

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a rostlinné produkce**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Vliv výsevku a hybridu na morfologické a výnosové  
charakteristiky silážní kukuřice**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Tomáš Vyšohlíd  
Obor studia: Rostlinná produkce**

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

© 2021 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv výsevku a hybridu na morfologické a výnosové charakteristiky silážní kukuřice" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 24. 4. 2021

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval především panu Ing. Pavlu Fuksovi, Ph.D., vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení diplomové práce a cenné rady. Dále bych touto cestou poděkoval panu Ing. Jiřímu Šmolíkovi za cenné informace a v neposlední řadě mé přítelkyni Barboře Jílkové za pevné nervy a psychickou podporu při psaní diplomové práce.

# Vliv výsevku a hybridu na morfologické a výnosové charakteristiky silážní kukuřice

## Souhrn

Kukuřice setá představuje jednu z důležitých plodin pěstovaných na orné půdě v České republice. Její význam je spjat nejen se zajištěním krmivové základny, ale také přímo souvisí s rozvojem systémů produkce energie z obnovitelných zdrojů. Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující výnos a výnosové parametry silážní kukuřice se řadí hustota porostu, doba setí, doba sklizně a volba hybridu, a dále i klimatické a půdní faktory.

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnocení vlivu odlišných výsevků a různých hybridů jak na morfologické, tak i výnosové parametry silážní kukuřice. Pro daný pokus byly stanoveny 3 hypotézy: (i) odlišné výsevky v interakci s použitým hybridem mají vliv na morfologické a výnosové charakteristiky silážní kukuřice; (ii) mezi hybridy kukuřice existují rozdíly v prostorovém uspořádání listů; (iii) ročník má vliv na morfologické charakteristiky kukuřice.

Pokus se silážní kukuřicí byl založen v letech 2019 a 2020 na pozemku Výzkumné stanice ČZU v Praze, a to na lokalitě v Červeném Újezdě. Pro daný pokus byly zvoleny dva rozdílné hybridy kukuřice Avicii a Databaz od firmy Soufflet Seeds, které byly zasety ve výsevcích 90 000 a 120 000 rostlin/ha. Každá varianta byla založena ve čtyřech opakováních. Během vegetace byla ve dvou termínech měřena výška rostlin a výška nasazení palic (m). V daných termínech také proběhlo počítání a měření listů kukuřice, byla měřena celková délka listů, délka listů po místo ohnutí listové čepele (zenit listu), šířka listů (cm) a úhel listů (°). Na základě počtu a rozměrů listů byla vypočtena hodnota LAI (index listové plochy) a LOV (leaf orientation value), jež charakterizuje postavení listů na rostlině. V termínu silážní zralosti byl stanoven výnos čerstvé hmoty (t/ha), obsah sušiny (%), výnos sušiny (t/ha) a podíl částí rostlin (palice a zbytek rostliny).

Výsledky našeho experimentu částečně potvrdily hypotézu (i). Interakce hybridu a výsevku průkazně ovlivnily pouze délku listu k zenitu. Výška rostlin byla ovlivněna hybridem, jelikož hybrid Avicii dosahoval o 28 cm vyšších rostlin než hybrid Databaz. Dále je z výsledků patrné, že při nižším výsevku byly jednotlivé rostliny těžší o 116,7 g a podíl palic byl ovlivněn pouze hybridem. Největší výnos 20,96 t/ha sušiny v našem experimentu byl dosažen při interakci hybridu Databaz a výsevku 120 000 rostlin/ha, naopak nejmenší výnos 17,88 t/ha byl zjištěn ve variantě s hybridem Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha. Při porovnání LAI bylo dosaženo největší hodnoty 4,9 ve variantě s hybridem Avicii při výsevku 120 000 rostlin/ha. Při porovnání morfologie listů byla potvrzena hypotéza (ii), jelikož byl zjištěn rozdíl v architektuře listů mezi jednotlivými hybridy. Hybrid Avicii měl vzpřímené listy, jelikož jeho LOV bylo 55 a hybrid Databaz měl spíše horizontální postavení listů, jelikož LOV dosahovalo hodnoty 39,9. Zároveň výsledky potvrdily i vliv ročníku na morfologické charakteristiky kukuřice, tím se potvrdila i hypotéza (iii).

**Klíčová slova:** Hustota porostu; hybrid; výška rostlin; listová plocha; index LOV

# Effect of seeding rate and hybrid on the morphological and yield characteristics of silage maize

## Summary

Maize is one of the important crops grown on arable land in the Czech Republic. Its importance is connected not only with arranging of feed base but also directly related to the development of energy production systems from renewable sources. The most important factors influencing yield and yield parameters of silage maize include stand density, seeding time, harvest period, hybrid selection, as well as climatic and soil factors.

The aim of this diploma thesis was to evaluate the influence of different seeds and hybrids from morphological as well as yield parameters of silage maize. There were 3 hypotheses set in this experiment: (i) different seeds in combination with selected hybrid have an effect on morphological and yield parameters of silage maize; (ii) there are differences of the spatial arrangement of leaves between maize hybrids; (iii) the year influences morphological characteristics of maize.

The experiment with silage maize was realized in 2019 and 2020 on the land of CZU Research station in Prague in the locality of Červený Újezd. Two different maize hybrid Avicii and Databaz (from the company Soufflet Seeds) were sown in seedings of 90 000 and 120 000 plants/ha. Each variant was based on four repetitions. There were measured the height of plants and the height of deployment ears during the vegetation period. There were counted and measured maize leaves which included measurements of total length of leaves, leaf length to the point of bending of leaf blade (zenith leaf), leaf width (cm) and leaf angle (°). Based on the number and size of leaf area there was calculated the value of LAI (leaf area index) and LOV (leaf orientation value) which characterizes the position of the leaves on the plant. There were determined the yield of fresh matter (t/ha), dry matter content (%) and proportion of plant parts (ears and stover) in the period of silage ripeness.

The results of the experiment partly confirmed the hypothesis (i). The interaction of hybrid and seed conclusively and significantly affected the leaf length to the zenith. The height of the plants was influenced by the hybrid because hybrid Avicii reached 28 cm taller plants than hybrid Databaz. The results show that lower seeding had heavier plants by 116.7 g and the proportion of ears was only affected by the hybrid. The highest yield of dry matter (20.96 t/ha) in the experiment was achieved with the interaction of the hybrid Databaz and seeding of 120 000 plants/ha. The lowest yield (17.88 t/ha) was found in combination of hybrid Avicii and seeding of 90 000 plants/ha. The highest value of index LAI (4.9) was reached in the variant of hybrid Avicii with seeding of 120 000 plants/ha. In a comparison of the morphology of leaves, the hypothesis (ii) was confirmed because there was found out a difference in architectures of leaves between each hybrid. Hybrid Avicii had upright leaves and the value of its LOV index was 55. Opposite to that hybrid Databaz had more horizontal position of leaves and the LOV index reached the value of 39.9. The results confirmed the hypothesis (iii) when the year affected the morphological characteristics of silage maize.

**Keywords:** Stand density, hybrid, plant height, leaf area, index LOV

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>8</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce</b>	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Kukuřice</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Hybridy silážní kukuřice</b>	<b>10</b>
3.2.1 Ranost hybridů	11
3.2.2 Suma efektivních teplot	12
3.2.3 RM systém	12
3.2.4 Rozdělení hybridů	13
3.2.5 GMO hybridy	13
<b>3.3 Architektura porostu</b>	<b>14</b>
3.3.1 Meziřádková vzdálenost	14
3.3.2 Hustota porostu	14
<b>3.4 Sluneční záření</b>	<b>17</b>
3.4.1 Změna klimatu	17
3.4.2 Fotosyntéza	18
<b>3.5 Index listové plochy (LAI)</b>	<b>19</b>
3.5.1 Měření LAI	20
3.5.2 Leaf Orientation Value (LOV)	21
3.5.3 Vliv morfologie listů kukuřice na LAI	21
3.5.4 LAI v kukuřici	22
<b>3.6 Výška rostlin</b>	<b>23</b>
<b>3.7 Sklizeň kukuřice</b>	<b>24</b>
3.7.1 Výnos biomasy	24
<b>4 Metodika</b>	<b>26</b>
<b>4.1 Charakteristika místa pokusu</b>	<b>26</b>
4.1.1 Půdní podmínky	26
4.1.2 Průběh počasí během vegetace v roce 2019	26
4.1.3 Průběh počasí během vegetace v roce 2020	27
<b>4.2 Charakteristika vybraných hybridů</b>	<b>28</b>
4.2.1 Avicii – Soufflet Seeds	28
4.2.2 Databaz - Soufflet Seeds	28
<b>4.3 Založení pokusu</b>	<b>28</b>
<b>4.4 Měření a odebrání vzorků během vegetace</b>	<b>29</b>
<b>4.5 Sklizeň a odběr vzorků</b>	<b>29</b>
<b>4.6 Statistické vyhodnocení dat</b>	<b>29</b>

<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>30</b>
<b>5.1</b>	<b>Sklizňové parametry rostlin a výnosy jednotlivých variant .....</b>	<b>30</b>
5.1.1	Výška rostlin a nasazení palic.....	30
5.1.2	Vliv ročníku na výšku rostlin a výšku nasazení palic .....	30
5.1.3	Sklizňové parametry rostlin .....	31
5.1.4	Výnos kukuřice .....	32
5.1.5	Vliv ročníku na sklizňové parametry rostlin a výnosové hodnoty .....	33
<b>5.2</b>	<b>LAI .....</b>	<b>33</b>
5.2.1	Porovnání plochy listů horního a dolního patra rostlin .....	35
5.2.2	Vliv ročníku na plochu listů a LAI .....	35
<b>5.3</b>	<b>Morfologie listů a LOV .....</b>	<b>36</b>
5.3.1	Porovnání LOV listů horního a dolního patra rostlin .....	38
5.3.2	Vliv ročníku na morfologii listů a LOV .....	39
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>40</b>
<b>6.1</b>	<b>Výnosové parametry .....</b>	<b>40</b>
<b>6.2</b>	<b>LAI .....</b>	<b>41</b>
<b>6.3</b>	<b>Morfologie listů a LOV .....</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>

# 1 Úvod

Zemědělství hraje základní roli v získávání produktů pro výrobu potravin, krmiv, paliv, surovin pro průmyslovou výrobu, nebo pro výrobu obnovitelné energie. Faktory jako rostoucí populace, úbytek orné půdy, globální oteplování, ochrana životního prostředí, degradace půdy, nebo zvyšování kvality potravin vyvíjejí na zemědělství čím dál tím větší tlak, proto je stále větší snaha o zdokonalování technologií a zemědělských postupů (Fraser 2020). Výnosový potenciál kukuřice, kvalita biomasy, nenáročnost, jednoduchost, odolnost vůči teplu a suchu, propracované stávající ale i nové technologie pěstování jsou důvody zvyšujícího se zájmu o pěstování této plodiny.

Kukuřice je jedna z nejvýznamnějších pěstovaných plodin v České republice. Nejen v ČR, ale i ve světě má významnou pozici. Po pšenici a rýži je kukuřice nejdůležitější plodinou v různých částech světa a má schopnost přizpůsobit se různým klimatickým a půdním podmínkám (Zhou et al. 2016). Její rozšíření způsobil pokrok ve šlechtění a vývoji nových hybridů. Jedná se o víceúčelovou plodinu, která se používá k produkci potravin pro člověka a krmiv pro hospodářská zvířata nebo jako surovina pro průmyslovou výrobu (Mandić et al. 2015). Fuksa (2018) dodává, že v současné době je kukuřice v Evropě i v ČR nejvýznamnější cíleně pěstovanou plodinou pro produkci bioplynu.

Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující výnos a výnosové parametry silážní kukuřice se řadí hustota porostu, doba setí, doba sklizně a volba hybridu, a dále i klimatické a půdní faktory (Malasli et al. 2017). Za předpokladu, že hlavním výnosotvorným prvkem kukuřice je počet rostlin na jednotku plochy a následně hmotnost jedné rostliny, nabízí se otázka, jak tyto parametry ovlivní hustota porostu, architektura porostu nebo volba hybridu. Proto je cílem mé diplomové práce vyhodnocení vlivu odlišných výsevků a různých hybridů na morfologické a výnosové parametry silážní kukuřice.

Správná volba hybridu je jedno z nejdůležitějších pěstitelských opatření, jelikož Diviš et al. (1992) zmiňují, že právě volba hybridu ovlivní výnos až z 30 %. Správná volba hybridu nám zaručí sklizeň v optimální zralosti, a tím se zajistí dostatek kvalitní píče. Stejně důležité, jako je volba hybridu, je i samotná architektura porostu a hustota porostu, jelikož ovlivňují většinu růstových parametrů kukuřice, zejména vnitrodruhovou konkurenci a fotosyntézu (Borrás et al. 2003). Právě fotosyntéza je jeden z nejdůležitějších dějů v přírodě, proto se v části diplomové práce zabývám morfologií listů a velikostí listové plochy v interakci různých hybridů a výsevků.



## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

Cílem diplomové práce je vyhodnocení vlivu odlišných výsevků a různých hybridů na morfologické a výnosové parametry silážní kukuřice.

Hypotézy:

- Odlišné výsevky v interakci s použitým hybridem mají vliv na morfologické a výnosové charakteristiky silážní kukuřice.
- Mezi hybridy kukuřice existují rozdíly v prostorovém uspořádání listů.
- Ročník má vliv na morfologické charakteristiky kukuřice.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Kukuřice

Kukuřice (*Zea mays* L.) je po pšenici a rýži nejdůležitější plodinou v různých částech světa a má schopnost přizpůsobit se různým klimatickým a půdním podmínkám (Zhou et al. 2016). Je to víceúčelová plodina s vysokým výnosem, kterou lze použít k produkci potravin pro člověka a krmiv pro hospodářská zvířata nebo jako surovinu pro průmyslovou výrobu (Mandić et al. 2015). Význam kukuřice pro lidstvo je velký a dokazuje to pěstování na pěti světadílech. Do Evropy, Asie a Afriky se dostala po objevení Ameriky. V České republice se kukuřice rozšířila na začátku 20. století, a to především kvůli používání hybridního osiva (Zimolka et al. 2008). Siláž z celých rostlin kukuřice, anglicky whole maize plant (WMP), je důležitým krmivem pro dojnice (Han et al. 2020). Podle Zimolky et al. (2008) je kukuřice plodina, jejíž role jak v rostlinné, tak i živočišné výrobě středoevropských zemědělců je nezastupitelná. Zvyšující se zájem o ni je vyvolán potřebou levné a pracovně nenáročné plodiny. Siláž z kukuřice je v současné době základní složkou krmné dávky pro skot a často tvoří 50 % její sušiny (Zeman et al. 2006). Kukuřice je díky svému vysokému výnosu, vysoké kvalitě píce a nižším vstupům široce používána k výrobě siláže (Esfahani et al. 2014). Výnosy se liší v závislosti na ročníku a lokalitě mezi jednotlivými hybridy (Zimolka et al. 2008). Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující výnos a výnosové parametry silážní kukuřice se řadí hustota porostu, doba setí, doba sklizně a odrůdy, a dále i klimatické a půdní faktory. (Malasli et al. 2017). Šuk et al. (1998) kukuřici řadí mezi obiloviny, ale svými specifickými agrotechnickými požadavky a hnojením půdy je spíše podobná okopaninám, jelikož dobře reaguje na hnojení pevnými statkovými i kapalnými organickými hnojivy (Brant et al. 2020).

Kukuřice setá představuje jednu z významných plodin pěstovaných na orné půdě v České republice. Plocha zaseté kukuřice se v posledních deseti letech pohybuje v průměru okolo 220 000 ha (182 000 – 242 000 ha). Její význam je spjat nejen se zajištěním krmivové základny, ale také přímo souvisí s rozvojem systémů produkce energie z obnovitelných zdrojů (Brant et al. 2020). Fuksa (2018) uvádí, že silážní kukuřice je v současné době v Evropě i v ČR nejvýznamnější cíleně pěstovanou plodinou pro produkci bioplynu. Její předností je značný výnosový potenciál, vysoká výtěžnost bioplynu z jednoho kilogramu sušiny a snadná konzervovatelnost umožňující kontinuální využití hmoty v bioplynových stanicích.

### 3.2 Hybridy silážní kukuřice

Kukuřice je u nás nejvýznamnější jednoletou pícninou. Výběr hybridu a rozhodnutí o optimálním termínu sklizně porostu silážní kukuřice sledují dva cíle – maximalizaci výnosu a dosažení nejvyšší možné kvality krmiva (Trinácý et al. 2012). Diviš et al. (1992) píšou, že jedno z nejdůležitějších pěstitelských opatření je správná volba hybridu, jelikož může mít vliv na výnos až z 30 %. Mezi výnosem a délkou vegetační doby, tzv. raností, existuje přímá úměra. Ma et al. (2006) uvádějí, že rozšiřováním nových silážních kukuřičných hybridů vzniká potřeba znalostí pro výběr správného hybridu, a to především kvůli dozrávání

a následnému termínu sklizně. I Komainda et al. (2018) zdůrazňují, že důležitým faktorem při volbě hybridu je jeho termín dozrávání a sklizeň, jež má vliv na výnos a kvalitu píce.

Při šlechtění a tvorbě nových kukuřičných hybridů je využíváno heterozního efektu. Šlechtění je tvořeno několika kroky, prvním je tvorba linie, následuje zkoumání kombinačních otcovských a mateřských linií, poté následuje samotná tvorba a zkoušení nových hybridů (Havličková et al. 2008).

Pro pěstování kukuřice na siláž je vhodné volit hybridy s vysokým výnosem biomasy, s podílem palic na celkové hmotnosti rostliny vyšším než 50 %, maximální koncentrací energie v 1 kg sušiny a dobrou stravitelností. Důležitým faktorem je i zdravotní stav porostu při sklizni (Fuksa et al. 2006). V současné době je ve Státní odrůdové knize registrováno 395 hybridů kukuřice. Z tohoto počtu je 22 hybridů geneticky modifikovaných (GM). U všech GM hybridů se jedná o hybridy s odolností vůči zavíječi kukuřičnému. (Brant et al. 2020).

Freeman et al. (2007) uvádějí, že výnos zelené píce, sušina a vláknina se u hodnocených hybridů liší podle ročníku, termínu setí a volby hybridu. Pozorované rozdíly mezi výnosem zrna u jednotlivých hybridů kukuřice byly způsobeny různým načasováním kvetení, hmotností palice a zrna (López et al. 2018). Na základě výsledků pokusů lze říci, že jarní výsev je produktivnější než letní výsev, jelikož bylo dosaženo vyššího výnosu zrna (Freeman et al. 2007). Je pravděpodobné, že vysoké teploty v létě, způsobily u rostlin stres, který zrychlil fyziologický vývoj, což mělo za následek inhibici růstu rostlin a zmenšení listové plochy (Crafts-Brandner & Salvucci 2002). To ovlivňuje hmotnost stonku, listů a obsah vlákniny (López et al. 2018). Extrémní teploty zvyšují vodní stres rostliny a dochází k rychlejšímu vývoji u rostlin, což vede ke zkrácení vegetační doby a snížení výnosu. Tepelný stres navíc snižuje ožrnění palic kukuřice. Naopak kombinace průměrných teplot a dostatek srážek má pozitivní vliv na výšku rostlin, výnos píce, sušinu a obsah vlákniny (Zhou et al. 2016). Rozdíly pozorované ve výnosech kukuřičné siláže mezi různými termíny setí a mezi hybridy byly způsobeny tím, že rostliny seté na jaře, si díky delší vegetativní fázi vytvořily větší fotosyntetickou kapacitu, oproti později setým porostům. I celková produkce biomasy byla vyšší u jarního setí než u toho letního (Freeman et al. 2007). Zvolené hybridy v pokusu se dobře přizpůsobily podmínkám pěstování. Vnější faktory přímo ovlivňovaly celkový výnos kukuřice, bez ohledu na použitý hybrid. Proto je důležité, aby proběhlo včasné setí na jaře, nebo byly zvoleny hybridy tolerantní k suchu a extrémním teplotám (López et al. 2018).

Jedná-li se o živočišnou výrobu, musí zemědělci zvážit období setí, aby dosáhli přiměřeného výnosu píce a zároveň i dobré kvality (Freeman et al. 2007). Ke zvýšení produkce mléka je nutné zlepšit kvalitu pícnin (Feng 2011). López et al. (2018) dodává, že poptávka po krmné kukuřici v mléčných farmách je vysoká a je třeba identifikovat hybridy jak s dobrou kvalitou píce, tak s vysokým potenciálem produkce biomasy, jelikož kukuřice tvoří 30 až 40 % krmné dávky mléčného skotu (López et al. 2018).

### **3.2.1 Ranost hybridů**

Fuksa & Kalista (2005) napsali, že každý hybrid je charakterizován číslem FAO, neboli číslem ranosti. FAO je orientační ukazatel, který charakterizuje hybrid a délku jeho vegetace. Rozdíl 10 čísel FAO znamená změnu v délce vegetační doby o 1 – 2 dny, nebo o 1 – 1,5 %

obsahu sušiny zrna. Brant et al. (2020) podle čísla FAO rozdělili jednotlivé kategorie silážních hybridů následovně (příloha č. 1): velmi rané hybridy mají číslo FAO do 220, rané hybridy mají číslo FAO 220 – 260, středně rané mají číslo FAO 260 – 300 a středně pozdní mají číslo FAO nad 300. Pro hybridy na zrno je rozdělení následující (příloha č. 1): velmi rané mají číslo FAO do 250, rané 250 – 300, středně rané 300 – 350 a středně pozdní hybridy mají číslo FAO nad 350. Třináctý et al. (2012) uvádí, že hybridy pro kombinované využití na siláž a zrno mají uvedena dvě čísla ranosti (např. 220 S, 230 Z). Zimolka et al. (2008) zmiňuje, že číslo FAO je vypočítáno na základě středního obsahu sušiny v palici v době zralosti kukuřice na siláž ve srovnání s kontrolními hybridy. Číslo ranosti je u stejného hybridu v různých státech odlišné, protože ke stanovení čísla FAO se v různých státech využívá jako standardu jiná skupina hybridů.

