Biblid: 0350-2953 (2014) 40(3): 173-190
UDK: 636.4:631.223:628.8

Originalni naučni rad
Original scientific paper

DIMENZIONISANJE CEVOVODNO-INJEKTORSKOG SISTEMA ZA RASPODELU TEČNOG STAJNJAKA

SIZING OF A PIPELINE-INJECTION SYSTEM FOR LIQUID MANURE DISTRIBUTION

Zoranović M, Ivanišević M, Sedlar A

Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 8.
e-pošta: zormi@polj.uns.ac.rs

SAŽETAK

Cevovodni sistemi za paralelnu distribuciju i injekciju tečnog stajnjaka u obradivo zemljište predstavljaju efektivan način korišćenja njegovih nutrienata i redukciju neprijatnih mirisa tokom raspodele. Međutim, pored visoke nabavne cene, u našim uslovima skupi su za instalaciju i operativno zahtevni. Za donošenje odluke o eventualnoj primeni ovog sistema neophodno je poznavanje kompleksa ekonomskih, zemljišnih, mikroklimatskih, tehničkih i tehnoloških informacija. Shodno tome, u radu je dat pojednostavljen grafički metod adekvatnog izbora varijante cevnog sistema za transport i injektorsku raspodelu TS-a, kao bazne pretpostavke pri donošenju odluke: „da ili ne!“. Od posebnog interesa je redukcija emisije amonijaka, kako zbog uloge za biljke značajnog nosioca lako dostupnog azota, tako i, pre svega, opasnog zagađivača životnog okruženja. U odnosu na klasične sisteme površinske raspodele tečnog stajnjaka, novorazvijene tehnike njegove injekcije rezultiraju redukcijom emisije amonijaka u intervalu 70-95%.

Ključne reči: tečni stajnjak, cevovod, injekcija, amonijak, azot, vazduh, ekologija

1. UVOD

Kao odziv globalnoj zabrinutosti za nekontrolisan ekološki udar, sve izraženiji su pritisci na poljoprivredu u cilju redukcije atmosferskih emisija amonijaka. Naime, rasturanje životinjskih stajnjaka na polju, aproksimativno, preuzima jednu trećinu emisija NH_3 od ukupnih poljoprivredno zagađivačkih izvorišta (Misselbrook et al., 2000). Shodno tome, sve izraženiji su interesi razvoju ublaživačkih mera na tom polju.

Severozapadne zemlje EU koriste četiri bazna tipa tehnike raspodele tečnog stajnjaka-TS na polju. Svaka od njih može biti adaptirana na adekvatan sistem za distribuciju tečnog stajnjaka, kako stacionarnog, tako i mobilnog, a čine ih:

1. Površinski raspodeljivač (prinudno kretanje tečnog stajnjaka pod pritiskom kroz raspršivač, često na podesivo nagnut tanjirasto diskosni element, dizajniran za povećanje efekta njegove bočne raspodele).
2. Raspodeljivač u trake (polužni nosač, sa više creva, raspodeljuje TS neposredno uz površinu tretiranog zemljišta u uske trake, dok se doziranje TS-a u creva obavlja adekvatnim sistemom putem različitih rotacionih dozatora za kontrolu njegovog ravnomernog protoka do svakog raspodeljivačkog creva).

3. Stopaličasti raspodeljivač (po konfiguraciji sličan raspodeljivaču u trake, sa crevima pražnjenim putem odbojnih „stopala“ za razdvajanje biljaka radi polaganja TS-a na slobodnu površinu zemljišta).

4. Injekcija (inkorporacija TS-a ispod površine zemljišta u formirani prorez, dubine do 50 mm ili putem dubljih ulagača na >150 mm).

Jedna od novijih tehnika je direktna injekcija TS-a u zemljište, gde njegovi mlazevi pod pritiskom ulaze u tretirano zemljište, mešajući se sa njim u posebne celine (Morken and Sakshaug, 1988). Ova tehnika raspodele TS-a još uvek nije široko primenjena usled problema uvoza adekvatnih tehničkih sredstava po zemljama EU.

Sl. 1 Tipična struktura cevovodnog sistema za injekciju TS-a:

- 1- sistem za agitaciju TS-a, 2- primarni pumpni sistem, 3- glavna cev za transport TS-a,
4-priključni šaht, 5- povlačeće crevo, 6- traktor za pomeranje creva i
7- kultivator za direktnu injekciju TS-a

Fig. 1 Typical structure of pipeline slurry injection setup:

- 1- slurry agitation system, 2- primary pumping system, 3- main slurry transportation line,
4- shaft for connection, 5- drag hose, 6- tractor for drag hose moving and
7- direct slurry injection cultivator

Istraživanja širom EU, naročito u Holandiji i Nemačkoj, ukazala su da novije razvijene tehnike injekcije TS-a, prema direktno površinskoj raspodeli, rezultiraju redukcijom emisije amonijaka u intervalu 70-95% (Huijsmans et al., 1997; Lorenz and Steffens, 1997). Nasuprot tome, ranija iskustva sa plitkom injekcijom putem široke skale poljskih uređaja (Misselbrook et al., 1996; Pain and Misselbrook, 1997), kao i skorošnja testiranja prototipova manjih aplikatora (Smith et al., 2000), ukazala su da efikasnost ublažavanja emisije NH_3 pod klimatskim i zemljišnim uslovima UK ne mogu biti tako visoka.

Cevovodni sistemi za injektorsku raspodelu tečnog stajnjaka-TS-a u zemljište, sl. 1., posebno u svinjarstvu, predstavljaju efektivan način korišćenja njegovih nutrienata i redukciju neprijatnih mirisa tokom raspodele, PAMI, 1997.

