč a varianta



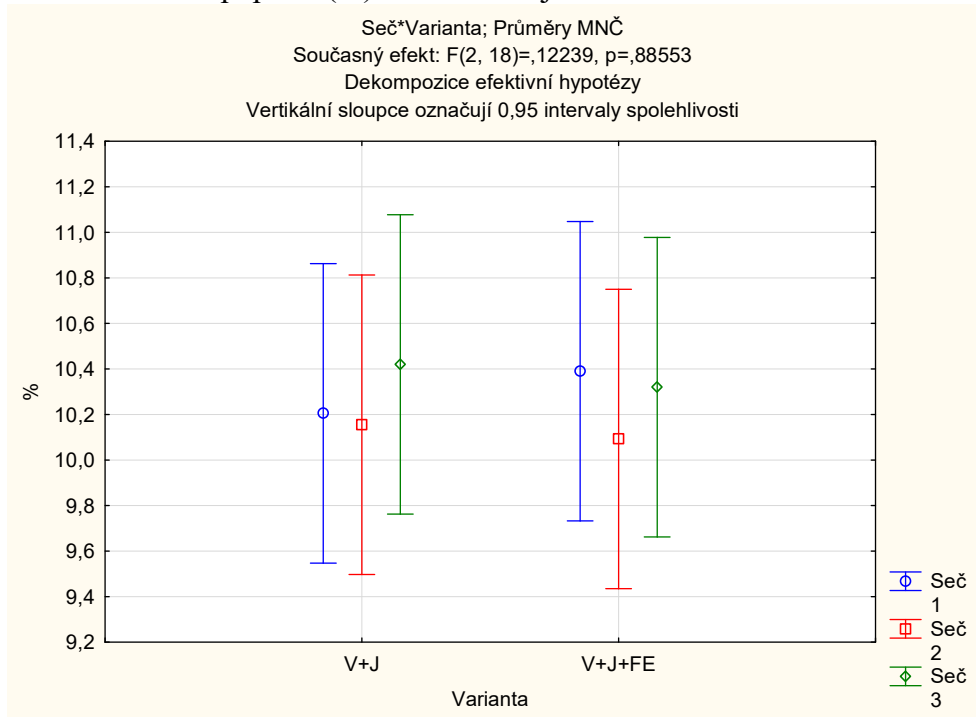
9.2 Laboratorní výsledky, rok 2020 - grafické znázornění

9.2.1 Obsah popela v biomase

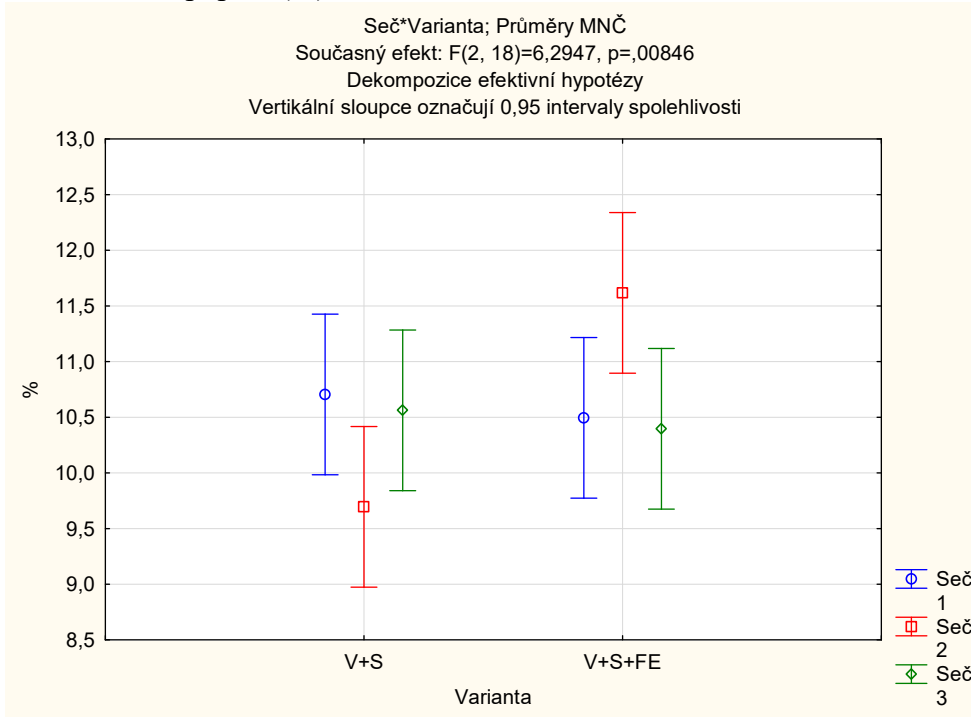
Graf 7 Obsah popela (%) v biomase vojtěšky v roce 2020 - interakce seč a varianta



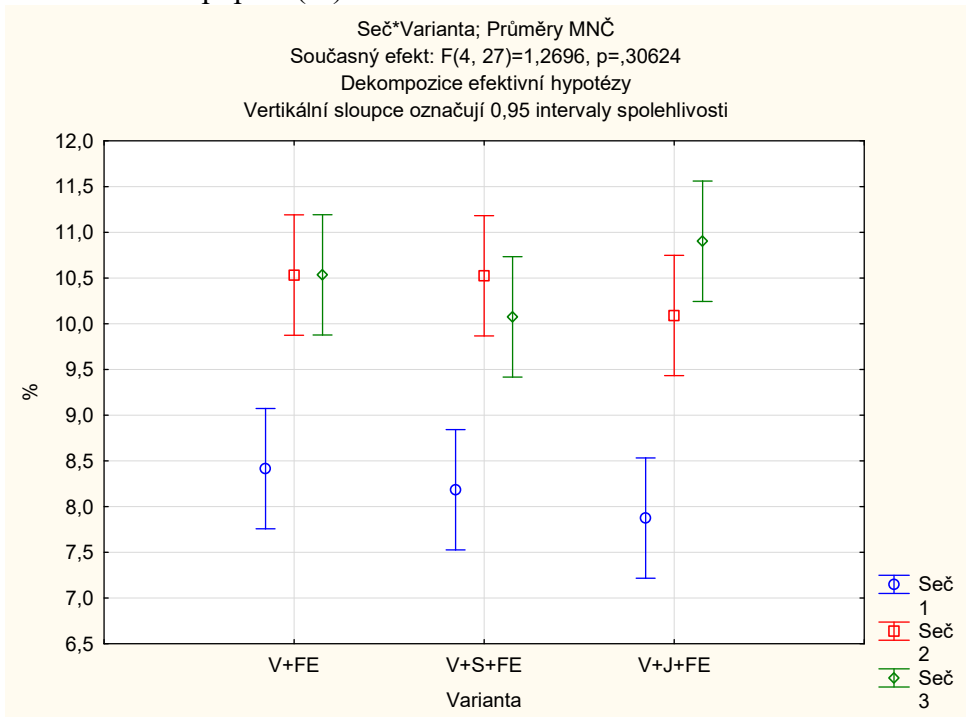
Graf 8 Obsah popela (%) v biomase jetele v roce 2020 - interakce seč a varianta



Graf 9 Obsah popela (%) v biomase štírovníku v roce 2020 - interakce seč a varianta

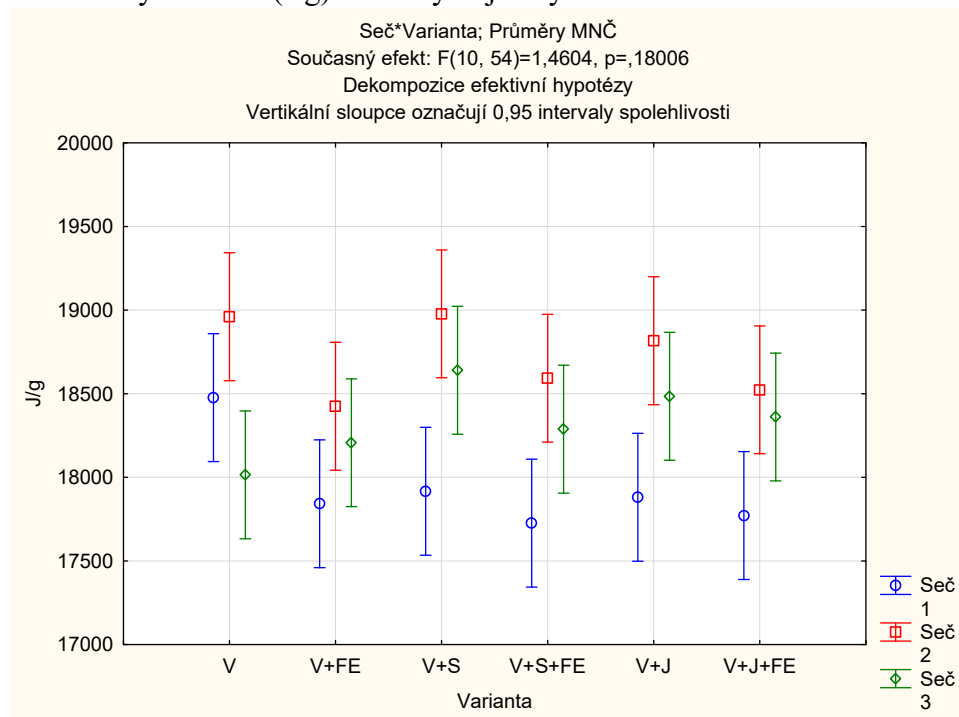


Graf 10 Obsah popela (%) v biomase festulolia v roce 2020 - interakce seč a varianta

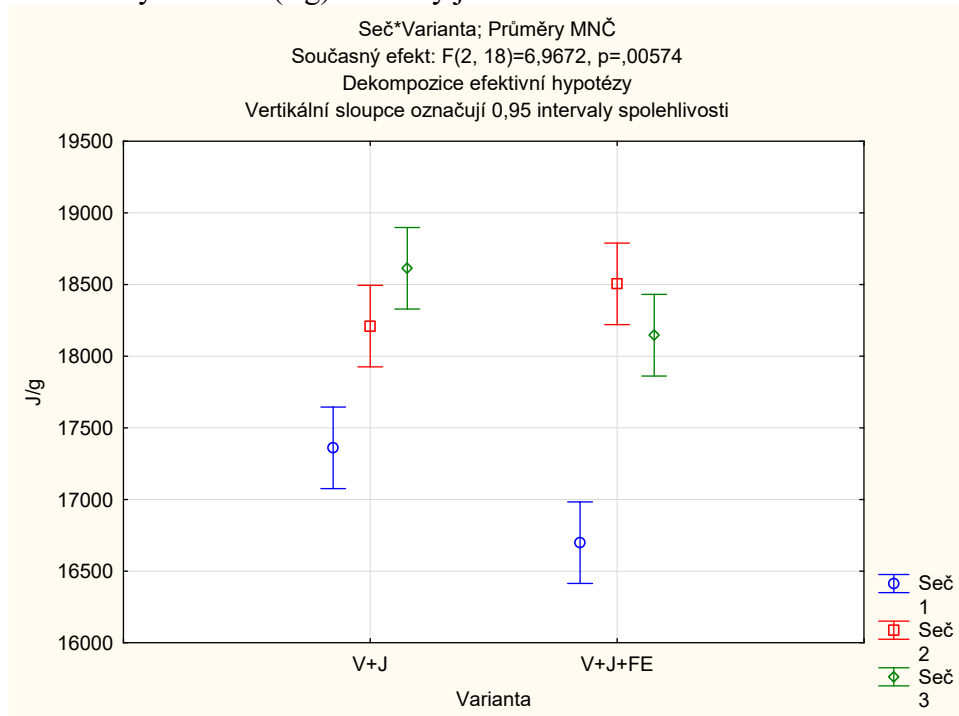


9.2.2 Výhřevnost biomasy

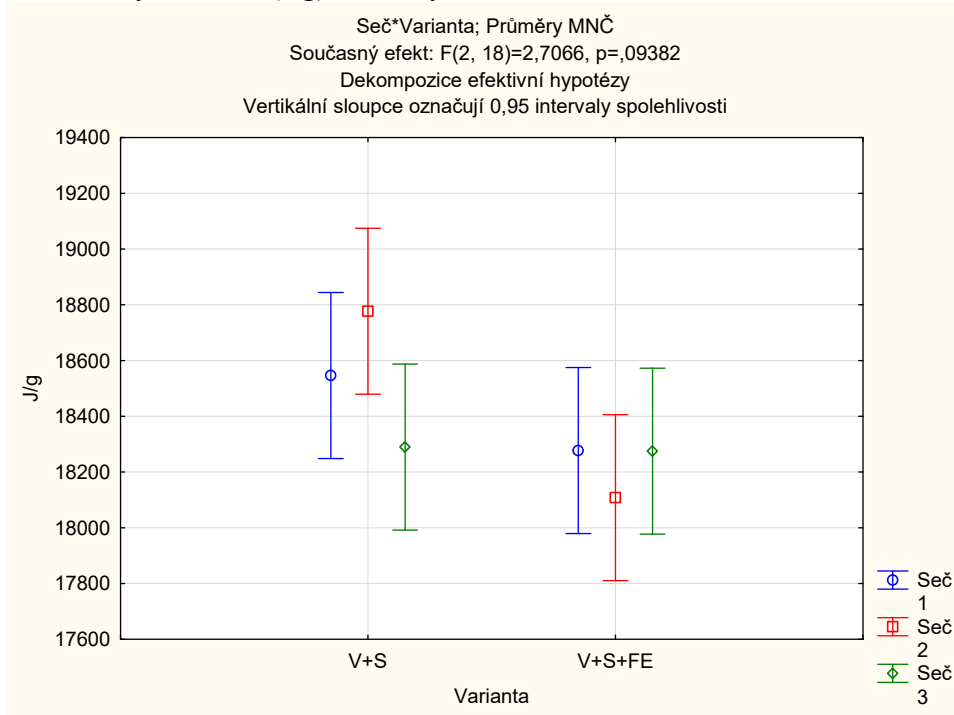
Graf 11 Výhřevnost (J/g) biomasy vojtěšky v roce 2020 - interakce seč a varianta



