



ÚZPI

ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝCH A POTRAVINÁŘSKÝCH INFORMACÍ

ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

Agricultural Engineering

ČESKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÝCH VĚD

2

VOLUME 43 (LXX)
PRAHA 1997
CS ISSN 0044-3883

Mezinárodní vědecký časopis vydávaný z pověření České akademie zemědělských věd a s podporou Ministerstva zemědělství České republiky

An international journal published by the Czech Academy of Agricultural Sciences and with the promotion of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic

Redakční rada – Editorial Board

Předseda – Chairman

Ing. Jiří Fiala, DrSc. (Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, ČR)

Členové – Members

Doc. RNDr. Ing. Jiří Blahovec, DrSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)

Doc. Ing. Karel Brzkovský, CSc. (České vysoké učení technické, Praha, ČR)

Univ.-Prof. Dr. habil. Manfred Estler (Technische Universität München, Institut für Landtechnik, Freising, BRD)

Prof. Ing. Ján Jech, CSc. (Vysoká škola poľnohospodárska, Nitra, SR)

Ing. Petr Jevíček, CSc. (Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, ČR)

Doc. Ing. Jan Mareček, CSc. (Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ČR)

Ing. Richard Markovič, CSc. (Štátna skúšobňa poľnohospodárskych a lesných strojov, Rovinka, SR)

Ing. Zdeněk Pastorek, CSc. (Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, ČR)

Doc. Ing. František Ptáček, CSc. (Státní kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, ČR)

Prof. M. N. Rifai, Ph.D. (Nova Scotia Agricultural College, Truro, Nova Scotia, Canada)

Ing. Jan Šabatka, CSc. (Zemědělská fakulta Jihočeské univerzity, České Budějovice, ČR)

Vedoucí redaktorka – Editor-in-Chief

Ing. Jovanka Václavíčková

Cíl a odborná náplň: Časopis publikuje původní vědecké práce a studie typu review z oboru zemědělská technika, zemědělské technologie a zpracování zemědělských produktů. Abstrakty z časopisu jsou zahrnuty v těchto databázích: Agris, CAB Abstracts, Czech Agricultural Bibliography, WLAS.

Periodicita: Časopis vychází čtvrtletně (4x ročně), ročník 43 vychází v roce 1997.

Přijímání rukopisů: Rukopisy ve dvou vyhotoveních je třeba zaslat na adresu redakce: Ing. Jovanka Václavíčková, vedoucí redaktorka, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 79 39, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: braun@uzpi.agrec.cz. Den doručení rukopisu do redakce je publikován jako datum přijetí k publikaci.

Informace o předplatném: Objednávky na předplatné jsou přijímány pouze na celý rok (leden–prosinec) a měly by být zaslány na adresu: Ústav zemědělských a potravinářských informací, vydavatelské oddělení, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Cena předplatného pro rok 1997 je 204 Kč.

Aims and scope: The journal publishes scientific papers and reviews dealing with the study agricultural engineering, agricultural technologies and processing the agricultural products. Abstracts from the journal are comprised in the databases: Agris, CAB Abstracts, Czech Agricultural Bibliography, WLAS.

Periodicity: The journal is published quarterly (4 issues per year), Volume 43 appearing in 1997.

Acceptance of manuscripts: Two copies of manuscript should be addressed to: Ing. Jovanka Václavíčková, editor-in-chief, Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 79 39, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: braun@uzpi.agrec.cz. The day the manuscript reaches the editor for the first time is given upon publication as the date of reception.

Subscription information: Subscription orders can be entered only by calendar year (January–December) and should be sent to: Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Subscription price for 1997 is 51 USD (Europe), 53 USD (overseas).

ZHUTNĚNÍ PŮDY KOLY A JEHO MODELOVÁNÍ

SOIL COMPACTION BY WHEELS AND ITS MODELLING

A. Grechenko¹, J. Matějka¹, A. Bartolomějev²

¹Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

²Research Institute of Agricultural Engineering, Praha-Řepý, Czech Republic

ABSTRACT: Repeated loading by wheel traffic has a decisive impact on soil compaction. Researchers try to set up permissible limits of soil loading by axles or individual wheels. By opinion of authors of this report, the limit of wheel load of different size can hardly be represented by an all-incompassing number (e.g. 3 t per wheel) and has more likely a specific value for various sizes and loads of tyres. Highly sophisticated type of research in this direction was formulated e.g. by Bailey et al. (1992) with an aim to create a computer model for predictions of compaction. The Czech programme since 1991, presented here, emphasizes the safe method of direct measurements of compaction in the field (measurement of stresses is a far less reliable method) with gradual transition to modelling of this compaction in laboratory compactor under the controlled conditions. The state of soil after compaction should be evaluated within the relevant range of depths 20 to 50 cm under the ground and expressed by a characteristic number. In this context, the authors propose and define the index of soil damage *ISD*. For field experiments the authors used a mobile tester with one wheel (maximum load on a wheel is 40 kN). As an example, the way of carrying out and processing of experiments with trailer tyres Barum 14.5/80-18 and 18R 22.5 is explained. Then follows the description of a laboratory compactor where rigid circular plates up to 300 mm in diameter are pressed into the cylindrical container of 460 mm diameter filled with precompacted soil. A particular plate should simulate the effect of a contact area of loaded undriven tyre in the fourth pass over the soft soil when the rut has been practically completed. The mean contact pressure of the plate, pressure of the soil on the bottom of the container in the axis of the circular loaded plate along with its sinkage and other dimensions were carefully measured. After completing the loading cycle the samples of soil were taken layer after layer to evaluate soil dry bulk density and moisture content by weight in a standard laboratory weighing-drying procedure. A model of compaction (*m*) should satisfy the following conditions with respect to the original (*o*): 1. identical soil, 2. identical original compaction and water content, 3. reduction of depths *m* : *o* in the ratio that is proportional to the square root of the ratio of the respective contact areas plate : tyre. The results of modelling of field experiments were evaluated by *ISD* index like field tests. Modelling in the laboratory indicated that indoor tests gave close results to the measurements carried out in the field which is promising for further development of the above described method. Its advantages are as follows: controlled conditions, independence on weather conditions, goes faster and less work involved. Thus the laboratory measurements of compaction may become a fully autonomous method. In this stage of research only Suchdol loam was used in experiments; an extension to other soil types, particularly clays, is necessary. As to the numerical results, it was found that a global loading limit of tyres given e.g. by a value of 6 t per axle (i.e. usually 3 t per wheel), is generally too high for loamy soil as it gives an *ISD* index over 85.

soil compaction; mobile tester; laboratory compactor; index of soil damage

ABSTRAKT: Práce seznamuje s terénními experimenty stlačování půd a jejich následným modelováním v laboratorních podmínkách. Pro terénní experimenty byl využit mobilní testor pro jedno kolo s měnitelnou zátěží, který byl připojen ke kolovému traktoru. Laboratorní zařízení (kompaktor) stlačovalo připravenou zeminu v tlakové nádobě hydraulicky pomocí kruhových razidel. K vyhodnocení změn objemových hmotností půd před stlačením a po stlačení byl navržen a použit index poškození půdy (*ISD*). Modelování terénního stlačení půd v laboratorních podmínkách kopíruje pořadí škodlivosti vyhodnocené z terénních měření. Nová metoda směřuje k přímému stanovení limitu zatížení pojezdového ústrojí zemědělských vozidel a strojů podle jeho typu a rozměrů.

stlačování půd; mobilní testor; laboratorní kompaktor; index poškození půdy

ÚVOD

Ze studijního rozboru dosavadních poznatků výzkumu zhutňování půd byly specifikovány činitele ovlivňující stlačitelnost půdy. Patří k nim nejen vlivy přírod-

ní, jakými jsou mráz, tání, sucho, déšť, ale i vlivy či stav půdy ovlivněný do určité míry činností člověka, ke kterým patří např. zrnitost půdy, vlhkost půdy (v době pracovních činností na půdě), vzduch v půdě, obsah vápna a organických látek apod. Rozhodujícím vlivem

však je opakovaně zatěžování a odlehčování půdy představené zemědělským provozem.

Tento proces je v literatuře poměrně rozsáhle popisován a dokládán teoretickými i praktickými poznatky jak z laboratorních, tak terénních experimentů (Soane, 1982; Håkansson, 1992). Dosavadní poznatky umožňují učinit řadu významných závěrů a doporučení. Jedním z nich je stanovení přijatelné meze zatížení náprav, odpovídající normálnímu nasazení stroje v půdních a klimatických podmínkách určitých územních celků. Stanovení těchto „limitů“ společně půdoznalci a zemědělskými technickými inženýry by bylo významným vodítkem konstruktérům zemědělské techniky.

Naše činnost probíhala v rámci výzkumné spolupráce mezi Technickou fakultou České zemědělské univerzity (TF ČZU), Praha 6-Suchbát, a Výzkumným ústavem zemědělské techniky (VÚZT), Praha 6-Rěpy, od roku 1991 do současnosti. Od roku 1993 byl výzkum sponzorován Grantovou agenturou České republiky (GAČR) pod názvem „Limity zatížení pojezdového ústrojí zemědělských vozidel a strojů z hlediska stlačování půdy“, registrační číslo 504/93/0287.

Výzkum byl především zaměřen na experimenty v terénu a následně modelování procesů v laboratoři při využití zásad mechaniky zemin. Řešení zahrnovalo obvyklou fázi studijní, návrhovou (uplatnění originálního postupu), projekci a realizaci měřicího vybavení s uplatněním počítačové techniky, zkoušky vybavení, nácvik racionálních postupů, vlastní experimenty, jejich vyhodnocení a zpracování. Autorem uvedeného projektu, metodik, návrhů vybavení, nových postupů měření, vyhodnocení a rozborů je prof. A. Grečenko.

Dále se na pracích podílely:

- firma AGMECO, s. r. o., Praha 4-Chodov (Ing. Zbyněk Souček, CSc.); podle zadaného projektu výrobu mobilního terénního testoru pro jedno kolo, laboratorního zatěžovacího zařízení, včetně tlakové nádoby a čidel;
- firma GEOTECHNIKA, a. s., Praha (Ing. Olga Záleská); odběrem a laboratorním rozбором množství půdních vzorků z terénu podle programu, včetně vyhodnocení.

Přínosná byla rovněž činnost techniků a doktorandů katedry traktorů TF a konzultační spolupráce s Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půd, pracoviště Praha 6-Suchbát, i s katedrou pedologie Agronomické fakulty ČZU.

KONCEPCE VÝZKUMNÝCH PRACÍ V MEZINÁRODNÍM KONTEXTU

Nepřiznivě změny fyzikálních vlastností půdy z hlediska pěstování plodin představují zejména snížení hydraulické vodivosti a propustnosti vzduchu. Tyto změny je třeba spojit především se zvýšením objemové hmotnosti půdy ρ vlivem stlačení, třebaže byly podány důkazy, že k nim může dojít vlivem smykové-ho napětí i bez změny ρ (Hadas, 1994).

Objemová hmotnost půdy ρ , charakterizující její zhutnění, se zvětšuje přibližně s logaritmem příslušného napětí v půdě σ . Jde o složitou a stále definitivně neprobádanou závislost. Proto se výzkum od 50. let soustředil na sledování napjatosti v půdě, která svým přímým vlivem na zhutnění může sloužit za porovnávací kritérium relativní křovitosti různých druhů a zatížení pojezdového ústrojí. Nejznámější práce v tomto ohledu uveřejnil Söhne (1953). Dopracoval teorii napjatosti, o které informovali Boussinesq (1885) či Fröhlich (30. léta), do podoby využitelné pro potřeby terramechaniky. W. Söhne rovněž vykonal známou sérii laboratorních měření s hnětávkou zatížením půdy (postupné stlačování půdy v tlakové nádobě razidlem o značně menším průměru, než byl průměr nádoby) a uveřejnil např. pro hlínu závislosti $\rho = f(w, q_s)$ (vlhkost půdy w ; kontaktní tlak q_s). Nikdy však nespojil vypočtené napětí σ se zhutněním ρ , jednak pro neurčitost podmínek při výpočtu napětí (např. vlhkost půdy), jednak proto, že zveřejněnou teorii napjatosti nikdy experimentálně neověřil.

O to se po něm pokusili jiní autoři (např. Grečenko, 1966) se všeobecným závěrem, že výpočet napětí podle Fröhliche-Söhneho dává vyhovující výsledky.

V konkrétních případech byla také určena závislost mezi objemovým stlačením ϵ_v ($\rho = f(\epsilon_v)$) a napětím σ (Grečenko, 1966), ale ke zveřejnění a praktickému využití to nestačilo.

Později vešly ve známost oficiální údaje z bývalého SSSR o přípustném kontaktním tlaku pojezdového ústrojí a současně o svislém napětí v hloubce 50 cm na jaře i v létě v závislosti na saturaci půdy vodou, které údajně zamezí škodlivému stlačení půdy. Kontaktní tlak se měří, napětí v půdě se počítá (Rusanov, 1994). Je třeba podotknout, že pouhý výpočet napětí v uvedené hloubce není průkazný. Nejde-li o větší určitost, jsou praktičtější závěry o přípustném kontaktním tlaku a současně limitu v zatížení hnacího ústrojí (Håkansson, 1992; Grečenko, 1994).

Závěry práce (Grečenko, 1966) jakoby předurčují styl, kterým byla v poslední době vedena výzkumná práce v USA, jejímž cílem je předpovědět zhutnění půdy od projíždějících vozidel. Jsou měřena napětí ve styku půda – pneumatika. K určení napjatosti půdního profilu je použit analytický výpočet i metoda konečných prvků. Směrdatné závislosti mezi napětím a přetvořením váhou napětí v půdě ke zhutnění. K ověření platnosti mezičlánků postupu slouží měření napjatosti v půdním profilu pomocí Nicholsova čidla SST (Bailey et al., 1992). Konečnou snahou je vytvořit počítačový model k předpovědi zhutnění.

Zpráva z roku 1992 naznačovala, že výpočet zhutnění byl uspokojivý jen v některých případech. Autoři připisují nepřesnosti mj. nedostatečným předpovědím Poissonova poměru. Jelikož metoda konečných prvků počítá s řetězcem následovných uzlů, nepřesnost v jednom uzlu se promítne do všech následovných. Praktický dosah tohoto proudu, pěstovaného v některých zemích (USA, Japonsko, Čína), zatím nelze odhadnout,

jelikož se zabývá výpočty chování extrémně složitých systémů, jejichž zákonitosti se dosud nepodařilo uspokojivě definovat.

Český program klade od roku 1991 po dříve nabytých zkušenostech důraz na fyzické modelování kompakce zeminy v kontrolovatelných laboratorních podmínkách (zatlačování razidla do zeminy) ve spojitosti s měřením reálné kompakce od pojezdového ústrojí v terénu za přírodních podmínek. Směrodatné je měření průběhu objemové hmotnosti s hloubkou. Modelování v laboratorii je zatím spíše ve stadiu ověřování, lze však očekávat, že se postupně stane autonomním a domínujícím.

Vazebními prvky mezi experimenty v terénu a v laboratorii byly zprvu tatáž půda (zemina), její objemová hmotnost, vlhkost a svislé napětí v adekvátní hloubce, jež v terénu činila 50 cm (v laboratorii podle měřítka, viz dále). Tlakoměrné čidlo se snímáček tenkou deskou s tenzometrickým můstkem však nelze uspokojivě umístit do neporušené půdy a současně zajistit patřičný kontakt desky s půdním prostředím. Proto musela být terénní měření konána jako dříve ve vymezeném měřicím prostoru, který byl po zástavbě čidla zaplněn zeminou před tím vykopanou a po vrstvách zhutněnou. Důsledek byl, že se nedocílilo větší objemové hmotnosti sušiny ρ_d než cca 1 100 kg/m³, což neodpovídalo stavu okolní půdy (ρ_d min. 1 400 kg/m³) a měření tím bylo atypické.

Z uvedeného důvodu se od roku 1994 měřilo v terénu pouze zhutněná půdy v přirozeném uložení a jako čtvrtý vazební prvek byl zaveden střední kontaktní tlak ve styčné ploše. V laboratorii se napětí nadále měřilo.

Nezávisle byla provedena referenční měření $\rho_d = f(z)$ do hloubky $z = 60$ cm na panenských místech v okolí, kde po dlouhou dobu či vůbec nedošlo k přejezdu těžším vozidlem. Objemová hmotnost vysušené nepoškozené půdy (Suchdolská hlína) se v celém profilu pohybovala okolo 1 400 kg/m³. Půda byla vždy do hloubky bez kamenů, s přechodem od tmavohnědé ornice do sprašové žlutozemě v hloubce cca 40 cm.

MĚŘICÍ VYBAVENÍ

ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKY V TERÉNU

Mobilní testor (projekt: Ing. Jan Souček, CSc., VÚZT)

Pro terénní výzkum v měřicím prostoru s připravenou zeminou nebo přímo na konkrétní zemědělské půdě se vedle možnosti použití kompletních mobilních prostředků nabízí jako vhodnější využití speciálního mobilního zařízení pro jedno kolo – mobilního testoru. Pomocí tohoto zařízení je možné zatížit pneumatiku podle potřeby s ohledem na její rozměry, konstrukci a tlak huštění. Další předností tohoto testoru je jízda kola po neporušené půdě, mimo stopy tažného vozidla. Jeho realizace je v souladu s progresivními trendy uplatňovanými ve výzkumných pracovištích v zahrani-

čí při vývoji a hodnocení pneumatik v provozních podmínkách. Možnost snadného prověření vlivu řady faktorů umožňuje optimalizovat parametry pojezdového ústrojí pro konkrétní mobilní prostředek a určité terénní podmínky. Mobilní testor pro jednu pneumatiku umožňuje řešit otázky definování mezních nápravných tlaků s různými typy a velikostmi pojezdového ústrojí při podmínce, že v jistém rozmezí hloubek pod povrchem nepřekročí stlačování půdy přípustnou hodnotu.

Na mobilní testor jsou kladeny tyto požadavky:

- snadné přemístění na požadované místo v terénu, umožňující výzkum v měřicím prostoru s předem připravenou zeminou nebo na různých zemědělských půdách,

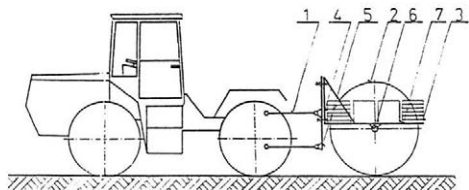
- snadná výměna hodnoceného kola o průměru od 800 do 1 900 mm a šířce do 1 000 mm,

- možnost nastavit radiální zatížení kola až do 40 kN,

- závěs zatěžovacího zařízení musí umožnit kopírování podložky kolem, aniž by bylo ovlivněno radiální zatížení pneumatiky,

- možnost zvednout kolo nad podložku při stanovení plochy otisku pneumatiky a při transportu.

Na základě těchto požadavků byl mobilní testor projektován a vyroben pro připojení prostřednictvím tříbodového závěsu hydrauliky k výkonnému kolovému traktoru LIAZ ŠT 180 (obr. 1), který vlastní pracoviště na TF ČZU.



1. Schéma mobilního testoru – Diagram of mobile tester

1 – hydraulicky ovládaný závěs kola – hydraulically operated hitch

2 – zkoušená pneumatika – tested wheel with tyre

3 – přídavná závaží – ballast

4 – hlavní rám – main frame

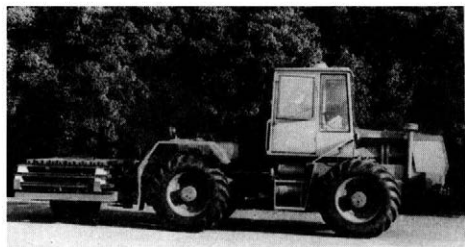
5 – pomocný rám – auxiliary frame

6 – hřídel kola – wheel shaft

7 – podélné nosníky hlavního rámu – longitudinal beams of the main frame

Volný pohyb ramen hydrauliky (1), a tím i zkušebního zařízení ve svislé rovině, umožní dokonale kopírovat povrch podložky zkoušenými pneumatikami (2). Radiální zatížení podložky je možné měnit pomocí přídavných závaží (3) na rámu testoru. Aby toto radiální zatížení nebylo ovlivňováno ostatními silami a tažným traktozem, musí být nastavena plovoucí funkce hydrauliky a vodorovná poloha všech ramen tříbodového závěsu. Splnění tohoto požadavku při zkoušení pneumatik o různém poloměru je umožněno výškovým přestavením hlavního rámu (4) testoru vůči pomocnému rámu (5), k němuž jsou připojena ramena tříbodového závěsu.

Pomocný i hlavní rám jsou svařeny z válcovaných profilů. S ohledem na snadnou výměnu kola je zadní příčka hlavního rámu testoru demontovatelná. Rovněž uchycení hřídele kola (6) ke spodní ploše podélných nosníků hlavního rámu (7) je řešeno s ohledem na tento požadavek. Podélné nosníky hlavního rámu jsou svařeny minimálně ze čtyř válcovaných profilů, aby bylo možné vytvořené plochy využít k umístění dotěžovacích závaží (kolejnic) – obr. 2.

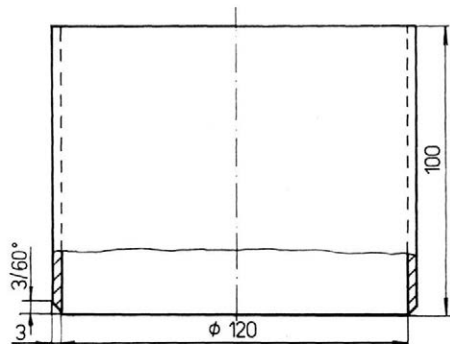


2. Mobilní testor připojený k traktoru ŠT 180 – Mobile tester attached to the tractor ŠT 180

Transport mobilního testoru na požadované místo se uskutečňuje v nesené poloze. Zvedací síla na konci ramen tříbodového závěsu traktoru činí 51 kN a je tedy dostatečně velká i pro zvedání největšího předpokládaného zatížení pneumatiky.

