

Sad 4.0 – Metodika agrotechniky sadu sloupovitých jabloní vhodného pro robotizaci a automatizaci



Certifikovaná
metodika

2025

Luděk Laňar a kol.



VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OVOCNÁŘSKÝ HOLOVOUSY s.r.o.

**VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OVOCNÁŘSKÝ
HOLOVOUSY s.r.o.**

Sad 4.0 - Metodika agrotechniky sadu sloupovitých jabloní vhodného pro robotizaci a automatizaci

**Luděk Laňar, Klára Scháňková, Lubor Zelený, Jan Náměstek,
Lukáš Nývlt**



CERTIFIKOVANÁ METODIKA

2025

Autorský kolektiv:

Ing. Luděk Laňar, Ph.D.
Ing. Klára Scháňková
Ing. Lubor Zelený
Ing. Jan Náměstek, Ph.D.
Bc. Lukáš Nývlt

VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OVOCNÁŘSKÝ HOLOVOUSY s.r.o.,
Holovousy 129, 508 01 Holovousy

Kontakt na vedoucího autorského kolektivu:

ludek.lanar@vsuo.cz

Autoři fotografií a obrázkových schémat:

Ing. Luděk Laňar, Ph.D.

Odborný oponent:

Ing. Roman Chaloupka

Oponent ze státní správy:

Ing. Petr Boleloucký

Název: Sad 4.0 - Metodika agrotechniky sadu sloupovitých jabloní vhodného pro robotizaci a automatizaci

Dedikace:

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu Národní agentury zemědělského výzkumu QK21010170 „Nová koncepce sadů s nástupem technologií 4.0“ Projekt byl řešen v letech 2021–2025.

© VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OVOCNÁŘSKÝ HOLOVOUSY s.r.o.

ISBN 978-80-88669-05-0 (online; pdf)

<https://doi.org/10.60615/0jpw-gb95>



Obsah

Anotace.....	4
Annotation.....	4
1 Úvod.....	5
2 Cíl metodiky.....	6
3 Vlastní obsah metodiky.....	7
3.1 Výsadba sadu.....	7
3.1.1 Příprava pozemku a půdy před výsadbou	7
3.1.2 Výběr odrůdy.....	7
3.1.3 Výběr podnože pro sloupovité odrůdy jabloní.....	9
3.1.4 Technika výsadby.....	10
3.2 Technické řešení opěrné konstrukce.....	12
3.3 Pěstování a ošetřování	14
3.3.1 Výživa a hnojení.....	14
3.3.2 Zálaha	14
3.3.3 Obdělávání půdy	15
3.3.4 Ochrana rostlin	16
3.3.5 Tvarování a řez stromů.....	16
3.3.5.1 Superštíhlé větveno	17
3.3.5.2 Dvojitá osa (bi-axis)	19
3.3.5.3 Trojitá osa (tri-axis).....	20
3.3.5.4 Víceosý stromek typu Guyot (multi-axis).....	20
3.3.5.5 Vlastní řez a jeho cíle	22
3.3.5.6 Řez po výsadbě.....	22
3.3.5.7 Řez druhý rok po výsadbě.....	23
3.3.5.8 Řez od třetího roku	23
3.3.5.9 Udržovací řez po dosažení konečné výšky	23
3.3.6 Regulace násady.....	23
3.4 Strategie probírky pro možnou robotizaci a automatizaci prací u sloupovitých jabloňových sadů	25
3.4.1 Materiál a metody.....	25
3.4.2 Výsledky a diskuse.....	26
3.4.2.1 Růst.....	26
3.4.2.2 Alternace	27
3.4.2.3 Zatížení plodností a specifický výnos	27
3.4.2.4 Výnos a kvalita.....	29
3.4.3 Závěr.....	30
3.5 Možnosti nasazení mechanizačních prostředků a automatizace.....	31

3.6	Závěr	31
4	Srovnání novosti postupů.....	32
5	Popis uplatnění metodiky.....	33
6	Ekonomické aspekty	33
7	Seznam použité literatury.....	35
8	Seznam publikací, které předcházely metodice	36

Anotace

Metodika se zabývá inovativní agrotechnikou speciální ovocnářské výsadby se zaměřením na pěstování sloupovitých odrůd jabloní určených pro intenzivní produkční sady, jež jsou vhodné pro nasazení automatických a robotických systémů. Poskytuje ucelený popis od předvýsadbové přípravy, přes návrh technického řešení opěrné konstrukce, výběr odrůd, výběr podnoží až po popis provádění jednotlivých klíčových pěstitelských operací. Zmiňuje důležité aspekty ve stěžejních oblastech odlišných od klasických jabloňových sadů. Jsou uvedeny výsledky vlastního výzkumu zaměřeného na regulaci plodnosti sloupovitých odrůd s dopadem na výši a kvalitu sklizně. Závěrem je celý koncept zhodnocen z hlediska provozního i ekonomického.

Annotation

The methodology deals with innovative agrotechnology for a specialized fruit-growing plantation focused on cultivating columnar apple varieties intended for intensive production orchards suitable for the implementation of automatic and robotic systems. It provides a comprehensive description ranging from pre-planting preparation, the design of the supporting structure, the selection of varieties and rootstocks, to the description of key cultivation operations. It highlights important aspects in areas that differ from conventional apple orchards. The results of original research aimed at crop load regulation of columnar varieties, with an impact on yield and fruit quality, are presented. Finally, the entire concept is evaluated from both operational and economic perspective

1 Úvod

Tuzemské i světové produkční ovocnářství se v současnosti potýká s několika významnými problémy. Mimo vlivy proměnlivého klimatu je to nedostatek pracovníků a vysoký tlak na odbytovou farmářskou cenu působený globalizovaným trhem, vysokou konkurencí a tlakem ze strany maloobchodních řetězců. V reakci na tento stav a velmi rychle postupujícímu technologickému vývoji je v současnosti mnoho úsilí věnováno jednak designování výsadeb s vyšším produkčním potenciálem, a zároveň výsadeb, které budou vhodné pro zavádění robotických a automatizačních systémů. Při designování výsadeb jde zejména o zajištění snadného přístupu a vytváření jednoduchých, strukturovaných, přehledných porostů umožňujících efektivní nasazení senzorických systémů, potažmo nasazení robotických systémů sklizně, řezu, probírky apod. To vše při zachování nebo zvýšení produktivity na jednotku obhospodařované plochy. Z těchto dvou důvodů probíhá v oblasti řezu a tvarování odklon od prostorově výraznějších trojrozměrných, tzv. 3D korun, a vývoj směřuje zejména k používání plochých, tzv. 2D porostů a výsadeb. Dochází k zužování šíře meziřadí a často k vytváření stromů s více osami. V oblasti technologického rozvoje dochází jednak k vývoji a lepší dostupnosti senzorové techniky, a zároveň probíhá velmi dynamický vývoj ve schopnostech analyzovat obraz a tyto výstupy využít jak pro vytváření analýzy porostu, tak pro rozhodování robotických systémů. Vlastní robotizace některých agrotechnických operací je cílem několika pracovišť a programů, které v současnosti ve světě probíhají. Zřejmě nejvíce úsilí je věnováno robotické sklizni. Ve všech vyspělých ovocnářských oblastech světa probíhá určitý stupeň vývoje těchto systémů.

Robotická sklizeň jablek je velmi problematickou záležitostí z několika důvodů. Prvním, a prozatím nejproblematičtějším, je šetrný způsob oddělení plodu od stromu, přesněji stopky od plodonoše tak, aby nedocházelo k vytrhávání stopek nebo k olamování a poškozování plodonosného dřeva. Druhým úskalím je omezení opadu plodů, pokud jsou dva a více na jednom plodonoši a dále dostupnost plodů rostoucích v zákrytu větví, drátů, za kmenem apod. Problematický je nicméně i výběr optimální zralosti plodů a šetrné uchycení plodů. Mimo vývoj robotické sklizně probíhá ve světě na několika pracovištích také vývoj robotického řezu, automatického řízeného opylování a robotické probírky květenství, květů nebo plodů.

Úsilí v rámci tuzemských spolupracujících pracovišť Výzkumného a šlechtitelského ústavu ovocnářského Holovousy, České zemědělské univerzity v Praze a Českého vysokého učení technického v Praze bylo v oblasti automatizace a robotizace zaměřeno dvěma hlavními směry. Prvním je design výsadby vhodný pro robotizaci a automatizaci, který je postavený na myšlence využití odrůd jabloní s geneticky podmíněným sloupovitým růstem. Tyto odrůdy mají díky svému růstovému charakteru předpoklady vytvářet jednoduché, velmi ploché porosty s potenciálně velmi dobrou dostupností pro různé automatizační mechanismy a obrazovou analýzu. Druhým směrem je vývoj sklizňové hlavy a originálního způsobu sklizně právě sloupovitých odrůd jabloní.

Předložená metodika je výstupem výzkumu a vývoje v oblasti designu výsadby vhodné pro automatizaci a robotizaci a je podkladem pro potenciální zájemce o takovéto systémy a pěstování sloupovitých odrůd jabloní. Metodika může sloužit jak pro vybudování sadu s cílem vyššího nasazení automatických a robotických systémů, tak i pro budování velmi výnosných výsadeb, které mohou být obhospodařovány současnými, běžně používanými mechanizačními prostředky. Předložený design výsadby není jediným možným řešením, ale shrnuje základní důležité aspekty a úskalí takto cílených výsadeb. Je základním kamenem, jež se dá při dodržení klíčových podmínek produktivity dále modifikovat pro různá použití a v závislosti na vývoji a dostupnosti mechanizačních prostředků upravovat. Metodika vychází ze zkušeností ze „Sadu 4.0“ vybudovaném ve VŠÚO Holovousy a měla by sloužit jako podklad pro praktické rozhodování ovocnářů

2 Cíl metodiky

Cílem předkládané metodiky je poskytnout ucelený popis zakládání a pěstování výsadeb sloupovitých odrůd jablek v systému přizpůsobeném nastupující automatizaci a robotizaci ovocnářství.

Hlavním záměrem při návrhu výsadby bylo vytvořit takový systém uspořádání a vedení stromů, který umožní snadnou integraci nově vyvíjených automatizačních a robotických strojů a technologií. Současně byl kladen důraz na dosažení vysoké a kvalitní produkce konzumního ovoce z jednotky plochy, čímž je naplněn základní princip ekonomicky efektivního a udržitelného pěstování – tzv. udržitelné intenzifikace. Dalším cílem návrhu bylo zajistit, aby do doby plného rozvoje a implementace robotických technologií bylo možné provádět běžné pěstitelské operace efektivně pomocí standardní mechanizace, bez nutnosti dalších investic do speciálních či úzkorozchodných strojů. Obecným cílem metodiky je tedy vytvořit moderní, konkurenceschopný a udržitelný systém pěstování, který je připraven na nástup automatizačních technologií, avšak zůstává plně funkční i při jejich absenci. Zároveň jsou identifikována hlavní rizika a kritické body systému.

Metodika si neklade za cíl detailně popisovat všechny postupy shodné s běžným pěstováním standardních odrůd jablek, ale soustředí se na klíčové odlišnosti, které jsou pro systém sloupovitých odrůd zásadní. Součástí metodiky je rovněž prezentace výsledků pokusu, na jejichž základě lze stanovit základní parametry zatížení výsadeb, potenciální výnosy a z nich odvozené ekonomické ukazatele. Nezanedbatelným cílem metodiky je rozšíření znalostí nejen pěstitelů, ale i studentů a pedagogů o možnostech a rizicích spojených s pěstováním sloupovitých odrůd v podmínkách intenzivní ovocnářské produkce.

3 Vlastní obsah metodiky

3.1 Výsadba sadu

3.1.1 Příprava pozemku a půdy před výsadbou

Pro přípravu pozemku a půdy platí stejná pravidla jako pro zakládání standardních intenzivních výsadeb jabloní. Větší pozornost však musí být věnována vyrovnání pozemku a maximálnímu uhlazení nerovností. Veškeré mechanizační prostředky, o jejichž nasazení lze v bližší nebo vzdálenější budoucnosti uvažovat budou lépe a efektivněji pracovat na rovných nebo jen mírně nakloněných pozemcích. Nerovnosti by měly být pozvolné a pokud možno jen v podélné ose meziřadí sadu. Nerovnosti na příčné ose meziřadí je nutné co nejvíce omezit. Hlavním důvodem je cílené použití úzkých meziřadí (jen 2,5 m). Takto úzká meziřadí neposkytují mnoho rezerv v případě příčného skluzu traktoru a dalších prostředků, a rovněž neumožňují příliš velký boční výkyv například vyšších sklízecích a pracovních plošin. Požadavek na co nejrovnější pozemek může být v rozporu se dvěma důležitými aspekty efektivní ovocnářské výroby. Prvním je požadavek situovat řady sadů s úzkými meziřadími a vysokým vedením ve směru sever-jih. Jenom tato dispozice zajistí vyrovnané oslunění korun a zároveň zajišťuje větší zachycení denního záření, což vede k vyššímu výnosovému potenciálu. Druhým aspektem je rajonizace ovocnářské výroby. Pro podmínky střední Evropy obecně platí, že sady by měly být situovány spíše na svažitých pozemcích mimo mrazová údolí a roviny. Takové umístění zajistí odtékání chladného přízemního vzduchu při pozdních jarních mrazech mimo výsadbu a významně sníží množství a sílu jejich dopadu, potažmo velikost ekonomických škod. Zvlněný, nerovný nebo více směry nakloněný pozemek bude limitujícím faktorem pro použití níže popsaného sadu.

Pro přípravu pozemku obecně platí následující. Před založením sadu je nezbytná pečlivá příprava půdy zahrnující odstranění vytrvalých plevelů a zpracování ornice do hloubky 0,3–0,5 m. Na středně těžkých a těžkých půdách se doporučuje hlubší kypření či podrývání k narušení ztuhlých vrstev. Orba slouží k zapravení organických hnojiv, melioračnímu vápnění a zásobnímu hnojení. Potřeba vápnění se stanovuje podle výměnného pH a půdního druhu; pro jabloně je optimální pH 6,0–6,5. Vápnění by mělo předcházet aplikaci organických hnojiv, jejichž doporučené dávky činí 60–80 t/ha. Zásobní hnojení se provádí dle rozboru půdy, zejména draslíkem, fosforem, hořčíkem a vápníkem. Předplodiny, zejména jeteloviny, luskoviny a luskovino-obilné směsky, zlepšují provzdušnění a obohacují půdu o biologicky fixovaný dusík. U opakovaných výsadeb je možné využít plodiny tlumící únavu půdy, např. aksamitník či čirok, které mají schopnost potlačovat patogenní hádátka a ovlivňovat patogenní houby. Tyto plodiny se následně zaorají spolu s minerálními hnojivy. Pro jabloňové výsadby jsou vhodné hlubší, dobře provzdušněné půdy střední zrnitosti (písčito-hlinité až jílovito-hlinité). Nevhodné jsou těžké, jílovité a studené půdy, nebo stanoviště s vysokou hladinou podzemní vody.