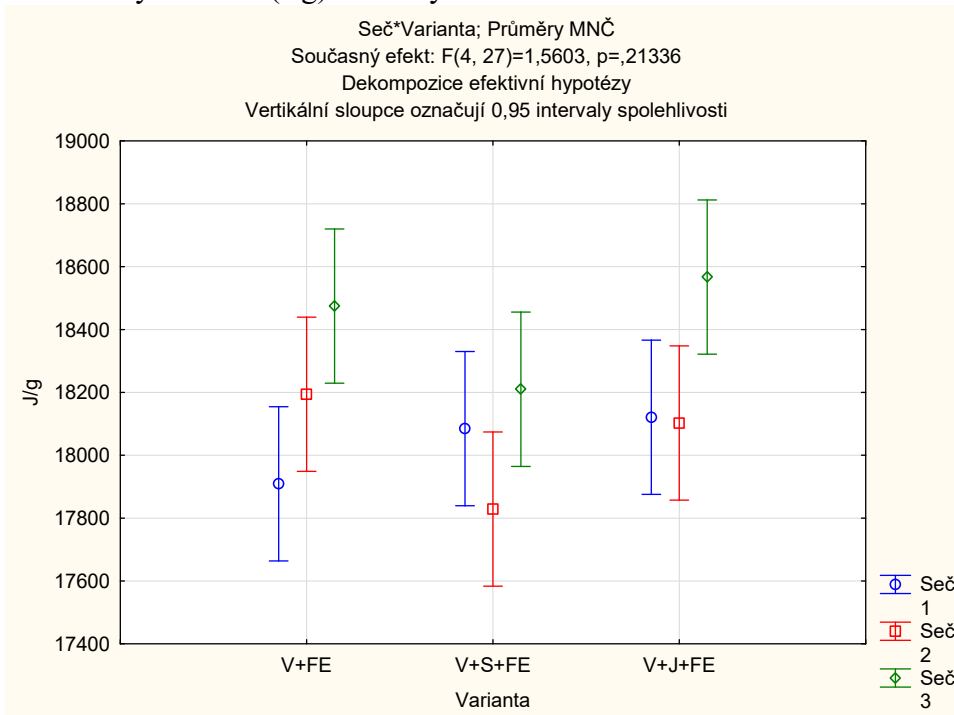
Graf 12 Výhřevnost (J/g) biomasy jetele v roce 2020 - interakce seč a varianta



Graf 13 Výhřevnost (J/g) biomasy štírovníku v roce 2020 - interakce seč a varianta



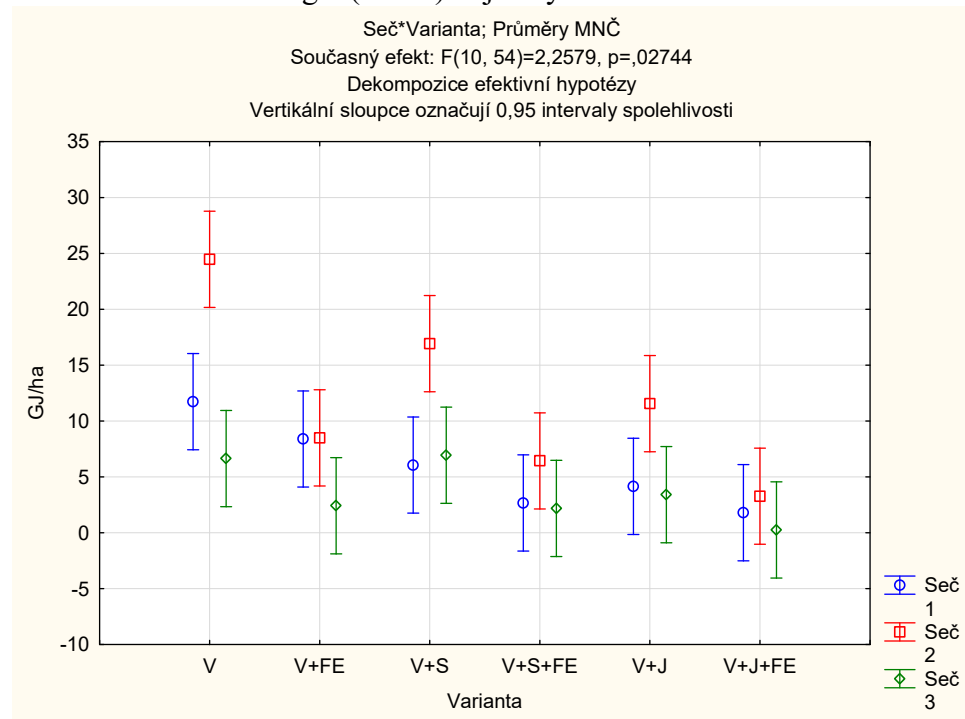
Graf 14 Výhřevnost (J/g) biomasy festulolia v roce 2020 - interakce seč a varianta



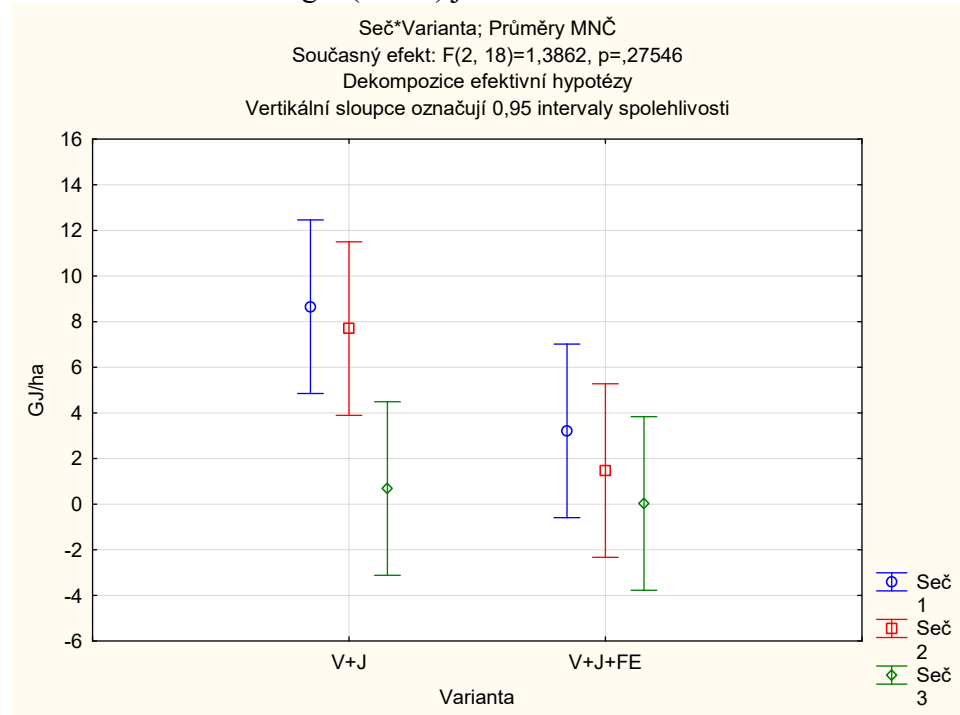
9.3 Produkce energie, rok 2020 - grafické znázornění

9.3.1 Produkce energie

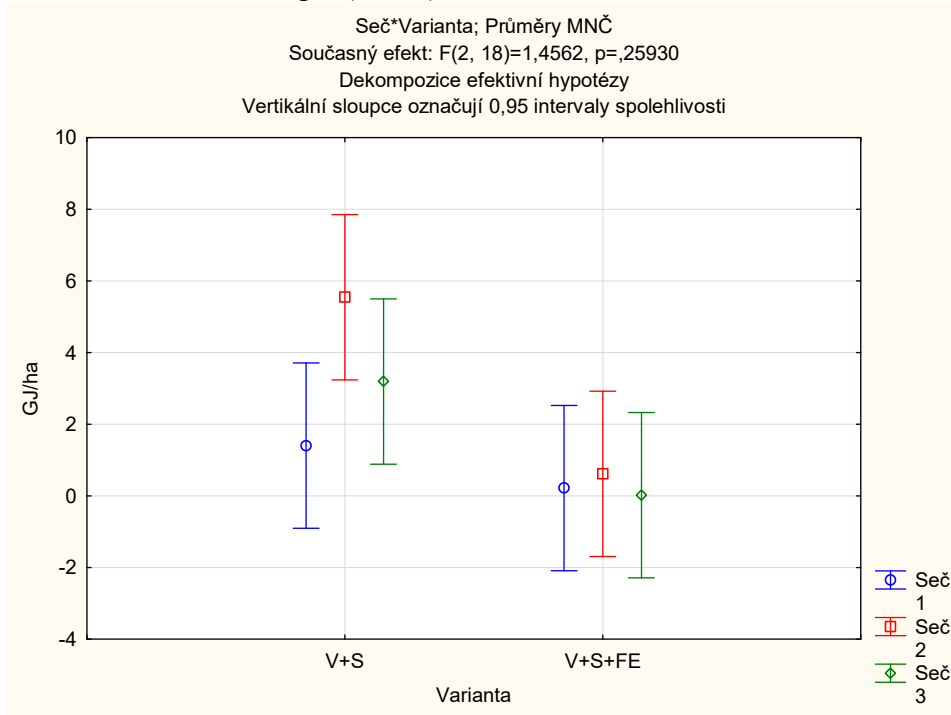
Graf 15 Produkce energie (GJ/ha) vojtěšky v roce 2020 - interakce seč a varianta



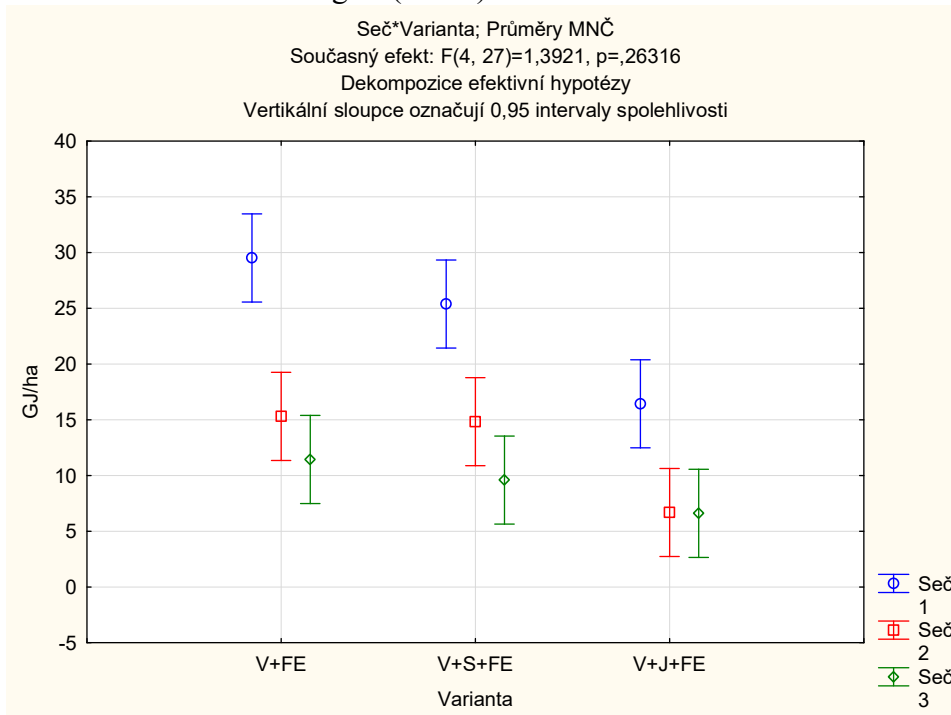
Graf 16 Produkce energie (GJ/ha) jetele v roce 2020 - interakce seč a varianta



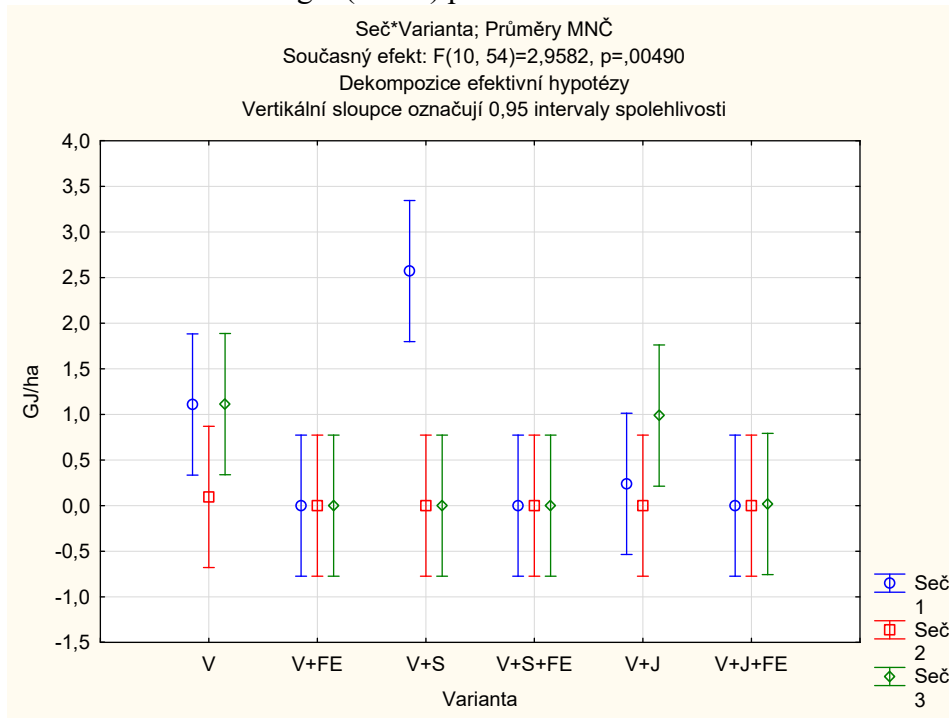
Graf 17 Produkce energie (GJ/ha) štirovníku v roce 2020 - interakce seč a varianta