Dva, případně tři hybridy s různým číslem ranosti je vhodné používat na větších plochách. To umožní dosažení optimální zralosti a rozložení sklizňové špičky při větší ploše (Šantrůček et al. 2011).

Variabilita lokálních podmínek, plastičnost hybridů, ale také výrazné úspěchy některých vynikajících hybridů způsobují, že v praktických podmínkách se číslo FAO bere jako orientační ukazatel (Třináctý et al. 2012).

### 3.2.2 Suma efektivních teplot

Šlechtitelé z Evropy preferují francouzský koncept sumy efektivních teplot (SET), kdy průměr denních teplot se počítá jako střed minima a maxima denní teploty. Dny, při kterých polední teplota je pod hranicí 10 °C, jsou brány jako 0, jelikož je omezen růst kukuřice, a dny, kdy polední teplota přesahuje 30 °C, jsou brány ve výpočtu sumy denních teplot jako 30, jelikož vyšší teploty již nejsou tak efektivně využívány k asimilaci (Vraz et al. 1995).

Pro dosažení vysokého výnosu hmoty, jak píše Šantrůček et al. (2011), jsou nejvýznamnější teploty koncem června, v červenci a počátkem srpna. Pro nasazení optimálního počtu palic a jejich správný vývin jsou důležité teploty v srpnu a začátkem září.

Celková suma teplot má rozmezí 1700 – 3200 °C. Dle Třináctého et al. (2012) jsou podle nároku na SET jednotlivé hybridy rozděleny do několika skupin. Silážní hybridy mají požadavky na SET v rozmezí 1350 °C (nejranější) až 1650 °C (pozdní). Hodnoty sumy aktivních teplot kukuřice na zrno jsou pro velmi rané hybridy 1800 °C, polorané 2400 °C, polopozdní 2700 °C a pozdní 2900 °C. Silážní kukuřice má sumu aktivních teplot o 150 – 300 °C stupňů nižší (Vrzal et al. 1995).

### 3.2.3 RM systém

Další používaný systém pro rozlišení ranosti hybridů z hlediska zralosti zrna je relative maturity (RM) nebo comparative relative maturity (CRM). Systém od sebe odlišuje hybridy kukuřice s různou vegetační dobou na základě celkové potřeby tepla nutného pro dosažení jejich jednotlivých fází růstu. Takto vytvořené hodnoty se ukazují jako méně závislé na vlivu konkrétních let a charakterizují hybridy přesněji a systematictěji než systém FAO. Některé firmy u hybridů již hodnotu RM uvádí spolu s číslem FAO (Třináctý et al. 2012).

### 3.2.4 Rozdělení hybridů

Z hlediska fyziologických vlastností rozlišujeme u kukuřice následující typy hybridů: rychle dozrávající hybridy, které se vyznačují rychlým počátečním růstem, nárůstem sušiny a velmi častým zasycháním zbylých částí rostlin. Tyto hybridy se hodí do chladnějších oblastí s dostatkem vody (Zimolka et al. 2008). Rovnoměrně dozrávající hybridy jsou přechodné formy a dozrávají postupně (Fuksa et al. 2006). Fuksa et al. (2006) uvádí jako další typ stay green hybridy, které se vyznačují pomalým odbouráváním chlorofylu a rostliny jsou delší dobu zelené. Hlavní výhodou je možnost prodloužení doby sklizně (Zimolka et al. 2008). Tyto pomalu dozrávající hybridy jsou vhodné pro pěstování v oblastech s delším vegetačním obdobím. Ovšem nemusí být dosaženo sklizňové sušiny (Fuksa et al. 2006). Stay green hybridy se sklízí při vyšší sušině 35 – 38 % (Zimolka et al. 2008). Antonietta et al. (2014), kteří zkoumali různé hustoty výsevu, uvádějí, že tyto hybridy měly zelené listy i ve spodních vrstvách porostu, které byly vystaveny omezenému světelnému ozáření.

Podle anatomické stavby palice se hybridy dělí na hybridy s fixním počtem zrn, u kterých je počet zrn dán geneticky a není ovlivňován vnějšími zásahy (Zimolka et al. 2008) a na hybridy s flexibilním počtem zrn, u kterých počet zrn závisí na podmínkách a intenzitě pěstování (Fuksa et al. 2006).

Kukuřice se dělí na dva hlavní typy podle typu zrna, který je dán rozdílným poměrem tvrdého a měkkého endospermu – flint a dent. Tvrdý endosperm potřebuje delší dobu na změknutí. Má tedy nižší degradovatelnost škrobu v bachoru, zbývající škrob se tráví ve střevě (Třináctý et al. 2012).

### 3.2.5 GMO hybridy

Ochrana proti škůdcům má velký vliv na ekonomiku pěstování kukuřice na siláž. Zavíječ kukuřičný patří mezi nejvýznamnější škůdce. Pokud by se při významném výskytu zavíječe kukuřičného používala rezistentní Bt-kukuřice, jednalo by se v současné době o nejefektivnější metodu ochrany (Kocourek & Stará 2012). Geneticky modifikovaná kukuřice si díky moderní metodě šlechtění získala odolnost vůči specifickému škůdci. Výsledkem je to, že pokud housenka zavíječe kukuřičného napadne Bt kukuřici, toxin naruší její trávicí trakt a housenka zahyne (Galen et al. 2018). Vzhledem k tomu, že si tuto vlastnost „propůjčila“ od půdní bakterie *Bacillus thuringiensis*, označuje se jako Bt-kukuřice. (Křepelka 2010). Galen et al. (2018) uvádí, že transgenní plodiny obsahující geny bakterie *Bacillus thuringiensis* (Bt) snižují škody škůdců, množství použitých insekticidů a ekonomicky prospívají pěstitelům. Technologie založená na jejím pěstování se v České republice osvědčila. Přesto její plochy nadále klesají (Křepelka 2010). Největší výměra GM kukuřice (8 380 ha) a počet pěstitelů (167) v ČR byly v roce 2008. V důsledku přísných administrativních a organizačních povinností, negativní medializace GMO plodin, která se promítá i do požadavku na GMO free mléko, docházelo v následujících letech k postupnému snížení ploch až na 75 ha v roce 2016. V letech 2017 – 2019 již nebyl evidován žádný pěstitel GM kukuřice (Brant et al. 2020). Paradoxní je, že tato strategie ochrany kukuřice má nejvyšší ekonomickou efektivnost oproti ostatním metodám ochrany (Křepelka 2010).

HT technologie je tolerance k širokospektrálnímu herbicidu glyfosátu. Kukuřice modifikovaná k odolnosti vůči herbicidům byla testována i na našem území. HT technologie

je pro zemědělce méně náročná i nákladná než konvenční způsob pěstování s aplikací většího množství herbicidů (Brookes & Barfoot 2014).

### 3.3 Architektura porostu

Pěstování kukuřice na siláž nebo na zrno zahrnuje rozhodování o několika postupech zaměřených na maximalizaci výnosu zrna nebo siláže. Jeden z faktorů je hustota porostu a meziřádková vzdálenost. Tyto postupy ovlivňují světelné prostředí, které rostliny vnímají, a tím ovlivňují fotosyntézu, kvetení a kapacitu sinku (Borrás et al. 2003). Samotná populace rostlin ovlivňuje většinu růstových parametrů kukuřice i za optimálních růstových podmínek, a proto je považována za hlavní faktor určující stupeň konkurence mezi rostlinami (Sangakkara et al. 2004). Kostelanský et al. (2004) uvádí, že využitelnost dopadajícího slunečního záření do porostu pěstovaných plodin je ovlivněna především množstvím rostlin na jednotku plochy, postavením listů, apod. Proto je důležité zvolit optimální spon.

Dle Fuksy (2018) při velmi nízkém výchozím počtu rostlin na jednotce plochy nedochází k vzájemné konkurenci a hmotnost rostlin je maximální, ovšem celkový výnos sušiny je nízký. Postupné zvyšování počtu rostlin vede k nárůstu biomasy, ale kvůli zvyšující se konkurenci rostlin v porostu, klesá jejich hmotnost a to tak, že po dosažení výnosového vrcholu celkový výnos prudce klesá (Zimolka et al. 2008).

#### 3.3.1 Meziřádková vzdálenost

Kukuřice se v podmínkách České republiky pěstuje jako širokořádková plodina. Nejčastěji se používá meziřádková vzdálenost 75 cm, což při výsevu 80 000 – 90 000 jedinců na hektar odpovídá vzdálenosti rostlin v řádku 14 – 17 cm. Při zvyšování výsevu se vzdálenost rostlin v řádku zmenšuje, ovšem aby bylo zabráněno konkurenci rostlin, neměla by být vzdálenost v řádku nižší než 14 cm (Smutný et al. 2017). Na základě půdních a klimatických podmínek České republiky, užitkového směru pěstování kukuřice a volby hybridu se doporučuje hustota porostu v rozmezí 7 – 11 rostlin na 1 m<sup>2</sup> (Havlíčková et al. 2008).

Nové technologie pěstování kukuřice navyšují počet rostlin na jednotku plochy, aniž by mezi rostlinami docházelo ke konkurenci. Jedná se o pěstování kukuřice v úzkých řádcích s meziřádkovou vzdáleností 37,5 cm nebo o metodu twin-row, kdy je kukuřice pěstována ve dvou řádcích a meziřádková vzdálenost je obvykle 20 cm a vzdálenost mezi středy dvouřádků je 50 cm (Smutný et al. 2017).

Masali et al. (2017) uvádí, že na základě zkoumání tří různých vzdáleností mezi semeny (10, 15 a 20 cm), bylo dosaženo nejlepších výsledků ve vzdálenosti mezi semeny v řádku 20 cm, metodou „no-till seed“. S nárůstem vzdálenosti mezi semeny v jednom řádku se průměrná doba vzejití snižovala a zároveň ozrnění palic zvyšovalo (Malasli et al. 2017).

#### 3.3.2 Hustota porostu

Lugue et al. (2006) uvedl, že výnos kukuřice se liší v reakci na hustotu rostlin. Han et al. (2020) uvádí, že i kvalitu píce a siláže lze změnit úpravou hustoty rostlin, jelikož změna hustoty rostlin ovlivňuje výnos kukuřice více než u jiných trávovitých rostlin

(Vega et al. 2001). Liu (2004) napsal, že výnos kukuřice se výrazně liší při různé hustotě rostlin kvůli rozdílnému genetickému potenciálu. Zároveň také reaguje odlišně v kvalitativních parametrech, jako je obsah škrobu, obsah bílkovin a olejů (Munamava 2006). Hustoty rostlin, které maximalizují produkci píce, se pohybují v širokém rozmezí od 45 000 do 125 000 rostlin/ha v různých regionech (Mandić et al. 2015; Han et al. 2020). Hustota porostu ovlivňuje i architekturu rostlin, vývoj rostlin a následně i produkci sacharidů (Sangoi 2001).

Nižší hustota rostlin může produkovat vyšší biomasu na rostlinu, ale kvůli sníženému počtu rostlin na jednotku plochy lze předpokládat nižší výnos na jednotku půdy (Shi et al. 2016; Zhang et al. 2018). Mnoho moderních hybridů kukuřice při nízké hustotě neuplatňuje svůj potenciál a často produkuje pouze jednu palici na rostlinu (Zhang et al. 2018).

Zatímco při vyšším výsevu se v populaci zvyšuje meziplodinová konkurence o světlo, vodu a živiny, což může mít negativní vliv na konečný výnos, jelikož vyvolává neplodnost a v konečném důsledku snižuje počet produkováných palic na rostlinu a zrn v palici (Sangoi 2001). Pokud se hustota porostu zvýší, začíná se snižovat rychlost fotosyntézy a dochází k snížení hmotnosti rostlin, to v důsledku konkurence mezi rostlinami, ale naopak se zlepšuje zachycování světla v porostu, čímž se zvyšuje výtěžek biomasy na jednotku plochy (Gao et al. 2017; Zhang et al. 2018). Gao et al. (2017) uvádí, že vysoké hustoty rostlin překračující optimální rychlost fotosyntézy, vedou ke snížení listové plochy na rostlinu a obsahu chlorofylu v listu, omezují asimilaci a snižují akumulaci sušiny.

Zvýšení hustoty rostlin může také negativně korelovat s kvalitou siláže (Gao et al. 2017; Mandić et al. 2015; Zhang et al. 2017). Použití vyšší hustoty rostlin významně snižuje obsah tuku, ale zvyšuje hrubou vlákninu, což má za následek sníženou chutnost a stravitelnost (Mandić et al. 2015; Dragičević et al. 2016). Při růstu hustoty porostu vzniklá konkurence mezi rostlinami snižuje fotosyntézu jednotlivých rostlin a také akumulaci energie a živin, a to vede k zvýšení hmotnosti listů a stonku a zároveň k snížení podílu zrna (Han et al. 2020). Dosažení vyššího výnosu pomocí navýšení hustoty rostlin je založeno na tom, že vyšší hustota rostlin zlepšuje zachycení světla a má lepší využití fotosyntézy na hektar (Jia et al. 2018; Zhang et al. 2018). I při dostatečném množství vody a živin však může nedostatek světla omezit výnosy (Amanullah & Shad 2009; Wang et al. 2019).

Při vyšší hustotě a vzniklé konkurenci o zdroje byla snížena fotosyntéza kukuřice, což v konečném důsledku způsobilo zmenšení průměru stonku rostliny, snížení obsahu chlorofylu, plochy listů na rostlině, to vedlo ke snížení fotosyntézy a výnosu (Qiao et al. 2018). Studie Hana et al. (2020) ukazuje, že zvýšení počtu rostlin významně zvyšuje index listové plochy. Zvýšený index listové plochy znamená větší zachycení světla a fotosyntetické asimilace na jednotku plochy půdy, čímž lze dosáhnout většího výnosu kukuřice (Jia et al. 2018). Když ale hustota rostlin překročí optimální hodnotu, vnitrodruhová konkurence negativně ovlivní asimilaci živin, čímž omezí jakékoli zvýšení produktivity plodin a to vede ke snížení výnosu (Qiang et al. 2019). Se zvyšující se hustotou rostlin se dále zvyšuje obsah vody v rostlinách a klesá podíl sušiny (Dragičević et al. 2016; Qiao et al. 2018; Han et al. 2020).

Han et al. (2020) ve svém pokusu zjistili, že maximální výnos byl dosažen shodně jak u výsevu 75 000, tak u 85 000 rostlin/ha, u vyššího výsevu se ovšem zhoršily kvalitativní

parametry hmoty. Navíc snížení výsevku z 82 500 na 75 000 rostlin/ha snížilo náklady na setí, konkurenci o N a vodu. Dvouletý pokus od Han et al. (2020) nám dokazuje, že hustota porostu je velmi důležitý faktor pěstování kukuřice na siláž. V jeho pokusu bylo použito pět zvolených výsevků (52 500, 60 000, 67 500, 75 000 a 82 500 rostlin/ha). Výsledky ukázaly, že výška rostliny a listová plocha rostly, zatímco průměr stonku, chlorofyl a listová plocha jedné rostliny se snižovaly se zvyšující se hustotou rostlin. Po navýšení hustoty rostlin ze 67 500 na 75 000 rostlin/ha se výnos sušiny a využitelná energie zlepšily, ale opětovné navýšení hustoty tyto hodnoty snížilo. Kvalita krmení obecně klesala s rostoucí hustotou rostlin. Hustota rostlin dosahující nejvyššího výnosu biomasy nebyla vhodná pro optimalizaci kvality. Saponjic et al. (2014) uvedli, že v pokusu s výsevky 45 000 – 125 000 rostlin/ha bylo dosaženo maximálního výnosu biomasy při výsevku 78 000 – 84 000 rostlin/ha v různých typech půd a že intenzivní hustoty rostlin měly tendenci mírně snižovat výnos biomasy kukuřice.

Hustota porostu je důležitým faktorem nejen pro výnos píce, ale také pro její kvalitu (Dragičević et al. 2016; Wang et al. 2019). Zvyšování počtu rostlin zvýšilo obsah hrubé vlákniny, acidodetergentní vlákniny a neutrálnědetergentní vlákniny, což snížilo chutnost pro dojnice (Qiao et al. 2018). Zároveň se zvyšující se hustotou porostu klesá podíl hrubého proteinu, tuků a dusíkatých látek. Proto nižší hustota porostu zlepšuje kvalitu píce (Saponjic et al. 2014; Mandić et al. 2015; Dragičević et al. 2016). Jedním z důvodů, proč hustota porostu ovlivňuje kvalitu píce, je to, že počet rostlin ovlivňuje distribuci asimilátů v listech, stonku a v zrna (Mandić et al. 2015; Qiao et al. 2018). Mandić et al. (2015) uvedli, že vyšší hustota porostu má za následek snížení podílu zrna. Dalším důvodem je, že vysoká populace rostlin by mohla snížit obsah chlorofylu v listech, snížit enzymatickou aktivitu fotosyntézy a asimilace a urychlit stárnutí rostlin (Yu et al. 2018; Wang et al. 2019; Han et al. 2020).

Han et al. (2020) uvádějí, že hustota porostu měla také významný vliv na kvalitativní parametry siláže, například stravitelnost, NEL a dusíkaté látky. Nejlepší kvality bylo dosaženo při výsevku 75 000 rostlin/ha, avšak kvalita siláže byla ovlivněna více průběhem počasí nežli hustotou porostu (Gao et al. 2017; Zhang et al. 2018). Optimalizace produkce kukuřice zahrnuje kompromis mezi výnosem a počtem rostlin na hektar. Zvýšení hustoty porostu na vhodnou hodnotu by mohlo kompenzovat snížení výnosu vyplývající z konkurence mezi jednotlivými rostlinami kukuřice (Zhang et al. 2017).

I počet palic na rostlině je významně ovlivněn různými hustotami rostlin. Maximální počet palic na rostlině (1,33) byl vyprodukovan při 60 000 rostlin/ha a 80 000 rostlin/ha ve srovnání s 140 000 rostlin/ha, kde byla produkce palic nejmenší (Abuzar et al. 2011). Vyšší hustota rostlin může snížit přísun dusíku a vody do rostoucí palice a omezit fotosyntézu. Hustší porost také vytváří konkurenci pro světlo, přístup vzduchu, živin a následně jsou rostliny méně produkční (Zamir et al. 2011). Abuzar et al. (2011) a Zamir et al. (2011) uvádějí, že nízká hmotnost zrna při vysoké hustotě populace rostlin byla pravděpodobně způsobena špatnou dostupností produktů fotosyntézy pro vývoj zrna.

Celkově lze říci, že zvýšení hustoty rostlin na vhodnou úroveň je účinným způsobem, jak dosáhnout vyššího výnosu, ale zároveň se snižuje kvalita píce. Stanovení optimální hustoty rostlin zahrnuje kompromis mezi výnosem píce a její kvalitou (Han et al. 2020).



### 3.4 Sluneční záření

Hnilička (2017) uvádí, že dopadající sluneční záření, zejména ultrafialové (UVB a UVA, 280 – 380 nm) a elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek 400 – 700 nm (viditelné) jsou oblasti, v nich je rozložena absorpce asimilačních pigmentů a která vyvolává v rostlinné buňce proces fotosyntézy (Procházková et al. 1998). I přesto, že mají rostliny schopnost adaptace na změnu podmínek prostředí, nadbytek nebo naopak nedostatek slunečního záření, může účinkovat jako stresový faktor. Jelikož rostliny využívají různé procesy zpracování záření různých vlnových délek, mohou změny ve spektrálním složení záření a jeho intenzitě ovlivnit procesy spojené s fotosyntézou a fyziologií rostlin obecně (Hnilička, 2017).

Dle Šantrůčka et al. (2005) je využití slunečního záření v kukuřici velmi dobré, zároveň má v dané vývojové fázi vyšší nároky na intenzitu a délku slunečního osvětlení. Pěstitel může využití dopadající světlo ovlivnit například hustotou porostu, kdy v hustším porostu narostou vyšší rostliny, nebo termínem výsevu, kdy při velmi pozdním výsevu dochází ke zhošení nasazení palic a k zhoršení kvality zrna.

Během celého vegetačního období potřebuje každá rostlina jak odpovídající množství, tak intenzitu fotosynteticky aktivního záření (FAR) nutného k optimálnímu vývoji, následně růstu a později i ke kvetení. Pokud je ho nedostatek, zvyšuje se u rostlin náchylnost k chorobám. Dochází k prodlužování výhonů a mají světlou barvu. Rostliny se začínají zbavovat starých listů, které žloutnou a postupně opadávají. Tento účinek se výrazně projevuje při vyšších teplotách (Matouš & Hutla 2002). Havlíčková et al. (2008) uvádějí, že dopadající sluneční záření do porostu kukuřice je rozděleno do čtyř částí. 7 % slunečního záření se odrazí od povrchu porostu, horní patro listů zachytí 31 %, 10 % zachytí listy spodního patra a zbytek slunečního záření dopadne na listy ve středu stébla rostliny.