Međutim, pored visoke nabavne cene, u našim uslovima skupi su za instalaciju i operativno zahtevni. Prema tome, ukupna ulaganja variraju sa veličinom i složenosti sistema, čime njegovo formiranje zahteva poznavanje skupine informacija, kao baze pri donošenju konačne odluke: „da ili ne“.

2. MATERIJAL I METOD RADA

Na osnovu stranih literaturnih izvora, a shodno praktičnim i teoretski primenjenim iskustvima u domaćoj praksi tokom zadnje dve decenije, u radu je formiran originalan grafički model prihvatljivog izbora sistema za cevni transport TS-a na adekvatne distance, u interakciji sa raznim tipovima injektorskih sistema za njegovu inkorporaciju u zemljište ili adekvatnu površinsku raspodelu, pre ili tokom uzgojnog ciklusa prihvatljivo tretirane biljne vrste.

3. REZULTATI SA DISKUSIJOM

Nekoliko prednosti za primenu tečnog stajnjaka putem injektorskog sistema vredno je pomena. Među njima, dve glavne su: redukcija nutritivnih gubitaka i kontrola neprijatnih mirisa. Na globalnom nivou razvijenim državama, sadržaj azota u stajnjaku poprima formu značajnog ekonomskog resursa. No, u raznoraznim oblicima, azot može biti izgubljen atmosferskom emisijom putem tradicionalno primenjenih metoda skladištenja i distribucije stajnjaka uopšte, a posebno TS-a. Dakle, stepen ukupnih gubitaka, ne samo azota, zavisi od izabranog metoda manipulacije stajnjakom, tab. 1. Kao primer kompetentne analize, raspodela TS-a kroz irigacioni sistem putem raspršivanja, može rezultirati gubitkom azota do 30%. Nasuprot tome, direktno ubrizgavanje TS-a u zemljište značajno ih redukuje.

Shodno realnom stanju domaće poljoprivrede, kao baznog nosioca neto dohodka, napred navedeno predstavlja ozbiljno upozorenje domaćoj javnosti, pre svega na profesionalnom nivou.

Zavisno od obimnosti operacija i ostalih varijabli, pored navedenih, moguće je realizovati neke dodatne benefite injektorskog unošenja stajnjaka u zemljište:

- redukcija troškova transporta,
- redukcija oštećenja putne mreže prema upotrebi velikih transportnih sredstava i
- direktno unošenje tečnog stajnjaka, bez upotrebe adekvatnog transportnog i distribucionog sredstva, značajno redukuje efekte gaženja i zbijenosti zemljišta.

Gubitak azota u atmosferu adekvatan je ekvivalent gubitku uopštene novčane valute. Na primer, skladište tečnog stajnjaka, efektivnog zapreminskog kapaciteta $Q_e=3.500 \text{ m}^3$, sa prosečnim sadržajem azota $q_N=1,95 \text{ kg m}^{-3}$, ekvivalent je novčanom iznosu $C_{TS}=5.118,75 \text{ NJ}$ od realne tržišne vrednosti azota, sa pretpostavljenom prosečnom vrednošću $C_{Nsf} 0.75 \text{ NJ kg}^{-1}$. Shodno tome, gubitak-N od 30% reprezentuje pretpostavljeni novčani gubitak $C_{Ng}=1.535,63 \text{ NJ}$.

Tabela 1. Gubitak-N iz TS-a u zavisnosti od primenjenog metoda aplikacije
Table 1. N-loss from liquid manure in dependence of applied application method

Metod aplikacije Application method	Gubitak azota Nitrogen loss, %	Komentari, Comments
Raspršivačka irigacija Sprinkler irrigation	30	Fine kapi povećavaju N-gubitak. Gubitak će biti veći u toplim vremenskim uslovima ili sa siromašnom infiltracijom (glinovita zemljišta), a niži pri hladnim i vlažnim vremenskim uslovima, kao i dobrom infiltracijom (peskovita zemljišta). Fine particles increase ammonium-N loss. Loss will be greater in hot weather or with poor infiltration (clay soils) and lower with cool, wet weather and good infiltration (sandy soils).
Cisterna sa raspršivačkom pločom, bez inkorporacije tečnog stajnjaka. Slurry wagon with splash plate without manure incorporation.	25	Veće kapi sa nižom trajektorijom donekle redukuju gubitak azota. Larger particles and lower trajectory reduce loss somewhat.
Cisterna sa raspršivačkom pločom i trenutnom inkorporacijom tečnog stajnjaka. Slurry wagon with splash plate and immediate incorporation.	3	Blagovremena inkorporacija TS-a dramatično redukuje N-gubitak. Timely incorporation reduces N-loss dramatically.
Injekcija-ubrizgavanje. Injection	1	Veoma mali gubitak-N usled nedostatka kontakta sa atmosferskim okruženjem. Very little loss due to lack of contact with the Atmosphere.

Kontrola neprijatnih mirisa

Druga prednost injektorskih sistema za raspodelu TS-a je kontrola njegovih neprijatnih mirisa, (Zoranić et al., 2011). Dakle, injekcija TS-a drastično ih redukuje tokom njegove raspodele na tretiranoj parceli. Pri tome, većina injektorskih sistema ne ostavlja tečnost na površini tretiranog zemljišta, kao izvora neprijatnih mirisa. Ipak, neki njihovi oblici pojavljuju se tokom mešanja TS-a u skladištu adekvatnom pumpnom jedinicom i prapratnom opremom. Shodno tome, naučna istraživanja tendencijski streme pronalaženju efikasnih načina redukcije kompleksa neprijatnih mirisa, kako po intenzitetu, tako i njihovoj svojstvenosti.