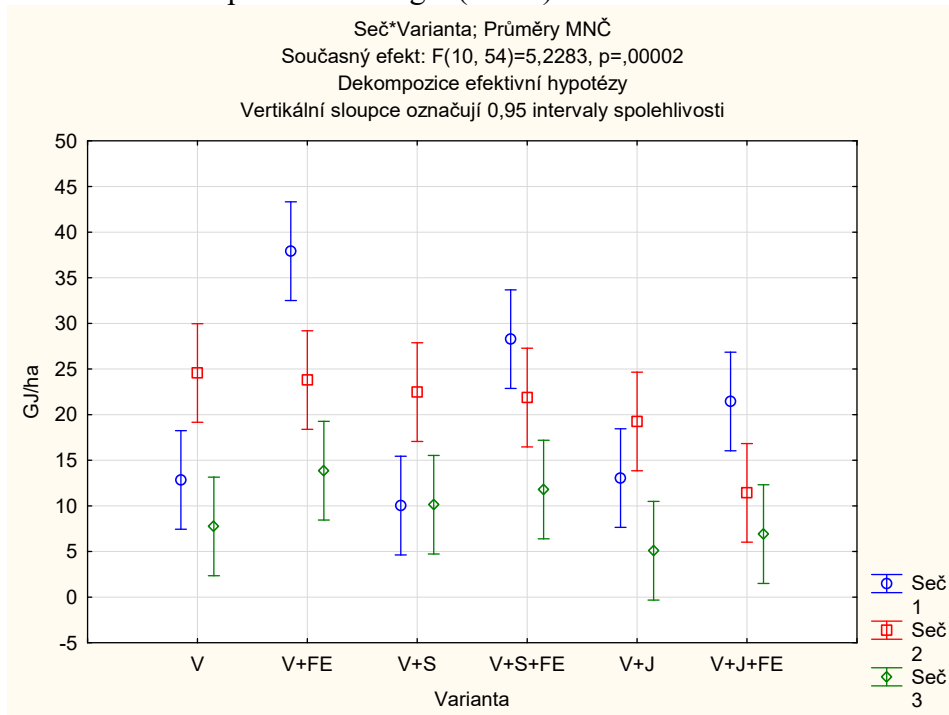
Graf 18 Produkce energie (GJ/ha) festulolia v roce 2020 - interakce seč a varianta



Graf 19 Produkce energie (GJ/ha) plevele v roce 2020 - interakce seč a varianta



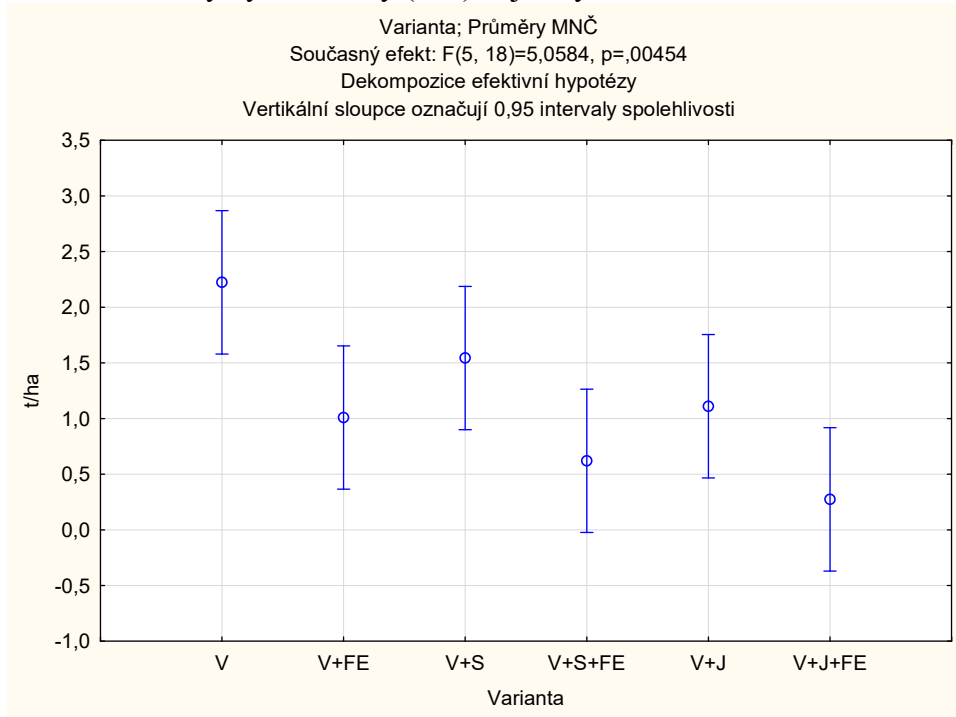
Graf 20 Celková produkce energie (GJ/ha) v roce 2020 - interakce seč a varianta



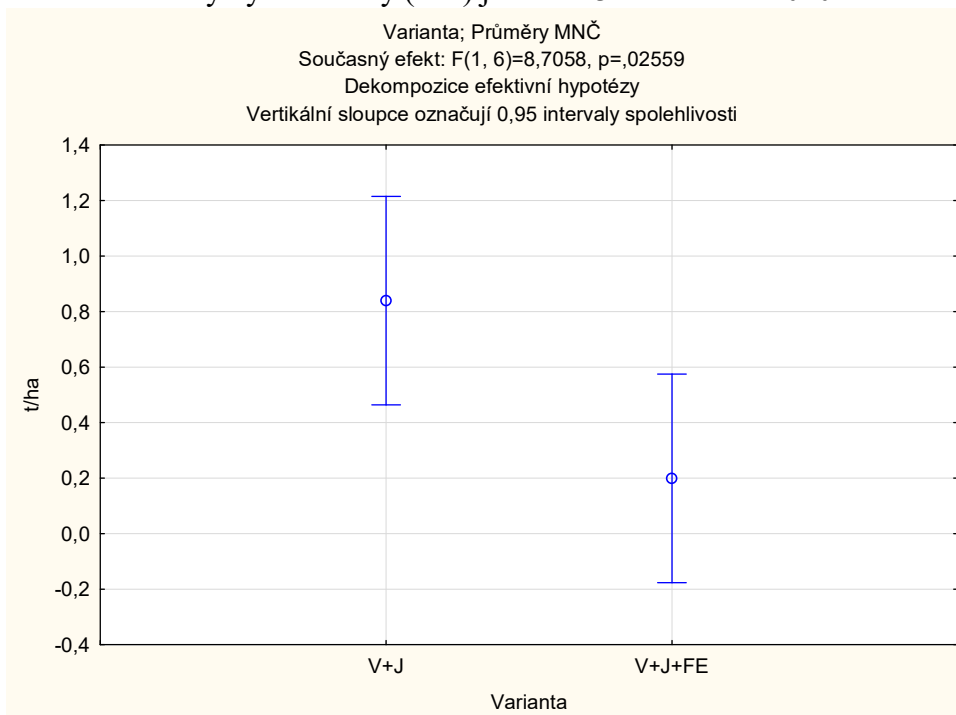
9.4 Celkový výnos sušiny a produkce energie, rok 2020 - grafické znázornění

9.4.1 Celkový výnos sušiny za 3 seče

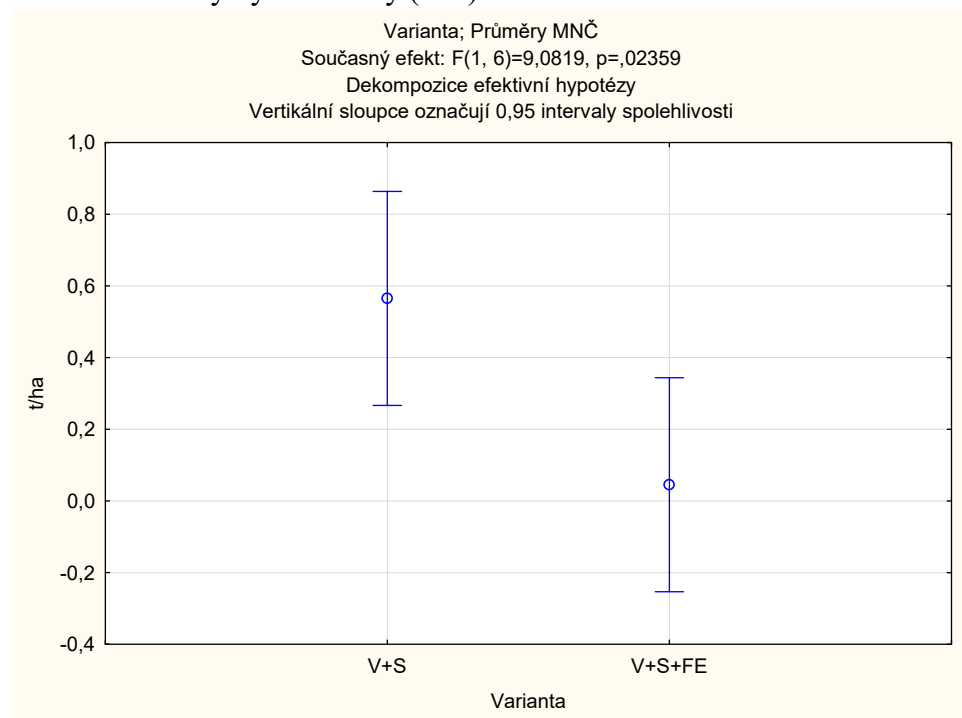
Graf 21 Celkový výnos sušiny (t/ha) vojtěšky za 3 seče v roce 2020



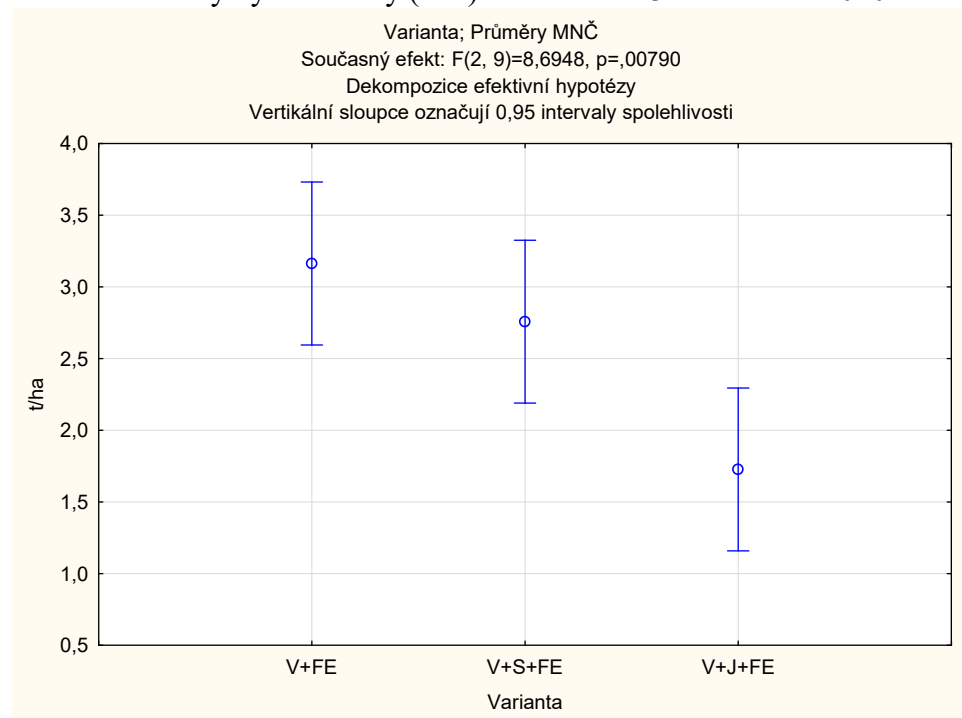
Graf 22 Celkový výnos sušiny (t/ha) jetele za 3 seče v roce 2020



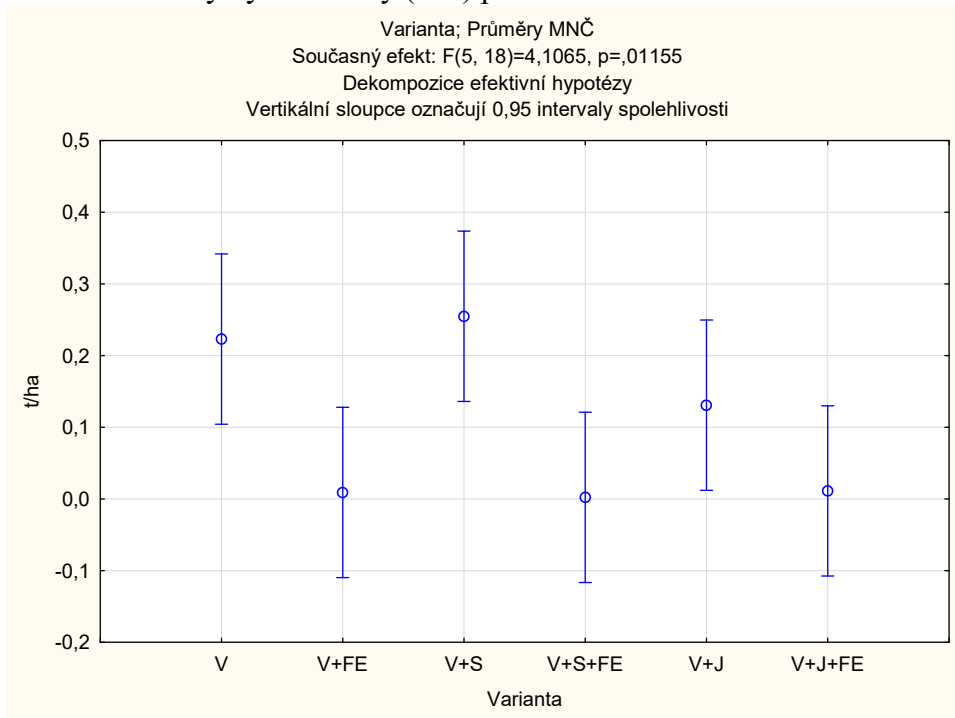
Graf 23 Celkový výnos sušiny (t/ha) štírovníku za 3 seče v roce 2020