Odběrné válce (Geotechnika, a. s.)

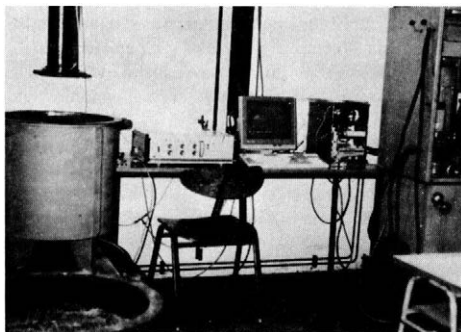
K odběrávání půdních vzorků byly použity odběrné válce podle schématu na obr. 3, které byly přesně zváženy ($\pm 0,01$ g). Objem půdního vzorku činil 1 131 cm³. Při odběru půdního vzorku byl válec pomocí víka a kladiva zaražen do půdy, pak byla půda kolem něho odebrána a naplněný válec byl od ostatní půdy „odříznut“ a vyjmut.



3. Rozměrové schéma odběrného válce – Dimensions of sampling tube

ZAŘÍZENÍ PRO LABORATORNÍ ZKOUŠKY A TECHNIKA MĚŘENÍ

Laboratorní stend, znázorněný na obr. 4, se skládá z rámu, vlastního kompaktoru a zdroje tlakového oleje (hydraulického agregátu).



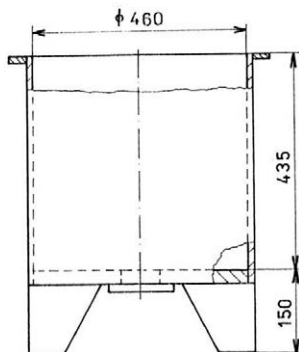
4. Laboratorní měřicí zařízení – Laboratory measuring equipment

Horní část kompaktoru je tvořena hydraulickým válcem o průměru 80 mm nahoře zavěšeným v konzole rámu, jehož pístnice je připevněna k posuvné vodící objímce. Její přímočarý svislý pohyb je zaručen bočním vedením, ale kolem osy vedení se může natáčet, aby se zajistila centrální vzhledem k pístnici hydraulického válce. Do objímky se dole na bajonetový uzávěr zasunuje krátká tyč v sestavě s prstencovým siloměrem a opěrnou deskou razidla, k níž se přišroubuje kruhové razidlo zvolené velikosti. Prstencový dynamometr je před vniknutím zeminy chráněn válcovým pláštěm, rovněž přišroubovaným k opěrné desce razidla (obr. 4).

Dolní část kompaktoru představuje tlaková nádoba se zeminou na podstavci (obr. 5 a 6), jež se opírá o dolní část rámu. Nádoba má shora plochou přírubu usnadňující měření hladiny zeminy, zdola uprostřed otvor k vložení zespodu tlakového čidla nebo jeho makety



5. Tlaková nádoba – Pressure container



6. Rozměrové schéma tlakové nádoby – Dimensions of pressure container

z plně oceli. Dno válce je do výše čidla vystláno gumovou vložkou, která má uprostřed otvor pro čidlo.

Na boku rámu je připevněno měřítko, nad kterým se pohybuje jezdec spojený s vodící objímkou. Přesnost odečtu svislé polohy razidla je 1 mm.

Zdrojem tlakového oleje pro plnění dvojčinného hydraulického válce je hydraulický agregát (Hydraulika Vrchlabí, dnes Hytos) s přesnou regulací tlaku a nezávisle na tom regulací proudu kapaliny. Před válcem je do vedení oleje ze strany pístnice zařazen jednosměrný škrtkový ventil s možností nastavovat škrtení k regulaci maximální rychlosti zatlačování pístu (pádový ventil). Zdvih pístu je rychlejší.

K současnému měření středního kontaktního tlaku q_s na jednom ze čtyř razidel a napětí σ_z ve dně nádoby slouží aparatura skládající se z tenzometrického můstku a počítače s obrazovkou (autor Ing. R. Verner). Měřené hodnoty lze buď přímo odečíst, nebo registrovat. Přesnost nastavení q_s je 1 kPa, přesnost odečtu napětí

σ_z činí 0,1 kPa. Počítač má zakódovanou nelineární charakteristiku tlakového čidla.

Při měření je do země vtačováno razidlo počáteční rychlostí 1 až 1,5 cm/s až po dosažení určeného kontaktního tlaku q_s . Technické parametry čtyř razidel s označením a–d v kombinaci se dvěma siloměry 1, 2 (dimenzování na maximální síly $F_{zm} = 29$, resp. 40 kN, odpovídající tlak ve válci p_m) jsou uvedeny v tab. I.

Razidla a–d mají poměr ploch 1 : 2 : 3 : 4. Vzhledem k tomu, že tlaková nádoba má vnitřní průměr 460 mm a aktivní hloubku 435 mm, zbývá při zatlačování největšího razidla o průměru 300 mm po stranách ještě prostor 80 mm; pod razidlem tedy nedojde k jednoosé napjatosti (na rozdíl od oedometru), což je ve shodě se stlačením půdy vozidly v terénu.

Čidlo k měření svislého napětí na dně tlakové nádoby je znázorněno na obr. 7 a 8. Jde o inovaci osvědčeného snímače typu G (Grečenko, 1966) z roku 1965, který byl inspirován starším snímačem A-cell (Cooper et al., 1957). Ocelová tenká deska se čtyřmi



7. Tlakové čidlo (aktivní průměr měřicí tenké desky činí 60 mm) – Pressure cell (active diameter of the measuring thin plate is 60 mm)

I. Parametry čtyř razidel v kombinaci se dvěma siloměry – Parameters of four compacting plates in combination with two dynamometers

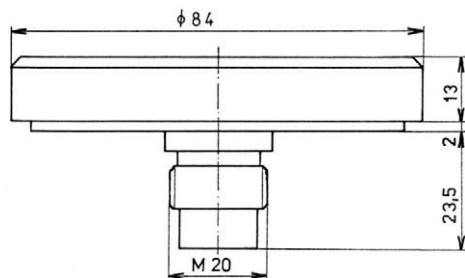
Údaj ¹	Rozměr ²	Siloměr ³		Poznámka ⁴
		1	2	
F_{zm}	kN	29	40,	hydraulický válec ⁵ Ø 80 mm
p_m	MPa	5,8	8,0	
Razidlo ⁶	Průměr razidla kompaktoru ⁷ d_k (mm)	Plocha razidla ⁸ S_{ok} (cm ²)	Dosažitelný střední kontaktní tlak pro siloměr ⁹ q_s (kPa)	
			1	2
a	150,0	177	1 638	2 260
b	212,3	354	819	1 130
c	260,0	531	546	753
d	300,0	708	410	565

^{*}) bez ohledu na hmotnost posuvných dílů kompaktoru – ignoring the weight of reciprocating components of compactor

F_{zm} – maximální síla na razidlo při vtačování razidla do země v tlakové nádobě – maximum force applied to the plate when compacting the soil in the pressure container

p_m – tlak oleje v hydraulickém válci kompaktoru – pressure of oil in hydraulic cylinder of the compactor

¹data, ²dimension, ³dynamometer, ⁴note, ⁵hydraulic cylinder, ⁶plate, ⁷diameter of compacting plate, ⁸area of compacting plate, ⁹maximum mean contact pressure with dynamometer



8. Rozměrové schéma tlakového čidla – Dimensions of pressure cell

zespodu nalepenými aktivními kompenzačními tenzometry je pevně sevřena mezi tělesem a prstencem snímače z nerez oceli. Deska je proto výměnná, nebo nad ní lze upnout další jednu až dvě desky odlišné tloušťky k upravení charakteristiky čidla. Většina měření byla provedena s úpravou pro maximální napětí 220 kPa. Vývod kabelů je spodem.

Čidlo se tradičně cejchuje stlačením dusíkem v příslušném přípravku, připojeném ke rtuťovému manometru (je patrný na obr. 4). Do tlakové nádoby se čidlo vkládá zevně po uložení v držáku, který se třemi šrouby připevňuje ke dnu nádoby; po měření před odběrem vzorků půdy nebo při přípravě půdy k měření je čidlo nahrazeno svou přesnou maketou, aby nemohlo být poškozeno.

Do výbavy laboratorního stendu příslušejí také dvě velkoobjemové bedny na zeminu (z jedné se zemina odebírá a po měření se ukládá do druhé), různé pomocné nástroje a pravítka. Zařízení k měření stavu zeminy zahrnuje odměrné nádoby (válečky o vnitřním průměru 62 mm, výšce 34 mm, tj. o objemu 102,6 cm³; stěna o tloušťce 2 mm je na straně vtlačení do zeminy zevně zbrošena do ostrá) s víčky na obou stranách, digitální váhu (výrobce Mettler-Toledo A. G., typ PM 6000) s přesností 0,1 g a vysoušecí pec (vysoušení 24 hodin při teplotě 105 °C). Odběrné nádoby se do ztuhlé půdy po stlačení razídem zatlačují prostřednictvím hydraulického válce po nahrazení siloměru tlačným přípravkem. K dispozici bylo 14 odběrných nádobek přesně oceňovaných co do objemu i hmotnosti.

MĚŘENÍ V TERÉNU

POZEMKY A PŮDA

Měření byla vykonána na obdělávané půdě školních pozemků ČZU Praha, které sousedí z jihu s areálem univerzity. Půda pozemků je v ideálním stavu, jelikož je obdělávána jen lehkou mechanizací a sklízena v podstatě ručně. Půda je pedologicky definována jako hlína s extrémně jílnatá až písčítá a takto bude nazývána „Suchdolská hlína“. Tmavě hnědá ornice s obsahem humusu 0,42 až 1,76 % zasahuje do hloubky 35 cm



9. Vyznačená měřicí místa – Systém of measuring sectors

a pak plynule přechází do žluté spraše. Typické vlastnosti ornice jsou uvedeny v příloze 1.

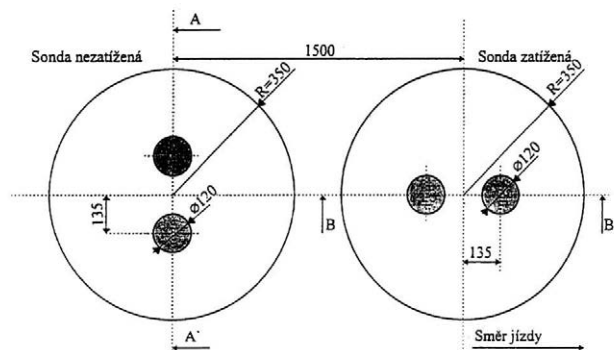
SYSTÉM MĚŘENÍ A ODEBÍRÁNÍ VZORKŮ

Na přímé trati byla po 3 m od sebe vykolikována místa k odběru kontrolních vzorků půdy do hloubky minimálně 50 cm (obr. 9); označení míst 01, 02, 03 atd. Po odběru vzorků půdy byly výkopy opět zaházeny a označeny. Mezi každou dvojicí kontrolních míst prošlo čtyřikrát jedním směrem vpřed příslušně zatížené kolo v mobilním testoru. Jednotlivé stopy byly proměřeny a uprostřed mezi kontrolními místy (označení např. 0102; 0203 atd.) byly odebrány vzorky půdy po ztuhnutí. Schéma odebírání vzorků je na obr. 10. Sledována byla zejména objemová hmotnost a vlhkost; za charakteristickou hloubku sondy se brala průměrná hloubka odběrného válce pod povrchem pole (tj. hloubka odběru + polovina výšky odběrného válce, čili 5 cm).

Vzorky se odebíraly do kalibrovaných odběrných válců, z nichž byly po stanovení objemu vysypány do polyetylenových sáčků, neprodyšně uzavřeny a okamžitě převezeny do laboratoří SG-Geotechnika v Praze na Barrandově. Z každého nezátíženého sondážního místa bylo odebráno sedm vzorků, vždy v hloubkovém odstupu 8 cm. Vzorky byly odebrány nejdříve z kontrolních míst pro nulová měření, tj. před ztuhnutím způsobeným pojezdem mobilního testoru. Po období, v němž byla zemina zvlhčena atmosférickými srážkami, byl pokusný pozemek přejížděn pneumatikou zatíženou závažím o známé hmotnosti (4 t, 3 t, 2 t). Ihned po přejezdech byly odebírány stejným způsobem další vzorky z míst ležících mezi místy nulových měření.

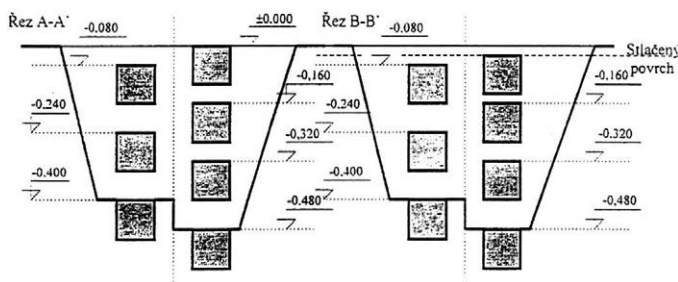
Při hluboce vytlačené stopě bylo odebráno méně než sedm vzorků v každém sondážním místě, neboť se začínalo odebírat nikoli na kótě 0, ale na dně stopy testovaného kola.

Na lokalitě bylo ve dnech 15. 9. až 25. 10. 1994 odebráno celkem 125 neporušených vzorků zemin pro rozbor geotechnické a čtyři porušené vzorky, a to dva



10. Schéma odebírání půdních vzorků – Diagram of soil sampling

sonda nezatížená – probe on undisturbed soil
sonda zatížená – probe on compacted soil
směr jízdy – direction of travel
řez – section view
● místo odběru vzorku v pohledu shora – sampling pit, ground plan
■ místo odběru vzorku v řezu sondy – location of sampling within the probe section



ze sond nezatěžovaných a dva ze sond zatěžovaných, pro pedologické analýzy.

PARAMETRY ZKOUŠENÝCH KOL

Zabývali jsme se především koly s pneumatikami těžkých dopravních prostředků, jež mohou způsobit výrazné zhutnění půdy svým velkým zatížením a huštěním:

- Mitas 14,5/80-18, 12 PR, dezén ZS4, ráfek 12 x 18
parametry huštění a zatížení podle katalogu výrobce:
 p (kPa)/ Q (kg): 150/2000
300/3010
430/3850 (450/4000)

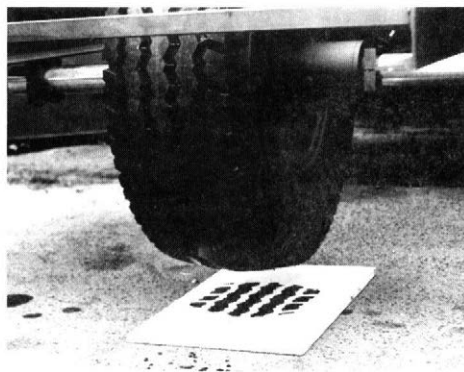
- Barum 18R 22,5, 20 PR, dezén NR15, All Steel
parametry huštění a zatížení podle katalogu výrobce:
 p/Q : 550/4250 (minimum tlaku huštění)

Velikosti zatížení kol při terénních měřeních byly: 2 000, 3 000 a 4 000 kg u obou pneumatik. Těmto zatížením byly přiřazeny tlaky huštění uvedené výše a v tab. II. Tato tabulka rovněž obsahuje velikosti styčných ploch pneumatik změřené na tvrdé podložce (obr. 11, 12 a 13: otisk barvou na kladívkový papír, zmenšení otisku, planimetrování a násobení čtvercem měřítka) a velikosti středního kontaktního tlaku q_s .

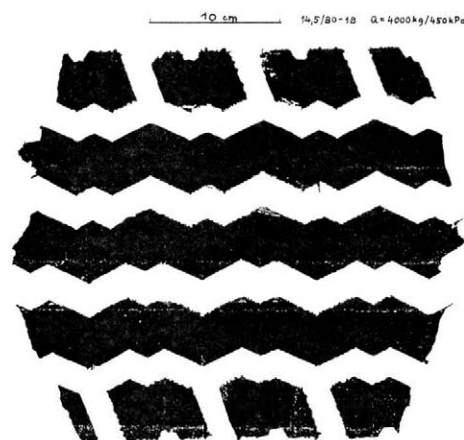
II. Vyhodnocení otisků pneumatik – Evaluation of tyre imprints

Rozměr pneumatiky ¹	Zatížení ² Q (kg)	Huštění ³ p (kPa)	Styčná plocha ⁴			Střední kontaktní tlak ⁸ q_s (kPa)
			šířka ⁵	délka ⁶	plocha ⁷	
			b_0 (cm)	l_0 (cm)	S_0 (cm ²)	
14,5/80-18	2 000	150	29,4	34,5	935	210
	3 000	300	29,4	33,5	926	318
	4 000	450	29,5	34,0	916	428
		Ø	29,4	34,0	.	
18 R 22,5	2 000	550	31,5	16,5	484	405
	3 000	550	33,5	21,0	651	452
	4 000	550	34,5	23,0	797	492

¹dimension of tyre, ²load, ³inflation pressure, ⁴contact area, ⁵width, ⁶length, ⁷area, ⁸mean contact pressure



11. Sejmnutí otisku pneumatiky na tvrdé podložce – Taking the tyre imprint on hard ground



12. Otisk pneumatiky 14,5/80-18 při zatížení $Q = 4\,000$ kg a huštění $p = 450$ kPa – Contact patch of the tyre 14,5/80-18 with the loading $Q = 4,000$ kg and inflation pressure $p = 450$ kPa

Velikosti zatížení kol nebyly voleny náhodně, nýbrž k ověření mezních zatížení podle Håkanssona (Grečenko, 1966), který udává limit 6 t na nápravu, čili při dvou kolech 3 t na kolo.

PROVEDENÍ ZKOUŠEK

Tahač ŠT-180 přepravil mobilní testor s předem nastaveným zatížením kola na měřicí trať, kolo spustil u značky po kontrolním výkopu a pak s ním pomalu projel třímetrovou dráhu k další značce. Byly změřeny rozměry vytlačené stopy, načež byl testor zdvižen, traktor nacouval zpět k první značce a kolo opět spustil do začátku předchozí stopy. Měřicí jízdy se takto čtyřikrát opakovaly. Stopa se od jízdy k jízdě prohlubovala vli-



13. Otisk pneumatiky 18R 22,5 při zatížení $Q = 4\,000$ kg a huštění $p = 550$ kPa – Contact patch of the tyre 18R 22,5 with the loading $Q = 4,000$ kg and inflation pressure $p = 550$ kPa

vem zmenšování styčné plochy a tím zvětšování kontaktního tlaku, který se asymptoticky blíží tlaku změřenému na tvrdé podložce. K daleko největšímu zahloubení kola došlo již při prvním přejezdu a naopak při čtvrtém přejezdu se stopa proti třetímu přejezdu téměř neprohloubila, jelikož půda ve stopě již byla zcela ztuhlá. Konečné hloubky stop při všech měřeních jsou uvedeny v tab. III.

Po čtvrtém přejezdu byly uprostřed úseku ve stopě odebrány vzorky půdy k rozboru. Uvedený postup představuje v podstatě největší možné ztuhnutí pole při dané vlhkosti, kdyby bylo přejížděno pneumatikami s příslušným zatížením. Není pochyb, že by k němu po několikaletém provozu na poli skutečně došlo, jak o tom svědčí současný stav zemědělské půdy.

Série měření:

- S1 ... pneu 14/80, sondy 0102-0304, sucho
- S2 ... pneu 14/80, sondy 0405-0607, vlhčení půdy postřikem
- S3 ... pneu 18 R 22,5, sondy 0708-0910, vlhčení půdy postřikem

VYHODNOCENÍ A ROZBOR NAMĚŘENÝCH HODNOT

Ke zjištění míry ztuhnutí půdy po čtyřech přejezdech kola byla porovnána suchá objemová hmotnost ρ_d uprostřed úseku v ose stopy s průměrem kontrolních hodnot ρ_{d0} na koncích úseku, vzdálených cca 1,5 m od

III. Hloubky stop po čtvrtém přejezdu kola – Depths of ruts after the fourth pass of a wheel

Pneumatika ¹	Průměrná vlhkost půdy w pod stopou ² (%)	Číslo měření/střední hloubka stopy t (cm) při zatížení Q^3 (kg)		
		2 000	3 000	4 000
14,5/80/-18	19,0	0304	0203	0102
		0,5	2,5	3,0
	23,3	0607	0506	0405
		14,5	16,5	18,5
18R 22,5	22,0	0910	0809	0708
		7,0	11,0	14,0

¹tyre, ²average soil moisture content under the rut, ³measurement No./mean depth of rut under load

IV. Mezní hodnoty kritických vlastností zhutněných půd podle Lhotského (1984) – Limit values of critical parameters of compacted soils after Lhotský (1984)

Kritická vlastnost ¹	Rozměr ²	Půdní druh ³					
		J	jH	H	pH	hP	P
Pórovitost ⁴	%	48	47	45	42	40	38
Suchá objemová hmotnost ⁵ ρ_{d0}	kg/m ³	1 350	1 400	1 450	1 550	1 600	1 700
Penetrační tlak ⁶ *)	MPa	2,8–3,2	3,2–3,7	3,7–4,2	4,5–5,0	5,5	6,0
Při vlhkosti w	%	28–24	24–20	18–16	13–15	12	10

*) při odchylce skutečné vlhkosti od udané $\pm 1\%$ se penetrační tlak koriguje o $\pm 0,25$ MPa – if the actual moisture content deviates from the given one by $\pm 1\%$, the penetration pressure should be corrected by $\pm 0,25$ MPa

¹critical parameter, ²dimension, ³soil type, ⁴porosity, ⁵dry bulk density, ⁶penetration pressure, ⁷at moisture content

jeho středu, a to vždy ve stejných hloubkách vzhledem k povrchu pole.

