

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky



**Agronomická
fakulta**

**Mendelova
univerzita
v Brně**



Stroje pro aplikaci digestátu

Diplomová práce

Vedoucí práce:

doc. Ing. Jan Červinka, CSc.

Vypracoval:

Bc. Martin Zeman

Brno 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: STROJE PRO APLIKACI DIGESTÁTU vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předemtná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ:

Chci poděkovat vedoucímu mé práce, panu doc. Ing. Janu Červinkovi, CSc. za připomínky a poznámky, které vedly ke zkvalitnění této práce.

ABSTRAKT:

Práce pojednává v první části o současných strojích pro manipulaci s digestátem-tažené cisterny a samojízdné aplikátory. Dále se zabývá různými variantami aplikátorů a doplňkových strojů používaných pro aplikaci digestátu. Dále je popsána kvalita aplikace vybraného stroje a provedené ekonomické a technické zhodnocení variant aplikace. Následuje vyhodnocení polního měření zaměřeného na vstřebání živin do půdy v závislosti na metodě aplikace. Poslední částí je návrh optimalizace plynoucí z výsledků měření.

Klíčová slova: digestát, aplikace, hnojení, živiny, půda

ABSTRACT:

The work deals with the first part of the existing machines for handling the digestate - drawn tanks and self-propelled applicators. It also deals with various variants of applicators and ancillary equipment used for application of digestate. It is also described by the quality of the selected machines and of the economic and technical evaluation of the application options. Followed by evaluation of field measurements focused on the absorption of nutrients in the soil, depending on the method of application. The last part of the work is optimization resulting from the measurement results.

Key words: digestate, application, fertilization, nutrients, soil

OBSAH:

OBSAH:	5
ÚVOD:	6
CÍL PRÁCE	10
1 PŘEHLED STROJŮ PRO APLIKACI DIGESTÁTU	11
1.1 TAŽENÉ CISTERNY PRO APLIKACI DIGESTÁTU	12
1.2 SAMOJÍZDNÉ CISTERNY PRO APLIKACI DIGESTÁTU	16
1.3 DRUHY APLIKÁTORŮ.....	21
1.3.1 <i>Povrchové aplikátory</i>	22
1.3.2 <i>Podpovrchové aplikátory</i>	29
1.4 DOPLŇKOVÉ PRODUKTY	37
2 ZHODNOCENÍ PRÁCE APLIKÁTORU ZUNHAMMER	40
3 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ STROJŮ	42
4 METODIKA POLNĚ-LABORATORNÍHO MĚŘENÍ	45
5 VYHODNOCENÍ POLNĚ-LABORATORNÍHO MĚŘENÍ	46
6 NÁVRH ÚPRAV APLIKACE V ZEMĚDĚLSKÉM PODNIKU	56
7 ZÁVĚR	57
8 POUŽITÉ ZDROJE	60
9 SEZNAM OBRÁZKŮ	62
10 SEZNAM TABULEK	64
11 SEZNAM GRAFŮ	65

ÚVOD:

Zemědělství v dnešní době již není pouze nástrojem pro zabezpečení dostatku potravin, ale čím dál tím více je znát jeho vliv na vzhled krajiny a její funkčnost. Zemědělství ovlivňuje nejen ráz krajiny, ale také ekosystémy a rostlinné a živočišné druhy v dané oblasti. V rámci zemědělské činnosti jsou udržovány např. remízky nebo meze, které přispívají i ke snížení vodní či větrné eroze a také podporují život zvířete v zemědělské krajině. Zemědělci se dnes ovšem zabývají i produkcí elektrické a tepelné energie či produkcí hnojiv např. pro zahrádkáře.

Toto odvětví není klasickým tržím odvětvím, neboť je deformováno dotacemi. I v důsledku těchto dotací je zemědělství odvětvím, kde není jistota uhrazení vlastních nákladů. V podmínkách České republiky je například nerentabilní chov prasat, popř. pěstování brambor na malých výměřích v důsledku polské konkurence. Polské podniky si mohou dovolit prodávat za nižší ceny díky vyšším národním dotacím.

Zemědělství je tvořeno dvěma základními částmi – rostlinnou a živočišnou výrobou. Rostlinná výroba je zaměřena na pěstování polních plodin pro výživu lidí a zvířat a plodin k technickému či farmaceutickému využití. Významné jsou zejména obiloviny, okopaniny, luskoviny či pícniny. Dále jsou důležité i speciální plodiny jako chmel, vinná réva, ovoce, zelenina nebo olejniny. Živočišná výroba produkuje zejména maso, mléko či vejce nebo med. Mezi živočišné produkty patří maso drůbeže, ovcí, koz, prasat, skotu, ryb. I živočišná výroba má vliv na ráz krajiny zejména v horských a podhorských oblastech, kde je důležitý pastevní chov skotu a ovcí.

Obecný trend v zemědělské prvovýrobě jsou větší podniky a větší mechanizace pro minimalizaci nákladů na jednotku plochy. S tím souvisí i nutnost snižování potřeby lidské práce z důvodu nižšího zájmu o práci v tomto sektoru – reakcí na to jsou větší záběry strojů a zvyšující se denní výkonnost. Vzhledem k velikostem ploch je logickým krokem také masivnější využívání elektronických systémů a systémů precizního zemědělství. Systémy precizního zemědělství mají za úkol zlepšit využívání půdy a její stav a snížit náklady na hnojení a počet přejezdů po poli. Utužení půdy, vodní a větrná eroze jsou výrazným celosvětovým problémem.

S nárůstem populace souvisí i větší spotřeba elektrické energie. Ta je v současnosti v největší míře stále produkována elektrárnami na fosilní paliva. Reakcí

na globální oteplování planety jsou snahy o maximální využívání přírodních obnovitelných zdrojů – sluneční, větrné a vodní energie.

Vzhledem ke snahám o maximalizaci produkce ekologické energie je logickým krokem i zvyšování počtu bioplynových stanic. Tyto stanice využívají materiál jak ze zemědělské prvovýroby, tak i například městskou zeleň nebo čistírenské kaly. V České republice je k 1.1.2016 celkem 554 bioplynových stanic – toto číslo nás řadí na 6.místo v Evropě. Stavění nových BPS není dnes už tak aktuální kvůli malé dotační podpoře, problémům se získáním přípojních míst od ČEZ a nižším dotacím na kWh zelené elektrické energie od státu.

V bioplynové stanici probíhá proces zvaný anaerobní fermentace. Při tomto procesu bakterie rozkládají vstupní materiál na bioplyn (směs metanu, oxidu uhličitého, vody, sirovodíku a amoniaku). Anaerobní fermentace je považována za jednu z energeticky nejúčinnějších metod výroby bioenergie. Zemědělská bioplynová stanice pracuje nejčastěji s více druhy surovin – kejda, hnůj, kukuřičná siláž, travní senáž. Tato technologie, nazývaná kofermentace, zvyšuje výtěžnost bioplynu. Proces probíhá ve fermentoru, jehož velikost je závislá na výkonu kogeneračních jednotek. Pro bioplynovou stanici s elektrickým výkonem 1,2 MW jsou vhodné dva fermentory pro hlavní proces fermentace a jeden dofermentor, kam je po určité době substrát přečerpán. Dofermentor zvyšuje výtěžnost bioplynu ze substrátu. Produkce bioplynu v něm je výrazně nižší než ve fermentorech. Samotnou výrobu bioplynu zajišťují metanogenní bakterie při teplotě kolem 42 °C. Metan je jímán pod plachtou fermentoru – v plynojemu, odkud je veden potrubím ke kogeneračním jednotkám – motorům. Tyto motory spalují metan a jsou propojeny s generátorem elektrické energie. Další produktem spalování je odpadní teplo motorů, které je možné dále využívat k vytápění budov, sušení zemědělských komodit atd. Po proběhnutí procesu anaerobní fermentace organické hmoty vzniká odpadní materiál – digestát. Ten je čerpán do skladovacích jímek s kapacitou půlroční produkce.

Digestát je stabilizovaný materiál v kapalné podobě. Je to kvalitní organominerální hnojivo, které má ve srovnání s kejdou několik výhod. Fermentací dochází k redukci zápachu a patogenů, je snížena klíčivost semen plevelů. Také je snížen obsah snadno rozložitelného uhlíku, obsah organického uhlíku je zachován stejně jako obsah živin N, P, K. Oproti kejdě má nižší žíravý účinek na plodiny.

V rámci zemědělského podniku je digestát organické hnojivo, které nepodléhá registraci ani ohlášení. Digestát se může také stát odpadem podle zákona č.185/2011Sb za předpokladu, že je šířen do oběhu jako schválené hnojivo a nesplní požadované jakostní znaky – zejména obsah rizikových látek (rtuť, kadmium, olovo, chrom, měď, zinek atd.). Také může být odpadem jestliže jeho původní účel jako hnojivo zanikl.

Nakládání s digestátem má několik směrů a možností – je možné využívat přímo tekutý digestát, který můžeme aplikovat z cisterny na povrch pozemku nebo do půdy s využitím mnoha typů aplikátorů. Dále je možné digestát separovat na dvě složky – tekutou (fugát) a pevnou (separát) v poměru cca. 80 % fugátu a 20 % separátu. Obě tyto složky mají rozdílný vliv na půdu a plodiny. Vlastnosti fugátu jsou srovnatelné s minerálními hnojivy, separát dodává do půdy organické látky. Další možné využití separátu je jako součást podestýlky skotu, složka pro výrobu kompostu popř. zahradnických substrátů. Nezanedbatelnou výhodou je možnost jeho snadnějšího transportu v rámci zemědělského podniku a také jeho lehčí skladování. [1]

V návaznosti na výše popsané trendy je nutné přizpůsobovat i mechanizaci používanou k manipulaci s digestátem. Obecně můžeme říci, že pracovníků v zemědělství ubývá a je tedy nutné investovat do větších a výkonnějších strojů aby klesla potřeba lidské pracovní síly. Dalším žádoucím efektem je snížení počtu přejezdů po pozemcích a snižování utužení půdy. Samozřejmostí je nutnost dodržování agrotechnických termínů, což by dnes při rostoucích výměřích pozemků obhospodařovaných velkými podniky nebylo možné.

Výroba strojů pro kejdové hospodářství a nakládání s digestátem je perspektivní oblast a věnuje se jí značné množství výrobců zemědělské techniky. V současné době je známo několik koncepcí linky pro aplikaci digestátu.

Využívá se například několik cisteren, přičemž každá má svůj aplikátor. U hadicových aplikátorů toto není problém, ale v případě zapravení digestátu pod povrch se může jednat o nákladnou investici – je nutný výkonnější tažný prostředek a zařízení podpovrchového aplikátoru pro všechny cisterny může být nákladnou záležitostí. Také je nutné skloubit záběry všech strojů, aby se nezvyšoval počet přejezdů po pozemku.

Dalším řešením je samojízdný aplikátor, který obstarává zapravení do půdy a několik přívozních cisteren, které naváží digestát na kraj pole buď přímo do cisterny

aplikátoru, nebo do překládacího kontejneru na kejdu a digestát. Tato varianta je z hlediska pořizovacích nákladů náročnější, ale vyšší výkonnost aplikátoru a méně pojezdů po pozemku to ve velkém podniku v dlouhodobém časovém měřítku vykompenzují.

Další variantou je využití sedlových tahačů velkokapacitních cisteren jako přívozných prostředků. Tato varianta má smysl pouze na velké vzdálenosti ve velkém podniku.

Všechny popsané varianty mají společný cíl - snižování nákladů na hnojení, maximální využití hnojivého potenciálu digestátu a nejvyšší možnou rychlost vyvážení. Ta je velmi důležitá, protože bioplynové stanice mají skladovací kapacity plánované na půl roku provozu. Vzhledem k dotačním pravidlům a nitrátové směrnici není možné hnojiva s rychle uvolnitelným dusíkem aplikovat celoročně, tudíž je na jaře a před zimou nutné aplikovat velká množství digestátu v krátkém časovém období pro dodržení agrotechnických termínů.

CÍL PRÁCE

Cílem práce je popsat stroje a technologie používané pro aplikaci digestátu a konkretizovat zástupce u každé technologie od vybraných výrobců a u vybraného stroje zhodnotit kvalitu práce a aplikace. Dále je cílem provést ekonomické zhodnocení různých variant nakládání s digestátem a na závěr popsat polně-laboratorní měření zaměřené na vstřebávání živin do půdy a navrhnout možnosti optimalizace aplikace pro zemědělský podnik.

1 PŘEHLED STROJŮ PRO APLIKACI DIGESTÁTU

Cisterny pro manipulaci s digestátem pro potřeby této práce rozdělím na samojízdné a tažené. Samojízdné jsou většinou kombinací produktů dvou výrobců – jeden výrobce dodává nosič nástaveb přizpůsobený potřebám výrobce cisternové nástavby. Tažené cisterny jsou většinou obdobným produktem u většiny výrobců s drobnými obměnami některých technologických částí.

Běžně se objemy aplikačních cisteren pohybují v rozmezí 5000 – 30 000 litrů. Jsou vybaveny nádrží v pozinkovaném provedení nebo vyrobené ze speciální odolné oceli nebo z plastu. Plastové nádrže dovolují velmi nízko uložené těžiště. Pro přídatné dotížení traktoru dovolují některé typy podvozků hydraulický posun nápravy dozadu či přenos části hmotnosti cisterny na traktor pomocí posilovače trakce integrovaného v oji. [2]

Samojízdné aplikátory mají buď vyměnitelné nástavby od specializovaného dodavatele na univerzální systémový nosič a nebo jsou využívány pouze pro tuto činnost bez možnosti výměny nástavby. Výkony motorů těchto nosičů se pohybují v rozmezí 220 – 440 kW. Bývají vybaveny nasávacím ramenem s možností sání z přívozní cisterny, jímky a nebo polního kontejneru. Tyto aplikátory většinou umožňují jízdu krabím chodem pro snížení utužení pozemku.

Velmi důležitou součástí jsou povrchové a podpovrchové aplikátory. V tomto segmentu jsou rozdíly v přístupu u jednotlivých výrobců více znatelné. Nezanedbatelnou roli v hrají v dnešní době elektronické systémy pro tyto stroje a další systémy související s manipulací s digestátem.

1.1 Tažené cisterny pro aplikaci digestátu

Tažené cisterny využívají pro svůj pohyb po pozemku i pro další úkony energie mechanizačního prostředku – traktoru. Tyto cisterny jsou dodávány v provedení s čerpadlem, bez čerpadla a jako transportní cisterny. Objemy cisteren jsou dle požadavků podniku od 3000 l až po cisterny s objemem přesahujícím 32 000 l. V závislosti na objemu se mění provedení podvozku – od jednonápravových až po čtyřnápravové.

Nádrže se vyrábějí z materiálů odolných koroznímu působení kejdy a digestátu – zinkované oceli, speciální oceli nebo sklolaminátu. Výrobci jsou v dnešní době většinou schopní nabídnout nádrž z materiálů dle požadavků zákazníka. Uvnitř nádrže se nacházejí vlnolamy, které zabraňují nežádoucímu pohybu digestátu. Nádrže mají takový tvar, aby zabraňoval usazování digestátu a bylo možné ji beze zbytku vyprázdnit.