#### 3.4.1 Změna klimatu

Zemědělská výroba je významně ovlivněna změnou klimatu (Sun & Hunag 2011; He et al. 2015; Jese et al. 2015). Průměrné teploty rostou, a to by mohlo zkrátit období růstu, což by mělo zásadní dopad na výnosy pěstovaných plodin (He et al. 2015). Zvýšené teploty způsobují nadměrný výpar vody, který často vede k větší oblačnosti, a tím se snižuje množství dopadajícího slunečního záření na povrch půdy (Choudury 2011). Nejen oblačnost, ale i znečištění ovzduší vede k větší oblačnosti a omezení dopadajícího slunečního záření. Zvyšující se teploty a snižování slunečního záření se považuje za dominantní jev v mnoha oblastech světa (Norris & Wild 2007). Naopak více srážek za vegetační období udržuje půdní vlhkost na vysoké úrovni až do sklizně a může zpomalit stárnutí rostlin (Yu et al. 2018). Dostatek srážek významně ovlivnil kvalitu krmiva. Zlepšení kvality píce je přičítáno zvýšení výnosu zrna (Jia et al. 2018; Han et al. 2020).

Pokles slunečního záření by mohl oslabit fotosyntézu plodin a ovlivnit následnou produkci (Sun & Hunag 2011). He et al. (2015) píšou, že zvýšení teploty může snížit výnosy, a to z důvodu zkrácení doby plnění zrna. Stále však není jisté, zda by zvýšení teploty snížilo, nebo zvýšilo výnos u různých plodin (Vose et al. 2004). Choudury (2011) zjistil, že v některých oblastech dochází k poklesu denních teplot. Ochlazení vyplývá většinou ze

snížení maximální teploty, která je spojena s oslabeným slunečním zářením způsobeným větším množstvím aerosolů v atmosféře. Ochlazování klimatu by také mohlo ovlivnit procesy růstu plodin, a to prodloužením růstového období (He et al. 2015). Song & Jin (2020) uvádějí, že pokles slunečního záření měl negativní účinek na růst kukuřice, zatímco pokles maximální teploty měl pozitivní vliv na růst kukuřice, jelikož došlo k prodloužení období růstu. Výsledky pokusu značí, že pokles slunečního záření snížil výnos kukuřice v průměru o 8 %, a to z důvodu omezení fotosyntézy.

Hama a Mohammed (2019) ve svém pokusu, kde zkoumali fotosyntetické parametry kukuřice, došli k závěru, že po vystavení teplotního stresu a sucha u obou kultivarů došlo ke snížení chlorofylu v listech, vodivosti průduchů, rychlosti transpirace a rychlosti čisté fotosyntézy. Ovšem Hussai et al. (2019) na základě výsledků svého pokusu zmiňují, že pokud je rostlina vystavena pouze vyšší teplotě, rychlost transpirace se zvýší. Společné působení většího počtu stresových faktorů způsobuje negativní projevy.

Kukuřice a čirok jsou spolu studovány jako modelové rostliny pro přenos genů do C3 plodin, za účelem zvýšení odolnosti současných C3 rostlin vůči klimatickým změnám, jako například proti zvýšené teplotě a stresu způsobeného suchem (Mullet et al. 2014). Právě čirok je první rostlinou s C4 typem metabolismu, kde byl oskenován zmíněný genom (Sage 2016).

Vytváření nových kultivarů a jejich výměna za staré je důležitým opatřením k přizpůsobení se změně klimatu a zlepšení produkce plodin (Yu et al. 2012). Náhrada odrůd plodin by mohla kompenzovat ztrátu výnosů v důsledku změny klimatu (Yu et al. 2012; He et al. 2015). Výsledky Songa & Jina (2020) ukázaly, že použití nových kultivarů byl dominantní faktor zvyšující výnos kukuřice v jejich studované oblasti. Ve srovnání s předchozími kultivary měly nové kultivary delší dobu vegetace, což prodlužovalo dobu plnění zrn.

### 3.4.2 Fotosyntéza

Přeměna procesu fotosyntézy je výsledkem dlouhodobého přizpůsobování rostlin na stanovištní podmínky. Rostliny typu C4 mají produkty primární karboxylace sloučeniny se čtyřmi uhlíky (Zimolka et al. 2008). Do této skupiny rostlin jsou řazeny tropické trávy, mezi které patří i kukuřice a čirok. Jedná se o rostliny využívající vysokou hustotu ozáření, mají vysokou produktivitu a rychlejší růst než C3 rostliny. Již při velmi nízké koncentraci CO<sub>2</sub> u nich začíná fotosyntéza. Ztráty formou fotorespirace oproti C3 rostlinám jsou malé nebo nejsou, tudíž nedochází ke ztrátám asimilátů a navíc jsou ekonomičtější ve vodním režimu, proto mohou v suchých a teplých oblastech potlačovat rostlinné druhy ze skupiny C3 rostlin (Kostelanský et al. 2004; Zimolka et al. 2008).

Lamber et al. (2008) uvádějí, že kukuřice je schopná odolávat ztrátám vody z pletiv, ovšem na změny fotosyntézy a omezení růstových procesů je citlivá. Tepelné optimum u kukuřice pro fotosyntézu a růst se pohybuje mezi 30 – 33 °C. Za teplých a suchých dní může nastat tzv. „polední deprese“, kdy zvýšená teplota způsobí vodní deficit v listech a je omezena fotosyntéza a růst (Grams et al. 2007). Pokud se zvýší noční teploty nad optimum, urychluje se vývoj, zvyšuje se ovšem i temnostní dýchání a zkrátí se délka fotosyntézy za dané období ontogeneze (Liu et al. 2018). Fotosyntéza je jedním z procesů, které jsou nejvíce náchylné k nízkým teplotám, a proto může docházet k její inhibici u kukuřice, jelikož je to

tropická plodina C4, která ještě není plně přizpůsobena mírnému podnebí (Foyer et al. 2002). U rostlin C3 a C4 je teplotní rozsah pro optimální fotosyntézu široký a při teplotách nad tímto rozsahem fotosyntéza klesá. Přestože rostliny C4 mají vyšší teplotní optimum než rostliny C3, fotosyntéza je obvykle inhibována, když teploty listů překročí asi 38 °C. I přesto, že je fotosyntetický systém C4 složitější než systém u C3 rostlin, u obou systémů nastává omezení aktivity rubisca (Crafts-Brandner & Salvucci, 2002; Galmés et al. 2005).

Pro materiální a energetický základ tvorby výnosu jsou důležité příjem vody, příjem živin ale zároveň i fotosyntetická asimilace uhlíku (Arrivault et al. 2017). Přímá fotosyntéza zajišťuje v rostlině 90 % sušiny. Především horní patro vytváří sušinu zrna. Nejvíce asimilátů do palice se transportuje z vrstvy 160 – 200 cm, ve vrstvě 200 – 240 cm stíní lata a v nejnižší vrstvě palice prodýchá část asimilátů (Kostelanský et al. 2004; Zimolka et al. 2008). Podíl orgánů na tvorbě sušiny zrna je závislý na čisté rychlosti fotosyntézy a velikosti plochy pro fotosyntézu. Jako zásobárna asimilátů pro zrno slouží jak stéblo, tak listeny i větveno. Mezi palicí a listeny je vztah, kdy tvorba větší asimilační plochy podporuje tvorbu palic a zrn, zároveň větší palice působí jako podpora fotosyntetického aparátu (Lamber et al. 2008).

Tvorba biologického a hospodářského výnosu je ovlivněna několika faktory, které se prolínají. Jedná se o půdu, vlastnosti listů, LAI, délku aktivity listové plochy, klimatické faktory, translokaci asimilátů a práci kořenové soustavy (Šuk et al. 1998). Pro zvýšení absorbované energie je vhodné zvýšit LAI, například zvýšením počtu rostlin na jednotku plochy, zvýší se tím ovšem i konkurence o vodu, živiny a ozáření, kdy dochází k nedostatečnému ozáření spodních listů, tím se sníží počet oplodněných vajíček, zrn a zvyšuje se množství sterilních rostlin (De Peppo et al. 2019). LAI musí mít dostatečnou hodnotu, aby bylo co nejvíce využito slunečního záření, ale zároveň nesmí být moc vysoké, aby se nesnižoval výnos. Správná minerální výživa a závlaha zvýší asimilační plochu, tím se zvýší fotosyntéza a následně i rychlost naplňování zrna. Pokud se prodlouží období naplňování zrna, zvýší se i výnos (Gitelson 2004; De Peppo et al. 2019).

### **3.5 Index listové plochy (LAI)**

Index listové plochy je důležitou proměnnou pro modelování klimatu, odhady primární produkce, předpovídání zemědělských výnosů a mnoho dalších rozmanitých studií (Arkebauer et al. 2003; Gitelson et al. 2003). Garrigues et al. (2008) také uvádějí, že je sledování LAI užitečné, jelikož na povrchu listu dochází k mnoha výměnám hmoty a energie, jako je zachycování slunečního záření, evapotranspirace a fotosyntéza (Fang & Liang 2008; Linag & Wang 2012). Brant et al. (2020) uvádějí, že index listové plochy ovlivňuje mikroklima porostu, určuje intercepční procesy, využití slunečního záření, výměnu vody a plynů porostem a představuje jeden ze základních parametrů pro stanovení biochemických cyklů ekosystémů.

LAI je poměr jednostranné zelené listové plochy k půdní ploše (Rundquist et al. 2001; Arkebauer et al. 2003; Fang & Liang 2008; Brant et al. 2020). Garrigues et al. (2008) uvádějí, že LAI je bez jednotek, protože se jedná o poměr ploch. Například porost s LAI 1 má poměr plochy listu k ploše 1 : 1 a LAI 3 by měl poměr listové plochy k ploše 3 : 1. Globálně je LAI vysoce variabilní. Některé pouštní ekosystémy mají LAI menší než 1, zatímco nejhustší tropické lesy mohou mít LAI až 9 (Hyer & Goetz 2004).

Někteří vědci ve skutečnosti odkazují na měření získané z LP-80 a podobných přístrojů spíše na Plant Area Index (PAI) než na LAI, aby potvrdili příspěvek nelistového materiálu k měření (Kucharik et al. 1998).

### 3.5.1 Měření LAI

Při současném stavu techniky se získávání LAI dělí do dvou skupin. Jedná se o pozemní metody a metody dálkového snímání (Fang & Liang 2008). Metody měření LAI se dají také dělit na přímé a nepřímé (Zheng et al. 2009). Přímé metody LAI se měří pomocí dopadu slunečního záření do porostu, nebo odběrem vzorků, nepřímé metody využívají snadno měřitelných parametrů, jako je propustnost světla, ovšem jedná se pouze o odhad LAI (Fang & Liang 2008). Měření LAI by mělo být prováděno okolo poledne, mezi 11:00 a 13:00, kdy jsou změny úhlu slunečního záření minimální (Gitelson et al. 2003).

Přímé měření zůstává nejpřesnější metodou výpočtu LAI, protože každý jednotlivý list je fyzicky měřen. Moderní zařízení, jako jsou skenery, tento proces zefektivnily, je však stále pracný a časově náročný (Gitelson 2004).

Vědci začali hledat nové způsoby, jak měřit LAI, a to jak kvůli úspoře času, tak i omezení ničení ekosystémů, které se pokoušeli měřit (Hyer & Goetz 2004). Satelitní systémy nabízejí možnost odhadnout LAI na dálku, což umožňuje snížit náklady na monitorování plodin na velkých plochách (De Peppo et al. 2019). Dálkový průzkum poskytuje značný potenciál pro odhad LAI v místním až regionálním a globálním měřítku (Arkebauer et al. 2003).

Fotografie v polokouli (příloha č. 2) byla jednou z prvních metod používaných k nepřímému odhadu LAI. Vědci vyfotografovali listovou plochu ze země pomocí optické čočky (Garrigues et al. 2008). Garrigues et al. (2008) ovšem také uvádějí, že uživatelé musí zvolit prahové hodnoty jasů obrazu, které rozlišují pixely oblohy od vegetačních pixelů, což způsobí, že se hodnoty LAI liší od uživatele k uživateli. Alternativu k hemisférické fotografii nabízí několik komerčně dostupných nástrojů, včetně ceptometru Decagon LP-80 (příloha č. 3), které odhadují LAI pomocí množství světelné energie přenášené přes listovou plochu rostliny (Gitelson 2004). Jiná metoda pro odhad LAI využívá spíše zadržené než procházející světlo. Záření, které bylo ovlivněno zelenou zdravou vegetací, má velmi odlišné spektrum (Garrigues et al. 2008). Dle Zhenga et al. (2009) přesné množství pohlceného světla závisí na koncentraci různých listových pigmentů, jako je chlorofyl a struktura listové plochy a uspořádání a počet vrstev listů. Přesný a automatický odhad profilu listové plochy plodin je těžko zjištělný. Pozemní laserové skenování nabízí potenciální řešení. Vylepšení by mohla přinést metoda DoN, která zachycuje geometrický rozdíl mezi listy a stonky kukuřice (Su et al. 2018). Vzdálené odhady LAI v regionálním a globálním měřítku lze provádět hlavně pomocí transformací spektrální odrazivosti, nazývaných vegetační indexy (Arkebauer et al. 2003). Bylo navrženo několik indexů spektrální vegetace, ale jejich schopnost odhadnout LAI je při střední až vysoké LAI velmi snížena (Gitelson et al. 2003). Arkebauer et al. (2003) navrhuje techniku pro odhad LAI na dálku pomocí odrazů ve dvou spektrálních kanálech buď v zelené kolem 550 nm, nebo na červeném v blízkosti 700 nm.

Důležité jsou i úhly listů, představte si například zdroj světla přímo nad hlavou. Stín vrhaný listem se svislou orientací by byl mnohem menší než stín vrhaný listem s vodorovnou orientací (Gitelson 2004).

### **3.5.2 Leaf Orientation Value (LOV)**

Fuksa et al. (2017) píšou, že pronikání slunečního záření do porostu je do značné míry ovlivněno i architekturou listového zápoje, tedy především prostorovým uspořádáním listů. Jedná se především o úhel a orientaci listů (Lu et al. 2018). Souhrnně lze postavení listů na rostlině popsat pomocí indexu LOV (Fuksa et al. 2017). Čím větší je LOV, tím vzpřímenější je list (Huang et al. 2017). Dle Huanga et al. 2017 se LOV mění v závislosti na hybridu.

Hunag et al. (2017) dále uvádí, že v horní vrstvě měly trojúhelníkové rostliny kukuřice (příloha č. 4) největší LOV a tzv. diamantové rostliny nejmenší. Ve střední vrstvě (listy 13 – 15) byly hodnoty LOV podobné pro všechny tři architektury rostlin, ale při nízké hustotě LOV tzv. diamantových rostlin byla výrazně nižší při vysoké hustotě. Ve spodní vrstvě měly původní rostliny největší LOV.

### **3.5.3 Vliv morfologie listů kukuřice na LAI**

Listy jsou primárně vnímány jako hlavní orgán rostliny podílející se na fotosyntéze, tedy na příjmu slunečního záření (Brant et al. 2020). Postavení listů má velký význam na to, jak bude dopadající sluneční záření do porostu využito rostlinou. Listy se podle postavení listové čepele k povrchu půdy rozdělují na dva základní typy: planofilní (horizontálně postavené) a erektofilní (vertikálně postavené). Erektivní postavení listů lépe využívá slunečního záření, jelikož spodní patra listů jsou méně zastíněné (Šuk et al. 1998; Zimolka et al. 2008). Zimolka et al. (2008) dále uvádějí, že vliv na využití dopadajícího slunečního záření má taky počet listů na rostlině. Počet listů na rostlině je jednoznačně závislý na daném hybridu, ale také na jeho ranosti. Obecně se pozdější hybridy vyznačují vyšší tvorbou listů ve srovnání s hybridy ranějšími. V závislosti na délce stébla se počet listů může pohybovat v rozmezí 8 až 40 kusů (Brant et al. 2020).

Množství a rozložení listové plochy společně s úhly listů určují, jak je zachycováno fotosynteticky aktivní záření (PAR). Faktory jako tvar rostliny, hustota rostlin a šířka řádků mají vliv na rozložení listů a mohou se vyskytovat v téměř nekonečném počtu různých kombinací (Stewart et al. 2003). Hybridy použité ve studii Stewarta et al. (2003) poskytly širokou škálu typů rostlin s různou celkovou výškou, celkovým počtem listů, počtem listů nad palicí a indexem listové plochy. Úhly listů byly u hybridů relativně podobné, kromě Yuyu5, který měl velmi vzpřímené listy. Zatímco vzpřímené listy mohou za určitých okolností zlepšit účinnost využití PAR, zároveň u rostlin se vzpřímenými listy vzniká větší mezera mezi řádky a to znamená pronikání více radiace na povrch půdy. Šlechtitelé rostlin by měli při vývoji ideálních tvarů rostlin zohlednit i šířky řádků (Stewart et al. 2003).

Liu et al. (2015) uvádějí, že nejdůležitější pro výnos kukuřice je 5 – 6 listů v blízkosti palice, jelikož zde probíhá fotosyntéza v největším rozsahu. Ovšem tyto listy jsou při vysoké hustotě rostlin do značné míry zastíněny, což má za následek sníženou produktivitu. Odstranění dvou nejvrchnějších listů bylo účinným způsobem, jak zvýšit výnos o 12 – 15 %.

Pokud by došlo ke zlepšení morfologie kukuřice, změnou úhlem, orientací a listovou plochou, moderní hybridy by dosahovaly vyšších výnosů (Huang et al. 2017).

Díky architektuře rostlin jsou moderní hybridy kukuřice produktivnější, jelikož tolerují vyšší hustoty porostu. Hybridy kukuřice, které mají vztyčené listy nad palicí a ploché listy pod palicí, mohou tolerovat vysoké hustoty porostu, a tak přinášejí lepší výsledky (Vazin et al. 2010). V důsledku přítomnosti plošších listů kolem palice tzv. diamantová rostlina (příloha č. 4) dokáže zachytit více dopadajícího světla ve střední vrstvě rostliny (listy 13 – 15), jedná se totiž o nejdůležitější listy pro produkci zrna. Při vysokých hustotách rostlin se však tato výhoda do určité míry snížila, pravděpodobně v důsledku větší vnitrodruhové konkurence (Huang et al. 2017).

Ve studii Stewarta et al. (2003) je zajímavé, že hybrid Yuyu5, s velmi vzpřímenými listy, dosahoval nejmenší intenzity fotosyntézy. Po snížení meziřádkové vzdálenosti o polovinu se stejnými populacemi rostlin, se denní produkce fotosyntézy Yuyu5 zvýšila o 17,2 % ve srovnání se zvýšením o 6,4 % u hybridu Pioneer 3861 a zvýšením o 3,8 % u hybridu Mycogen TMF 94. Změnou šířky řádků se změnil překryv listové plochy přes řádek a tento efekt nejvíce zužitkoval hybrid Yuyu5.

Vidovič (2008) zkoumal úhly listů, index listové plochy, množství zachyceného slunečního záření porostem a výnos zrna kukuřice. V pokusu byly vysety dva různé počty rostlin: 55 555 rostlin/ha a 80 000 rostlin/ha a dva hybridy, jeden s klasickým úhlem listů a druhý se zvětšeným úhlem. Porost při výsevu 80 000 rostlin/ha společně s větším úhlem listů zachytil více slunečního záření a byl dosažen vyšší výnos zrna. Z toho vyplývá, že větší úhel listů společně s větší hustotou porostu bude tvořit větší výnos pěstované kukuřice.

Vyšší výnosy moderních hybridů kukuřice jsou spojeny s pomalým stárnutím listů, jelikož lépe optimalizují rozložení světla v porostu. Naopak zvýšený útlum světla v horní části rostlin může stárnutí listů kukuřice urychlit, proto je důležitá architektura jednotlivých rostlin (Valentinuz & Tollenaar 2004). Odumírání listů během vegetace začíná od spodních pater rostlin (Šuk et al. 1998). Úbytek listové plochy během tvorby zrna souvisí s množstvím světla dopadajícího na listy a s dostupností dusíku. Úbytek listové plochy byl ovlivněn především podmínkami pěstování plodin (Borrás et al. 2003). Borrás et al. (2003) také zmiňují, že vyšší hustota rostlin znamená rychlejší stárnutí listů během celé vegetace, ale nikdy neovlivňovala vývoj rostlin. Meziřádková vzdálenost u hustěji setých porostů kukuřice změnila kvalitu dopadajícího světla do nižších vrstev listů, ovšem neměla žádný vliv na průběh stárnutí listů.

#### **3.5.4 LAI v kukuřici**

Index listové plochy LAI je důležitý parametr pěstování kukuřice (Abuzar et al. 2011). Nguy-Robertson et al. (2014) píšou, že LAI je velmi proměnlivá veličina. LAI se odvíjí od druhového složení porostu, růstové fáze, stanovištních podmínek, ročníku a technologie pěstování. LAI je dynamický charakter a mění se ze dne na den (Nguy-Robertson et al. 2014). Za vegetační období se může u jedné rostliny hodnota LAI lišit. U kukuřice se od založení porostu po sklizeň index listové plochy pohybuje od 0 do 6 (Arkebauer et al. 2003). Šuk et al. (1998) píšou, že kukuřice během vegetace vytvoří 20 000 – 60 000 m<sup>2</sup> asimilační plochy/ha, což odpovídá 2 – 6 LAI. Optimální hustota porostu by měla odpovídat hodnotám LAI pohybující se v rozmezí 3 – 4, v tomto rozmezí je dosahováno nejvyšších výnosů

(Fuksa et al. 2017). Z důvodu konkurence rostlin zvyšování LAI nad hodnotu 4 obvykle nepřináší zásadní navýšení výnosu biomasy (Vazin et al. 2010).

