

UDK:004.415.2

RAZVOJ SOFTVERA ZA SIMULIRANJE PROCESA OBRADE ZEMLJIŠTA

Rajko Radonjić

*Mašinski fakultet - Kragujevac
rradonjic@kg.ac.yu*

Sadržaj: Kombinacija matematičke simulacije i eksperimentalnog ispitivanja je značajan faktor u poboljšanju kvaliteta poljoprivrednih mašina. U ovom radi razvijen je simulacioni model za istraživanje dinamike sistema traktor – plug. Struktura modela uključuje konstruktivne parametre pluga, fizičko-mehanička svojstva zemljišta, isto tako, parametre interakcije sistema traktor – plug. Kompleksan uticaj, gore spomenutih faktora, uključen je u simulacioni proces oranja preko definisanih iznosa koeficijenta sprege sistema i transportnog kašnjenja. Prezentirani su tipični rezultati simulacije kao ilustrativni primeri.

Ključne reči: traktor, plug, dinamika, simulacija.

UVOD

Povećanje poljoprivredne proizvodnje zahteva primenu produktivnih mašina za obradu zemljišta sa visokim tehnološkim pokazateljima. Nova konstruktivna i tehnološka rešenja oruđa za obradu zemljišta treba da doprinesu poboljšanju svojstava oranja, manjoj sopstvenoj masi i gabaritima, smanjenju otpora kretanja, povećanju ekonomičnosti pogona i produktivnosti rada. Ovi ciljevi se mogu postići projektovanjem optimalnih radnih oruđa uz korišćenje savremenih metoda proračuna i ispitivanja i stečenog iskustva iz prethodnog perioda.

Istorija razvoja i usavršavanja oruđa za obradu zemljišta ukazuje na brojne probleme. Teorijskim analizama procesa obrade zemljišta nije se posvećivala dovoljna pažnja. Na primeru pluga, razmatranja su se uglavnom svodila na ispunjenje zahteva tehnologije procesa oranja uz korišćenje elementarnih statičkih metoda proračuna i brojnih empirijskih formula. Razlog ovome bile su teškoće pri određivanju dinamičkih svojstava sprege pluga i obradivog zemljišta. Sa druge strane, nivo razvoja merne opreme i metoda za ispitivanje brojnih fenomena u ovom domenu, bio je nizak [1],[2].

Sa povećanjem radnih brzina obrade zemljišta pojavila se potreba u razradi metoda eksperimentalnih istraživanja i teorijskih analiza dinamike sistema : vučna mašina-radno oruđe-obradivo tlo, [3]. U ovom smislu trebalo je razrešiti čitav niz problema počev od

poznavanja, odnosno, identifikacije relevantnih karakteristika zemljišta, kao objekta obrade, proučavanje procesa kretanja sloja zemlje preko radnih površina oruđa, analiza sila, formiranje kriterijuma za optimalno projektovanje i korišćenje. U sklopu istaknutih problema u ovom radu je prikazan sopstveni pristup u formiranju modela traktorskih plugova, prikladnih za simuliranje procesa oranja i sagledavanje uticaja konstruktivno eksploatacionih parametara.

MODELIRANJE SISTEMA

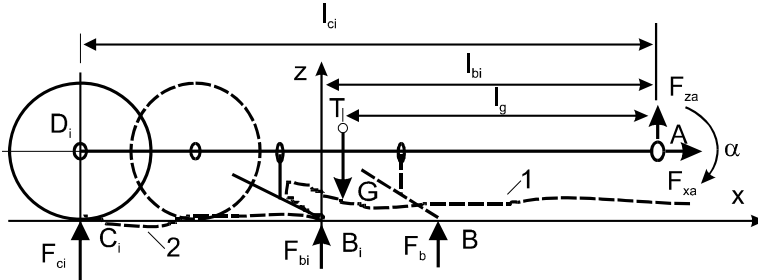
Osnovnu strukturu sistema za oranje čine: operator-traktor-plugovi-obradivo tlo. Sistem je regulacioni, zatvorene konture. Sistem je i kibernetiski kada se u ulogu operatora nalazi ljudski faktor, vozač-rukovaoc. Savremeni trendovi sve više ukazuju na ulogu autopilota u funkciji operatora, u sklopu globalnih pozicionih sistema, GPS-a.