Pro čerpání digestátu do cisterny se používá několik systémů. Nejjednodušší je vrchní plnění cisterny cizím čerpadlem – např. u bioplynové stanice nebo jímky. Další možností je vlastní čerpadlo – např. čerpadla s rotujícími písky firmy Vogelsang, výstředníková šneková čerpadla, turbo čerpadla (odstředivá čerpadla). Velmi používané jsou také vakuokompresory – vývěvy. Výhodou je, že čerpaný materiál neprochází vývěvou a tudíž ji neopotřebovává. Nevýhodou je, že cisterna pouze pomocí vývěvy nejde zcela zaplnit, dále obecně pomalejší nasávání oproti čerpadlům.

Zunhammer K 3200 PUE

Zástupce nejmenší kategorie cisteren pro malé zemědělce. Váha 1500 kg a objem 3 200 l s lehkou sklolaminátovou nádrží zajišťují nízké těžiště. Plastová nádrž je odolná vůči korozi, což zemědělec ocení v dlouhé životnosti nádrže.



Obr. 1.1. Cisterna Zunhammer K 3200 PUE [3]

Joskin Modulo2

Další zástupce nejmenší řady cisteren, u kterého je zajímavá jeho samonosná konstrukce nádrže – cisterna je přivařena k integrální kolébce, na kterou se soustřeďují vlečné síly. Oj stroje umožňuje agregaci různých čerpadel a různé druhy odpružení. Objem 3 200 l. [4]



Obr. 1.2. Cisterna Joskin Modulo2 [4]

Zunhammer SKE 18500 PU

Zástupce střední třídy cisteren na tandemovém podvozku s objemem 18 500 l. Váha 4 100 kg a nízké těžiště předurčují tuto cisternu k využití i na svažitéjších pozemcích. Specialitou řady Eko je vedení digestátu do cisterny rámem stroje – odpadá tak jedno potrubí, čímž dochází ke snížení hmotnosti, úspoře materiálu a možnosti nižšího těžiště stroje. Velký průřez rámu dále dovoluje snížení tlaku oproti tradičnímu vedení potrubím, což má za následek úsporu nafty a nižší opotřebení čerpadla. Nádrž je vyrobena z laminátu a vyztužena skelnými vlákny typu GFK. [3]



Obr. 1.3. Cisterna Zunhammer SKE 18500 PU [3]

Annaburger HTS 22.28

Tento výrobce používá k výrobě nádrží výhradně laminát GUP (polyester tvrzený skelnými vlákny). Cisterna srovnatelného objemu 18 000 l je v porovnání s ocelovou verzí minimálně o jednu tunu lehčí – váží 4000 kg. Standardním plnicím prostředkem je vývěva, u větších modelů rotační pístové čerpadlo Vogelsang. To je díky pozici v rámu schopné nasát z hloubky až 5 metrů. Samozřejmostí je box pro zachytávání nečistot. [5]



Obr. 1.4. Cisterna Annaburger HTS 22.28 [5]

Kotte Garant VT 18.500

Cisterna výrobce Kotte o objemu 18 500 l může být vyrobena z pozinkované oceli nebo z laminátu a obsahuje 3 šroubované vlnolamy. Varianta s ocelovou nádrží má hmotnost 6 600 kg. Výška je 3,6-3,9 metru. Plnicím prostředkem může být dle přání vývěva, rotační pístové čerpadlo nebo šnekové čerpadlo. [6]



Obr. 1.5. Cisterna Kotte Garant VT 18.500 [6]

Veehuis Premium 36 000

Jedna z největších transportních cisteren na trhu s kapacitou 36 000 l. Základem cisterny je podvozek na čtyřech osách s hydraulickým odpružením, přičemž první osa může být na přání zvedatelná. Cisterna se vybavuje dvojicí vývív nebo čerpadel, aby bylo zajištěno rychlé čerpání digestátu. Tato cisterna je primárně cílena jako transportní, ale na přání zákazníka je možné ji vybavit aplikačními rameny nebo i závěsem pro povrchový typ aplikátoru. [7]



Obr. 1.6. Cisterna Veehuis Premium 36 000 [7]

Zunhammer ULT 24

Nová koncepce transportní cisterny – nádrž ze sklolaminátu bez přidavného rámu. Podvozek na třech osách odpružených vzduchem je spojen přímo s nádrží. Vlastní hmotnost cisterny je 5 000 kg, objem přepravovaného digestátu 21 000 l. Díky konstrukci z laminátu se skleněnými vlákny GFK není nutné žádné vyztužení ani další povrchová úprava nádrže. [3]



Obr. 1.7. Cisterna Zunhammer ULT 24 [3]

Návěsná automobilová cisterna Zunhammer

Další variantou pro transport digestátu jsou automobilové návěsné cisterny. Využití najdou ve velkých podnicích, které vlastní sedlové tahače a potřebují digestát dopravit na větší vzdálenosti, případně potřebují rychlé zásobování aplikátoru na poli. Tyto cisterny nabízí spousta výrobců s variantami čerpadel i plnění a vyprazdňování. Vše záleží na požadavcích zemědělce. Největší varianta nabízená firmou Zunhammer má objem 28 000 l na třech nápravách s celkovou hmotností 37 t.



Obr. 1.8. Návěsná automobilová cisterna Zunhammer [3]

1.2 Samojízdné cisterny pro aplikaci digestátu

Samojízdné cisterny pro aplikaci digestátu se obecně dodávají ve dvou variantách – buď jako vyměnitelná nástavba/připojitelná část systémového nosiče nebo pevná část systémového nosiče, která z něj dělá jednoúčelový stroj.

Na těchto strojích obecně spolupracují vždy dva výrobci – jeden dodává systémový nosič, druhý zajišťuje nástavbu pro manipulaci s digestátem. Do této spolupráce se zapojují výrobci např. Claas, Holmer, Challenger, AEBI nebo Reform jako dodavatelé systémových nosičů. Nástavbu pro manipulaci s digestátem je schopna dodat většina výrobců těchto strojů – např. Zunhammer, Kaweco, Kotte atd. Výjimkou z tohoto schématu je firma Vredo a Challenger. Tyto firmy si nástavbu řeší samy, nakupují pouze dílčí části, např. čerpadla Vogelsang.

Výhodou těchto strojů je vyšší výkonnost při zapravování, možnost krabího chodu a tím pádem snížení utužení kolejí a celého pozemku. Vzhledem k výkonným motorům je možné agregovat maximální záběry zapravovacího pracovního nářadí. Pro zajištění očekávaného výkonu při práci na poli je nutné správně nadimenzovat soupravy přivázející digestát na pole. Ideální stav je, když cisterna zajede na úvrať, kde se stroj právě nachází. Tato varianta bývá lepší než varianta s překládacím kontejnerem, který může být problémový v případě dlouhých pozemků – stroj se nezvládne na jedno naplnění vrátit zpět ke kontejneru a vznikají tak zbytečné prostoje a nepracovní přejezdy.

Claas Xerion Trac + Kaweco Double Twin-Shift

Tato souprava je zástupcem variabilního využití tažného prostředku a je na rozmezí mezi taženými a samojízdnými cisternami – tato cisterna je vyrobena speciálně pro agregaci s traktorem Xerion, případně pro jiný systémový nosič. Připojuje se pomocí koule K-110, která dovoluje svislé zatížení 15 000 kg. Nelze ji tahat klasickým traktorem. Z tohoto důvodu je souprava zařazena do samojízdných aplikátorů.

Cisterna Kaweco Double Twin-Shift je vyráběna v objemech 24 – 32 000 litrů, což zajistí vyčerpání transportní cisterny najednou a zjednoduší logistiku. Jednou z možností nasávání digestátu je teleskopické nasávací rameno umístěné uprostřed cisterny. Nasávací rameno může být dále umístěno v přední části nosiče Xerion. Čerpadlo cisterny je poháněno od hydrauliky nosiče. Hydrogenerátor nosiče dosahuje maximálního průtoku při otáčkách $1650 \cdot \text{min}^{-1}$, které jsou nižší, než při pohonu čerpadla od vývodového hřídele. Při aplikaci je vyčerpána nejprve zadní část cisterny a následně až přední část. Toto řešení je zvoleno z důvodu stálého dotěžování traktoru.

Ojedinelé je řešení připojení k nosiči pomocí „labutího krku“ a také čtyři pneumatiky umístěné na jedné ose. Při aplikaci se dvě krajní kola hydraulicky vysunou o 50 cm a všechna 4 kola cisterny jedou mimo stopu kol nosiče, který jede krabím chodem, což zajišťuje nízké utužení hnojeného pozemku. Díky roztažení kol se také zvyšuje svaňová dostupnost. [8]



Obr. 1.9 Claas Xerion Trac + Kaweco Double Twin-Shift [8]

Claas Xerion SaddleTrac + Kotte Garant

Další varianta systémového nosiče Claas Xerion s pevnou nástavbou Kotte Garant. Systémový nosič má oproti předešlé variantě kabinu umístěnou nad motorem a celá zadní část stroje je využita nástavbou na digestát. Oproti předešlé variantě není možné nástavbu vyměnit, takže stroj je pouze jednoúčelový. Výhodou oproti předešlé variantě je možnost připojení další cisterny a zvýšení celkové kapacity stroje – vlastní nástavba stroje na 16 000 l + připojená cisterna např. 21 000 l.

Pro vyšší svahovou dostupnost takové soupravy se dodává přídatná hydraulická stabilizace přední nápravy. Při nasávání digestátu je plněna nejdříve nástavba stroje a poté přivěsná cisterna, při vyprazdňování je postup opačný. Důvodem je stále dostatečné zatížení nosiče pro zajištění odpovídající trakce pneumatik. [8]



Obr. 1.10 Claas Xerion SaddleTrac + Kotte Garant [9]

Vredo VT7028

Tento samojízdný aplikátor nizozemského výrobce je největším strojem z jeho výrobního programu. Podvozek je volitelně se dvěma nebo třemi nápravami s hydraulickým odpružením. O pohon se stará motor Deutz s výkonem 505 kW (2890 Nm při $1400 \cdot \text{min}^{-1}$) a plynulou převodovkou se dvěma volitelnými rozsahy $0-20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a $0-50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Díky krabímu chodu a velkým pneumatikám o rozměru 900/60R42 s možností jejich dofukování bude minimalizováno nežádoucí utužování půdy. Nádrž o maximální kapacitě 32 000 l je plněna výkonným čerpadlem Vogelsang o výkonu $12\,000 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Čerpadlo také umožňuje plynule měnit dávku hnojiva na hektar za jízdy. Nasávací rameno je umístěna v přední části stroje, čímž je zajištěn perfektní výhled na připojování k transportní cisterně. Rameno se může pohybovat v úhlu 120° . Před čerpadlem je řezací hlava a lapač velkých příměsí. [10]

Celý stroj je koncipovaný jako systémový nosič a umožňuje případnou výměnu nástavby za spoustu dalších – na cukrovou řepu, brambory, obilí.



Obr. 1.11. Vredo VT7028 [10]

Holmer TerraVariant 600Eco + Zunhammer

Tato kombinace je postavena na výkonném systémovém nosiči Holmer TerraVariant. Motor Mercedes-Benz o výkonu 441 kW pohání pod zatížením řazenou převodovku. Ta disponuje 18 převodovými stupni pro jízdu vpřed a 6 pro jízdu vzad, přičemž maximální rychlost je $40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ se stálým pohonem všech čtyř kol. Nápravy jsou hydraulicky odpružené s možností regulace bočního podepření pro vyšší svahovou dostupnost.

Nástavba od firmy Zunhammer má objem 21 000 l, je vyrobena z plastu vyztuženého skelnými vlákny GFK a má 3 vlnolamy. Nasávací trubka má délku 5,7 m a rozsah jejího otočení je 170 °. O dopravu digestátu se stará čerpadlo Vogelsang o výkonu 9000 l·min⁻¹ v kombinaci s řezací hlavou stejného výrobce s odlučovačem cizích těles. [3]



Obr. 1.12. Holmer TerraVariant 600Eco + Zunhammer [3]

Challenger TerraGator 9205

Zástupce samojízdných aplikátorů od firmy Challenger umožňuje také výměnu nádrže na digestát za jiné nástavby jako předchozí stroje. Pohon zajišťuje motor Caterpillar o výkonu 338 kW, který pohání převodovku PowerShift se šestnácti stupni vpřed a třemi stupni vzad. Maximální rychlost stroje je 40 km·h⁻¹. Pohon je realizován na všechna čtyři kola s možností uzamknutí mezinápravového diferenciálu pro maximální trakci. Nástavba má objem 20 000 l, plnění zajišťuje čerpadlo Börger o výkonu 9000 l·min⁻¹. [11]



Obr. 1.13. Holmer Challenger TerraGator 9205 [11]

Aebi VT450 Vario + Zunhammer KARL 4000

Švýcarský systémový horský nosič Aebi je vytvořen pro práci na velmi svažitéch pozemcích. Pohon zajišťuje třílitrový motor o síle 80 kW se 420 Nm. Maximální rychlost stroje je $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ díky plynulému hydrostatickému pohonu. Váha samotného nosiče je 3 500 kg, maximální váha s nástavbou a digestátem 9 500 kg. [12]

V kombinaci s nástavbou Zunhammer Karl, která je nabízena v objemech 3000, 3500 a 4000 litrů tvoří horský mini-samojízdný aplikátor. Nástavba má velmi nízko položené těžiště, vlastní čerpadlo s plynulou regulací výkonu a možností počítačového řízení. Aplikátory se dodávají se záběrem šesti nebo devíti metrů. [3]



Obr. 1.14. Aebi VT450 Vario + Zunhammer KARL 4000 [12]

1.3 Druhy aplikátorů

Aplikátory u cisteren na digestát mají důležitou funkci – dodat digestát na pozemek v požadované formě a kvalitě. Velmi důležitá je rovnoměrnost aplikace nebo v případě, že jsou k dispozici mapy pro hnojení ze systémů precizního zemědělství, možnost změny dávky v průběhu přejíždění pozemku. Hlavním účelem aplikátorů je snížení emisí dusíku do ovzduší, což je největší problém v případě aplikace např. plošným rozstříkem. Dalším požadavkem na aplikátory je minimální zašpinění listů rostlin v případě aplikace do vzrostlého porostu. Důležitá je také správná hloubka uložení digestátu v případě použití podpovrchových aplikátorů a správné zaklopení digestátu ze minou.

Pro podpovrchové aplikátory používají výrobci buď vlastní stroje pro zpracování půd nebo používají stroje jiných výrobců, které upraví pro aplikaci digestátu. Podpovrchové aplikátory využívají jako pracovních orgánů buď radličky nebo disky s různým průměrem. Objevují se také stroje pro pásové zpracování pozemků a podkořenovou aplikaci digestátu, což snižuje náklady na zpracování pozemku a umožňuje s použitím krycí plodiny založení porostů kukuřice i na svažitéjším pozemku.

Povrchové aplikátory jsou nejčastěji řešeny jako nárazové hlavy pro plošný rozstřík a nebo hadicové aplikátory pro přesnější aplikaci na povrch pozemku i do vzrostlého porostu.

Každý podnik si nechává u specializovaných firem, popř. si dělá sám, rozbor digestátu na jednotlivé složky. Sleduje se obsah sušiny, dusíku, fosforu, draslíku, hořčíku, vápníku a celkové pH digestátu. Podle výsledků těchto rozborů stanovuje agronom dávku digestátu na hektar pozemku. Moderní systémy nasávání digestátu umožňují tento rozbor provádět jednotlivě pro každou nasátou cisternu během tříminutového sacího cyklu. Obsluha má tak přesný přehled o složení digestátu v nádrži a možnost nastavení dávky je ještě přesnější.