3.1.2 Výběr odrůdy

V současnosti ve světě probíhá několik programů šlechtění sloupovitých jabloní, ve kterém tuzemské šlechtění zaujímá velmi významnou pozici. V České republice v současnosti cíleně probíhá na dvou pracovištích, a to ve VŠÚO Holovousy a v ÚEB AVČR Strážovce. Každé pracoviště v minulých letech přineslo několik odrůd, které se již svým charakterem a kvalitou přibližují současným tržním odrůdám, avšak nebylo ještě dosaženo takové odrůdy, která by splňovala nejnáročnější požadavky globalizovaného trhu.

Ideotyp sloupovité odrůdy jabloně by měl mít tyto vlastnosti:

Plodové znaky:

- být vizuálně atraktivní, u červených odrůd s vysokým krytím bez výskytu rzivosti na slupce,
- mít kvalitní, chuťově zajímavou, chruplavou a šťavnatou dužninu,
- být tvarově vyrovnaný, s vyrovnaným poměrem výšky k šířce plodu, tedy ne příliš protáhlé nebo naopak ploché,
- být pevné ale ne tvrdé a tuhé, odolné otlakům a dobře a dlouhodobě skladovatelné,
- nemít tendenci k výskytu fyziologických poruch na stromě nebo ve skladu.

Růstové vlastnosti pro účely velkovýrobního pěstování:

- mít dostatečný prodlužovací růst, aby bylo dosaženo v co nejkratším čase finální výšky porostu,
- nemít příliš rigidní nepružné dřevo ztěžující případné lehké tvarování,
- neměl by mít vysokou tendenci ke střídavé plodnosti
- neměly by být citlivé k významným hospodářským chorobám jako je strupovitost, padlí, bakteriální spála růžovitých apod., ale naopak by měly ideálně nést znaky odolnosti k těmto chorobám,
- neměly by být citlivé ke korovým nekrózám, fytoftorám apod.

Vlastnosti pro účely mechanizované nebo robotizované sklizně:

- plody by měly mít delší nebo dlouhou stopku a viset volněji na plodonoši,
- stopka by měla být v době sklizňové zralosti dobře oddělitelná od plodonoše a neměla by poškozovat jiné plody při skladování ve velkobednách (tvrdá, ostrá).
- ideálně by měla odrůda mít samoregulační schopnost vytvářet jednotlivé plody v plodenstvích, nebo jen málo početná plodenství a plody by k sobě neměly těsně přiléhat.

Ideotyp udává cíle zejména pro další šlechtění a je třeba zmínit, že ani v současnosti pěstované tržní odrůdy jabloní standardního rozložitého větvení nenaplňují zcela optimální ideotyp. O tom, zda bude odrůda tržně a pěstitelsky úspěšná rozhoduje více faktorů. Mezi těmi je samozřejmě i zvládnutí pěstitelské technologie tak, aby byla odrůda rentabilní pro pěstitele a dostatečná kvalita plodu pro zákazníka.

V designovaném sadu 4.0 bylo pracováno s odrůdami 'Redspring', 'Goldlane', 'Rumba' a novošlechtěním HL648 Karli®. Všechny mají vysokou tendenci ke střídavé plodnosti, lze ji však řešit regulačními zásahy, viz kapitoly 3.3.6 a 3.4. Odrůda 'Redspring' má poměrně dobrou konzumní a skladovací kvalitu plodů. Její růstové vlastnosti jsou pro uvažovaný systém s cílovou výškou porostu 3,5 m dostatečné. Předpokládané dosažení konečné výšky, při použití dvouletých výpěstků na podnoži M26, je v šestém roce po výsadbě. Jedná se o odrůdu, která má krátké stopky a dosti přisedlé plody, což nezakládá snadné podmínky pro mechanizovanou sklizeň. Její zásadní nevýhodou pro intenzivní pěstování je poměrně velký výskyt hořké pihovitosti na mladých nebo méně nasazených stromech, ale občasně i na standardně plodících porostech.

Odrůdy s červeným plodem 'Rumba' a se zelenožlutým plodem 'Goldlane' mají poměrně kvalitní plody, které jsou však s krátkou stopkou a silně přisedlé, což je rovněž nefavorizuje pro mechanizovanou sklizeň. Zásadní nevýhodou obou odrůd, která je diskvalifikuje k použití pro designovaný sad, je jejich pomalý prodlužující růst a neschopnost vytvořit v krátkém období několika let dostatečně vysoký porost (Obr. 1). Nepředpokládáme, že by se volbou silněji rostoucí podnože dala tato nevýhoda jednoduše vyřešit.

Poslední sloupovitou odrůdou, se kterou bylo v pokusném sadu pracováno je novošlechtění VŠÚO Holovousy s označením HL648 Karli®. Jedná se o zimní odrůdu, jež je vlastnostmi plodů velmi podobná standardní odrůdě ‘Braeburn’, která je jedním z rodičů. Plody mají dobré chuťové vlastnosti, jsou velmi pevné a velmi dlouze skladovatelné. Nevýhodou je běžně menší rozsah krycí červené barvy a rovněž ne příliš dlouhá stopka. Z důležitých pěstitelských vlastností má odrůda velmi dobrý prodlužující růst, kdy dvouleté stromky ze školky na podnoži M26 běžně dosahují výšky okolo 180 cm, a proto předpokládáme dosažení konečné výšky koruny 3,5 m ve třetím roce po výsadbě. Tento dobrý prodlužující růst je příznivý i pro možné využití víceosých pěstitelských tvarů, viz kapitola 3.3.5.

Žádnou ze zkoušených odrůd pro některou z nevýhod nebo pro nedostatek pěstitelských zkušeností prozatím nelze jednoznačně doporučit pro velkovýrobní intenzivní pěstování, potažmo robotický sad. Určitým příslibem je novošlechtění HL648 Karli® s dobrými pěstitelskými vlastnostmi, avšak jeho největší slabinou se zatím jeví nižší pokrytí jablek krycí červenou barvou plodu a nižší vizuální atraktivita pro spotřebitele a obchodníky.

Výběr a dostupnost odrůdy tak zůstává jedním z hlavních současných úskalí při výsadbách sloupovitých jabloní s cílem produkce konzumního ovoce. Zejména ve větším měřítku by mohl být odbyt zmíněných odrůd problematický. V případě záměru vysadit designovaný sad sloupovitých odrůd bude při jejich výběru vhodné obrátit se přímo na šlechtitelská pracoviště a rovněž na odrůdovou zkušebnu ÚKZÚZ, které mohou poskytnout aktuální informace k případným nově uvolňovaným nebo již pěstovaným odrůdám.



Obrázek 1. Stromy superštíhlých vřeten v pátém roce po výsadbě. Zprava: ‘Redspring’, ‘Goldlane’ a ‘Rumba’.

3.1.3 Výběr podnože pro sloupovité odrůdy jabloní

Výběr podnože je zásadním faktorem ovlivňujícím pěstování sloupovitých jabloní. Podnož určuje intenzitu růstu, produktivitu, částečně kvalitu plodů i adaptabilitu stromu na půdní podmínky a některé patogeny. Pro intenzivní výsadby sloupovitých odrůd se jednoznačně

upřednostňují vegetativně množené podnože, které zajišťují uniformní vlastnosti. Z hlediska síly růstu jsou vhodné slabě až středně silně rostoucí podnože, které umožňují uplatnění intenzivních pěstitelských tvarů a dosažení požadované výšky. Pro nedostatečný růst nejsou pro významnou část sloupovitých odrůd vhodné velmi slabě rostoucí a zakrsle rostoucí podnože. I na středně silně rostoucích podnožích vyžadují stromy pravidelný přísun vody a živin a také trvalou oporu, jež zajišťuje stabilitu koruny s vysokým těžištěm. S opěrnou konstrukcí se pro automatizované sady počítá vždy. Silněji rostoucí podnože zároveň přináší potenciál pro použití víceosých tvarů.

Nejrozšířenější velmi slabě rostoucí podnoží je M9 a její klony, která se dlouhodobě osvědčuje u klasických odrůd (např. ‘Golden Delicious’, ‘Gala’, ‘Jonagold’). V případě sloupovitých odrůd však M9 mnohdy neposkytuje dostatečnou růstovou intenzitu. Stromy mnoha sloupovitých odrůd na této podnoži dosahují pouze výšky okolo 2 m, což může být vhodné pro budování tzv. pochozích sadů. Zásadně je ale omezen výsledný hektarový výnos, případně tato podnož vyžaduje velmi vysokou hustotu výsadby, která negativně ovlivňuje ekonomiku pěstování. Otázkou také zůstává vliv na dlouhodobou životnost výsadeb. Je nutno podotknout, že při pěstování sloupovitých odrůd jsou možné interakce, kdy intenzita růstu štěpované odrůdy má větší vliv na konečnou velikost než intenzita růstu podnože. Pro některé odrůdy s dobrým dlouhivým růstem je tak možné pro předchozím víceletém odzkoušení využívat i tuto podnož.

Za růstově vhodné se ale obecně pro sloupovité jabloně považují slabě až středně silně rostoucí podnože, zejména M26, M4, M7, P14, MM106. Tyto podnože umožňují u středně rostoucích sloupovitých odrůd dosažení výšky 3,2–3,5 m během 5–7 let od výsadby, přičemž při použití víceletého výpěstku a odrůd s výrazným prodlužovacím růstem (např. HL648 Karli® vyšlechtěnou ve VŠÚO Holovousy) lze cílové výšky dosáhnout již od třetího roku po výsadbě. Tyto podnože jsou vhodné pro standardní půdy, kde se nevyskytují výživové nebo jiné extrémy a počítá se s jejich zavlažováním a standardní agrotechnikou.

Pro výběr podnoží na pozemky, na kterých byly v předchozím období pěstovány jabloně, a předpokládá se zde výskyt půdní únavy, nebo jsou zatíženy výskytem fytoftor, případně tlakem spály růžokvětých a vlnatky krvavé, je vhodné uvažovat o podnožích šlechtěných s cílem odolnosti k těmto škodlivým činitelům. Může se jednat o podnože řady Cornell Geneva vyšlechtěné v USA, jako G41, G935, G969, G202, G210 (Fazio *et al.*, 2015), nebo podnože šlechtěné ve Velké Británii ve stanici East Mallin jako MM116 a M200. Žádná z těchto podnoží nebyla námi v kombinaci se sloupovitými odrůdami doposud zkoušena. Nelze tedy žádnou z nich přímo doporučit. Omezené zkušenosti jsou s podnoží G41, která v některých letech vykazuje pozitivní vliv na potlačení výskytu vlnatky krvavé. Pro tuto podnož nejsou známy afinitní vztahy se sloupovitými odrůdami, ale u některých standardních odrůd vykazuje slabší spojení v místě srůstu, občasné defekty a určité procento neujatých stromků po výsadbě. Růstově odpovídá podle půdních podmínek zhruba úrovni růstu mezi bujnějšími klony M9 až M26.

V designovaném sadu byly testovány podnože M26 a M7, kdy obě vykazují vhodné růstové vlastnosti s odrůdami ‘Redspring’ a HL648 Karli® a jejich využití tedy lze doporučit.

3.1.4 Technika výsadby

Před samotnou výsadbou je nutné provést rozměření pozemku a vytyčení řad i opěrné konstrukce. Opěrná konstrukce by jednoznačně měla být budována ještě před výsadbou, aby nedocházelo při výstavbě k poškození vysázených stromků a bylo možné stromky po výsadbě ihned fixovat k opěrné konstrukci. Z důvodu úzkých meziřadí a vzhledem k předpokládanému budoucímu zavádění automatizace je nezbytné velmi přesné vyměření i vybudování opěrné konstrukce. Je třeba využít dostupné GPS RTK navigace umožňující

vytyčení nebo jízdu a práci strojů s přesností 2,5 cm. Pokud vlastní podnik nedisponuje touto technologií, je vhodné využít služeb externích firem, které vytvoří plán a provedou vytyčení nebo vybudování s danou přesností. Orientace řad se volí podle reliéfu: na rovinách a mírných svazích je jednoznačně preferována orientace sever – jih, která zajišťuje rovnoměrné oslunění, dobrou tvorbu plodného obrostu a dobré vybarvení plodů. Na svazích se řady zakládají zhruba po vrstevnicích, především z důvodu protierozní ochrany, mělo by však být vždy zajištěno, aby příčný sklon meziřadí nebyl příliš velký (viz kap. 3.1.1). Na výrazně nakloněných pozemcích je nutné volit řady po spádnici nebo od budování tohoto typu sadu na daném pozemku upustit.

U sloupovitých odrůd se počítá s výsadbou v řadách ve vzdálenosti běžně 0,5 až 1 m. Využití sázecích strojů do vybudované konstrukce s nutností přesné výsadby není možné. Při takto husté výsadbě je do již vybudovaných konstrukcí nejvhodnějším způsobem ruční výsadba do vyfrézovaných rýh. Pro vyfrézování rýhy se používá speciální výkyvná fréza, která vytváří cca 20 cm hlubokou výsadbovou půlkruhovou rýhu a po obou stranách hrůbky vyfrézované půdy. I při frézování je vhodné pro preciznost výsadby a ulehčení práce traktoristy využít GPS RTK navigaci, která zajistí rovné řady bez zvlnění. Po vyfrézování je natažen drát ve výšce 60 cm, na který je možné barvou naznačit místa výsadby stromku. Běžně např. podle připraveného provazu se značkami, který se natáhne mezi sloupy, na drát se následně označí body výsadby a postoupí se dál. Po vyznačení je možné přistoupit k vlastní výsadbě.

Kořenové systémy jabloní je vhodné 24 hodin před výsadbou namočit do vody, aby se po transportu a případném skladování obnovila vodní bilance pletiv. Bezprostředně před sázením lze kořeny namočit do roztoků přípravků zlepšujících kontakt s půdou a dostupnost vody (např. Agrisorb, Hydrogel). Stromky se sází do stejné hloubky, v jaké rostly ve školce, přičemž místo srůstu musí zůstat přibližně 10–15 cm nad povrchem, aby se předešlo zpravokořenění štěpované odrůdy a byl zachován vliv podnože. V případě vyfrézování hlubší rýhy je nutné počítat s následným sedáním půdy. Výsadba a přihrnování kořenů je díky jemně nafrézované půdě poměrně nenáročná a sypká půda zajišťuje dobrý kontakt půdy s kořeny. Frézování není vhodné provádět dlouho dopředu před výsadbou, aby sypkou půdu neslily případné srážky. V deštivém období je vhodné frézovat vždy jen rýhy, které se ten den zasází. Vyfrézovaná půda se v případě výskytu srážek může stát velmi lepivou a výsadba obtížnou, pomalou a nákladnou. Běžná je výsadba ve skupině tří osob, kdy jedna správně umísťuje a drží stromek a další dvě osoby lopatami z každé strany přihrnují půdu. Při výsadbě se kořeny rozprostírají rovnoměrně do všech směrů, nesmí být ohnuté nahoru nebo vyčnívat z jámy. Po zasypání je třeba půdu ušlápnout a následně důkladně zavlažit. Poté se stromky co nejdříve připevní k nataženému drátu nebo k bambusové tyči, jež je do konstrukce osazena. Přesná a rovná výsadba stromků je nutná a bude následně umožňovat snazší nasazení precizních a případně robotických systémů. V prvním roce po výsadbě je pro zdárné založení pravidelná a dostatečná závlaha naprosto nezbytná. Kapkovací hadici je možné umístit na drát v 60 cm výšce ihned po výsadbě.