Glavni nedostatak cevnog sistema za injektorski unos TS-a su troškovi njegove nabavke i instaliranja. Naime, troškovi nabavke opreme mogu biti iznad domašaja individualnog proizvođača, zavisno od veličine operativnog sistema za uzgoj svinja, a shodno tome i količine produkovanog TS-a. Uopšteno, pri normalnim tržišnim okolnostima, to jasno ukazuje na potrebu proizvođača ka udruženju napora za formiranje prihvatljive nabavne cene sistema, što je na globalnom nivou sretljivo.

Primenjena injektorska aplikacija TS-a može koštati značajno više od drugih metoda, kao što su npr. irigacioni šmrkovi-tifoni ili cisternski raspodeljivači. Prema već konstatovanom, razlog tome je visoka cena sistema, kao i povećana angažovana snaga za vuču injektora i paralelno povlačenja relativno teškog creva za snabdevanje sa TS-om. Međutim, ovako uvećan trošak treba sagledati kroz efekat smanjenja nutritivnih gubitaka, što konačno može rezultirati nižim neto troškovima. Osim toga, usled značajnog poremećaja stanja korišćene zemljišne posteljice, aktuelni injektorski sistemi ne uklapaju se zadovoljavajuće u adekvatan setveni sistem.

Komponente sistema

Kompletna cevno injektorski sistem za TS čine: najmanje jedan skladišni mešač, pumpna jedinica, glavna transportna linija od pumpe do tretiranog polja, povlačeća linija (ponekad nazvana pupčana vrpca) za povezivanje glavne transportne linije sa propratnom injekcijskom opremom, injektorski implementator i najmanje tri traktora. Jedna od opcija, kao alternativa povlačećoj liniji, je cisterna sa injektorima, a koja može biti punjena iz glavne transportne linije za TS-om, sl. 2.

Sl. 2 Cisterna za TS sa priključenim injektorima

Fig. 2 Slurry tanker with connected injectors

Radi potpunog pražnjenja, skladišta pejzažno prerijskih okruženja zahtevaju mešanje TS-a pre i tokom pumpanja. Inače, dobro mešanje TS-a rezultuje nutritivno konzistentnom teksturom fluidne mešavine. U svrhu mešanja čvrste i tečne faze, većina miksera koristi propeler na, ili blisko dnu skladišta TS-a, kao i hidraulično kontrolisan vodeni šmrk za razbijanje bilo kakvog površinski pokoričnog sloja, time realizujući bolje mešanje čvrstih komponenti u okviru finišne faze mešavine, sl. 3.

Sl. 3 Sa korovom ili slamom pokriveno skladište TS agitator treba da ima sistem za usitnjavanje pokorice

Fig. 3 With weedy or straw covered slurry storage the agitator should have a crust chopper system

Sa korovom ili slamom pokrivena skladišta TS-a, mikser treba da raspolaže sistemom za njihovo usitnjavanje na propeleru, ili recirkulacionoj pumpi, radi sprečavanja zagušenja crevno transportnog sistema. Pravilno mešanje TS-a, posebno u velikim skladištima, može zahtevati premeštanje miksera na nekoliko odabranih mesta duž njihove ivice, ili pak operativnost sistema tokom isumpavanja TS-a, (Zoranović et al., 2012).

Sl. 4 Centrifugalna pumpa sa tipovima radnih kola za hidraulični transport TS-a:
a- poluzatvoreno, b- zatvoreno

Fig. 4 Centrifugal pump with impellers for hydraulic slurry transportation:
a- semi-open, b- closed impeller

Pumpa pokreće TS od skladišta kroz glavnu transportnu liniju do tretiranog polja. Pumpe za premeštanje TS-a uglavnom su centrifugalne, srodne korišćenim za irigaciju, ali sa zatvorenim ili poluotvorenim radnim kolom za kontrolisan tok čvrstih komponenti TS-a, bez nepoželjnih posledica, npr. zapušivanje itd., sl. 4. Poluotvoreno radno kolo povoljno je za pumpanje TS-a sa visokim sadržajem čvrstih komponenti. Zatvorena radna kola tipično se koriste kod irigacionih pumpi većih protoka.

Prema vrsti pogona, postoje pumpe za TS sa sopstvenim pogonskim motorom, ili preko priključnog vratila pogonske jedinice.

Neujednačen porast useva tipično se pojavljuje pri raspodeli TS-a, ili neke od prehranjivačkih komponenti-fertilajzera u značajnije razdvojene redove, ili kada injektorski unešen TS po širini nije pravilno raspoređen. Otuda, pri nabavci mašina za ovu namenu,

poželjno je birati onu koja dozvoljava manje redne razmake injekcije od 30 cm, kao i rasprskivače niskog pritiska. Inače, niski pritisak omogućava rasprskivaču pravilniju raspodelu TS-a u otvoren zemljišni sloj, što je značajno bolje od slobodnog gravitacionog izlivanja.

Metodi pumpanja TS-a obuhvataju varijante manuelno upravljanih vakum pumpi, sa izvorom iz kompresora pogonske jedinice, ili pak pumpi pogonjenih putem hidrauličnog sistema traktora. Inače, pumpa se postavlja u skladište TS-a na kraju usisnog creva, a radi sprečavanja njenog zagušenja može biti opremljena sitnilicom čvrste faze. Sem toga, moguća je trenutna instalacija posebne sitnilice ispred glavnog radnog kola pumpe.

Od posebne važnosti je izbor pravilno dimenzionisane pumpe u saglasnosti sa strukturom celog sistema.