Hustota rostlin významně ovlivnila listovou plochu, obsah chlorofylu v listech, výšku rostliny, výšku palic a průměr stonku. Index listových ploch se pohyboval od 4,0 do 5,3 v roce 2017 a od 4,1 do 5,4 v roce 2018. Obsah listového chlorofylu byl také ovlivněn hustotou rostlin, která se pohybovala od 15,2 % do 18,2 % v roce 2017 a od 16,1 % do 18,5 % v roce 2018. Když se hustota porostu zvýšila z 52 500 na 82 500 rostlin/ha, snížila se listová plocha na rostlinu o 16 – 17 % a obsah chlorofylu o 13 – 17 %, ale index listové plochy se zvýšil o více než 30 % (Han et al. 2020).

Podle Lamptey et al. (2017), použití organického hnoje aplikovaného společně s minerálními hnojivy pozitivně ovlivňuje index listové plochy a obsah chlorofylu.

Ukázalo se, že LAI byla významně ovlivněna a zvýšena lineárním způsobem s nárůstem populace rostlin. Výsevek 140 000 rostlin/ha produkoval vyšší LAI, a to 2,77; výsevek 120 000 rostlin/ha produkoval 2,52. Nejnižší LAI bylo získáno v populaci 40 000 rostlin/ha. Saberali (2007) dále píše, že výsledky výzkumu ukázaly zvýšení indexu listové plochy u hustě seté kukuřice, což znamenalo zvýšení sušiny a rychlejší růst po celou dobu vegetace než u varianty s nižší hustotou porostu kukuřice.

V příznivých podmínkách s dostatkem vody a živin je LAI nejdůležitější faktor určující výnos. Počet listů na rostlině závisí na délce vegetační doby hybridů. Pozdní hybridy mají větší listovou plochu. V příznivých podmínkách mají delší období pro tvorbu biomasy a tudíž i vyšší výnosový potenciál (Fuksa et al. 2017). Rané hybridy mají listovou plochu jedné rostliny menší, aby se hodnoty LAI raných a pozdních hybridů vyrovnaly, vysévá se u raných hybridů vyšší počet rostlin na jednotku plochy (Zimolka et al. 2008; Brant et al. 2020).

Stres suchem snižuje listovou plochu, výšku rostliny a výnos zrna (Payero et al. 2016). Gheysariho et al. (2009) výsledky pokusů souhlasí se studiemi, které uvádějí, že deficit vody snižuje celkovou plochu listů a naopak hnojení dusíkem působí kladně na růst listové plochy.

### **3.6 Výška rostlin**

Délka a počet internodií určují výšku rostlin, která se společně s listy podílí na podmínkách mikroklimatu porostu, určuje možnosti agrotechnických zásahů během vegetace a ovlivňuje například i procesy porostní srážky, výpar z povrchu půdy apod. (Brant et al. 2020). Výška rostlin je důležitý faktor, který pomáhá analyzovat dosažený výnos během vegetačního období (Abuzar et al. 2011). Sangoi (2001) uvádí, že odrůdy, pro které jsou charakteristické nižší rostliny, neefektivně využívají sluneční záření, a proto často tvoří pouze jednu palici na rostlinu. Ale vzhledem k tomu, že vyšší hustota rostlin na jednotku plochy znamená vyšší konkurenci mezi rostlinami, může být konečný výnos menší.

Abuzar et al. (2011) zaznamenali data, která ukazují, že výška rostliny byla významně ovlivněna hustotou populace rostlin. Nejvyšší rostliny dosahovali 197,2 cm v populaci rostlin 100 000 rostlin/ha a ve variantě s výsevkem 80 000 rostlin/ha, kde výška rostlin dosahovala 193,0 cm. Naopak rostliny menšího vzrůstu (150,8 cm) byly zaznamenány ve variantě 140 000 rostlin/ha, jelikož zde docházelo k vyšší konkurenci o zdroje. Tento trend vysvětluje, že s rostoucím počtem rostlin se také zvýšila konkurence mezi rostlinami o příjem živin a zachycené sluneční záření (Sangakkara et al. 2004). Han et al. (2020) uvádějí, že nejvyšší

výšky rostlin byly pozorovány u nejvyšší hustoty porostu (80 000 rostlin/ha), zatímco největší průměr stonku byl pozorován u nejnižší hustoty porostu (52 500 rostlin/ha). Huang ve svém pokusu zjistili, že výšky rostlin typu trojúhelníku, diamantu a původních rostlin (příloha č. 4) byly 242 cm, 220 cm a 258 cm, v uvedeném pořadí, při hustotě 60 000 rostlin/ha. Při hustotě 90 000 rostlin/ha byla průměrná výška rostlin vyšší o 2 – 3 cm.

Rostliny kukuřice při vyšší hustotě rostou výše, aby získaly více světla a omezili tím vzniklý stres způsobený nedostatkem světla (Mandić et al. 2015). Větší výšky rostlin znamenají menší průměr stonku rostliny, a tím může být ovlivněna asimilace (Wang et al. 2019).

### **3.7 Sklizeň kukuřice**

Optimální sklizňová sušina pro kukuřici je 28 – 35 %. Podíl palic by měl být 50 – 55 % z celkové hmoty a při co nejmenším obsahu pufráčnicích látek (Zimolka et al. 2008). Zimolka et al. (2008) také zmiňují, že podíl palic lze z velké míry ovlivnit správnou volbou hybridu, stupněm zralosti a hustotou porostu, kdy vyšší počty rostlin na jednotku plochu snižují podíl palic z celkové hmoty.

Znalost charakteristik jednotlivých hybridů umožní sklízet porost ve správném termínu (Fuksa et al. 2006). Pokud se pěstuje kukuřice na větších plochách, je dobré použít více hybridů lišící se délkou vegetace. To umožní rozvržení sklizně do delšího časového úseku a zajistí se tím kvalitou kukuřičné siláže (Šuk et al. 1998).

Fuksa et al. (2006) píšou, že kromě sklizně celých rostlin kukuřice na siláž je možné kukuřici sklízet formou dělené sklizně. Při zpracování palice s listeny vzniká krmivo LKS (Lieschen Kolben Schrott), při odlistění palic získáme krmivo CCM (Corn Cob Mix). Loučka (2009) zmiňuje další variantu sklizně s následnou konzervací vlhkého zrna. Fuksa et al. (2006) dodávají, že pro tuto technologii je dobré volit hybridy s pomalým uvolňováním vody ze zrna.

Kvalitu siláže ovlivňuje i délka řezanky. Pokud je nižší sušina, může být délka řezanky vyšší. Pokud je kukuřice sklizená při 27 % sušiny, délka řezanky by měla být 20 – 25 mm a pokud sklizeň proběhne při sušině 32 %, délka řezanky by měla být 5 – 7 mm. Neméně důležitým faktorem ovlivňujícím kvalitu siláže je správné udusání (Zimolka et al. 2008).

#### **3.7.1 Výnos biomasy**

Výnos kukuřice je určen hmotností jednotlivých rostlin a počtem rostlin na jednotku plochy (Fuksa 2018). Ali et al. (2003) uvádějí, že výnos je snížen v reakci na klesající světlo a další dostupné zdroje životního prostředí na každou rostlinu.

Vhodný termín sklizně je nejčastěji dosahován tehdy, když je dosaženo max. 35 % obsahu sušiny. V době sklizně před 30. zářím nebylo dosaženo dostatečně vysokého obsahu sušiny a škrobu a velmi raná sklizeň vedla ke snížení výnosů o 11 – 13 % (Komainda et al. 2018). U kukuřice na siláž se celková vlhkost rostliny snižuje pomaleji než je to u kukuřice pěstované na zrno, z důvodu větší listové plochy. Při vlhčích podmínkách neodpovídá mléčná zralost vlhkosti rostliny, jako za normálních podmínek, proto by měla sklizeň proběhnout podle skutečného obsahu sušiny (Zimolka et al. 2008).



V pokusu Hana et al. (2020) byl největší výnos čerstvé i suché biomasy pozorován u výsevku 75 000 rostlin/ha a naopak nejnižší výnos byl dosažen u varianty 52 500 rostlin/ha. Zvýšení populace rostlin ze 75 000 na 82 500 rostlin/ha znamenalo pokles výnosu (Han et al. 2020). I Hamidia et al. (2010) píšou, že výnos biomasy byl významně ovlivněn různými hustotami porostu. Varianty s populací 60 000 a 80 000 rostlin/ha vedly k maximálnímu výnosu biomasy 16,89 t/ha zatímco nejnižší výnos biomasy 13,33 t/ha byl zaznamenán při výsevku 140 000 rostlin/ha (Abuzar et al. 2011). Dále Abuzar et al. (2011) uvádějí, že nejvyššího nárůstu biomasy je dosaženo při vysoké hustotě rostlin, jelikož zde dochází k největší fotosyntéze. Dále však výnos biomasy klesá progresivně s rostoucím počtem rostlin v dané oblasti, protože je snížena produkce jednotlivých rostlin.

Huang et al. (2017) uvádějí, že interakce mezi hustotou porostu a architekturou rostlin měla významný vliv na výnos a počet palic. Se zvyšující se hustotou z 60 000 na 90 000 rostlin/ha výnos zrna typu trojúhelníkových a diamantových rostlin (příloha č. 4) v roce 2010 se mírně snížil nebo zůstal na stejné úrovni, zatímco výnos zrna původních rostlin poklesl až o 10 %, tedy o 0,89 t/ha (Huang et al. 2017).

## 4 Metodika

### 4.1 Charakteristika místa pokusu

Pokus se silážní kukuřicí byl založen na pozemku výzkumné stanice v Červeném Újezdě v letech 2019 a 2020. Tato výzkumná stanice České zemědělské univerzity v Praze se nachází 7 km od Prahy v okrese Praha – západ se souřadnicemi 50°4'22"N, 14°10'19"E. Pozemky výzkumné stanice, kde byl proveden pokus, leží v nadmořské výšce 410 m n. m. Průměrný úhrn srážek za rok se pohybuje okolo 493 mm a průměrná roční teplota v této lokalitě je 7,7 °C.

#### 4.1.1 Půdní podmínky

Pozemky na výzkumné stanici v Červeném Újezdě mají BPEJ 4.10.00. Jedná se převážně o hnědozemě na rovině, nebo úplné rovině, se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Jsou to půdy hluboké v mírně teplém, suchém klimatickém regionu. Obsah živin v půdě na stanovišti Červený Újezd je pro P 173 ppm, 164 ppm pro K, pro Mg je to 153 ppm a pro Ca 1979 ppm, pH půdy je 6,13. Úřední cena je 13,01 Kč za m<sup>2</sup> a bodová výnosnost této půdy je na stupnici od 6 do 100 vyjádřena hodnotou 69. Jedná se tedy o středně produkční půdy.

#### 4.1.2 Průběh počasí během vegetace v roce 2019

**Tabulka 1:** Porovnání průběhu počasí roku 2019 s normálem Praha - Ruzyně 1981 – 2010

měsíc	teplotní normál (°C)	prům. teplota (°C)	odchylka od normálu	hodnocení	srážkový normál (mm)	srážky (mm)	% normálu	hodnocení
1.	-1,4	-0,65	0,8	normální	22	24,8	113	normální
2.	-0,3	3,08	3,4	silně nadnormální	20	17,4	87	normální
3.	3,6	7,04	3,4	silně nadnormální	28	33,1	118	normální
4.	8,5	10,22	1,7	nadnormální	28	22,1	79	normální
5.	13,5	11,31	-2,2	podnormální	70	55,3	79	normální
6.	16,2	21,60	5,4	mimořádně nadnormální	67	41,4	62	podnormální
7.	18,3	20,08	1,8	silně nadnormální	78	52,6	67	normální
8.	17,9	20,00	2,1	silně nadnormální	66	97,5	148	nadnormální
9.	13,5	14,54	1,0	normální	38	57,2	151	nadnormální
10.	8,5	10,46	2,0	nadnormální	27	30,3	112	normální
11.	3,1	5,19	2,1	silně nadnormální	30	34,4	115	normální
12.	-0,3	2,43	2,7	silně nadnormální	28	13,3	48	podnormální
IV – IX	14,7	16,3	1,6	silně nadnormální	347,0	326,1	94	normální
X - III	2,2	4,6	2,4	mimořádně nadnormální	155,0	153,3	99	normální
I - XII	8,4	10,4	2,0	mimořádně nadnormální	502,0	479,4	95	normální

V tabulce 1 je znázorněné porovnání průběhu počasí za rok 2019 s dlouhodobým normálem měřeným v letech 1981 – 2010 v Praze - Ruzyni. Úhrn srážek za rok 2019 se pohyboval především v dlouhodobých hodnotách, až na měsíce červen a prosinec. V červnu napršelo o 38 % méně srážek, než za dlouhodobý normál a zároveň panovaly mimořádně nadprůměrné teploty, jelikož průměrná teplota byla 21,6 °C, tedy o 5,4 °C vyšší, nežli za dlouhodobý normál. Nejen v červnu, i v červenci a v srpnu se teploty pohybovaly silně nad dlouhodobým normálem.

#### 4.1.3 Průběh počasí během vegetace v roce 2020

V tabulce 2 je znázorněné porovnání průběhu počasí za rok 2020 s dlouhodobým normálem měřeným v letech 1981 – 2010 v Praze - Ruzyni. Kromě července byl rok 2020 bohatý na úhrn srážek. V červenci spadlo o 48,8 mm srážek méně než za dlouhodobý normál, ovšem v jiných měsících bylo srážek dostatek. Nejenže byl rok 2020 bohatý na srážky, byl i chladnější než rok 2019, ovšem i přesto se průměrné teploty pohybovaly nad dlouhodobým normálem.

**Tabulka 2:** Porovnání průběhu počasí roku 2020 s normálem Praha Ruzyně 1981 – 2010

měsíc	teplotní normál (°C)	prům. teplota (°C)	odchylka od normálu	hodnocení	srážkový normál (mm)	srážky (mm)	% normálu	hodnocení
1.	-1,4	1,31	2,7	nadnormální	22	8,0	36	normální
2.	-0,3	4,51	4,8	mimořádně nadnormální	20	56,9	285	mimořádně nadnormální
3.	3,6	4,95	1,4	normální	28	45,4	162	nadnormální
4.	8,5	10,24	1,7	nadnormální	28	12,6	45	podnormální
5.	13,5	12,14	-1,4	normální	70	50,4	72	normální
6.	16,2	17,45	1,2	nadnormální	67	71,8	107	normální
7.	18,3	19,10	0,8	normální	78	29,2	37	silně podnormální
8.	17,9	20,51	2,6	mimořádně nadnormální	66	110,9	168	nadnormální
9.	13,5	15,74	2,2	silně nadnormální	38	58,1	153	nadnormální
10.	8,5	9,71	1,2	nadnormální	27	87,8	325	mimořádně nadnormální
11.	3,1	4,24	1,1	nadnormální	30	12,9	43	podnormální
12.	-0,3	2,15	2,4	nadnormální	28	13,3	48	podnormální
rok	8,4	10,2	1,7	mimořádně nadnormální	502,0	557,3	111	nadnormální

## 4.2 Charakteristika vybraných hybridů

Pro daný pokus byly zvoleny dva rozdílné hybridy kukuřice od firmy Soufflet Seeds. Jedná se o hybrid Avicii a hybrid Databaz.

### 4.2.1 Avicii – Soufflet Seeds

Avicii od firmy Soufflet Seed je raný hybrid pro všestranné využití na zrna, siláž i bioplyn. Hybrid Avicii (příloha č. 5) je charakterizován číslem FAO 260, za účelem pěstování pro siláž a číslem FAO 270 při pěstování na zrna. Hybrid Avicii je vhodný na pozdní dosevy do kukuřičné výrobní oblasti. Typ zrna je mezityp až zub. Tento hybrid pěstitele zaujme především svým vzrůstem, bohatou listovou plochou, tmavou barvou a hlavně velice výrazným stay green efektem. I přes velkou produkci zelené hmoty tento hybrid produkuje dostatek zrna, takže lze označit jako univerzální. V letech úrodných na siláž se může ponechat na zrna, jelikož sklizňová vlhkost bude průměrná a srovnatelná s čistě zrnovými hybridy. Dobrý zdravotní stav a především odolnost k fuzariózám zajistí kvalitní sklizeň silážní hmoty a zrna. Tento hybrid má dobrou plasticitu k půdně klimatickým podmínkám.

### 4.2.2 Databaz - Soufflet Seeds

Tento hybrid je vhodný jak na zrna, tak i na siláž. Typ zrna je koňský zub. Číslo FAO tohoto hybridu je 310, jak pro siláž, tak i pro zrna. Jedná se o univerzální hybrid středního vzrůstu s tvorbou velkých palic (příloha č. 6), které tvoří přes 60 % výnosu silážní hmoty, proto při sklizni na siláž poskytuje vysokoenergetickou hmotu. Odrůda disponuje dobrým „dry down“ efektem, proto je možné dosahovat nízké sklizňové vlhkosti zrna. Hybrid Databaz dosahuje kompaktního vzrůstu a dobře hospodaří s vláhou během celé vegetace. Při pěstování na zrna dobře reaguje na snížený výsevek okolo 80 000 rostlin/ha. Další předností tohoto hybridu je dobrá odolnost proti chladu při vzházení, takže je možno sít v první polovině agrotechnického termínu. Také má velice bohaté olistění, dlouhé a široké listy.

## 4.3 Založení pokusu

Před založením pokusu proběhla aplikace základního hnojení. Na pozemek bylo v obou letech aplikováno 150 kg N/ha (DASA; 26 % N), 45 kg P/ha (superfosfát; 19 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) a 120 kg K/ha (draselná sůl; 60 % K<sub>2</sub>O). Po aplikaci hnojiv na pozemku byla provedena předseťová příprava půdy, pozemek se urovnal a půda nakypřila. Před založením porostu byly vyměřeny jednotlivé parcely. Vybrané hybridy Avicii a Databaz ve výsevcích 90 000 a 120 000 rostlin/ha byly zasety 18. 4. 2019 a 22. 4. 2020. Každá varianta byla založena ve čtyřech opakováních. K setí byly využity přesné ruční secí stroje. Jednotlivé parcely o velikosti 14 m<sup>2</sup> (2,8 x 5 m) tvořily 4 řádky. Meziřádková vzdálenost byla 70 cm a hustota jednotlivých variant se měnila vzdáleností jednotlivých rostlin v řádku. Preemergentní ošetření proti plevelům bylo provedeno přípravkem Lumax (3,5 l/ha; účinné látky: terbuthylazine – 125 g, S-metolachlor – 375 g, mesotrione – 37,5 g). Ve fázi 2. listu kukuřice byl porost přihnojen dávkou 30 kg N/ha (DASA; 26 % N).

#### 4.4 Měření a odebrání vzorků během vegetace

Během vegetace byla měřena výška rostlin a výška nasazení palic (m). Tyto dva parametry byly měřeny 2x za vegetaci, ve stejné vegetační fázi a v obou letech. V prvním pokusném roce proběhlo měření 6. 8. 2019 a 11. 9. 2019. Ve druhém roce proběhlo měření v termínech 19. 8. 2020 a 12. 9. 2020. V daných termínech také proběhlo počítání a měření listů kukuřice. Z každé varianty bylo vybráno 5 průměrných rostlin, u kterých se stanovil počet listů. Následně u jednotlivých listů bylo měřeno: celková délka listů, délka listů po místo ohnutí listové čepele (zenit listu; cm), šířka listů (cm) a úhel listů (°). V obou termínech probíhalo měření na stejných rostlinách. Na základě počtu a rozměrů listů byla vypočtena hodnota LAI. U jednotlivých variant následně proběhlo porovnání LAI porostu (stanovené na základě plochy listů jedné průměrné rostliny a skutečného počtu rostlin na hektar). Dále byla zvlášť hodnocena plocha listů jedné rostliny (m<sup>2</sup>) a samostatně i plocha listu u palice (list u spodní strany palice), a plocha horního patra listů a dolního patra listů, kdy dolní patro listů začínalo prvním listem pod palicí. Dále byl vypočten index LOV (leaf orientation value), jenž charakterizuje postavení listů na rostlině, dle vzorce:

$$LOV = \sum_{i=1}^n [(90 - \alpha) \times h/l] / n \quad (1)$$

kde  $\alpha$  je úhel, který svírá list se stéblem;  $h$  je délka listu od jeho báze po zenit listu;  $l$  je celková délka listu;  $n$  je počet měřených listů (Fuksa et al. 2017). Následně mezi jednotlivými variantami byl porovnán průměrný LOV jedné rostliny, následně i LOV horního patra listů a dolního patra listů, kdy dolní patro listů začínalo prvním listem pod palicí.