3.2 Technické řešení opěrné konstrukce

Technické řešení a detailní návrh konstrukce byly navrženy s několika hlavními cíli:

- potenciální možnost nasazení automatických a robotických strojů,
- umožnění pěstování dostatečně výnosného porostu s potenciálními výnosy 100 t/ha,
- maximální využitelnost strojů běžně používaných v současných intenzivních výsadbách sadů se systémem štíhlého vřetene,
- použití standardních běžně dostupných materiálů pro stavbu konstrukce,
- instalace protikroupové sítě.

Na základě těchto požadavků byla ve VŠÚO Holovousy v roce 2021 navržena a vybudována opěrná konstrukce, která byla následně postupně osazena sloupovitými odrůdami v různých sponech a pěstitelských tvarech. Základním tvarem bylo superštíhlé vřeteno s výsadbovou vzdáleností v řadě 0,5 m a 0,67 m. Šířka meziřadí 2,5 m byla volena tak, aby umožňovala vysoké zachycení slunečního záření potažmo velmi vysoké hektarové výnosy, ale také dostatečnou průjezdnost pro většinu standardních strojů. Projektovaná finální výška porostu 3,5 m znamená, že pro střední Evropu standardně doporučovaný poměr výšky porostu k šířce meziřadí 1:1 není dodržen. Tento poměr je však uváděn pro standardní objemnější a hustší porosty štíhlých vřeten standardních odrůd tak, aby byla zachována dostatečná distribuce světla i do nižších částí porostu. V případě designovaného sadu je však i při vyšší výšce porostu k šířce meziřadí předpokládána dostatečně dobrá distribuce světla i do nižších částí porostu díky poměrně velkému volnému prostoru mezi jednotlivými korunami nebo osami. Na obrázcích 2 a 3 jsou patrné hlavní prvky designované konstrukce a její základní parametry jsou následující:

- šířka meziřadí 2,5 m,
- vzdálenost sloupů v řadě 10 m,
- výška sloupů 5 m, z toho 0,8 m je zapuštěno v zemi,
- sloupy dřevěné o průměru 12–14 cm pro všechny obvodové pozice a betonové o rozměru 8×7 cm pro vnitřní pozice,
- podélné i příčné kotvení na jednu kotvu o délce 1,5 m, šířka talíře 30 cm,
- vrchní podélný pozinkovaný drát o síle 3,8 mm,
- vrchní příčné ocelové lano o síle 5 mm,
- podélné pozinkované nosné dráty o průměru 2,2 mm ve výšce 0,6 m a 3,5 m nad zemí,
- počet řad 10 o délce 130 m.

Do konstrukce je dále doplněna kapkovací závlaha zavěšená na spodním nosném drátu v 60 cm se vzdáleností kapkovacích otvorů 0,5 m. Pro vyvazování vzpřímených os slouží bambusové tyče o délce 305 cm a průměru 22–24 mm, které jsou připevněny na nosné dráty ve výšce 0,6 m a 3,5 m. Mezi těmito dvěma dráty již nejsou nataženy žádné další dráty za účelem ponechání volného prostoru okolo každé osy, což umožňuje nasazení vyvíjené automatické sklízecí hlavy. Přítomnost drátů by nasazení uvažovaného systému znemožňovalo. Na konstrukci je připevněna běžná protikroupová síť. Opěrná konstrukce není osazena systémem protimrazové závlahy, ale umožňuje její případné následné doplnění. Je nutné podotknout, že síla, velikosti a materiál všech prvků konstrukce bude vždy závislý na velikosti budovaného bloku a dalších podmínkách zájmové lokality a je nezbytné vždy konkrétní situaci a detaily konzultovat se specializovanými firmami, které se budováním opěrných konstrukcí zabývají.



Obrázek 2. Čelní pohled na vybudovanou konstrukci.



Obrázek 3. Boční pohled na prvky opěrné konstrukce.

3.3 Pěstování a ošetřování

3.3.1 Výživa a hnojení

Sloupovité jabloně, stejně jako klasické odrůdy a porosty jabloní, představují trvalé kultury, jejichž stabilní a kvalitní produkce je podmíněna pravidelným a vyváženým přísunem živin. Ve výživě designovaného sadu sloupovitých odrůd jsou oproti standardním odrůdám dva zásadní rozdíly. První je v předpokládaných výnosech. U standardních výnosných porostů štíhlých věten se u běžných odrůd v našich podmínkách počítá s výnosy 60–70 t/ha. V případě designovaného sadu se počítá s výnosy mezi 90–100 t/ha. Druhým je pak v závislosti na pěstované odrůdě důraz na vhodnou výživu omezující výskyt hořké pihovitosti na plodech.

Obecně pro výživu platí stejná pravidla jako v běžných jabloňových sadech. Pro efektivní hnojení je nezbytné sledovat nejen celkový příjem živin, ale i jejich vzájemné poměry. K tomu může velmi dobře posloužit využití metody DRIS (Mészáros *et al.*, 2018). Potřeba hnojení se stanovuje na základě agrochemických vlastností půdy, obsahu minerálních prvků v listech a očekávaného výnosu. Analýza půdy se provádí zpravidla v intervalu 3–5 let a zahrnuje stanovení výměnného pH, obsahu přístupných forem P, K, Ca a Mg, nasycení kationtové výměnné kapacity (KVK) a obsahu organické hmoty. Listové analýzy, prováděné každoročně v červenci, poskytují informace o zastoupení hlavních makroelementů (N, P, K, Ca, Mg) i mikroelementů (Fe, Mn, Zn, B). Výpočet potřebných dávek živin se opírá o tabulkové normativy. Doporučená dávka dusíku se v závislosti na výnosu pohybuje v rozmezí 70–120 kg N/ha. Vyšší dávky se uplatňují ve výsadbách v plné plodnosti a při očekávaném vysokém výnosu, zatímco spodní hranice dávkování je vhodná pro mladé porosty nebo při předpokládané nízké produkci.

Po výsadbě se hnojiva aplikují třemi způsoby. Povrchová aplikace pevných hnojiv se používá k nárazovému doplnění vyšších dávek živin. U dusíku se aplikuje přibližně 40–60 % roční dávky při rašení, zbytek po probírce/propadu plodů, kdy lze vidět skutečnou násadu. Vápenatá hnojiva se aplikují podle potřeby jednou za 4–6 let, přičemž dávka se odvozuje od půdního druhu a hodnoty pH. Pro fosfor je tento způsob aplikace považován za málo efektivní vzhledem k jeho nízké pohyblivosti v půdě, proto se doporučuje jeho zásobní hnojení před výsadbou, nebo jiné formy aplikací.

Fertigace, tedy aplikace rozpustných hnojiv prostřednictvím závlahy, umožňuje cílené a rychlé dodání živin do kořenové zóny a přesnější regulaci dávkování. Využívá se zejména po odkvětu až do ukončení aktivního růstu (cca 8 týdnů). V jarním období je vhodné vyšší zastoupení dusíku, zatímco později se dávky N snižují a zvyšuje se podíl draslíku. Fertigace může sloužit k nahrazení aplikace pevných hnojiv, avšak plně rozpustná hnojiva bývají dražší. Jejich využitelnost rovněž souvisí s aktuálními vlhkostními podmínkami na pozemku.

Listová aplikace živin je efektivní zejména při doplňování mikroelementů, což je významné v sušších či zamokřených oblastech nebo na půdách s vysokým obsahem uhličitánů. Používají se převážně přípravky na bázi chelátů (např. Ferrosol, Fytovit, Zintrac 700, Mantrac Pro, Tenso Fe, Bortrac, Wuxal aj.). V omezené míře se přes list doplňují i makroelementy, přičemž hnojiva mohou být jednosložková či vícesložková a mohou se kombinovat s antistresovými přípravky (např. Atonik, Aminocat). Doporučené koncentrace aplikačních roztoků se obvykle pohybují v rozmezí 0,3–1,0 %.

3.3.2 Závlaha

V posledním desetiletí, kdy se prohlubuje srážkový deficit, roste význam doplňkové závlahy v ovocných sadech. Závlaha a její používání se u designovaného sadu sloupovitých jabloní nijak neliší od závlahy standardních sadů. Počítá se vždy s použitím kapkové závlahy. Důležitým aspektem, který je třeba mít na paměti je však hustší výsadba stromů. Při budování

kapkové závlahy je tak nutné uvažovat hustší rozmístění kapkovacích otvorů, které by měly být vzdáleny maximálně 50 cm od sebe. Podle počtu kapkovacích otvorů na ha a jejich hodinového průtoku je pak nutné dopočítávat maximální velikost zavlažované sekce v závislosti na výkonu čerpadla a dalších součástí systému.

Základní vláhová potřeba se určuje pomocí bilanční rovnice, která zohledňuje půdně-klimatické podmínky a specifické nároky pěstované plodiny. U jabloní činí průměrná potřeba vody během vegetace 500–600 mm. Závlaha pak doplňuje rozdíl mezi touto potřebou a skutečným množstvím srážek. Její využití podporuje vegetativní i generativní růst, a tím přispívá k vyšší pravidelnosti, kvalitě a stabilitě sklizní.

Nejvyšší nároky na vodu mají jabloně v období kvetení, raného vývoje plodů a jejich následného intenzivního růstu. Aktuální potřebu závlahy lze určit přímými metodami, například měřením půdní vlhkosti či sledováním fyziologické odezvy stromů. Nepřímo se využívá bilanční výpočet na základě celkové evapotranspirace (výparu vody z povrchu půdy a rostlin) a aktuálního přísunu srážek. Dávka závlahové vody se dále stanovuje podle půdních vlastností a hloubky kořenového systému. U sloupovitých odrůd na slabě a středně vzrůstných podnožích je většina kořenů soustředěna do hloubky 30–50 cm.

Lehké písčité půdy, i když dobře propouštějí vodu, mají nízkou vodní kapacitu a rychle vysychají. Vyžadují proto častější závlahu v menších dávkách než těžší hlinité či jílovito-hlinité půdy. Závlaha se obvykle spouští při poklesu vlhkosti pod mezní hodnotu nebo podle vypočteného vláhového deficitu. U automatických systémů probíhá regulace na základě signálů z půdních vlhkostních čidel, která ovládají zapnutí i vypnutí závlahy. Pro detailnější informace o důležitých principech, moderních postupech a efektivním používání závlah ve výsadbách jaderovin je vhodným zdrojem informací metodika Mészároše *et al.* (2023).

3.3.3 Obdělávání půdy

Jabloně jsou sice méně citlivé na zhutnění půdy než peckoviny, avšak každé zhoršení půdních vlastností snižuje růst stromů, velikost plodů i celkový výnos. Péče o půdu proto musí být kontinuální po celou dobu životnosti sadu, aby byla zachována vitalita stromů a předešlo se jejich výpadkům. Klíčové je udržení dobré půdní struktury, dostatku humusu, živin, vody a na svažitých pozemcích navíc i ochrana proti erozi. V designovaném sadu sloupovitých jabloní se vždy uvažuje s použitím zatravněného meziřadí sadů. Takto udržovaná půda má lepší únosnost pro mechanizaci a vyžaduje nižší dávky organických hnojiv. Dále se počítá s úzkými příkmennými pásy bez vegetace.

Pro zatravnění meziřadí ve výsadbě stromů se zde vysévají trvalé travní porosty (výsevek trav 40–60 kg/ha), často s příměsí obilovin jako krycí plodiny, které podporují rychlý vývoj únosného porostu a brání tvorbě slévací půdní vrstvy. Nejvhodnější je brzký jarní výsev. Vhodné jsou zejména slabě rostoucí druhy trav: kostřava červená a ovčí, lipnice luční a smáčkutá, psineček výběžkatý a tenký, jílek vytrvalý apod. Travní porost je nutné pravidelně sežínat, aby neomezoval stromy v přísunu vody. Obiloviny je vhodné v prvním roce posekat včas, aby příliš nezastínily trávy. Po první sezóně přirozeně vymizí. V poslední době se testují také druhově bohaté směsi s hluboko kořenicími a dusík vázajícími druhy, jejichž využití však může zvyšovat konkurenci o vodu a riziko výskytu hlodavců. Do doby jejich širšího otestování v praxi se proto jejich použití nedoporučuje. Při jarních mrazech vegetace v meziřadí omezuje akumulaci tepla v půdě a jeho vyzařování v noci, a proto je v tomto období nutné porost sežínat na co nejkratší výšku.

Příkmenný pás ve výsadbě jabloní se běžně udržuje jako černý úhor. Cílem je zabránit nadměrnému zaplevelení, které by bylo v nejbližší kořenové zóně konkurencí pěstovaným stromům o vodu a živiny. U příkmenného pásu sloupovitých jabloní postačuje šířka asi 0,7 m, která nesmí zasahovat do pojezdových kolejí v meziřadí. Nejspolehlivější a prozatím

nejefektivnější a časově nejméně náročnou metodou údržby úhoru je aplikace povolených herbicidů, obvykle maximálně třikrát ročně, s potřebou střídání účinných látek a formy účinku (účinné látky: glyfosát, klopýralid, pyrflufen-ethyl, propyzamide, pendimethalin atd.). Alternativní metody údržby příkmenného pásu jako sežínání, kultivace nebo mulčování jsou náročnější časově i z hlediska organizačního. Jsou vhodnou alternativou pro ekologickou produkci, ale jejich využití je spojeno s vyššími náklady na pořízení strojů i jejich provoz. Vedle nutnosti pomalého pojezdu lze jmenovat i některé další nevýhody nebo omezení, která sebou přináší. U kultivace může docházet k nežádoucímu přesunu půdy až do meziřadí a pojezdových kolejí, čímž se narušuje důležitá rovnost povrchu nebo dochází ke komplikacím při seči meziřadí. Malá vzdálenost kmínků může omezovat optimální fungování některých typů výkyvných sekcí a použité stroje proto musí být dostatečně úzké pro použití v daném meziřadí na konkrétním nosiči. V neposlední řadě přítomnost kapkové závlahy, zejména její automatický provoz, snižuje účinnost kultivace. Ve standardním režimu integrované produkce nelze alternativní metody pro uvedené nevýhody doporučit.

3.3.4 Ochrana rostlin

V oblasti ochrany proti škodlivým činitelům není v případě sloupovitých odrůd žádný významný rozdíl od ochrany běžných jabloňových sadů. Dají se aplikovat standardní postupy integrované produkce, jež jsou v současnosti nejběžněji aplikovaným režimem ochrany. Z dosavadních zkušeností vyplývá, že bude problematičtější nasazení a účinnost kontaktních insekticidů proti mšicím, a to zejména v pozdějších termínech vegetace, kdy je již významně vyvinutá listová plocha. Důvodem je, že kvůli často velmi hustým internodiím jsou letorosty a větve hustě olistěny a znemožňují rovnoměrné a dostatečné zasažení všech částí listového povrchu. Ochrana tedy bude více závislá zejména v pozdějších termínech vegetace na systémových insekticidech a podobně lze uvažovat i o nasazení fungicidů. Vlastní způsob aplikace látek bude logicky vycházet z užších meziřadí a vyšších porostů. Podle toho bude nutné upravit rosiče tak, aby všechny části koruny byly rovnoměrně a dostatečně pokryty aplikovaným postřikem.