Glavna cevna linija prenosi TS od pumpe do tretiranog polja. Transportno irigacione cevi mogu biti aluminijske ili se koristi kalemasto-namotano glavno linijsko crevo. Ako se koristi crevo, mora biti izdržljivo na ekstremne pritiske pumpe. Radni pritisci pumpe tipično su 1.035 kPa, dok su ekstremni pritisci, kao uzrok pucanja creva do 3.450 kPa.

Generalno, glavna transportna linija za TS prečnika je 150-200 mm. Sa Al cevima, ili crevima većeg prečnika, manji je pad pritiska duž linije kretanja TS-a, a time i ukupno angažovana energija celokupnog procesa njegove raspodele.

Dužina glavne transportne linije može biti do 3 km, pa čak i više. Naravno, duže distance zahtevaju veći utrošak energije, pri tome rezultujući nižim protočnim stopama TS-a na tretiranom polju. Radi održavanja propisanih protočnih stopa TS-a može biti zahtevana dodatna pumpa u procenjenoj tački duž glavne linije transporta.

Kriterijumi za izbor cevi, ili creva glavne transportne linije, zasnovani su na njihovoj nabavnoj ceni i pogodnosti primene. Činjenično, creva su znatno skuplja od aluminijskih irigacionih cevi, mada su mnogo pogodnija zbog pristupačnosti, fleksibilnosti i lake mobilnosti.

Povlačeća transportna linija TS-a povezuje glavnu snabdevačku liniju sa injektorom putem creva prečnika: 100, 125 i 150 mm. Ova linija mora biti trajna i otporna na abraziju, jer se povlači duž zemljišta tretiranog polja iza injektora, kao i tokom preseljenja sa jednog na drugo mesto.

Većina proizvođača injektora preporučuje korišćenje dva creva, aktivne dužine 200 m, pri raspodeli TS-a na polju površine 16 ha u jednom koraku. Naime, ova dva creva povezana su sa adekvatnim spojničkim mehanizmom, tako da drugo crevo može biti nezavisno pokretano duž polja, ili ka drugoj strani glavne transportne linije TS-a.

Motalice creva pomažu polaganju i podizanju glavne transportne linije TS-a i povlačećeg creva. Pogone se hidraulički, putem PVT-a ili SUS motora, a montiraju na frontalnom nosaču u tri tačke podiznog hidraulika traktora, ili na posebnoj platformi sa pneumaticima. One često sadrže dva do osam parcijalnih doboša, različito dimenzionisanih prema mogućim prečnicima namotavajućeg creva. Radni položaj doboša motalica može biti horizontalan ili vertikaln.

Neke od motalica creva opremljene su sistemom vazdušne podrške za potpuno pražnjenje creva, pre njegovog namotavanja.

Relativni troškovi opreme

Apróksimativno-relativni troškovi opreme cevnog sistema za transport TS-a prikazani su u tabeli 2.

Tab. 2. Relativni troškovi opreme

Tab. 2. Relative costs of equipments

Artikal, Item	Približni relativni troškovi opreme, % The approximate relative costs of equipment, %
Mešač lagune, Lagoon agitator	8,66
PVT-om pogonjena pumpa, PTO driven pump	9,88
Glavna linija, Main line	20,79
Povlačeće crevo, Drag hose	27,73
Injektor, Injector	17,33
Crevni kalem-motovilo, Hose reel	9,71
Merač protoka, Flow meter	2,95
Crevna kvačila, Hose couplers	2,95
Ukupno, Total	100

Injekcija TS-a

Postoji širok spektar injektora TS-a i aplikatora dostupnih za upotrebu kod cevno magistralnog dopremanja TS-a na odredište. Neki od njih, šematski su prikazani na sl. 5.

Većina njih opremljena je sistemom kačenja u tri tačke, mada postoje i vučene varijante. Tipičan injektor je radnog zahvata 3,6 m i podesivog razmaka između parcijalnih injektorskih elemenata 300-850 mm.

Injektori sa klinastim nožem otvaraju uzan prerez u površinskom sloju zemljišta, dubine 5 cm, u koji se unosi tečni stajnjak kontrolisanog protoka. Naime, rade dobro pri bočnom obuhvatanju kultura sejanih u redove, a zbog izbegavanja značajnog oštećenja strnih žita, zahtevaju podešenost međurazmaka parcijalnih injektora ne više od 30 mm.

Pošto su formirani otvori relativno uzani, radi sprečavanja razlivanja TS-a po površini zemljišta, stopa njegove aplikacije relativno je mala.

Klinasto krilni injektor formiraju horizontalni otvor oko 10 cm ispod površine zemljišta, time dozvoljavajući ravnomernu raspodelu stajnjaka po širini krilaca do 30 cm. Potpuna pokrivenost horizontalnog otvora stajnjakom prevencija je izbegavanju neujednačenog porasta adekvatnog useva. Osim toga, ovi injektor održavaju količine postojećih otpadnih materijala na površini zemljišta i više aplikacione stope u odnosu na klinaste sa oštricom, a pri tome, bez povratnog efekta položenog stajnjaka na površinu zemljišta.

Sl. 5 Tipovi injekcije:

a-sa klinastim nožem, b-horizontalno klinasto krilna, c-plitko kultivatorska, d-plitko diskosna i e-dubinsko razrivačka

Fig. 5 Types of injection

a- knife injection, b- horizontal sweep injection, c- shallow incorporation by S-tine cultivator, d- shallow incorporation by concave disks, e- subsoiling injection

Injektori većih operativnih dubina-razrivači, uglavnom su zastupljeni u Evropskoj Uniji, gde ima potrebe za injektorskom raspodelom TS na dubinama 40-60 cm. U mnogo slučajeva, ovako duboka aplikacija TS-a može redukovati benefite njegove injekcije na manjim dubinama tretiranog zemljišta, uz značajno povećanje utroška energije.