1.3.1 Povrchové aplikátory

Povrchová aplikace je jednodušším způsobem aplikace digestátu. Není k ní třeba speciálních částí strojů pro přímé zapravení. Při aplikaci na povrch pozemku se pro zapravení digestátu do půdy používají standartní stroje pro zpracování půdy – radličkové nebo diskové, popř. speciální. V některých případech se digestát ani nezapravuje.

Nejjednodušším způsobem povrchové aplikace je plošný rozstřík. Tato varianta je ovšem v některých zemích legislativně zakázána. Je také nejvíce ztrátová s ohledem k využití obsaženého dusíku. Plošný rozstřík bývá nejčastěji realizován pomocí nárazové hlavy – různé tvary tříštivého plechu. Nárazová hlava se dodává i v pohyblivé variantě, což zvyšuje záběr stroje. U některých výrobců je možné zakoupit varianty s několika nárazovými hlavami v pracovním záběru stroje. Takový stroj může mít potom záběr kolem 30 m. Výhodou těchto systémů je nízká pořizovací cena.

Druhým používaným způsobem povrchové aplikace jsou hadicové aplikátory. Ty jsou dnes standartně dodávanou součástí aplikačních cisteren. Dodávají se v záběru odpovídajícím objemu cisterny, často je možnost vybrat si k cisterně variantu ramen

vhodnou pro konkrétní potřeby zemědělského podniku. S cisternami se spojují buď pomocí čtyřbodového závěsu, což je vhodné pro případ výměny aplikátoru za jiný, např. podpovrchový, nebo s využitím konzole pro stabilní dlouhodobé spojení s cisternou. Součástí hadicových aplikátorů jsou rozdělovací, popř. řezací, hlavy, které zajišťují plynulý tok materiálu. Záběry hadicových aplikátorů se pohybují od 6 metrů pro malé cisterny až po záběr přes 30 metrů. V současnosti se také začínají dodávat teleskopicky výsuvná ramena se záběrem např. 12 – 15 metrů nebo 18 – 27 metrů. Rámy těchto ramen se vyrábějí ze slitin hliníku s požadavkem na nízkou hmotnost a vysokou odolnost. Skutečný high-tech jsou ramena karbonová, která jsou zatím pouze ve fázi testování. Jejich využití však rozhodně přijde, stejně jako u postřikovačů, kvůli rostoucím záběrům strojů a pevnosti karbonu – je šestkrát pevnější než ocel a 5,5x lehčí, třináctkrát pevnější než hliník a dvakrát lehčí.

Požadavkem na hadice je jejich maximální odolnost vůči ohybu. Dále je nutné zabezpečit hadice proti nežádoucímu odkapu digestátu v nepracovním čase, např. během přejezdů po silnici. To děje např. otočením hadic otvory vzhůru. Průměr hadic se pohybuje kolem 40 – 50 mm. Hadice je možné osadit různými typy botek pro aplikaci do rýh atd. Digestát putuje od vyprazdňovacího otvoru cisterny do rozdělovací hlavy, která zajišťuje rozdělování do jednotlivých hadic.

Rozstříkovací koncovky

Pokud se podnik rozhodne pro plošnou aplikaci na povrch pomocí rozstříkovací koncovky, tak může vybírat z několika typů, přičemž každý má své specifické vlastnosti.

- Kuželové koncovky disponují nastavitelnou odrazovou deskou, kterou se nastává výška rozstříku. Množství se nastavuje omezující klapkou.



Obr. 1.15. Kuželové rozstříkovací koncovky [13]

- Nízkoúrovňové koncovky provádějí aplikaci v minimální možné vzdálenosti od země. Digestát je směřován na desku, která tvoří horizontální rozprašovací trysku. Díky tomu je redukován nežádoucí rozptyl větrem.



Obr. 1.16. Nízkoúrovňové rozstřikovací koncovky [13]

- Invertované koncovky směřují proud digestátu přímo na povrch. Digestát je opět směřován na výškově nastavitelnou desku.



Obr. 1.17. Invertovaná rozstřikovací koncovka [13]

- Koncovky s přesným rozstřikem mají speciální tvar – vyvýšené postranní desky navádějí digestát směrem do středu a omezují tím nežádoucí rozstřík mimo nastavený kužel a to i při vysokém tlaku.
- Postranní rozstřikovací koleno opatřené deskou nebo lopatkami rozprašujícími proud umožňuje aplikaci i přes překážky, např. živý plot.
- Oscilující koncovky využívají tlak kapaliny ke svému pohybu do stran. Díky tomu je koncovka schopná pokrýt větší plochu při zachování rovnoměrnosti aplikace.



Obr. 1.18. Oscilující rozstřikovací koncovka [13]

- Rozstřikovací rám zvyšuje šířku aplikace digestátu díky třem tryskám.



Obr. 1.19. Rozstřikovací rám [13]

- Ramena s několika rozstřikovacími koncovkami jsou cestou ke zvětšení záběru a snížení aplikační vzdálenosti od povrchu. Tento typ je možné zakoupit se záběrem až 24 m se 16 tryskami.



Obr. 1.20. Ramena s rozstřikovacími koncovkami [13]

Hadicové aplikátory

Hadicové aplikátory jsou pro aplikaci celkově vhodnější – přesnější aplikace na povrch bez ovlivnění větrem, minimální zašpinění povrchu rostlin. Záběr si zemědělský podnik zvolí podle objemu cisterny, popř. podle zamýšleného osazení hadic např. botkami pro aplikaci do trávnickového drnu. Jejich výhodou je vysoká přesnost aplikace a nízké požadavky na výkon. Jedním z požadavků je také dobré kopírování terénu u tažených hadic.

- **Zunhammer TeleFix**

Základem tohoto aplikátoru je nosný rám se čtyřmi sekcemi ramen, kde krajní sekce jsou teleskopicky výsuvné – je tak možné měnit záběr ramen z 18 metrů na 27 metrů. Díky této funkci je možná agregace i na návěsných tandemových cisternách. Délka ramen v transportní poloze je 7,5 metru. Aplikátor má 94 aplikačních botek rozmístěných po 25 nebo 28 centimetrech. Jejich přesné plnění digestátem zajišťuje čtveřice rozdělovacích hlav. Připojení k cisterně je realizováno pomocí tří nebo čtyřbodového závěsu. Přizpůsobivá konstrukce perfektně kopíruje terén, navíc je možné ovládat jednotlivé sekce nezávisle na sobě. V případě použití aplikačních botek s hrotem je možný maximální přítlak na jednu botku až 6 kg. Váha ramen je 3 500 kg. [3]



Obr. 1.21. Zunhammer TeleFix [3]

- **Zunhammer Farmland-Fix**

Vlečné hadice v kombinaci s botkovým aplikátorem nabízejí široké spektrum použití – od aplikace do travního drnu až po aplikaci do vzrostlých porostů. Dí-

ky aplikačním botkám nejsou rostliny znečištěny digestátem a ten se dostává přímo do půdy – půda je narušena litinovou botkou s hrotem a digestát je ukládán do vzniklé rýhy. Dodávané varianty mají záběr od 9 metrů do 21 metrů a jejich použití je možné pro tažené i samojízdné cisterny. Váha největších ramen je 1 600 kg, počet aplikačních botek 90 a vzdálenost mezi nimi je 25 cm. O rozdělování proudu digestátu se starají tři rozdělovací hlavy. [3]



Obr. 1.22. *Zunhammer Farmland-Fix* [3]

- Zunhammer Glide-Fix

Tento aplikátor je oproti výše popsaným vybavený pružnými táhly, na kterých jsou uchyceny aplikační botky. Tato táhla jsou vyrobená z plastu se skleněnými vlákny GFK, což zajišťuje jejich lehkost, pevnost a pružnost. Tímto řešením je zajištěno perfektní kopírování terénu a kvalitní ukládání digestátu do vytvořené rýhy. Aplikátor je nabízen ve dvou pracovních šířkách – 12 metrů a 15 metrů. Kapacita aplikátoru je max. $12\ 000\ \text{l} \cdot \text{min}^{-1}$. [3]



Obr. 1.23. *Zunhammer Glide-Fix* [3]

- **Vogelsang DoubleSwing**

System dvojitych ramen využívá dvou jízd v jedné stopě – při první jízdě jsou ramena roztažena na záběr 36 metrů a je hnojená šířka od 18 do 36 metrů, při jízdě zpět se ramena sklopí a hnojí se šířka od 0 metrů do 18 metrů. Tento systém umožňuje snížení počtu kolejí na pozemku a hlavně snížení hmotnosti aplikačních ramen. Další výhodou je možnost použití menší aplikační cisterny spolu s tímto velkým záběrem. [14]



Obr. 1.24. Vogelsang DoubleSwing [14]

- **Vogelsang SwingMax 36**

Šířka záběru tohoto aplikátoru je maximálně 36 metrů, což umožňuje využívání kolejí po postřikovačích. Záběr stroje je flexibilní v rozpětí 24 metrů až 36 metrů díky částečné možnosti nastavení ramen. System TopSwing znamená sklápěcí koncové části ramen a samozřejmě je možnost jejich případného odpojení od přívodu kejdy v případě nevyužití plného pracovního záběru. Dále je využit systém TeleShift, který teleskopicky vysouvá a zasouvá střední část ramen a je využíván i pro snížení transportní délky ramen. Přesné dávkování kejdy je zajištěno třemi řezacími hlavami ExaCut. [14]



Obr. 1.25. Vogelsang SwingMax 36 [14]

- **Vogelsang BackPac**

Zajímavou variantou je využití hadicového rozvodu kejdy. Takový systém by byl ekonomicky náročný a využitelný jen pro malé procento podniků, ale i přesto firma Vogelsang nabízí aplikátor pro tento systém. Výhodou takového systému je odpadnutí nutnosti navážet kejdu. Aplikátor je připojen k traktoru a na poli se připojí na přívodní vedení digestátu. Vyráběn je v šířkách od 9 do 28 metrů.
[14]



Obr. 1.26. Vogelsang BackPac [14]

1.3.2 Podpovrchové aplikátory

Podpovrchové systémy aplikace vycházejí z požadavku zemědělců na maximální efektivitu strojů, snížení přejezdů po pozemcích, snížení ekonomických nákladů a minimální požadavky na lidskou práci. Podpovrchové aplikátory toto splňují spojením dvou operací do jedné – zpracování půdy a zapravení organického hnojiva. Podpovrchové aplikátory mají dnes pracovní orgány buď radličkové a nebo diskové, popř. jako rýhovací botky se zavlačováním. Vzhledem k požadavkům praxe jsou vyráběné pro zpracování orné půdy nebo travního drnu. Jsou obecně náročnější na tažný prostředek ve srovnání s povrchovými aplikátory kvůli odporu půdy při jakémkoliv zpracování. Moderním trendem pro snížení rizika eroze zemědělské půdy je pásové zpracování, případně setí kukuřice do krycí plodiny, čímž je umožněno využívat svažitéjší nebo erozně ohroženější pozemky pro pěstování kukuřice. Proto i výrobci aplikátorů nabízejí pásové zpracování půdy s přesným uložením digestátu do zpracované části.

- **Zunhammer ZuniDrill polní a travní**

Aplikátor ZuniDrill umožňuje zapravování do nezpracované orné půdy a po výměně pracovních orgánů také do travního drnu. Jedná se tak o celoročně využitelný stroj. Aplikátor provádí injektáž do hloubky 3 – 8 cm se současným promícháním s rostlinnými zbytky a půdou. Pracovními orgány jsou dva disky, kdy první rozevívá půdu a hned za ním je ukládán digestát a následně druhý disk vytvořenou drážku zase zahrnuje. Emise dusíku jsou tak omezeny na minimum. Každé dva disky jsou uloženy na samostatně odpružené slupici, aby se zabránilo poškození kameny. Drážka je vytvořena bez bočních tlaků, které utužují půdu a znemožňují zasáknutí digestátu. Pro práci na utužených pozemcích se dodávají ozubené kotouče. Pracovní hloubka je nastavena jedním kopírovacím kolem. Pracovní rychlost může být maximálně $14 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Pracovní šířka se pohybuje od 4,5 metru do 13,5 metru. Aplikátor s 13,5 m záběrem je možné dodat pouze na vlastním podvozku ZuniTrail kvůli jeho hmotnosti 4 200 kg. Varianta vlastního podvozku je dostupná pro všechny šířky aplikátoru ZuniDrill. [3]



Obr. 1.27. *Zunhammer ZuniDrill travní* [3]



Obr. 1.28. *Zunhammer ZuniDrill polní* [3]

- **Pichon EL8**

Botkový aplikátor do travního drnu dodávaný v šířkách 7,5 metru – 8,8 metru. Na tyto šířky je dodávána jedna rozdělovací a řezací hlava. Aplikátor dle nastavení vytváří tlak na půdu a botka zanechává rýhu pro uložení digestátu do půdy. [13]



Obr. 1.29. *Pichon EL8* [13]

- **Zunhammer ZuniDisc**

Základním požadavkem při konstrukci těchto disků bylo dokonalé promíchání zeminy s digestátem pro maximální přístupnost živin pro rostliny. Gumové pružné segmenty v kombinaci s ozubenými disky jsou zárukou kvalitní práce v jakémkoliv typu půdy. Jsou vyráběny s pracovním záběrem tři až šest metrů. Průměr disků je 510 mm a jsou umístěny ve dvou řadách za sebou. Aplikace digestátu probíhá mezi řady disků. Nastavení hloubky je řešeno předním opěrným kolečkem v kombinaci se zadním prutovým válcem. [3]



Obr. 1.30. *Zunhammer ZuniDisc* [3]

- **Zunhammer Kusgu**

Obdoba výše popsaného ZuniDiscu s novou konstrukcí disků a změněnou geometrií. Návrh proběhl kompletně počítačovou metodou a výsledkem byl nový tvar rámu s optimalizovanou tloušťkou materiálu v jednotlivých částech. Pra-

covní záběr je pět nebo šest a půl metru, pracovní rychlost od $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. [3]



Obr. 1.31. *Zunhammer Kusgu* [3]

- Zunhammer Zuni-Ject

Tento diskový aplikátor je určený pro samojízdné stroje. Je vhodný pro zapravení digestátu do luk, pastvin, obilnin. Pracovním orgánem jsou disky o průměru 300 mm vytvářející drážku pro uložení digestátu. Kotouče mají každý svůj paralelogram pro dokonalé kopírování pozemků a hydraulický systém zajišťuje konstantní hloubku zapravení v celé šířce záběru. Gumové koncovky jsou osazeny dvojčinnými písty pro zabránění odkapu při zastavení aplikace. Pracovní záběr je možné zvolit od 7 do 12 metrů. [3]



Obr. 1.32. *Zunhammer ZuniJect* [3]

- Vredo ZBFE

Dvojitě diskové elementy připevněné s paralelogramem na zinkovaném rámu s nezávislým mechanickým jištěním zajišťují výkonově nenáročnou aplikaci. [10]

- Kotte Garant Slurry Disc

Diskový aplikátor firmy Kotte je určený primárně na travní porosty, v omezené míře pro ornou půdu. Vyráběny jsou dvě verze – jedna pro tažené cisterny, druhá pro samojízdné stroje. Záběr verze pro tažené stroje je 6 m – 7,6 m, pro samojízdné stroje 7 m až 8,4 m. [6]



Obr. 1.33. Kotte Garant SlurryDisc [6]