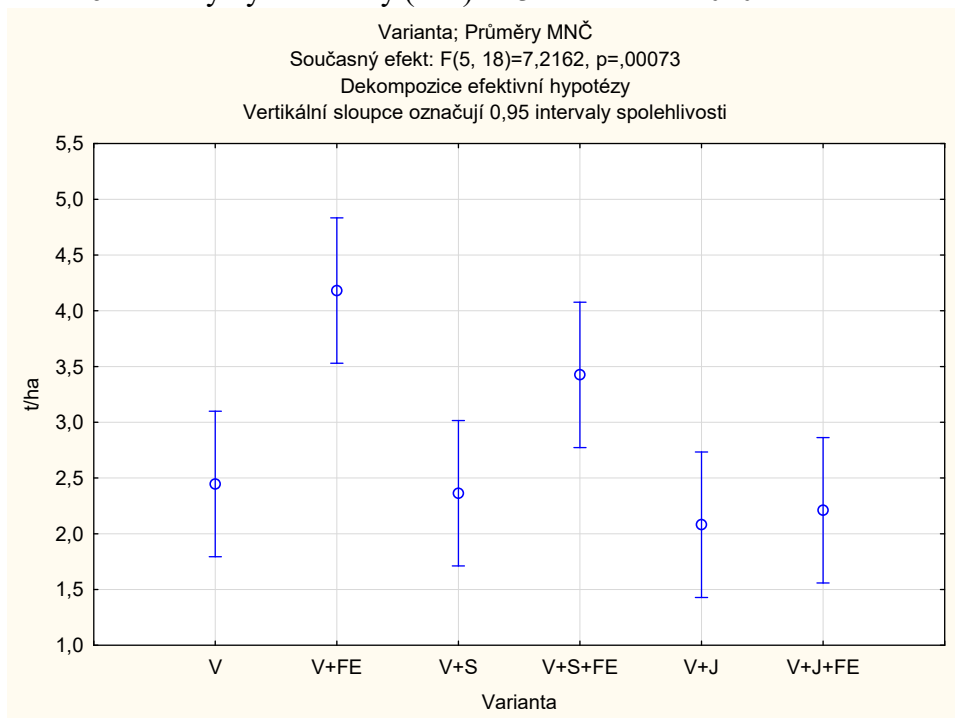
Graf 24 Celkový výnos sušiny (t/ha) festulolia za 3 seče v roce 2020



Graf 25 Celkový výnos sušiny (t/ha) plevele za 3 seče v roce 2020

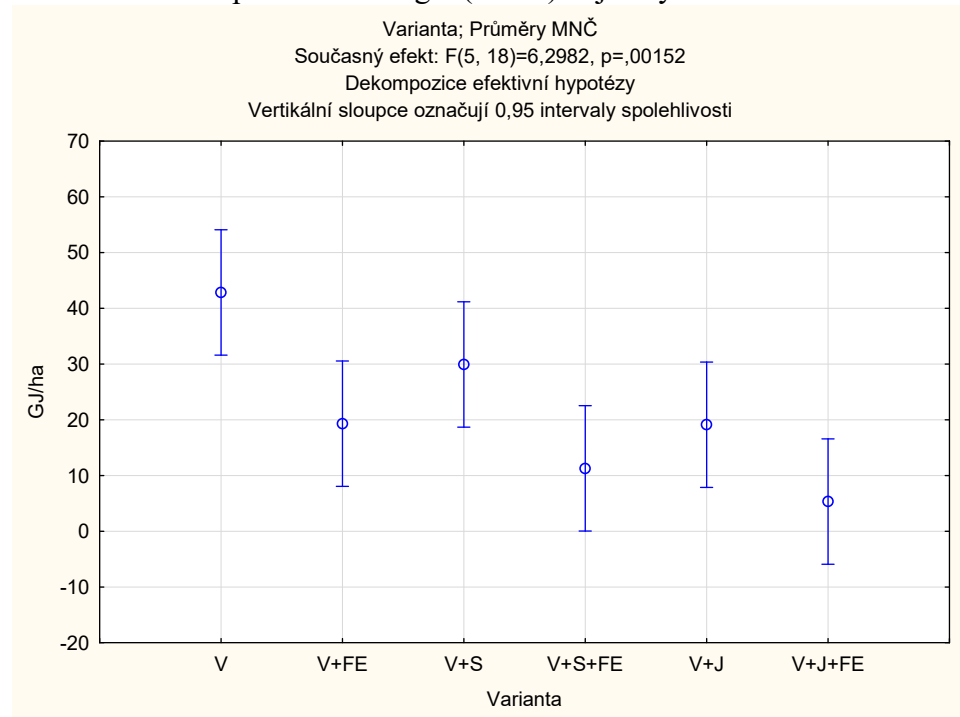


Graf 26 Celkový výnos sušiny (t/ha) za 3 seče v roce 2020

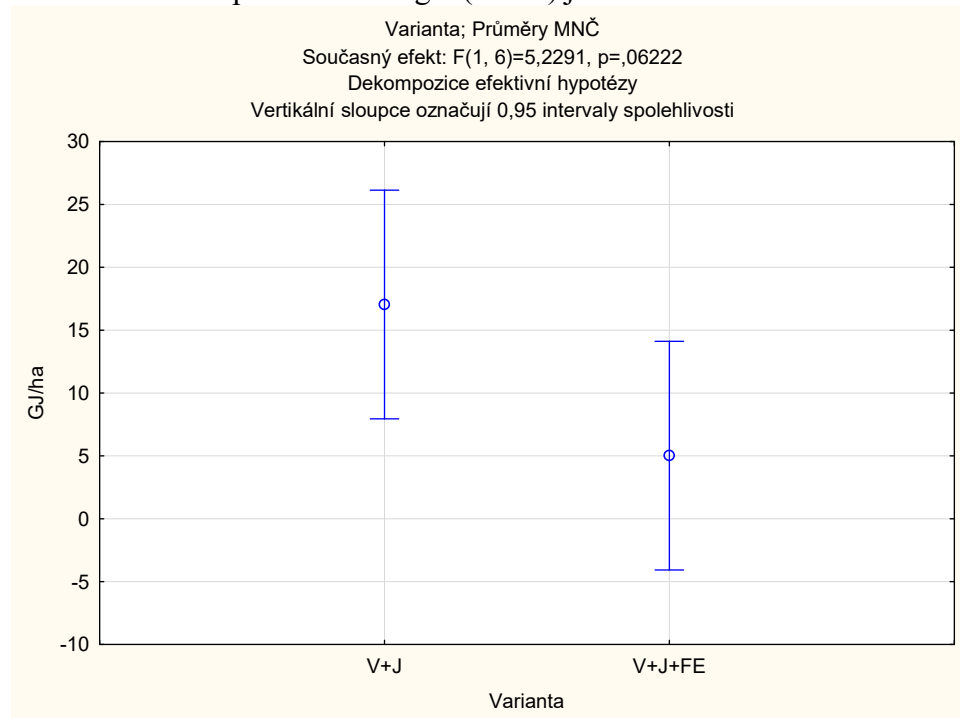


9.4.2 Celková produkce energie za 3 seče

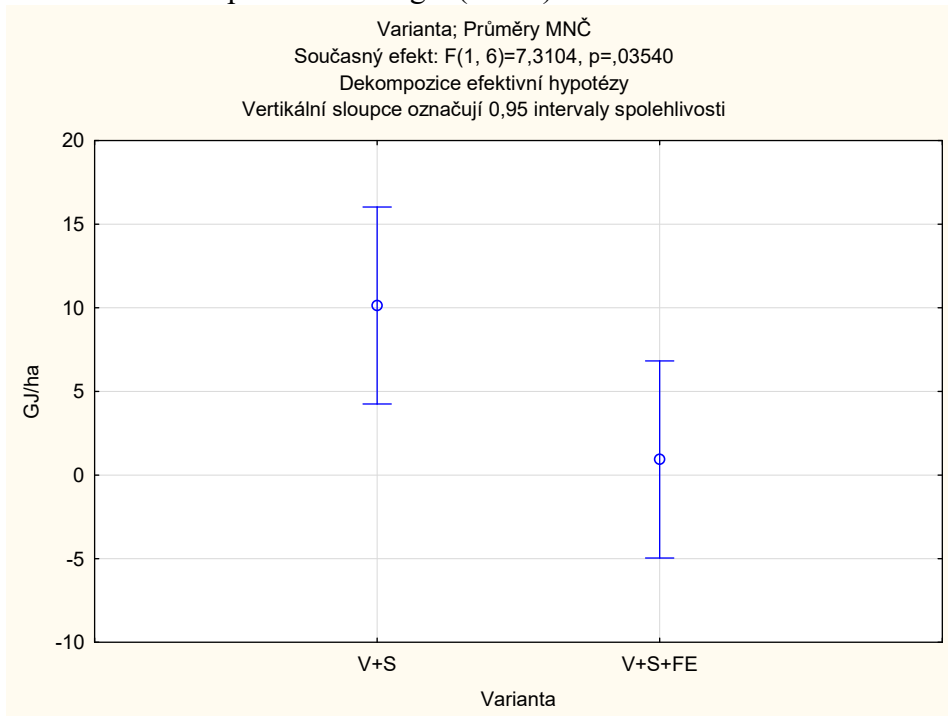
Graf 27 Celková produkce energie (GJ/ha) vojtěšky za 3 seče v roce 2020



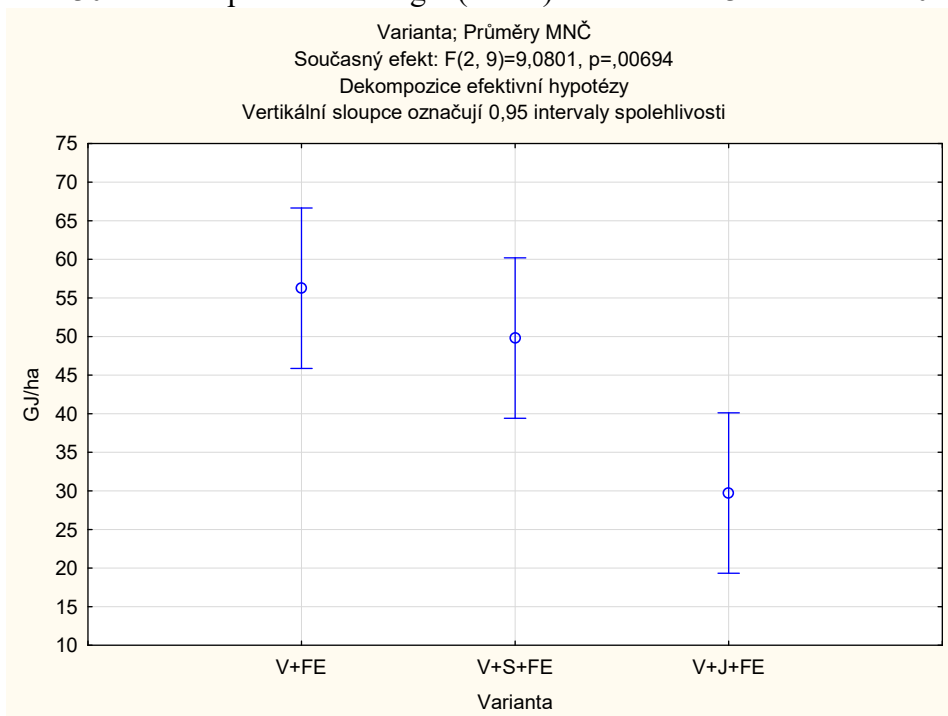
Graf 28 Celková produkce energie (GJ/ha) jetele za 3 seče v roce 2020



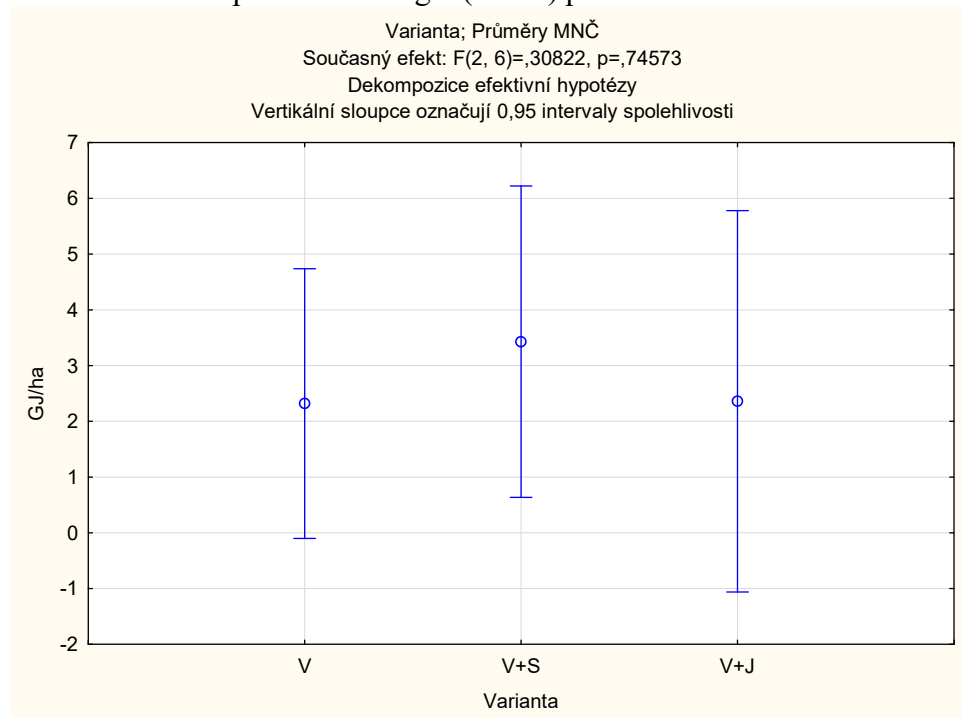
Graf 29 Celková produkce energie (GJ/ha) štirovníku za 3 seče v roce 2020