#### 4.5 Sklizeň a odběr vzorků

Termín sklizně byl stanoven dle silážní zralosti kukuřice. V prvním pokusném roce proběhla sklizeň 12. 9. 2019, ve druhém roce se kukuřice sklízela 13. 9. 2020. Před zahájením samotné sklizně proběhlo pro porovnání počtu zasetých a sklizených rostlin sčítání rostlin. Poté následovala ruční sklizeň vysekáním dvou prostředních řádků (příloha č. 7), ze kterých byl stanoven výnos čerstvé hmoty z jednotlivých variant. Pro stanovení podílu částí rostlin na výnosu byly z každé varianty vybrány 3 průměrné rostliny (příloha č. 8). Jednotlivé rostliny byly rozděleny na palici a zbytek rostliny. Palice a zbytek rostliny byly zváženy v čerstvém stavu, následně byly uloženy do sušárny a po usušení při 105 °C byly vzorky zváženy. Z hodnot výnosů čerstvé hmoty a obsahu sušiny byl stanoven celkový výnos sušiny (t/ha).

Při druhém opakování pokusu v roce 2020 byl porost značně poškozen divokými prasaty, zvěří a ptáky. Z tohoto důvodu jsou prezentovány kompletní výsledky z roku 2019. V roce 2020 byly vyhodnoceny pouze nepoškozené parcely s hybridem Avicii ve výsevu 90 000 rostlin/ha, které byly porovnány s rokem 2019.

#### 4.6 Statistické vyhodnocení dat

Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny pomocí jednofaktorové a vícefaktorové analýzy rozptylu ( $\alpha = 0,05$ ; Tukey HSD test) v programu Statistica 12.

## 5 Výsledky

### 5.1 Sklizňové parametry rostlin a výnosy jednotlivých variant

#### 5.1.1 Výška rostlin a nasazení palic

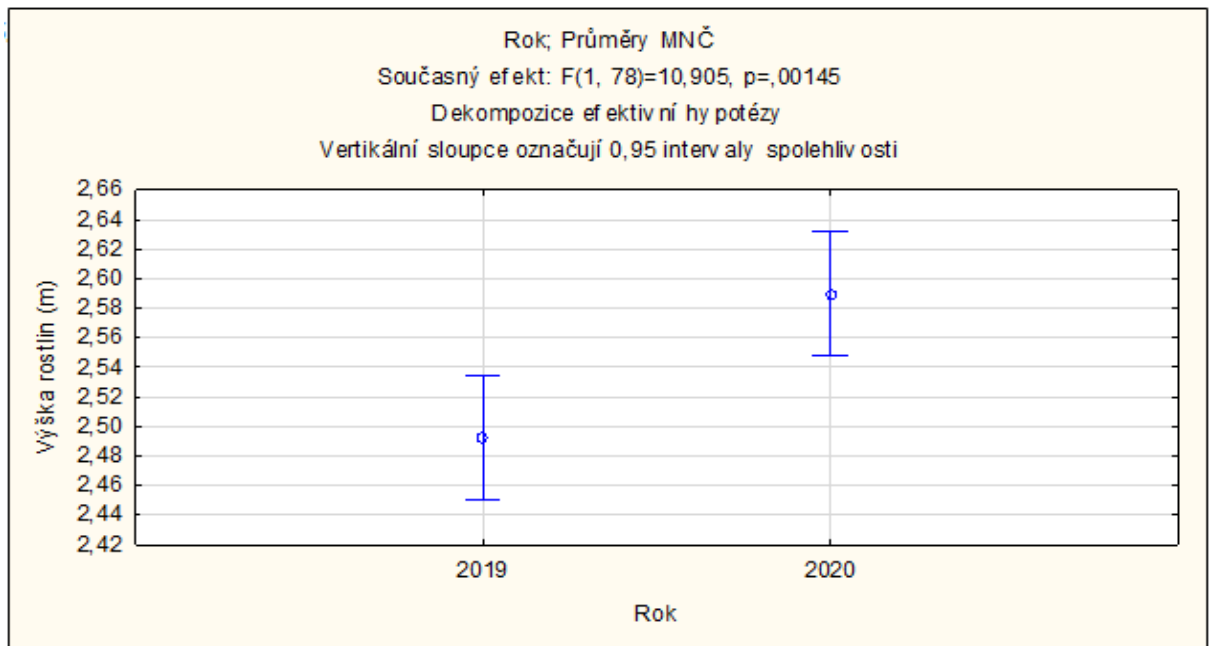
Na základě hodnocení polních dat z roku 2019 bylo zjištěno, že výše výsevku neměla statisticky průkazný vliv na výšku rostlin, ale na výšku nasazení palic ano. Z tabulky 3 dále vyplývá, že hybrid Avicii je průkazně vyšší než hybrid Databaz. Interakce výsevku a hybridu, jak u výšky rostlin, tak i u výšky nasazení palic, nebyla statisticky průkazná.

**Tabulka 3:** Výška rostlin kukuřice a nasazení palic (rok 2019)

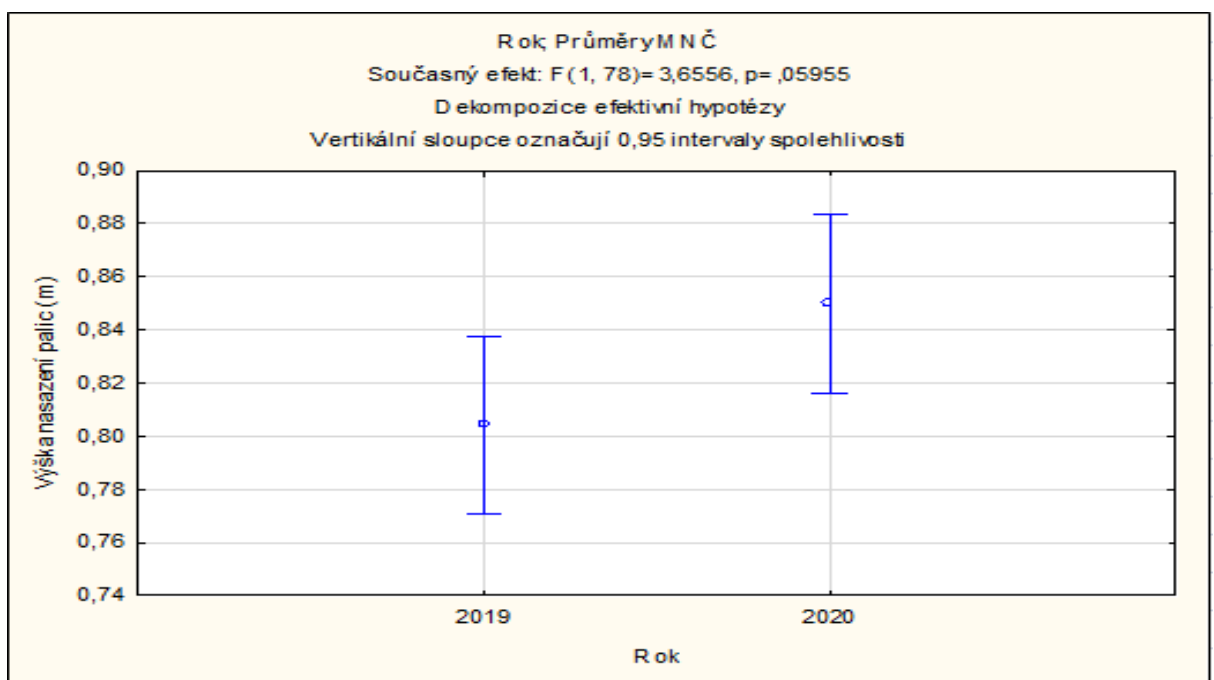
	Výsevek (rostlin/ha)	Hybrid	Výška rostlin (m)	Výška nasazení palic (m)
	<b>90000</b>		2,34	0,80 <sup>a</sup>
	<b>120000</b>		2,36	0,84 <sup>b</sup>
<i>p-value</i>			0,345	<b>0,002</b>
		<b>Avicii</b>	2,49 <sup>a</sup>	0,81
		<b>Databaz</b>	2,21 <sup>b</sup>	0,83
<i>p-value</i>			<b>&lt;0,000</b>	0,263
	<b>90000</b>	<b>Avicii</b>	2,49 <sup>a</sup>	0,80 <sup>ab</sup>
	<b>120000</b>	<b>Avicii</b>	2,49 <sup>a</sup>	0,86 <sup>b</sup>
	<b>90000</b>	<b>Databaz</b>	2,19 <sup>b</sup>	0,79 <sup>a</sup>
	<b>120000</b>	<b>Databaz</b>	2,23 <sup>b</sup>	0,83 <sup>ab</sup>
<i>p-value</i>			0,371	0,742

#### 5.1.2 Vliv ročníku na výšku rostlin a výšku nasazení palic

V grafu 1 a grafu 2 je porovnáván vliv ročníku na výšku rostlin a výšku nasazení palic u hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha. Ročník statisticky průkazně ovlivnil výšku rostlin, hybrid Avicii byl v roce 2020 o 10 cm vyšší. I když se i výška nasazení palic mezi ročníky lišila o 10 cm, naměřené hodnoty nebyly statisticky průkazné.



**Graf 1:** Vliv ročníku na výšku rostlin u hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha



**Graf 2:** Vliv ročníku na výšku nasazení palic u hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha

### 5.1.3 Sklizňové parametry rostlin

Z výsledků experimentu je patrné, že výsevek průkazně ovlivnil průměrnou hmotnost 1 rostliny stanovenou v době sklizně. Při nižším výsevku byly jednotlivé rostliny těžší o 116,7 g. Podíl palic a zbytku rostlin nebyl statisticky průkazně ovlivněn výsevkem, ale hybridem ano. U hybridu Databaz 66,48 % silážní hmoty tvořily palice, jedná se o vyšší procentické zastoupení palic, nežli u hybridu Avicii. Z tabulky 4 je dále patrné, že interakce hybridu a výsevku neměla vliv na jednotlivé parametry uvedené v tabulce.

**Tabulka 4:** Sklizňové parametry rostlin v době sklizně v roce 2019

	Výsevek (rostlin/ha)	Hybrid	Průměrná hmotnost 1 rostliny (g)	Podíl palic (%)	Podíl zbytku rostliny (%)
	<b>90000</b>		686,6 <sup>b</sup>	65,0 <sup>a</sup>	35,0
	<b>120000</b>		569,9 <sup>a</sup>	64,4 <sup>b</sup>	35,6
<i>p-value</i>			<b>0,001</b>	0,588	0,588
		<b>Avicii</b>	610,5	62,9 <sup>a</sup>	37,1 <sup>b</sup>
		<b>Databaz</b>	645,9	66,5 <sup>b</sup>	33,5 <sup>a</sup>
<i>p-value</i>			0,213	<b>0,009</b>	<b>0,009</b>
	<b>90000</b>	<b>Avicii</b>	653,4 <sup>ab</sup>	62,3 <sup>a</sup>	37,7 <sup>b</sup>
	<b>120000</b>	<b>Avicii</b>	567,6 <sup>a</sup>	63,6 <sup>b</sup>	36,4 <sup>ab</sup>
	<b>90000</b>	<b>Databaz</b>	719,7 <sup>b</sup>	67,8 <sup>a</sup>	32,3 <sup>a</sup>
	<b>120000</b>	<b>Databaz</b>	572,2 <sup>a</sup>	65,2 <sup>a</sup>	34,8 <sup>ab</sup>
<i>p-value</i>			0,275	0,119	0,199

#### 5.1.4 Výnos kukuřice

Z tabulky 5 vyplývá, že rozdílné výsevky měly statisticky průkazný vliv jak na počet rostlin při sklizni, tak i výnos čerstvé hmoty a sušiny. Ve všech třech parametrech výsevek 120 000 rostlin/ha dosahoval vyšších hodnot. Obsah sušiny a procento sklizených rostlin výsevek neovlivnil. Z uvedených parametrů v tabulce 5 je patrné, že volba hybridu průkazně ovlivnila pouze obsah sušiny. Hybrid Avicii dosahoval při sklizni o 1,61 procentního bodu vyšší sušiny.

Interakce hybridu Databaz a výsevku 120 000 rostlin/ha dosahovala nejvyššího výnosu 64,27 t/ha čerstvé hmoty. Při této variantě bylo také sklizeno nejvíce rostlin. Naopak nejméně sklizených rostlin a nejmenší výnos 52,04 t/ha bylo dosaženo ve variantě hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha, ovšem naměřené hodnoty v interakci výsevku a hybridu nejsou statisticky průkazné.

**Tabulka 5:** Výnos kukuřice a další charakteristiky porostu v době sklizně v roce 2019

	Výsevek (rostlin/ha)	Hybrid	Počet rostlin při sklizni/ha	% sklizených rostlin	Výnos čerstvé hmoty (t/ha)	Výnos sušiny (t/ha)	Obsah sušiny (%)
	<b>90000</b>		80179 <sup>a</sup>	89,1	55,00 <sup>a</sup>	17,88 <sup>a</sup>	32,57
	<b>120000</b>		111429 <sup>b</sup>	92,9	63,43 <sup>b</sup>	20,96 <sup>b</sup>	33,05
<i>p-value</i>			<b>&lt;0,000</b>	0,117	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>	0,465
		<b>Avicii</b>	95000	90,2	57,31	19,27	33,61 <sup>b</sup>
		<b>Databaz</b>	96607	91,7	61,11	19,57	32,00 <sup>a</sup>
<i>p-value</i>			0,489	0,518	0,104	0,667	<b>0,025</b>
	<b>90000</b>	<b>Avicii</b>	79643 <sup>ab</sup>	88,5	52,04 <sup>b</sup>	17,50 <sup>b</sup>	33,62
	<b>120000</b>	<b>Avicii</b>	110357 <sup>a</sup>	92	62,59 <sup>b</sup>	20,88 <sup>a</sup>	33,61
	<b>90000</b>	<b>Databaz</b>	80714 <sup>b</sup>	89,7	57,96 <sup>ab</sup>	18,27 <sup>ab</sup>	31,52
	<b>120000</b>	<b>Databaz</b>	112500 <sup>ab</sup>	93,8	64,27 <sup>a</sup>	20,88 <sup>a</sup>	32,48
<i>p-value</i>			0,816	0,896	0,346	0,516	0,455



### 5.1.5 Vliv ročníku na sklizňové parametry rostlin a výnosové hodnoty

Z tabulky 6 vyplývá, že vliv ročníku na sklizňové parametry průměrné jedné rostliny nebyl průkazný. Z výnosových hodnot ročník průkazně ovlivnil pouze obsah sušiny.

**Tabulka 6:** Porovnání vlivu ročníku na sklizňové parametry rostlin a výnosové hodnoty hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha v letech 2019 a 2020

Sklizňové parametry průměrné jedné rostliny							
	Výsevek (rostlin/ha)	Hybrid	Rok	Průměrná hmotnost 1 rostliny (g)	Podíl palice (%)	Podíl zbytku rostliny (%)	Počet rostlin při sklizni/ha
	90000	Avicii	2019	653,44	62,29	37,71	79643
	90000	Avicii	2020	683,11	62,58	37,42	76785
<i>p-value</i>				0,443	0,908	0,908	0,404
Výnosové hodnoty							
				% sklizených rostlin	Výnos zelené hmoty (t/ha)	Výnos sušiny (t/ha)	Obsah sušiny (%)
	90000	Avicii	2019	88,5	52,04	17,50	33,62 <sup>a</sup>
	90000	Avicii	2020	85,3	52,36	18,76	35,83 <sup>b</sup>
<i>p-value</i>				0,404	0,902	0,270	0,018

## 5.2 LAI

Na základě hodnocení polních dat z roku 2019 bylo zjištěno, že vliv hybridu na počet listů jedné rostliny a LAI nebyl statisticky průkazný. U parametrů průměrné plochy listů jedné rostliny a plochy listu u palice, byl vliv hybridu průkazný. Hybrid Databaz tvořil větší listovou plochu listu u palice a hybrid Avicii tvořil o 0,025 větší plochu listů jedné rostliny.

Výsevek průkazně ovlivnil jak počet listů na rostlině, tak i průměrnou plochu listů jedné rostliny a LAI porostu. Při vyšším výsevku měly rostliny méně listů a tvořily menší listovou plochu jedné rostliny, ovšem výsevek 120 000 rostlin/ha dosahoval 4,63 LAI, tedy o 1,1 více, než výsevek 90 000 rostlin/ha.

Během jednotlivých měření došlo k průkaznému úbytku listové plochy. Ostatní parametry uvedené v tabulce 7 nejsou průkazně ovlivněny termínem měření.

Z interakcí uvedených v tabulce 7 vyplývá, že byl průkazný rozdíl pouze v počtu listů na rostlině, a to interakcí výsevku a měření. Vliv ostatních interakcí na jednotlivé parametry nebyl statisticky průkazný. Statisticky průkazné nejsou ani nejvyšší hodnoty LAI porostu, které dosahovala interakce hybridu Avicii s výsevkem 120 000 rostlin/ha při prvním měření. Stejně tomu je i u nejmenších naměřených hodnot LAI porostu, které dosahovala varianta hybridu Databaz s výsevkem 90 000 rostlin/ha při druhém měření.

**Tabulka 7:** Počet listů na rostlině, plocha listů a hodnoty LAI kukuřice v roce 2019

	Hybrid	Výsevek	Měření	Počet listů na rostlině	Plocha listu u palice (m <sup>2</sup> )	Plocha listů jedné rostliny (m <sup>2</sup> )	LAI porostu
	Avicii			10,9	0,055 <sup>b</sup>	0,441 <sup>b</sup>	4,17
	Databaz			11,1	0,062 <sup>a</sup>	0,416 <sup>a</sup>	4,00
<i>p value</i>				0,110	<0,000	0,015	0,910
		90000		11,2 <sup>b</sup>	0,059	0,440 <sup>b</sup>	3,54 <sup>a</sup>
		120000		10,8 <sup>a</sup>	0,058	0,415 <sup>a</sup>	4,63 <sup>b</sup>
<i>p value</i>				0,001	0,694	0,010	<0,000
			1	11,7 <sup>b</sup>	0,059	0,437	4,17
			2	10,2 <sup>a</sup>	0,059	0,419	4,00
<i>p value</i>				<0,000	1,000	0,084	0,910
	Avicii	90000		11,1 <sup>a</sup>	0,061 <sup>b</sup>	0,448 <sup>a</sup>	3,57 <sup>a</sup>
	Avicii	120000		10,6 <sup>b</sup>	0,062 <sup>b</sup>	0,433 <sup>a</sup>	4,77 <sup>b</sup>
	Databaz	90000		11,3 <sup>a</sup>	0,054 <sup>a</sup>	0,434 <sup>a</sup>	3,51 <sup>a</sup>
	Databaz	120000		10,9 <sup>ab</sup>	0,056 <sup>a</sup>	0,397 <sup>b</sup>	4,48 <sup>b</sup>
<i>p value</i>				0,548	0,155	0,291	0,240
	Avicii		1	11,6 <sup>b</sup>	0,062 <sup>b</sup>	0,449 <sup>b</sup>	4,25
	Avicii		2	10,2 <sup>a</sup>	0,062 <sup>b</sup>	0,433 <sup>ab</sup>	4,09
	Databaz		1	11,8 <sup>b</sup>	0,055 <sup>a</sup>	0,425 <sup>ab</sup>	4,09
	Databaz		2	10,3 <sup>a</sup>	0,055 <sup>a</sup>	0,406 <sup>a</sup>	3,90
<i>p value</i>				0,841	1,000	0,891	0,432
		90000	1	11,8 <sup>a</sup>	0,059	0,447 <sup>b</sup>	3,59 <sup>a</sup>
		90000	2	10,6 <sup>c</sup>	0,059	0,435 <sup>ab</sup>	3,49 <sup>a</sup>
		120000	1	11,7 <sup>a</sup>	0,058	0,427 <sup>ab</sup>	4,75 <sup>b</sup>
		120000	2	9,9 <sup>b</sup>	0,058	0,403 <sup>a</sup>	4,50 <sup>b</sup>
<i>p value</i>				0,017	1,000	0,569	0,432
	Avicii	90000	1	11,7 <sup>a</sup>	0,061 <sup>a</sup>	0,453	3,61 <sup>a</sup>
	Avicii	120000	1	11,5 <sup>a</sup>	0,062 <sup>a</sup>	0,444	4,90 <sup>b</sup>
	Databaz	90000	1	11,9 <sup>a</sup>	0,056 <sup>ab</sup>	0,441	3,57 <sup>a</sup>
	Databaz	120000	1	11,8 <sup>a</sup>	0,056 <sup>ab</sup>	0,410	4,61 <sup>b</sup>
	Avicii	90000	2	10,6 <sup>b</sup>	0,061 <sup>a</sup>	0,443	3,53 <sup>a</sup>
	Avicii	120000	2	9,8 <sup>b</sup>	0,062 <sup>a</sup>	0,422	4,65 <sup>b</sup>
	Databaz	90000	2	10,7 <sup>b</sup>	0,054 <sup>b</sup>	0,427	3,46 <sup>a</sup>
	Databaz	120000	2	10,0 <sup>b</sup>	0,054 <sup>b</sup>	0,385	4,34 <sup>b</sup>
<i>p value</i>				1,000	1,000	0,977	1,000

### 5.2.1 Porovnání plochy listů horního a dolního patra rostlin

Na základě získaných dat z experimentu v roce 2019, byla porovnána plocha listů jednotlivých pater rostliny, tedy horního patra a dolního patra listů. Při porovnání jednotlivých pater nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly (Tabulka 8).

Statisticky průkazný rozdíl byl zaznamenán u interakce hybridů a jednotlivých pater listů, kdy největší plocha listů byla naměřena u hybridu Avicii v horním patře listů a menší hodnota byla zjištěna v dolním patře. U hybridu Databaz tomu bylo naopak, tj. větší plocha listů byla v horním patře ve srovnání s dolním patrem. Další interakce (hybrid\*výsevek, hybrid\*termín měření, výsevek\*termín měření, hybrid\*výsevek\*termín měření) nebyly průkazné, a proto nejsou v tabulce 8 uvedeny.