Površinski injektori koriste se na pašnjacima EU, a posebno Velike Britanije. Inače, formiraju vertikalni prorez do 15 cm dubine za kontrolisano doziranje i način raspodele TS-a, signifikantno redukujući imtenzitet neprijatnih mirisa prema raspodeli TS-a iz vazduha, mada nisu efektivni kao prethodno pomenute varijante injektora u tom pogledu.

Aplikatori TS-a

Elementi inkorporacije koriste jedan ili set rasprskivača, blizu površine tretiranog zemljišta, ispred ili direktno iza otvarača proreza. Dva najzastupljenija tipa su rotacioni aerator sa podesivim uglom i S-polužno ozubljen kultivator za mešanje TS-a sa zemljištem.

Uopšteno govoreći, ove mašine rezultuju većim gubitkom-N, tab.1. Pored toga, pošto zahtevaju promenu teksture zemljišta u setvenom sloju, nisu kompatibilni sa operacijama nulte obrade zemljišta.

Površinski aplikatori takođe su dostupni. Ovo uključuje elemente za dopremanje i doziranje TS-a do rasprskivača niskog pritiska, koji disperguje njegove veće kapi blizu zemljišta radi redukcije neprijatnih mirisa i gubitaka amonijaka. Sprovodne cevi, do rasprskivača niskog pritiska, postavljene su na razmaku 20-30 cm.

Protočni cevovod

Većina injektorskih uređaja koristi adekvatan raspodeljivač TS-a po širini aplikatora. Neki od protočnih raspodeljivača jednostavni su, bez pokretnih elemenata, dok su drugi znatno složeniji. Jedan od tipova koristi hidraulično pogonjen rotacioni nož za usitnjavanje slame i drugih čvrstih primesa u stajnjaku, mešajući ih pre ulaska u uža creva. Drugi tip koristi set bregastih elemenata za otvaranje i zatvaranje izlaznih otvora sekvencijalno, time obezbeđujući veoma ujednačenu distribuciju TS-a.

Mnogi od ovih alata takođe imaju hidraulično deaktivirajuće protočno ventile, čime se protok TS-a prekida kada je neki od parcijalnih injektora iznad površine zemljišta. Daljinski protočni usmerivač pumpe neophodan je pri korišćenju kontrolnog ventila protoka, tako da nagla promena pritiska ne izazove pucanje cevi ili creva usled hidrauličnog udara.

Merač protoka

Stopa aplikacije TS-a može biti proračunata upotrebom dijagrama radnih karakteristika pumpi i faktora gubitaka trenjem, mada za preciznije aplikacione stope TS-a treba koristiti merač protoka. Postoje dva osnovna tipa ovog uređaja: elektromagnetski i doplerov merač protoka, sl. 6.

Sl. 6 Merač protoka TS-a: a-elektromagnetni, b-doplerov merač protoka
Fig. 6 Slurry flow meter: a-electromagnetic, b- doppler flow meter

Oba tipa merača instaliraju se između konektora povlačnog creva i raspodeljivača protoka, a može biti podešavan putem displeja iz kabine traktora, dozvoljavajući operateru prilagođavanje brzine kretanja agregata u cilju ostvarenja željene protočne stope TS-a. Ovo takođe nudi automatsku proceduru podešavanja aplikacione stope prema promeni zemljišnih uslova na polju, a time mogućnost primene kontrole putem GPS-a.

Elektromagnetni merač protoka skuplji je od doplerovog aproksimativno 4 do 5 puta. Iako ovi merači nisu precizni kao elektromagnetni, ipak mogu se zadovoljavajuće koristiti za merenje protoka stajnjaka u navedene svrhe.

Merač protoka pruža preimućstvo pri eventualnoj prodaji, pozajmici, ili po drugoj osnovi dislokaciji akumulisanog TS-a, kao nutritivnog resursa. Analiza nutritivnog potencijala TS-a, kombinovana sa procenom primenjene količine, odrediće efektivnu količinu nutrijenta dostavljenu na polje. Ovo pomaže utvrđivanju adekvatne količine i realne cene TS-a za pomenute namene.

Očigledno, zbog visoke nabavne cene, precizne merače protoka nabaviće operateri koji primenjuju milione litara TS-a na godišnjem nivou.

Traktor kao pogonska jedinica

Traktori su zahtevane pogonske jedinice za agitaciju TS-a u skladištima, premeštanje i pokretanje transportnih creva, injekciju TS-a i možda njegovo pumpanje. Zavisno od podešenosti sistema, za navedene svrhe biće potrebno tri do pet traktora, tab. 3.

Tabela 3. Zahtevi za traktorom

Table 3. Tractor requirements

Oruđe, Implement	Tractor, Traktor		Druge potrebe, Other needs
	Zahtevan broj, Number required	Zahtevana snaga, Power required, kW	
Mešač , Agitator	1 ili više, 1 or more	75-97	PVT, PTO
Pumpa, Pump	0-1	97-112	PVT, PTO
Povlačeće crevo, Drag Hose	1	75	Traktor sa frontalnim točkom + ram za kačenje u tri tačke+frontalni nosač, Front-wheel assist + 3-point hitch + front loader
Injektor, Injector	1	90-112	4WD + ram za kačenje u tri tačke 4WD + 3-point hitch
Ukupno zahtevan broj traktora, Total tractors required, 3-5			

Mikseri TS-a u skladištu pogone se sa PVT-a. Oni, samo sa mešajućim propelerom, zahtevaju snagu PVT-a do 75 kW. Generalno, agitatori sa recirkulacionim rasprskivačem, ili dodatnom pumpom, zahtevaju oko 97 kW. Veoma veliko skladište može zahtevati više od jednog agitatora, a stoga više i od jednog traktora.