Vyhodnocené průběhy zhutnění v závislosti na hloubce od povrchu pole jsou uvedeny na devíti grafech v příloze 2. Každý graf obsahuje průběh ρ_d po zhutnění (plná silná čára), průběh ρ_{d0} před zhutněním (tečkované) a průběh hmotnostní vlhkosti w (slabá čára). Kritická objemová hmotnost ρ_{d0} podle Lhotského (tab. IV) je vyznačena čárkovaně.

Z grafů v příloze 2 je patrný značný rozptyl vlhkosti půdy, a to nejen v navlhčeném, ale i přirozeném stavu (série S 1). Tato okolnost poněkud komplikuje veškeré rozborů i snahy o modelování.

Při posuzování škodlivosti zhutnění je třeba počítat s tím, že vrstvy půdy od povrchu pole do hloubky minimálně 20 cm lze následně mechanicky prokypřit a zhutnění tím zmírnit. Dále navržená kritéria škodlivého zhutnění se proto týkají hloubek přes 20 cm a vyhodnocují jak mocnost poškozené vrstvy, tak i maximální hodnotu zhutnění.

Logika kritérií je tato:

– kritérium K 1:

škodlivé zhutnění je takové, které převyšuje zhutnění předchozí; jde o kritérium relativní, týkající se změny zhutnění. Dodržování tohoto kritéria by mělo zamezit dalšímu nežádoucímu zhutňování půd;

– kritérium K 2:

škodlivé zhutnění je takové, které překračuje odborně stanovený limit suché objemové hmotnosti pro danou půdu, klimatické podmínky a nejcitlivější pěstovanou plodinu. U nás takové limity zveřejnili Lhotský et

al. (1984) – tab. IV. Jde o kritérium absolutní, které naznačuje potřebu regenerace znehodnocených půd.

Z tab. IV plyne, že na Suchdolskou hlínu je třeba jako K 2 aplikovat limit $\rho_{d0} = 1\,400$ kg/m³, což je hodnota, která byla zjištěna již dříve v nepoškozených lokalitách do hloubky cca 50 cm. Na měřici trati byl tento limit místně překračován již před zatěžovacími pokusy, ale v průměru byl dodržen.

Číselné vyjádření kritérií předpokládá naměřené průběhy ρ_d ; $\rho_{d0} = f(z)$ a vychází z vyhodnocení škodlivé zhutněné vrstvy a maximálních hodnot zhutnění v intervalu hloubek 20 až 50 cm po čtvrtém přejezdu (obr. 14).

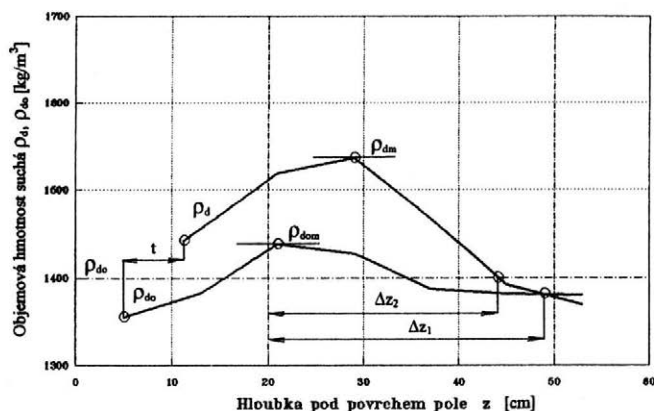
Vypočítává se index poškození půdy ISD (anglicky: Index of Soil Damage) podle vzorců:

$$K\ 1: ISD_1 = \frac{\Delta z_1}{30} \cdot \frac{\rho_{dm}}{\rho_{d0m}} \cdot 100 = 3,33 \cdot \Delta z_1 \cdot \frac{\rho_{dm}}{\rho_{d0m}} \quad (1)$$

$$K\ 2: ISD_2 = \frac{\Delta z_2}{30} \cdot \frac{\rho_{dm}}{\rho_{dc}} \cdot 100 = 3,33 \cdot \Delta z_2 \cdot \frac{\rho_{dm}}{\rho_{dc}} \quad (2)$$

$$ISD = \frac{1}{2} \cdot (ISD_1 + ISD_2) \quad (3)$$

Jestliže se křivka ρ_d protne či splyne s ρ_{d0} (resp. ρ_{dc}) v hloubce $z \geq 50$ cm, bere se $\Delta z_1 = 30$ cm (resp. $\Delta z_2 = 30$ cm). Hodnoty ρ_{dm} a ρ_{d0m} se odečítají výhradně v daném intervalu $z = 20$ až 50 cm. Nedochází-li po čtvrtém přejezdu ke zhutnění půdy vzhledem k původnímu stavu a nedosáhne-li nestlačená půda kritické hodnoty ρ_{dc} , vyjde $ISD = 0$.



14. Schéma k výpočtu indexu poškození půdy (ISD) podle záznamu ρ_d , $\rho_{d0} = f(z)$ ($\rho_d = f(z)$ po čtvrtém přejezdu) – Diagram referring to the calculation of the index of soil damage (ISD) based on the record of ρ_d , $\rho_{d0} = f(z)$ ($\rho_d = f(z)$ after the fourth pass)

objemová hmotnost suchá – dry bulk density
hloubka pod povrchem pole – depth under the surface of the field

V. Vyhodnocení grafů z přílohy 2 prostřednictvím indexu poškození půdy ISD – Evaluation of graphs from Annex 2 by means of the index of soil damage (ISD)

Sonda ¹	Pneumatika ²	Zatížení ³ Q (kg)	K1 (ISD ₁)	K2 (ISD ₂)	ISD	Pořadí ⁴ škodlivosti ⁴
0102	14,5/80-18	4 000	80,3	85,1	83	8
0203	14,5/80-18	3 000	84,9	111,0	98	4
0304	14,5/80-18	2 000	19,9	74,2	47	9
0405	14,5/80-18	4 000	110,9	116,0	113	2
0506	14,5/80-18	3 000	112,2	110,2	111	3
0607	14,5/80-18	2 000	90,4	80,7	86	6
0708	18R 22,5	4 000	113,4	115,0	114	1
0809	18R 22,5	3 000	85,7	92,0	89	5
0910	18R 22,5	2 000	76,3	94,2	85	7

^{*}) nejškodlivější účinek je označen číslem 1 – the greatest damage is denoted by number 1

¹) probe, ²) tyre, ³) load, ⁴) order of damage

Vyhodnocení devíti grafů z přílohy 2 podle uvedené zásady obsahuje tab. V. Lze konstatovat, že ve všech případech bylo zjištěno škodlivé zhutnění půdy, ale v různé míře: nejhorší při $Q = 4\,000$ kg u pneumatiky 18R 22,5 (sonda 0708) a rovněž u pneumatiky 14,5/80 – 18 (sonda 0405), ale také u všech zatížení $Q = 2\,000$ kg, ovšem v menší míře. Přesto však zjištěný údaj nesouhlasí se švédským limitem $3\,000$ kg na polovinu nápravy, u něhož nebyl definován druh půdy ani další podmínky. Zřejmě nelogické pořadí škodlivosti sondy 0203 v rámci série 51 způsobila nesporně zvýšená místní vlhkost podloží.

MĚŘENÍ V LABORATOŘI

ZEMINA

Zemina byla stejná jako při terénních měřeních (podle přílohy 1). Byla ovšem prosáta, aby byly odstraněny větší granule a kamenky. K laboratorním pokusům byla zemina připravena tak, aby její vlastnosti

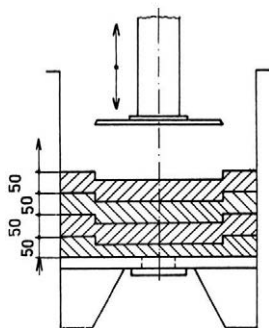
a stav co nejlépe odpovídaly průměrným parametrům půdy z terénních měření, jež byly tyto (viz grafy z přílohy 2):

- průměrná suchá objemová hmotnost neporušené půdy (všechny vzorky): $\rho_{d0} = 1\,387 \pm 20$ kg/m³;
- průměrné vlhkosti půdy při zatěžovacích přejezdech: přirozený stav (0102–0304) $w = 19,2 \pm 0,6$ %
zvlhčeno (0405–0910) $w = 21,4 \pm 1,5$ %
celkový průměr $w = 20,7 \pm 1,6$ %

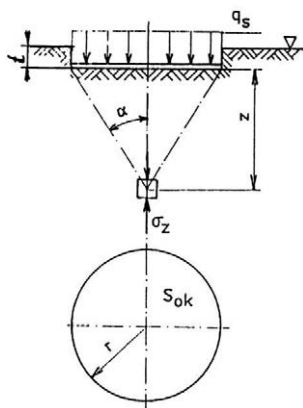
Vlhkosti byly pod mezí plasticity zjištěny v laboratoři. Zemina byla promíchána s vodou na požadovanou vlhkost mimo tlakovou nádobu, naplněna do utěsněného zásobníku k homogenizaci po dobu 48 až 50 hodin a teprve potom plněna do tlakové měřicí nádoby.

DRUHY MĚŘENÍ V KOMPAKTORU

Tlaková nádoba byla plněna po vrstvách 5 cm sypané zeminy a každou vrstvu stlačilo největší razidlo d (tab. I) příslušným středním kontaktním tlakem q_s . Po-



15. Příprava homogenní náplně v tlakové nádobě – Preparation of a homogeneous soil charge in the pressure container



16. Schéma k výpočtu svislého napětí σ_z – Schematic of the calculation of vertical soil stress σ_z

stup přípravy homogenní náplně o určitém ρ_{d0} je patrný z obr. 15. Plnilo se až do stanovené výšky. Povrch půdy byl tak představován kruhovou plochou vytlačnou v nejvyšší vrstvě.

Měření byla trojího druhu:

a) Zjištění závislosti mezi průměrnou objemovou hmotností ρ_{d0} náplně a vyvozujičím kontaktním tlakem q_{sg} razidla d při určité vlhkosti zeminy w , který je označen jako generující; v tomto případě mohla být do dna nádoby zasazena jen maketa tlakového čidla – tlak se nemusel měřit. Ke zjištění průběhu ρ_d , $w = f(z_k)$ byly odbírány vzorky zeminy malými odběrnými nádobkami postupně jedna pod druhou v ose vyprazdňované tlakové nádoby; průměrně bylo možné odebrat jeden vzorek na každých 5 cm hloubky. Vzorky byly proměřeny, zpracovány a vyhodnoceny; rovněž byla provedena kontrolní měření zhutnění napříč tlakovou nádobou v určité hloubce: zhutnění se citelně zmenšilo jediné v prostoru u stěny nádoby, který nebyl přímo stlačen plochou razidla.

b) Vyhodnocení $\rho_d = f(z_k)$ náplně se zajištěnou hodnotou počáteční objemové hmotnosti ρ_{d0} po vtisku razidla menšího než d žadáním kontaktním tlakem q_s do připraveného „povrchu“ náplně, včetně změřeni hloubky vtisku. V tomto případě se při vtisku měřilo i svislé napětí na dně nádoby; tlakové čidlo se vkládalo místo makety až po naplnění a stlačení třetí vrstvy, aby nebylo případně poškozeno tlakem vyšším než bylo schopno přenést (což se rok před tím přihodilo). Před odběrem vzorků, kdy pláště nádobek byly vtačovány do ztuhlé zeminy účinkem hydraulického válce kompaktoru, bylo opět tlakové čidlo vyměněno za maketu.

c) Speciální měření k upřesnění závislosti, podle níž se šíří napětí tlakovou nádobou – mimo rámec této práce.

PODOBNOST MEZI TERÉNNÍMI A LABORATORNÍMI POKUSY

Styčná plocha pneumatiky S_0 je tvarově příbuzná kruhové (event. obdélníkové) ploše. Pro svislé napětí σ_z v půdním poloprostoru v závislosti na hloubce z pod tuhou kruhovou plochou existují v mechanice zemin (terramechanice) poměrně jednoduché vzorce (viz např. Š o h n e, 1953; G r e č e n k o, 1994), které lze obecně zapsat takto:

$$\sigma_z = \kappa \cdot q_s \cdot (1 - \cos^2 \alpha) \quad (\text{kPa}) \quad (4)$$

kde: κ – součinitel (–) závislý na rozložení tlaku podél styčné plochy

v – koncentrační faktor (–) závislý na stavu půdy

q_s – střední kontaktní tlak (kPa); ($q_s = F_z / S_0$, kde F_z je zatížení plochy)

α – polovina vrcholového úhlu kužele (podle obr. 16)

Ze vzorce (4) plyne, že při κ a $v = \text{konst.}$ a při užitím q_s je velikost σ_z závislá jen na úhlu α , jehož tangenta je rovna:

$$\tan \alpha = \frac{r}{z} \quad (5)$$

Objeví-li se tedy pod pneumatikou o styčné ploše S_0 , čili s hypotetickým středním poloměrem:

$$r = \sqrt{\frac{S_0}{\pi}} \quad (6)$$

v jisté hloubce z napětí σ_z , pak se při $q_s = \text{konst.}$ objeví pod kruhovým razidlem o ploše S_{0k} a o poloměru

$$r_k = \sqrt{\frac{S_{0k}}{\pi}} \quad \text{v tlakové nádobě totéž napětí v hloubce } z_k,$$

o níž platí podle (5):

$$\frac{r_k}{z_k} = \frac{r}{z} \quad (7)$$

z čehož:

$$z_k = z \cdot \frac{r_k}{r} = z \cdot \sqrt{\frac{S_{0k}}{S_0}}, \quad z = z_k \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_{0k}}} \quad (8)$$

což je zjednodušená závislost pro redukcí hloubek v tlakové nádobě (při κ a $v = \text{konst.}$).

Příklad: Hloubce 50 cm pod zkoušenými pneumatikami v terénu odpovídají hloubky v tlakové nádobě s různými razídlly podle tab. VI.

VI. Redukce hloubky $z = 50$ cm v terénu na hloubku z_k v tlakové nádobě pro razídlá b, c – Reduction of depth $z = 50$ cm in the terrain to the depth z_k in the pressure container for compacting plates b, c

Zatížení kola ¹ Q (kg)	Hloubka v zemině tlakové nádoby ² z_k (cm)			
	razídl ³ b		razídl ³ c	
	pneumatika ⁴		pneumatika	
	14,5/80-18	18R 22,5	14,5/80-18	18R 22,5
2 000	30,8	42,8	37,7	52,4
3 000	30,9	36,9	37,9	45,2
4 000	31,1	33,3	38,1	40,8

¹load on a wheel, ²depth in the soil inside the pressure container measured from the bottom of the compacting plate imprint in the upper soil layer, ³compacting plate, ⁴tyre

VÝSLEDKY A DISKUSE

MODELOVÁNÍ TERÉNNÍCH ZKOUŠEK

K určení generujícího (středního) kontaktního tlaku q_{sg} na razídl³ d, kterým by se správně namodelovala suchá objemová hmotnost ρ_{d0} nestlačené zeminy, byla provedena měření druhu a), jejichž výsledek je znázorněn na obr. 17 pro průměrné vlhkosti $w = 14,5$ % (suchá zemina) a $w = 19,3$ % (vlhká zemina). Průběhy závislosti $\rho_{d0} = f(q_{sg}; w)$ lze rovněž aproximovat logaritmickou funkcí, často uváděnou v literatuře z mechaniky zemin (Grečenko, 1966; Koolen a Kuipers, 1983; Hadas, 1994).

K modelování všech pokusů byla využitelná vlhká zemina, jejíž vlhkost zvlášť dobře odpovídala přirozené vlhkosti půdy, uvedené dříve.

Z diagramu je patrné, že k dosažení požadované objemové hmotnosti $\rho_{d0} = 1\,400\text{--}1\,450\text{ kg/m}^3$ bylo třeba zeminu o vlhkosti 19 až 20 % stlačit po vrstvách kontaktním tlakem $q_{sg} \approx 100\text{ kPa}$ a razídl³ d. Po zkušenech byla první a druhá vrstva stlačeny pouze tlakem 80 kPa, aby objemová hmotnost byla nahoře i dole přibližně stejná. Podařilo se vytvořit profil nenarušené půdy s těmito středními hodnotami:

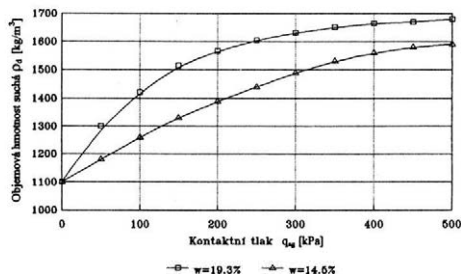
z_k (cm)	1,9	6,6	11,6	16,6	21,5	26,4	31,3
ρ_{d0} (kg/m ³)	1 370	1 400	1 460	1 460	1 440	1 510	1 540

Průměry byly tyto: $\bar{\rho}_{d0} = 19,8 \pm 0,32$ %

$$\bar{\rho}_{d0} = 1\,450 \pm 65\text{ kg/m}^3$$

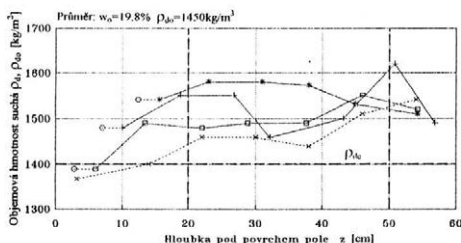
Zatěžovací měření druhu b) byla provedena na uvedené zemině razídl³ b při kontaktních tlacích $q_s = 200, 300, 400, 500\text{ kPa}$, které rozsahem odpovídají parametrum pneumatik (podle tab. II). Zjištěné závislosti $\rho_{d0} = f(z_k)$ jsou uvedeny v tab. VII.

Kontaktní tlaky $q_s = 200, 300$ a 400 kPa jsou podle tab. II aplikovatelné na pneumatiku 14,5/80–18 při zatíženích 2 000, 3 000, 4 000 kg.



17. Závislost suché objemové hmotnosti ρ_{d0} na generujícím kontaktním tlaku q_{sg} – Dry bulk density ρ_{d0} plotted against the generating contact pressure q_{sg}

objemová hmotnost suchá – dry bulk density
kontaktní tlak – contact pressure



18. Modelované zhuštění zeminy v terénu pro pneumatiku 14,5/80-18 – Modelled soil compaction in the terrain for the tyre 14,5/80-18

objemová hmotnost suchá – dry bulk density
průměr – average
hloubka pod povrchem pole – depth under the surface of the field
x... nestlačeno – undisturbed
□ 200 kPa/2 000 kg/19,7 %
+ 300 kPa/3 000 kg/20,2 %
* 400 kPa/4 000 kg/20,1 %

Abychom získali průběhy modelovaného zhuštění zeminy $\rho_{d0}, \rho_{d0} = f(z)$ v terénu jakoby pod uvedenou pneumatikou (podle obr. 18), je třeba transformovat souřadnice z_k z tab. VII na z' a hloubky otisku razídl³ t_k na hloubky stopy t podle vzorce (8), nebo údajů tab. IX; v hloubce t leží počátek souřadnic z' a jim příslušných hodnot ρ_{d0} . Absolutní počátek souřadnic $z = 0$

je na povrchu pole ($z = t + z'$).

Podobné kontaktní tlaky 400 a 500 kPa jsou rovněž podle tab. II aplikovatelné na pneumatiku 18 R 22,5 při zatíženích 2 000 a 4 000 kg. Příslušné průběhy modelovaného zhuštění zeminy $\rho_{d0}, \rho_{d0} = f(z)$ v terénu jsou vyneseny na obr. 19.