**Tabulka 8:** Porovnání plochy listů horního a dolního patra rostlin v roce 2019

	Hybrid	Patra listů	Plocha listů (m <sup>2</sup> )
		<b>Horní patro</b>	0,210
		<b>Dolní patro</b>	0,215
<i>p value</i>			0,258
	<b>Avicii</b>	<b>Horní patro</b>	0,234 <sup>a</sup>
	<b>Avicii</b>	<b>Dolní patro</b>	0,205 <sup>c</sup>
	<b>Databaz</b>	<b>Horní patro</b>	0,186 <sup>b</sup>
	<b>Databaz</b>	<b>Dolní patro</b>	0,225 <sup>a</sup>
<i>p value</i>			<0,000

### 5.2.2 Vliv ročníku na plochu listů a LAI

V tabulce 9 je porovnáván vliv ročníku na hodnoty plochy listů u hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha. Z tabulky je patrný průkazný efekt ročníku na počet listů na rostlině a plochu listu u palice. Průměrná plocha listů jedné rostliny a LAI porostu nebyly statisticky průkazně ovlivněny. Porovnání jednotlivých měření, mezi prvním a druhým rokem pokusu, nepřinesly statisticky průkazné rozdíly.

**Tabulka 9:** Porovnání vlivu ročníku mezi roky 2019 a 2020 na hodnoty plochy listů a LAI u hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha

	Hybrid	Výsevek	Rok	Měření	Počet listů na rostlině	Plocha listu u palice (m <sup>2</sup> )	Plocha listů jedné rostliny (m <sup>2</sup> )	LAI porostu
	<b>Avicii</b>	<b>90000</b>	<b>2019</b>		11,2 <sup>b</sup>	0,061 <sup>a</sup>	0,450	3,58
	<b>Avicii</b>	<b>90000</b>	<b>2020</b>		10,1 <sup>a</sup>	0,067 <sup>b</sup>	0,427	3,28
<i>p value</i>					<0,000	0,012	0,230	0,052
	<b>Avicii</b>	<b>90000</b>	<b>2019</b>	1	11,7	0,061	0,453	3,609
	<b>Avicii</b>	<b>90000</b>	<b>2019</b>	2	10,6	0,061	0,446	3,55
	<b>Avicii</b>	<b>90000</b>	<b>2020</b>	1	10,7	0,067	0,449	3,45
	<b>Avicii</b>	<b>90000</b>	<b>2020</b>	2	9,5	0,067	0,406	3,12
<i>p value</i>					0,802	0,988	0,345	0,349

Z tabulky 10 je patrné, že interakce ročníku a měření nemají statisticky průkazný vliv na plochu jednotlivých pater listů.

**Tabulka 10:** Vliv ročníku na plochu jednotlivých pater listů v letech 2019 a 2020

	Hybrid	Výsevek	Rok	Měření	Patra listů	Plocha listů (m <sup>2</sup> )
	Avicii	90000	2019		Horní patro	0,243 <sup>b</sup>
	Avicii	90000	2019		Dolní patro	0,203 <sup>a</sup>
	Avicii	90000	2020		Horní patro	0,264 <sup>b</sup>
	Avicii	90000	2020		Dolní patro	0,177 <sup>a</sup>
<i>p value</i>						0,051
	Avicii	90000	2019	1	Horní patro	0,243 <sup>ad</sup>
	Avicii	90000	2019	2	Horní patro	0,243 <sup>ad</sup>
	Avicii	90000	2019	1	Dolní patro	0,210 <sup>cd</sup>
	Avicii	90000	2019	2	Dolní patro	0,195 <sup>bc</sup>
	Avicii	90000	2020	1	Horní patro	0,266 <sup>a</sup>
	Avicii	90000	2020	2	Horní patro	0,261 <sup>a</sup>
	Avicii	90000	2020	1	Dolní patro	0,188 <sup>bc</sup>
	Avicii	90000	2020	2	Dolní patro	0,166 <sup>b</sup>
<i>p value</i>						0,959

### 5.3 Morfologie listů a LOV

Z experimentu je patrné, že v roce 2019 hybrid průkazně ovlivnil všechny parametry uvedené v tabulce 11. Hybrid Avicii má menší úhel listu od stébla, zároveň má delší listy a větší délku listu k zenitu, tudíž i větší LOV. Hodnota LOV byla u hybridu Avicii průkazně vyšší o 15,1, nežli dosahovala průměrná hodnota hybridu Databaz.

Rozdílné hodnoty u úhlu listu od stébla a celkové délce listu, způsobené výsevkem, nebyly statisticky průkazné. Vliv výsevku na délku listů k zenitu a LOV již průkazný byl. Při výsevku 120 000 rostlin/ha byla průkazně větší délka listu k zenitu i LOV, nežli tomu bylo u hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha.

Rozdílné dva termíny měření průkazně ovlivnily jak úhel listu od stébla, tak i celkovou délku listů a LOV, zatímco úhel listu od stébla a LOV se při druhém měření průkazně zmenšily, celková délka listů se při druhém měření zvětšila. Vliv termínu měření na délku listů k zenitu nebyl statisticky prokázán.

Interakce hybridu s výsevkem průkazně ovlivnily délku listu k zenitu. Ostatní parametry uvedené v tabulce 11, stejně jako ostatní interakce, nebyly průkazně odlišné.

**Tabulka 11:** Úhel listu od stébla a průměrná hodnota LOV v roce 2019

	Hybrid	Výsevek	Měření	Úhel listu od stébla (°)	Celková délka listu (m)	Délka listu k zenitu (m)	LOV
	<b>Avicii</b>			23,1 <sup>a</sup>	0,67 <sup>b</sup>	0,56 <sup>b</sup>	55,0 <sup>b</sup>
	<b>Databaz</b>			37,6 <sup>b</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,47 <sup>a</sup>	39,9 <sup>a</sup>
<i>p value</i>				<b>&lt;0,000</b>	<b>&lt;0,000</b>	<b>&lt;0,000</b>	<b>&lt;0,000</b>
		<b>90000</b>		30,7	0,64	0,51 <sup>a</sup>	46,4 <sup>a</sup>
		<b>120000</b>		29,9	0,64	0,52 <sup>b</sup>	48,5 <sup>b</sup>
<i>p value</i>				0,088	0,772	<b>0,017</b>	<b>0,001</b>
			<b>1</b>	30,8 <sup>b</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,52	48,8 <sup>b</sup>
			<b>2</b>	29,8 <sup>a</sup>	0,66 <sup>b</sup>	0,51	46,1 <sup>a</sup>
<i>p value</i>				<b>0,028</b>	<b>&lt;0,000</b>	0,567	<b>&lt;0,000</b>
	<b>Avicii</b>	<b>90000</b>		23,7 <sup>a</sup>	0,66 <sup>b</sup>	0,54 <sup>b</sup>	53,4 <sup>b</sup>
	<b>Avicii</b>	<b>120000</b>		22,4 <sup>a</sup>	0,67 <sup>b</sup>	0,58 <sup>c</sup>	56,6 <sup>c</sup>
	<b>Databaz</b>	<b>90000</b>		37,7 <sup>b</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,47 <sup>a</sup>	39,3 <sup>a</sup>
	<b>Databaz</b>	<b>120000</b>		37,4 <sup>b</sup>	0,61 <sup>a</sup>	0,47 <sup>a</sup>	40,5 <sup>a</sup>
<i>p value</i>				0,274	0,186	<b>0,050</b>	0,102
	<b>Avicii</b>		<b>1</b>	23,8 <sup>a</sup>	0,65 <sup>a</sup>	0,56 <sup>b</sup>	56,2 <sup>a</sup>
	<b>Avicii</b>		<b>2</b>	22,4 <sup>a</sup>	0,69 <sup>c</sup>	0,56 <sup>b</sup>	53,8 <sup>a</sup>
	<b>Databaz</b>		<b>1</b>	37,9 <sup>b</sup>	0,60 <sup>b</sup>	0,47 <sup>a</sup>	41,5 <sup>c</sup>
	<b>Databaz</b>		<b>2</b>	37,2 <sup>b</sup>	0,63 <sup>a</sup>	0,46 <sup>a</sup>	38,3 <sup>b</sup>
<i>p value</i>				0,481	0,528	0,375	0,527
		<b>90000</b>	<b>1</b>	31,1 <sup>b</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,50	47,2 <sup>a</sup>
		<b>90000</b>	<b>2</b>	30,3 <sup>ab</sup>	0,66 <sup>b</sup>	0,51	45,5 <sup>a</sup>
		<b>120000</b>	<b>1</b>	31,1 <sup>ab</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,53	50,4 <sup>b</sup>
		<b>120000</b>	<b>2</b>	29,3 <sup>b</sup>	0,67 <sup>b</sup>	0,52	46,7 <sup>a</sup>
<i>p value</i>				0,703	0,350	0,368	0,110
	<b>Avicii</b>	<b>90000</b>	<b>1</b>	24,3 <sup>a</sup>	0,65 <sup>ac</sup>	0,54 <sup>b</sup>	54,1 <sup>b</sup>
	<b>Avicii</b>	<b>120000</b>	<b>1</b>	23,2 <sup>a</sup>	0,65 <sup>ac</sup>	0,58 <sup>b</sup>	58,2 <sup>d</sup>
	<b>Databaz</b>	<b>90000</b>	<b>1</b>	38,0 <sup>b</sup>	0,60 <sup>bc</sup>	0,47 <sup>a</sup>	40,3 <sup>ac</sup>
	<b>Databaz</b>	<b>120000</b>	<b>1</b>	37,9 <sup>b</sup>	0,59 <sup>d</sup>	0,48 <sup>a</sup>	42,6 <sup>c</sup>
	<b>Avicii</b>	<b>90000</b>	<b>2</b>	23,1 <sup>a</sup>	0,68 <sup>ce</sup>	0,55 <sup>b</sup>	52,6 <sup>b</sup>
	<b>Avicii</b>	<b>120000</b>	<b>2</b>	21,6 <sup>a</sup>	0,70 <sup>e</sup>	0,58 <sup>b</sup>	55,0 <sup>ad</sup>
	<b>Databaz</b>	<b>90000</b>	<b>2</b>	37,4 <sup>b</sup>	0,63 <sup>ab</sup>	0,47 <sup>a</sup>	38,4 <sup>a</sup>
	<b>Databaz</b>	<b>120000</b>	<b>2</b>	37,0 <sup>b</sup>	0,63 <sup>ab</sup>	0,46 <sup>a</sup>	38,3 <sup>a</sup>
<i>p value</i>				0,974	0,722	0,501	0,839

### 5.3.1 Porovnání LOV listů horního a dolního patra rostlin

Z tabulky 12 je patrné, že listy dolního patra průkazně dosahovaly větších hodnot LOV, přesněji o 4,3 větších, nežli listy horního patra. Interakce hybridů a jednotlivých pater listů průkazně ovlivnily hodnoty LOV. Hybrid Avicii v horním patře listů dosahoval vyšších hodnot LOV, nežli v dolním patře listů, hybrid Databaz to měl přesně naopak. Interakce výsevku a umístění listů na rostlině s interakcí hybridu, termínu měření a umístění listu na rostlině také průkazně ovlivnily LOV listů. Další interakce (hybrid\*výsevek, výsevek\*termín měření, hybrid\*výsevek\*termín měření) průkazný vliv na LOV neměly, proto nejsou v tabulce 12 uvedeny.

**Tabulka 12:** Porovnání LOV listů horního a dolního patra rostlin v roce 2019

	Hybrid	Výsevek	Měření	Patra listů	LOV
				<b>Horní patro</b>	45,1 <sup>a</sup>
				<b>Dolní patro</b>	49,4 <sup>b</sup>
<i>p value</i>					<0,000
	<b>Avicii</b>			<b>Horní patro</b>	56,5 <sup>c</sup>
	<b>Avicii</b>			<b>Dolní patro</b>	53,5 <sup>d</sup>
	<b>Databaz</b>			<b>Horní patro</b>	33,6 <sup>a</sup>
	<b>Databaz</b>			<b>Dolní patro</b>	45,2 <sup>b</sup>
<i>p value</i>					<0,000
		<b>90000</b>		<b>Horní patro</b>	45,1 <sup>a</sup>
		<b>90000</b>		<b>Dolní patro</b>	47,0 <sup>a</sup>
		<b>120000</b>		<b>Horní patro</b>	45,0 <sup>a</sup>
		<b>120000</b>		<b>Dolní patro</b>	51,8 <sup>b</sup>
<i>p value</i>					<0,000
	<b>Avicii</b>		<b>1</b>	<b>Horní patro</b>	58,5 <sup>d</sup>
	<b>Avicii</b>		<b>1</b>	<b>Dolní patro</b>	53,8 <sup>a</sup>
	<b>Databaz</b>		<b>1</b>	<b>Horní patro</b>	34,5 <sup>b</sup>
	<b>Databaz</b>		<b>1</b>	<b>Dolní patro</b>	46,8 <sup>c</sup>
	<b>Avicii</b>		<b>2</b>	<b>Horní patro</b>	54,5 <sup>a</sup>
	<b>Avicii</b>		<b>2</b>	<b>Dolní patro</b>	53,2 <sup>a</sup>
	<b>Databaz</b>		<b>2</b>	<b>Horní patro</b>	32,8 <sup>b</sup>
	<b>Databaz</b>		<b>2</b>	<b>Dolní patro</b>	43,7 <sup>c</sup>
<i>p value</i>					0,044

### 5.3.2 Vliv ročníku na morfologii listů a LOV

Vliv ročníku průkazně ovlivnil úhel listů (tabulka 13). Hybrid Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha v roce 2020 dosahoval o 2,3° vyšší hodnoty, nežli tomu bylo v roce 2019. Celková délka listu byla v obou letech pokusu totožná, ovšem délka listů k zenitu byla v roce 2019 průkazně větší. I hodnoty LOV se mezi lety průkazně lišily, v roce 2019 bylo LOV 53,5 a v roce 2020 bylo v dané variantě o 19,2 nižší. Interakce termínu měření a ročníku byla statisticky průkazná pro parametr LOV. Ostatní parametry uvedené v tabulce 13 (celková délka listu a délka listu k zenitu), nebyly touto interakcí průkazně ovlivněny.

**Tabulka 13:** Porovnání vlivu ročníku na morfologii listů a hodnoty LOV hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha

	Hybrid	Výsevek	Rok	Měření	Úhel listu od stébla (°)	Celková délka listu (m)	Délka listu k zenitu (m)	LOV
	Avicii	90000	2019		23,7 <sup>a</sup>	0,66	0,55 <sup>b</sup>	53,5 <sup>b</sup>
	Avicii	90000	2020		26,0 <sup>b</sup>	0,66	0,50 <sup>a</sup>	34,3 <sup>a</sup>
<i>p value</i>					<b>0,001</b>	<b>0,599</b>	<b>0,002</b>	<b>&lt;0,000</b>
	Avicii	90000	2019	1	24,3 <sup>ab</sup>	0,65 <sup>ab</sup>	0,54	54,1 <sup>a</sup>
	Avicii	90000	2019	2	23,1 <sup>b</sup>	0,68 <sup>a</sup>	0,55	52,8 <sup>a</sup>
	Avicii	90000	2020	1	26,3 <sup>a</sup>	0,64 <sup>b</sup>	0,50	49,4 <sup>b</sup>
	Avicii	90000	2020	2	25,7 <sup>a</sup>	0,68 <sup>a</sup>	0,50	19,2 <sup>c</sup>
<i>p value</i>					<b>0,614</b>	<b>0,768</b>	<b>0,662</b>	<b>&lt;0,000</b>

Z tabulky 14 vyplývá, že vliv ročníku neměl statisticky průkazný vliv na LOV listů, jak v horním, tak i v dolním patře rostliny.

**Tabulka 14:** Vliv ročníku na LOV jednotlivých pater listů

	Hybrid	Výsevek	Rok	Měření	Patra listů	LOV
	Avicii	90000	2019		Horní patro	56,5 <sup>c</sup>
	Avicii	90000	2019		Dolní patro	50,2 <sup>b</sup>
	Avicii	90000	2020		Horní patro	34,4 <sup>a</sup>
	Avicii	90000	2020		Dolní patro	32,7 <sup>a</sup>
<i>p value</i>						<b>0,051</b>
	Avicii	90000	2019	1	Horní patro	57,9 <sup>d</sup>
	Avicii	90000	2019	2	Horní patro	55,2 <sup>bd</sup>
	Avicii	90000	2019	1	Dolní patro	50,2 <sup>ab</sup>
	Avicii	90000	2019	2	Dolní patro	50,2 <sup>ab</sup>
	Avicii	90000	2020	1	Horní patro	48,2 <sup>ab</sup>
	Avicii	90000	2020	2	Horní patro	20,6 <sup>c</sup>
	Avicii	90000	2020	1	Dolní patro	47,7 <sup>a</sup>
	Avicii	90000	2020	2	Dolní patro	17,7 <sup>d</sup>
<i>p value</i>						<b>0,295</b>

## 6 Diskuze

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnocení vlivu odlišných výsevků a různých hybridů na morfologické a výnosové parametry silážní kukuřice. Hustota porostu a volba hybridu se řadí mezi nejdůležitější faktory pěstování silážní kukuřice, tento fakt ve svém článku zmiňují i Malasi et al. (2017).

### 6.1 Výnosové parametry

Abuzar et al. (2011) zaznamenali data, která ukazují, že výška rostliny byla především ovlivněna hustotou populace rostlin. Mandić et al. (2015) uvádějí, že rostliny kukuřice při vyšší hustotě rostou výše, aby získaly více světla a omezily tím vzniklý stres způsobený nedostatkem světla. V našem případě nebyly výšky rostlin ovlivněny hustotou porostu, nýbrž volbou hybridu. V roce 2019 hybrid Avicii dosahoval o 28 cm větší výšky, nežli tomu bylo u hybridu Databaz. Příznivější průběh počasí v druhém pokusném roce u hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha zapříčinil prodloužení rostlin o 10 cm, to znamená, že rostliny dosahovaly výšky 259 cm. Námi naměřené výšky hybridů v obou letech potvrzují jejich charakteristiku uvedenou firmou Soufflet Seeds. Předností hybridu Avicii je totiž vysoká výška rostlin, zatímco hybrid Databaz dosahuje středního vzrůstu.

Průměrná hmotnost jedné rostliny je především dána potenciálem konkrétního hybridu, dále je ovlivňována jak úrovní hnojení, tak i půdními, teplotními a vláhovými podmínkami. Hmotnost rostlin je také z velké části ovlivněna konkurencí rostlin. Z našeho experimentu je patrné, že průměrná hmotnost jedné rostliny byla ovlivněna především výsevkem. Navyšování počtu rostlin vede k nárůstu výnosu biomasy, ale z důvodu vyšší konkurence o sluneční záření, vodu a živiny, začíná klesat hmotnost jednotlivých rostlin (Fuksa 2018). Přesně tomu tak bylo i v našem případě, jednotlivé rostliny při výsevku 90 000 rostlin/ha byly těžší o 116,7 g, nežli tomu bylo u rostlin při výsevku 120 000 rostlin/ha.

Zimolka et al. (2008) ve své knize zmiňují, že podíl palic lze z velké míry ovlivnit správnou volbou hybridu a hustotou porostu, následná kukuřičná siláž by měla být tvořena z 50 – 55 % palicemi. V našem případě podíl palic neovlivnil výsevek, nýbrž volba hybridu. Hybrid Databaz je charakterizován firmou Soufflet Seeds jako hybrid, který tvoří velké palice (příloha č. 6). Tento fakt se potvrdil i v našich výsledcích, kdy u hybridu Databaz 66,5 % hmotnosti rostliny tvořily právě palice, jedná se o vyšší procentické zastoupení palic, nežli u hybridu Avicii. V obou letech pokusu panovaly teplotně a vláhově mírně nadprůměrné měsíce srpen a září. Dostatek vody v těchto měsících mohl být faktorem, který se promítl při tvorbě zrna, jelikož zejména hybrid Databaz potvrdil svojí přednost, kterou je tvorba velkých palic a poskytnutí vysokoenergetické hmoty. Nižší podíl palic na rostlině se nepříznivě odráží na kvalitě silážní hmoty, protože klesá podíl škrobu a bílkovin, a naopak narůstá obsah NDF a ADF (Brant et al. 2020). Z výsledků Branta et al. (2020) je patrné, že v závislosti na hybridu se podíl palice pohyboval v rozmezí 52,5 – 63,3 %.

Z tabulky 1 a 2 vyplývá, že průběh ročníku pro pěstování kukuřice byl v roce 2020 o něco příznivější, oproti roku 2019, ale i přesto se počasí nepromítlo do průměrné hmotnosti jedné rostliny a podílu jednotlivých částí rostliny.