Pumpe mogu biti pogonjene sa PVT-a, ili pak namenskim motorom. Pri tome, traktorom pogonjena pumpe često zahtevaju snage u intervalu 97-112 kW, zavisno od njihovog tipa i aplikacione stope TS-a.

Pri korišćenju dva povlačeća creva zahteva se traktor snage aproksimativnih 75 kW za pokretanje creva oko poljane. U tom slučaju poželjan je traktor sa frontalnim točkom u asistenciji za bolju trakciju pri vlažnim uslovima. Ovaj traktor može polagati i sakupljati creva na adekvatnu motalicu, a treba ga opremiti adekvatno kompatibilnim tehničkim dodacima.

Traktor treba da je snage 90-112 kW, zavisno od veličine i tipa injektora, a treba da vuče injektor, kao i povlačeće crevo, po zemljištu iz njega. Potpuno napunjeno povlačno crevo može biti mase do 2.450 kg.

Za lakše okretanje sa prikačenim povlačnim crevom, traktor treba da ima pomoćni frontalni točak ili 4WD-pogon na sva četiri točka. Ovaj traktor često će zahtevati sistem kačenja u tri tačke-standardni ram za većinu injektora, mada povećavajući broj vučenih tipova kultivatora postaje deo injektorskog sistema.

Dimenzionisanje cevnog sistema

U cilju pravilnog funkcionisanja sistema cevovodne injekcije, kao agregatne jedinice, individualni delovi opreme moraju biti dimenzionisani prema celokupnom sklopu sistema, po principu veze karika u lancu.

Glavni faktori, uzeti u obzir pri dimenzionisanju pumpne opreme, uključuju udaljenost od skladišta TS do tretiranog polja, kao i prosečnu protočnu stopu, potrebnu za željenu aplikacionu stopu. Željena aplikaciona stopa određena je kombinacijom činilaca:

- sadržaj nutrienda u TS,
- zahtevi zemljišta za nutrientima,
- kapacitet injektora i
- brzina kretanja.

Zbog varijeteta prirodnih faktora, pritisak radnog medijuma gubi se duž sistema, između pumpe i injektora. Naime, sumarni gubitak pritiska okarakterisan je njegovim ukupnim dinamičkim padom TDP- sistemski pritisak. Nadalje naveden primer prezentuje adekvatno izražen TDP preko uopštenog pojma pritisak. Generalno, u pravilno dimenzionisanom sistemu, pritisak pumpe identičan je TDP-u, tj. sistem zadovoljavajuće funkcioniše pri željenoj protočnoj stopi TS-a.

Bazno pravilo pri dimenzionisanju cevi govori o tome, da brzina kretanja TS-a kroz transportnu cev treba da bude veća od $0,3 \text{ m s}^{-1}$, time eliminišući postojanost i koncentraciju čvrste faze, a manja od $1,83 \text{ m s}^{-1}$, radi izbegavanja problema združenih sa naglim promenama pritiska, kao prirodnog fenomena.

Jednostavno rečeno, sistem treba dimenzionisati tako da dostavlja dovoljno TS-a do tretiranog polja, pri tome održavajući kontinualno snabdevanje injektora radnim medijumom adekvatnog pritiska i volumena u operativnom vremenskom kontinuitetu, dovoljne brzine duž transportne cevi, sa ciljem suspenzije čvrste faze, a bez pojave ekstremnih vrednosti pritiska- hidraulični udar.

Druga informacija, potrebna za određivanje dimenzija sistema, su faktori pada pritiska u cevima i injektoru, kao i radne krive za raspoložive pumpne jedinice.

Primer dimenzionisanja sistema

U narednom koraku prikazuje se teoretski praktičan primer procedure dimenzionisanja sistema. U tom smislu, neka ga karakterišu pretpostavljene osobine:

- planirana protočna stopa TS-a kroz sistem: $Q_{TS} = 60 \text{ l s}^{-1}$,
- udaljenost polja od skladišta TS-a: $L=800 \text{ m}$,
- dužina glavne *Al* linije za transport TS-a, prečnika $D=150 \text{ mm}$: $L_1=800 \text{ m}$,
- dužina povlačećeg creva od glavne linije do injektora, prečnika $d=130 \text{ mm}$: $L_2=400 \text{ m}$
- aktivna površina tretiranog polja injekcijom TS-a: $A=16 \text{ ha}$.

Proračunat sistemski pritisak-TDP, sl. 7., podrazumeva sumu:

- usisne visine (sl)- pritisak za podizanje TS-a od ulaza u crevo do usisne grane pumpe
- glavne razlike (hd)- pritisak zahtevan za podizanje TS-a od visine pumpe do visine injektora

- pritisak pražnjenja TS-a u injektoru (dp)
- gubitak pritiska na trenje TS-a (fl)- pritisak izgubljen usled trenja TS-a o cevnu i crevnu liniju transporta.
-

Sl. 7 Parcialni pritisci sistema za hidraulični transport TS-a:

-Δp-pad pritiska, +Δp- dobitak pritiska

Fig. 7 Partial pressures of systems for liquid manure hydraulic transportation:

(-Δp)-pressure loss, (+Δp)-pressure gain

Pretpostavke:

sl=240 kPa, kao ekvivalent 4,6 m stuba TS-a;

hd=-80 kPa, kao ekvivalent 1,5 m stuba TS-a za injektor niži od pumpe;

dp=69 kPa i

fl=2·C·Q_{TS}·L, gde su:

C-koeficijent gubitka pritiska trenjem TS-a o zidove transportne linije različitih prečnika, sa karakterističnim vrednostima:

Koeficijent trenja, C Friction loss coefficient,	Prečnik cevi, mm Pipe diameter,	Tip transportne linije TS-a Type of liquid manure transportation line
C	mm	
0,00114	100	Crevo, Hose
0,000455	125	Crevo, Hose
0,000284	150	Crevo, Hose
0,000142	150	Al-cev, Al-pipe,

Q_{TS}- protočna stopa TS-a, l s⁻¹ i

L- parcijalna ili ukupna dužina linije transporta, m.