Predmet ovog rada je parcijalno razmatranje dinamike podsistema traktor- plug u procesu oranja. Plug je pri tome karakterističan u pogledu složenosti geometrije radnih površina što u interakciji sa obradivim tлом i režimom kretanja traktora usložava proces oranja. Svojstva pluga zavise od namene, broja i tipa radnih tela, oblika i geometrije radnih površina, načina sprežanja sa radnom mašinom (vučenje, nošenje) i slično. U sklopu ukupnog sistema, plug treba da ispuni zahteve kvaliteta obrade zemljišta, bezbednosti kretanja, uslova rada i zaštite ljudskog faktora i okruženja.

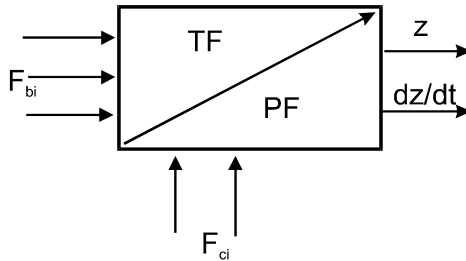
Uz odgovarajuće uvedene pretpostavke i unapred definisane funkcije upravljanja sistem se posmatra u otvorenoj konturi, a za unapred definisane veze sa radnom mašinom i režime kretanja i rada, može se analizirati dinamika pluga kao prostornog objekta. Zavisno od postavljenog zadatka i sagledanih uticaja, razmatranja mogu biti fokusirana u jednoj od dominantnih ravni podužne, bočne i vertikalne dinamike pluga. U sklopu s tim, u domenu podužne dinamike pluga razmatraju se problemi vuče, otpora kretanja, potrebne snage za pogon, brzine kretanja, potrošnje goriva. U domenu bočne dinamike pluga sadržani su problemi odstupanja od zadanog pravca, tačnost obavljanja operacije, zamaranje ljudskog faktora aktivnostima upravljanja i obavljanja radne operacije, stabilnost sistema. U domenu vertikalne dinamike pluga ističu se problemi regulisanja dubine oranja, stabilnost radnog procesa, kao i uticaji sistema za oslanjanje i nošenje plugova, na ove odnose. U sva ova tri segmenta istraživanja razvili smo odgovarajuće algoritme i softvere za simuliranje procesa u skladu sa specificiranim zadacima. U ovom radu, prezentiramo segment simulacije procesa oranja raonim plugovima saglasno odnosima vertikalne dinamike.

Formirani fizički model pluga sa reakcijama veza radne-pogonske mašine pokazan je na sl. 1. Prikazani model uključuje određen broj rednih tela pluga, označenih slovno sa B_i , i određen broj elastičnih oslonaca, pneumatskih točkova, slovne oznake C_i . Pri tome osloni točkovi sa pneumaticima mogu biti u funkciji brazdnih ili vanbrazdnih točkova što je uzeto u obzir u opcijama simulacije. Na posmatrani sistem dejstvuju sile: u elementima veze sa traktorom reakcije veza, F_{xa} , F_{za} , u centru mase T , težina pluga G , na mestima sprege reznih tela i tla B_i , vertikalne komponente sile rezanja tla, F_{bi} , na mestima C_i , vertikalne reakcije oslonih točkova, F_{ci} . Blok šema dejstva sila na sl. 2., ukazuje na relacije između broja i rasporeda rezo-odvalnih tela pluga, F_{bi} , oslonih točkova F_{ci} , kao ulaza sistema, sa jedne strane i pokazatelja dubine oranja, pomeranja i brzine radnog tela pluga u vertikalnoj ravni, z , dz/dt , respektivno, kao izlaza sistema, sa

druge strane. Sa slovним oznakama, TF – prenosna funkcija, PF – prelazna funkcija, na sl. 2, specificirana su svojstva pluga kao dinamičkog objekta u sklopu posmatranog obradnog sistema.



Sl. 1. Fizički model traktorskog raonog pluga



Sl. 2. Prenosna struktura raonog pluga.