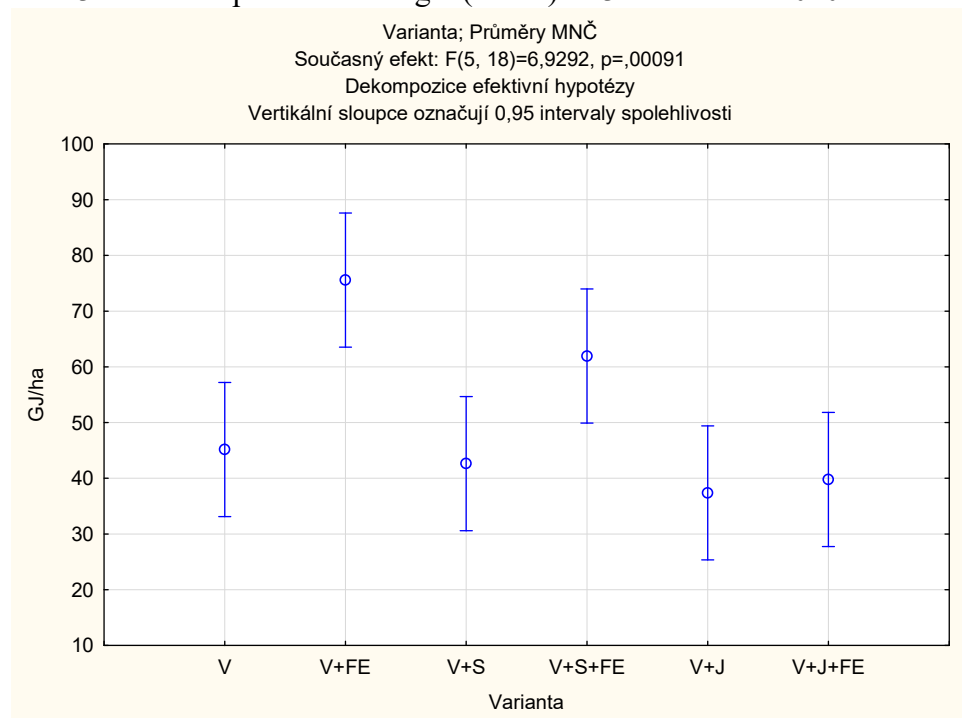
Graf 30 Celková produkce energie (GJ/ha) festulolia za 3 seče v roce 2020



Graf 31 Celková produkce energie (GJ/ha) plevle za 3 seče v roce 2020



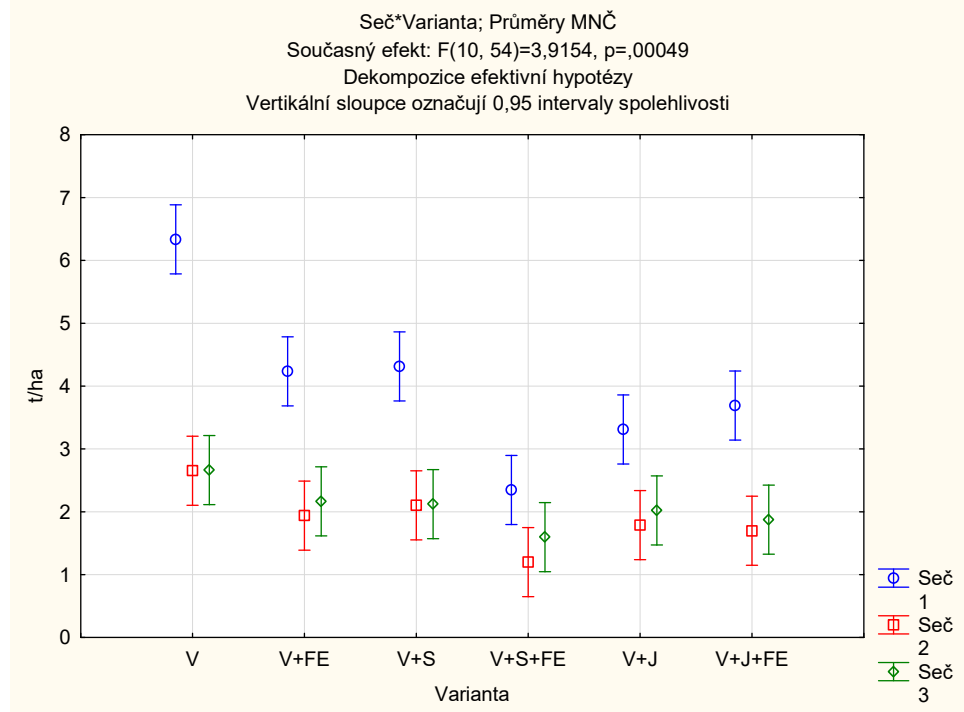
Graf 32 Celková produkce energie (GJ/ha) za 3 seče v roce 2020



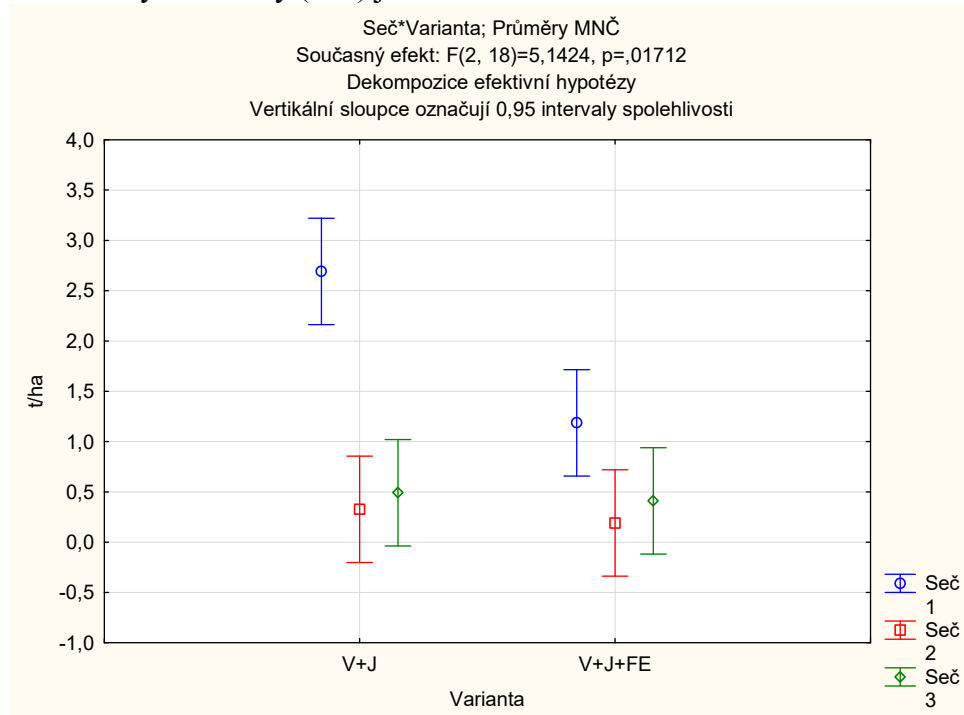
9.5 Polní výsledky, rok 2019 - grafické znázornění

9.5.1 Výnos sušiny

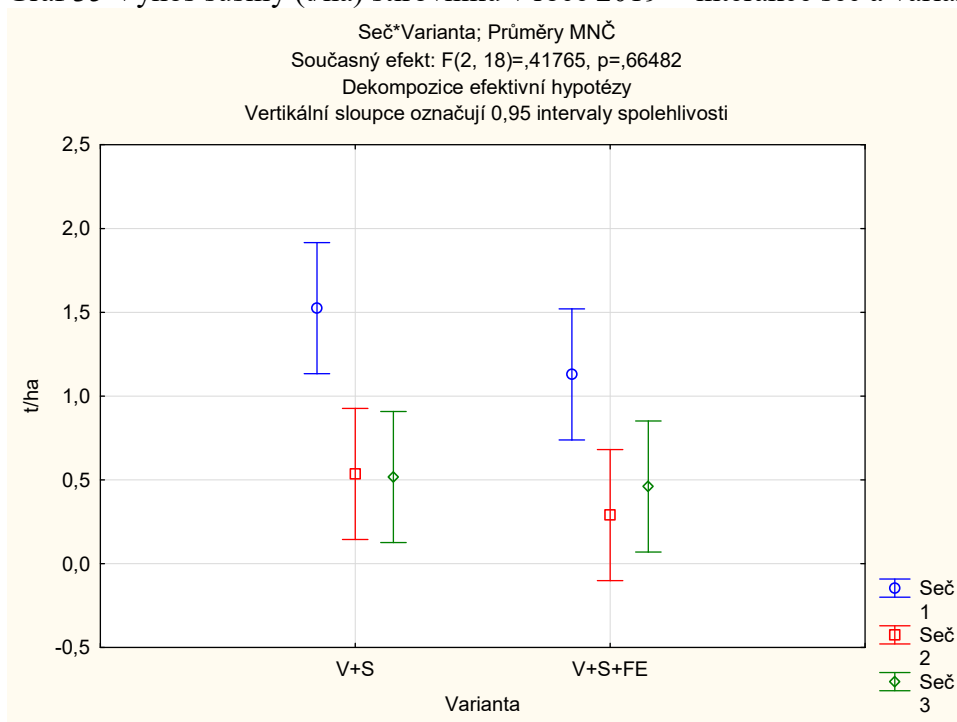
Graf 33 Výnos sušiny (t/ha) vojtěšky v roce 2019 - interakce seč a varianta



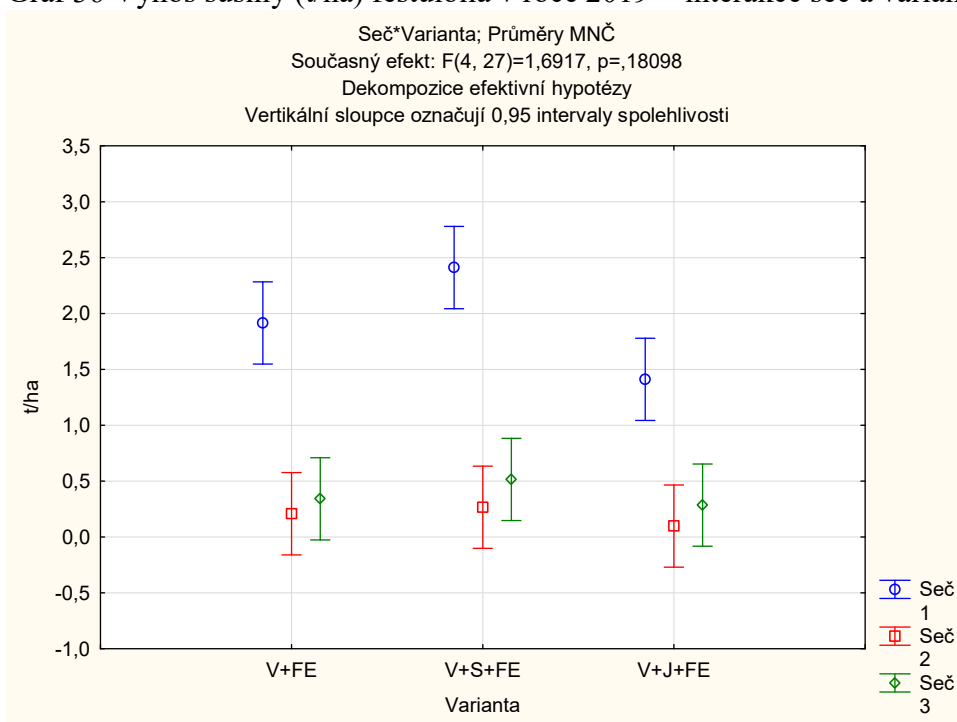
Graf 34 Výnos sušiny (t/ha) jetele v roce 2019 - interakce seč a varianta



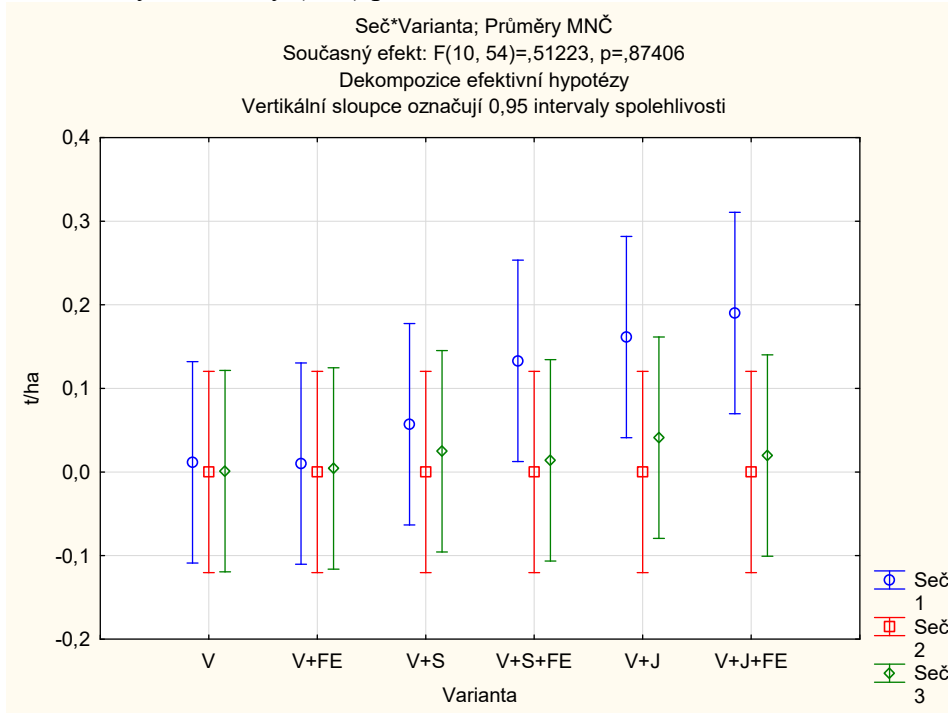
Graf 35 Výnos sušiny (t/ha) štirovníku v roce 2019 - interakce seč a varianta