Modelované zhuštění pro pneumatiku 14,5/80–18 má při $q_s = 300\text{ kPa}$ značně nerovnoměrný charakter a nelze je považovat za spolehlivé. Rovněž nárůst kontrolního zhuštění ρ_{d0} s hloubkou byl větší než třeba

VII. Zhutnění zeminy v kompaktoru $\rho_{d0} = 1\,450\text{ kg/m}^3$, stlačení razidlem b – Soil compaction in the compactor $\rho_{d0} = 1,450\text{ kg/m}^3$, compacting plate b

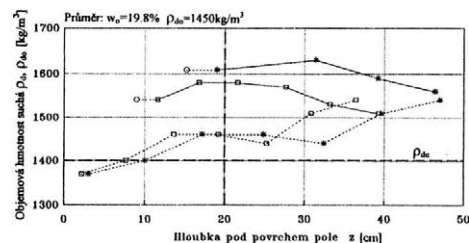
1			2			3			4		
$q_s = 200\text{ kPa}$ $t_k = 1,7\text{ cm}$			$q_s = 300\text{ kPa}$ $t_k = 4,3\text{ cm}$			$q_s = 400\text{ kPa}$ $t_k = 7,7\text{ cm}$			$q_s = 500\text{ kPa}$ $t_k = 10,0\text{ cm}$		
z_k	w	ρ_d	z_k	w	ρ_d	z_k	w	ρ_d	z_k	w	ρ_d
2,0	17,72	1 390	2,0	18,97	1 480	2,0	18,98	1 540	2,0	20,20	1 610
6,5	18,61	1 490	7,3	20,07	1 550	6,7	20,15	1 580	6,8	20,20	1 620
11,7	19,40	1 480	12,0	20,96	1 550	10,9	20,14	1 580	11,5	20,23	1 630
16,1	19,32	1 490	15,5	20,35	1 460	16,0	19,91	1 570	16,2	20,20	1 590
21,4	20,40	1 490	22,2	20,47	1 500	20,4	20,51	1 530	20,8	20,87	1 560
25,9	21,19	1 550	26,8	20,32	1 620	25,8	21,09	1 510	–	–	–
30,5	21,48	1 520	30,7	20,48	1 490	–	–	–	–	–	–
$\bar{\rho}_w = 19,73 \pm 1,37$			$\bar{\rho}_w = 20,23 \pm 0,62$			$\bar{\rho}_w = 20,13 \pm 0,70$			$\bar{\rho}_w = 20,34 \pm 0,17$		

q_s – střední kontaktní tlak – mean contact pressure; t_k – hloubka vtisku razidla – depth of plate imprint; z_k – hloubka v zemi tlakové nádoby měřené od plochy vytlačené v horní vrstvě zeminy razidlem d – depth in the soil inside the pressure container measured from the bottom of the imprint by the compacting plate d; w – hmotnostní vlhkost zeminy – moisture content by weight of the soil; ρ_d – objemová hmotnost vysušené zeminy (suchá) po stlačení – dry bulk density of the soil (dry) after compaction

VIII. Vyhodnocení modelovaného zhutnění zeminy pomocí indexu poškozené půdy (ISD) – Evaluation of modelled compaction of soil by means of the index of soil damage (ISD)

Pneumatika ¹	Zatížení ² Q (kPa)	Modelované ³ q_s (kPa)	Odpovídající sonda ⁴	$K_1\text{ ISD}_1$	$K_2\text{ ISD}_2$	ISD	Pořadí škodlivosti ⁵
14,5/80-18	4 000	400	0405	100,1	112,9	107	3
	3 000	300	0506	105,6	115,0	110	1
	2 000	200	0607	101,6	110,7	106	4
18 R 22,5	4 000	500	0708	102,3	116,4	109	2
	2 000	400	0910	47,9	112,8	80	5

¹tyre, ²load, ³modelled, ⁴corresponding probe, ⁵order of damage



19. Modelované zhutnění zeminy v terénu pro pneumatiku 18R 22,5 – Modelled compaction of soil in the terrain for tyre 18R 22,5

–x– nestlačeno – undisturbed
 –□– nestlačeno – undisturbed
 –△– 400 kPa/2 000 kg/20,1 %
 –★– 500 kPa/4 000 kg/20,3 %

a měl za následek střední hodnotu $1\,450\text{ kg/m}^3$ místo žádaných cca $1\,400\text{ kg/m}^3$.

Vyhodnocení pomocí indexu poškození půdy ISD podle tab. VIII dává vesměs vyšší hodnoty ISD než vyhodnocení grafů v tab. V, ale rozdíly jsou kromě „sondy 0607“ poměrně malé. Důležité je, že model kopíruje pořadí škodlivosti vyhodnocené pro terénní

zkoušky s výjimkou „sondy 0506“, o jejíž regulérnosti jsou pochyby (viz předchozí odstavec).

Popsaná modelová měření jsou nadějná a vyplatí se je dále ověřovat a technicky propracovat, neboť mohou značně zjednodušit hodnocení účinku pneumatik na půdu za kontrolovaných podmínek.

ZÁVĚR

LIMITY ZATÍŽENÍ

Škodlivost přejezdů zatíženého pojezdového ústrojí z hlediska zhutnění půdy v profilu 20 až 50 cm pod povrchem se objektivně vyhodnotí indexem ISD nebo jeho složkami $ISD_{1,2}$. První z obou složek hodnotí zhutnění vzhledem k původnímu stavu půdy, druhá složka vyvolané zhutnění vzhledem k přípustnému stavu půdy (Lhotský, 1984). Hodnota ISD_2 větší než nula dosvědčuje, že alespoň jistá vrstva půdy je již poškozena. K uvedeným složkám ISD by se pro úplnost mohl přiřadit ještě dosud neuvedený ISD_0 , analogicky hodnotící stav výchozí půdy (ρ_{d0}) vzhledem k přípustnému stavu (ρ_c), tedy poškození půdy před poježděním.

Presvědčivým způsobem lze ISD stanovit na základě měření v terénu podle popsané metodiky, která by se

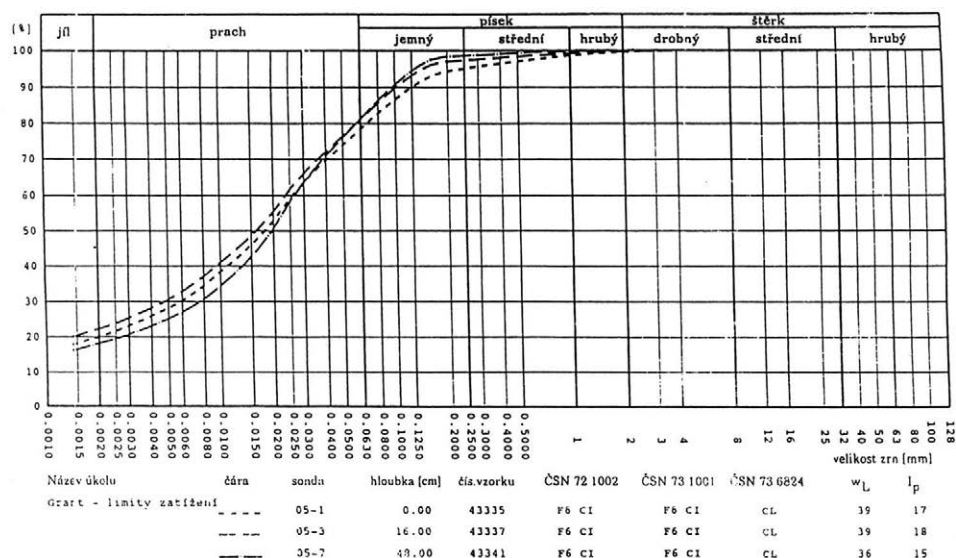
mohla stát základem normativu. Potřebné zařízení již bylo realizováno v průběhu řešení projektu GAČR a je k dispozici pro další možná měření i na jiných druzích půd. Terénní měření jsou ovšem pracná, organizačně náročná a podmínky měření záleží na povětrnosti. Z toho důvodu byla navržena a ověřována popsána laboratorní modelová metoda s kompaktořem, která naznačila, že má schopnost poskytnout stejné závěry jako

měření v terénu. Tuto metodu se vyplatí dále propracovat.

Co do absolutních výsledků lze konstatovat, že limit zatížení 3 000 kg na kolo, který uvádí H a k a n s s o n (1992), znamená na hlinité půdě a u zkoušených pneumatik nepochybně škodlivé stlačení půdy s ISD_1 přes 85. Ani snížením zatížení na 2 000 kg se škodlivé stlačení půdy neeliminuje.

Příloha 1 – Annex 1

Vlastnosti ornice – Properties of topsoil



Křivky zrnitosti zemin – Curves of particle distribution of soils clay

jíl – clay
 prach – silt
 písek – jemný, střední, hrubý – sand – fine, medium, coarse
 štěrky – drobný, střední, hrubý – gravel – small, medium, coarse
 velikost zrn – size of grains
 název úkolu – title of the research problem
 čára – line
 sonda – probe
 hloubka – depth
 grant – limity zatížení – grant – loading limits line

Příloha 2 – Annex 2

Vyhodnocení průběhů zhutnění „Suchdolská hlína“ – Evaluation of soil compaction patterns of „Suchdol loam“

Q – zatížení (nesená hmotnost) kola – wheel load (carried weight); p – tlak huštění pneumatiky – tyre inflation pressure
 sondy – probe
 průměrná vlhkost – average moisture content
 průměrná suchá objemová hmotnost nenarušené půdy – average dry bulk density of undisturbed soil
 objemová hmotnost suchá – dry bulk density
 hloubka pod povrchem pole – depth below the field surface
 tíhová vlhkost – moisture content by weight

Zhutnění půdy "Suchdolská hlína"

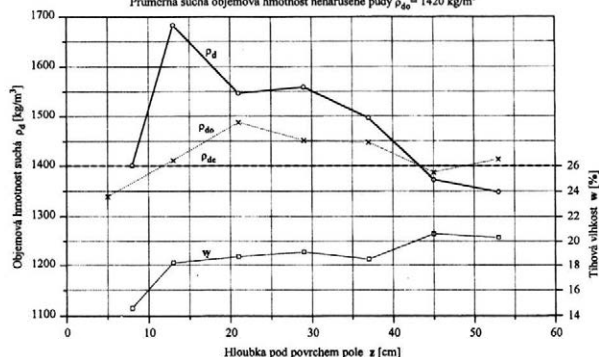
Pneu 14,5/80-18 Q= 4000 kg p= 450 kPa

Sondy 1994 - 01, 02, 0102 serie S1

Průměrná vlhkost: 18,6 %

Průměrná suchá objemová hmotnost nenarušené půdy $\rho_{ds} = 1420 \text{ kg/m}^3$

G 1



Zhutnění půdy "Suchdolská hlína"

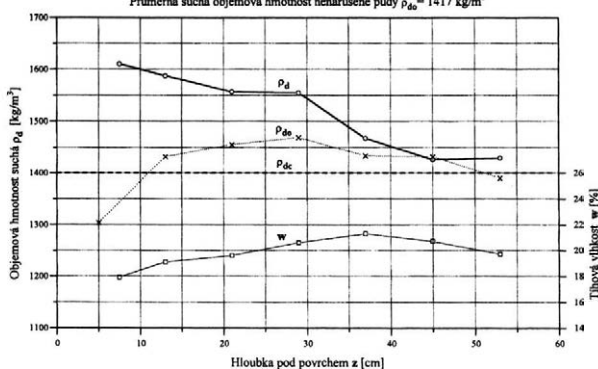
Pneu 14,5/80-18 Q= 3000 kg p= 300 kPa

Sondy 1994 - 02, 03, 0203 serie S1

Průměrná vlhkost: 19,8 %

Průměrná suchá objemová hmotnost nenarušené půdy $\rho_{ds} = 1417 \text{ kg/m}^3$

G 2



Zhutnění půdy "Suchdolská hlína"

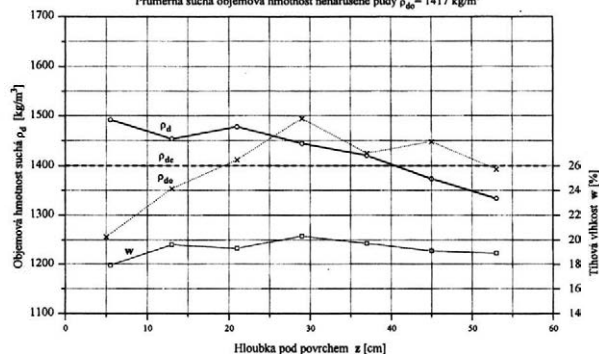
Pneu 14,5/80-18 Q= 2000 kg p= 150 kPa

Sondy 1994 - 03, 04, 0304 serie S1

Průměrná vlhkost: 19,8 %

Průměrná suchá objemová hmotnost nenarušené půdy $\rho_{ds} = 1417 \text{ kg/m}^3$

G 3



Zhutnění půdy "Suchdolská hlína"

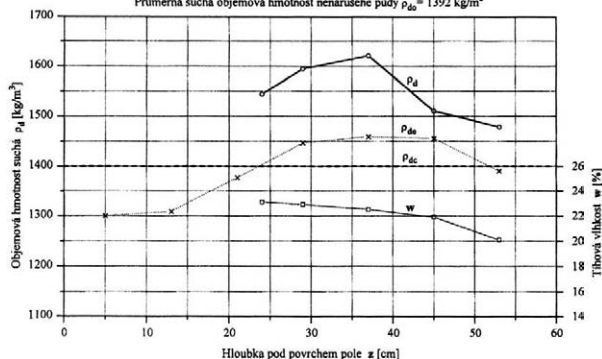
Pneu 14,5/80-18 Q=4000 kg p=450 kPa

Sondy 1994 - 04, 05, 0405 serie S2

Průměrná vlhkost: 22,1 %

Průměrná suchá objemová hmotnost nenarušené půdy $\rho_{d0} = 1392 \text{ kg/m}^3$

G 4



Zhutnění půdy "Suchdolská hlína"

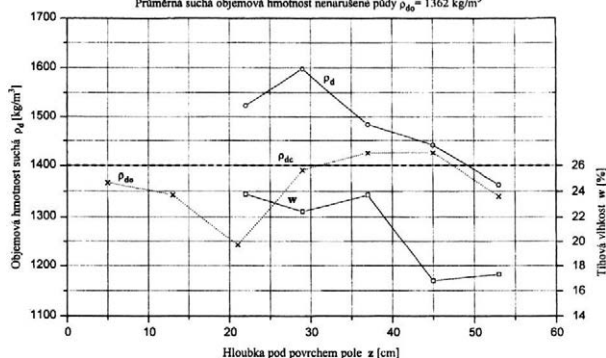
Pneu 14,5/80-18 Q=3000 kg p=300 kPa

Sondy 1994 - 05, 06, 0506 serie S2

Průměrná vlhkost: 20,8 %

Průměrná suchá objemová hmotnost nenarušené půdy $\rho_{d0} = 1362 \text{ kg/m}^3$

G 5



Zhutnění půdy "Suchdolská hlína"

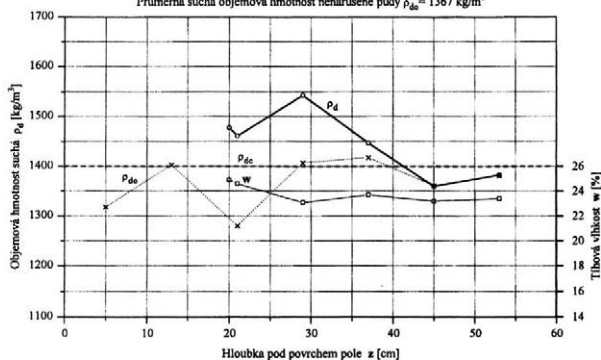
Pneu 14,5/80-18 Q=2000 kg p=150 kPa

Sondy 1994 - 06, 07, 0607 serie S2

Průměrná vlhkost: 23,8 %

Průměrná suchá objemová hmotnost nenarušené půdy $\rho_{d0} = 1367 \text{ kg/m}^3$

G 6



Zhutnění půdy "Suchdolská hlína"

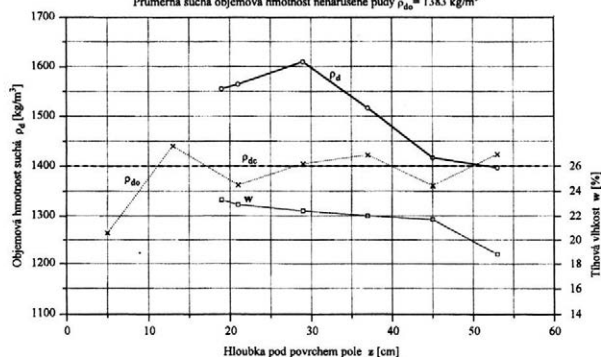
Pneu 18 R 22,5 Q=4000 kg p=550 kPa

Sondy 1994 - 07, 08, 0708 serie S3

Průměrná vlhkost: 21,9 %

Průměrná suchá objemová hmotnost nenarušené půdy $\rho_{d0} = 1383 \text{ kg/m}^3$

G 7



Zhutnění půdy "Suchdolská hlína"

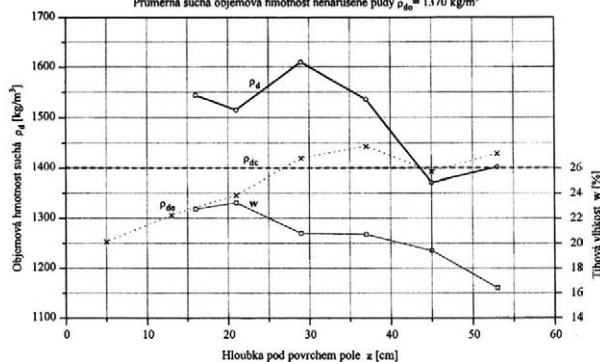
Pneu 18 R 22,5 Q=3000 kg p=550 kPa

Sondy 1994 - 08, 09, 0809 serie S3

Průměrná vlhkost: 20,5 %

Průměrná suchá objemová hmotnost nenarušené půdy $\rho_{d0} = 1370 \text{ kg/m}^3$

G 8



Zhutnění půdy "Suchdolská hlína"

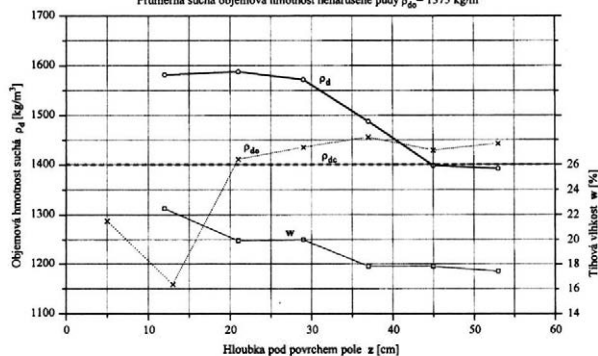
Pneu 18 R 22,5 Q=2000 kg p=550 kPa

Sondy 1994 - 09, 10, 0910 serie S3

Průměrná vlhkost: 19,2 %

Průměrná suchá objemová hmotnost nenarušené půdy $\rho_{d0} = 1375 \text{ kg/m}^3$

G 9



Použité symboly a zkratky

b_0	cm	šířka styčné plochy pneumatiky
d_k	mm	průměr razidla kompaktoru
F_z	kN	zátížení plochy
F_{zm}	kN	maximální síla na razidlo při vtlačování razidla do zeminy v tlakové nádobě
ISD	%	index poškození půdy,
l_0	cm	délka styčné plochy pneumatiky
n	%	pórovitost $[100 \cdot (1 - \frac{\rho_d}{\rho_z})]$
p	kPa	tlak huštění pneumatiky
p_m	kPa	tlak oleje v hydraulickém válci kompaktoru
q_s	kPa	střední kontaktní tlak
q_{sg}	kPa	generující (střední) kontaktní tlak
Q	kg	zátížení (nesená hmotnost) kola
Q_j	kg	jmenovitá únosnost pneumatiky podle katalogu
r	mm	střední poloměr hypotetické kruhové plochy
r_k	mm	poloměr razidla kompaktoru
S_0	cm ²	styčná plocha pneumatiky na tvrdé podložce
S_{0k}	cm ²	plocha razidla
t	cm	hloubka stopy
t_k	cm	hloubka vtisku razidla
w	%	hmotnostní vlhkost zeminy $(100 \times \text{hmotnost vody} / \text{hmotnost vysušené zeminy})$
		$[\frac{100 \cdot (\rho - \rho_d)}{\rho_d}] = 100 \cdot (\frac{\rho}{\rho_d} - 1)$
z	cm	hloubka v půdě měřená od jejího povrchu
z'	cm	transformovaná souřadnice hloubky
z_k	cm	hloubka v zemině tlakové nádoby měřená od plochy vytlačené v horní vrstvě zeminy razidlem d
α	stupně	polovina vrcholového úhlu kužele
κ	–	součinitel rozložení tlaku podél styčné plochy
v	–	koncentrační faktor
ρ	kg/m ³	objemová hmotnost přirozeně vlhké zeminy
ρ_d	kg/m ³	objemová hmotnost vysušené zeminy (suchá) po stlačení
ρ_{d0}	kg/m ³	objemová hmotnost vysušené zeminy před stlačením
ρ_{d1m}	kg/m ³	maximální hodnota suché objemové hmotnosti ρ_d v intervalu hloubky 20–50 cm
ρ_{d1m}	kg/m ³	maximální hodnota suché objemové hmotnosti ρ_{d0} v intervalu hloubky 20–50 cm
ρ_{dc}	kg/m ³	kritická suchá objemová hmotnost (L h o t s k ý, 1984) (tab. IV)
ρ_z	kg/m ³	měrná hmotnost zrn
σ_z	kPa	svislé napětí v půdě

LITERATURA

- BAILEY, A. C. – RAPER, R. L. – JOHNSON, C. E. – BURT, E. C.: An integrated approach to soil compaction modeling. Proceedings AgEng 92 Conference, paper No. 9201-04, Uppsala 1992. 11 s.
- COOPER, A. W. – VANDENBERG, G. E. – MCCOLLY, H. F. – ERICKSON, A. E.: Strain gage cell measures soil pressure. Agric. Engng, 1957 (4).
- GREČENKO, A.: Využití poznatků mechaniky zemin ke studiu stlačování půdy traktorovými koly. Zeměd. Techn., 12, 1966 (9): 551–575.
- GREČENKO, A.: Vlastnosti terénních vozidel. [Skripta.] Praha 1994. 118 s. – Česká zemědělská univerzita. Fakulta technická.
- HADAS, A.: Soil compaction caused by high axle loads – review of concepts and experimental data. Soil and Tillage Res., 29, 1994: 253–276.
- HÅKANSSON, I.: Axle load limits – an essential soil conservation issue. Proceedings AgEng 92 Conference, paper No. 9201-03, Uppsala 1992: 14–16.
- KOOLEN, A. J. – KUIPERS, H.: Agricultural soil mechanics. Berlin, Springer-Verlag 1983. 241 s.
- LHOTSKÝ, J. – VÁCHAL, J. – EHRICH, P.: Soustava opatření k zúrodňování zhutněných půd. Metodiky ÚVTIZ, Praha 1984, č. 14.
- RUSANOV, V. A.: USSR standards for agricultural mobile machinery: permissible influences on soils and methods to estimate contact pressure and stress at a depth of 0.5 m. Soil and Tillage Res., 29, 1994: 249–252.
- SOANE, B. D. (Editor): Compaction by agricultural vehicles: a review. SIAE Technical Report 5, Penicuik 1983 (reprint ze Soil and Tillage Res., Vol. 1, 1980/81 a Vol. 2, 1982).
- SÖHNE, W.: Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grundl. Landtechn., 1953 (5): 49–63.