Pritisaci i angažovane snage, pri različitim protocima TS-a, za tri pume dati su u tab. 4.

Tab. 4. Ostvareni pritisak i angažovana snaga za tri pumpe, pri različitim protocima TS-a

Tab. 4. Realized pressure and engaged power of three pumps for different slurry flow rates

Protok, Flow rate	Pritisak i angažovana snaga pumpe, Pressure and engaged power of pump					
	A		B		C	
$l \cdot s^{-1}$	kW	kPa	kW	kPa	kW	kPa
19	30	552	101	1448		
25	34	517	104	1379	97	1207
32	37	483	112	1344	101	1172
38	39	414	119	1276	104	1138
44	41	324	123	1207	108	1103
50	42	241			112	1034
57	45	138			115	1000
63					119	896
82					127	552

Najjednostavnija procedura dimenzionisanja sistema je grafička, a obuhvata sledeće korake:

- Na levoj i desnoj ordinati formirati podeone skale za pritisak i angažovanu snagu, a na apscisi adekvatan opseg podeone skale protoka pumpe.
- Nakon toga formirati krive pritiska i angažovane snage posmatranih pumpi, kao i sistemsku krivu TDP-a u funkciji protoka radnog medijuma.
- Potom odrediti protočnu stopu TS-a, pri kojoj nastupa presek krivih pritiska pumpe i TDP-a. Time je definisana protočna stopa za odabran sistem.
- Ako pomenuta protočna stopa nije dovoljna, potrebno je izabrati drugu pumpu, ili izvršiti sistemske promene, npr. upotreba većeg prečnika creva radi redukcije gubitaka trenjem.
- U momentu definisanja protočne stope, povući liniju do krive angažovane snage izabrane pumpe i horizontalno je produžiti do desne ordinatne podele za snagu. Time je očitana vrednost potrebne snage za pogon pumpe.

Predložene krive sistemskog pritiska, prema krivama tri pumpe, prikazane su na sl. 8, 9 i 10. Očigledno, pumpa III iz tab. 4, najbliže odgovara sistemski projektovanoj protočnoj stopi TS-a od $60,0 l \cdot s^{-1}$, sl. 8. Ostale dve krive presecaju sistemsku krivu pri protočnoj stopi TS-a od približno $52,0 l \cdot s^{-1}$, što ukazuje na aproksimativno potrebnu angažovanu snagu od $113,0 kW$.

Sl. 8 Karakteristike pumpe za crevo prečnika 125 mm:

A-Pumpa I (Pritisak); B-Pumpa I (Snaga); C-Pumpa II (Pritisak); D-Pumpa II (Snaga); E-Pumpa III (Pritisak); F-Pumpa III (Snaga) i G-Sistemska kriva

Fig. 8 Pump characteristics for 125 mm drag hose diameter:

A-Pump I (Pressure); B-Pump I (Power); C-Pump II (Pressure); D-Pump II (Power); E-Pump III (Pressure); F-Pump III (Power) i G- System curve

Ako je korišćeno crevo prečnika 100 mm umesto 125 mm, pomenute krive presecaju se u protočnoj stopi TS-a oko 40 l s⁻¹, sl. 9, a pri 150 mm oko 57 l s⁻¹, sl. 10. Crevo, prečnika 150 mm zahteva umereno angažovanu snagu i gubitak pritiska značajno niži od prečnika creva 125 mm, ali je značajno skuplje. Razlika cena koštanja kod povlačećeg creva prečnika 125 mm i dužine 400 m, u odnosu na istu dužinu creva prečnika 150 mm ekstremna je. Međutim, upotreba creva prečnika 100 mm signifikantno redukuje protočnu stopu TS-a za adekvatnu pumpu, što podrazumeva korak ka izboru nove pumpe.

Ako pogodna kombinacija pumpe i creva nije pronađena u prvom koraku, procedura se ponavlja u nekoliko narednih koraka do određivanja razumno dobrog rešenja.

Sl. 9 Karakteristike pumpe za crevo prečnika 100 mm:

A-Pumpa I (Pritisak); B-Pumpa I (Snaga); C-Pumpa II (Pritisak); D-Pumpa II (Snaga); E-Pumpa III (Pritisak); F-Pumpa III (Snaga) i G-Sistemska kriva

Fig. 8 Pump characteristics for 100 mm drag hose diameter:

A-Pump I (Pressure); B-Pump I (Power); C-Pump II (Pressure); D-Pump II (Power); E-Pump III (Pressure); F-Pump III (Power) i G- System curve

Sl. 10 Karakteristike pumpe za crevo prečnika 150 mm:

A-Pumpa I (Pritisak); B-Pumpa I (Snaga); C-Pumpa II (Pritisak); D-Pumpa II (Snaga); E-Pumpa III (Pritisak); F-Pumpa III (Snaga) i G-Sistemska kriva

Fig. 8 Pump characteristics for 150 mm drag hose diameter:

A-Pump I (Pressure); B-Pump I (Power); C-Pump II (Pressure); D-Pump II (Power); E-Pump III (Pressure); F-Pump III (Power) i G- System curve

4. ZAKLJUČAK

Emisija amonijaka uglavnom potiče iz stajnjaka stočarskog farminga, (do 30% od ukupnih emisija u poljoprivredi), a predstavlja isparivački oblik gubitaka skupog biljnog nutrijenta, tj. azota, kao i važan stresni faktor životne sredine. Pri raspodeli na polju, najviši gubici NH_3 pojavljuju se tokom nekoliko časova po aplikaciji TS-a, a mogu se značajno redukovati: izborom adekvatnog sistema za distribuciju TS-a i njegovom raspodelom putem injektorskog sistema pri povoljnim vremenskim uslovima.