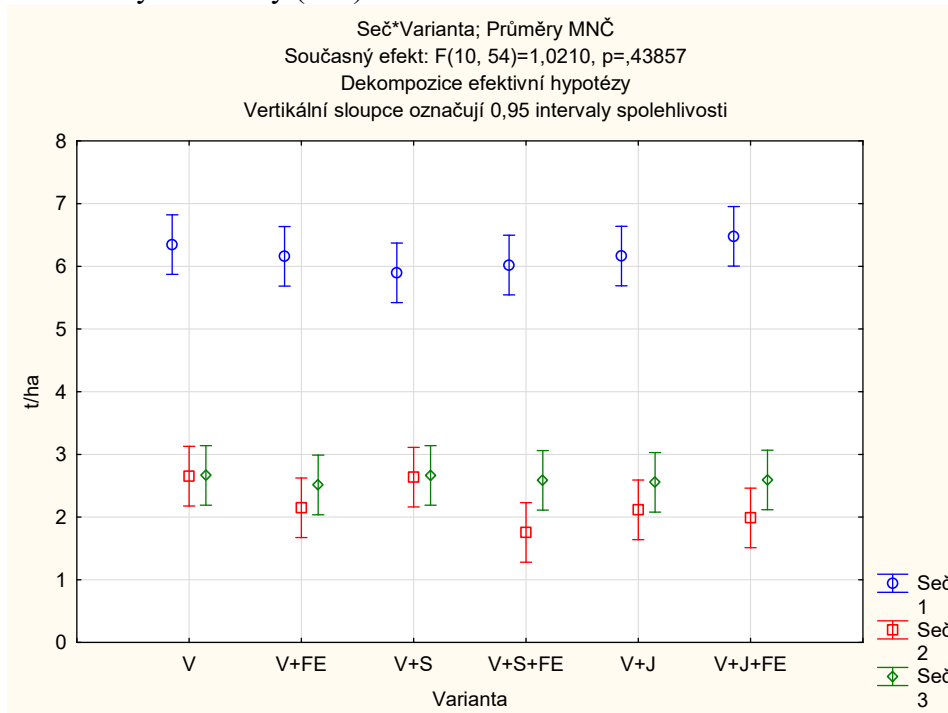
Graf 36 Výnos sušiny (t/ha) festulolia v roce 2019 - interakce seč a varianta



Graf 37 Výnos sušiny (t/ha) plevele v roce 2019 - interakce seč a varianta



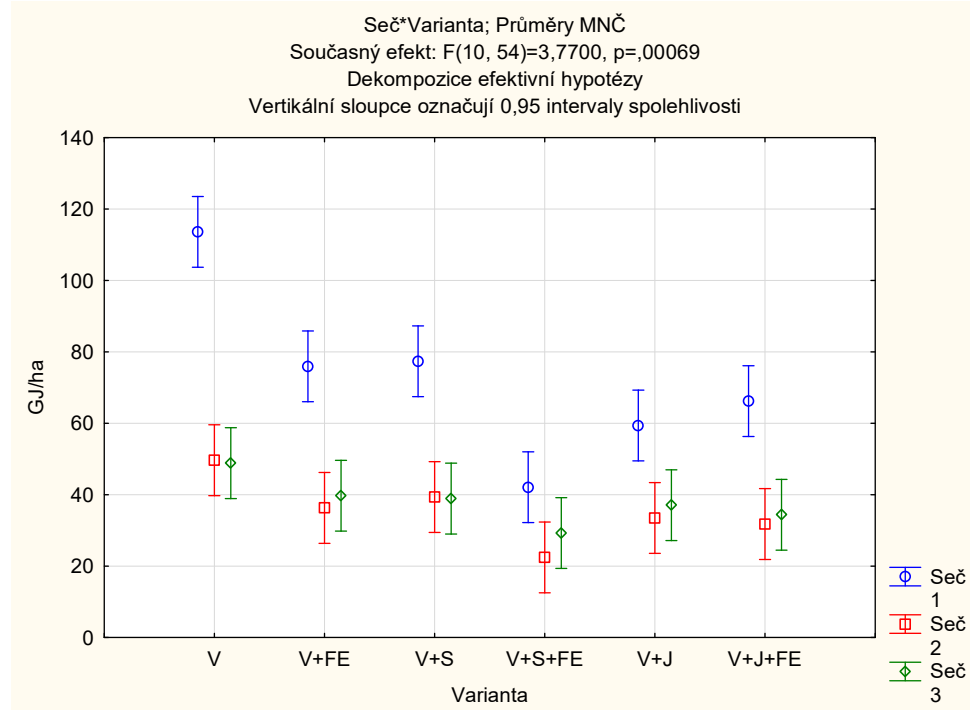
Graf 38 Výnos sušiny (t/ha) celkem v roce 2019 - interakce seč a varianta



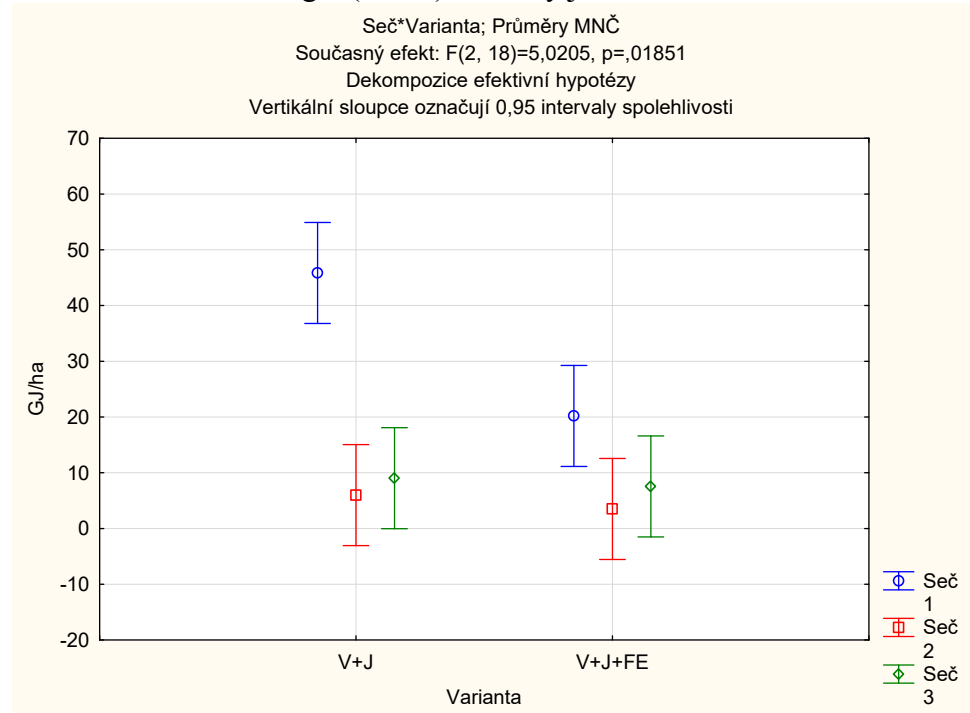
9.6 Produkce energie, rok 2019 - grafické znázornění

9.6.1 Produkce energie

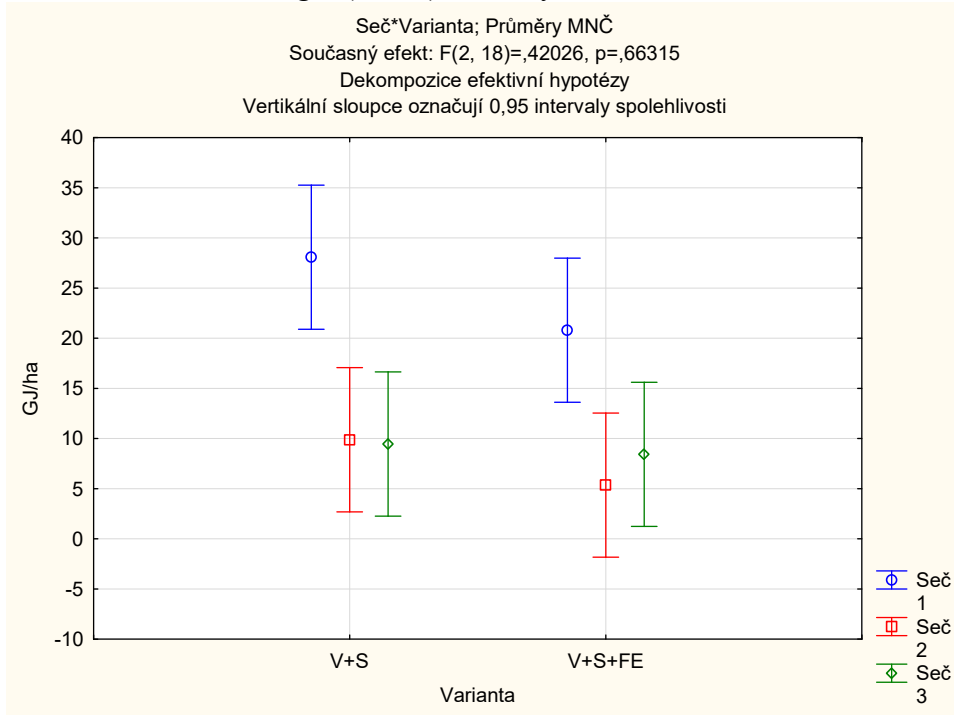
Graf 39 Produkce energie (GJ/ha) biomasy vojtěšky v roce 2019 - interakce seč a varianta



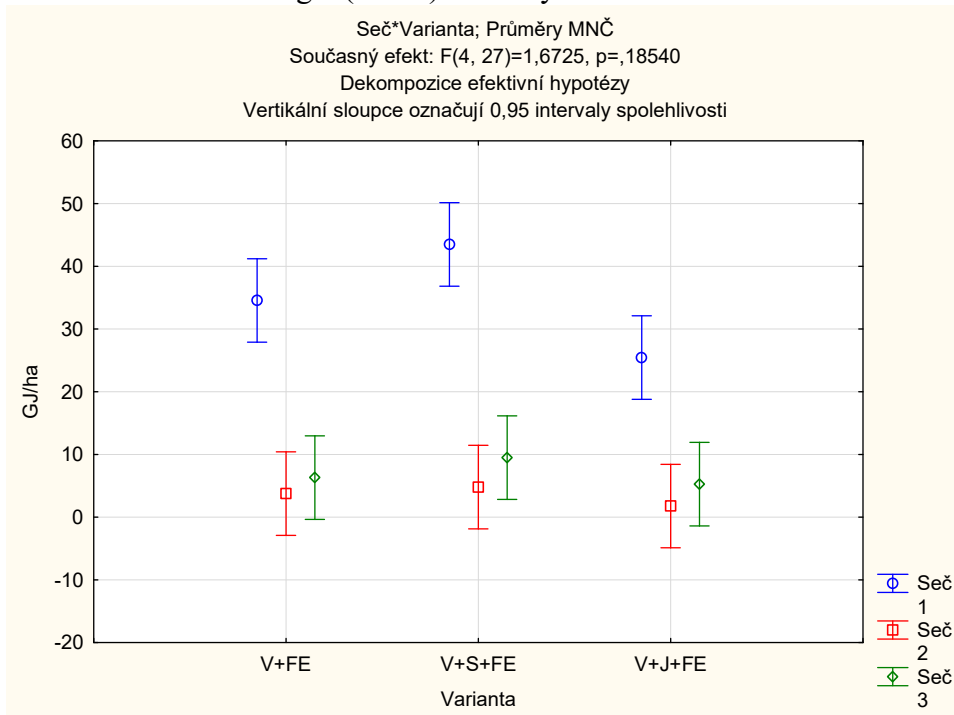
Graf 40 Produkce energie (GJ/ha) biomasy jetele v roce 2019 - interakce seč a varianta



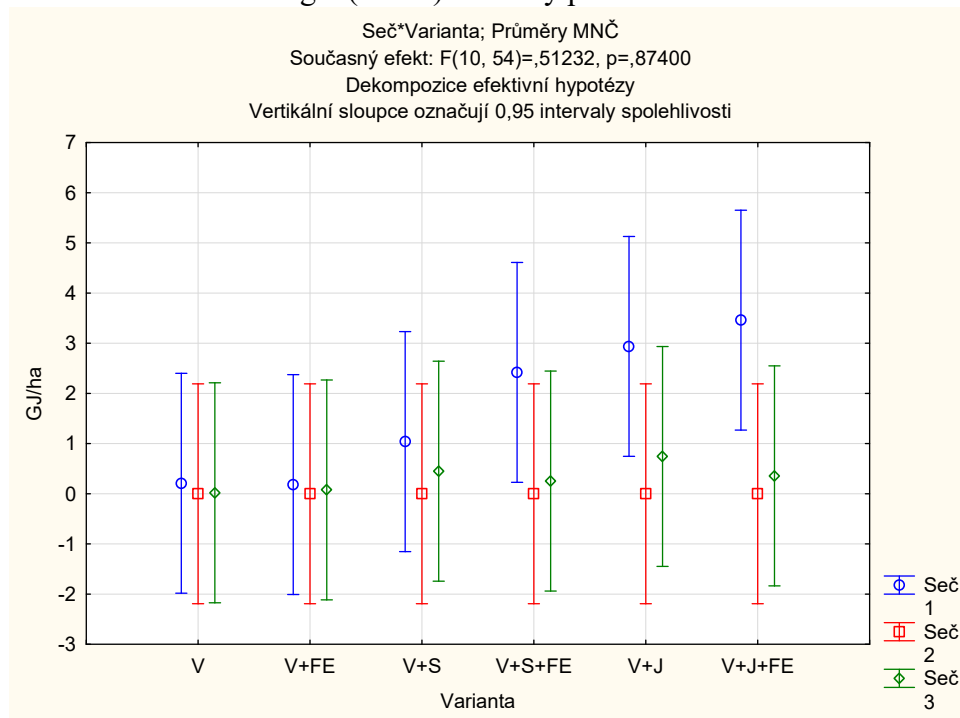
Graf 41 Produkce energie (GJ/ha) biomasy štírovníku v roce 2019 - interakce seč a varianta