3.3.5 Tvarování a řez stromů

Tvarování je spolu s řezem jedním ze základních agrotechnických zásahů, jež dohromady významně rozhodují o efektivitě a profitabilitě ovocnářské produkce. Hlavním úkolem je vytvarovat a udržovat koruny podle zvoleného pěstitelského tvaru a zajistit stabilní výnosy kvalitního ovoce. Správný řez a tvarování zajišťuje maximální zachycení slunečního záření při zachování dobré distribuce světla do všech částí koruny. Dobré osvětlení pak zajišťuje dostatečnou diferenciaci květních (smíšených) pupenů a rovněž dobré vybarvení červenoplodých odrůd. Z investičního hlediska by životnost výsadeb sloupovitých jabloní měla být kvůli pomalejšímu počátečnímu vývoji a hustší výsadbě ideálně delší než 15 let. Tento cíl by měl být v oblasti tvarování a řezu zohledňován. Úkol řezu a tvarování by se dal definovat i tak, že jeho cílem je vytvoření dostatečného množství (délky) plodného, dobře osvětleného dřeva na jednotku plochy pozemku. Splněním tohoto požadavku pokládáme základy pro vysoký výnosový potenciál sadu. Základní faktory a detailnější popis principů dosahování vysokých hektarových výnosů dobře popisují práce Palmera *et al.* (2002), Robinsona (2022) Tustina *et al.* (2018) nebo Laňara *et al.* (2023).

Pro účely robotizace a automatizace se zásadně uvažuje o tom, aby byl porost jednoduše strukturovaný, a aby všechny jeho části byly, pokud možno, snadno dosažitelné vizuálně i mechanicky. Jednoduchou strukturu si je možné kupříkladu představit tak, že v porostu je každých 0,5 m prostá vertikální osa bez větších bočních větví. Na takoveto ose je pak jednoduché nastavovat a kvantifikovat některé základní zásahy. Je například možné si během

řezu, ať ručního nebo robotického, určit, že na každý běžný metr výšky takové osy je požadováno ponechat pouze 10 rozvětvených víceletých plodných struktur (paroží) a dalších 20 jednoduchých plodonošů. Zbytek je řezem odstraněn. Jiným přístupem může být stanovení počtu ponechaných květních pupenů na jeden běžný metr vertikální osy. Dále v období kvetení a potenciální probírky květenství lze kvantifikovaně určit, že na každý běžný metr výšky osy bude ponecháno pouze např. 30 ks květenství a zbytek odstraněn. Podobný přístup lze aplikovat v období probírek plůdků, kdy je možné opět kvantifikovaně cílit na jejich předem stanovený počet. Takovýto přístup přináší možnost pracovníkům nebo automatickým strojům jasně stanovit cílové počty na jednoduché struktury, a zároveň zjednodušit následnou kontrolu kvality (správnosti) uskutečněných zásahů. V případě sloupovitých odrůd můžeme snadno o sadu uvažovat jako o množství, nebo spíše délce víceletého plodného dřeva na hektar. Takový přístup je žádoucí a ulehčuje rozhodování a kvantifikaci v mnoha oblastech. Tehdy je možné o sadu nepřemýšlet v intencích počtu stromů na ha, ale jednoduše v počtu vertikálních os na ha, které jsou obrostlé jen krátkými plodonosnými strukturami. To pak umožňuje jednoduše dopočítávat mnoho parametrů. Zmíněný přístup lze demonstrovat na následujícím příkladu vycházejícím ze získaných zkušeností.

Sad superštíhlých vřeten vysázený ve sponu $2,5 \times 0,5$ m znamená hustotu 8000 stromů na hektar, což je velmi vysoký počet. Při cílové výšce stromů 3,6 m a délce plodné zóny osy každého stromu 3 m to dělá 24000 m plodné osy (délky plodného víceletého dřeva) na ha. Pro získání stejného množství plodného dřeva na hektar je ale možná výsadba pouze 4000 ks stromů ve sponu $2,5 \times 1$ m a jeho vedení v systému bi-axis, tedy dvojitá osa. Tím se zásadním způsobem sníží náklady na pořízení výsadbového materiálu, ale je zachován výnosový potenciál výsadby na stejné úrovni. Takto lze uvažovat dál a stanovit například, že stromy budou vysazené ve vzdálenosti $2,5 \times 1$ m a vedeny jako tříosý (tri-axis) tvar. To následně znamená, že při množství 4000 ks stromů na ha máme 12000 os na ha, což při délce každé osy 3 m dělá 36000 m plodné zóny. Oproti systému biaxis to znamená výrazný nárůst potenciální produktivity, ale rovněž možnou horší distribuci světla a dosažitelnost každé osy pro některé uvažované automatizační mechanismy. Jedná se stále o realistický design, který ale může mít určité praktické limity.

V závislosti na možném zatížení plodností 1 metru osy pak lze snadno dopočítávat výnosy porostů. Co se týče vzájemné vzdálenosti os v řadě, tak jako praktické použitelné minimum se ukazuje vzdálenost 0,3 m. Ta při udržování jen krátkých bočních struktur okolo 10 cm zajišťuje stále ještě dostatečně vyrovnanou distribuci světla, protože se vytvořená listová plocha nepřekrývá a mezi jednotlivými osami zůstává malý volný prostor. Tato vzdálenost však nebude aplikovatelná v případě nasazení některých vyvíjených robotických systémů, které budou vyžadovat obejmутí celé osy stromu. Pro tento systém se ukazuje být minimem vzdálenost os 0,4 m a optimem vzdálenost os okolo 0,5 m a vyšší. Čím vzdálenější ale osy budou, tím menší bude výnosový potenciál. Budeme-li vycházet z premisy, že zásadní je uvažovat o počtu os na ha, a nikoliv počtu stromků, tak na základě zkušeností a prvních výsledků považujeme za praktické minimum množství 8000 os na ha. To při šířce meziřadí 2,5 m znamená vzdálenost os 0,5 m. Pokud to nasazení konkrétních strojů bude umožňovat, je dobré cílit na vyšší počty až na úrovni 12000 os na ha. Jak vyplývá z výše uvedeného, množství os a potřebu výsadbového materiálu zásadně ovlivníme použitým pěstitelským tvarem.

3.3.5.1 Superštíhlé vřeteno

Superštíhlé vřeteno je základní pěstitelský tvar, jež je uplatněn v designovaném sadu, představuje však pouze jeden z možných tvarů slupcovitých jabloní. Jedná se o strom s jednou centrální průběžnou dominantní osou, na které jsou rovnoměrně rozmístěny boční větve, které nedosahují délky více než 50 cm (Obr. 4). Na větvích, a rovněž na samotné ose, je udržován kratší plodný obrost do 15 cm délky. Množství větví, které se ponechává, záleží na zvolené

výsadbové vzdálenosti stromů. U stromů sázených na vzdálenost méně než 50 cm, není nutné ponechávat jakékoliv delší větve, respektive je možné udržovat jen kratší plodné struktury na hlavní ose. U stromů, které jsou sázeny na větší vzdálenost, je vhodné ponechat určitý počet větví tak, aby bylo vytvořeno dostatečné množství plodného dřeva a struktur pro tvorbu výnosu. Na takových stromech je možné ponechávat cca 2–3 větve na 1 m výšky koruny. V obou případech je nutné, aby mezi jednotlivými stromy zůstal určitý malý volný prostor a nevrůstaly větvemi přímo do sebe. To zajišťuje dobrou distribuci světla. Sloupovité odrůdy vytvářejí díky velmi zkráceným internodiím velmi husté olistění, které může zakrývat značnou část plodů a bránit tak jejich dobrému vybarvování, což bychom měli mít již při řezu na paměti a zachovávat určité mezery mezi většími plodnými strukturami.

Většina sloupovitých odrůd má dále přirozeně velmi silnou tendenci ke střídavé plodnosti. To by mělo být rovněž zohledňováno nejen aplikovanou probírkou plodů, ale již v období tvarování a řezu. U většiny sloupovitých odrůd postačuje, je-li na 1 m průběžné osy nasazeno cca 30 květních pupenů. Pokud je toto číslo výrazně vyšší, je vhodné již v období řezu redukovat počet květních pupenů detailní probírkou (řezem) plodného obrostu tak, abychom se přiblížili zmiňovanému počtu 30 květních pupenů na 1 m osy. Pokud necháváme na stromech delší větve, je možné přistupovat stejně i k jednotlivým větvím. V praxi tedy pak budeme například na větvi o délce 50 cm cílit na počet 15 květních pupenů.

Využití superštíhlého vřetene lze zařadit mezi stěnové 2D výsadby (Obr. 5). Pěstitelský tvar superštíhlého vřetene umožňuje velmi jednoduché tvarování, dobrou distribuci světla a snadnou dosažitelnost plodů při sklizni. Nicméně výsadbová hustota stromů musí být pro dosažení dostatečných hektarových výnosů poměrně vysoká. To je jednou z hlavních nevýhod použití tohoto systému tvarování, kdy se předpokládají počty 4–8 tisíc stromků na hektar, což je velmi investičně náročné. Pro zajištění nižšího počtu stromů na hektar, ale vyššího množství plodných os na hektar, je možné využívat stromy založené na více vertikálních osách, a to typu bi-axis a multi-axis.



Obrázek 4. Superštíhlá vřetena odrůdy ‘Redspring’ ve čtvrtém roce po výsadbě.



Obrázek 5. Superštíhlá větvena v pátém roce po výsadbě tvoří štíhlou 2D stěnu.

3.3.5.2 Dvojitá osa (*bi-axis*)

Přístupem k řezu se jedná o velmi podobný tvar jako superštíhlé větveno, jen se na každém kmínku udržují místo jedné dvě co nejvíce růstově vyrovnané hlavní vertikální osy (Obr. 6a). Při volbě tohoto tvaru je již možné udržovat větší vzdálenost stromků ve výsadbě na 0,77 až 1,0 m. Vzdálenost os je pak 0,38–0,5 m. Na tomto tvaru a jednotlivých osách se běžně neponechávají větve delší než 15–20 cm. Udržuje se tak v podstatě jen kratší plodný obrost, více či méně rozvětvený. Osy jsou směřovány ve smyslu linie řádku tak, aby nezasahovaly do meziřadí. Vytváří tedy opět stěnový, štíhlý 2D porost. Rozvětvení os je dobré dosáhnout ve výšce mezi 0,5 až 0,7 m, aby se dala stále ještě použít chránička kmínku proti okusu/ohryzu, zároveň ale rozvětvení bylo co nejnižší.

Pro zapěstování rozvětvení *bi-axis* jsou dvě možnosti. První možností je na jednoletém výpěstku ve školce provést na začátku druhé vegetace zastřížení vrcholu, které následně povede k silnému větvení v terminální části. Po tom, co naroste několik letorostů délky zhruba 15 cm, vybereme dva nejvíce perspektivní a vyrovnaně rostoucí letorosty, a ostatní vylomíme nebo vystříhneme. Stromek pak sázíme do sadu již se zapěstovaným rozvětvením. Pokud do sadu sázíme jednoleté nebo dvouleté špičáky, musíme zapěstování os provést až v sadu, což představuje druhou možnost. Po výsadbě špičáků provedeme zakrácení jejich vrcholu a očekáváme opět vytváření několika letorostů v terminální části. Podobně jako ve školce vybereme dva nejvyrovnanější, a pokud možno do řady směřující letorosty, a ostatní odstraníme. V dalších letech již vrcholy nijak nezakracujeme, aby pokračoval dlouhivý dominantní růst obou os. Zatížení jednotlivých os květními pupeny je podobné jako u superštíhlého větvena. Po 5 letech srovnávání není pozorováno u odrůdy ‘Redspring’ na podnožích M7 a M26 v systému *bi-axis* její významně pomalejší výškové narůstání oproti superštíhlému větvenu, Rozdělení intenzity růstu do dvou os v daném případě tedy nevede k pomalejšímu dosahování finální výšky porostu, naopak délka plodné osy na jeden strom je vyšší.



Obrázek 6a a 6b. Bi-axis (vlevo) a tri-axis (vpravo) výpěstky odrůdy 'Redspring' na podnoži M7 ve čtvrtém roce po výsadbě.

3.3.5.3 Trojitá osa (*tri-axis*)

Jedná se pojetím o velmi podobný výpěstek jako bi-axis, ovšem cílem je zapěstovat a udržovat jednu osu navíc (Obr. 6b). Způsob jeho dopěstování je shodný, jen se vždy místo dvou os snažíme vybrat tři co nejvíce rovnocenné, a ty směřovat do linie řádku. Při použití tohoto pěstebního typu lze použít vzdálenost v řadě 0,77 m, ale je možné uvažovat i větší vzdálenosti okolo 1–1,2 m. Vzdálenosti stromů jen okolo 0,5 m by vedly k příliš velkému vzájemnému stínění. U tříosých stromů bude možné použít mírně vzrůstnější podnože na úrovni MM106. Vzdálenost os by měla být zhruba 30–40 cm. Na tomto pěstitelském tvaru zpravidla nezapěstováváme žádné větve delší než 15–20 cm a ponecháváme jen kratší struktury, aby byla zachována dobrá distribuce světla mezi jednotlivými osami. Zatížení os odpovídá zatížení uvedenému u superštíhlého vřetene. Po 5 letech srovnávání je pozorováno u odrůdy 'Redspring' na podnožích M7 i M26 v systému tri-axis její jen mírně pomalejší výškové narůstání oproti superštíhlému vřetenu. Rozdělení intenzity růstu do tří os v daném případě tedy vede k pomalejšímu dosahování finální výšky porostu, avšak množství plodné osy na jeden strom je vyšší než v případě superštíhlého vřetene a bi-axis. Předpokládáme dosažení finální výšky o jeden rok později než u superštíhlého vřetene a bi-axis.

3.3.5.4 Víceosý stromek typu Guyot (*multi-axis*)

Tento typ tvarování stromků je již svým pojetím odlišný od předcházejících tvarů. Jedná se o plochý vodorovný kordón, v Evropě nejčastěji nazývaný jako Guyot, kdy kmínek je vysazen zhruba pod úhlem 45° a navazující hlavní osa je více či méně vodorovně vyvázána ke spodnímu vodícímu drátu (Obr. 7 a 8). Z této hlavní osy jsou pak zapěstovávány jednotlivé

vertikální osy. Těch může být tři a více. Osy ale nevyrůstají průběžně ze vzpřímeného kmínku, ale jsou postupně nasazeny v projektované horizontální vzdálenosti. U tohoto tvaru se počítá se vzdáleností os okolo 25–35 cm, a na nich je řezem udržován jen krátký plodný obrost maximálně 10–15 cm dlouhý. Tento typ nebude použitelný pro sloupovité odrůdy s kratším dřevem, ale pouze pro odrůdy, které mají velmi dobrý prodlužovací růst podobně jako novošlechtění HL648 Karli®. To má dva hlavní důvody. Prvním je nutnost výsadby dostatečně dlouhého stromku, který by měl mít minimálně 150 cm. Čím vyšší bude počet cílových os, tím delší by měl výchozí materiál být, aby byla celá délky kmínku a vodorovné hlavní osy vytvořena již v roce výsadby vlastním výpěstkem. Druhým důvodem potřeby silného prodlužovacího růstu je, aby zapěstovávané vertikální osy měly potenciál rychle narůstat a vytvářet dostatečně vysokou plodnou stěnu porostu. Tento tvar přináší výhodu nižšího množství vysazovaných stromků na hektar při zachování dostatečného množství a délky plodných os. Jednou z jeho hlavních nevýhod bude pomalejší vytváření finální velikosti porostu a časově i agrotechnicky odborně náročnější zvládnutí tvarovacích a řezových prací v prvních letech po výsadbě.