- Kotte Garant PreMaister

Aplikátor vytvořený speciálně pro hnojení pozemků před setím kukuřice. Radličkový aplikátor zapraví digestát a následně disky se speciálním postavením vytváří malé hrůbky, které následně usnadní orientaci na pozemku. Je možné zpracovávat hrubou brázdu i připravený pozemek. Digestát je injektován tzv. pod patu osiva, což podpoří růst sazenic, protože zrno je uloženo zhruba 7 cm nad digestátem, a je tak od počátku dobře zásobeno živinami. Vytvořené hrůbky navíc podporují oteplení seťového lůžka a podporují snadnější klíčení při nízkých teplotách. Také podporují zachycování vody při dešti. Pracovní záběr od tří do šesti metrů. [6]



Obr. 1.34. Kotte Garant PreMaister [6]

- Pichon Big D EL7

Pracovními nástroji tohoto injektoru jsou 640 mm velké disky se škrabkami, každá dvojice nezávisle zavěšená, doplněná o tlakové kolo. Disk nadzvedne drn a vytvoří dutinu, do které je uložen digestát. Škrabka zabraňuje zvednutí půdy a tlakové kolo brázdu po aplikaci opět uzavře. Maximální pracovní hloubka je 20 cm. Pracovní záběr 3 – 4 metry. [13]



Obr. 1.35. *Pichon Big D EL7* [13]

- Zunhammer Vibro-Grubber

Jednoduchý radličkový aplikátor je levným řešením pro podpovrchovou aplikaci. Slupice jsou jištěné proti kamenům. Vyráběné šířky záběrů jsou od 2,45 metru do 6 metrů. Největší varianta má 23 slupic uspořádaných ve dvou řadách s maximální aplikační kapacitou $5\,000\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. [3]



Obr. 1.36. *Zunhammer Vibro-Gruber* [3]

- Pichon EL61

Tento radličkový aplikátor je zavěšen v hydraulickém závěsu cisterny. Pracovní hloubka je až 20 cm a šířka záběru 3 – 6 metrů. Aplikátor má dvojitý rám, na který jsou uchyceny hroty VibroFlex. Pro práci v tvrdé půdě mohou být namontovány čtvercové hroty. Nastavení hloubky zapravení se děje pomocí kol na přední straně aplikátoru. Digestát je k radličkám dopravován přes rozdělovací a řezací hlavu. [13]



Obr. 1.37. *Pichon EL61* [13]

- Vogelsang SynCult

Jedná se o kompletní sadu pro dovybavení stávajícího nářadí pro zpracování půdy systémem přívodu digestátu pod pracovní orgány. Firma dodává toto nářadí v agregaci se stroji Amazone Catros Pro, Väderstad Carrier CRX a Farnet Softer. Pro montáž tohoto systému není třeba nic vrtat ani svářet. Jedná se o alternativu se zajímavou cenou pro stávající podnikem vlastněné stroje. [14]

- Vogelsang Xtill ProTerra

Systém Xtill znamená obdělávání půdy v pásech s volitelným podkořenovým hnojením digestátem vhodným pro výsev řádkových kultur. Pracovní orgán se skládá z řezného krojidla, dvou odklízových hvězdic, kypřící radlice, dvou přihrnovacích disků a dvou přihrnovacích kotoučů. Každý pracovní orgán má vlastní kopírování a nastavení hloubky, přítlak je nastaven centrálně hydraulicky. Díky tomuto zpracování půdy zůstávají na pozemku zbytky rostlin, nebo kultura podsevu či krycí plodina, takže se snižuje možnost eroze. To v důsledku znamená lepší vsakování vody, nižší možnost zaplevelení, nižší vyplavování ži-

vin. Pracovní orgány jsou stavitelné na rozteč řádků 45, 50 a 75 cm. Záběr stroje je 4 – 12 řádků. [14]



Obr. 1.38. Vogelsang Xtill ProTerra [14]

- Kuhn Striger v provedení Garant

Tento stroj pro pásové zpracování půdy a aplikaci digestátu snižuje podíl zpracované půdy na pozemku až o 80 %. To vede k výrazné úspoře paliva a dalším pozitivům plynoucím z pásového zpracování půdy – snížení eroze a vyplavování živin atd. Aplikace digestátu probíhá pod patu, což zlepšuje zásobení osiva živinami. Díky tomu je možné snížit, popř. úplně vynechat, dávku minerálních hnojiv. Pracovní hloubka 10 – 20 cm, pracovní záběr 3 – 6 m. Rozestup radliček 45 – 80 cm. [6]



Obr. 1.39. Kuhn Striger v provedení Garant [6]

1.4 Doplnkové produkty

Sací ramena s odstředivým čerpadlem

Rozšířený koncept plnění cisteren s různými názvy, např. Fliegl Elefant, Pichon Flowmaster. Jedná se vždy o otočné rameno s umístěným odstředivým čerpadlem. Toto čerpadlo bývá umístěno buď na konci ramene, nebo někde v průběhu vedení. Nasátí digestátu do čerpadla potom obstarává vývěva, po zaplnění čerpadlo saje samo. Výhodou je rychlejší plnění cisterny, menší hodnota podtlaku v cisterně a obecně nižší energetické nároky. V případě umístění čerpadla na konci ramene je toto schopné míchat digestát v jímce, míchat digestát v cisterně, nasávat digestát přímo ponořené do jímky.



Obr. 1.40. *Pichon Flowmaster* [13]

Mobilní souvrat'ový kontejner

Toto řešení je v současnosti využíváno při oddělené dopravě digestátu od jeho aplikace na pole. Přívozní cisterny navážejí digestát do těchto kontejnerů, které jsou umístěny na kraji pole, odkud si aplikační prostředek jezdící po poli zajišťuje vlastní plnění. Toto uspořádání není tak náročné na logistiku dopravy a zajišťuje přívozním cisternám jistou dobu pro výpadek např. v případě překážky na silnici. V současné době se ale čím dál tím víc prosazuje navážení digestátu na čas přímo k polnímu aplikátoru z důvodu úspory jednoho čerpání digestátu a tím pádem snížení nákladů na palivo. Vyráběné obsahy těchto kontejnerů se pohybují okolo 35 – 60 000 l.



Obr. 1.41. *Farmet Elefant* [16]

Šnekový rozdělovač – šnekové dopravníky

Řešení využívané např. firmou Fliegl. Šnekový rozdělovač se skládá ze spodní vany, šneku s ochranou proti koroznímu působení digestátu, vnějšího hydraulického pohonu, lapače příměsí a řídicího bloku. Rozdělovač je hydraulicky zabezpečen proti nežádoucímu odkapu digestátu při přepravě pomocí šoupátek. Zásobník na cizí předměty je mechanicky nebo hydraulicky vyprázdnitelný. [15]



Obr. 1.42. Aplikátor Fliegl se šnekovým rozdělovačem [15]

Rozdělovací a řezací hlavy ExaCut

Technologie firmy Vogelsang je využívána spoustou výrobců techniky pro aplikaci digestátu. Přesný rozdělovač ExaCut je jedním z příkladů – jeho velmi kompaktní rozměry a výkonnostní potenciál ho předurčují k použití jako centrální rozdělovač nebo decentralizovaný v postranním rameni. Provádí řezání příměsí a rozdělování digestátu v jednom pracovním kroku. Díky tomuto rozdělovači jsou možné záběry aplikátorů až 36 metrů se 120 hadicovými vývody. Navíc je vybaven separátorem kamenů a těžkých částic, které z něj lze bez problémů odstranit. Existují navíc dvě varianty – rotorová ECL a excentrická ETX. ECL dociluje rotorovou konstrukcí velmi klidného chodu a rozdělování na 20 – 60 vývodů o průměru hadic až DN 60. ETX varianta dosahuje varičního koeficientu pod 10 %. [14]



Obr. 1.43. ExaCut ECL [14]



Obr. 1.44. ExaCut ETX [14]

Zunhammer VAN-Control 2.0

Tato inovace přináší možnost vybavit všechny cisterny zařízením pro přesné zjištění obsahu živin v čerpaném digestátu. Senzor NIR v průběhu čerpání sleduje a vyhodnocuje obsah dusíku (N), draslíku (K), fosforu (P) a obsah sušiny. Měření může probíhat i během míchání digestátu nebo přímo při aplikaci na poli. Přínos a využití je zcela zřejmé – možnost maximálního využití hnojivého potenciálu digestátu bez zbytečného přehnojování. Pokud agronom určí dávku živin na hektar, tak je díky tomuto systému možné ji přesně dodržet – díky ISO-BUS terminálu je možné řízení průtoku za jízdy a tím změna dávky živin na hektar. Také je možné využití dat ze systémů precizního zemědělství k přesnému variabilnímu hnojení dle požadavků pozemku. Samozřejmostí je potom také propojení s GPS systémy pro uložení dávky hnojiv v jednotlivých místech pozemků pro případné sledování zlepšení při sklizni. Tímto systémem je možné vybavit nejen samotné cisterny, ale i čerpací místa, což je v případě vyvážení bioplynových stanic ekonomicky mnohem výhodnější varianta – při přesném vyhodnocení obsahu živin v dané cisterně obsluha zná nastavení a systém pracuje znovu pro další cisternu. [3]



Obr. 1.45. VAN - Control 2.0 [3]

Dokovací stanice

Tuto technologii v různých obměnách nabízí spousta výrobců. Zajímavá je varianta od firmy Zunhammer s označením Trista – nabízí možnost připojení systému Van – Control popsaný výše se všemi jeho výhodami. Dokovací stanice mají vlastní čerpadlo pro zvýšení rychlosti čerpání, pro případ čerpání jímky vzdálené od jiného zdroje energie mohou mít i vlastní spalovací motor (např. Zunhammer Pusta). Bývají vybavené cyklónovým odlučovačem cizích částí pro minimalizaci rizika poškození cisterny nebo jejího čerpadla. [3]



Obr. 1.46. Zunhammer Trista [3]



Obr. 1.47. Zunhammer Pusta [3]

2 ZHODNOCENÍ PRÁCE APLIKÁTORU ZUNHAMMER

Hodnoceným strojem je Zunhammer SK 18 500 PU. Nádrž je z plastu vyztuženého skelnými vlákny typu GFK. Tvar nádrže umožňuje kompletní vypuštění bez usazování zbytků v nádrži. Nasávání je řešeno čerpadlem Vogelsang VX186-184. Výkon čerpadla je při 540 otáčkách vývodového hřídele 2000 litrů za minutu. Stroj jezdí 10 sezón. Je vybaven aplikačními rameny se záběrem 11 metrů. Nežádoucím odkapu digestátu při jízdě po silnici je zabráněno otočením hadic vývodem vzhůru.

Díky velkým pneumatikám nezanechává v orné půdě velké koleje a je šetrný k rostlinám – v porovnání s druhou cisternou v podniku značky Fliegl je rozdíl velmi markantní. Cisterna Fliegl na menších a užších kolech zanechává při stejných podmínkách výrazné koleje a díky vysokému měrnému tlaku na půdu je i nešetrná k porostům rostlin. Cisterna Zunhammer je díky své plastové konstrukci lehčí než uvedená konkurenční značka. Díky hydraulicky nastavitelné oji je také možné dotížit zadní kola traktoru v případě nepříznivých trakčních podmínek.

Čerpadlo Vogelsang je při čerpání z jímky rychlejší než vývěva u druhé cisterny. Jeho životnost je dle zkušeností obsluhy 4 roky – potom stačí vyměnit pogumované rotační písty a během pár hodin je cisterna opět v provozu.

Obsluha nemá k dispozici žádný terminál k monitorování dávky nebo aktuálního výkonu čerpadla. Dávka na hektar je vypočítávána z minutového výkonu čerpadla a záběru ramen a mění se pouze rychlostí pojezdu.

Aplikační hadicová ramena jsou vhodná pro aplikaci do vzrostlejších porostů – nedochází k zašpinění listů rostlin, díky čemuž se nesnižuje schopnost fotosyntézy. Digestát je ukládán po listy rostlin, což zpomalí jeho nežádoucí odpaření. Bohužel toto

řešení stále není vzhledem ke ztrátám dusíku ideální. Dávka dusíku se zde dohání množstvím, nikoli kvalitou aplikace. Ovšem vzhledem k velikosti bioplynové stanice 1,2 MW je produkce digestátu velká a při zlepšení kvality aplikace, a tím i vstřebání dusíku, by docházelo buď k přehnojení nebo k velkému přebytku digestátu. Toto se ovšem nevztahuje na hnojení pastvin a luk digestátem – při aplikaci pomocí ramen zůstává na povrchu pozemku krusta, což je nežádoucí vzhledem k výživě zvířat.

Kvalita aplikace do vzrostlých porostů je tedy v rámci podniku dostatečná, obecně by ovšem potřebovala zlepšit. Kvalita aplikace na louky a pastviny je nedostatečná z důvodu zůstávání zbytků na povrchu pozemku. Pro případ aplikace na ornou půdu před orbou je využíváno rozstříkovací koncovky, která je pro danou činnost také odpovídající.

Řízení dávky digestátu na hektar splňuje podnikové požadavky, ale s ohledem na současné trendy precizního zemědělství je naprosto nedostatečné. Dávka záleží čistě na zkušenostech a pečlivosti obsluhy a není možné ji jakkoliv kontrolovat či zpětně dohledat. Cisterna umožňuje nastavení dávky omezením průtoku z cisterny do čerpadla pomocí elektricky ovládaného šoupátka, ovšem nastavená dávka není bez terminálu nijak zjištělná, tudíž je tento prvek nevyužitelný a nevyužívaný.

Velké a široké pneumatiky odpovídají trendu snižování tlaku na půdu a tím i snížení jejího utužení. Bohužel tomuto neodpovídají aplikační ramena, která buď nutí obsluhu vytvářet další koleje a nebo není využíván celý záběr stroje. Navíc dochází ke zvýšení dávky digestátu v úzkém pruhu porostu. Tím je narušena ekonomická hospodárnost stroje.

U uvedeného stroje byla provedena zkouška přesnosti rozdělovací a řezací hlavy ExaCut – do 4 barelů byl jímán vypouštěný digestát po dobu 20 vteřin. Rozdíl množství v jednotlivých barelech činil během této krátké doby méně než 2 % - kolem 0,4 l. Z objemu aplikovaného do barelů a počtu všech hadic byl také zkontrolován jmenovitý výkon čerpadla. Po výpočtu vyšel výkon 2034 litrů, což je rozdíl 1,7 % oproti jmenovitému výkonu. Tento rozdíl mohl být způsoben vyššími otáčkami na vývodovém hřídeli. Vzhledem k nastavení dávky rychlostí pojezdu dle odhadu obsluhy je tento rozdíl zcela zanedbatelný.

3 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ STROJŮ

Pro účely této práce vyjdou údaje o výkonnosti a další souvislosti z publikace Strojní linky pro hnojení z Výzkumného ústavu zemědělské techniky v Praze s aplikovanými aktuálními cenami mechanizačních prostředků.