Výnos kukuřice je určen hmotností jednotlivých rostlin a počtem rostlin na jednotku plochy (Fuksa 2018). Proto je hustota porostu důležitým faktorem, a to nejen pro výnos píce, ale také pro kvalitu píce (Wang et al. 2019). Z výsledků, které uvádí Brant et al. (2020), je patrný výrazný efekt ročníku jak na výnos čerstvé hmoty (32,8 – 63,9 t/ha v průměru za sledované hybridy) tak i výnos sušiny (14,1 – 20,7 t/ha v průměru za sledované hybridy). V našem případě sice rok 2019 nebyl tak extrémně teplý a suchý jako byly předešlé roky, i přesto teploty značně kolísaly od normálu. Za zmínku stojí květen, který byl oproti dlouhodobému normálu teplotně podprůměrný, což mohlo mít vliv na vzcházení kukuřice. S tímto stresovým faktorem se z hybridů lépe vyrovnává hybrid Databaz, jelikož jeho předností je dobrá odolnost proti chladu při vzcházení. Po květnu nastal teplotně mimořádně nadnormální červen, kdy průměrná teplota byla 21,6 °C, tedy o 5,4 °C vyšší, nežli dlouhodobý normál, zároveň tento měsíc napršelo o 38 % méně srážek. Pokud pěstované hybridy zvládly stres způsobený průběhem počasí v květnu a červnu, nastal předpoklad vysokých výnosů, jelikož až do sklizně panovaly teplotně i vláhově mírně nadprůměrné měsíce. To se také potvrdilo, všechny varianty v našem pokusu poskytly nadprůměrné výnosy. Největší výnos 64,27 t/ha čerstvé hmoty dosahovala interakce hybridu Databaz a výsevku 120 000 rostlin/ha. Při této variantě bylo také sklizeno nejvíce rostlin. Naopak nejméně sklizených rostlin a nejmenší výnos 52,04 t/ha bylo dosaženo ve variantě hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha. I když hybrid Avicii dosahoval větších výšek rostlin, hybrid Databaz dosáhl většího výnosu. Jedním z důvodů je větší průměrná hmotnost jedné rostliny, hybrid Databaz měl totiž o 35 g těžší rostliny. Dalším důvodem proč hybrid Databaz dosahoval vyššího výnosu je produkce velkých palic a vyšší počet sklizených rostlin. Důvodem proč se sklízelo při stejných výsevcích více rostlin u hybridu Databaz může být v jeho odolnosti proti chladu při vzcházení. Výnos jednotlivých variant byl zejména ovlivněn výsevem, ten ovlivnil jak počet rostlin při sklizni, tak i výnos čerstvé hmoty a sušiny. Ve všech třech parametrech výsevek 120 000 rostlin/ha dosahoval vyšších hodnot. Han et al. (2020) uvádějí, že nejvyššího nárůstu biomasy je dosaženo při vysoké hustotě rostlin, jelikož zde dochází k největší fotosyntéze. Dále však výnos biomasy klesá progresivně s rostoucím počtem rostlin v dané oblasti, protože je snížena produkce jednotlivých rostlin. Jelikož průběh ročníku byl v obou letech podobný, výnosové hodnoty u hybridu Avicii při výsevu 90 000 rostlin/ha byly obdobné.

## 6.2 LAI

Index listové plochy je důležitým faktorem, jelikož ovlivňuje mikroklima porostu, určuje využití slunečního záření, výměnu vody a plynů porostem a představuje jeden ze základních parametrů pro stanovení biochemických cyklů ekosystémů (Brant et al. 2020).

Jeden z faktorů ovlivňující index listové plochy je počet listů na rostlině. Brant et al. (2020) uvádějí, že počet listů na rostlině je jednoznačně závislý na daném hybridu, ale také na jeho ranosti. V závislosti na délce stébla se počet listů může pohybovat v rozmezí 8 až 40 kusů (Brant et al. 2020). V našem případě hybridy tvořily průměrně 9,8 – 11,9 listů na rostlinu, ovšem počet listů nebyl ovlivněn hybridem, nýbrž výsevem. Při vyšším výsevu měly rostliny méně listů a tvořily menší listovou plochu jedné rostliny. Značný úbytek listů panoval mezi prvním a druhým měření. Borrás et al. (2003) zmiňují, že vyšší hustota rostlin

znamená rychlejší stárnutí a úbytek listů během celé vegetace, tento fakt potvrdil i náš experiment. Vyšší výnosy moderních hybridů kukuřice jsou spojeny s pomalým stárnutím listů, jelikož lépe optimalizují rozložení světla v porostu, dodává Valentinuz & Tollenaar (2004). To měl především potvrdit hybrid Avicii, jelikož ho firma Soufflet Seeds charakterizuje jako hybrid s velice výrazným stay green efektem. I když u hybridu Avicii byl během vegetace větší úbytek listů, hodnoty LAI mezi jednotlivými měření si hybrid Avicii zachoval stálejší, nežli tomu bylo u hybridu Databaz.

Liu et al. (2015) uvádějí, že nejdůležitější pro výnos kukuřice je 5 – 6 listů v blízkosti palice, jelikož zde probíhá fotosyntéza v největším rozsahu. V našem experimentu byly porovnávány listy přímo pod palicí. Větší listovou plochu listu u palice tvořil hybrid Databaz, to je nejspíše jeden ze šlechtitelských cílů, jelikož tento hybrid tvoří velké palice a list u palice je nejdůležitější při tvorbě palice.

I přesto, že měl hybrid Databaz větší listy u palice, hybrid Avicii tvořil o 0,025 m<sup>2</sup> větší plochu listů jedné rostliny. To se následně promítlo i v LAI porostu. I když se v obou výsevcích sklidilo více rostlin ve variantách s hybridem Databaz, hybrid Avicii tvořil větší LAI porostu. Arkebauer et al. (2003) uvádějí, že se index listové plochy u kukuřice od založení porostu po sklizeň pohybuje od 0 do 6. Fuksa et al. (2017) dodávají, že optimální hustota porostu by měla odpovídat hodnotám LAI pohybující se v rozmezí 3 – 4, v tomto rozmezí je dosahováno nejvyšších výnosů. V našem případě se konečné hodnoty LAI pohybovaly v rozmezí 3,46 – 4,9. Nejvyšší hodnoty 4,9 LAI porostu dosahovala interakce hybridu Avicii s výsevkem 120 000 rostlin/ha při prvním měření. Naopak nejmenší hodnoty LAI 3,46 dosahovala varianta hybridu Databaz s výsevkem 90 000 rostlin/ha při druhém měření. I když hybrid Avicii při výsevku 120 000 tvořil o 0,2 větší LAI, hybrid Databaz byl ve stejném výsevku o 1,7 t výnosnější. Více než hybrid, ovlivnil LAI porostu výsevek. Při výsevku 120 000 rostlin/ha dosahovala hodnota LAI porostu 4,63, tedy o 1,9 více, nežli při výsevku 90 000 rostlin/ha. To je jeden z faktorů, proč je výsevek 120 000 rostlin/ha o 8,4 t výnosnější variantou. Velmi podobných hodnot dosáhl ve svém experimentu i Han et al. (2020). I v jejich experimentu hustota rostlin významně ovlivnila listovou plochu. Index listových ploch se pohyboval od 4,0 do 5,3 v roce 2017 a od 4,1 do 5,4 v roce 2018. Když se hustota porostu zvýšila z 52 500 na 82 500 rostlin/ha, snížila se listová plocha na rostlinu o 16 – 17 %, ale index listové plochy se zvýšil o více než 30 %. Tyto studie ukazují, že zvýšení počtu rostlin významně zvyšuje index listové plochy. Zvýšený index listové plochy znamená větší zachycení světla a fotosyntetické asimilace na jednotku plochy půdy, čímž lze dosáhnout většího výnosu kukuřice. Ovšem Qiang et al. (2019) dodává, že když hustota rostlin překročí optimální hodnotu, vnitrodruhová konkurence negativně ovlivní asimilaci živin, čímž omezí jakékoli zvýšení produktivity plodin a to vede ke snížení výnosu.

Při porovnání vlivu ročníku na LAI porostu, hybrid Avicii projevil svojí stálost, jelikož se naměřené hodnoty nelišily. Nutno podotknout, že průběh počasí se mezi jednotlivými lety také výrazně nelišil.

### 6.3 Morfologie listů a LOV

Postavení listů má velký vliv na to, jak bude dopadající sluneční záření do porostu využito rostlinou. Listy se podle postavení listové čepele k povrchu půdy rozdělují na dva základní typy: horizontálně postavené a vertikálně postavené (Zimolka et al. 2008). Vertikální postavení listů dává pěstovaným rostlinám možnost lépe využít sluneční záření, jelikož spodní patro listů je méně zastíněné. Morfologie listů je jednou z mnoha vlastností, která charakterizuje daný hybrid. Z našeho experimentu je patrné, že listové charakteristiky byly ovlivněny zejména hybridem, výsevek na postavení listů neměl zásadní vliv.

Při porovnání úhlů svírající list u stébla rostliny bylo zjištěno, že hybrid Avicii má v průměru za celou rostlinu tento úhel o  $14,5^\circ$  menší, nežli tomu bylo u hybridu Databaz. Úhel listů je velmi důležitý parametr morfologie listů, jelikož stín vrhaný listem se svislou orientací je mnohem menší než stín vrhaný listem s vodorovnou orientací (Gitelson 2004). I Stewart et al. (2003) porovnávali ve své studii úhly listů. Stewart et al. (2003) uvádějí, že úhly listů u hybridů byly relativně podobné, kromě hybridu Yuyu5, který měl velmi vzpřímené listy. Zatímco vzpřímené listy mohou za určitých okolností zlepšit účinnost využití PAR, zároveň u rostlin se vzpřímenými listy vzniká větší mezera mezi řádky, a to znamená pronikání více radiace na povrch půdy.

Dalšími parametry, které jsou důležité pro porovnání listů mezi jednotlivými variantami v našem pokusu, je celková délka listu a délka listu k jeho zenitu, tj. k místu ohnutí. I tyto parametry byly ovlivněny zejména hybridem, hybrid Avicii totiž tvořil delší listy. Rozdíl mezi délkami listů byl i mezi jednotlivými měření a to především u hybridu Avicii.

Na základě úhlu listů, celkové délky listů a délky listu k zenitu se porovnávalo LOV jednotlivých variant. Hodnoty LOV jsou velmi důležité, jelikož nám udávají, jak moc je daný list vzpřímený. Huang et al. (2017) píšou, že čím větší je LOV, tím vzpřímenější je list, zároveň je LOV veličinou měnící se v závislosti na hybridu. V našem případě hybrid Avicii dosahoval hodnoty LOV 55,0 a hybrid Databaz 39,9, z toho vyplývá, že hybrid Avicii má vzpřímenější listy. Hodnoty LOV byly ovlivněny i výsevku a měřením. Při vyšším výsevku byly listy na rostlině vzpřímenější, nežli tomu bylo při nižším výsevku. Zajímavé je i porovnání LOV při prvním a druhém měření, jelikož se mezi měřeními hodnota LOV zmenšila o 2,7, což by mohlo být zapříčiněno především tím, že listy od prvního měření do druhého vyrostly o 5 cm, tudíž byly těžší a úhel svírající list u stébla se zvětšil. Dle Zimolky et al. (2008) vzpřímené listy dávají pěstovaným rostlinám možnost lépe využít sluneční záření, jelikož spodní patro listů jsou méně zastíněná. Tento fakt se ovšem v našem experimentu nepotvrdil, jelikož hybrid Databaz, i přesto že měl spíše horizontální postavení listů, dosahoval většího výnosu, jak čerstvé hmoty, tak i sušiny.

Při porovnání LOV listů horního a dolního patra bylo zjištěno, že hybrid Avicii měl listy horního patra oproti listům dolního patra vzpřímenější, u hybridu Databaz to bylo opačně. Vazin et al. (2010) uvádí, že díky architektuře rostlin jsou moderní hybridy kukuřice produktivnější, jelikož tolerují vyšší hustoty porostu. Hybridy kukuřice, které mají vztyčené listy nad palicí a ploché listy pod palicí, mohou tolerovat vysoké hustoty porostu, a tak přinášejí lepší výsledky. Hybrid Databaz toto tvrzení vyvrací, jelikož má listy v dolním patře více vzpřímené, nežli v horním patře, a i přesto dosahoval většího výnosu čerstvé hmoty, nežli

tomu bylo u hybridu Avicii, který měl v horním patře vzpřímené listy a v dolním patře méně vzpřímené listy.

Stewart et al. (2003) uvádí, že množství a rozložení listové plochy společně s úhly listů určují, jak je zachycováno fotosynteticky aktivní záření (PAR). Faktory jako tvar rostliny, hustota porostu a šířka řádků mají vliv na rozložení listů a mohou se vyskytovat v téměř nekonečném počtu různých kombinací. V našem případě při porovnání LOV s plochou listů horního a dolního patra s výškou rostlin, podílem palic a průměrnou hmotností rostliny bylo zjištěno, že hybrid Avicii s hybridem Databaz mají zcela odlišnou morfologii listů a prostorové využití. Hybrid Avicii využívá spíše prostoru do výšky, jelikož má o 28 cm větší výšku rostlin, zároveň má vzpřímené listy jak v horním tak spodním patře listů a plochu listů jedné rostliny rovnoměrně rozprostřenou po celé rostlině, zároveň má ale menší podíl palic a průměrná hmotnost jedné rostliny je o 35,4 g menší, nežli tomu je u hybridu Databaz. Sangoi (2001) uvádí, že odrůdy, pro které jsou charakteristické nižší rostliny, využívají sluneční záření méně efektivně. Tento poznatek se při porovnání jednotlivých hybridů v našem experimentu nepotvrdil. Hybrid Databaz totiž naopak využívá prostoru spíše do šířky, jelikož má menší rostliny a spíše horizontální postavení listů. Větší část plochy listů jedné rostliny je tvořena dolním patrem listů, což může vést k lepšímu vývinu palic. Stavba rostlin využívající prostor do šířky, jako je tomu u hybridu Databaz, dává možnost snížit výsevek a zachovat větší index listové plochy. Tento fakt potvrzuje i firma Soufflet Seeds, jelikož u hybridu Databaz uvádí, že dobře reaguje na snížený výsevek okolo 80 000 rostlin/ha.

## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnocení vlivu odlišných výsevků a různých hybridů na morfologické a výnosové parametry silážní kukuřice. V experimentální části diplomové práce byl porovnáván hybrid Avicii s hybridem Databaz při výsevu 90 000 rostlin/ha a 120 000 rostlin/ha. Z výsledků vyplývají následující závěry:

- Výška rostlin byla ovlivněna pouze hybridem. Hybrid Avicii dosahoval o 28 cm vyšších rostlin než hybrid Databaz.
  - Při nižším výsevu byly jednotlivé rostliny těžší o 116,7 g. Podíl palic byl ovlivněn pouze hybridem, z celkové hmotnosti jedné rostliny u hybridu Databaz bylo palic tvořeno 66,5 %, tj. o 3,6 procentního bodu více, nežli tomu bylo u hybridu Avicii.
  - Výnos čerstvé hmoty a sušiny byl průkazně ovlivněn pouze výsevem. Při výsevu 120 000 rostlin/ha bylo dosaženo 20,96 t/ha sušiny, při výsevu 90 000 rostlin/ha byl výnos sušiny 17,88 t/ha. Hybrid a interakce hybridu s výsevem na tyto parametry neměly průkazný vliv.
  - Plocha listu u palice byla ovlivněna pouze volbou hybridu, hybrid Databaz u tohoto listu tvořil o 0,013 m<sup>2</sup> větší plochu.
  - Rostliny při vyšším výsevu měly méně listů a tvořily menší listovou plochu jedné rostliny, i přesto výsevek 120 000 rostlin/ha dosahoval 4,63 LAI porostu a výsevek 90 000 rostlin/ha 3,54 LAI. Interakce hybridu a výsevu nebyla průkazná.
  - Rozdílná listová plocha u hybridů neměla vliv na výnos čerstvé hmoty, jelikož hybrid Avicii při výsevu 120 000 rostlin/ha tvořil o 0,2 větší LAI, i přesto byl hybrid Databaz ve stejném výsevu o 1,7 t výnosnější.
- **Hypotéza, že odlišné výsevky v interakci s použitým hybridem mají vliv na morfologické a výnosové charakteristiky silážní kukuřice byla potvrzena částečně:**
- Byl prokázán vliv hybridu na výšku rostlin, podíl palic, obsah sušiny, plochu listu u palice, plochu listů jedné rostliny, plochu listů horního a dolního patra rostliny, velikost úhlu mezi listem a stéblem, celkovou délku listu, délku listu k zenitu, LOV a LOV horního i spodního patra listů.
  - Byl prokázán vliv výsevu na výšku nasazení palic, průměrnou hmotnost jedné rostliny, počet rostlin při sklizni, procento sklizených rostlin, výnos čerstvé hmoty, výnos sušiny, plochu listů jedné rostliny, počet listů na rostlině, LAI porostu, délku listu k zenitu, LOV a LOV horního i spodního patra listů.
  - Interakce hybrid\*výsevek byla průkazná pro délku listu k zenitu.
- Úhel svírající list u stébla byl zejména ovlivněn hybridem, hybrid Avicii měl úhel svírající list u stébla menší o 14,5°.
  - Celková délka listů byla u hybridu Avicii větší o 5 cm, zároveň měl tento hybrid o 9 cm delší i délku k zenitu listu.
  - Průměrné LOV jedné rostliny bylo ovlivněno jak hybridem, tak i výsevem a termínem měření. Hybrid Avicii měl vzpřímené listy, jelikož jeho LOV bylo 55 a hybrid Databaz měl spíše horizontální postavení listů, jelikož LOV dosahovalo

hodnoty 39,9. Vyšší výsevek vedl k průkazně vyšší hodnotě LOV o 2,1, tj. při vyšším výsevku byly listy postaveny více vzpřímeně. Hybrid Avicii měl listy horního patra oproti listům dolního patra vzpřímenější (hodnota LOV 56,5), ve spodním patře měly listy hodnotu LOV 53,5. U hybridu Databaz byly listy spodního patra vzpřímenější (LOV 45,2), než listy horního patra (LOV 33,6).

➤ **Hypotéza, že mezi hybridy kukuřice existují rozdíly v prostorovém uspořádání listů, byla potvrzena.**

- Při porovnání vlivu ročníku na zkoumané parametry, si hybrid Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha zachoval výnosovou stabilitu. Vliv ročníku na výšku rostlin již průkazný byl, jelikož hybrid Avicii v druhém pokusném roce dosahoval o 10 cm vyšších rostlin.
- Hybrid Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha v roce 2019 vytvořil 11,2 listů na rostlině, v roce 2020 to bylo 10,1.
- Prokazatelný vliv ročníku byl také na úhel svírající list u stébla, v druhém pokusném roce byl daný úhel větší o 2,3°. Mezi ročníky se lišila i délka listu k zenitu. V roce 2020 byla délka listu k zenitu 50 cm, tedy o 5 cm méně, nežli tomu bylo v roce 2019.
- Prokazatelný vliv ročníku u hybridu Avicii při výsevku 90 000 rostlin/ha byl také u hodnot LOV. V roce 2019 byly listy vzpřímenější (LOV 53,5) a v roce 2020 méně vzpřímené (LOV 34,3).

➤ **Hypotéza, že ročník má vliv na morfologické charakteristiky kukuřice, byla potvrzena.**

Z výsledků diplomové práce vyplývá, že odlišné výsevky s použitým hybridem mají vliv na morfologické a výnosové charakteristiky silážní kukuřice, zároveň existují rozdíly v prostorovém uspořádání listů mezi hybridy kukuřice, a také, že morfologické charakteristiky kukuřice jsou ovlivněny ročníkem.

## 8 Literatura

- Abuzar MR, Sadozai GU, Baloch MS, Baloch AA, Shah IH, Javaidand T, Hussain N. 2011. Effect of plant population densities on yield of maize. *The Journal of Animal*. **21**: 692–695.
- Ali R, Khalil SK, Raza SM, Khan H. 2003. Effect of herbicides and row spacing on maize. *Weed Sciences Research*. **9**: 171–178.
- Amanullah RK, Shad KK. 2009. Plant density and nitrogen effects on maize phenology and grain yield. *Journal of Plant Nutrition*. **32**: 246–260.
- Antonietta M, Fanello D, Acciaresi H, Guiamed J. 2014. Senescence and yield responses to plant density in stay green and earlier-senescing maize hybrids from Argentina. *Field Crops Research*. **155**: 111–119.
- Arkebauer TJ, Vina A, Gitelson AA, Rundquist DC, Keydan G, Leavit B. 2003. Remote estimation of Leaf area index and green Leaf biomass on maize canopies. *Geophysical Research letters*. **30**: 5.
- Arrivault S, Obata T, Szcówka M, Mengin V, Guenther M, Hoehne M, Fernie AR, Stitt M. 2017. Metabolite pools and carbon flow during C<sub>4</sub> photosynthesis in maize: CO<sub>2</sub> labeling kinetics and cell type fractionation. *Journal of Experimental Botany*. **68**: 283–298.
- Borrás L, Maddonni GA, Otegui ME. 2003. Leaf senescence in maize hybrids: plant population, row spacing and kernel set effects. *Field Crops Research*. **82**: 13–26.
- Brant V, Fuksa P, Hakl J, Jursík M, Kroulík M, Prokinová E, Škeříková M, Šmöger J, Zábranský P. 2020. Efektivní hospodaření s vodou a eliminace degradace půdy v pěstebních systémech kukuřice seté. Agrární komora, Praha.
- Brookes G, Barfoot P. 2014. The global income and production effects of genetically modified (GM) crops 1996–2011. *GM Crops & Food* **4**:74–83.
- Crafts-Brandner SJ, Salvucci ME. 2002. Sensitivity of photosynthesis in a C<sub>4</sub> plant, maize to heat stress. *Plant Physiology*. **7**: 143–147.
- De Peppo M (ed.). 2019. Modelling the ground-LAI to satellite-NDVI (Sentinel-2) relationship considering variability sources due to crop type (*Triticum durum* L., *Zea mays* L., and *Medicago sativa* L.) and farm management. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology*. **21**: 1490–1492.
- Diviš J, Jůza J, Biedermannová E. 1992. Produkční a kvalitativní otázky silážní kukuřice pěstované v nekukuřičných oblastech. Vědecko-pedagogické nakladatelství České Budějovice, České Budějovice.