Jelikož je tento pěstitelský tvar na sloupovitých odrůdách doposud nedostatečně otestován, a nejsou posbírány dostatečné zkušenosti s jeho pěstováním v praxi, nebude již v níže uvedených pravidlech řezu zmiňován a popis se bude soustředit na pěstování vřeten, bi-axis a tri-axis tvarů.



Obrázek 7. Tvar typu Guyot odrůdy HL648 Karli® na jaře v druhém roce po výsadbě.



Obrázek 8. Tvar typu Guyot odrůdy HL648 Karli® koncem léta v druhém roce po výsadbě.

3.3.5.5 *Vlastní řez a jeho cíle*

K hlavním cílům řezu stromů v průběhu jeho života patří:

- rychlé dosažení konečné výšky a objemu koruny,
- vytvarování koruny s vhodným rovnoměrným rozmístěním os, větví a plodných struktur na nich,
- vytvoření podmínek pro brzký vstup do plodnosti,
- zabezpečení dobrých světelných podmínek ve všech částech koruny,
- udržování koruny v rozměrech odpovídajících zvolenému sponu výsadby a způsobu pěstování,
- udržení rovnováhy mezi růstem a plodností v průběhu života stromu,
- pozitivní ovlivnění zdravotního stavu – omezení některých chorob a škůdců pomocí provzdušnění koruny nebo odstraněním napadených částí (výhonů/větví),
- zajištění stabilních vysokých výnosů kvalitního ovoce bez meziročních výkyvů.

V závislosti na životním období stromu se cíle a způsob řezu mění. V případě sloupovitých odrůd je stejně jako u standardních odrůd vhodné rozlišovat jednotlivá životní období a podle nich stanovovat a aplikovat pravidla řezu.

3.3.5.6 *Řez po výsadbě*

Nejvhodnějším výsadbovým materiálem pro zakládání sadů sloupovitých odrůd je, pokud možno, co nejvyšší dvouletý, výjimečně tříletý výpěstek. V případě superštíhlého vřetene je to jednoduchý špičák s bočním obrostem ve výšce od 60 cm, v případě víceosých výpěstků dvou a tříosý dvouletý, výjimečně tříletý výpěstek. Výsadbou víceletých vzrostlých stromků zkrátíme dobu nutnou pro vytvoření konečné velikosti porostu, a tedy i období, kdy nejsou dosahovány plné výnosy. Po výsadbě ponecháváme vrcholy bez zkracovacího řezu, aby mohly

pokračovat v prodlužovacím růstu, a mohly si zachovat svoje dominantní postavení. V případě, že se snažíme vypěstovat víceosý strom z vysazeného jedno nebo dvouletého špičáku, tak se centrální osa zakracuje ve výšce žádaného rozvětvení. Ať je tvar jakýkoliv, vždy by měly vrcholy jasně dominovat, konkurenty by měly být odstraněny nebo výrazně zkráceny, a veškerý boční obrost by měl být v roce výsadby zkrácen na délku do 15 cm. Pokud je vysoká květní násada na obrostu, je vhodné ji částečně regulovat již řezem. Řez se provádí během dormance kdykoliv před rašením, aby byla maximálně podpořena růstová reakce, později provedený řez by mohl tlumit růst, což je v prvních letech nežádoucí.

3.3.5.7 Řez druhý rok po výsadbě

Ve druhém roce se již nikdy nekrátí vrcholové výhony jednotlivých vertikálních os. Ty se nechávají průběžně růst a dominovat bočnímu obrostu. U víceosých stromů se mohou pouze mírně ohýbat, aby bylo dosaženo rovnoměrného rozmístění os v řadě. Boční výhony se zakracují v jednoletém dřevě v závislosti na žádoucí konečné délce větve nebo struktury. Pokud chceme budovat jen kratší obrost na víceosých stromech, tak opět krátíme na cca 15 cm. V případě superštíhlého větene můžeme delší výhony krátit a krátké ponechávat bez řezu, aby nám vytvářely větve o konečné délce okolo 50 cm. Díky přirozenému vystoupavému růstu terminálu a větví není nutné další tvarování v podobě ohýbání větví apod. Boční větve necháváme růst v přirozeném úhlu nasazení.

3.3.5.8 Řez od třetího roku

Řez je shodný s přístupem ve druhém roce, kdy nekrátíme dominantní vrcholy os, ale krátíme dle potřeby jen boční výhony, případně obrost, a to i ve víceletém dřevě. Od třetího roku je navíc vhodné provádět detailní řez právě plodného obrostu, potažmo květních pupenů tak, aby nebyla květní násada v daném roce příliš vysoká.

3.3.5.9 Udržovací řez po dosažení konečné výšky

Jakmile dosáhnou jednotlivé osy své konečné velikosti, jsou prodlužující terminální výhony kráceny na délku 2–3 pupenů a konkurenty odstraňovány úplně. Řez v terminální části je možné provádět i v době po vyrašení a tím potlačovat růst v této části. Na jednotlivých osách je udržován obrost přiměřené délky. V případě vysoké květní násady je žádoucí ji částečně redukovat ideálně již řezem. V průběhu celé životnosti sadu udržujeme přiměřeně prosvětlené osy. V případě záměru obnovovat víceleté větve tak učiníme řezem na čípek, kdy očekáváme jeho následné obrůstání, jež bude sloužit jako základ nové větve.

3.3.6 Regulace násady

Současné používané metody probírky jabloní zahrnují v různých obdobích mechanické, ruční i chemické přístupy, z nichž každý má své výhody a omezení (Verma *et al.*, 2023). Absolutní většina studií se však zaměřuje na standardní komerční odrůdy s konvenčním růstovým habitem, zatímco sloupovitým odrůdám jabloní byla věnována jen omezená pozornost (Iwanami *et al.*, 2019; Baba *et al.*, 2020). Drtivá většina sloupovitých odrůd jabloní nemá dobrou samoregulační schopnost, a naopak mají přirozeně vysokou tendenci ke střídavé plodnosti (Blažek and Křelinová, 2011; Vávra *et al.*, 2017). Pokud není násada plodů nijak regulována, velmi často dochází ke střídání let s velkým množstvím malých a nekvalitních plodů, následovaných rokem s téměř nulovou násadou. Taková situace vede k výrazným ztrátám na kvalitě produkce, její celkové výši, a v konečném důsledku k významným neakceptovatelným ekonomickým ztrátám. Pro omezení střídavé plodnosti je nutné využití

regulačních metod, které povedou ke stabilní meziroční produkci kvalitních, dobře tržně uplatnitelných plodů.

Podobně jako u standardních odrůd, i u sloupovitých můžeme provádět regulační zásahy v několika krocích. Prvním možným regulačním krokem je řez větví a výhonů a rovněž detailní řez plodného obrostu. Jak vyplývá z našich dosavadních výsledků u sloupovitých odrůd, za optimální považujeme násadu zhruba na úrovni 30 květních pupenů na jeden metr délky vertikální osy, případně délky boční větve. Druhým krokem může být regulace počtu květenství nebo květů. Pokud v době květu vidíme, že je násada velmi silná a podmínky jsou dobré pro následující tvorbu plodů, můžeme přistoupit k regulaci květenství, sice náročnou, ale dobře kvantifikovatelnou ruční probírkou. Lze využít již zmíněný počet například cílových 30 květenství na 1 m délky osy, nebo přistoupit k probírce květů pomocí chemických látek, které omezí opylení/oplození. Použití chemické probírky květů je časově mnohem méně náročné, ale přináší s sebou riziko variabilní odezvy, zejména kvůli proměnlivým povětrnostním podmínkám. V současnosti jsou pro tento typ regulace u standardních odrůd nejčastěji používána hnojiva na bázi thiosíranu amonného nebo polysulfidu vápenatého. Ta jsou aplikována v jednom nebo dvou termínech tak, aby byla zasažena vždy určitá část rozkvétajících květů. Při probírce v období květu lze uvažovat i o nasazení mechanizované probírky pomocí ometacích strojů. V rámci našich výzkumů jsme doposud chemický nebo mechanický způsob probírky květů na sloupovitých odrůdách netestovali, nicméně jejich použití by nemělo nic bránit a v případě potřeby je možné vycházet z běžně doporučených koncentrací, aplikačních podmínek nebo stanovených podmínek mechanizované probírky. Je však důležité zmínit, že regulace v čase kvetení je prováděna v období, kdy ještě s jistotou a se současnými předpovědními modely nelze vyloučit následný příchod pozdních jarních mrazů. Zmíněný fakt by nás nicméně neměl odrazovat od provádění těchto regulačních kroků. Obecně totiž platí, že čím dříve regulaci provedeme, tím dříve strom investuje své zdroje do menšího počtu vyvíjejících se plodů. Výsledek probírky je poté příznivější ve smyslu velikosti plodů, výnosu i květní násady v dalším roce.

Z výše uvedených důvodů a rovněž díky dostupnosti efektivních látek je u standardních jabloní hlavním termínem a způsobem regulace provádění chemické probírky plůdků. Je to již z hlediska mrazů a jistoty jejich předpovědi relativně bezpečné období zhruba poloviny května, kdy je velikost plůdků mezi 6–16 mm. V současnosti se provozně používají standardní dávky účinných látek, jako je kyselina alfa-naftyloctová, benzyladenin a metamitron. I chemická probírka plůdků však přináší riziko proměnlivé odezvy v závislosti na vnějších povětrnostních podmínkách a vnitřních podmínkách stromů. Riziko příliš silné nebo nedostatečné odezvy je běžné. Pomáhá ho snížit využití pomocných modelů jako je BreviSmart[®] nebo Rimpro, přesto je zde však mnoho dalších faktorů, které přinášejí často pozorované variabilní výsledky. Jelikož není dostupných mnoho prací zabývajících se chemickou probírkou plůdků sloupovitých odrůd a ani námi nebyly pokusy prováděny, není doposud možné připravit konkrétní doporučení pro její praktické využívání.

Posledním krokem, u kterého je snahou jeho omezení předešlými zásahy zejména z důvodu vysoké časové náročnosti a nákladnosti, je ruční probírka plůdků. Jak vyplývá z našich dosavadních výsledků a zkušeností u sloupovitých odrůd, za optimální považujeme finální násadu zhruba na úrovni 20–25 plodů na jeden metr délky vertikální osy, případně délky boční větve. Otázkou však zůstává, jak dané násady s co nejmenšími náklady dosáhnout, jak zaručit, aby byla rovnoměrná na všech strukturách a v rámci celého porostu a také aby byla meziročně stabilní a aplikovatelná v moderních porostech sloupovitých jabloní.

Na základě výše popsaných rizik je regulace plodnosti pro svoji velkou meziroční proměnlivost a z důvodu velmi vysoké tendence sloupovitých odrůd k alternaci považována za stěžejní pěstitelské opatření. Její význam je vedle dobré ochrany před chorobami a škůdci a dobře zvládnutého tvarování a řezu třetí klíčovou oblastí managementu sadů rozhodující

o ekonomické životaschopnosti výsadeb sloupovitých odrůd jableň. V reakci na naléhavou potřebu zvládnutí tohoto kroku pro možnost uplatňování sloupovitých odrůd v praxi, bylo proto rozhodnuto o detailnějším testování regulace plodnosti. V designovaném sadu 4.0 VŠÚO Holovousy byl navržen pokus, jehož hlavním cílem bylo určit vhodnou strategii řízení zatížení plodností, která může být přesně kvantifikována, zajistí stabilní kvalitní výnosy a bude možné uvažovat o jejím robotickém provádění. Při navrhování metodologie pokusu byly zohledněny současné trendy ve vývoji produktivity sadů (Tustin *et al.*, 2018), precizních probírek (Robinson *et al.*, 2021), a v předpokládaném vývoji technických prostředků (Karkee *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2019).

3.4 Strategie probírky pro možnou robotizaci a automatizaci prací u sloupovitých jabloňových sadů

3.4.1 Materiál a metody

Pokus byl uskutečněn v experimentálním sadu VŠÚO Holovousy na sloupovité jabloňové odrůdě ‘Redspring’ naštěpované na podnoži M26. Pro výsadbu uskutečněnou na jaře roku 2021 byly použity zhruba 130 cm vysoké dvouleté špičáky s určitým množstvím krátkého bočního obrostu. Spon výsadby činil 2,5×0,5 m (8000 stromů/ha). Stanoviště je na hlinité, středně úrodné hnědozemní půdě s neutrálním pH a plocha je zavlažována kapkovou závlahou. Stromy jsou tvarovány a řezány jako superštíhlé větveno s postranními strukturami na centrální ose, které po řezu nepřesahují délku 15 cm. Tyto struktury, tvořené převážně krátkým plodonosným obrostem a krátkými výhony, byly rozmístěny nepravidelně, typicky 2–6 ks na 10 cm délky centrální osy. Sad je obhospodařován podle standardních postupů integrované produkce.

V prvním roce byly všechny plůdky ze stromů odstraněny, aby bylo podpořeno dobré zakořenění, vegetativní růst a rovnoměrné založení květních pupenů na další sezónu. Od druhého roku byly aplikovány různé varianty regulace násady. Tyto varianty zahrnovaly samostatně či v kombinaci následující kroky: ruční probírku květenství (FC), ruční probírku plůdků (H), anebo ruční probírku plůdků pouze na královský plod v každém vyvíjejícím se plodenství (HK). Cílové zatížení bylo upravováno na 2, 3 nebo 4 jednotky (květenství nebo plůdky) na 10 cm délky centrální osy, přičemž nebylo zahrnuto jednoleté terminální dřevo. Na něm byla květenství odstraňována úplně pro podporu růstu terminální části. Přehledné rozdělení variant je uvedeno v tabulce 1. Do pokusu byla zařazena i neregulovaná kontrola (C) a varianta, kde byla provedena pouze probírka na královský plod bez předchozí regulace květenství (C+HK). Probírka květenství probíhala na začátku kvetení. Pokud byla aplikována, tak probírka plůdků byla provedena v období červnového propadu.

Hodnocené parametry zahrnovaly délku centrální osy (bez jednoletého dřeva), počet květenství na centrální ose (bez jednoletého dřeva), počet plodů ve třech velikostních kategoriích: menší než 60 mm, 60–70 mm a větší než 70 mm, a výnos plodů na strom. Na základě získaných dat byly vypočítány ukazatele zatížení stromu: počet plodů na 10 cm centrální osy, specifický výnos v kg na 10 cm centrální osy, a výnos v t/ha. Index alternace byl vypočten podle rovnice odvozené dle Hoblyn *et al.* (1936) z údajů o násadě květů ve tříletém období 2022–2024. Produkční parametry byly hodnoceny pouze v letech 2022 a 2023, protože v roce 2024 poškodil pozdní mráz téměř veškerou násadu plodů. V tomto roce byla proto hodnocena pouze násada květů. Každá varianta zahrnovala tři opakování po třech stromech (9 stromů na variantu). Data byla analyzována pomocí software R Studio (R Core Team, 2025) pomocí neparametrického Kruskal-Wallisova testu. Rozdíly mezi variantami byly vyhodnoceny Wilcoxonovým-Mannovým-Whitneyho testem.