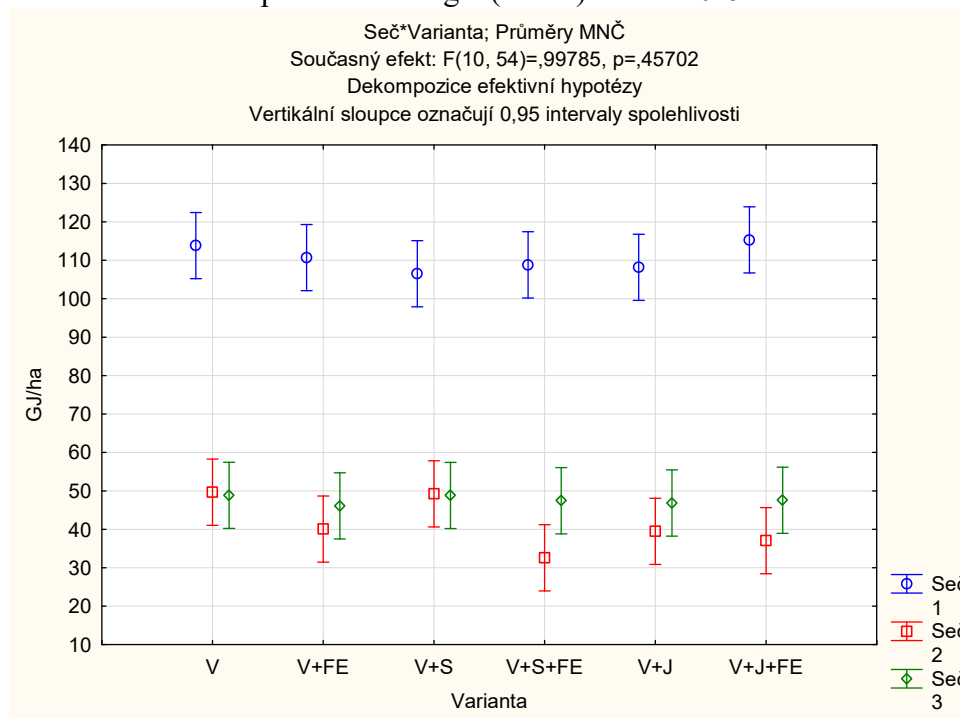
Graf 42 Produkce energie (GJ/ha) biomasy festulolia v roce 2019 - interakce seč a varianta



Graf 43 Produkce energie (GJ/ha) biomasy plevele v roce 2019 - interakce seč a varianta



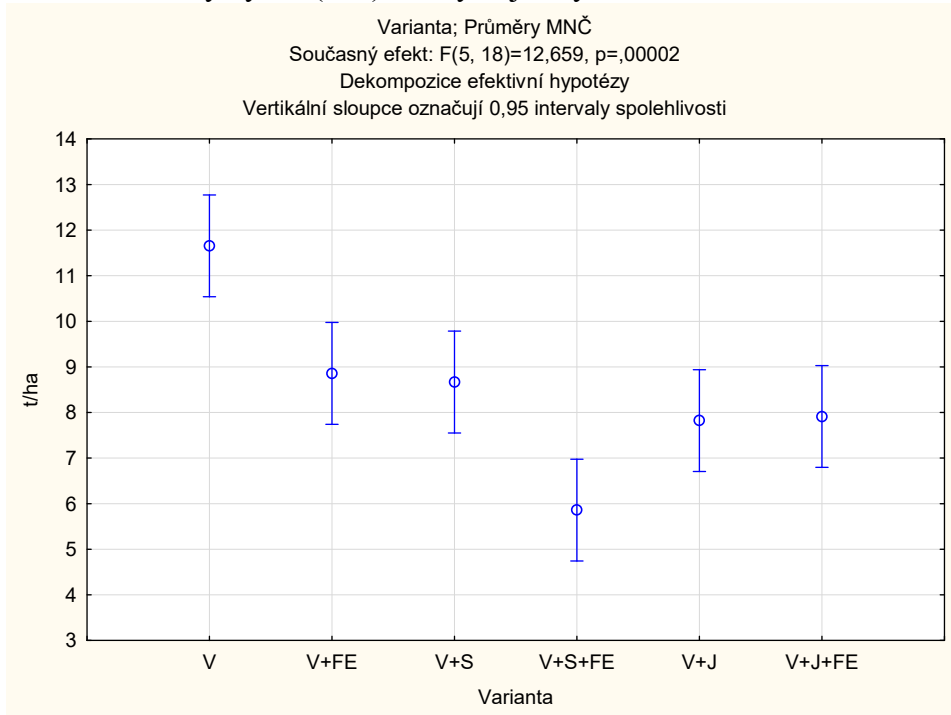
Graf č. 44 Celková produkce energie (GJ/ha) v roce 2019 - interakce seč a varianta



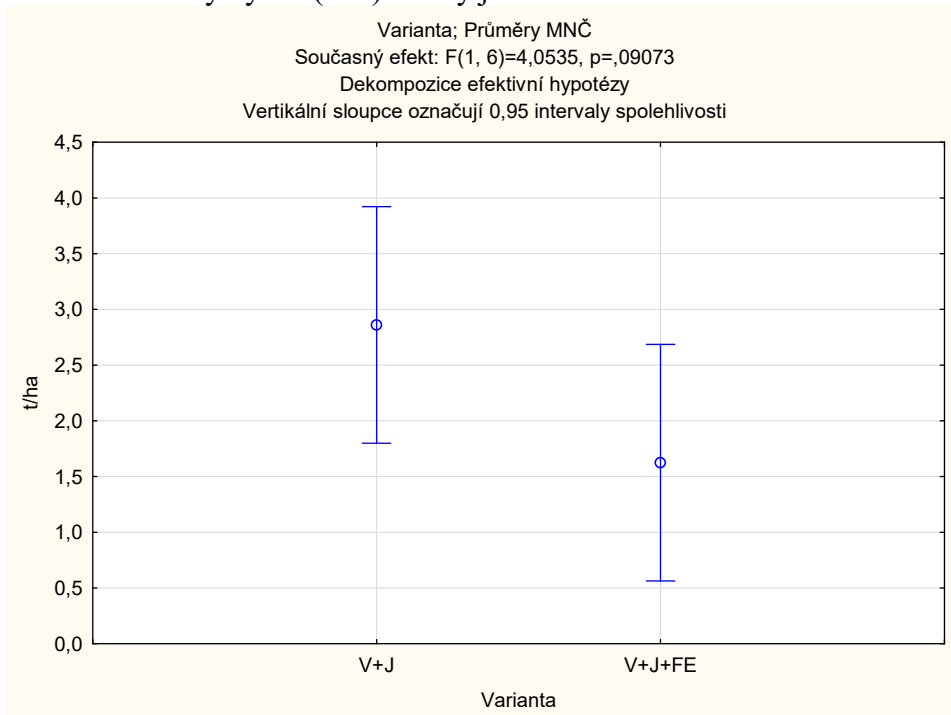
9.7 Celkový výnos sušiny a produkce energie, rok 2019 - grafické znázornění

9.7.1 Celkový výnos sušiny za 3 seče

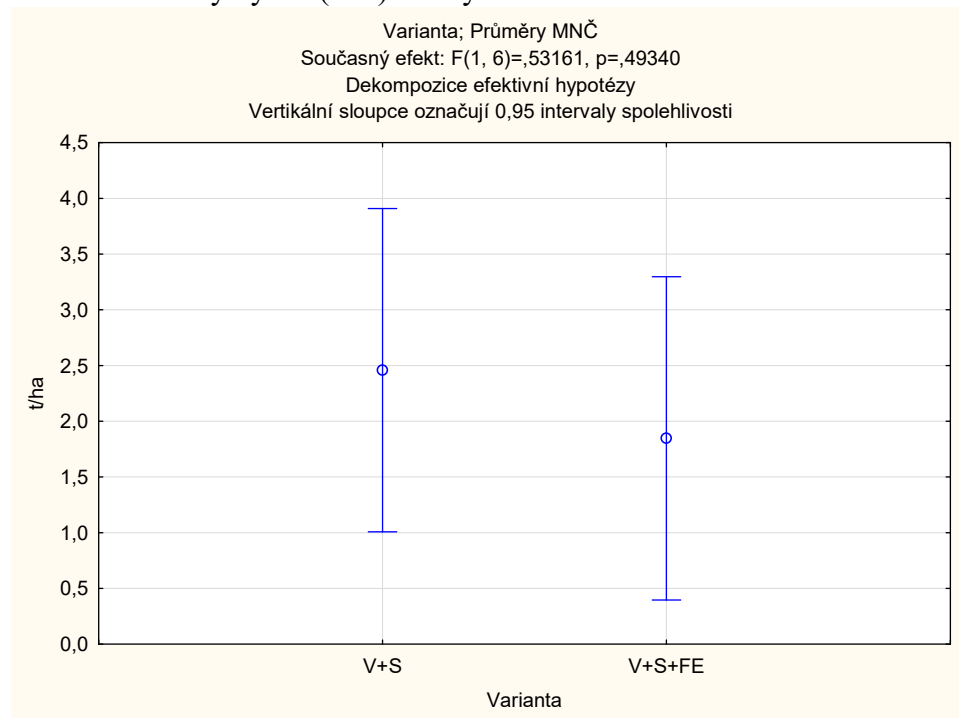
Graf 45 Celkový výnos (t/ha) sušiny vojtěšky za 3 seče v roce 2019



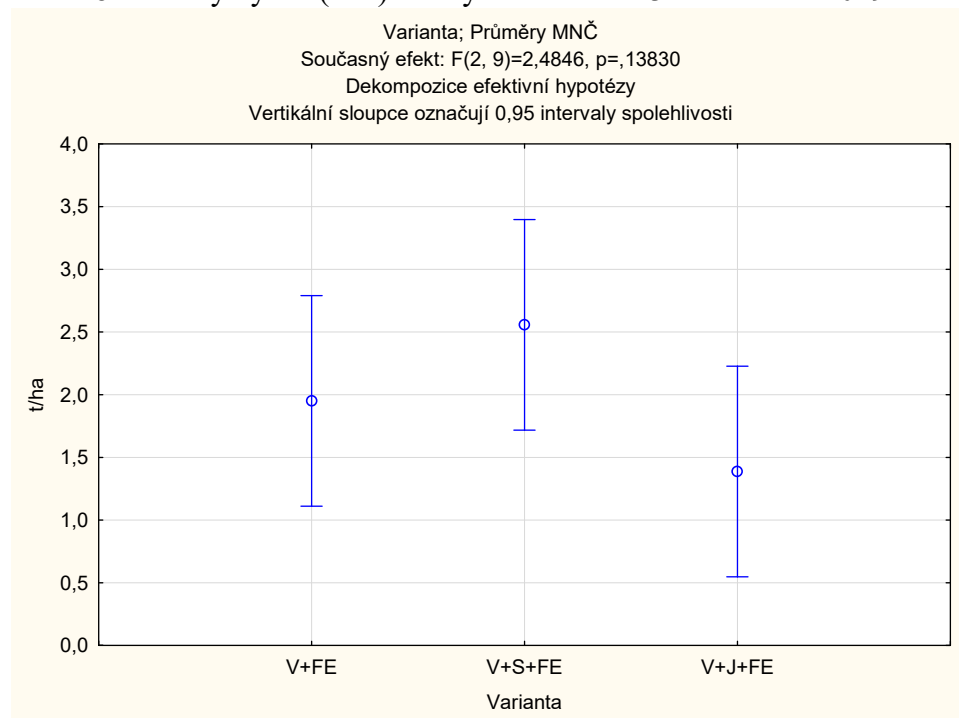
Graf 46 Celkový výnos (t/ha) sušiny jetele za 3 seče v roce 2019



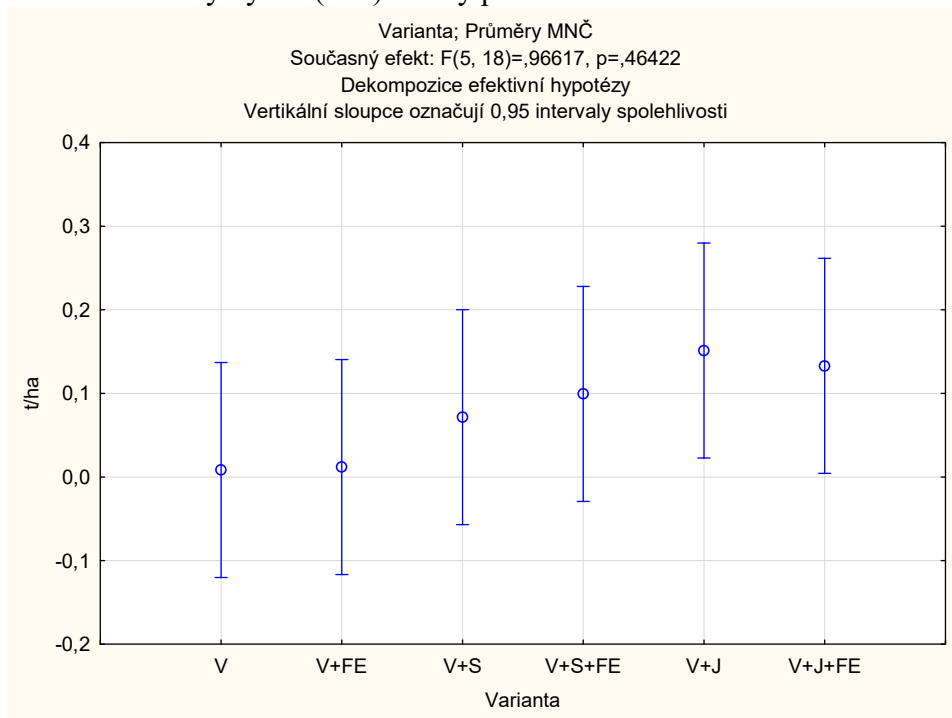
Graf 47 Celkový výnos (t/ha) sušiny štírovníku za 3 seče v roce 2019