Primenom D'alambertovog principa na fizički model na sl. 1, formiraju se jednačine dinamičke ravnoteže kretanja pluga u vertikalnoj ravni, referentna tačka A:

$$J\ddot{\alpha} + \sum_{i=1}^n F_{bi}l_{bi} + \sum_{i=1}^k F_{ci}l_{ci} + Gl_g = 0 \tag{1}$$

$$\alpha = f_{\alpha}(z_i, GP) \tag{2}$$

$$F_{bi} = f_{bi}(z_i, \dot{z}_i, c_b, k_b, p(t)) \tag{3}$$

$$F_{ci} = f_{ci}(z_i, \dot{z}_i, c_c, k_c, p(t)) \tag{4}$$

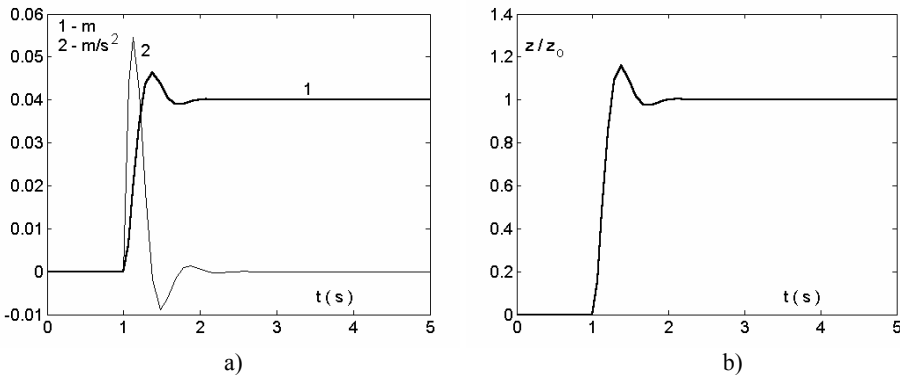
Odnos ugaonog i translatornog kretanja pluga u vertikalnoj ravni definiše izraz (2), preko geometrijskih parametara pluga, GP. Vertikalne reakcije otpora rezanja radnih tela pluga i otpori oslonaca točkova, prikazani su izrazima (3) i (4), kao funkcije generalisanih kordinata, \$z_i\$, \$dz_i/dt\$, karakteristika tla \$c_b\$, \$k_b\$, karakteristika pneumatika točkova, \$c_c\$, \$k_c\$, i vremenske pobude \$p(t)\$, respektivno. Na ove odnose utiče način sprege i sleđenja plugova u odnosu na traktor. Prema prvom kriterijumu plugovi nošeni, polunošeni, vučeni. Prema drugom kriterijumu osloni točak sledi formirane brazde, ili sledi neobrađeno tlo, ili sledi obrađeno tlo. Različiti koncepti plugova formirani po ovim kriterijumima, razlikovaće se po svojim dinamičkim karakteristikama imajući u vidu

fizičko-mehaničke karakteristike tla, kao i spregu sila na oslonim točkovima i reznim elementima pluga, odnosno, u regulaciono-tehničkom smislu, transportno kašnjenje (transport delay) u njihovom dejstvu. Intenzitet ovog efekta zavisi od međusobnog rastojanja posmatranog točka i radnog elementa i od brzine pluga u procesu oranja.

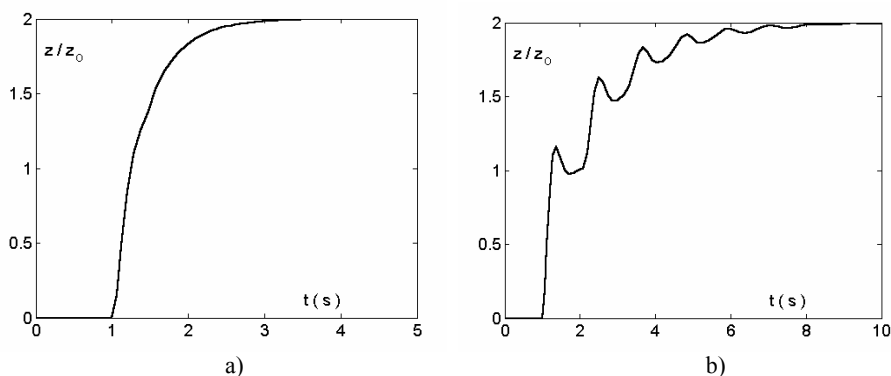
Eksplicitni prikaz izraza (2), (3) i (4), za uvedene pretpostavke, sintetizovane modele, u sprezi sa uslovom dinamičke ravnoteže (1) u rezultatu daje sistem jednačina za matematičko modeliranje pluga. Za različite konstruktivne koncepte pluga, uslove rada i uvedene pretpostavke pri formiranju fizičkog modela, sistem jednačina se može bitno razlikovati po svojoj prirodi. U tom smislu se mogu koristiti i različite metode njihovog rešavanja u fazama simulacije sistema: za diferentne jednačine, numeričke metode konačnih razlika, za diferencijalne jednačine, analitičke metode u konačnoj formi, odnosno, savremene interaktivne analogne metode. U ovom radu korišćena je druga varijanta sa podprogramima tipičnih prenosnih elemenata sistema, [5].