Tabulka 1. Přehled aplikovaných probírkových variant.

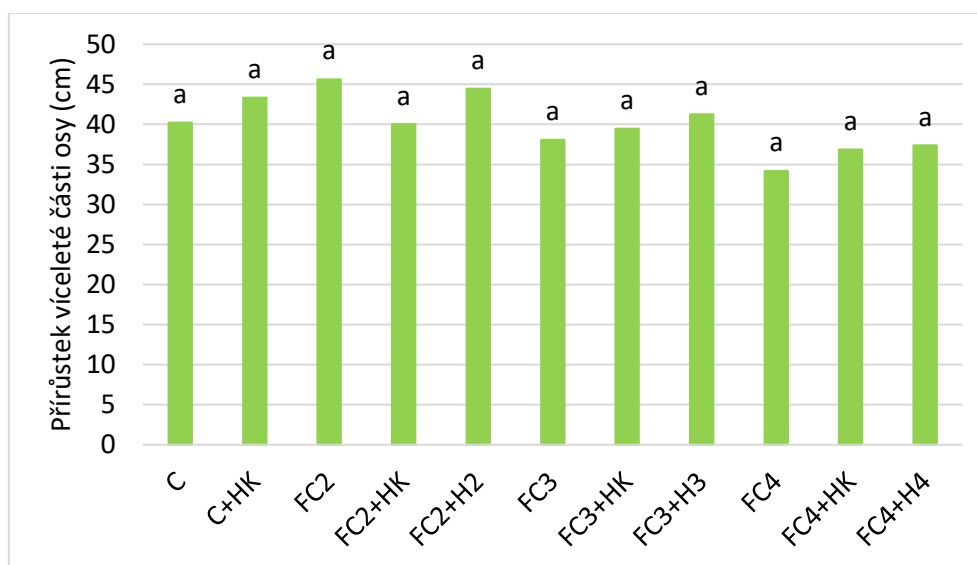
Zkratka ošetření	Popis ošetření
C	Kontrola, bez aplikace probírky.
C+HK	Bez probírky květenství, pouze ruční probírka plůdků na královský plod.
FC2, FC3, FC4	Pouze redukce květenství na 2, 3 nebo 4 ks na 10 cm výšky centrální osy, bez následné probírky plůdků.
FC2+HK, FC3+HK, FC4+HK	Redukce počtu květenství na 2, 3 nebo 4 ks na 10 cm výšky centrální osy s následnou ruční probírkou plůdků na královský plod.
FC2+H2, FC3+H3, FC4+H4	Redukce květenství na 2, 3 nebo 4 ks na 10 cm výšky centrální osy s následnou ruční probírkou plůdků na zatížení 2, 3 nebo 4 plody na 10 cm centrální osy.

3.4.2 Výsledky a diskuse

3.4.2.1 Růst

Mezi jednotlivými variantami nebyly v žádném ze tří hodnocených let zaznamenány významné rozdíly v délce centrální osy (Graf 1). Nicméně byl patrný trend mírně vyššího růstu u silněji probíraných stromů. Nový terminální přírůstek činil přibližně 10 cm v roce 2022 a 30 cm v roce 2023. Ačkoli jsme nezaznamenali významné rozdíly v růstu terminálního výhonu, očekáváme, že v dalších letech se rozdíly v růstu na základě zatížení stromu projeví výrazněji a že intenzivněji probírané stromy dosáhnou své konečné výšky a možná i maximálního výnosu dřívě. Odrůda ‘Redspring’ je sloupovitý kultivar se středně silným terminálním růstem (Vávra *et al.*, 2021). To znamená, že nese určitou nevýhodu některých sloupovitých odrůd, tedy relativně pomalý vývoj koruny. Existují však jiné sloupovité odrůdy s rychlejším terminálním růstem, které by měly být v budoucnu preferovány při zavádění do běžné produkce.

Graf 1. Průměrný kumulativní přírůstek víceleté části centrální osy během vegetačních sezón 2022 a 2023.

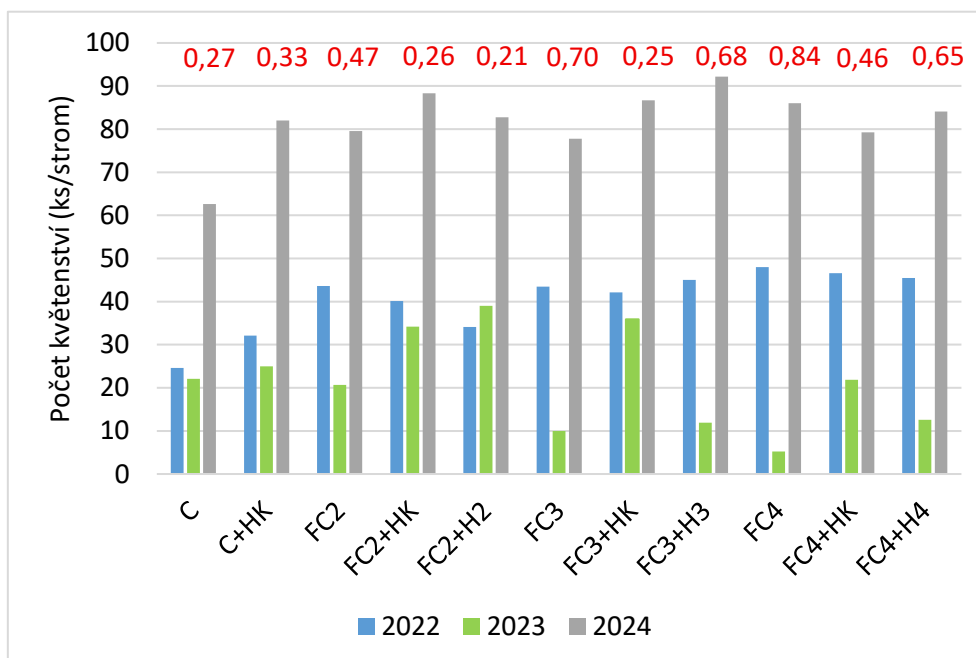


Různá písmena označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými variantami při $\alpha \leq 0,05$.

3.4.2.2 Alternace

Násada květů v jednotlivých letech, respektive míra alternace vyjádřená indexem alternace (IA), jsou uvedeny v grafu 2. Silnější alternace ($IA > 0,6$) byla zaznamenána u variant FC4, FC3, FC3+H3 a FC4+H4. Nižší alternace ($IA < 0,3$) byla zjištěna u variant FC2+H2, FC3+HK, FC2+HK, a překvapivě také u kontrolní C. Velké rozdíly v indexu alternace potvrzují silný vliv použitých variant probírky na květní násadu v následujícím roce a zároveň potvrzují výraznou tendenci sloupovitých odrůd právě k alternaci (Blažek and Křelinová, 2011; Vávra *et al.*, 2017), jež byla potvrzena i pro odrůdu ‘Redspring’. Vysoká alternace byla zaznamenána u variant s vysokým zatížením a pouze probírkou květenství (FC4 a FC3), stejně jako u variant s vysokým zatížením, kde po probírce květenství následovala probírka plůdků při vysokých úrovních zatížení (FC4+H4 a FC3+H3). To ukazuje, že zatížení třemi plody na 10 cm nebo vyšší je příliš vysoké na to, aby bylo dosaženo stabilní násady květů. Naopak varianty s intenzivnější, dvoustupňovou probírkou vykazovaly logicky nižší alternaci. Překvapivě nízká alternace byla zjištěna také u kontrolních variant C a C+HK. Přičítáme to nízké počáteční násadě květů v těchto variantách v roce 2022, která ovlivnila následující roky. Pokud by byla počáteční násada vyšší, očekávali bychom u těchto variant mnohem vyšší alternaci, podobnou variantě FC4. Varianta FC4 měla vyšší počáteční násadu květů, a i přes aplikovanou probírku květenství vysoké zatížení. Z tohoto důvodu ji považujeme za variantu, která nejlépe simuluje chování stromů bez jakékoli probírky. Očekáváme, že alternace u variant C a C+HK se v následujících letech zvýší a projeví se přirozené chování tohoto sloupovitého kultivaru. Přesto je při interpretaci výsledků C a C+HK nutné mít výše uvedenou skutečnost na paměti.

Graf 2. Průměrné počty květenství na strom před probírkou v jednotlivých letech a červeně uvedená hodnota indexu alternace pro každou variantu.



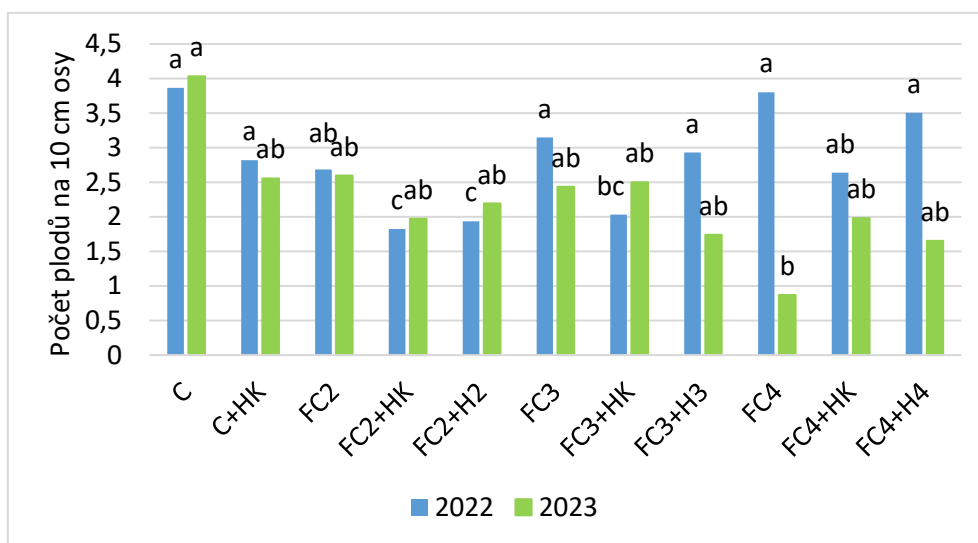
3.4.2.3 Zatížení plodností a specifický výnos

Zatížení stromu, vyjádřené počtem plodů na 10 cm centrální osy pro roky 2022 a 2023, je znázorněno v grafu 3. V roce 2022 bylo vyšší zatížení zaznamenáno u variant C, C+HK, FC3, FC3+H3, FC4 a FC4+H4, zatímco nižší u variant FC2+HK a FC2+H2. V roce 2023 bylo

nejvyšší zatížení u varianty C a nejnižší u FC4. Rozdíl menší než 0,3 mezi prvním a druhým rokem byl zjištěn u variant C, C+HK, FC2, FC2+HK a FC2+H2. Naopak rozdíl větší než 1,0 byl zaznamenán u variant FC3+H3, FC4+H4 a FC4.

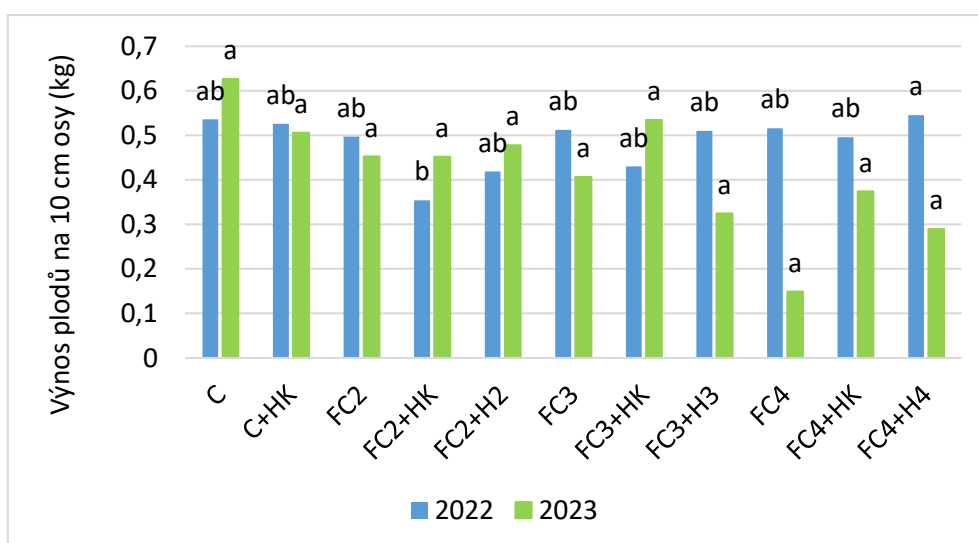
Dále je v grafu 4 znázorněn specifický výnos vyjádřený jako hmotnost plodů na 10 cm centrální osy. Z něj je patrné, že v roce 2022 byl nejvyšší specifický výnos zaznamenán u varianty FC4+H4, nejnižší u FC2+HK. V roce 2023 se hodnoty mezi variantami lišily, ale rozdíly nebyly statisticky významné. Rozdíly ve specifickém výnosu mezi roky přesáhly hodnotu 0,1 u variant FC3, FC3+HK, FC3+H3, FC4, FC4+HK a FC4+H4.

Graf 3. Průměrný počet sklizených plodů na 10 cm centrální osy v jednotlivých variantách a letech.



Různá písmena označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými variantami v každém roce zvlášť při $\alpha \leq 0,05$.

Graf 4. Průměrný specifický výnos (kg) sklizených plodů na 10 cm centrální osy v jednotlivých variantách a letech.



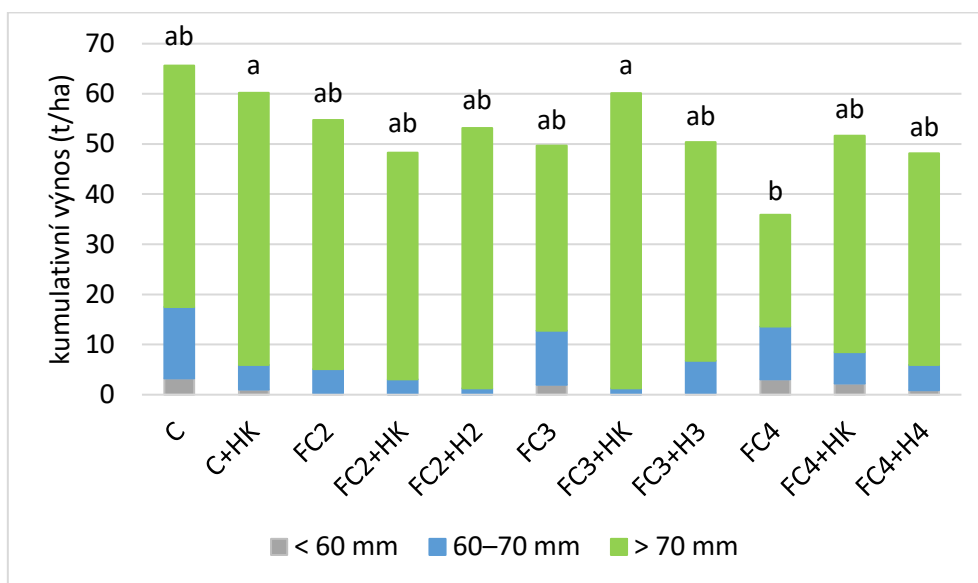
Různá písmena označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými variantami v každém roce zvlášť při $\alpha \leq 0,05$.