Při úvaze aplikační linky s mechanizačním prostředkem pojíždějícím pouze po poli, ať taženým nebo samojízdovým, stojí za zmínění některé výhody. Je možné využívat nízkotlakých pneumatik ke snížení utužení půdy a vyšší šířka stroje omezuje pouze při přejezdech. U samojízdových prostředků ještě v kombinaci s krabím chodem, kdy jede každé kolo v jiné stopě a utužení se ještě snižuje. Také nedochází k vynášení nečistot na silnici, čímž se šetří čas a obsluha, která by tyto nečistoty musela odstraňovat. Nevýhodou je dvojitý čerpání digestátu – z jímky a z přívozní cisterny. Toto musí být eliminováno výkonnými čerpadly pro maximální snížení času čerpání. Dále musí být precizně nadimenzována linka pro přívoz digestátu vzhledem k délce a celkové rozloze pozemku. V případě nedodržení této podmínky dochází k prostojům aplikačního prostředku. Pro tento případ je vhodné uvažovat o mezizásobníku digestátu na poli – ten sníží prostoje, ale zvýší náklady. Jako přívozní cisterny jsou vhodné traktory s cisternami nad 15 m³ maximální rychlostí 40 km·h⁻¹, které jsou do 15 km považovány za stejně vhodné jako návěsné automobilní cisterny. Denní výkon takových linek je 1000 – 1500 m³. Při zajištění zásobování je výkon 1 – 3 ha·h⁻¹. Při porovnání návozu přímo k aplikátoru a nebo do mezizásobníku (použití stejných aplikátorů a přívozních cisteren včetně jejich počtu) dojde ke snížení prostojů o 50 % ale i ke zvýšení nákladů o 18 %.

[17]

Výhodou několika cisteren, které zajišťují čerpání digestátu z jímky, dopravu na pole i jeho aplikaci je jedno plnění cisterny. Také nemá cisterna žádné prostoje – pouze čas čerpání digestátu z jímky. Nevýhodou je vynášení nečistot na silnici, nutnost použít kompromisní pneumatiky – provoz na silnici a na poli – popř. investovat do systému dofukování kol, což zvyšuje cenu cisterny. Dále je třeba mít sladěné záběry aplikačních ramen, popř. aplikátorů na všech cisternách nebo propojený systém navigací pro sledování přejezdů po pozemku. Výkon cisteren je 0,5 – 0,8 ha·h⁻¹.

V porovnání se zaměřím na cisterny Zunhammer SK 18 500 PU s ceníkovou cenou 60 350 € s aplikátorem ZuniDrill s cenou 32 830 €. Tažným prostředkem bude traktor Case IH Puma 230 CVX s cenou 107 500 €. Samojízdou aplikační soupravou bude Claas Xerion 4000 s nástavbou Kaweco s cenou 390 000 € a taktéž aplikátor ZuniDrill.

Tab. 3.1. Srovnání výkonových parametrů

	Počet válců	Výkon [kW]	Objem [l]	Kroutící moment [Nm]
Puma + Zunhammer	6	162	6.7	1100
Xerion + Kaweco	6	308	10.6	2100

Tab. 3.2. Srovnání parametrů

	Hmotnost [kg]	Max. průtok hydr. [l min]	Cena [€]
Puma + Zunhammer	11 400	210	200 680
Xerion + Kaweco	19 170	250	422 830

Tab. 3.3. Srovnání nákladů v Kč

	Energie	Amortizace	Pojištění	Údržba
Puma + Zunhammer	587	1482	77	607
Xerion + Kaweco	785	2263	115	912

Tab. 3.4. Srovnání nákladů v Kč

	Pracovní síla	Fixní	Variabilní	Celkem	Náklady na tunu
Puma + Zunhammer	135	1581	1326	2907	80
Xerion + Kaweco	135	2391	1812	4204	116

Náklady na tunu jsou vyčísleny při plánovaném využití 850 hodin za rok. Náklady na tunu materiálu se zlepšují ve prospěch samojízdného aplikátoru s množstvím hodin – obrát nastává při využití více než 1 100 hodin za rok, kdy je tato souprava již výhodnější. Uvažovaný kurz koruny je 27 Kč za 1 €.

Z výše popsaných informací vyplývá, že v případě koupě veškeré techniky je ekonomicky výhodnější varianta dvou traktorů s cisternami a aplikátory, protože ty musí podnik zakoupit i v případě investice do samojízdného aplikátoru. Situace se začne měnit v případě nutnosti velmi rychlé aplikace. Při přepravě digestátu do vzdálenosti kolem 2 km vychází aplikace cisternami lépe. Při stoupající vzdálenosti bude doba aplikace neúměrně prodlužovat směny při požadovaném denním výkonu – při dopravě na

vzdálenost 10 km by musela obsluha dvou aplikačních cisteren pracovat bezmála 11 hodin. V případě aplikace samojízdným aplikátorem se doba aplikace sníží na 8 hodin pracovního času. Aplikátor ovšem při vzdálenosti 10 km a dvou přívozních cisternách bude mít prostoje.

Čísla vycházejí z následujících hodnot – doba plnění cisterny 5 minut. Doba vyprázdnění samojízdným aplikátorem 3 minuty, při aplikaci do půdy 4 minuty. Plnění samojízdného aplikátoru 3 minuty, čas potřebný k najetí a vyjetí ze záhonu + připojení plnicího ramene 2 minuty. Aplikační rychlost $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Velikost cisteren $18,5 \text{ m}^3$. Velikost samojízdného aplikátoru 21 m^3 , počet plnění za směnu 54. Aplikované množství $36 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Z uvedených čísel vyplývá, že samojízdný aplikátor se vyplatí od vzdálenosti kolem 10 km od místa čerpání digestátu. Předpokládaný aplikovaný objem činí $30\,000 \text{ m}^3$ za rok.

4 METODIKA POLNĚ-LABORATORNÍHO MĚŘENÍ

Metodika polně-laboratorního měření v této práci je zaměřena na obsah živin v půdě v závislosti na metodě aplikace. Vzhledem ke spoustě rozsáhlých studií na vstřebávání dusíku a jeho ztráty při aplikaci i v čase je tento prvek ze studie vyloučen. Pro informační ucelenost ale budou citovány výsledky jiných prací ohledně vlivu způsobu aplikace na jeho ztráty. Samotné vyhodnocení tohoto měření sleduje tyto prvky: hořčík (Mg), vápník (Ca), fosfor (P) a draslík (K) a pH půdy. Bude provedeno vyhodnocení vstřebání živin vzhledem k jejich obsahu v digestátu.

Základní vzorek bude odebrán na podzim před aplikací digestátu. Tento vzorek bude vyhodnocen na obsah prvků metodou Mehlich III. Následně bude na vybraný pozemek aplikován digestát na povrch hadicovým aplikátorem se záběrem 11 metrů a okamžitě zaorán.

Ve druhém přejezdu je digestát opět aplikován na povrch, kde ovšem zůstává do jarního vyhodnocení. Z šířky tohoto přejezdu je opět odebrán základní vzorek půdy již před aplikací. Tento základní vzorek je v obou případech odebírán na 18 místech, po šesti vzorcích z každého předpokládaného záhonu.

Aplikace proběhne při obou způsobech aplikace ve třech rychlostech k zajištění třech různých dávek. První rychlost je $v_{p1} = 3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. V této rychlosti jsou vytvořeny 3 kontrolní záhony o šířce 11 metrů a délce 10 metrů. Další rychlost je $v_{p2} = 6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, při které jsou opět vytvořeny tři kontrolní záhony. Poslední rychlost je $v_{p3} = 9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

V průběhu měsíce března následujícího roku budou odebrány vzorky před zahájením veškerých polních prací. Tyto vzorky jsou odebírány ze 6 míst každého záhonu aplikovaného danou rychlostí. Odebraná půda se smísí v jeden výsledný vzorek pro danou rychlost, který bude následně vyhodnocen na obsah sledovaných prvků.

Na výsledky tohoto měření má vliv srážková situace v místě aplikace. Je proto sledován úhrn srážek v měsících po aplikaci do odebrání vzorků pro zjištění množství vody. Také je odebrán kontrolní nehnojený vzorek z každého měření pro sledování odplavení živin srážkami.

Vzhledem ke známému složení digestátu a původního vzorku bude provedeno vyhodnocení vstřebání živin do půdy. Také bude vyhodnocena užitečnost podzimní aplikace digestátu vzhledem k hnojení a uložení živin v půdě.

- Způsob aplikace: Cisternou o objemu 18,5 m³ s hadicovým aplikátorem o záběru 11 m
- Typ aplikace: Povrchová a podpovrchová
- Při podpovrchové aplikaci zapravení orbou
- Pracovní rychlosti: 3 km·h⁻¹, 6 km·h⁻¹, 9 km·h⁻¹
- Odběr vzorků: 6 vzorků z každého záhonu, smísení do jednoho pro každou rychlost a způsob aplikace
- Vyhodnocení: Metodou Mehlich III

5 VYHODNOCENÍ POLNĚ-LABORATORNÍHO MĚŘENÍ

Základní vzorky byly odebrány 29.října 2015. Následující den, tj. 30.října byla provedena aplikace jak na povrch pozemku, tak zapravení vzorku orbou. Na povrchu tak nezůstaly žádné rostlinné zbytky. Mezi aplikací digestátu na povrch a jeho zapravení v celé šíři byla časová prodleva do 15 minut. Proběhlo přesné zaměření záhonů pomocí pásma a GPS navigace. Po aplikaci digestátu nebyla na pozemku prováděna žádná operace až do odebrání výsledných vzorků. Ty byly odebrány 5.března 2016, tj. po 128 dnech. Odběr proběhl dle popsané metodiky.

Výsledné i základní hodnoty živin jsou v tabulkách 5.1 a 5.2. Půda testovaného pozemku je středně těžká glej/pseudoglej, v místě odběru vzorků z povrchu spíše písčitá. Dávka digestátu na hektar vzhledem k aplikační rychlosti je 36 m³ při aplikační rychlosti 3 km·h⁻¹, 18 m³ při rychlosti 6 km·h⁻¹ a 12 m³ při rychlosti 9 km·h⁻¹.

Tab. 5.1. Hodnoty živin aplikovaných do země

	pH	Fosfor (P)	Draslík (K)	Hořčík (Mg)	Vápník (Ca)
Základní	6.08	148	307	360	1850
3 km·h ⁻¹	6.22	120	185	363	1930
6 km·h ⁻¹	6.13	102	176	321	1800
9 km·h ⁻¹	5.83	90.8	170	267	1540
Nehnojený	5,42	70,4	155	204	1230

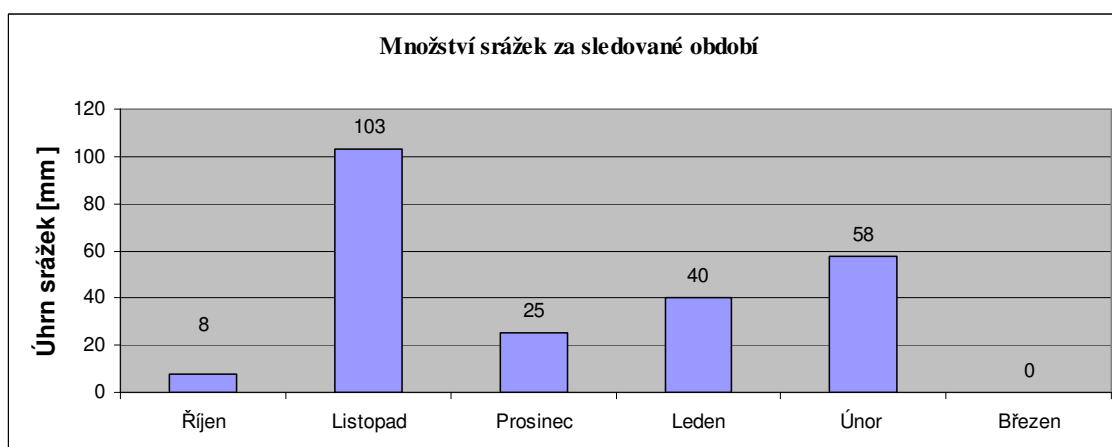
Tab. 5.2. Hodnoty živin aplikovaných na povrch

	pH	Fosfor (P)	Draslík (K)	Hořčík (Mg)	Vápník (Ca)
Základní	5.41	379	370	167	1830
3 km·h ⁻¹	5.12	131	386	124	1510
6 km·h ⁻¹	5.05	109	348	107	1420
9 km·h ⁻¹	4.72	77.2	345	101	1210
Nehnojený	4,64	69,8	316	87	1010

Další sledovanou veličinou byl úhrn srážek v místě aplikaci. Celkový souhrn srážek za sledované období kopíruje průměr srážek v Královéhradeckém kraji sledovaný Českým hydrometeorologickým ústavem. Proto jsou použita data z webu této instituce.

Tab. 5.3. Úhrn srážek za sledované období

Měsíc	10	11	12	1	2	3
Úhrn srážek [mm]	8	103	25	40	58	0
Úhrn srážek oproti normálu [%]	-	166	36	67	123	0



Graf. 5.1. Množství srážek ve sledovaném období

Poslední vstupní veličinou pokusu je digestát. Jeho složení je známé díky rozboru, obsah jednotlivých prvků v cisterně bude vypočítán.

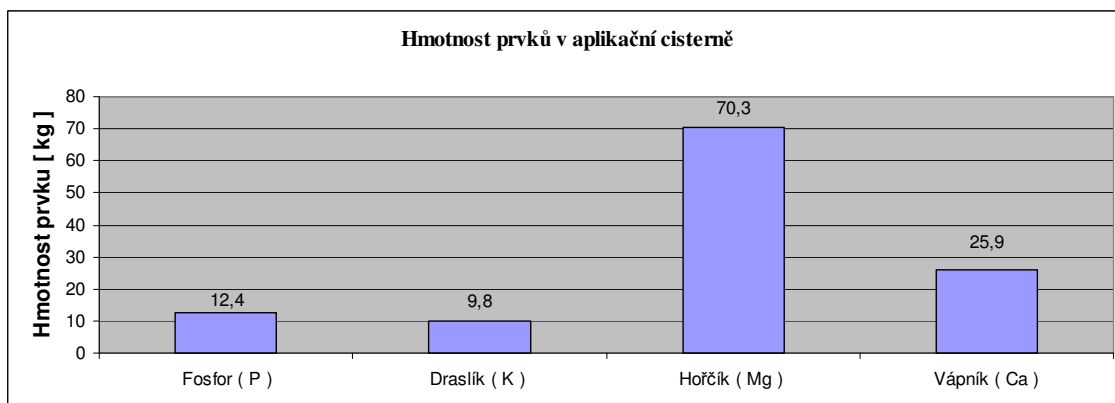
Tab. 5.4. Obsah prvků v digestátu v procentech

Sušina	pH	Fosfor (P)	Draslík (K)	Hořčík (Mg)	Vápník (Ca)
6,39	8.06	0,067	0.053	0,38	0.14

Následující tabulka ukazuje absolutní množství v kilogramech u jednotlivých prvků obsažených v jedné aplikační cisterně o objemu 18 500 l.

Tab. 5.5. Absolutní množství v cisterně

Objem cisterny [l]	Fosfor (P)	Draslík (K)	Hořčík (Mg)	Vápník (Ca)
18 500	12,4 kg	9,8 kg	70,3 kg	25,9 kg



Graf. 5.2. Hmotnost prvků v aplikační cisterně

Při výkonu čerpadla $2000 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ je doba potřebná k vyprázdnění cisterny 9 minut a 15 vteřin, tj. 555 sekund. Při předpokladu rovnoměrného rozložení všech uvedených prvků v cisterně, díky dokonalému rozmíchání v přípravné jínce, bude aplikované množství za sekundu viz. následující tabulka.

Tab. 5.6. Aplikované množství za sekundu

Fosfor (P)	Draslík (K)	Hořčík (Mg)	Vápník (Ca)
$0.022 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$	$0.018 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$	$0.126 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$	$0.047 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

K výpočtu aplikovaného množství bude použito vypočítaného času aplikace na jeden záhon o délce 10 metrů.