Došlo 4. 9. 1996

Kontaktní adresa:

Prof. Ing. Alexandr Grečenko, DrSc., Destá, a. s., Ústecká 20, 405 28 Děčín V, tel.: 0412/51 01 76

OPTIMALIZACE POČTU A VYUŽITÍ SKLÍZECÍCH MLÁTIČEK S OHLEDEM NA FAKTOR VČASNOSTI SKLIZNĚ

OPTIMIZATION OF THE NUMBER AND UTILIZATION OF COMBINES ACCORDING TO THE TERM OF HARVEST

M. Kavka, L. Kolek, J. Vašák, O. Faměra, B. Pošar

Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: The time of harvest of crops has an influence on the yields and the quality which has effect upon the profit and the utilization of harvest machines. For getting maximum of profit preharvest and harvest losses according to the time of harvest of different crops must be considered and these losses can be used by optimization of numbers and utilization of harvest machines. The higher is the utilization of harvest machines, the longer is the time of harvest and the lower are the machinery costs. The longer is the time of harvest, the higher are the losses transformed into losses of market production. That is why in the years 1994–1995 the research on the influence of the time of harvest of rape, wheat and barley on the yields, the quality and the market production of the final product was carried out. Results of this research were used in a mathematical model that is based on the dynamic programming using modified simplex method. This model is used by a computer program that schedules crop harvest operations and optimizes numbers and utilization of combines. The criterial function represents the profit as a difference between receipts and costs. Because of the working parameters of harvest machines used for optimization, the working measurements of combines in two agricultural enterprises in 1996 were materialized. Results of optimization give more exact information about the utilization of harvest machines and in the consequently the farmers save up the money.

harvest of grain; preharvest losses; harvest losses; time of harvest; seasonal performance; yearly performance; time factor; combines; optimization of utilization; optimal number of harvest combines; mathematical modelling; dynamic programming; simplex method; maximization of profit; market production

ABSTRAKT: Faktor času při sklizni a pěstování polních plodin výrazně ovlivňuje dosažené výnosy, kvalitu a celkovou efektivnost, resp. finanční výnos z rostlinné výroby. Pro dosažení maximálního finančního výnosu je třeba znát průběh celkových ztrát u jednotlivých plodin v závislosti na době trvání pracovních operací a tyto ztráty brát v úvahu při optimalizaci využití strojové techniky. Proto byly ve sklizňových letech 1994 a 1995 na pokusných pozemcích Výzkumné stanice v Červeném Újezdu sledovány výnosy, ztráty a kvalita produkce ozimé řepky, ozimé pšenice a jarního ječmene. Výsledky byly převedeny do závislosti úbytku tržní produkce ve funkci okamžiku a doby sklizně a následně využity v matematickém modelu a počítačovém programu pro optimalizaci počtu a využití sklízecích mlátiček. V modelu je využito metody dynamického programování v kombinaci se simplexovou metodou s parametry. V proměnném časovém kroku simulace je provedeno rozvrhování disponibilních kapacit sklízecích mlátiček k plodinám a výsledkem jsou optimální počty a využití sklizňových strojů vlastních nebo od podniku služeb a termíny nasazení. Protože mezi vstupní parametry patří také technicko-ekonomické ukazatele sklízecích mlátiček, bylo v roce 1996 realizováno provozní měření sklízecích mlátiček ve dvou podnicích.

sklizeň zrnin; celkové ztráty; doba sklizně; sezónní výkonnost; roční výkonnost; faktor včasnosti; optimalizace využití; sklízecí mlátičky; optimalizace počtu strojů; matematické modelování; dynamické programování; simplexová metoda; maximalizace finančního výnosu; tržní produkce

ÚVOD

Faktor času při sklizni a pěstování polních plodin výrazně ovlivňuje dosažené výnosy, kvalitu a celkovou efektivnost, resp. finanční výnos z rostlinné výroby. Pro dosažení maximálního finančního výnosu je třeba znát průběh celkových (kvantitativních a způsobených

změnou kvality výsledného produktu) ztrát u jednotlivých plodin v závislosti na době trvání pracovních operací (zejména sklizně, ale také vliv přípravy půdy, setí, ošetření během vegetace) a tyto ztráty brát v úvahu při optimalizaci využití strojové techniky.

Ztráty lze charakterizovat jako úbytek produkce způsobený prodloužením doby provedení pracovní

operace od doby, kdy plodina při sklizni dosahuje maximálního projektovaného výnosu a kvality. Pokud ztráty převedeme na úbytek tržní produkce, lze jich využít i k úvahám o úrovni využití strojové techniky v provozních podmínkách.

Ztráty způsobené pozdním vykonáním pracovní operace závisí na mnoha činitelích, zejména pak na druhové a odrůdové skladbě pěstovaných plodin, na výrobních a přírodních podmínkách a na klimatických poměrech. Touto problematikou, zejména u obilovin, se zabývala řada autorů (Hunt, 1978; Voňka, 1980; Turček, 1980; Witney, 1988). Ve většině citovaných prací se autoři shodují na skutečnosti, že průběh ztrát v závislosti na čase má nelineární charakter a pro různé podmínky byly zjišťovány závislosti charakterizující zejména biologické ztráty.

Vysoké využití strojové techniky znamená na jedné straně snižování přímých jednotkových nákladů na provoz a na straně druhé je nutná delší doba nasazení, což se promítá do úbytku tržní produkce způsobeného prodloužením doby provedení pracovní operace. Proto je žádoucí optimalizovat početní stavy a sezónní výkonnosti strojů současně nasazených v jednom zemědělském podniku.

Skutečnosti, že v závislosti na různém okamžiku provedení prací dochází ke ztrátám a ke změně kvality výsledného produktu, využili někteří autoři (Špelina, 1973; Mašková aj., 1976; Hunt, 1978; Witney, 1988; Oubrecht, 1991; Kochan, 1996) k optimalizaci počtu strojů nutných k provedení prací. K takto pojatému uvažování je žádoucí znát kromě celkových ztrát také změnu kvality výsledného produktu a to převést na změnu tržní produkce v závislosti na čase. Proto bylo přistoupeno k výzkumu tolerance vybraných druhů zrnin (ozimé řepky, ozimé pšenice a jarního ječmene) k opožděné sklizni a k minimalizaci úbytku tržní produkce, resp. maximalizaci finančního výnosu ve vazbě na optimalizaci využití sklízecích mlátiček. Výzkum byl realizován v letech 1994 až 1996 v rámci projektu GA ČR č. 504/94/0056 a výsledky týkající se tolerance sledovaných plodin k opožděné sklizni publikovali Koleček et al. (1997). Výsledkům týkajícím se optimalizace nasazení sklízecích mlátiček s ohledem na faktor včasnosti sklizně je věnován tento příspěvek, který rovněž vznikl při řešení uvedeného projektu GA ČR.

METODA

Včasnost operace úzce souvisí s výkonností určitého stroje nebo skupiny strojů a s jejich využitím. Obecně uplatňovaný požadavek maximálního ročního využití stroje (v souvislosti s klesajícími jednotkovými náklady) se může stát nevýhodným, přihlídně-li se k důsledkům vzniklým nedodržením požadované včasnosti. Za určitých okolností (když výkonnost stroje nebo počet strojů, které jsou k dispozici, neumožní vykonat určité operace v dostatečně krátkém období) může totiž při-

védit kvantitativní nebo kvalitativní ztráty produktu, převyšující finanční výhody, které vyplývají z vysokého stupně využití mechanizace. Tato skutečnost byla publikována autory Špelina (1973), Mašková aj. (1976), Witney (1988), Kavka, Koleček (1996), přičemž kritériem optimalizace byly minimální celkové jednotkové náklady na sklizeň tvořené přímými jednotkovými náklady na provoz sklízecích mlátiček, které se snižují se zvyšující se sezónní a roční výkonností, ale současně se prodlužuje doba sklizně, což má vliv na zvyšování tzv. nepřímých jednotkových nákladů způsobených ztrátami z nevhodného provedení sklízňových prací.

Takto pojaté kritérium minimálních celkových jednotkových nákladů je vhodné k optimalizaci sezónní výkonnosti jednoho typu sklízecí mlátičky při sklizni jedné plodiny. Je však stěží použitelné k modelování vztahu mezi úbytkem tržní produkce a náklady na provoz strojové techniky v podmínkách sklizně více plodin s různými počátky sklizně, různým úbytkem tržní produkce v závislosti na době sklizně a sklizenými různými typy sklízecích mlátiček mnohdy s odlišnou organizací práce. Na tuto skutečnost upozornil Kochan (1996), který ke stanovení ekonomicky zdůvodněné potřeby sklízecích mlátiček v podniku použil kritérium souhrnných redukovaných nákladů. Na základě analýzy problému bylo proto zvoleno komplexnější kritérium maximálního finančního výnosu jako rozdíl mezi výnosy z prodeje produkce a náklady na realizaci sklizně sklízecími mlátičkami.

Výnosy vznikají prodejem výsledného produktu za výkupní cenu a dále fakturací za práci vlastních sklízecích mlátiček ve službách pro cizí. Množství prodaného produktu z jednotky plochy, jakož i výkupní cena se vlivem faktoru času mění (dochází k úbytku tržní produkce).

Za účelem zjišťování úbytku tržní produkce vybraných odrůd ozimé řepky, ozimé pšenice a jarního ječmene byl realizován výzkum změn relevantních kvalitativních znaků a biologických a celkových ztrát ve funkci zahájení a doby sklizně. Ve sklízňových letech 1994 a 1995 byly na pokusných pozemcích Výzkumné stanice v Červeném Újezdu sledovány (Koleček aj., 1997) výnosy, ztráty a kvalita produkce ozimé řepky odrůdy CERES (1993) a LIRAJET (1994 a 1995). Dále byly hodnoceny ozimé pšenice odrůdy HANA a VLA-DA a jarní ječmen AKCENT a JUBILANT.

U obilovin byly sledovány výnosy z jednotlivých parcel a ztráty za sklízecí mlátičkou. V jednom termínu sklizně byly sklizeny dvakrát čtyři parcely, každá o výměře 15 m². U ozimé řepky byly sledovány ztráty biologickým výpadem, ztráty za sklízecí mlátičkou, ztráty na liště a sklizená produkce. V každém termínu bylo sklizeno šest až osm parcel o výměře 12,5 m². První termíny sklizni byly stanoveny do doby plné zralosti a následně sklizně se uskutečňovaly v intervalu tří až sedmi dnů od předešlé sklizně s ohledem na klimatické a organizační podmínky. Z každého sklizeného vzorku byl odebrán kontrolní odběr pro stanovení vlhkosti pro-

dukce a pro určení kvalitativních znaků produkce. U ozimé řepky byly analyzovány hmotnost tisíce semen (HTS) a obsah oleje, u sladovnického ječmene podíl předního zrna, HTS, podíl zahnědlých špiček a obsah N-látek, u ozimé pšenice objemová hmotnost, obsah mokrého lepku a číslo poklesu.

K zjišťování biologických (předsklizňových) ztrát ozimé řepky (obr. 1) sloužily speciální truhlíky, které byly asi 14 dní před zahájením sklizně prvních parcel zasunuty do porostu. U obilovin byly při měření zjišťovány ztráty celkové. Biologické ztráty (obr. 2 a 3) byly odvozeny tak, že bylo nalezeno minimum na intervalu $(0; \infty)$ o souřadnicích $[x; y]$ a funkce biologických ztrát (f_2) se rovná funkci celkových ztrát (f_1) zmenšené o y .

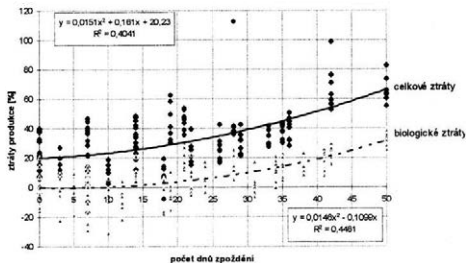
Toleranci sledovaných plodin k opožděné sklizni z hlediska změn kvalitativních prvků a biologických ztrát analyzovali K o l e k a j. (1997). Výsledky této části výzkumu, které jsou důležitým vstupem do optimalizačního modelu, jsou souhrnně uvedeny na obr. 1 až 3 a v tab. III, přičemž celkové poměrné kvantitativní ztráty jsou definovány parametry mocninné funkce a změna kvality je charakterizována poměrnými změnami výkupní ceny výsledného produktu nebo změnami dodatečných nákladů na dosoušení, transformovaných do ceny produktu (viz legenda k tab. IV).

Zjištění nákladů na sklizeň mlátičky v členění ročních a jednotkových fixních, jednotkových variabilních a celkových (Š p e l i n a aj., 1973) a dalších technicko-ekonomických ukazatelů nutných jako vstupní údaje pro matematický model a tvorbu počítačového programu pro optimalizaci využití sklizních mlátiček ve vazbě na faktor včasnosti sklizně byl věnován poslední rok řešení grantu.

Do provozního sledování byly zařazeny tyto sklizeň mlátičky (SM): 1x E-514, 2x E-524, 1x Claas MEGA 208 SZP Lány, 1x L521I, 2x L624I a 1x L626I fy ZO-FI, s. r. o. O každém typu byly zjišťovány tyto údaje: pořizovací cena, rok pořízení, účetní zbytková cena v roce 1996, cena nového typového ekvivalentu a tržní cena v roce 1996.

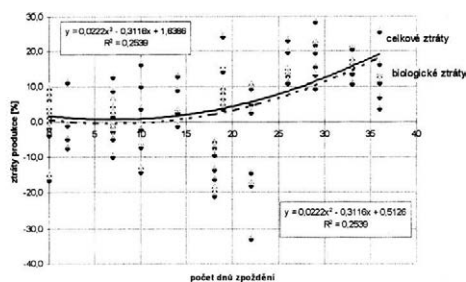
V průběhu žní v roce 1996 byly sledovány technicko-ekonomické ukazatele, tj. hodinová, denní, sezónní a celková roční výkonnost, náklady na péči a opravy, PHM a náklady mzdové a ztráty. Dále byl sledován postup mechanizovaných prací v rámci podniku; z tohoto postupu lze zjistit průběh sklizně plodin a pozemků.

K modelování (K o r d a aj., 1967; A l e x e j e v aj., 1991) vztahu mezi úbytkem tržní produkce a využitím sklizních mlátiček bylo v konečné verzi (implementované do počítačového programu) použito metody dynamického a lineárního programování (exaktní simplexové metody s parametry) v rámci simulačního modelu s proměnným krokem simulace. Konečná verze respektuje též principy heuristických simulačních modelů vhodných zejména pro hrubé rozvrhování výroby. Výstupy jsou optimální počty, sezónní a roční výkonnosti заданých typů sklizeň mlátiček rozčleněných do organizačních skupin a začátky a doby sklizně jednotlivých druhů zrnin. Rovněž je v modelu respektován vliv

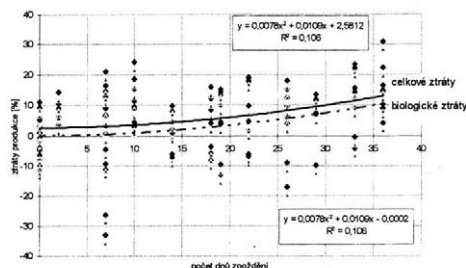


1. Vliv opoždění sklizně ozimé řepky na biologické a celkové ztráty (hodnoty z let 1993–1995) – Influence of the term of harvest of winter rape to the biological and total losses (values for the years 1993 to 1995)

ztráty produkce – losses of production
počet dnů zpoždění – days of delay
biologické ztráty – biological losses
celkové ztráty – total losses



2. Vliv opoždění sklizně jarního ječmene na biologické a celkové ztráty (hodnoty z let 1994, 1995) – Influence of the term of harvest of spring barley to the biological and total losses (values for the years 1994, 1995)



3. Vliv opoždění sklizně ozimé pšenice na biologické a celkové ztráty (hodnoty z let 1994 a 1995) – Influence of the term of harvest of winter wheat to the biological and total losses (values for the years 1994, 1995)

vých druhů zrnin. Rovněž je v modelu respektován vliv faktorů meteorologických vlivů, který způsobuje prodloužení doby sklizně a snižování sezónní výkonnosti.

VLASTNÍ PRÁCE

A. VÝSLEDKY PROVOZNIHO SLEDOVÁNÍ SKLÍZECÍCH MLÁTIČEK V REÁLNÝCH PODMÍNKÁCH

Provozní sledování sklízecích mlátiček se uskutečnilo na Školním zemědělském podniku (dále jen ŠZP) Lány a v podniku ZOFI, s. r. o., se sídlem v Kadově u Blatné. ŠZP Lány je zemědělský podnik tradičního typu a firma ZOFI, s. r. o., se zabývá poskytováním služeb zemědělským podnikům.

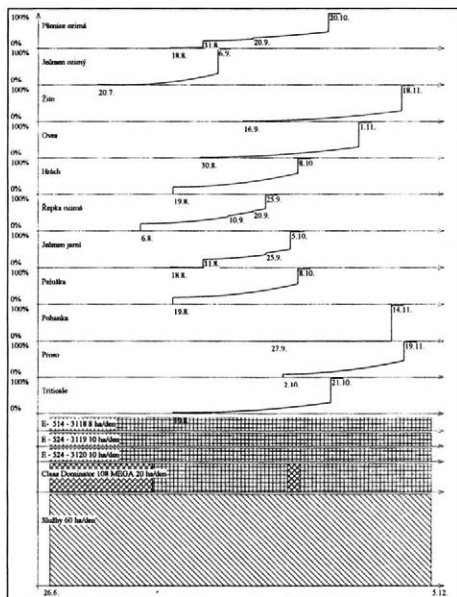
Sklízecí mlátičky byly nasazeny v období od 20. 7. do 5. 10. 1996 (SZP Lány) a od 9. 7. do 14. 10. 1996 (ZOFI, s. r. o., Kadov). Sklízecí mlátičky řady E v SZP Lány pracovaly převážně na pozemcích SZP Lány, pouze sklízecí mlátička Claas MEGA 108 byla v období od 21. 7. do 10. 8. nasazena ve službách pro cizí. Sklízecí mlátičky firmy ZOFI, s. r. o., Kadov zahájily sklizeň v okresech Hodonín a Břeclav a postupně se přesouvaly do okresů Strakonice, Písek, Klatovy a Plzeň-jih.

Charakteristika sledovaných sklízecích mlátiček je uvedena v tab. I, souhrnné výsledky provozního sledování sklízecích mlátiček v tab. II. Struktura souhrnných výsledků je vytvořena tak, aby byly zjištěny vstupní údaje pro model popsaný v oddíle B. Jsou to zejména dosahované denní a roční výkonnosti, roční fixní náklady a jednotkové náklady variabilní a celkové na provoz sklízecích mlátiček.

Dosažené výkonnosti byly v roce 1996 ovlivněny nepříznivým počasím a byly asi o 25 až 30 % nižší, než jsou možnosti sklízecích mlátiček. Zjištěné roční fixní náklady však změna meteorologických vlivů nijak neovlivní. Jednotkové variabilní náklady mohou být ovlivněny zejména prostoji a vyššími přejezdy v důsledku nepříznivého počasí. Proto ve výsledných kalkulacích (tab. II) byla provedena transformace těchto nákladů tak, aby byly vzaty v úvahu přejezdy a prostoje. Neúměrně vysoké jednotkové variabilní náklady u sklízecích mlátiček E-524 č. 3119 (tab. II) byly způsobeny větším rozsahem oprav.