Od postojećih sistema za distribuciju TS-a u lokalnom okruženju izvorišnog farminga, posebno interesantan je cevni transport. Za donošenje odluke o eventualnoj primeni ovog sistema neophodno je poznavanje kompleksa ekonomskih, zemljišnih, tehničkih i tehnoloških informacija. U radu je dat pojednostavljen grafički metod za pravilan izbor varijante cevnog sistema za transport i injektorsku raspodelu TS-a, kao bazne pretpostavke za donošenje pravilne odluke: „da ili ne!“.

5. LITERATURA

- [1] Huijsmans, J. F. M., Hol, J. M. G., Bussink, D. W. (1997): Reduction of ammonia emission by new slurry application techniques on grassland. In: Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands (Jarvis S C; Pain B F, eds), CAB International, Wallingford. pp. 281–285.
- [2] Lorenz, F., Steffens, G. (1997): Effect of application techniques on ammonia losses and herbage yield following slurry application to grassland. In: Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands (Jarvis S C; Pain B F, eds), CAB International, Wallingford. pp. 287–292.
- [3] Misselbrook, T. H., Laws, J. A., Pain, B. F. (1996): Surface application and

- shallow injection of cattle slurry on grassland: nitrogen losses, herbage yields and nitrogen recoveries. *Grass and Forage Science*, 51, pp. 270–277.
- [4] Misselbrook, T. H., Vander Weerden, T. J., Pain, B. F., Jarvis, S. C, Chambers, B. J., Smith, K. A., Phillips, V. R., Demmers, T. G. M. (2000): Ammonia emission factors for UK agriculture. *Atmospheric Environment*, 34, 871–880.
 - [5] Misselbrook, T. H., Smith, K. A., Johnson, R. A., Pain, B. F. (2002): Slurry Application Techniques to reduce Ammonia Emissions. *Biosystems Engineering*, 81 (3), 313–321.
 - [6] Morken, J., Sakshaug, S. (1998): Direct ground injection of livestock waste slurry to avoid ammonia emission. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. pp. 51, 59–63.
 - [7] Pain, B. F., Misselbrook, T. H. (1997): Sources of variation in ammonia emission factors for manure applications to grassland. In: *Gaseous Nitrogen Emissions from Grasslands* (Jarvis S C; Pain B F, eds), CAB International, Wallingford. pp. 293–301.
 - [8] PAMI, (1997): Research Update. A Guide to Pipeline Manure Injection Systems.
 - [9] Smith, K. A., Jackson, D. R., Misselbrook, T. H., Pain, B. F., Johnson, R. A. (2000): Reduction of ammonia emission by slurry application techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77, pp. 277–287.
 - [10] Zoranović, M., Potkonjak, V., Turan, J., Ivanišević, M. (2011): Problemi aerobnih i anaerobnih emisija gasova iz stočnog stajnjaka. *Savremena poljoprivredna tehnika*. Vol. 37, No. 2, 213-222.
 - [11] Zoranović, M., Potkonjak, V., Turan, J., Ivanišević, M. (2012): Ekološki i energetski značaj emisije amonijaka u fazama tretmana stajnjakom. *Savremena poljoprivredna tehnika*. Vol. 38, No. 2, 109-119.

SIZING OF A PIPELINE-INJECTION SYSTEM FOR LIQUID MANURE DISTRIBUTION

Zoranović M, Ivanišević M, Sedlar A

University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg D. Obradovića 8, Novi Sad

e-mail: zormi@polj.uns.ac.rs

SUMMARY

Increasingly, there are pressures on agriculture to reduce emissions of ammonia to the atmosphere, because of concerns about environmental impact. The land spreading of animal manures accounts for approximately one-third of the total NH_3 emissions from agriculture, so there has been much interest in the development of abatement measures in this area. Piping systems for parallel distribution and injection of liquid manure to arable land is an effective way of using its nutrients and odors during distribution. However, in despite the high purchase price, in our conditions, these systems are expensive to install and operationally complex. A decision of the possible application of this system requires knowledge of complex economic, land, microclimatic, technical and technological informations. Accordingly, this paper provides a simplified graphical method for proper selection of variants of pipeline systems for transport and injection of liquid manure as base assumptions when making a decision: "Yes or No!". Of particular interest is the reduction

of ammonia emissions, as an important carrier of readily available nitrogen for plants and on the other hand as very dangerous environmental pollutants. Compared to conventional systems of the surface distribution of liquid manure, new techniques developed its injection result in the reduction of ammonia emissions in the approximate range of 70-95%. Taken together with the results of other research, it is apparent that a range of ambient, soil and crop conditions, as well as operational factors, will influence the effectiveness of the NH_3 emission abatement achieved using these techniques and would justify further research. An economic evaluation of using the new application techniques, together with a detailed assessment of factors influencing any agronomic benefits, are areas which would benefit from further study.

Key words: slurry, pipeline, injection, ammonia, nitrogen, air, ecology

<p>Napomena: Ovaj rad je deo istraživanja na projektu republičkog Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, br. TR31046.</p>
--

Primljeno: 05. 08. 2014. god.

Prihvaćeno: 25. 08. 2014. god.