Výsledky zatížení stromu vyjádřeného počtem plodů na 10 cm centrální osy ukazují, že v prvním roce logicky silně závisely na použitých ošetřeních. Ve druhém roce však výsledky ovlivnila nejen samotná probírka, ale také násada květů ovlivněná předchozím rokem. Varianty s nízkým indexem alternace plodnosti měly obecně stabilnější zatížení mezi jednotlivými lety a naopak. Varianty FC3, FC3+H3, FC4, FC4+HK a FC4+H4 vedly k výraznému poklesu zatížení ve druhém roce (o více než 0,5 plodu na 10 cm). Tyto varianty měly vyšší cílové zatížení, které je příliš vysoké pro udržení stability, a proto lze očekávat, že fluktuace zatížení u těchto variant bude pokračovat i v dalších letech. To znovu potvrzuje, že zatížení vyšší než 3 plody na 10 cm je příliš vysoké pro stabilní produkci. Naopak zatížení mezi 2 a 2,5 plody na 10 cm se zdá být ideální pro udržení vyrovnaných výnosů. To dokládají dále i výsledky specifické plodnosti, kde tyto varianty vykazovaly stabilní hodnoty, a někdy dokonce i zlepšení v navazujícím roce. Zdá se, že specifická plodnost na úrovni 0,4 až 0,5 kg na 10 cm centrální osy může být maximem pro zajištění kvalitních a vyrovnaných sklizní.

3.4.2.4 Výnos a kvalita

V grafu 5 je znázorněn kumulativní výnos za roky 2022 a 2023, včetně podílu jednotlivých velikostních tříd plodů na celkovém výnosu. Statisticky významné rozdíly byly pozorovány jen u hlavní tržní kategorie plodů nad 70 mm. Vyšší výnos plodů větších než 70 mm byl zaznamenán u variant FC3+HK a C+HK, zatímco nižší u FC4. Varianty C, FC3 a FC4 měly vyšší podíl plodů menších než 70 mm.

Graf 5. Průměrný kumulativní výnos v jednotlivých velikostních třídách plodů za roky 2022 a 2023.



Různá písmena označují statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými variantami pouze pro parametr plodů velikosti nad 70 mm při $\alpha \leq 0,05$.

Výsledky výnosu a specifické plodnosti ukazují, že varianty s intenzivnější probírkou a menším počtem plodů byly schopné částečně dorovnat výnos zvětšením velikosti plodů. To je přirozená a očekávaná reakce a jeden z hlavních cílů regulace násady (Verma *et al.*, 2023). Vyšší podíl plodů menších než 70 mm byl zaznamenán u variant C, FC3 a FC4, které zahrnovaly buď žádnou probírku, nebo pouze probírku květenství na vyšší zatížení. Varianta

FC2, která rovněž zahrnovala pouze probírku květenství, ale na nižší zatížení, měla poměr menších plodů relativně nízký a přijatelný.

Na základě výše uvedených výsledků považujeme varianty FC2, FC2+HK, FC2+H2 a FC3+HK za perspektivní a odpovídající našemu cíli dosáhnout stabilní, vysoké a kvalitní produkce. Všechny tyto varianty kromě FC2 však vyžadují jako jeden z kroků regulace probírku plůdků, což je nevýhoda, pokud uvažujeme o možnosti robotizace probírky. Tento krok, tj. probírka plůdků či květů uvnitř shluku, již byl zkoumán a rozvíjen (Karkee *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2019), ale očekává se jeho obtížná a časově náročná implementace. Z tohoto pohledu se zdá, že varianta FC2 dostatečně splňuje požadavky na produktivitu i možnost snadné robotické realizace probírky založené pouze na odstraňování celých květních shluků. V ovocnářství existuje několik vyvíjených konceptů odstraňování celých květenství např. řezem nebo odstřelováním proudem vzduchu (Robinson *et al.*, 2021), a jejich zavedení do praxe a efektivita práce se předpokládá výrazně vyšší než u robotické probírky plůdků v plodenstvích nebo květů v květenstvích.

Pokud jde obecně o strategie probírky, jednou z možností je využití chemické probírky. Kvůli mnoha proměnným ovlivňujícím její účinnost a obtížnou kontrolu (Robinson *et al.*, 2021; Verma *et al.*, 2023) jsme se však rozhodli pro plně nechemické a potenciálně přesnější strategie. Očekáváme navíc, že strategie probírky založené na počtu květenství nebo plůdků na 10 cm délky vertikální osy, spíše než na příčném průřezu kmene či větvi (Baba *et al.*, 2020; Iwanami *et al.*, 2019), budou přesnější a snáze implementovatelné pro robotické systémy. Pokud bude zavedena metoda probírky celých květních shluků (Robinson *et al.*, 2021), může být využita strategie založená na FC2. Pokud budou komerčně dostupné metody probírky květů nebo plodů (Karkee *et al.*, 2024), mohly by umožnit ještě přesnější strategie vedoucí k maximalizaci dobré tržní produkce. Celkový typ růstu sloupovitých stromů a jejich řez, s postranními strukturami nepřesahujícími na vertikálních osách délku 15 cm, by měly usnadnit zavedení dalších robotických operací a automatických hodnocení.

Dosavadní výsledky výnosu varianty FC2 naznačují, že při předpokládané konečné výšce 3 m a průměrné efektivitě výnosu 0,45 kg na 10 cm centrální osy je možné dosáhnout výnosu kolem 13,5 kg na strom. Při hustotě 8000 stromů/ha by stabilní výnos činil přibližně 100 t/ha, což je poměrně vysoká, ovšem reálná hodnota pro klimatické podmínky střední Evropy. Vysoký počet stromů na hektar je však problematický kvůli vysokým nákladům na založení sadu. Tuto nevýhodu lze řešit použitím víceosých stromů, ať bi-axiálních či multi-axiálních (Tustin *et al.*, 2018), což je další krok k rentabilnější produkci. Hodnocení produktivity sadů s víceosými typy výpěstků je také předmětem paralelně prováděného výzkumu ve VŠÚO Holovousy. Ne všechny sloupovité odrůdy jsou nicméně vhodné pro víceosé tvary, ale naše předběžná zjištění naznačují, že u odrůd se silnějším terminálním růstem je jejich využití možné a může vést k vyšší rentabilitě. Víceosé stromy navíc mohou usnadnit udržitelnou intenzifikaci produkce.

3.4.3 Závěr

Výsledky ukazují očekávané chování – nižší fluktuaci a vyšší kvalitu plodů u intenzivněji probíraných variant a naopak. Navzdory tříletému trvání studie, včetně roku se silným poškozením mrazem, je možné s vysokou pravděpodobností určit optimální strategie zatížení, které zajistí stabilní a vysokou produkci kvalitních plodů. Je nutné určit optimální zatížení i pro další sloupovité odrůdy, ale lze předpokládat, že budou velmi podobné zjištěným hodnotám. Limity se mohou lišit, výsledky však budou záviset i na způsobu řezu, počtu stromů nebo os na hektar, intenzitě péče a klimatických podmínkách.

Hlavním cílem výzkumu bylo nalézt varianty s nízkou mírou alternace a zároveň vysokou, kvalitní produkcí. Toho bylo dosaženo u více variant. Nicméně pouze varianta FC2, tedy jen

samotná redukce květenství na nižší zatížení, je perspektivní pro snadnou implementaci robotické probírky. Zároveň bylo nalezeno kvantifikované zatížení, které může být ukazatelem pro optimalizaci regulace i při použití jiných probírkových metod.

3.5 Možnosti nasazení mechanizačních prostředků a automatizace

V designovaném sadu se šířkou meziřadí pouhých 2,5 m je ve většině případů možné stále ještě využívat standardní stroje, běžně používané i v sadech s meziřadím o šířce 3,5 m. Splnění tohoto kritéria bylo od počátku jasným cílem návrhu sadu, který má umožnit zakládání takovýchto výsadeb bez nutnosti velkých investic ovocnářských podniků do pořízení speciální úzkorozchodné mechanizace. Pokud bychom za účelem zvyšování potenciálního hektarového výnosu (Tustin *et al.*, 2018) uvažovali o dalším zužování meziřadí, vyžadovalo by to nasazení již spíše vinohradnické techniky. Tato změna by s sebou nesla další investiční nároky a rovněž by přinášela další rizika například potenciálně zhoršené distribuce světla ve spodních partiích porostů, nebo menší tolerance případných nerovností terénu.

Pro ovocnářské traktory, v současnosti běžné šíře 1,5 m, je možné jejich využití v sadech s úzkým meziřadím kolem 2,5 m. Bez omezení lze využít také úzké sklízecí plošiny nebo postřikovače. Naopak mulčovače a drtiče větví často mají základní šíři okolo 2,5 m a pro jejich nasazení tak bude nutné uvažovat o pořízení případných užších verzí s šíří okolo 1,8 až 2,0 m. Před rozhodnutím o budování sadu s úzkými meziřadími tedy jednoznačně platí potřeba zhodnotit šíři a použitelnost všech stojů, které budou nasazovány.

V současnosti je v celosvětovém měřítku vyvíjeno již nemalé množství robotických technologií do sadů. Není nám však známa doposud žádná plně komercializovaná verze stroje na řez, probírku nebo sklizeň, kterou by bylo možné si pořídit nebo pronajmout do ovocnářského provozu. Nicméně jsou již dostupné samojízdné robotické stroje nebo doplňkové technologie pro stávající běžné traktory, jež umožňují provádění postřiků, drcení, mulčování nebo kultivaci příkmenného pásu autonomním způsobem bez nutné přítomnosti řidiče. Při nasazení těchto technologií jsou v současnosti hlavními omezeními nejistá a omezená legislativa, potřeba struktury podniku umožňující provoz těchto strojů bez přejezdů po veřejných komunikacích, koncentrace dostatečně velkých ploch výsadeb okolo jednotlivých středisek a v neposlední řadě jejich investiční náročnost. Jakékoliv uvažované nasazení popsaných technologií bude vyžadovat komplexní analýzu jejich využitelnosti v podmínkách konkrétního podniku.

Robotická neselektivní sklizňová hlava vyvíjená na ČZU v Praze vyžaduje specifickou strukturu a upevnění osy pro zajištění její efektivní funkce. Tuto strukturu jsme úspěšně vyzkoušeli a hlavním pravidlem zůstává udržovat osu stromů ve výsadbě rovnou, a po řezu neponechávat žádné boční výhony, plodonoše nebo větve delší než 10–15 cm, a držet je pokud možno co nejkratší. Prozatím se jako hlavní problematické body u mnoha sloupovitých odrůd jeví přisedlost plodů způsobená krátkou stopkou, vytváření hustých shluků plodů, nevhodný plochý tvar plodu a silné spojení plodu k plodonoši v době sklizňové zralosti. Očekáváme tedy, že použitelnost této technologie bude omezena jen na určité odrůdy. V oblasti robotizace řezu nebo probírky předpokládáme, že při použití pěstitelských pravidel designovaného sadu, shrnutých v této metodice, bude možné jejich snadnější nasazení. Obě oblasti budou předmětem budoucích výzkumných a vývojových prací.

3.6 Závěr

V době rychlého technologického vývoje zatím nelze jednoznačně určit, které robotické systémy se prosadí dříve, jaké operace budou schopné a jak precizně je budou vykonávat, ani jaké nároky budou přímo klást na konstrukci výsadby, tvary stromů či odrůdovou skladbu. Přesto je nutné se na tuto změnu podle současných předpokladů a v závislosti na vlastním

vývoji a výzkumu systematicky připravovat. Ovocné stromy jsou trvalou kulturou a ověřování pěstitelských systémů trvá mnoho let, proto je nezbytné provádět výzkum a praktický vývoj ještě před tím, než budou konkrétní technologie komerčně dostupné. Vhodné je obojí vytvářet současně. V rámci spolupracujících pracovišť VŠÚO Holovousy, ČZU v Praze a ČVUT byla započata tato cesta – bylo dosaženo prvních výsledků a vytvořen základní koncept. Ten je možné přímo využívat nebo již snadno modifikovat a přizpůsobovat přicházejícím vlastním, nebo jiným dostupným technologiím.

Navržený, zrealizovaný a popsany „Sad 4.0“ představuje prakticky ověřený koncept pro pěstování sloupovitých odrůd jabloní v systému vhodném pro robotizaci a automatizaci prací. Nejde o striktně daný návrh, ale o soubor důležitých poznatků, pravidel a řešení využitelných pěstiteli při budování výsadeb tohoto zaměření. Je zároveň podkladem pro budování velmi výnosných výsadeb, které mohou být obhospodařovány současnými, běžně používanými mechanizačními prostředky, a přitom být otevřené pro využití budoucích robotických technologií.

Z dosavadních výsledků vyplývá, že sloupovité jabloně představují perspektivní součást budoucích, vysoce produktivních a na automatizaci připravených sadů, které půjde snadno a efektivně obhospodařovat. Výběr vhodné odrůdy pro globalizovaný trh nicméně zůstává v současnosti jedním z úskalí jejich velkovýrobního pěstování. Plné uplatnění navrženého konceptu bude závislé na kvalitě a dostupnosti nových sloupovitých odrůd a jejich přijetí spotřebiteli a obchodníky. Klíčové zůstává, aby tyto odrůdy vytvářely kvalitní plody i vhodnou architekturu koruny, která umožní efektivní a ziskové pěstování s využitím moderní techniky.

Koncept „Sadu 4.0“ lze chápat jako první významný krok v přípravě na očekávanou revoluci v ovocnářské výrobě. Předpokládá se, že usnadní přechod k novým technologiím a zvýší připravenost pěstitelů na éru automatizované produkce ovoce. V případě záměru o jeho vybudování je doporučena konzultace ve VŠÚO Holovousy nebo na dalších pracovištích, kde může být poskytnuto poradenství v oblasti výběru vhodných odrůd i konkrétních technických řešení.

4 Srovnání novosti postupů

Metodika komplexně zpracovává téma agrotechniky sloupovitých odrůd jabloní pěstovaných způsobem vhodným pro nasazení robotických a automatizačních technologií, které doposud nebylo nikdy v ČR zpracováno a publikováno. Autorům nejsou známy žádné podobné zahraniční koncepce, které by v takovéto šíři pěstování sloupovitých odrůd se zaměřením na robotizaci zpracovávaly, a jedná se tak o ojedinělou a originální práci i v mezinárodním měřítku. Metodika je postavena na vědeckých výsledcích, ale i na běžných provozních poznatcích a uvádí do souvislostí mnoho aspektů, které jsou klíčové při rozhodování o uplatnění tohoto konceptu.