Tab. 5.7. Doba jízdy po záhonu

Rychlost [$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$]	3	6	9
Čas na záhon [s]	12	6	4

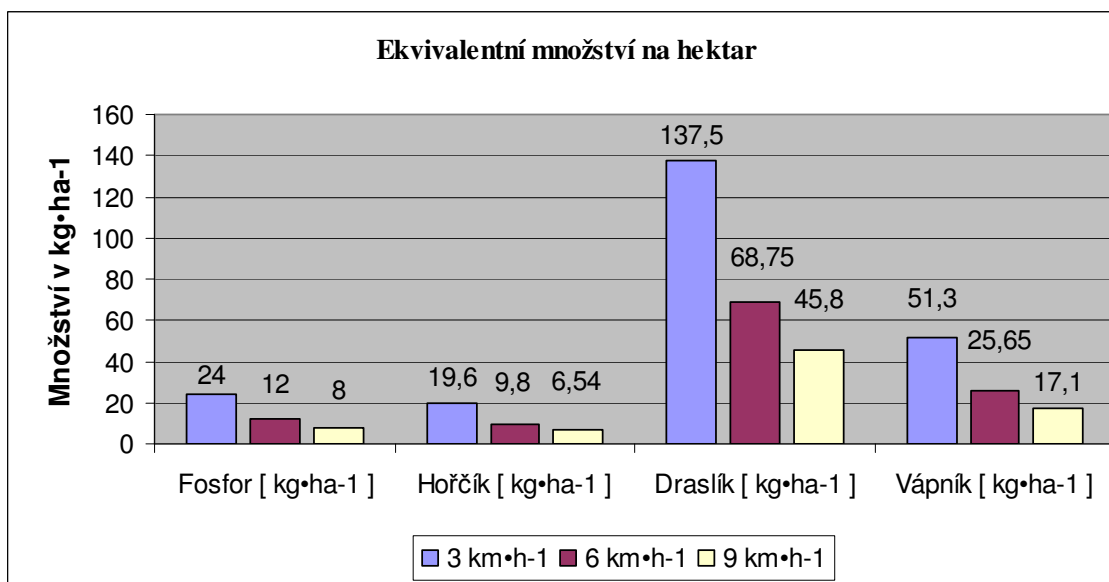
Tab. 5.8. Aplikované množství na záhon

	Fosfor [kg]	Hořčík [kg]	Draslík [kg]	Vápník [kg]
$3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	0.264	0.216	1.512	0.564
$6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	0.132	0.108	0.756	0.282
$9 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	0.088	0.072	0.504	0.188

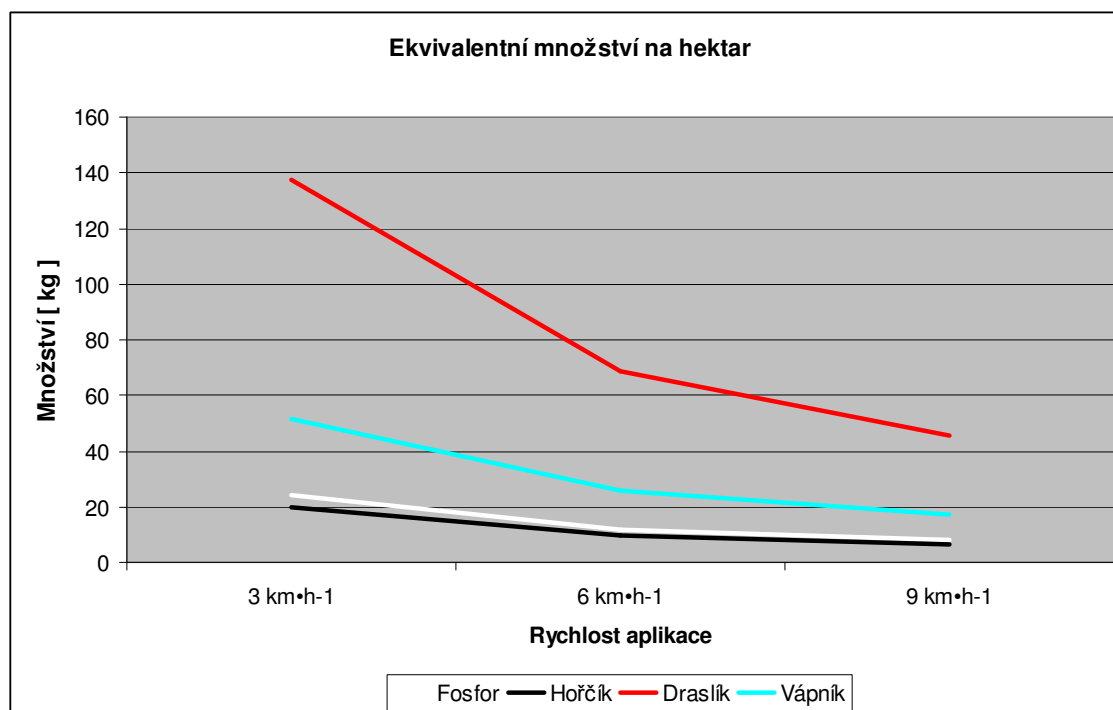
Pro informaci o velikosti dávky na záhon následuje tabulka zobrazující aplikované množství přepočítané na jeden hektar plochy.

Tab. 5.9. Ekvivalentní množství na hektar

	Fosfor [kg·ha ⁻¹]	Hořčík [kg·ha ⁻¹]	Draslík [kg·ha ⁻¹]	Vápník [kg·ha ⁻¹]
3 km·h ⁻¹	24	19.6	137.5	51.3
6 km·h ⁻¹	12	9.8	68.75	25.65
9 km·h ⁻¹	8	6.54	45.8	17.1



Graf. 5.3. Ekvivalentní množství na hektar



Graf. 5.4. Ekvivalentní množství na hektar

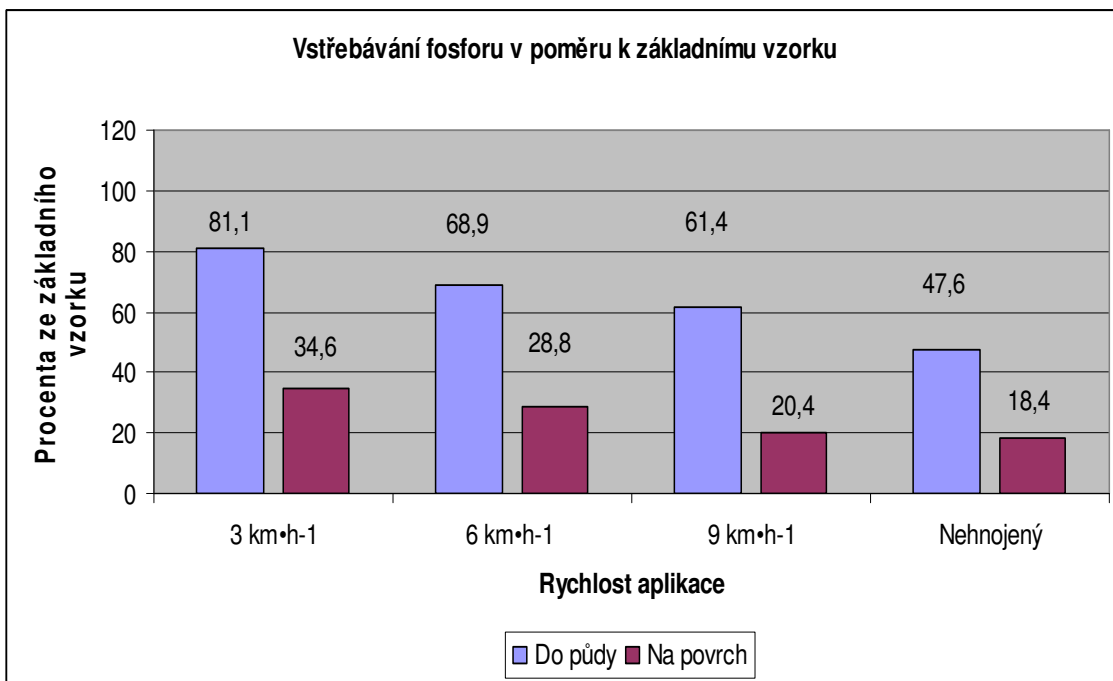
Zjištěné hodnoty budou pro potřeby přehledného porovnání jednotlivých vzorků přepočítány na procenta obsahu základního vzorku a vyneseny do grafů pro jednotlivé prvky.

Tab. 5.10. Procentuální obsah prvků ve vztahu k základnímu vzorku aplikovanému do země

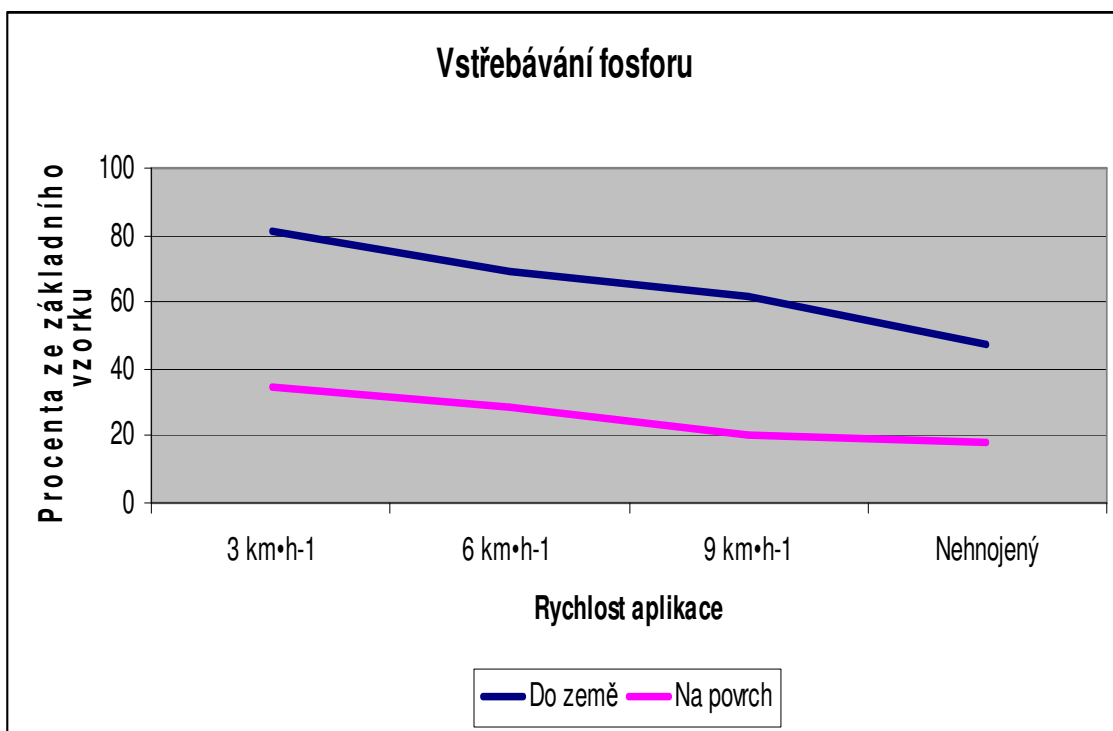
	Fosfor [%]	Draslík [%]	Hořčík [%]	Vápník [%]
3 km·h ⁻¹	81,1	60,3	100,8	104,3
6 km·h ⁻¹	68,9	57,3	89,2	97,3
9 km·h ⁻¹	61,4	55,4	74,2	83,2
Nehnojený	47,6	50,5	56,7	66,5

Tab. 5.11. Procentuální obsah prvků ve vztahu k základnímu vzorku aplikovanému na povrch

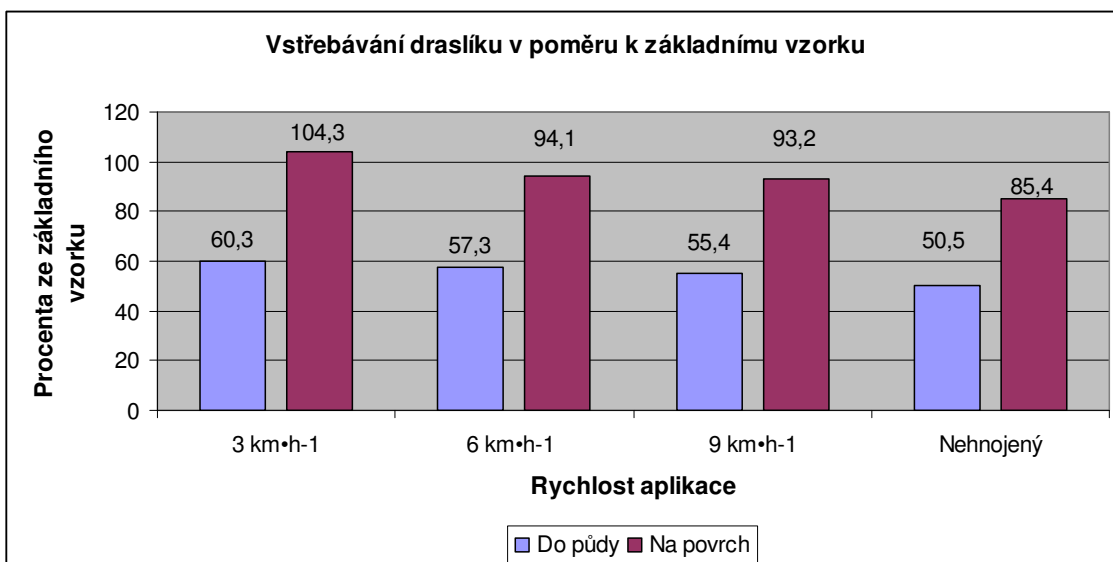
	Fosfor [%]	Draslík [%]	Hořčík [%]	Vápník [%]
3 km·h ⁻¹	34,6	104,3	74,3	82,5
6 km·h ⁻¹	28,8	94,1	64,1	77,6
9 km·h ⁻¹	20,4	93,2	60,5	66,1
Nehnojený	18,4	85,4	52,1	55,2



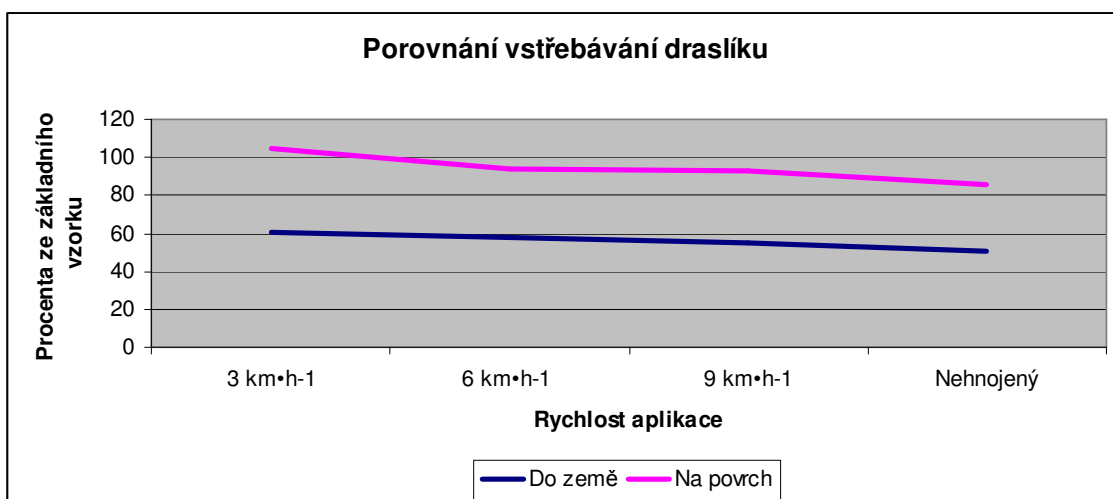
Graf. 5.5. Porovnání vstřebávání fosforu v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace



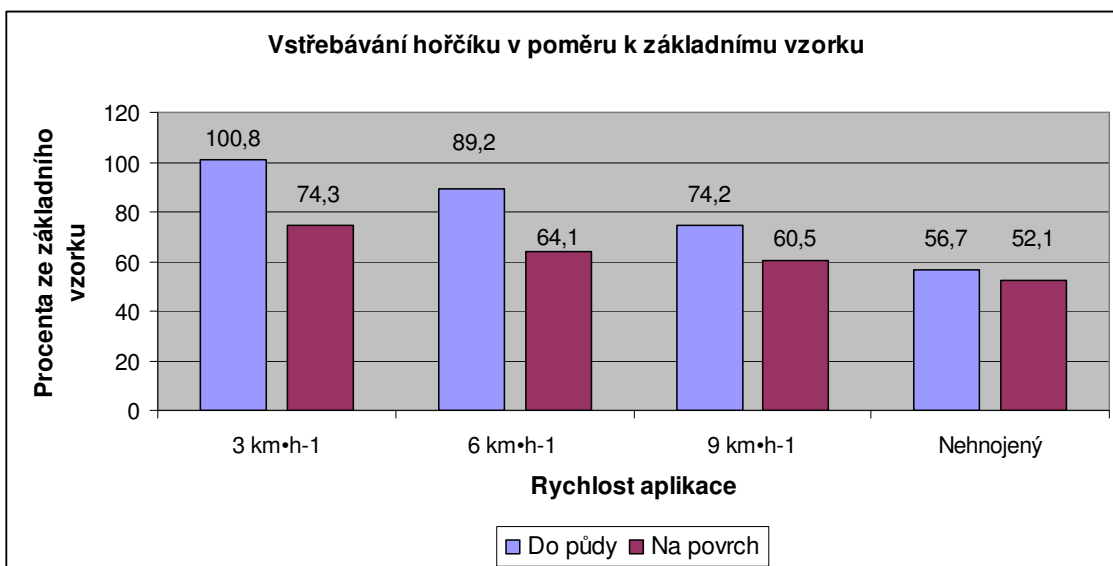
Graf. 5.6. Porovnání vstřebávání fosforu v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace



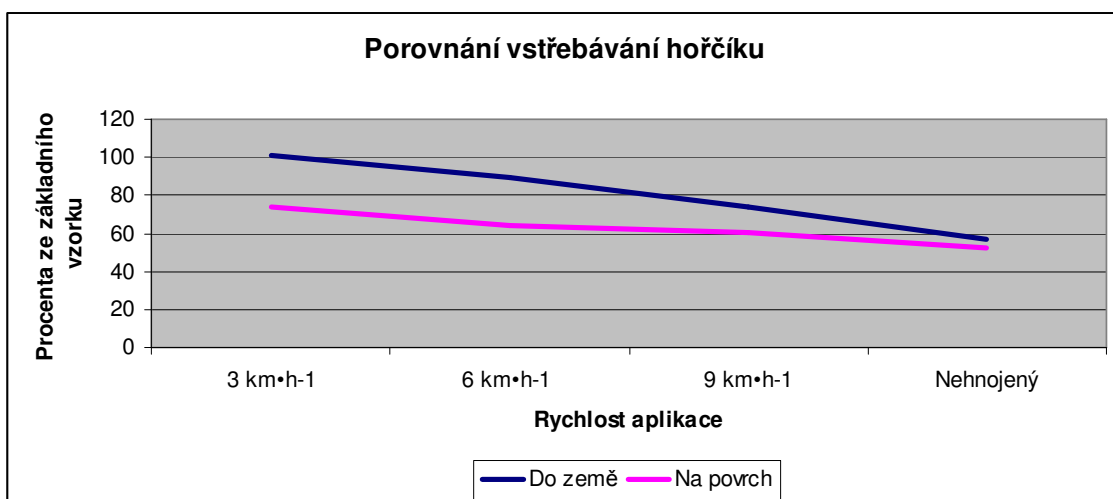
Graf. 5.7. Porovnání vstřebávání draslíku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace



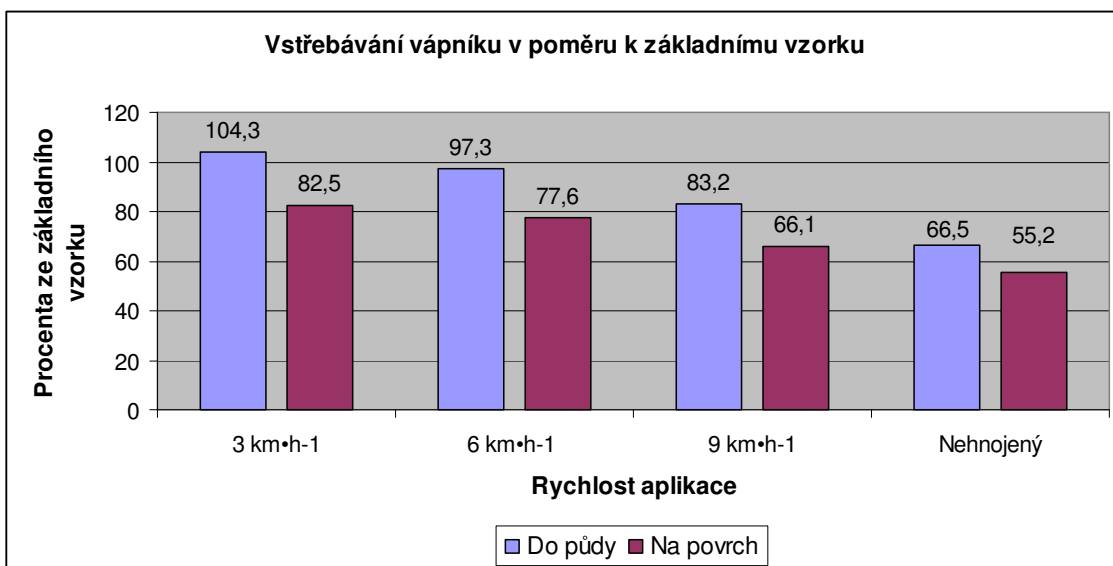
Graf. 5.8. Porovnání vstřebávání draslíku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace



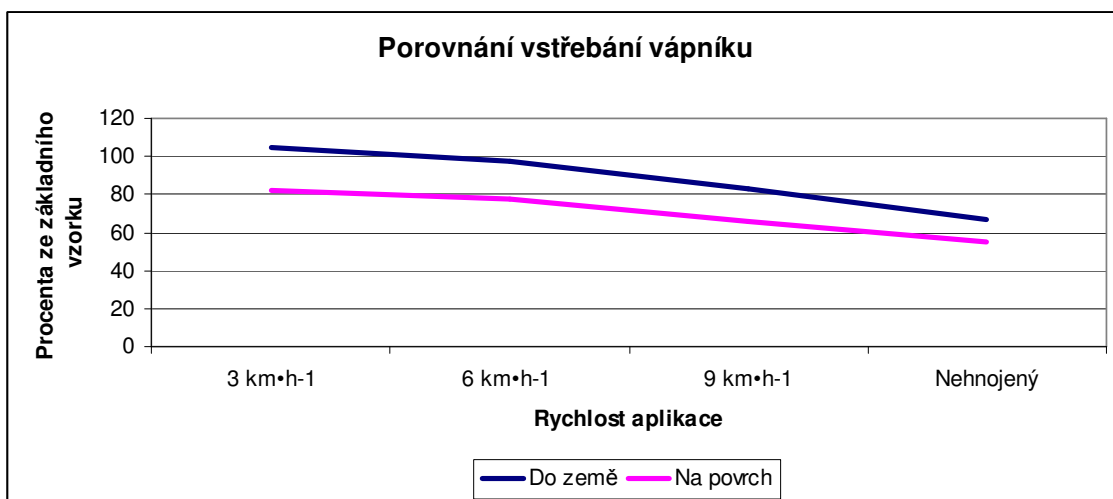
Graf. 5.9. Porovnání vstřebávání hořčičku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace



Graf. 5.10. Porovnání vstřebávání hořčičku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace



Graf. 5.11. Porovnání vstřebávání vápníku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace



Graf. 5.12. Porovnání vstřebávání vápníku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace

Z předložených grafů vyplývá vhodnost podpovrchové aplikace. Rozdíl 40 % ve prospěch povrchové aplikace v případě draslíku je pravděpodobně způsoben chybou při odběru základního vzorku – v tomto vzorku je skoro dvojnásobný obsah draslíku než ve vyhodnocovaných vzorcích, což značí tuto chybu. Byla pravděpodobně způsobena náhodným natrefením na místa vyšší koncentrace draslíku v půdě, což se nepodařilo eliminovat ani odběrem 6 vzorků z celé délky následně sledovaného záhonu. K vyvrácení nebo potvrzení této domněnky by bylo třeba dalšího pokusu. Z tohoto důvodu jsou výsledky prezentovány neupravené s touto poznámkou. Stejně je tomu pravděpodobně u povrchové aplikace v případě fosforu – velmi vysoký základní vzorek zkresluje výsledky v porovnání s podpovrchovou aplikací.

Z výsledků vyplývá, že při podpovrchové aplikaci jsou výsledky lepší o 17,5 %. Pro fosfor je tento rozdíl ještě vyšší, konkrétně 40 %, protože fosfor ve své oxidační formě PO_4^{3-} je rozpustný jen málo – z povrchu se do půdy dostává velmi těžko.

Z výsledků půdního rozboru lze u podpovrchové aplikace říci, že zásobenost fosforem je dobrá až vysoká, draslíkem dobrá, vápníkem vyhovující a hořčíkem dobrá až velmi vysoká.

U povrchové aplikace je zásobenost fosforem vyhovující až vysoká, draslíkem vysoká, vápníkem nízká až vyhovující a hořčíkem také nízká až vyhovující.

Z uvedené studie také vyplývá, že podzimní hnojení digestátem není příliš vhodné pro vytvoření zásoby živin pro případné jarní setí. Toto hnojení zásobu v uvedených dávkách pouze udrží, nebo zajistí její nižší propad. K zajištění vyššího množství k zásobení rostlin by bylo třeba dávku digestátu zvýšit nad uvedených 36 m³ na hektar. Při zvyšování aplikační rychlosti, a tím pádem snižování hektarové dávky, klesá i vstřebaný obsah sledovaných prvků. Tento fakt je vzhledem ke srážkám za sledované období na úrovni 98 % dlouhodobého normálu přenosný do další zemědělské sezóny.

Vstřebávání a ukládání sledovaných prvků v půdě je u podpovrchové aplikace lepší, což umožní podniku uspořít nezanedbatelné prostředky pro hnojení minerálními hnojivy. Při ceně superfosfátu 15 Kč·kg⁻¹, rozdílu 40 % v ukládání fosforu a potřebě kukuřice 15 – 20 kg na 10 t silážní hmoty to znamená rozdíl nákladů na 1 t siláže 9 – 12 Kč. Produkce zemědělského podniku se 450 dojnými kravami, 100 jalovicemi a bioplynovou stanicí o výkonu 1,2 MW je kolem 15 000 t kukuřice za rok. Úspora tak činí pouze na hnojení fosforem 135 – 180 000 Kč za rok produkce. Při ceně např. aplikátoru ZuniDrill 886 000 Kč je návratnost 5 – 6,5 roku při tom, že uvažujeme pouze o hnojení kukuřice a počítáme pouze úsporu hnojení fosforem.

Pokud bychom počítali potřebu dusíku 30 – 40 kg na 10 t silážní hmoty se ztrátou 70% dusíku při aplikaci na povrch a 5 % při aplikaci do země dostáváme zcela jiná čísla v návratnosti aplikátoru. Při uvažované ceně za 1 kg dusíku z hnojiva LAV 27 Kč činí rozdíl 526,50 – 702 Kč na 10 t, čili 52,65 – 70,20 Kč na 1 tunu silážní hmoty. Toto číslo při objemu výroby činí rozdíl 789 750 – 1 053 000 Kč. Při takovéto úvaze je aplikace na povrch zcela nevýhodná. Návratnost je v případě hnojení dusíkem 0,85 – 1,1 roku. Při kombinaci výpočtu s fosforem je návratnost menší než jeden rok.

6 NÁVRH ÚPRAV APLIKACE V ZEMĚDĚLSKÉM PODNIKU

Ze závěrů uvedených výše pro zemědělský podnik vyplývá několik věcí. V případě, že na podzim potřebuje podnik vyvážet co nejvíc digestátu na pole, tak je vhodné aplikovat dávku vyšší než 36 m³ na hektar pro zlepšení podmínek pro růst rostlin vzhledem ke sledovaným prvkům. Pokud by zásoba digestátu nebyla taková, aby v případě jarního setí kukuřice, popř. obilovin, zajistila dostatečné pohnojení, je lepší uskladnit maximální možný objem pro jarní hnojení s přihlédnutím ke skladovací kapacitě a dalším omezujícím podmínkám jako počasí, nitrátová směrnice atd.

Pro jarní setí kukuřice je jako nejlepší varianta jeví podzimní nahnojení pozemku vysokou dávkou zapraveného digestátu spolu s jarním hnojením pod patu. Podzimní hnojení zajistí živiny v celém orničním profilu a hnojení pod patu zase živiny snadno přístupné po vyklíčení semene.

Podzimní povrchová aplikace na ornou půdu se dle výsledků jeví jako nevýhodná vzhledem ke ztrátám živin.

V případě dusíku jsou tyto ztráty ještě mnohem výraznější. V případě plošného rozstřiku jsou ztráty 70 % během prvních 3 hodin po aplikaci, hadicovým aplikátorem přes 40 %, v případě travního aplikátoru s drážkou 30 % a v případě aplikace do drážky tvaru V kolem 10 % během prvních 3 hodin.

Konkrétní opatření pro zemědělský podnik hodnocený v bodě 2 je nahradit hadicový aplikátor jakoukoliv variantou aplikace do půdy. Vzhledem k rozsáhlým travním porostům je ideální volbou travní botkový, případně diskový aplikátor. Agregace s traktorem Case IH Puma 230 CVX umožňuje aplikaci i na svažitéch pozemcích. Využití dusíku se výrazně zlepšilo a hlavním benefitem bude odstranění nežádoucí krusty vznikající na pastvinách. Tyto zbytky se v důsledku dostávají do krmiva krav a telat a způsobují nežádoucí onemocnění, jejichž léčba stojí nemalé prostředky. Dalším navrhovaným opatřením je optimalizace záběrů všech používaných strojů. Kombinace záběru ramen 11 metrů a 14 metrů je naprosto nepraktickým řešením. Podnikem používaný postřikovač má záběr 18 metrů – z tohoto důvodu je žádoucí vybavit aplikátory také rameny o záběru 18 metrů. Jízdy po poli budou probíhat v jedné stopě, nebude se zvyšovat utužení pozemku ani pojíždět po vzrostlých porostech.