Brojni podaci za ilustrativne primere simulacije dinamike pluga, u ovom radu, izabrani su iz kataloga proizvođača, [6]. Struktura formiranog simulacionog modela omogućava variranje većeg broja konstruktivno-eksploatacionih parametara, od kojih se ističu: masa, raspored mase pluga, njegovi gabariti, broj i raspored rezo-odvalnih tela pluga u relaciji sa načinom sprezanja za traktor, geometrijom radnih površina, karakteristikama tla, brzinom kretanja i slično. Rezultati simulacije u vremenskom domenu, odnosno, određivanje prelazne funkcije PF, prema specifikaciji na sl. 2, pri stupnjevitom promeni vertikalne komponente otpora oranja, dati su na sl. 3 do 5.

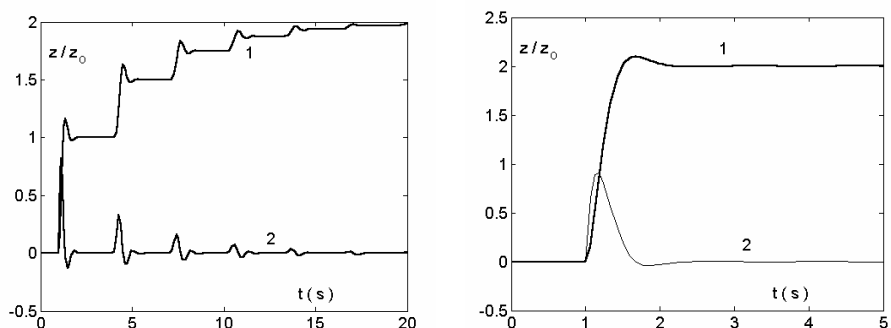
Na sl. 3, prikazani su rezultati simulacije procesa oranja, odnosno, promene dubine oranja, na osnovu pomeranja i brzine reznog elementa pluga, krive 1 i 2, respektivno. Sistem je pobuđen vremenski stupnjevitom promenom vertikalne komponente otpora rezanja pluga izazvanom trenutnom promenom fizičko-mehaničkih svojstava obradivog zemljišta. Sistem radnih tela pluga i elastičnih oslonaca je raspregnut, dakle, vrednost koeficijenta sprege 0, čime je anuliran i uticaj transportnog kašnjenja. Na sl. 3b, dat je za ovaj slučaj prikaz referentnog nivoa, kao odnos trenutne vrednosti promene dubine oranja i ustaljene vrednosti, nakon okončanja prelaznog procesa. Uočava se oscilatorni prigušni prelazni proces oko ustaljene vrednosti, sa početnim nadvišenjem.



Sl. 3 a, 1, 2 – Vertikalno pomeranje i brzina reznog elementa pluga, koncept raspregnutog sistema, bez transportnog kašnjenja, b – prikaz referentnog nivoa.



Sl. 4. Promena dubine oranja pluga za vrednosti koeficijenta sprege sistema 0.5 i transportnog kašnjenja, a) 0.2 s, b) 1 s.