B. MODEL PRO OPTIMALIZACI VZTAHU MEZI ÚBYTKEM TRŽNÍ PRODUKCE A POČETNÍMI STAVY A SEZÓNÍM VYUŽITÍM SKLÍZECÍCH MLÁTIČEK

Definice problému optimalizace, kterou musí model umožňovat, vyplývá z obr. 4. Jde o rozvrhování disponibilních denních kapacit (skutečných a potenciálně možných – daných vůlí v oblasti využití služeb nebo nákupu nových) sklízecích strojů k požadavkům – plodinám v časových intervalech. Výsledkem rozvrhu jsou požadavky na zastoupení počtu (snížení nebo zvýšení anebo použití služeb) strojů v různých organizačních skupinách a další parametry (začátky sklizně a doba sklizně plodin, časy nasazení, sezónní a roční výkonnosti) tak, aby byla respektována kritéria funkce ma-



4. Princip rozvrhování disponibilních kapacit sklízecích mlátiček k plodinám ve vazbě na úbytek tržní produkce v čase – Principle of distribution of combines to the crops in connection to the relative losses of market production in the time

pšenice ozimá – winter wheat
ječmen ozimý – winter barley
žito – rye
oves – oats
hrách – peas
řepka ozimá – winter rapeseed
ječmen jarní – spring barley
pěluška – field peas
pohanka – buckwheat
proso – millet
tritikale – triticale
služby 60 ha/den – services 60 hectares/day

ximálního finančního výnosu a soustava omezení. Vlastní architekturu modelu a optimalizační postup lze popsat takto:

I. Pro lepší řešitelnost je nutné rozdělit sklizeň zrnin v rámci jednoho zemědělského podniku na x intervalů s označením $i \in (1; x) \wedge i \in N$, které lze nazvat časovými kroky simulace. Každý interval je charakterizován konstantní strukturou (nejvýše) o sklizených plodin s označením $k \in (1; o) \wedge k \in N$ v různém stadiu úbytku tržní produkce (je počítán pro každý interval a plodinu zvlášť a rozdíl mezi úbytkem tržní produkce na začátku a na konci intervalu není větší než zadaný – zpravidla 5 %) a konstantní výkupní cenou produktu a konstantní strukturou m organizačních skupin sklízecích mlátiček s označením $j \in (1; m) \wedge j \in N$. Během sklizně je také respektován vliv faktorů meteorologických vlivů $k_m \in (0; 1)$ podle tab. III. První časový

I. Charakteristika sklízecích mlátiček zařazených do sledování – Description of combines in working measurement

Typ sklízecí mlátičky ¹	Označení při sledování (místo a pořadové číslo) ²	Rok pořízení ³	Výkon motoru ⁴ (kW)	Pořizovací cena ⁵ (Kč)	Účetní zbytková cena ⁶ (Kč)	Roční odpis ⁷ (Kč.rok ⁻¹)	Cena tržní ⁸ (Kč)	Cena nového ekvivalentu ⁹ (Kč)	Dosahovaná (střední) denní výkonnost ¹⁰ (ha.d ⁻¹)	Minimální roční výkonnost ¹¹ (ha.rok ⁻¹)
E-514	ŠZP Lány – č. 3118	1988	105	247 800	61 950	24 780	180 000	2 000 000	8,0	320
E-524	ŠZP Lány – č. 3119	1989	115	371 176	154 628	37 128	250 000	2 900 000	10,0	470
E-524	ŠZP Lány – č. 3120	1990	115	406 744	203 357	40 680	300 000	2 900 000	10,0	470
CLAAS MEGA 108	ŠZP Lány – č. 3121	1994	163	4 008 822	3 507 717	400 884	4 000 000	4 010 000	20,0	620
L 521 I	ZOFI s. r. o. č. 1	1993	154	3 295 000	1 089 000	544 663	1 800 000	3 750 000	15,0	580
L 624 I	ZOFI s. r. o. č. 2	1996	176	4 438 000	4 438 000	554 750	3 600 000	4 438 000	20,0	680
L 624 I	ZOFI s. r. o. č. 3	1996	176	4 438 000	4 438 000	554 750	3 600 000	4 438 000	20,0	680
L 626 I	ZOFI s. r. o. č. 4	1996	191	4 696 000	4 696 000	587 000	3 800 000	4 696 000	20,0	700

Poznámka – Note: Minimální roční výkonnosti sklízecích mlátiček byly počítány počítačovým poradenským systémem MZe TechConsult (K a v k a, 1995) – Minimum annual efficiency of combines were calculated by consulting system of the Ministry of Agriculture, TechConsult (K a v k a, 1995)

¹type of threshing machine, ²marking during investigation (site and order number), ³year of purchase, ⁴engine power, ⁵purchase cost, ⁶accounting residual price, ⁷annual depreciation, ⁸market value, ⁹value of new equivalent, ¹⁰realized (mean) daily efficiency, ¹¹minimum annual efficiency

II. Souhrnné výsledky provozního sledování sklízecích mlátiček v roce 1996 – Results of working measurement of combines in 1996

Typ sklízecí mlátičky ¹	Označení při sledování (místo a pořadové číslo) ²	Denní výkonnost (skutečná) ³ (ha.den ⁻¹)	Roční výkonnost ⁴ (ha.rok ⁻¹)	Roční fixní náklady ⁵ (Kč.rok ⁻¹)	Jednotkové variabilní náklady ⁶ (Kč.ha ⁻¹)	Celkové jednotkové náklady ⁷ (Kč.ha ⁻¹)
E-514	ŠZP Lány – č. 3118	4,5	176,6	250 180	542,56	1 959,61
E-524	ŠZP Lány – č. 3119	6,3	138,8	362 680	1 032,94	3 645,34
E-524	ŠZP Lány – č. 3120	6,2	191,7	362 680	617,25	2 508,87
CLAAS MEGA 108	ŠZP Lány – č. 3121	14,5	623,2	428 837	504,59	1 192,71
L 521 I	ZOFI s. r. o. č. 1	8,5	498,8	590 843	362,88	1 547,41
L 624 I	ZOFI s. r. o. č. 2	9,5	638,8	634 930	345,59	1 339,53
L 624 I	ZOFI s. r. o. č. 3	13,1	694,1	634 930	344,88	1 259,63
L 626 I	ZOFI s. r. o. č. 4	11,9	581,9	667 180	336,49	1 483,04

Poznámka – Note: Roční fixní náklady sklízecích mlátiček pořízených v roce 1990 a dříve byly počítány z ceny nového ekvivalentu, neboť by svou prací měly vydělat na stroj nové zakoupený. O možnosti nákupu nových sklízecích mlátiček se v optimalizačním výpočtu uvažuje – Annual fixed costs of combines bought in 1990 and earlier were calculated from the value of new equivalent, because they should earn money for the new machines by their work. Purchase of new combines is considered in optimization calculation

¹type of combine, ²marking during investigation (site and order number), ³daily (actual) efficiency, ⁴annual efficiency, ⁵annual fixed costs, ⁶unit variable costs, ⁷total unit costs

III. Počet dní vhodných ke sklizení a součinitel meteorologických vlivů (podle sledování VÚRV v Praze-Ruzyni) – Number of suitable days for harvest and coefficient of meteorological factors (as reported by investigations of the Research Institute of Crop Production Praha-Ruzyně)

Rok ¹	Měsíc ²							
	VI.		VII.		VIII.		IX.	
	pracovní dny ³	k_m	pracovní dny	k_m	pracovní dny	k_m	pracovní dny	k_m
1993	24	0,80	23	0,77	26	0,87	25	0,83
1994	25	0,83	24	0,80	22	0,73	26	0,87
1995	21	0,70	23	0,77	25	0,83	23	0,77
1996	19	0,63	21	0,70	21	0,70	22	0,73

k_m – součinitel meteorologických vlivů (= počet pracovních dní v měsíci/30) – coefficient of meteorological factors (i.e. number of working days per month/30)

¹ year, ² month, ³ working days

interval každé plodiny začíná v bodě ($ZO_k - Tcv_k$). Vlastní sklizeň je tedy v modelu povoleno začít nejvýše o dobu Tcv_k dříve. Konkrétní začátek je výsledkem optimalizace. Tato doba byla stanovena expertním způsobem (Vašák, Faměra). V zemědělské praxi však o začátku sklizně rozhoduje téměř vždy okamžitá vlhkost zrna.

II. Předmětem řešení matematického modelu je v proměnném časovém kroku simulace nasazení organizačních skupin (soubor strojů stejného typu nasazovaný společně při stejné organizaci práce) sklízecích mlátiček na plodiny. Kriteriační funkcí tvoří maximální celkový finanční výnos $Zc = \sum_{i,j,k} Z_{ijk}$. Výsledkem opti-

malizace jsou optimální časy nasazení TP_{ijk} a časy nepracovní Tz_{ij} (pro stroje nebyla práce). Skutečná doba nasazení je pak rovna součinu $TP_{ijk} \cdot k_m$. Dalším výstupem jsou optimální počty sklízecích mlátiček n_{o_j} v organizačních skupinách.

III. Výsledky výzkumu tolerance vybraných druhů zrnin ukazují (tab. IV, obr. 1 až 3), že poměrný (procentuální/100) nárůst celkových ztrát $\Delta h(t)_k$ v důsledku nečasného provedení sklizně má mocinný průběh, který lze obecně vyjádřit vztahem (1). Protože vlivem faktoru času dochází nejen k absolutnímu úbytku produkce, ale také ke změně kvality a výkupní ceny $Cv(t)_k$ výsledného produktu, je nutné transformovat vztah (1) na vztah (2), ve kterém je zabudován vliv změny $Cv(t)_k$. Výkupní cena produktu, ve které jsou promítnuty případné dodatečné náklady na dosoušení, má ve funkci doby sklizně nespojitý charakter (tab. IV a obr. 1). Výsledný vztah (2) definuje poměrný úbytek tržní produkce ve funkci doby sklizně t a výsledky řešení tímto vztahem pro plodiny uvedené v tab. V jsou znázorněny na obr. 4.

Položíme-li vztah (2) roven 1 a předpokládáme-li, že je vždy $Cv(t)_k > 0$, pak lze stanovit i tzv. lhůtu totálních ztrát (vztah (3) a tab. IV), která má s ohledem na použitou metodu význam pouze při orientačním stanovení maximálního termínu konce sklizně.

$$\Delta h(t)_k = \frac{A_k \cdot t^2 + B_k \cdot t + C_k}{100} \quad (1)$$

$$\Delta V_{TP}(t)_k = \frac{Cv(0)_k - Cv(t)_k + Cv(t)_k \cdot \frac{A_k \cdot t^2 + B_k \cdot t + C_k}{100}}{Cv(0)_k} \quad (2)$$

$$Ttz_k = \frac{-B_k + \sqrt{B_k^2 - 4 \cdot A_k \cdot (C_k - 100)}}{2 \cdot A_k} \quad (3)$$

IV. Součástí zadání (tab. V) jsou tzv. suboptimální začátky sklizně jednotlivých plodin ZO_k , které byly zjišťovány během provozního sledování sklízecích mlátiček. Tyto začátky je pak možné transformovat do optimálního termínu ZO_k pomocí vztahů (4) a (5), tj. do termínu začátku sklizně, při kterém je plodina jako celek sklizena s maximálním finančním výnosem (termín posunutý o max. Tcv_k dní před termín suboptimální nebo za něj). K výpočtu je nutné znát funkci ztrát $\Delta h(t)_k$ v závislosti na čase t , výkupní cenu $Cv(t)_k$ v závislosti na čase včetně počtu dní Tcv_k před zadaným suboptimálním termínem, kdy tato cena již platí, výměru U_k , maximální výnos h_k a dobu nutnou ke sklizení plodiny T_k . Kritériem výpočtu je maximální teoretický tržní výnos v závislosti na začátku sklizně, jehož průběh lze popsat vztahem (4)

$$Z(ZO_k)_k = h_k \cdot \frac{U_k}{T_k} \cdot \int_{ZO_k}^{ZO_k + T_k} Cv(t)_k \cdot [1 - \Delta h(t)_k] \cdot dt \quad (4)$$

a přitom platí, že $ZO_k \geq ZO_k - Tcv_k$.

Řešením vztahu (5), který vznikl první derivací vztahu (4) podle ZO_k rovné 0, lze zjistit ZO_k , kde je možné předpokládat existenci extrému finančního výnosu. Z průběhu derivace v okolí bodu ZO_k pak lze rozhodnout, zda se o extrém jedná; v případě, že existuje více extrémů, je nutné rozhodnout, který je největší. Ve vztahu (5) bude výkupní cena konstantní po určitou dobu a pak klesne. Zajímavým důsledkem předchozí úvahy je, že při konstantní výkupní ceně v okolí času, kdy je maximální výnos předpokládán v zadaném suboptimálním termínu, není nejvýhodnější začít se sklízeti, ale o něco dříve.

$$Cv(ZO_k)_k \cdot [1 - \Delta h(ZO_k)_k] = Cv(ZO_k + T_k)_k \cdot [1 - \Delta h(ZO_k + T_k)_k] \quad (5)$$

IV. Vliv doby sklizně sledovaných plodin na ztráty a výkupní cenu hlavního produktu – Influence of the time of harvest on losses and market price of the main product

Plodina ¹	Výkupní cena platná v roce 1996 /Cv I/ ² (Kč.t ⁻¹)/(%)	Počet dní, kdy platí Cv I po /ZO/ ³ (den) ⁶	Počet dní Tcv _k před /ZO/ ⁴ (den)	Výkupní cena /Cv II/ po prvním snížení ⁸ (Kč.t ⁻¹)/(%)	Počet dní, kdy platí Cv II (po Cv I) ⁹ (den)	Výkupní cena /Cv III/ po druhém snížení ¹⁰ (Kč.t ⁻¹)/(%)	Počet dní, kdy platí Cv III (po Cv II) ¹¹ (den)	Výkupní cena /Cv IV/ po třetím snížení ¹² (Kč.t ⁻¹)/(%)	Počet dní, kdy platí Cv IV (po Cv III) ¹³ (den)	Maximálně přípustná doba sklizně/lhůta totálních ztrát ¹⁴ (den)	Parametr (celkové ztráty) ¹⁵		
											/A _k /	/B _k /	/C _k /
Ozimá řepka ²	5900/100	30,0	5,0	5600/94,5	10,00	5380/91,2	5,00	0/0	–	45/68	0,0151	0,0161	20,2300
Ozimá pšenice ³	3800/100	10,0	3,0	3100/81,6	20,00	2850/75,0	15,00	2550/67,1	15,00	60/111	0,0078	0,0109	2,5812
Jarní ječmen ⁴	3800/100	10,0	3,0	2900/76,3	25,00	2700/71,0	10,00	0/0	–	45/74	0,0222	–0,3116	1,6386

Legenda – Legend: a. Symboly A_k , B_k , C_k jsou parametry exponenciální funkce poměrných celkových ztrát produkce – Symbols A_k , B_k , C_k are parameters of exponential function of relative total losses transformed in production

b. Změny výkupní ceny ozimé řepky jsou způsobeny transformací nákladů na dosoušení. Vliv změny kvalitativních prvků na změnu výkupní ceny nebyl zjištěn. Vzhledem k nebezpečí vzniku plísní v důsledku zvýšené vlhkosti byla maximální doba sklizně s ohledem na kvalitu stanovena na 45 dní (Vašák) – Changes of the market price of winter rape are brought about by transformation of costs of drying out. The effect of change in qualitative elements on the change of market price was not found. As there is a danger of occurrence of moulds due to higher moisture, the maximum time of harvest with respect to the quality was set to 45 days (Vašák)

c. Změna výkupní ceny ozimé pšenice byla způsobena přechodem do krmné kvality v důsledku nižší objemové hmotnosti zrna. Vliv změny dalších kvalitativních prvků na změnu výkupní ceny nebyl zjištěn. Asi po 30 dnech od začátku sklizně lze pouze předpokládat vícenásobný posklizňovou úpravu, které se mohou transformovat do změny výkupní ceny – Change of the market price of winter wheat was brought about by transition into the fodder quality due to lower bulk weight of the grain. The effect of change of other qualitative elements on the change of the market price was not found. Approximately after 30 days from the start of the harvest, higher costs of post-harvest treatment can only be predicted, they can be transformed into the change of the market price

d. Změna výkupní ceny jarního ječmene byla způsobena přechodem do krmné kvality v důsledku obsahu dusíkatých látek. Vliv změny dalších kvalitativních prvků na změnu výkupní ceny nebyl zjištěn. Asi po 30 dnech od začátku sklizně lze předpokládat vícenásobný posklizňovou úpravu, které se mohou transformovat do změny výkupní ceny. Maximální doba sklizně byla stanovena s ohledem na skutečnost, že cca po 40 dnech se začínají lámat stébla (zejména pod klasem) – Change of the market price of spring barley was brought about by transition into the fodder quality due to the crude protein content. The effect of change of other qualitative elements on the change of the market price was not found. Approximately after 30 days from the start of the harvest, higher costs of post-harvest treatment which can be transformed into the change of the market price. Maximum time of harvest was set with respect to fact that about after 40 days when stems start to break (especially below the ear)

e. V roce 1996 stálo odsušení 1 t% cca 52 Kč.t⁻¹ – In 1996 the cost of drying out of 1 ton per cent was about 52 CZK.t⁻¹

f. Lhůta totálních ztrát produkce je počítána podle vztahu (3). Ve výpočtech se předpokládá nižší hodnota, tj. zpravidla maximálně přípustná doba sklizně s ohledem na kvalitu. Po této době je úbytek tržní produkce téměř 100% – Time of total losses of production is calculated according to the relationship (3). Lower value is taken into account in calculations, i.e. as a rule maximum admissible time of harvest with respect to the quality. After elapsing this time, the fall in market price is almost 100%

¹crop, ²winter rape, ³winter wheat, ⁴spring barley, ⁵market price effective in 1996 (Cv I – market price I), ⁶number of days when Cv I is effective after optimum term of the beginning of harvest /ZO/ (day),

⁷number of days before set start of harvest when maximum purchase price /Tcv_k/ before ZO₁ is already effective, ⁸market price (Cv II) after first reduction, ⁹number of days when Cv II is effective (after Cv I),

¹⁰purchase price (Cv III) after second reduction, ¹¹number of days when Cv III is effective (after Cv II), ¹²market price (Cv IV) after third reduction, ¹³number of days when Cv IV is effective (after Cv III),

¹⁴maximum admissible time of harvest/time of total losses, ¹⁵parameters A_k , B_k , C_k (total losses)

V. Vstupní údaje o sklizni plodin – Input data on the harvest of differend crops

Číslo plodiny ³ (k)	plodina ⁴	ŠZP Lány ¹							ZOFI, s. r. o., Kadov v ZD Střelecké Hoštice ²							Korekční součinitel denní výkonnosti ¹³ (Kwk)
		výměra ⁵ (<i>U_k</i>) (ha)	výnos ⁶ (<i>h_k</i>) (t.ha ⁻¹)	výkupní cena ⁷				suboptimální kalendářní začátek sklizně ¹² (<i>ZO_k</i>)	výměra ⁵ (<i>U_k</i>) (ha)	výnos ⁶ (<i>h_k</i>) (t.ha ⁻¹)	výkupní cena ⁷				suboptimální kalendářní začátek sklizně ¹² (<i>ZO_k</i>)	
				Cv I platná v roce 1966 ⁸	Cv II po prvním snížení ⁹	Cv III po druhém snížení ¹⁰	Cv IV po třetím snížení ¹¹				Cv I platná v roce 1966 ⁸	Cv II po prvním snížení ⁹	Cv III po druhém snížení ¹⁰	Cv IV po třetím snížení ¹¹		
				(Kč.r ⁻¹)							(Kč.r ⁻¹)					
1	pšenice ozimá ¹⁴	785	6,16	3 800	3 100	2 950	2 650	21. 8.	358	5,20	3 800	3 100,00	2 950,00	2 650,00	7. 8.	1,00
2	ječmen ozimý ¹⁵	128	5,04	2 900				23. 7.	103	3,80	2 100				13. 7.	1,00
3	žito ¹⁶	18	1,72	3 500				19. 9.	50	3,00	3 900				30. 8.	0,95
4	ječmen jarní ¹⁷	478	5,26	3 600	2 900	2 700		21. 8.	157	4,30	3 400	2 100,00	1 900,00		15. 8.	1,00
5	tritikale ¹⁸	80	5,22	2 900				22. 8.								1,00
6	oves ¹⁹	80	5,32	3 500				2. 9.	82	4,26	3 600				1. 9.	0,95
7	řepka ozimá ²⁰	70	3,70	5 900	5 600	5 380		11. 8.	255	2,70	5 900	5 600,00	5 380,00		24. 7.	0,90
8	hrach ²¹	79	3,30	4 600				24. 8.								0,90
9	peluška ²²	9	2,34	4 000				24. 8.								0,90
10	pohanka ²³	13	1,13	9 000				30. 9.								0,90
11	proso ²⁴	10	0,73	6 000				5. 10.								0,90

Poznámka – Note:

1. V tabulce jsou uvedeny změny cen v důsledku změny kvalitativních prvků pouze pro zkoumané plodiny (ozimou řepku, ozimou pšenici a jarní ječmen), a to ve vazbě na tab. IV –

Table gives changes of prices due to the change of qualitative elements only for investigated crops (winter rape, winter wheat and spring barley), i.e. in connection to Tab. IV

2. Při experimentování s modelem a optimalizací počtu a využití sklízecích mlátiček byly do výpočtu u ostatních plodin dosazeny hodnoty prognózované (obr. 4), tj.: pro ječmen ozimý A_k , B_k a C_k ječmene jarního a úbytek výkupní ceny nebyl uvažován; pro oves, žito a tritikale A_k , B_k a C_k pšenice ozimé a úbytek výkupní ceny nebyl uvažován; pro hrach a pelušku A_k , B_k a C_k ozimé řepky a úbytek výkupní ceny nebyl uvažován; pro proso A_k , B_k a 50 % hodnoty C_k ozimé řepky a úbytek výkupní ceny nebyl uvažován; pro pohanku byly dosazeny nulové hodnoty A_k , B_k a C_k a nepředpokládaly se změny výkupní ceny – In experiments with the model and optimization of the number and utilization of harvest machines, predicted values were inserted in calculations in other crops (Fig. 4), i. e. for winter barley A_k , B_k and C_k of spring barley and the fall in market price was not taken into account; for oat, rye and triticale A_k , B_k and C_k of winter wheat and the fall in market price was not taken into account; for pea and field pea A_k , B_k and C_k of winter rape and the fall in market price was not taken into account; for millet A_k , B_k and 50% C_k of winter rape and the fall in market price was not taken into account; for buckwheat was $A_k = 0$, $B_k = 0$ and $C_k = 0$ and the fall in market price was not taken into account

¹School agricultural enterprise Lány, ²company ZOFI, s.r.o. (limited liability company), Kadov at the Co-operative Farm Střelecké Hoštice, ³crop No., ⁴crop, ⁵area, ⁶yield, ⁷market price, ⁸effective in 1996, ⁹after first reduction, ¹⁰after second reduction, ¹¹after third reduction, ¹²suboptimum calendar start of harvest, ¹³correction coefficient of daily efficiency, ¹⁴winter wheat, ¹⁵winter barley, ¹⁶rye, ¹⁷spring barley, ¹⁸triticale, ¹⁹oat, ²⁰winter rape, ²¹pea, ²²field pea, ²³buckwheat, ²⁴millet

Vzhledem k použitému matematickému aparátu a principu metody jsou výše uvedené vztahy pouze teoretickým návodem. Datum optimálního začátku sklizně každé plodiny je totiž přímým výstupem z modelu (vzniká při řešení časového intervalu, kdy k -tá plodinu je možné poprvé sklízet) a je vždy stanoveno ve vazbě na současně sklizené plodiny. Při nasazení strojů jsou obecně zvýhodněny plodiny s vyšší tržní produkcí, tj. u plodiny s nižší produkcí může být sklizeň započata později, než je zadaný suboptimální termín začátku.