Novost postupů je spatřována zejména v uvedení konkrétních informací k opěrné konstrukci, odrůdám, podnožím, tvarování, řezu a regulaci plodnosti. Zejména v oblasti tvarování a v oblasti regulace plodnosti jsou představeny nové postupy, jež umožňují kvantifikované hodnocení, nastavení a kontrolu při řízení agrotechniky sadu a jeho produktivity. Popsaný inovativní koncept a poznatky jsou základem pro budoucí nasazení robotických a automatizačních systémů při pěstování sloupovitých odrůd a cílí na přicházející technologickou změnu. Jeho originalita však spočívá i v tom, že ve svých základních parametrech je bez omezení využitelný i v současných standardních technologických podmínkách pěstování jabloní.

5 Popis uplatnění metodiky

Certifikovaná metodika je v první řadě určena produkčním ovocnářům. Její obsah komplexně pojednává o pěstování sloupovitých odrůd v sadu s potenciálem snadného nasazování automatických a robotických systémů.

Informace v ní uvedené lze však uplatnit i v malovýrobě a samozásobitelství, jedná se zejména o část věnovanou pěstování sloupovitých odrůd. Část informací je využitelná i školkařskými podniky. Metodika je dále zdrojem informací pro pedagogy středních a vysokých škol a rovněž pro jejich studenty. Uvedené poznatky mohou být využity pro další, zejména aplikovaný, výzkum v rámci specializovaných pracovišť a univerzit.

Metodika bude vydána v elektronické podobě a bude k dispozici všem zájemcům o danou problematiku.

6 Ekonomické aspekty

Z doposud nashromážděných znalostí a zkušeností se sadem navrženým a pěstovaným podle výše popsaného designu lze v současnosti dopočítat některé ukazatele rozhodující o profitabilitě produkce a potenciálním ekonomickém dopadu využívání takovýchto výsadeb. Cílem designovaného sadu bylo vytvořit systém, který bude umožňovat provádění agrotechnických operací roboticky a automatizovaně. Druhým cílem bylo, aby byla výsadba použitelná i bez nasazení těchto technologií, a aby přinášela velmi vysoké výnosy a byla ekonomicky životaschopná. V oblasti využití technologií je zatím velmi obtížné cokoliv předpovídat a dopočítávat, protože nejsou známy náklady na pořízení a provoz sklízecích robotů nebo dalších strojů. Na druhé straně v oblasti produktivity sadu a kvality sklizně bylo již získáno dostatek výsledků, které umožňují výchozí hodnocení zejména na straně příjmů.

V oblasti nákladů se předpokládají vyšší investiční náklady na vybudování opěrné konstrukce a výsadbu sadu zhruba o 30 %, vycházející z vyššího počtu opěrných prvků a vyššího počtu stromů na ha. Tento nárůst oproti standardním sadům odpovídá odhadované částce 300 tis. Kč/ha. V oblasti provozních nákladů předpokládáme navýšení oproti standardním sadům v případě použití standardní techniky o 130 tis Kč/ha/rok. Dohromady pak při započítání investičních nákladů a provozních nákladů počítáme s ročními náklady ve výši 150 tis. Kč/rok. Výši příjmů přímo určuje výnos ovoce a rovněž jeho kvalita a realizační cena, která je určována atraktivitou odrůdy a tržními mechanismy. Následující příklad shrnuje očekávané reálné výše tržeb při použití designovaného „Sadu 4.0“.

Pokud budeme vycházet z doposud získaných výnosových a kvalitativních výsledků, lze dopočítat následující výši ročních tržeb v období plné plodnosti.

Základní parametry jsou:

- počet plodných os o délce 3 m je 8000 ks na hektar,
- realistická stabilní specifická plodnost je 0,45 kg jablek na 1 m délky osy,
- poměr plodů velikosti nad 70 mm je 80 %.

Při počtu 8000 ks os a jejich délce 3 m je na hektaru dosaženo 24000 m délky plodné osy. Při specifickém výnosu 0,45 kg jablek na 1 m této osy vychází potenciální výnos 108 t/ha ($24000 \times 0,45 = 108000 \text{ kg/ha}$). Při 80% poměru plodů nad 70 mm činí výnos kvalitních plodů 86,4 t/ha ($108 \times 0,8 = 86,4$). Při průměrné ceně netříděného ovoce méně žádaných odrůd v této velikosti 10 Kč/kg vychází potenciální hektarová tržba 864 tis. Kč ($86400 \times 10 = 864000$).

Srovnáme-li tento výsledek se standardním, intenzivně obhospodařovaným sadem štíhlých větven, kde budeme počítat se stabilními výnosy ve výši 65 t/ha a poměrem plodů nad 70 mm

ve výši 80 %, je hektarový výnos této třídy 52 t/ha ($6 \times 0,8 = 52$) a hektarová tržba při průměrné ceně žádaných tržních odrůd 12 Kč/kg vychází na 624 tis. Kč ($52000 \times 12 = 624000$).

U dobře vedených intenzivních sadů štíhlých vřeten standardních odrůd budeme uvažovat průměrnou nákladovost ve výši 450 tis. Kč/ha/rok. Nebudeme-li uvažovat náklady na třídění skladování, balení apod., je možné počítat se ziskem ve výši cca 170 tis. Kč/ha ($624 - 450 = 174$).

U sadu sloupovitých jabloní, a při předpokladu používání současných postupů a technologií bez robotizace, lze očekávat vyšší náklady na konstrukci, výsadbový materiál, závlahu a z provozních nákladů také na sklizeň (úměrné její výši) a provádění probírek. Předpokládáme srovnatelné náklady na řez, ochranu, sekání a další údržbu. Jak je již výše uvedeno, zvýšení nákladů na ha je kvalifikovaně odhadnuto na 150 tis. Kč/ha/rok. To znamená, že nákladovost 1 ha sloupovitých odrůd bude přibližně 600 tis. Kč/ha/rok. Při jednoduchém odečtení ročních nákladů ovocného sadu sloupovitých jabloní od vypočítaných tržeb, je potenciální zisk (nebudeme-li uvažovat náklady na skladování, třídění, balení apod.) z 1 ha cca 264 tis. Kč/rok ($864 - 600 = 264$). Odhadnutá ziskovost designovaného sadu je tedy vyšší o 90 tis. Kč/ha/rok oproti současným standardním výsadbám ($264 - 174 = 90$).

Budeme-li realisticky uvažovat, že se daný typ výsadby uplatní na 3 % výměry intenzivních sadů v ČR, která je k roku 2024 cca 4800 ha (Němcová a Buchtová, 2024) bude realizována na 144 ha ($0,03 \times 4800 = 144$). Pokud tyto plochy vstoupí do plné plodnosti, je možné uvažovat hodnotu navýšení zisků v sektoru o cca 12960 tis. Kč/rok ($144 \times 90 = 12960$).

Výše se jedná o velmi hrubý, ale realistický odhad ekonomiky pěstování sadů sloupovitých odrůd. Celkový výsledek ale významně ovlivní mnoho proměnlivých faktorů, jako například realizační cena produkce, která bude při prodeji ze dvora výrazně vyšší než při velkoobchodním odbytu. Dále akceptování dané odrůdy zákazníky, které bude záviset na vlastnostech plodů dané odrůdy, ale také na zvládnutí marketingu. Do ekonomiky bude dále významně promlouvat použitý tvar stromů (náklady na výsadbový materiál versus počet os na ha), udržení dobrého zdravotního stavu porostu (delší životnost výsadby), a rychlost nárůstu finální velikosti porostu, která závisí hlavně na odrůdě. Významně bude ekonomický výsledek rovněž ovlivňovat případná dostupnost a využívání nových robotických a automatizačních technologií, jejich dopad lze však zatím jen těžko odhadnout. Koncept je nicméně ekonomicky životaschopný i při použití současných standardních pěstitelských, mnohdy manuálních, operací a postupů. Příchod automatizačních a robotizačních technologií může ziskovost, potažmo význam těchto typů výsadeb výrazně zvýšit. Produkce z těchto sadů nebude prozatím uplatnitelná v rámci globalizovaného trhu, ale spíše v rámci lokálního odbytu s určitou marketingovou podporou.

7 Seznam použité literatury

BABA, T., MORIYA, Y., SAKAMOTI, D., HANADA, T., and IWANAMI, H. 2020. A Case Study on Crop Load to Avoid Alternate Bearing in Columnar Apples. *Horticultural Research*. 19(3), 285–292. DOI: <https://doi.org/10.2503/hrj.19.285>.

BLAŽEK, J., and KŘELINOVÁ, J. 2011. Tree growth and some other characteristics of new columnar apple cultivars bred in Holovousy, Czech Republic. *Horticultural Science*. 38(1), 11–20. DOI: <https://doi.org/10.17221/23/2010-hortsci>.

FAZIO, G., ROBINSON, T.L., and ALDWINCKLE, H.S. 2015. The Geneva Apple Rootstock Breeding Program. *Plant Breeding Reviews*. 39. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119107743.ch08>.

HOBLYN, T.N., GRUBB, N.H., PAINTER, A.C., and WATES, B.L. 1936. Studies in Biennial Bearing. I. *Journal of Pomology and Horticultural Science*. 14(1), 39–76. DOI: <https://doi.org/10.1080/03683621.1937.11513464>.

IWANAMI, H., MORIYA-TANAKA, Y., HONDA, C., HANADA, T., and WADA, M. 2019. Apple thinning strategy based on a model predicting flower-bud formation. *Scientia Horticulturae*. 256, 108529. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.056>.

KARKEE, M. 2024. Robotics for tree fruit orchards. *Acta Horticulturae*. 1395, 359–368. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1395.47>.

LAŇAR, L., 2023. Jak přežít na trhu s jablky? Základem je vysoký výnos. *Zahradnictví*. 22(3), 22–25. ISSN: 1213-7596.

MÉSZÁROS, M., BĚLÍKOVÁ, H., ČONKA, P., and NÁMĚSTEK, J. 2018. Diagnostika výživného stavu jabloní metodou DRIS. Certifikovaná metodika. Holovousy: Výzkumný a šlechtitelský ústav ovocnářský Holovousy, ISBN: 978-80-87030-63-9.

MÉSZÁROS, M., SCHÁŇKOVÁ, K., NÁMĚSTEK, J., PLAVCOVÁ, L., FIALA, R., SVOBODA, P., HABERLE, J., and LITSCHMANN, T. 2023. Stanovení potřeby a strategie zavlažování v ovocných sadech. Certifikovaná metodika. Holovousy: Výzkumný a šlechtitelský ústav ovocnářský Holovousy, 2023. ISBN: 978-80-87030-89-9. DOI: <https://doi.org/10.60615/VNNA-HQ23>.

NĚMCOVÁ, V., and BUCHTOVÁ, I., 2024 *Ovoce, Situační a výhledová zpráva*, MZe ČR, 2017, 50. ISBN 978-80-7434-419-0.

PALMER, J. W., WÜNSCHE, J. N., MELAND, M., HANN, A. 2002. Annual dry-matter production by three apple cultivars at four within-row spacings in New Zealand. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 77(6), 712–717. DOI: <https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511561>.

R CORE TEAM. 2020 *R: a language and environment for statistical computing* [software]. [přístup 2025-06-07]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Dostupné z: <http://www.R-project.org/>.

ROBINSON, T.L. 2022. The physiological basis of orchard system performance with respect to light interception and light conversion efficiency. *Acta Horticulturae*. 1346, 207–218. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1346.27>.

ROBINSON, T. L., FRANCESCOTTO, P., and LORDAN, J. 2021. Advances in precision crop load management of apple. *Acta Horticulturae*. 1314, 133–138. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1314.18>.

TUSTIN, D.S., VAN HOOIJDONK, B.M., and BREEN, K.C. 2018. The Planar Cordon – new planting systems concepts to improve light utilisation and physiological function to increase apple orchard yield potential. *Acta Horticulturae*. 1228, 1–12. DOI: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2018.1228.1>.

VÁVRA, R., BLAŽEK, J., VEJL, P., and JONÁŠ, M. 2017. Evaluation of biennial bearing of apple genotypes with columnar tree growth habit. *Acta Horticulturae*. 1172, 395–398. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1172.75>.

VÁVRA, R., VEJL, P., and BLAŽEK, J. 2021. Tree architecture of columnar apple tree genotypes. *Acta Horticulturae*. 1314, 337–344. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1314.42>.

VERMA, P., SHARMA, S., SHARMA, N.C., CHAUHAN, N. 2023. Review on crop load management in apple (*Malus x domestica* Borkh.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 98(3), 299–321. DOI: <https://doi.org/10.1080/14620316.2022.2149425>.

ZHANG, Q., KARKEE, M., and TABB, A. 2019. The use of agricultural robots in orchard management. In: BILLINGSLEY, J. (ed.). *Robotics and automation for improving agriculture*. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing Limited, pp. 187–214. DOI: <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2019.0056.14>.

8 Seznam publikací, které předcházely metodice

LAŇAR, L., 2023. Jak přežít na trhu s jablky? Základem je vysoký výnos. *Zahradnictví*. 223, 22–25. ISSN: 1213-7596.

LAŇAR, L., SCHÁŇKOVÁ, K., and NÝVLT, L. 2024. Different crop load management on columnar apple trees: first year results. *Acta Horticulturae*. 1395, 283–288. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2024.1395.37>

v y d á v á

OSVĚDČENÍ

UKZUZ 185207/2025

o uznání metodiky v souladu s podmínkami Metodiky hodnocení výzkumných organizací a programů účelové podpory výzkumu, vývoje a inovací, schválené usnesením vlády dne 8. února 2017, číslo 107 a její samostatné přílohy č. 4 schválené usnesením vlády dne 29. listopadu 2017 č. 837.

Název metodiky: **Sad 4.0 – Metodika agrotechniky sadu sloupovitých jableň vhodného pro robotizaci a automatizaci**

Autor/autoři: Ing. Luděk Laňar, Ph.D., Ing. Klára Scháňková, Ing. Lubor Zelený,
Ing. Jan Náměstek, Ph.D., Bc. Lukáš Nývlt

Název organizace/cí:
VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OVOCNÁŘSKÝ HOLOVOUSY s.r.o.

Místo vydání: **Holovousy**
Rok vydání: **2025**

Tato metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu Národní agentury zemědělského výzkumu QK21010170 „Nová koncepce sadů s nástupem technologií 4.0“ Projekt byl řešen v letech 2021–2025.

Brno 11. 11. 2025

Ing. Daniel Jurečka
ředitel ústavu

.....
podpis/elektronický podpis
zástupce odborného útvaru státní správy

Souhlas ředitele Odboru precizního zemědělství, výzkumu a vzdělávání MZe ČR:

V dne

.....
podpis/elektronický podpis
ředitele/ředitelky
Odboru precizního zemědělství,
výzkumu a vzdělávání

Sad 4.0 - Metodika agrotechniky sadu sloupovitých jabloní vhodného pro robotizaci a automatizaci

Vydal:

VÝZKUMNÝ A ŠLECHTITELSKÝ ÚSTAV OVOCNÁŘSKÝ HOLOVOUSY s. r. o.
Holovousy 129, 508 01 Holovousy

1. vydání, 2025

ISBN 978-80-88669-05-0 (online; pdf)

<https://doi.org/10.60615/0jpw-gb95>