7 ZÁVĚR

Práce pojednává o strojích používaných pro aplikaci a manipulaci s odpadem z bioplynových stanic – s digestátem. Sleduje různá technická řešení konkrétních výrobců a přináší přehled v současnosti používaných strojů. Práce je členěna na několik částí – první část obsahuje přehled strojů. Ten začíná přehledem tažených cisteren, následuje přehled řešení samojízdných cisteren a nástaveb různých výrobců. Další oddíl pojednává o používaných aplikátorech digestátu a následují další doplňkové stroje používané v souvislosti s digestátem.

V následující kapitole je provedeno zhodnocení práce tažené aplikační cisterny Zunhammer. U této cisterny bylo sledováno dodržení nastavené dávky, kvalita aplikace – zašpinění porostu a rozdíly dávky v jednotlivých hadicích, utužení půdy a ze zkušeností obsluhy i životnost cisterny. Dodržení nastavené dávky a rovnoměrnosti aplikace bylo testováno pomocí 4 nádob a 20 vteřin zapnutého čerpadla. Variační koeficient pro jednotlivé hadice byl menší než 2 %. Z objemu digestátu v barelech byla zkontrolována minutová dávka digestátu, která je $2034 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, rozdíl oproti jmenovitému výkonu je 1,7 %. Vzhledem k tomu, že hektarová dávka je nastavována rychlostí pojezdu dle úsudku obsluhy, je tento rozdíl zcela nepodstatný. Životnost pístů čerpadla je dle zkušeností obsluhy zhruba 4 sezóny. Kvalita aplikace vzhledem k zašpinění porostů je dostatečná, ale vzhledem k emisím dusíku i dalších prvků je aplikace na povrch pro zemědělský podnik nevýhodná.

Další kapitola hodnotí ekonomickou náročnost a přínosy pořízení samojízdné aplikační soupravy a přívozných cisteren v porovnání s několika aplikačními cisternami. V této části byly sledovány variabilní, fixní a pořizovací náklady na soupravu Case IH Puma 230 CVX + Zunhammer SK 18 500 PU v porovnání se samojízdým aplikátorem Claas Xerion 4000 s nástavbou Kaweco. Výsledkem je zjištění, že samojízdý aplikátor musí pracovat alespoň 1 100 hodin ročně pro zajištění rentability.

V poslední kapitole je popsána metodika polního měření a jeho vyhodnocení. Toto měření má za cíl vyhodnotit obsah prvků P, K, Mg, a Ca v půdě v závislosti na způsobu aplikace. Je aplikováno totožné množství při třech různých rychlostech a dvou typech aplikace – povrchové a podpovrchové na tři stejně velké záhony pro každou

rychlost. Je odebrán původní vzorek půdy, kontrolní nehnojený vzorek a vzorky ze všech záhonů pro určité rychlosti. Rychlosti jsou 3, 6 a 9 km·h⁻¹, což odpovídá dávkám 36, 18 a 12 m³·ha⁻¹.

Proběhlo vyhodnocení vstřebání a vyplavování živin z půdy v závislosti na druhu aplikace. Výsledky hovoří celkem jasně pro podpovrchovou aplikaci. Pouze v případě aplikace draslíku je výsledek opačný, vstřebání draslíku bylo o 40 % lepší při aplikaci na povrch. Jedná se ale pravděpodobně o chybu odběru základního vzorku před zahájením pokusu neboť hodnota draslíku v něm je výrazně vyšší než v případech odebraných vzorků. Z výsledků rozborů digestátů vyplývají možnosti hnojení se zaměřením na jednotlivé prvky – je známý jejich obsah v cisterně a vypočítána hektarová dávka prvků pro jednotlivé rychlosti. Měření prokázalo o 17,5 % lepší vstřebávání hořčíku a vápníku při podpovrchové aplikaci. Dále bylo zjištěno o 40 % lepší vstřebávání fosforu při podpovrchové aplikaci. Toto číslo by bylo třeba ověřit dalším pokusem, neboť základní vzorek při aplikaci na povrch má, jako v případě draslíku, výrazně vyšší hladinu fosforu oproti následně odebraným vzorkům což ukazuje na chybu při jeho odběru.

Z výsledků vyplývá ekonomická výhodnost podpovrchové aplikace vzhledem k rozdílům v udržení minerálů v půdě – návratnost podpovrchového aplikátoru uvažovaného pro nasazení pouze pro hnojení kukuřice je menší než jeden rok v případě zahrnutí úspory hnojení dusíkem. V případě výpočtu pouze úspory hnojení fosforem činí úspora prostředků 135 – 180 000 Kč za rok, což znamená dobu návratnosti podpovrchového aplikátoru 5 – 6,5 roku. Pokud budeme uvažovat o jeho využití i v aplikaci do trvalých travních porostů, případně ve službách, tak doba návratnosti ještě klesne. Vzhledem ke stále stoupajícím cenám všech vstupů od nafty po minerální hnojiva i lidskou práci je podpovrchová aplikace krok správným směrem a efektivním využitím vlastních hnojiv.

Návrh úprav aplikace v zemědělském podniku cílí na konkrétní cisternu a zemědělský podnik hodnocený ve druhé části. Při podzimním vyvážení skladů je vhodná dávka 36 m³ a vyšší pro udržení obsahu prvků sledovaných v polním pokusu. Jarní hnojení kukuřice je nejvhodnější přímo pod patu, aby byly živiny lehce přístupné klíčovému semenu. Další doporučení se vztahuje na hnojení na povrch – při plošném rozstřiku jsou ztráty dusíku kolem 70 % během prvních 3 hodin po aplikaci, při aplikaci hadicovým aplikátorem 40 %. Z tohoto důvodu by bylo vhodné zakoupení např. botkového apliká-

toru vytvářejícího drážku ve tvaru V, která redukuje ztráty dusíku na 10 % během prvních 3 hodin po aplikaci a umožňuje dobré zasáknutí digestátu.

Současný rozvoj bioplynových stanic je reakcí na snahy maximálně zvýšit podíl ekologické elektrické energie a reakcí zemědělců na klesající ceny komodit – snaha o diverzifikaci výroby a tím stabilizaci příjmů. Tato cesta bude ještě i nadále omezeně pokračovat, ale je limitována rozlohou zemědělské půdy využitelné pro pěstování využitelné biomasy. Kromě zemědělské půdy je možností i využívání odpadní městské zeleně, popř. zahrádkářského odpadu. Dalším limitem jsou finance – postavení BPS je dnes finančně náročnější díky minimálním dotacím jak na stavby, tak na vyráběnou elektrickou energii. Mimo zemědělských subjektů je stavba BPS problémová zejména s ohledem na odvoz digestátu, který musí být ošetřen smluvními vztahy se zemědělci, případně likvidován jako odpad.

Technika pro aplikaci digestátu jde ruku v ruce s technikou pro aplikaci kejdy. Nejenom díky tomu se bude jistě nadále vyvíjet směrem k větším pracovním záběrům, větším kapacitám cisteren a maximální šetrnosti k půdě. Větších záběrů bude dosahováno pomocí moderních materiálů jako jsou uhlíková vlákna a lehčí a pevnější plasty. Také se zvyšují požadavky na jednoduchost obsluhy a co nejvyšší možnou automatizaci. Maximální využívání elektronického řízení strojů např. pomocí ISO-BUS sběrnice bude dále nabývat na významu. Propojení se systémy precizního zemědělství je už dnes běžné, ale bude nadále nabývat na významu i v kombinaci s GPS navigacemi. Pro moderní manažery a agronomy je stále větší přehled o pozemcích, technice i práci obsluhy nezbytný řízení velkých i malých podniků z důvodu udržení konkurenceschopnosti. Ve velkých lánech není možné udržet přehled o jednotlivých částech pozemku jako měli staří malopěstitelé. Systémy precizního zemědělství se snaží tento problém eliminovat ukládáním dat ze sklizně a jejich využitím při následném hnojení, zpracování půdy a ošetřování postřikem.

Přínosy a rizika hnojení digestátem nejsou dnes ještě zcela prozkoumány. Některá pozorování naznačují, že stojí za snížením obsahu uhlíku v půdě a způsobuje těžknutí půd a jílovatění pozemků. Tato pozorování jsou v zápětí vyvracena metodikami, které přesně specifikují, kolik rostlinných zbytků je třeba zapravit s digestátem pro udržení obsahu uhlíku v půdě. Jisté je, že digestát je kvalitní statkové hnojivo a jeho využívání a dlouhodobý vliv na půdu budou i nadále zkoumány.

8 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Renata Dufková, Gabriela Muhlbachová a kol. Metodický postup pro efektivní užití digestátu ze zemědělských bioplynových stanic. 1.vydání. Praha : Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, 2016. 86 stran. ISBN 978-80-87361-62-7
- [2] BENEŠ, Petr. Oblast s vysokými nároky na logistiku. Mechanizace zemědělství, číslo 6, ročník 2015, [cit.2017-04-04]
- [3] Webová prezentace firmy Zunhammer, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
<http://dspeng.cz.uvds268.active24.cz>
- [4] Webová prezentace firmy Joskin, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
www.joskin.com
- [5] Webová prezentace firmy Annaburger, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
www.annaburger.de
- [6] Webová prezentace firmy Kotte, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
www.garant-kotte.de
- [7] Webová prezentace firmy Veenhuis, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
www.Veenhuis.com
- [8] BENEŠ, Petr. Porovnání systémů pro aplikaci hnojiv v praxi. Mechanizace zemědělství, číslo 9, ročník 2016, [cit.2017-04-04]
- [9] Foto galerie strojů Kotte, [cit.2014-04-07]. Dostupné z WWW:
<http://www.agrartechnik-im-einsatz.de/resources/pictures/1062367b.jpg>
- [10] Webová prezentace firmy Vredo, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
www.vredo.com
- [11] Webová prezentace firmy Challenger, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
www.challenger-ag.com
- [12] Webová prezentace firmy Aebi, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
www.aebi-schmidt.ch
- [13] Webová prezentace firmy Pichon, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
www.pichonindustries.cz
- [14] Webová prezentace firmy Vogelsang, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
www.vogelsang.info
- [15] Webová prezentace firmy Fliegl, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:
www.fliegl-agrartechnik.de

[16] Webová prezentace firmy Farnet, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:

www.farnet.cz

[17] Webové stránky Českého hydrometeorologického ústavu, [cit.2017-04-08]. Dostupné z WWW:

www.chmi.cz

[18] Pavel Kovaříček, Zdeněk Abraham, Josef Hůla, Marcela Vlášková. Strojní linky pro hnojení. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2005. 86 stran.ISBN 80-86884-10-4

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1. Cisterna Zunhammer K 3200 PUE.....	10
Obr. 1.2. Cisterna Joskin Modulo2.....	11
Obr. 1.3. Cisterna Zunhammer SKE 18500 PU.....	11
Obr. 1.4. Cisterna Annaburger HTS 22.28.....	12
Obr. 1.5. Cisterna Kotte Garant VT 18.500.....	12
Obr. 1.6. Cisterna Veenhuis Premium 36 000.....	13
Obr. 1.7. Cisterna Zunhammer ULT 24.....	13
Obr. 1.8. Návěsná automobilová cisterna Zunhammer.....	14
Obr. 1.9 Claas Xerion Trac + Kaweco Double Twin-Shift.....	16
Obr. 1.10 Claas Xerion SaddleTrac + Kotte Garant.....	16
Obr. 1.11. Vredo VT7028.....	17
Obr. 1.12. Holmer TerraVariant 600Eco + Zunhammer.....	18
Obr. 1.13. Holmer Challenger TerraGator 9205.....	18
Obr. 1.14. Aebi VT450 Vario + Zunhammer KARL 4000.....	19
Obr. 1.15. Kuželové rozstřikovací koncovky.....	21
Obr. 1.16. Nízkoúrovňové rozstřikovací koncovky.....	22
Obr. 1.17. Invertovaná rozstřikovací koncovka.....	22
Obr. 1.18. Oscilující rozstřikovací koncovka.....	23
Obr. 1.19. Rozstřikovací rám.....	23
Obr. 1.20. Ramena s rozstřikovacími koncovkami.....	23
Obr. 1.21. Zunhammer TeleFix.....	24
Obr. 1.22. Zunhammer Farmland-Fix.....	25
Obr. 1.23. Zunhammer Glide-Fix.....	25
Obr. 1.24. Vogelsang DoubleSwing.....	26
Obr. 1.25. Vogelsang SwingMax 36.....	26
Obr. 1.26. Vogelsang BackPac.....	27
Obr. 1.27. Zunhammer ZuniDrill travní.....	28
Obr. 1.28. Zunhammer ZuniDrill polní.....	28
Obr. 1.29. Pichon EL8.....	29
Obr. 1.30. Zunhammer ZuniDisc.....	29
Obr. 1.31. Zunhammer Kusgu.....	30
Obr. 1.32. Zunhammer ZuniJect.....	30

Obr. 1.33. Kotte Garant SlurryDisc.....	31
Obr. 1.34. Kotte Garant PreMaister.....	31
Obr. 1.35. Pichon Big D EL7.....	32
Obr. 1.36. Zunhammer Vibro-Gruber.....	32
Obr. 1.37. Pichon EL61.....	33
Obr. 1.38. Vogelsang Xtill ProTerra.....	34
Obr. 1.39. Kuhn Striger v provedení Garant.....	34
Obr. 1.40. Pichon Flowmaster.....	35
Obr. 1.41. Farmet Elefant.....	35
Obr. 1.42. Aplikátor Fliegl se šnekovým rozdělovačem.....	36
Obr. 1.43. ExaCut ECL.....	36
Obr. 1.44. ExaCut ETX.....	36
Obr. 1.45. VAN - Control 2.0.....	37
Obr. 1.46. Zunhammer Trista.....	38
Obr. 1.47. Zunhammer Pusta.....	38

10 SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1. Srovnání výkonových parametrů

Tab. 3.2. Srovnání parametrů

Tab. 3.3. Srovnání nákladů v Kč

Tab. 3.4. Srovnání nákladů v Kč

Tab. 5.1. Hodnoty živin aplikovaných do země

Tab. 5.2. Hodnoty živin aplikovaných na povrch

Tab. 5.3. Úhrn srážek za sledované období

Tab. 5.4. Obsah prvků v digestátu v procentech

Tab. 5.5. Absolutní množství v cisterně

Tab. 5.6. Aplikované množství za sekundu

Tab. 5.7. Doba jízdy po záhonu

Tab. 5.8. Aplikované množství na záhon

Tab. 5.9. Ekvivalentní množství na hektar

Tab. 5.10. Procentuální obsah prvků ve vztahu k základnímu vzorku aplikovanému do země

Tab. 5.11. Procentuální obsah prvků ve vztahu k základnímu vzorku aplikovanému na povrch

11 SEZNAM GRAFŮ

Graf. 5.1. Množství srážek ve sledovaném období

Graf. 5.2. Hmotnost prvků v aplikační cisterně

Graf. 5.3. Ekvivalentní množství na hektar

Graf. 5.4. Ekvivalentní množství na hektar

Graf. 5.5. Porovnání vstřebávání fosforu v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace

Graf. 5.6. Porovnání vstřebávání fosforu v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace

Graf. 5.7. Porovnání vstřebávání draslíku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace

Graf. 5.8. Porovnání vstřebávání draslíku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace

Graf. 5.9. Porovnání vstřebávání hořčíku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace

Graf. 5.10. Porovnání vstřebávání hořčíku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace

Graf. 5.11. Porovnání vstřebávání vápníku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace

Graf. 5.12. Porovnání vstřebávání vápníku v poměru k základnímu vzorku u obou typů aplikace