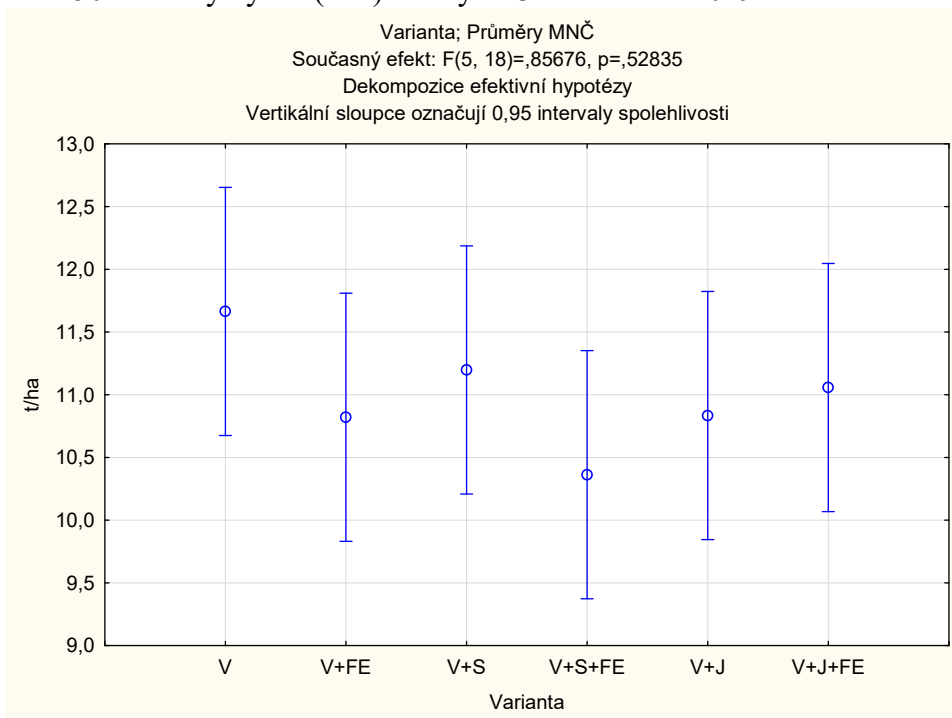
Graf 48 Celkový výnos (t/ha) sušiny festulolia za 3 seče v roce 2019



Graf 49 Celkový výnos (t/ha) sušiny plevele za 3 seče v roce 2019

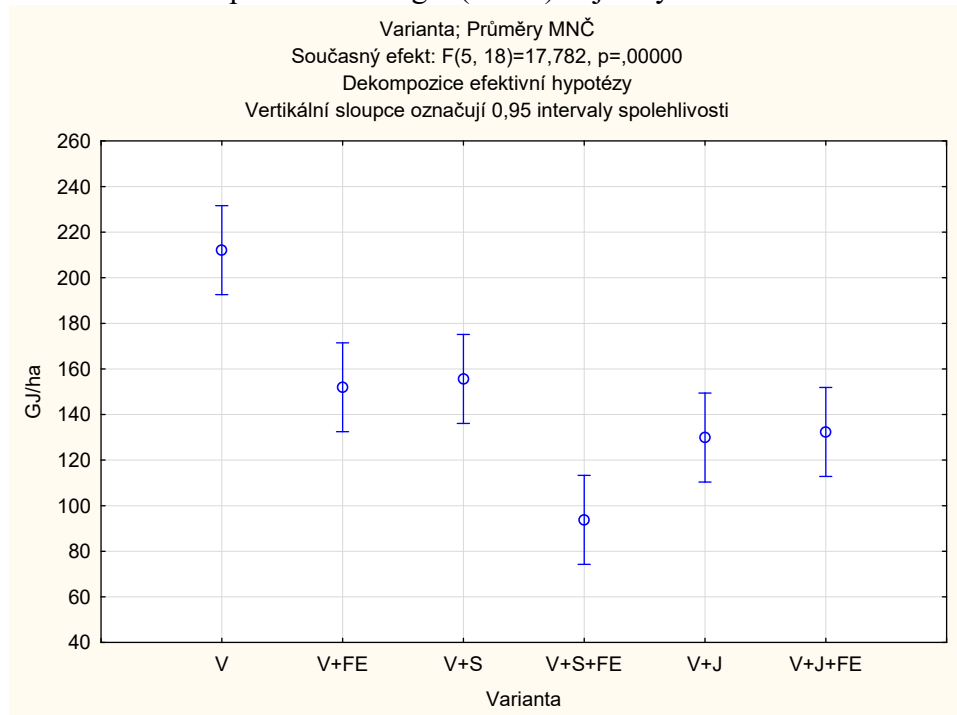


Graf 50 Celkový výnos (t/ha) sušiny za 3 seče v roce 2019

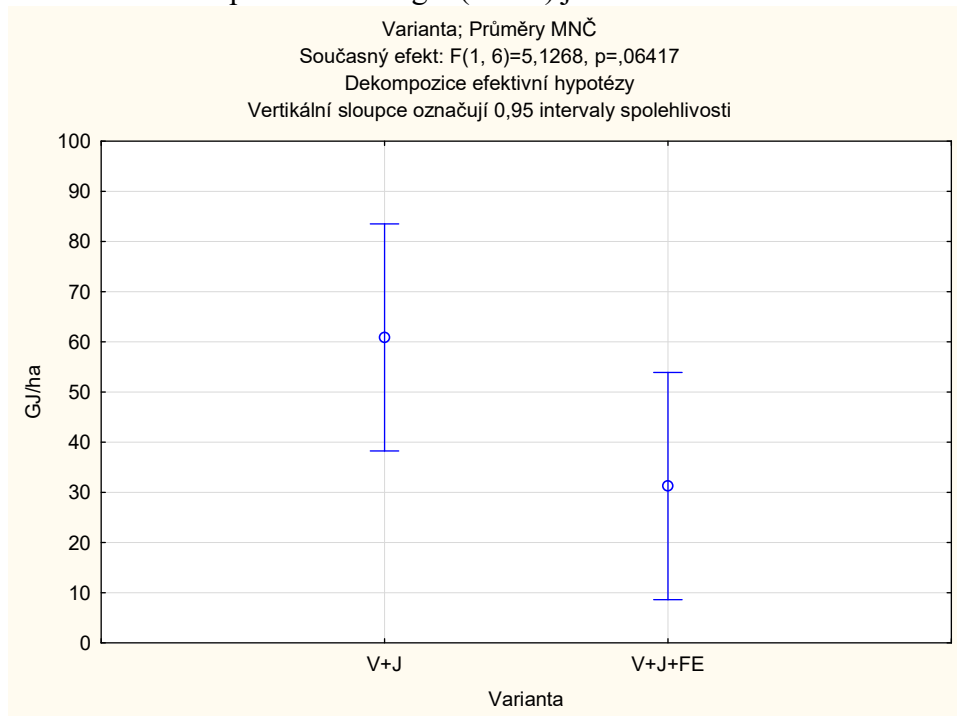


9.7.2 Celková produkce energie za 3 seče

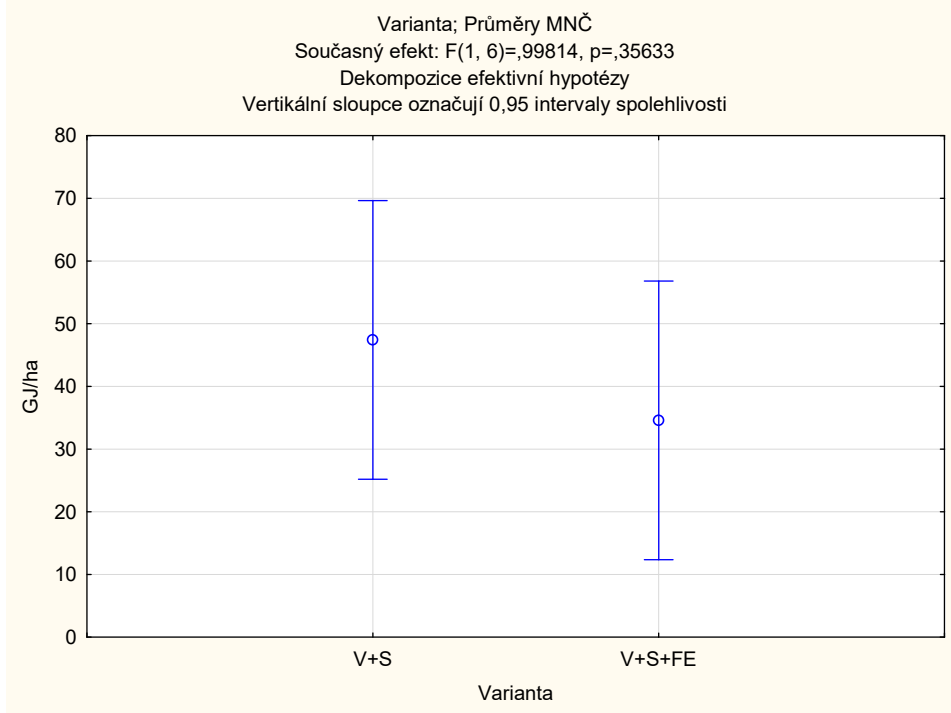
Graf 51 Celková produkce energie (GJ/ha) vojtěšky za 3 seče v roce 2019



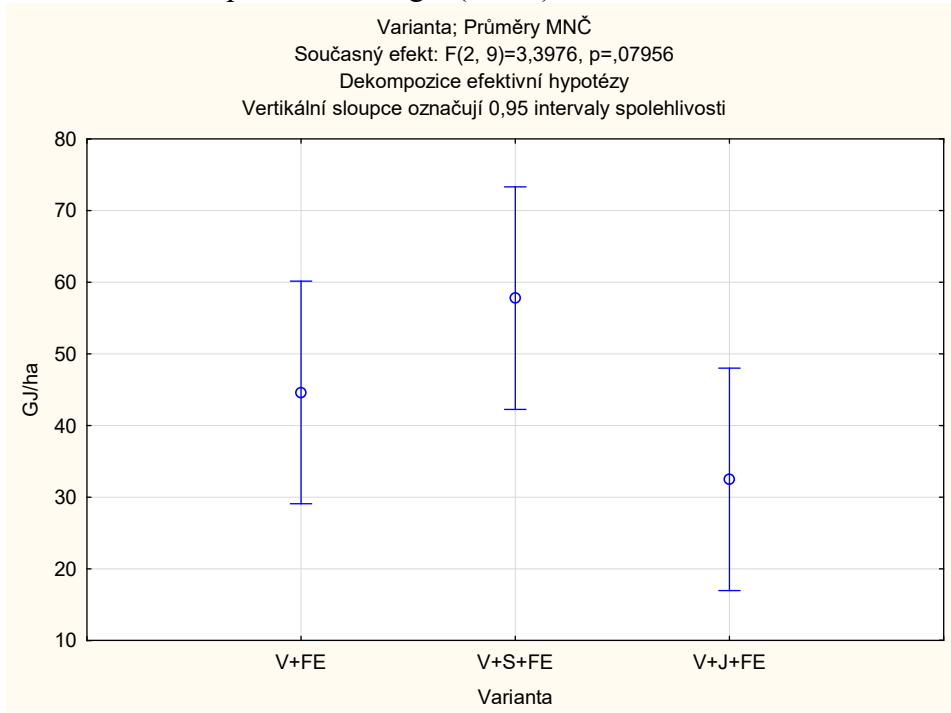
Graf 52 Celková produkce energie (GJ/ha) jetele za 3 seče v roce 2019



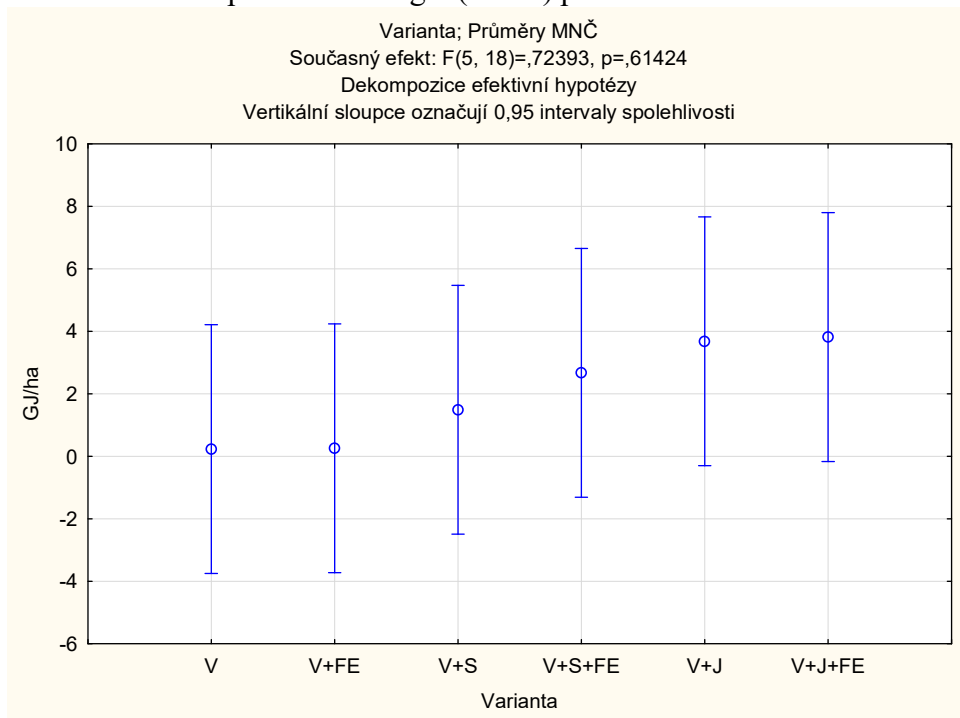
Graf 53 Celková produkce energie (GJ/ha) štirovníku za 3 seče v roce 2019



Graf 54 Celková produkce energie (GJ/ha) festulolia za 3 seče v roce 2019



Graf 55 Celková produkce energie (GJ/ha) plevelu za 3 seče v roce 2019



Graf 56 Celková produkce energie (GJ/ha) za 3 seče v roce 2019