V. Sklízecí mlátičky, rozčleněné do organizačních skupin $j \in (0; m)$, lze charakterizovat: 1. sumární denní výkonnosti $dW_{jk} = dW_{1j} \cdot n_{vj} \cdot Kw_k$, při $n_{vj} \leq n_{vj} + n_m$ pro vlastní stroje, resp. $n_{vj} \leq n_s$ pro stroje podniku služeb, která je dána součinem denní výkonnosti jedné sklízecí mlátičky j -té organizační skupiny dosahované v nejpříznivějších podmínkách dW_{1j} , počtu sklízecích mlátiček n_{vj} ve skupině a korekčního součinitele denní výkonnosti Kw_k závislého na druhu sklizené plodiny; 2. disponibilním termínem nasazení; 3. provozními náklady.

Z pohledu následné optimalizace v zásadě existují tři typy organizačních skupin odlišující se zejména způsobem výpočtu provozních nákladů:

1. Vlastní sklízecí mlátičky nasazené v rámci podniku. Náklady na provoz j -té organizační skupiny sklízecích mlátiček při sklizni k -té plodiny v i -tém časovém intervalu (kroku simulace) jsou definovány vztahem (6), ze kterého vyplývá, že tyto náklady jsou tvořeny alikvotní složkou ročních fixních nákladů a dále složkou variabilních nákladů na provoz po dobu nasazení TP_{ijk} , korigovanou faktorem meteorologických vlivů k_m . Náklady na provoz j -té organizační skupiny v i -tém intervalu, potřebné k definici kritériální funkce, vyjadřuje vztah (7), který sumarizuje náklady v i -tém intervalu za všechny plodiny a zvětšuje je o náklady na prostoje v důsledku toho, že pro sklízecí mlátičku nebyla v daném intervalu práce. Parametry optimalizace jsou počty sklízecích mlátiček ve skupinách, tj. výsledkem optimalizace je nejen rozvrh práce, ale také optimální počty sklízecích mlátiček ve skupinách.

$$N_{ijk}^1 = n_{vj} \cdot \left[(K_i - Z_i) \cdot \frac{rNf_{ij}}{Tc_j} + TP_{ijk} \cdot dW_{1j} \cdot jNv_j \cdot k_m + jNprosl_j \cdot (1 - k_m) \cdot TP_{ijk} \right] \quad (6)$$

$$N_{ij}^2 = \sum_{k=1}^a N_{ijk} \quad (7)$$

2. Sklízecí mlátičky podniku služeb, které je možné zajistit v určitém termínu. Optimalizací je zjišťován počet a doba pronájmu sklízecích mlátiček podniku služeb. Náklady na j -tou organizační skupinu typu 2 při sklizni k -té plodiny v i -tém časovém intervalu lze zjistit ze vztahu (8). Faktor k_m způsobí, že stroj je pronajmut na delší dobu, než jaká je potřeba při dobrém počasí. Symbol Cp_k vyjadřuje cenu práce služeb při sklizni k -té plodiny. Sumarizované náklady za j -tou organizační skupinu v i -tém časovém intervalu udává vztah (9).

$$N_{ijk}^2 = n_{vj} \cdot TP_{ijk} \cdot \left[dW_{1j} \cdot Cp_k \cdot k_m + (1 - k_m) \cdot jNprosl_j \right] \quad (8)$$

$$N_{ij}^1 = \sum_{k=1}^a N_{ijk} \quad (9)$$

3. Vlastní sklízecí mlátičky využívané ve službách. Náklady na provoz j -té organizační skupiny sklízecích mlátiček v i -tém časovém intervalu (kroku simulace) při práci ve službách pro cizí jsou definovány vztahem (10). Protože jsou sklízecí mlátičky používány na výdělek, je nutné ve výpočtech celkového finančního výnosu počítat s výnosy spojenými s prací strojů ve službách (fakturací F_j přepočtenou na jednu sklízecí mlátičku F_j/n_j v organizační skupině). Náklady organizační skupiny typu 3 nejsou brány v úvahu jako součást kritériální funkce, neboť využití vlastních sklízecích mlátiček ve službách není předmětem optimalizace.

$$N_{ij}^3 \leq n_{vj} \cdot \left[(K_i - Z_i) \cdot \frac{rNf_{ij}}{Tc_j} + Wciz_{ij} \cdot jNv_j + jNprosl_j \cdot (1 - k_m) \cdot \frac{Wciz_{ij}}{dW_{1j} \cdot n_{vj}} \right] \quad (10)$$

a současně

$$N_{ij}^3 \geq n_{vj} \cdot \left[(K_i - Z_i) \cdot \frac{rNf_{ij}}{Tc_j} + Wciz_{ij} \cdot jNv_j \right]$$

VI. Výpočet dílčího finančního výnosu při nasazení j -té organizační skupiny sklízecích mlátiček v i -tém časovém intervalu v podniku je dalším předpokladem k realizaci matematického modelu. Tento finanční výnos lze vypočítat podle vztahu (11)

$$Z_{ij} = \sum_{k=1}^a dW_{jk} \cdot k_m \cdot Cv_{ik} \cdot TP_{ijk} \cdot h_k \cdot \frac{\int_{Z_i}^{K_i} (1 - \Delta h(t)_k) \cdot dt}{K_i - Z_i} - N_{ij}^{Tyn_j} \quad (11)$$

kde: $Tyn_j \in (1; 2) \wedge Typ_{ij} \in N$

Celkový finanční výnos vzniklý prací j -té organizační skupiny je tvořen sumou dílčích výnosů $Z_j = \sum_i Z_{ij}$.

Celkový finanční výnos vzniklý prací m organizačních skupin sklízecích mlátiček je dán sumou $Z_c = \sum_{j=1}^m Z_j$

a tvoří kritériální funkci pro simplexovou metodu. Zvětšením této hodnoty o případnou fakturaci $\sum_{ij} F_{ij}$ za

práci pro cizí (pro j , kde $Typ_{ij} = 3$) a zmenšením o náklady $\sum_{ij} N_{ij}^3$ (pro j , kde $Typ_{ij} = 3$) získáme celkový

finanční výnos z provozu všech sklízecích mlátiček.

VII. K řešení problému je použita lineární optimalizace simplexovou metodou. Postup řešení je následující:

1. Výpočet časových intervalů (proměnných kroků simulace), ve kterých jsou konstantní podmínky (viz I).

2. Pro všechny časové intervaly je sestavena optimalizační soustava rovnic (12) až (14) (soustava je generována dynamicky v souladu s okamžitým zadáním).

$$\forall j \in N \wedge j \leq m; \forall i \in N \wedge i \leq x: \quad (12)$$

$$Tz_{ij} + \sum_{k=1}^n T_{p_{ijk}} = K_i - Z_i$$

$$\forall k \in N \wedge k \leq o; \quad (13)$$

$$Uz_{ik} + \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^x T_{p_{ijk}} \cdot dW_{ljk} \cdot n_{oj} \cdot k_m = U_k$$

$$Z_c = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^m Z_{ij} \quad (14)$$

Rovnice (12), kterých je $(m \cdot x)$, vyjadřují pracovní dobu jednotlivých organizačních skupin sklízecích mlátiček v jednotlivých časových intervalech. Rovnice (13), kterých je (o) , vyjadřují posečenou a neposečenou výměru plodin za celou dobu sklizně včetně parametrů n_{oj} . Rovnice (14) je kritériální funkce optimalizační soustavy a při optimalizaci hledáme její maximum. Takto definovaná soustava má $(m \cdot x + o + 1)$ rovnic pro $(m \cdot x \cdot (o + 1) + o + 1)$ neznámých. Dalším omezením je, že všechny proměnné mohou nabývat pouze nezáporných hodnot. Zároveň soustava obsahuje m parametrů n_{oj} .

3. Řešení optimalizační soustavy rovnic je založeno na principu simplexové metody s parametry. Nejprve je vyhledáno jakékoli přípustné řešení. Pokud toto řešení není optimální (existují záporné koeficienty v kritériální funkci), je proveden iterační krok, který vede k lepšímu řešení. Výpočet je ukončen tehdy, když všechny koeficienty kritériální funkce jsou nezáporné.

4. Interpretace výsledků je posledním výpočtovým krokem. Výsledkem optimalizace jsou optimální časy nasazení $T_{p_{ijk}}$, časy Tz_{ij} , ze kterých lze mj. vypočítat optimální začátky sklizně jednotlivých plodin a opti-

mální počty sklízecích mlátiček n_{oj} v organizačních skupinách. Čistý čas nasazení je pak roven součinu $T_{p_{ijk}} \cdot k_m$. Následně je možné stanovit optimální sezónní výkonnost a z té je odvozena roční výkonnost takto:

a) Optimální sezónní výkonnost sklízecích mlátiček v organizačních skupině je dána vztahem (15) a roční výkonnost vztahem (16)

$$sW_j = \sum_{i=1}^x \sum_{k=1}^o T_{p_{ijk}} \cdot dW_{ljk} \cdot k_m \quad (15)$$

$$rW_j = sW_j + W_{cizíj} \quad (16)$$

b) Doba sklizně plodin v členění: celková doba sklizně T_k a doba nasazení sklízecích mlátiček při sklizni k -té plodiny T_{pk} . Celkovou dobu sklizně lze spočítat pomocí vztahu (17) (začátek Z_k a konec K_k sklizně k -té plodiny jsou výsledky optimalizace) a doby nasazení sklízecích mlátiček při sklizni k -té plodiny jsou součástí rozvrhu a celkovou dobu nasazení všech organizačních skupin při sklizni k -té plodiny lze spočítat pomocí vztahu (18)

$$T_k = K_k - Z_k \quad (17)$$

$$T_{pk} = \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^m T_{p_{ijk}} \quad (18)$$

c) Celkový finanční výnos z provozu j -té organizační skupiny sklízecích mlátiček udává vztah (19)

$$Z_{cj} = \sum_i (Z_{ij} + F_{ij} - N_{ij}^3) \quad (19)$$

VÝSLEDKY

A. ARCHITEKTURA PROGRAMOVÉHO MODULU OPTIMALIZACE NASAZENÍ STROJŮ

Model pro optimalizaci počtu a využití sklízecích mlátiček s ohledem na faktor včasnosti byl implementován do programového modulu, který se skládá ze dvou bloků:

- I. blok zadávání vstupních informací,
- II. blok výpočtů.

První blok je tvořen třemi formuláři:

1. Vstupní informace o úseku pracovního procesu (např. sklizeň zrnin), tj. popis, součinitel meteorologických vlivů a maximální rozdíl v úbytku tržní produkce v jednotlivých časových intervalech (krocích simulace).

2. Vstupní informace týkající se požadavků na realizaci prací – sklizně zrnin (tab. IV a V), tj. název, suboptimální začátek sklizně, nejpozdější možný konec, parametry celkových ztrát A_k , B_k , C_k v závislosti na čase, výkupní cena hlavního produktu (maximální, dále je možné zadat až tři stupně úbytku), počet dní platnosti výkupních cen, cena práce služeb při sklizni plodiny, korekční součinitel denní výkonnosti.

3. Vstupní informace týkající se disponibilních strojů – organizačních skupin sklízecích mlátiček (tab. II a obr. 4), tj. název skupiny, typ organizační skupiny (1 až 3), typ sklízecích mlátiček ve skupině, disponibilní počet současný a maximální počet strojů, které je možné zakoupit, denní výkonnost, roční fixní náklady a jednotkově variabilní náklady na jeden stroj v organizační skupině, začátky a konce nasazení organizační skupiny s uvedením charakteru nasazení (doma, pro cizí). V případě služeb pro cizí (organizační skupina typu 3) je nutné uvést rozsah nasazení a celkovou fakturaci za provedenou práci. Jedná-li se o organizační skupinu typu 2 (zajištění prací formou služeb od cizích), pak je nutné zadat informaci, zda je očekávána optimalizace počtu nasazených strojů od podniku služeb, či nikoliv. Dále je u všech vlastních strojů nutné zadat, zda je možné počítat s vyřazením stroje, který nebyl vybrán s ohledem na zadané kritérium maximálního finančního výnosu.

Druhý blok je tvořen jedním formulářem (tab. VI–VIII), který umožňuje realizaci výpočtu. Výsledkem výpočtu jsou následující ukazatele: optimální počet sklízecích mlátiček v jednotlivých organizačních skupinách, optimální sezónní a roční výkonnost, optimální začátky a konce nasazení organizačních skupin a rozsah vykonané práce při sklizni každé plodiny, celkový finanční výnos (prodej výsledného produktu–náklady) Z_{cj} vypočítaný podle vztahu (19). Dalším výstupem je graf úbytku tržní produkce v závislosti na době sklizně (obr. 4), začátek a konec sklizně každé plodiny a úbytek tržní produkce při sklizni každé plodiny.

Celý systém je programován tak, aby bylo možné zadávat a následně počítat a tisknout více variant výpočtu. Z pohledu vývojového prostředí je použito všech prostředků databázového systému ACCESS v kombinaci s jazykem PASCAL. Komunikace s uživatelem a běžné výpočty jsou realizovány prostředky ACCESSu a pro optimalizaci nasazení strojů modifikovanou simplexovou metodou je vytvořena jazykem PASCAL knihovna DLL (Dynamic Link Library). Součástí programu je kontextová nápověda, ze které vyplývá postup při práci s programem.

B. VÝSLEDKY EXPERIMENTOVÁNÍ S MODELEM A POČÍTAČOVÝM PROGRAMEM

Na základě provozního sledování sklízecích mlátiček byly získány vstupní údaje pro optimalizaci počtu a využití sklízecích mlátiček v ŠZP Lány a v ZD Střelecké Hoštice (firma ZOPI, s. r. o., poskytla tomuto podniku kompletní službu sklizně zrnin na předem sjednaný ucelený rozsah práce). Vstupní údaje jsou uvedeny v tab. II až V a obr. 4 (čas, ve kterém jsou podniku k dispozici organizační skupiny SM) a výsledky výpočtu pro šest variant výpočtu jsou uvedeny v tab. VI, VII (výsledky optimalizace sklizně plodin) a tab. VIII (výsledky optimalizace počtu a využití SM).

Varianty typu A byly počítány pro méně příznivé klimatické podmínky roku 1996 ($k_m = 0,70$ a denní

výkonnosti uvedené v tab. II), varianty typu B platí pro příznivější klimatické podmínky ($k_m = 0,83$ a denní výkonnosti uvedené v tab. I).

Varianty 1A a 1B popisují sklizeň zrnin tak, jak byla realizována v roce 1996. V těchto variantách je optimalizováno pouze sezónní využití SM.

Varianty 2A, 2B a 3A, 3B mají uvolněnou možnost zvyšování nebo snižování počtu SM v jednotlivých organizačních skupinách, a tudíž umožňují optimalizovat počet a využití sledovaných typů SM. Varianty 2A a 2B mají povoleno pouze zvyšování kapacity SM a varianty 3A a 3B mají povoleno zvyšování a snižování počtu všech typů SM včetně kapacity SM služeb od cizích. Volnost ve zvyšování počtu strojů odpovídá reálným finančním (v případě zvyšování vlastních strojů) a organizačním (v případě pronájmu služeb) podmínkám.

DISKUSE

Porovnáme-li varianty typu A a B, pak je patrné zvýšení finančního výnosu při sklizni v ŠZP Lány, což je způsobeno především včasností sklizně v příznivých klimatických podmínkách.

Možnost použití sklízecích mlátiček od služeb zlepšuje hospodářský výsledek sklizně ve špatných klimatických podmínkách.

Největší přírůstek celkového finančního výnosu podle vztahu (19) vykazují všechny varianty, u kterých je uvolněna možnost změny struktury (nákup nových a vyřazení méně vhodných) sklízecích mlátiček.

Z hlediska úbytku tržní produkce sklizených plodin jsou patrné nepříznivé změny zejména v ŠZP Lány, tj. v podniku s větším objemem sklizňových prací a s relativně menší zálohou výkonnosti sklizňové techniky. Z tohoto pohledu se ukazuje jako výhodné (viz ZD Střelecké Hoštice) mít dopředu s podnikem služeb sjednaný ucelený úkol, který podnik služeb musí podle požadavků podniku zajistit.

Největší úbytek tržní produkce vykazovaly plodiny náchylné k biologickým a sklizňovým ztrátám (hrách a peluška). S ohledem na kritérium maximálního finančního výnosu jsou ztráty při sklizni ozimé řepky relativně nízké (předpokládané – obr. 4), což je způsobeno upřednostněním sklizně této plodiny s ohledem na konkurenční plodiny s nižší výkupní cenou hlavního produktu. Proto při nedostatku sklizňové techniky jsou relativně vysoké ztráty při sklizni ozimé pšenice, která se v ŠZP Lány pěstuje na největší výměře. Výrazný pokles úbytku tržní produkce nastal při uvolnění optimalizačních omezení.

Vypočtené optimální sezónní výkonnosti sklízecích mlátiček je nutné při závěrečném bilancování a organizační přípravě žní konfrontovat s minimálními ročními výkonnostmi (tab. I). Minimální roční výkonnost je taková výkonnost (Špeliňka aj., 1973), při které souprava dosáhne nákladů stejných, jako je cena práce na trhu. Snahou podnikatele se strojovou technikou by

VI. Výsledky optimalizace sklizně zrnin v ŠZP Lány – Results of optimization of harvest of grain crops at School agricultural enterprise Lány

Varianta ¹		Číslo plodiny (podle tab. V) ²										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1A	Z	18. 8.	20. 7.	24. 9.	21. 8.	12. 9.	16. 9.	6. 8.	31. 8.	12. 9.	27. 9.	2. 10.
	K	16. 9.	6. 8.	25. 9.	21. 8.	19. 9.	24. 9.	14. 8.	6. 9.	15. 9.	28. 9.	3. 10.
	Ú TP	13,9	1,1	3,0	0,7	7,7	5,5	20,2	23,0	30,3	0,0	8,7
2A	Z	18. 8.	20. 7.	19. 9.	22. 8.	12. 9.	16. 9.	6. 8.	31. 8.	6. 9.	27. 9.	2. 10.
	K	16. 9.	6. 8.	20. 9.	31. 8.	16. 9.	19. 9.	12. 8.	3. 9.	9. 9.	27. 9.	2. 10.
	Ú TP	10,8	1,1	2,6	0,7	7,1	4,8	20,2	22,7	26,1	0,0	8,7
3A	Z	18. 8.	20. 7.	20. 9.	22. 8.	14. 9.	16. 9.	6. 8.	31. 8.	12. 9.	27. 9.	2. 10.
	K	14. 9.	2. 8.	20. 9.	31. 8.	18. 9.	21. 9.	12. 8.	3. 9.	15. 9.	27. 9.	2. 10.
	Ú TP	11,9	1,1	2,6	0,7	7,8	5,0	20,1	22,7	30,3	0,0	8,7
1B	Z	18. 8.	20. 7.	16. 9.	25. 8.	6. 9.	6. 9.	6. 8.	31. 8.	5. 9.	27. 9.	2. 10.
	K	5. 9.	6. 8.	17. 9.	31. 8.	10. 9.	12. 9.	12. 8.	3. 9.	9. 9.	27. 9.	2. 10.
	Ú TP	5,0	1,1	2,6	0,6	5,0	3,1	20,0	22,7	25,3	0,0	8,7
2B	Z	18. 8.	20. 7.	16. 9.	25. 8.	1. 9.	3. 9.	6. 8.	31. 8.	1. 9.	27. 9.	2. 10.
	K	26. 8.	6. 8.	16. 9.	31. 8.	5. 9.	5. 9.	12. 8.	3. 9.	1. 9.	27. 9.	2. 10.
	Ú TP	2,6	1,1	2,6	0,6	3,9	2,7	20,1	22,6	22,9	0,0	8,7
3B	Z	18. 8.	20. 7.	16. 9.	25. 8.	1. 9.	3. 9.	6. 8.	21. 8.	1. 9.	27. 6.	2. 10.
	K	1. 9.	29. 7.	16. 9.	31. 8.	5. 9.	5. 9.	11. 8.	3. 9.	2. 9.	27. 9.	2. 10.
	Ú TP	2,9	1,1	2,6	0,6	4,0	2,7	20,0	22,6	22,9	0,0	8,7

Z – začátek sklizně – start of harvest; K – konec sklizně – end of harvest; Ú TP – úbytek tržní produkce v procentech vzhledem k produkci maximálně možné – fall in market production in percentage with respect to maximum possible production

¹ variant, ² crop No. (according to Tab. V)

VII. Výsledky optimalizace sklizně zrnin v ZOFI Kadov pro ZD Střelecké Hoštice – Results of optimization of harvest of grain crops at ZOFI Kadov for Co-operative Farm Střelecké Hoštice

Varianta ¹		Číslo plodiny (podle tab. V) ²					
		1	2	3	4	6	7
1A	Z	4. 8.	10. 7.	27. 8.	17. 8.	29. 8.	19. 7.
	K	17. 8.	19. 7.	29. 8.	25. 8.	2. 9.	1. 8.
	Û TP	2,8	1,4	2,6	0,7	2,6	20,4
2A	Z	4. 8.	10. 7.	27. 8.	17. 8.	29. 8.	19. 7.
	K	17. 8.	19. 7.	29. 8.	25. 8.	2. 9.	1. 8.
	Û TP	2,8	1,4	2,6	0,7	2,6	20,4
3A	Z	4. 8.	10. 7.	1. 9.	16. 8.	2. 9.	19. 7.
	K	1. 9.	15. 7.	8. 9.	25. 8.	7. 9.	3. 8.
	Û TP	10,4	1,4	3,2	0,8	2,7	21,1
1B	Z	4. 8.	19. 7.	27. 8.	21. 8.	29. 8.	19. 7.
	K	11. 8.	25. 7.	29. 8.	25. 8.	2. 9.	25. 7.
	Û TP	2,6	0,8	2,6	0,6	2,6	20,0
2B	Z	4. 8.	19. 7.	27. 8.	21. 8.	29. 8.	19. 7.
	K	11. 8.	25. 7.	29. 8.	25. 8.	2. 9.	25. 7.
	Û TP	2,6	0,8	2,6	0,6	2,6	20,0
3B	Z	4. 8.	10. 7.	27. 8.	17. 8.	30. 8.	19. 7.
	K	17. 8.	16. 7.	30. 8.	25. 8.	4. 9.	30. 7.
	Û TP	2,8	1,4	2,6	0,7	2,6	20,5