Dragičević V, Šaponjić B, Terzić D, Simić M, Dumanović Z. 2016. Environmental conditions and crop density as the limiting factors of forage maize production. *Journal of Agricultural Science*. **61**: 11–18.

Esfahani H, Aminpanah H, Gandomani D. 2014. Effect of planting date and nitrogen rate on yield and quality of forage corn. *Agriculture and Forestry*. **60**: 193–206.

Fang H, Liang S. 2014. Leaf Area Index. Models reference module in earth systems and environmental Sciences DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09076-X

Feng P. 2011. Effects of varieties and cultivation techniques on maize yield and silage quality Chinese Academy of Agricultural Sciences. **10**: 9–10.

Foyer CH, Vanacker H, Gomez LD, Harbinson J. 2002 Regulation of photosynthesis and antioxidant metabolism in maize leaves at optimal and chilling temperatures. *Plant Physiology and Biochemistry*. **40**: 659–668.

Freeman KW, Girma K, Arnall DB, Mullen RW, Martin KL, Teal RK, Raun WR. 2007. By-plant prediction of corn forage biomass and nitrogen uptake at various growth stages using remote sensing and plant height. *Agronomy Journal*. **99**: 530–536.

Fuksa P. 2018. Vliv organizace porostu silážní kukuřice na produkci bioplynu. Agromanual.cz, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/vliv-organizace-porostu-silazni-kukurice-na-produkci-bioplynu> (accessed February 8, 2021).

Fuksa P, Hakl J, Šantrůček J. 2017. Vliv hybridu a výsevku na výnos silážní kukuřice. Agromanual.cz, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/vliv-hybridu-a-vysevku-na-vynos-silazni-kukurice> (accessed February 8, 2021).

Fuksa P, Kalista J. 2006. Výběr hybridů kukuřice v roce 2006. Agromanual.cz, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/vyber-hybridu-kukurice-v-roce-2006> (accessed February 5, 2021).

Fuksa P, Kalista J. 2005. Kritéria pro výběr vhodného hybridu kukuřice. Agromanuál, České Budějovice. **4**: 48.

Fraser EVD. 2020. The challenge of feeding a diverse and growing population. *Physiology & Behavior*. **12**: 221.

Galen PD, (ed.). 2018. Regional pest suppression associated with widespread Bt maize adoption benefits vegetation growers. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*. **115**: 3320–3325.



- Galmés J, Flexas J, Keys AJ, Cifre J, Mitchell RAC, Madgwick PJ, Haslam RP, Medrano H, Parry MAJ. 2005. Rubisco specificity factor tends to be larger in plant species from drier habitats and in species with persistent leaves. *Plant Cell Environment*. **28**: 571–579.
- Gao J, Zhao B, Dong S, Liu P, Ren B, Zhang J. 2017. Response of summer maize photosynthate accumulation and distribution to shading stress assessed by using CO<sub>2</sub> stable isotope tracer in the field. *Plant Science*. **8**: 895–904.
- Garrigues S, Shabanov NV, Swanson K, Morisette JT, Baret F, Myneni RB. 2008. Intercomparison and sensitivity analysis of Leaf Area Index retrievals from LAI-2000, AccuPAR, and digital hemispherical photography over croplands. *Agricultural and Forest Meteorology*. **148**: 1193–1209.
- Gheysari M, Mirlatifi SM, Bannayan M, Homae M, Hoogenboom G. 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. *Agricultural Water Management*. **96**: 809–821.
- Gitelson AA. 2004. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of Plant Physiology*. **161**: 165–173.
- Gitelson AA, Vina A, Arkebauer TJ, Rundquist DC, Keydan G, Leavitt B. 2003. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letters*. **30**: 1248.
- Grams EE, Koziolok C, Lautner S, Matyssek R, Fromm J. 2007. Distinct roles of electric and hydraulic signals on the reaction of leaf gas exchange upon re-irrigation in *Zea mays* L. *Plant Cell Environment*. **30**: 79–84.
- Hama BM, Mohammed AA. 2019. Physiological performance of Maize (*Zea mays* L.) under stress condition of water deficit and high temperature. *Applied Ecology and Environmental Research* **17**: 1261–78.
- Hamidia A, Khodabandehb N, Mohammady-nasabc AD. 2010. Plant density and nitrogen effects on some traits of maize (*Zea mays* L.). *Plant Ecophysiology*. **2**: 47–52.
- Han K, Liu B, Liu P, Wang Z. 2020. The optimal plant density of maize for dairy cow forage production. *Agronomy Journal*. **112**: 1849–1861.
- Havlíčková K, Wegner J, Boháč J, Štěrbá Z, Hutla P, Knápek J, Vašíček J, Stražil Z, Kajan M, Lhotský R. 2008. Rostlinná biomasa jako zdroj energie. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví Průhonice, Průhonice.
- Hnilička F. 2017. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Výzkumný ústav rostlinné výroby v. v. i., Praha – Ruzyně, Praha.
- He L, Asseng S, Zhao G, Wu D, Yang X, Zhuang W, Jin N, Yu Q. 2015. Impacts of recent climate warming, cultivar changes, and crop management on winter wheat phenology across the loess plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*. **200**: 135–145.

- Huang S, Gao Y, Li Y, Xu L, Tao H, Wang PU. 2017. Influence of plant architecture on maize physiology and yield in the Heilonggang River valley. *The Crop Journal*. **5**: 52–62
- Hussain HA, Shengnan M, Hussain S, Chen Y, Ali S, Zhang S, Zhang K. 2019. Interactive effects of drought and heat stress on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*. **9**: 3890.
- Hyer EJ, Goetz SJ. 2004. Comparison and sensitivity analysis of instruments and radiometric methods for LAI estimation: assessments from a boreal forest site. *Agricultural and Forest Meteorology*. **122**: 157–174.
- Choudhury BJ. 2011. Modeling radiation- and carbon-use efficiencies of maize, sorghum, and rice. *Agricultural and Forest Meteorology*. **106**: 317–330.
- Jesse T, Andrew B, Lawton LN. 2015. Effect of warming temperatures on US wheat yields. *National Academia Science USA*. **112**: 6931–6936.
- Jia Q, Sun L, Mou H, Ali S, Liu D, Zhang Y, Jia Z. 2018. Effects of planting patterns and sowing densities on grain filling, radiation use efficiency and yield of maize (*Zea mays* L.) in semi arid regions. *Agricultural Water Management*, **201**: 287–298.
- Kocourek F, Stará J. 2012. *Zavijec a ekonomika ochrany rostlin. Úroda, Praha*. Available from <https://www.zemedelec.cz/zavijec-a-ekonomika-ochrany-rostlin/> (accessed February 13, 2021).
- Komainda M, Taube F, Kluß C, Herrmann A. 2018. The effects of maize (*Zea mays* L.) hybrid and harvest date on above and below ground biomass dynamics, forage yield and quality – A trade-off for carbon inputs? *European Journal of Agronomy*. **92**: 51–62.
- Kostelanský F. 2004. *Obecná produkce rostlinná. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno*.
- Křepelka J. 2010. *Zkušenosti s pěstováním Bt-kukuřice. Úroda, Praha*. Available from <https://www.zemedelec.cz/zkusenosti-s-pestovanim-bt-kukurice/> (accessed February 2, 2021).
- Kucharik CJ, Norman JM, Gower ST. 1998. Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*. **91**: 69–88.
- Lambers H, Chapin FS, Pons TL. 2008. Photosynthesis. *Plant Physiological Ecology* **1**: 11–99.
- Lamptey S., Yeboah S, Li L, Zhang R. 2017. Dry matter accumulation and nitrogen concentration in forage and grain maize in dryland areas under different soil amendments. *Agricultural Research*. **15**: 1646–1658.
- Liang S, Wang X. 2012. Leaf Area index. *Advanced Remote Sensing* <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385954-9.00011-3>

- Liu J, Guo YY, Bai YW. 2018. Effects of drought stress on the photosynthesis in maize. *Journal plant Physiology*. **65**: 849–856.
- Liu TN, Gu LM, Dong ST, Zhang JW, Liu P, Zhao B. 2015. Optimum leaf removal increases canopy apparent photosynthesis, <sup>13</sup>C-photosynthate distribution and grain yield of maize crops grown at high density. *Field Crops Research*. **170**: 32–39.
- Liu W, Tollenaar M, Smith G. 2004. Within rowplant spacing variability does not affect cornyield. *Agronomy Journale*. **96**: 275–280.
- López US, Nieto CAR, Lopéz ES, López NS, Rangel PP, Gil AP, Real D. 2018. Yeild of forage, grain and biomass in eight hybrid sof maize with different sowing dates and environmental conditions. *Gobierno de México*. **3**: 2428–6698.
- Loučka R. 2009. Optimální zralost kukuřice pro sklizeň. *Úroda, Praha*. **3**: 30–3.
- Lu S, Zhang M, Zhang Z, Wang Z, Wu N, Song Y. 2018. Screening and verification of genes associated with leaf angle and leaf orientation value in inbred maize lines. *PLoS ONE* 13: 12–15. Available from <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208386>
- Luque SF, Cirilo AG, Otegui ME. 2006. Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maizehybrids. *Field Crop Research*. **95**: 383–397.
- Ma BL, Subedi KD, Stewart DW, Dwyer LM. 2006. Dry matter accumulation and silage moisture changes after silking in leafy and dual-purpose corn hybrids. *Agronomy Journal*. **98**: 922–929.
- Malasli MZ, Khatami A, Çelik A. 2017. The effects of different plant densities and silage corn varieties on silage yield and some yield parameters in no-till seeding. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. **41**: 490–499.
- Mandić V, Krnjaja V, Bijelić Z, Tomić Z, Simić A, Stanojković A. 2015. The effect of crop density on yield of forage maize. *Biotechnology in Animal Husbandry*. **31**: 567–575.
- Matouš M, Hulta P. *Světlo a rostlina*. Světlo, Praha. Available from <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/svetlo-a-rostlina--16917> (accessed February 2, 2021).
- Mullet J, Morishige D, McCormick R, Truong S, Hilley J, McKinley B, Anderson R, Olson SN, Rooney W. 2014. Energy sorghum a genetic model for the design of C4 grass bioenergy crops. *Journal of Experimental Botany*. **65**: 3479–89.
- Munamava MR, Goggi AR, Pollak L. 2006. Seed quality of maize inbred lines with differentcomposition and genetic backgrounds. *Crop Sciences*. **44**: 542–548.

- Nelson N, Yocum CF. 2006. Structure and function of photosystems I and II. *Annual Review of Plant Biology*. **57**: 521–565
- Nguy-Robertson AL, Penga Y, Gitelson AA, Arkebauer TJ, Pimstein A, Herrmann I, Karnieli A, Rundquist DC, Bonfil DJ. 2014. Estimating green LAI in four crops: Potential of determining optimal spectral bands for a universal algorithm. *Agricultural and Forest Meteorology*. **192–193**: 140–148.
- Norris JR, Wild M. 2007. Trends in aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover, solar “dimming,” and solar “brightening”. *Agricultural and Forest Meteorology*. **112**: 89.
- Payero JO, Melvin SR, Irmak S, Tarkalson D. 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semi arid climate. *Agricultural Water Manage.* **84**: 101–112.
- Procházková S, Macháčková I, Krekule J, Šebáne J. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia, Praha.
- Qiao, X, Sun Q, Liu Q, Xu L, Li F, Tao Y, Hao H. 2018. Effects of planting density on yield and quality of silage maize. *Pratacultural Science*. **214**: 59–63.
- Rundquist D, Gitelson AA, Derry D, Ramirez J, Stark R, Keydan G. 2001. Remote estimation of vegetation fraction in corn canopies. *Agronomy Journale*. **11**: 301–306.
- Saberali SF. 2007. Influence of plant density and planting pattern of corn on its growth and yield dunder competition with common Lambesquarters (*Chenopodium album* L.). *Pajouhesh and Sazandegi*. **74**: 143–152.
- Sage RF. 2016. A Portrait of the C4 photosynthetic family on the 50<sup>th</sup> anniversary of its discovery: species number, evolutionary lineages and hall of fame. *Journal of Experimental Botany*. **67**: 4039–56.
- Sangakkara UR, Bandaranayake PSRD, Gajanayake JN, Stamp P. 2004. Plant population and yield of rainfed maize grown in wet and dry seasons of the tropics. *Maydica*. **49**: 83–88.
- Sangoi L. 2001. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciencia Rural*. **1**: 159–168.
- Saponjic B, Dragicevic V, Rakocevic M, Simic M, Djordjevic N, Glamoclija D. 2014. The productive and quality traits of forage maize in relation to the soil type and sowing density. *Romanian Agricultural Research*. **31**: 2067–5720.
- Shi D, Li Y, Zhang J, Liu P, Zhao B, Dong S. 2016. Increased plant density and reduced N rate lead to more grain yield and higher resource utilization in summer maize. *Journal of Integrative Agriculture*. **15**: 2515–2528.

- Smutný V, Šedek A. 2017. Úzkořádková technologie pěstování kukuřice na siláž. Agromanual.cz, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/uzkoradkova-technologie-pestovani-kukurice-na-silaz> (accessed February 18, 2021).
- Song L, Jin J. 2020. Effects of sunshine hours and daily maximum temperature declines and cultivar replacements on maize growth and yields. *Agronomy*. **10**: 1862–1871.
- Stewart DW, Costa C, Dwyer LM, Smith DL, Hamilton RI, Ma BL. 2003. Canopy structure, light interception and photosynthesis in maize. *Agronomy Journal*. **95**: 1465–1474.
- Su W, Zhu D, Huang J, Guo H. 2018. Estimation of the vertical leaf area profile of corn (*Zea mays*) plants using terrestrial laser scanning (TLS). *Computers and Electronics in Agriculture*. **150**: 5–13.
- Sun W, Huang Y. 2011. Global warming over the period 1961–2008 did not increase high-temperature stress but did reduce low-temperature stress in irrigated rice across China. *Agricultural and Forest Meteorology* **151**: 1193–1201.
- Šantrůček J. (ed.). 2005. Základy pícninářství. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Šantrůček J. (ed.). 2011. Encyklopedie pícninářství. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Šuk J (ed.). 1998. Kukuřice. VP AGRO spol. s. r. o, Kněžves.
- Třináctý J, Matoušková H, Vychodilová D. 2012. Výběr hybridů kukuřice podle FAO. Naš chov, Praha Available from <https://www.naschov.cz/vyber-hybridu-kukurice-podle-fao/> (accessed February 19, 2021).
- Vega CRC, Andrade FH, Sadras VO. 2001. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. *Field Crop Research*. **72**: 165–173.
- Valentinuz OR, Tollenaar M. 2004. Vertical profile of leaf senescence during the grain-filling period in older and newer maize hybrids. *Crop Science*. **44**: 827–834.
- Vazin F, Hassanzadeh M, Madani A, Nassiri-Mahallati M, Nasri M. 2010. Modeling light interception and distribution in mixed canopy of common cocklebur (*Xanthium strumarium*) in competition with corn. *Planta Daninha*. **28**: 455–462.
- Vidovič J. 2008. Effect of the change of leaf angle arrangement on productivity of maize stands. *Biologia Plantarum*. **16**: 174–183.
- Vose RS, Easterling DR, Gleason B. 2005. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Geophysical Research letters*. **32**: 23.

Vrzal J, Štrafelda J, Novák D, Kohout V. 1995. Základy pěstování kukuřice a jednoletých píceňin. Institut výchovy a vzdělání Mze ČR, Praha.

Wang W, Hao Q, Li Q, Chen F, Ni F. 2019. The involvement of cytokinin and nitrogen metabolism in delayed flag leaf senescence in a wheat stay-green mutant. *Plant Science*. **278**: 70–79.

Yu D, Chen X, Bi Y, Shao Q. 2018. Effect of plant density on yield and related traits of silage maize with different plant types. *Pratacultural Science*. **35**: 1456–1471.

Yu Y, Huang Y, Zhang W. 2012. Changes in rice yields in China since 1980 associated with cultivar improvement, climate and crop management. *Field Crops Research*. **136**: 65–75.

Zamir MSI, Ahmad AH, Javeed HMR, Latif T. 2011. Growth and yield behaviour of twomaize hybrids (*Zea mays* L.) towards different plant spacing. *Agronomy Journale* **2**: 33–40.

Zeman L (ed.). 2006. Výživa a krmění hospodářských zvířat. Profi Press, Praha.

Zhang M, Chen T, Hojatollah L, Feng X, Cao T, Qian C, Zhang W. 2018. How plant density affects maize spike differentiation, kernel set, and grain yield formation in Northeast China? *Journal of Integrative Agriculture*. **17**: 1745–1757.

Zheng G, Moskal M. 2009. Retrieving Leaf Area Index (LAI) Using Remote Sensing: Theories, Methods and Sensors. *Sensors*. **9**: 2719–2745.

Zhou B, YueY, SunX, WangX, WangZ, MaW, Zhao M. 2016. Maize grain yield and dry matter production responses to variations in weather conditions. *Agronomy Journale*. **108**: 196–204.

Zimolka J (ed.). 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press, Praha.

## 9 Samostatné přílohy

Tab. 2: Změna zastoupení (%) jednotlivých skupin ranosti hybridů kukuřice na siláž a na zrno v letech 2002 – 2018 (ÚKZÚZ, 2002; 2008; 2018).

skupina ranosti	hybridy na siláž				hybridy na zrno			
	číslo FAO	rok			číslo FAO	rok		
		2002	2008	2018		2002	2008	2018
		%				%		
velmi rané	do 220	26	23	13	do 250	33	32	32
rané	220-260	54	54	53	250-300	45	43	46
středně rané	260-300	13	12	25	300-350	13	11	14
středně pozdní	nad 300	7	11	9	nad 350	9	14	8
celkem		100	100	100		100	100	100

Příloha č. 1 Rozdělení hybridů dle čísla FAO

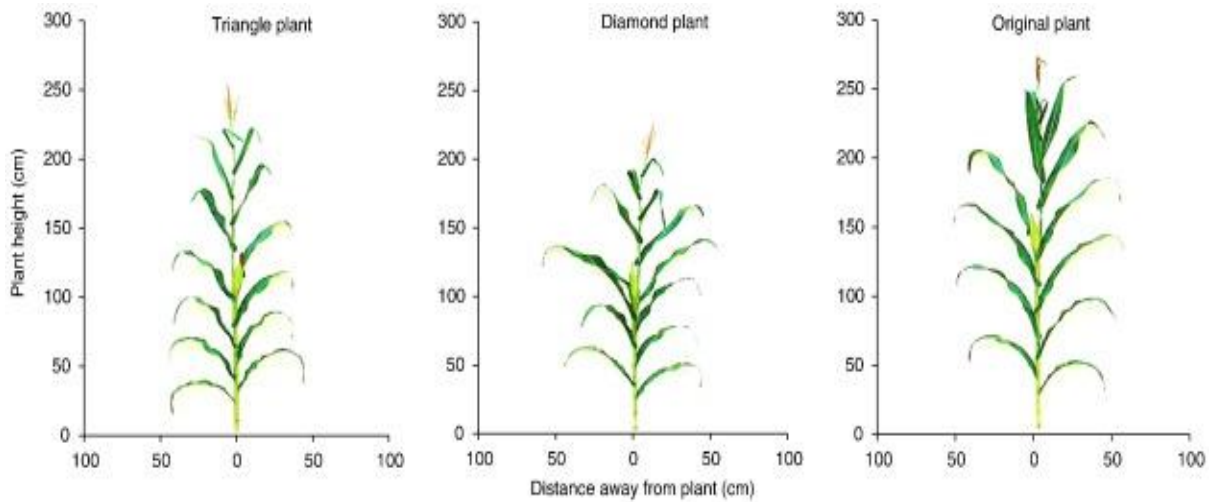
Figure 2.  
Hemispherical photograph acquired  
from a mixed deciduous forest  
using a digital camera  
fisheye lens.



Příloha č. 2 Fotografie v polokouli sloužící pro odhad LAI



Příloha č. 3 Ceptometr Decagon LP-80, sloužící k měření LAI







Příloha č. 4 Zvolené hybridy s tvarem rostlin typu trojúhelníku, diamantu a původní rostliny v pokusu Hunga et al. (2017)




# AVICII

FAO  
260s/270z



Hybrid:	dvouliniový	 Počet zrn v řadě	32–36
Typ zrna:	mezityp až zub	 Počet řad zrn	16–18
Rajonizace:	K, Ř, O	 HTZ	300–320 g
Rychlost počátečního růstu:	dobrý		
Způsob dozrávání rostliny:	STAY GREEN		
<b>Suma efektivních teplot (6 °C):</b>			
Kvetení:	850 °C		
Silážní zralost (sušina 32 %):	1460 °C		
Zrnová zralost (vlhkost 35 %):	1670 °C		



Příloha č. 5 Hybrid použitý v pokusu- Avicii



Příloha č. 6 Palice v pokusu použitého hybridu Databaz



Příloha č. 7 Sklizeň pokusu s kukuřicí



Příloha č. 8 Sklizeň 3 průměrných rostlin z jednotlivých variant