Sl. 5. a, b. Poredbeni prikazi procesa oranja za transportno kašnjenje: a) 3 s, b) 0.01s

Rezultati simulacije na sl. 4, pokazuju uticaj transportnog kašnjenja sistema, a) 0.2 s, b) 1s, pri fiksiranoj vrednosti koeficijenta sprege sistema od 0.5. U prvom slučaju raspoznaje se monotono prigušni prelazni proces promene dubine oranja ka ustaljenoj vrednosti a u drugom slučaju oscilatorno prigušni proces ka istoj ustaljenoj vrednosti. Ustaljena vrednost promene dubine oranja na primeru simulacije sl. 4 a, b, dva puta je veća u odnosu na ovu vrednost, za raspregnut sistem, na sl. 3 b. Dakle, sprega sistema ima za posledicu uticaj transportnog kašnjenja, čija vrednost zavisi od konstruktivnog parametra razmaka radnih i oslonih elemenata pluga i eksploatacionog parametara brzine kretanja pluga. Ovi efekti se mogu očekivati kod svih konfiguracija raonih plugova sa sistemom vođenja i regulacije dubine oranja preko brazdnih točkova.

Prikaz na sl. 5a, b, ilustruje promenu dubine i odgovarajuće vertikalne brzine oranja u širem rasponu promene konstruktivno-eksploatacionih parametara pluga, iskazanih vrednostima transportnog kašnjenja, a) 3s, b) 0.01s. U relaciji sa prethodnim prikazima, može se zaključiti, da posmatrani faktori bitno utiču na odvijanje procesa oranja u posmatranim uslovima. Od simetrično oscilatorno prigušnog na sl. 3, za raspregnut sistem bez transportnog kašnjenja, preko asimetrično monotono prigušnog za niže vrednosti transportnog kašnjenja, sl. 5b, 4a, do asimetrično oscilatornog prigušnog za više vrednosti transportnog kašnjenja, sl. 4b, 5a.

Prikazane pojave mogu bitno uticati na stabilnost odvijanja procesa oranja u odnosu na parametar dubine oranja, a time i na kvalitet oranja. Razvijeni softver za simuliranje vertikalne dinamike pluga obuhvata i segment analize procesa u frekventnom domenu, za specifikaciju TF, na sl. 2, uz mogućnost simuliranja uticaja statističkih karakteristika neravnina zemljišta koje se obrađuje, na kvalitet procesa oranja.

ZAKLJUČAK

Projektovanje novih kao i korišćenje postojećih radnih oruđa za obradu zemljišta treba da bazira na rezultatima proračuna, ispitivanja i stečenog iskustva u ovoj oblasti. Značajan doprinos u ostvarivanju ovog cilja pružaju savremene metode simuliranja dinamičkih sistema bazirane na primeni računara. Razvijeni softver, u ovom radu, za simuliranje procesa oranja, može se koristiti za analize uticajnih faktora na kvalitet oranja, a time i za izbor optimalne radne konfiguracije sistema u relaciji sa postavljenim zahtevima i uslovima rada.

LITERATURA

- [1] Turbin B. i grupa autora (1963): Seljskohozjastveni mašini. Teorja, konstrukcija i rasčet. Mašgiz.
- [2] Bekker M. (1960): Off- the- road locomotion. Research and Development in Terramachanics. The university of Michigan press.
- [3] Sohne W. (1969): Agricultural Engineering and Terramechanics. Journal of Terramechanics. vol. 6, N^o 4.
- [4] Wong J. : Theory of ground vehicles. John Wiley & Sons, Newyork, 1995.
- [5] Radonjić R. (2005): Prilog analizi nelinearnih oscilacija traktora. Traktori i pogonske mašine, N4.
- [6] John Deer, Claas, Fendt, Regent, Vogel & Noot, Landsberg ...: Prospektni materijal, 2005, 2006, 2007.

SOFTWARE DEVELOPMENT TO SIMULATION OF THE SOIL CULTIVATION PROCESS

Rajko Radonjić

Mechanical Faculty - Kragujevac

rradonjic@kg.ac.yu

Abstract: The combination of mathematical simulation and experimental testing is an essential factor in improving of the agricultural machines quality. In this paper, a simulation model to investigation of tractor - plough system is developed. Model structure includes the plough design parameters, the soil physical - mechanical properties, as well the interaction between tractor – plough parameters. The complex influence of the above mentioned factors is included into ploughing simulation process by means defined quantities as system coefficient connection and system transport delay. The typical simulation results, as illustrative examples are presented.

Key words: tractor, plough, dynamics, simulation.