Z – začátek sklizně – start of harvest; K – konec sklizně – end of harvest; Ú TP – úbytek tržní produkce v procentech vzhledem k produkci maximálně možné – fall in market production in percentage with respect to maximum possible production

¹ variant, ² crop No. (according to Tab. V)

VIII. Výsledky optimalizace počtu a využití sklizečích mlátiček – Results of optimization of the number and utilization of combines

Varianta		SZP Lány						ZOPI, s. r. o., Kadov v ZD Střelecké Hoštice				
		E-514 3118	E-524 3119	E-524 3120	Claas 3121	služby od cizích	celkový zisk (%) k var. č. 1A	L 2511 1	L 6241 2	L 6241 3	L 6261 4	celkový zisk (%) k var. č. 1A
1A	no	1	1	1	1	4		1	1	1	1	100,00
	sWo	181	122	249	438	190	100,00	85	177	348	395	
	rW	181	122	249	680	–		–	–	–	–	
2A	no	1	1	1	2	4	101,59	1	1	1	1	100,00
	sWo	170	98	221	367	132		85	177	348	395	
	rW	170	98	221	609	–	–	–	–	–	–	
3A	no	3	0	0	2	4		0	0	2	0	105,68
	sWo	162	–	–	369	132	101,93	–	–	503	–	
	rW	162	–	–	610	–		–	–	–	–	
1B	no	1	1	1	1	3		1	1	1	1	100,44
	sWo	305	108	156	347	216	106,70	77	258	290	380	
	rW	305	108	156	865	–		–	–	–	–	
2B	no	1	1	1	2	3		1	1	1	1	100,44
	sWo	264	108	156	347	176	107,28	77	258	290	380	
	rW	264	108	156	747	–		–	–	–	–	
3B	no	2	0	0	2	3		1	0	1	0	110,82
	sWo	214	–	–	337	216	108,53	245	–	760	–	
	rW	214	–	–	737	–		–	–	–	–	

no – optimální počet sklizečích mlátiček (platí pro variantu 3A a 3B; v ostatních variantách je optimalizována pouze sezónní výkonnost nebo kapacita služeb) – optimal number of combines (valid for variant 3A and 3B; in the other variants only seasonal performance or capacity of services is optimized)

sWo – optimální sezónní výkonnost (ha.sez⁻¹) – optimal seasonal performance

rW – roční výkonnost (=sWo + roční výkonnost při práci pro cizí) (ha.rok⁻¹) – annual performance (=sWo + annual performance during work for those outside the farm)

mělo být dosažení této výkonnosti u většiny souprav, neboť v opačném případě je výhodnější zajistit práce formou služeb. Při sklizni zrnin bylo dokázáno, že optimální sezónní výkonnost je zpravidla menší, než je minimální roční výkonnost sklízecí mlátičky. Výsledkem porovnání by měla být doporučení, jak zajistit práce formou služeb pro cizí, a to přibližně v rozsahu rovnacímu se rozdílu mezi minimální roční a optimální sezónní výkonností. To platí zejména pro ty sklízecí mlátičky, jejichž náklady na provoz vykazují projektovanou úroveň a rozdíl mezi minimální roční a optimální sezónní výkonností je veliký.

Porovnáme-li provoz sklízecích mlátiček v obou sledovaných podnicích, pak lze konstatovat, že podnik služeb byl schopen zajistit lepší využití a hospodárnější provoz sklízecích mlátiček. Částečně to však bylo způsobeno skutečností, že podnik služeb provozoval sklízecí mlátičky nově.

Na závěr lze konstatovat, že je žádoucí pokračovat ve výzkumu vlivu faktoru včasnosti na ztráty a změnu kvality zrnin. Opakování polních pokusů v několikaleťových cyklech zvýší zejména významnost regresních funkcí popisujících kvantitativní ztráty a změnu kvality výsledného produktu v závislosti na okamžiku sklizně.

Seznam použitých symbolů:

i	– index časového intervalu (kroku simulace)
j	– index organizační skupiny sklízecích mlátiček
k	– index sklizených plodin
x	– počet generovaných časových intervalů
m	– zadáný počet organizačních skupin sklízecích mlátiček
σ	– zadáný počet plodin
A_k, B_k, C_k	– parametry mocninné funkce procentuálního nárůstu celkových ztrát
C_{pk}	– cena práce při sklizni k -té plodiny (Kč.ha ⁻¹)
C_{vik}	– výkupní cena produktu k -té plodiny v i -tém časovém intervalu (Kč.t ⁻¹)
$C_v(t)_k$	– výkupní cena produktu k -té plodiny ve funkci času (Kč.t ⁻¹)
F_{ij}	– fakturace za práci j -té organizační skupiny v i -tém časovém intervalu (Kč)
h_k	– maximální výnos k -té plodiny (t.ha ⁻¹)
$\Delta h(t)_k$	– procentuální nárůst celkových ztrát k -té plodiny v závislosti na čase (%)
k_m	– součinitel meteorologických vlivů (1)
K_{wk}	– korekční součinitel denní výkonnosti při sklizni k -té plodiny (1)
n_{oj}	– optimální počet sklízecích mlátiček v j -té organizační skupině typu 1 a 2 (1)
n_{oj}, n_{nj}, n_{sj}	– počty sklízecích mlátiček v organizačních skupinách různého typu (v – vlastní, n – nově nakupované, s – podniku služeb) (1)
N_{jk}^{-3}	– náklady na provoz j -té organizační skupiny typu 1 až 3 při sklizni k -té plodiny v i -tém časovém intervalu (Kč)
N_{ij}^{-3}	– náklady na provoz j -té organizační skupiny typu 1 až 3 v i -tém časovém intervalu (Kč)
jNV_j	– jednotkové náklady variabilní na provoz j -té organizační skupiny (Kč.ha ⁻¹)
jN_{prosl_j}	– náklady na den prostroje sklízecí mlátičky v j -té organizační skupině (Kč.den ⁻¹)
rNf_{lj}	– roční náklady fixní na provoz jedné sklízecí mlátičky v j -té organizační skupině (Kč.rok ⁻¹)

T_{pij}	– optimální čas nasazení j -té organizační skupiny při sklizni k -té plodiny v i -tém časovém intervalu včetně vlivu faktoru meteorologických vlivů (den)
T_{zj}	– čas nepracovní j -té organizační skupiny v i -tém časovém intervalu (den)
T_{tzk}	– lhůta totálních ztrát k -té plodiny (den)
T_{pvj}, T_{pnj}	– optimální čas nasazení j -té organizační skupiny vlastních (v) a nově nakupovaných (n) sklízecích mlátiček
T_{avj}, T_{anj}	– čas nepracovní j -té organizační skupiny vlastních (v) a nově nakupovaných (n) sklízecích mlátiček (den)
T_{pk}	– čas nasazení sklízecích mlátiček při sklizni k -té plodiny (den)
T_k	– doba sklizně k -té plodiny (den)
T_c	– celková doba sklizně všech plodin (den)
T_{cvk}	– počet dní před zadaným začátkem sklizně k -té plodiny, kdy již platí maximální výkupní cena (den)
U_k	– výměra k -té plodiny (ha)
U_{zk}	– zbylá výměra k -té plodiny po skončení i -tého časového intervalu (ha)
$\Delta Vp(t)_k$	– procentuální úbytek tržní produkce k -té plodiny v závislosti na čase (%)
$W_{cizf_{lj}}$	– výkonnost vlastní sklízecí mlátičky j -té organizační skupiny ve službách pro cizí v i -tém časovém intervalu (ha)
dW_{jk}	– denní výkonnost j -té organizační skupiny při sklizni k -té plodiny (ha.den ⁻¹)
dW_{lj}	– denní výkonnost jedné sklízecí mlátičky v j -té organizační skupině (ha.den ⁻¹)
dW_{ljk}	– denní výkonnost jedné sklízecí mlátičky v j -té organizační skupině při sklizni k -té plodiny (ha.den ⁻¹)
sW_{lj}	– optimální sezónní výkonnost jedné sklízecí mlátičky v j -té organizační skupině (ha.sez ⁻¹)
rW_{lj}	– optimální roční výkonnost jedné sklízecí mlátičky v j -té organizační skupině (ha.sez ⁻¹)
ZO_k	– optimální termín začátku sklizně k -té plodiny (den od začátku roku)
Zo_k	– zadaný (suboptimální) začátek sklizně k -té plodiny (den od začátku roku)
Z_c	– celkový finanční výnos vzniklý prací m organizačních skupin sklízecích mlátiček (Kč)
Z_j	– dílčí finanční výnos vzniklý prací j -té organizační skupiny sklízecích mlátiček při sklizni v podniku (Kč)
Z_{c_j}	– celkový finanční výnos z provozu j -té organizační skupiny sklízecích mlátiček (Kč)
Z_{ij}	– dílčí finanční výnos při sklizni j -tou organizační skupinou v i -tém časovém intervalu (Kč)
$Z(ZO)_k$	– maximální teoretický tržní výnos v závislosti na začátku sklizně (Kč)
Z_k, K_i	– termín začátku (Z) a konce (K) i -tého časového intervalu (den od začátku roku)
Z_k, K_k	– termín začátku (Z) a konce (K) sklizně k -té plodiny (den od začátku roku)

LITERATURA

- ALEXEJEV, V. M. – TICHOMIROV, V. M. – FOMIN, S. V.: Matematická teorie optimálních procesů. Praha, Academia 1991.
- AUSTIN, V.: Rural project management. London, Batsford Academic and Education Ltd. 1984.
- HUNT, R.: Farm field equipment what size. Implement and Traktor, 1978 (4): 16–19.
- KAVKA, M.: Program system TechConsult for computer aided machinery management. In: Collection of Papers of the VII. International Conference Agricultural Engineering and

its Role in Agricultural Production. University of Szczecin, Szczecin 1995.

KAVKA, M. – KOLEK, L.: Vliv termínu sklizně na sklizeňnou produkci u vybraných odrůd obilovin a řepky ve vazbě na využití sklízecích mlátiček. In: Sborník referátů z mezinárodní konference Aktuální problémy zemědělského výzkumu v oblasti zemědělské techniky. Jihočeská univerzita. České Budějovice 1996: 100–109.

KOCHAN, J.: Stanovení ekonomicky zdůvodněné potřeby sklízecích mlátiček v podniku. Zeměd. Techn., 42, 1996 (2): 53–63.

KOLEK, L. – VAŠÁK, J. – FAMĚRA, O. – KAVKA, M.: Vliv termínu sklizně na ztráty a kvalitu produkce řepky, pšenice a ječmene. Rostl. Výr., 43, 1997 (6): 275–282.

KORDA, B. aj.: Matematické modely v ekonomii. Praha, SNTL 1967.

MAŇAS, M.: Teorie her a její aplikace. SNTL, Praha 1991.

MAŠKOVÁ, H. aj.: Optimalizace využití sklízňových strojů. Zeměd. Techn., 22, 1976 (9): 533–543.

OUBRECHT, J.: Výběr hlavních exploatačních parametrů sklízecích mlátiček. Zeměd. Techn., 37, 1991 (8): 471–476.

ŠPELINA, M. aj.: Strojní linky v zemědělství a jejich ekonomika. Praha, SZN 1973.

TURČEK, J.: Vplyv času na kvalitu produktu. [Výskumná správa.] Nitra, VŠP 1980.

VOŇKA, Z.: Zjištění vlivu sklizně a posklizňového ošetření na technologickou hodnotu zrna. [Výzkumná zpráva.] Praha, VÚZT 1980.

WITNEY, J.: Choosing and using farm machines. New York, Essex 1988.

Došlo 26. 11. 1996

Kontaktní adresa:

Prof. Ing. Miroslav K a v k a, DrSc., Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: 02/338

Upozornění pro autory vědeckých časopisů

Z důvodu rychlejšího a kvalitnějšího zpracování grafických příloh (grafů, schémat apod.) příspěvků zasílaných do redakce Vás žádáme o jejich dodání kromě tištěné formy i na disketách.

Týká se to samozřejmě těch grafických příloh, které byly vytvořeny v nějakém programu PC (např. CorelCHART, Quatro Pro, Lotus 1-2-3, MS Excel). Vzhledem k tomu, že nejsme schopni upravit a použít pro tisk všechny typy (formáty) grafických souborů, žádáme Vás, abyste nám také kromě originálních souborů (např. z MS Excel typ *.XLS) zasílali grafické předlohy vyexportované jako bodovou grafiku v jednom z těchto formátů:

Bitmap	*.BMP
Encapsulated Postscript	*.EPS
Graphic Interchange Format	*.GIF
Mac paint	*.MAC
MS Paint	*.MSP
Adobe Photoshop	*.PSD
Scitex	*.SCT
Targa	*.TGA
Tag Image File Format	*.TIF (tento formát je nejkvalitnější)

Redakce časopisu

PARTICLES FLIGHT MODELLING AND OPTIMISATION FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES IN MECHANISED AGRICULTURE: MAXIMUM RANGE OF FLIGHT

MODELOVÁNÍ LETU ČÁSTIC A OPTIMALIZACE TECHNOLOGICKÝCH PRVKŮ PŘI MECHANIZACI ZEMĚDĚLSTVÍ: NEJDELŠÍ DRÁHA DOLETU

V. G. Vitliemov, I. V. Ivanov, R. R. Tanov

University of Rousse, Bulgaria

ABSTRACT: This article presents a method for determining the maximum range of the free flight of a particle in a stationary air flow with turbulent resistance. The main idea consists in defining the optimal projection angle as a solution to an one-parametric optimal control problem of the dynamical system that describes the particle's path process. With the help of an existing effective method based on the necessary extremum conditions for optimal dynamic parametric control the defined optimizational problem is transformed into an equivalent two-point boundary value problem. The possible solution problems are analysed, and an algorithm for solving the problem through the shooting method is briefly described. Examples are given which illustrate the capabilities of the proposed procedure for acquiring results with predefined precision at modelling the maximum range of flight of some agricultural particles.

particle's flight; turbulent resistance; stationary air flow; maximum range; optimal dynamic parametric control; boundary value problem; shooting method

ABSTRAKT: V článku je uvedena metoda určení nejdelší dráhy doletu částice ve stacionárním proudu vzduchu s turbulentním odporem. Hlavní myšlenka spočívá ve stanovení úhlu optimální projekce jako řešení problému jednoparametrické kontroly dynamického systému, který určuje dráhu částice. Za pomoci efektivní metody založené na nezbytných extrémních podmínkách pro optimální dynamickou parametrickou kontrolu je uvedený optimalizační problém převeden na rovnocenný problém dvoubodových mezních hodnot. Jsou analyzována možná řešení této otázky a stručně je popsán algoritmus pro řešení problému vznikajícího při stanovení mezní hodnoty zaměřování. Příklady dokládají možnosti navrhovaného postupu pro získání předepsané přesnosti výsledků při modelování nejdelší dráhy doletu při rozmetání hnoje a při dopravě osiv ve vertikálním proudu vzduchu.

dolet částic; turbulentní odpor; stacionární proud vzduchu; nejdelší dolet; optimální dynamická parametrická kontrola; metoda zaměřování

INTRODUCTION

The answer to the question "What projection angle α^* would provide a maximum flight range R^* of a particle in a medium of turbulent resistance" is usually sought through carrying out numeric simulation for the flight range R at varying with decreasing step α (Hart, Croft, 1988) and plotting the results or putting them in a table. This could lead to the incorrect notion that the solution (α^*, R^*) of the corresponding extremal problem could always be substituted with the approximation $(\alpha^* \in [\alpha_1, \alpha_2], R^* \geq R)$. The attempts to acquire through this approach comparable results with prescribed precision show that the same computational difficulties, which arise at solving the corresponding ex-

tremal problem, have to be overcome. This justifies the elaboration of a computational routine for simulation of the maximum flight range path process of a particle, based on the necessary conditions for optimum.

In this article the above stated problem is formulated as a problem of one-parametric optimal control in a non-fixed time interval of the dynamical system which simulates the particle path in a stationary air flow. For its solution the stated in Vincent, Grantham (1981) necessary conditions for optimal parametric control and the described in Vitliemov (1994) computational procedure VINCENT 1.1 have been used.

The proposed approach for defining the maximum flight range is illustrated with two typical examples.

EXTREMAL PROBLEM

Let us consider the flight of a particle in an air flow which moves with a constant velocity $\vec{W}$, described by a simulation model in Vitliemov et al. (1996) for the case when the Magnus effect is negligible or has been indirectly considered through the generalised aerodynamic resistance coefficient, that could be defined through the method of approach described in Vitliemov et al. (1997).

To evaluate the quality of the path process we use the flight range $R \equiv X(T_1)$ which coincides with the value of the functional

$$R = \int_0^{T_1} V \cos \theta \, dT \quad (1)$$

Let us introduce the dimensionless quantities:

$$u \equiv \alpha, \quad \varphi = \theta - u, \quad \psi_0 = \varphi + u, \quad \psi_1 = \psi_0 - \beta, \quad \psi_2 = \psi_0 + \gamma, \quad (2)$$

$$x = \frac{Xq}{V_0^2}, \quad y = \frac{Yq}{V_0^2}, \quad h = \frac{Hq}{V_0^2}, \quad l = \frac{Rq}{V_0^2}, \quad k = \frac{K_D V_0^2}{q}, \quad t = \frac{Tq}{V_0}, \quad t^* = \frac{T_1 q}{V_0}, \quad v = \frac{V}{V_0}, \quad v_r = \frac{V_r}{V_0}, \quad w = \frac{W}{V_0}$$

With the help of the relations (1) and (2) the problem for defining the maximum flight range can be transformed into the following dimensionless form

$$u^* = \arg \min_u \left\{ l = - \int_0^{t^*} v \cos \psi_0 \, dt, \dot{v} = -k v (v - w \cos \psi_1) - \sin \psi_2, v(0) = 1, \dot{\varphi} = \frac{-1}{v} \cdot (k v_r w \sin \psi_1 + \cos \psi_2), \right. \quad (3)$$

$$\varphi(0) = 0, \dot{y} = v \sin \psi_0, y(0) = h, y(t^*) \leq 0, -y(t^*) \leq 0, \dot{x} = v \cos \psi_0, x(0) = 0 \}$$

$$\text{where: } v_r = \sqrt{v^2 - 2wv \cos \psi_1 + w^2} \\ |u| < \pi/2 \\ (\cdot) \equiv d/dt$$

At ideal conditions of particle's flight ($k = 0, w = 0$) the stated extremal problem has an analytical solution derived by Bajc (1990):

$$\operatorname{tg}(u^* + \gamma) = \frac{\sin \gamma + \sqrt{1 + 2h \cos \gamma}}{2h + \cos \gamma}, \quad t^* = \frac{\cos \gamma}{\operatorname{tg}(u^* + \gamma)} + \frac{1}{2} \sin \gamma \left[1 - \frac{1}{\operatorname{tg}^2(u^* + \gamma)} \right] \quad (4)$$

This result generalises the classical solution in a dimensionless form ($\operatorname{tg} u^* = 1, t^* = 1$) which corresponds to the special case $h = 0, \gamma = 0$.

TWO-POINT BOUNDARY VALUE PROBLEM

The necessary conditions for optimization problems of type (3) could be composed in two completely different ways. The traditional approach utilised in the optimal control theory (Leitmann, 1981) reduces formally the optimisation problems for dynamical systems with unknown constant parameters to the more general case of optimal dynamical control. This generalised problem is transformed into a two-point boundary value problem with the help of the necessary conditions evolving from Pontryagin's maximum principle (Pontryagin, 1989). Its approximate solution is usually a complicated problem.

The other method proposed by T. L. Vincent (Vincent, Grantham, 1981) is more efficient, because it takes into consideration the specific characteristics of the extremal problems with constant control parameters, and it induces a structurally simpler boundary value problem with less unknown parameters (Vincent, Lee, 1983).

Applying the necessary conditions for optimum of Theorem 6.2 from Vincent, Grantham (1981) to problem (3) leads to a two-point boundary value problem of the type

$$\dot{v} = -k v f_3 - \sin \psi_2^*, \quad v(0) = 1, \quad \dot{\varphi} = \frac{-1}{v} (k v f_1 + \cos \psi_2^*), \quad \varphi(0) = 0, \quad (5)$$

$$\dot{y} = v \sin \psi_0^*, \quad y(0) = h, \quad y(t^*) = 0, \quad \dot{x} = v \cos \psi_0^*, \quad x(0) = 0,$$

$$\dot{\Lambda}_1 = -k \left[\frac{v_r^2}{v_r} + v_r \right] \Lambda_1 - (1 + \Lambda_2) \left[k f_1 \left(\frac{v_r f_3}{v_r} + v_r \right) + \cos \psi_2^* \right], \quad \Lambda_1(0, u^*) = 0,$$

$$\dot{\Lambda}_2 = \frac{1}{v} \left\{ \left[\frac{k v_r f_1 + \cos \psi_2^*}{v} - \frac{k f_1 v_r f_3}{v_r} \right] \Lambda_1 - (1 + \Lambda_2) \left[k \left(\frac{v_r^2}{v_r} + v_r f_2 \right) - \sin \psi_2^* \right] \right\}, \quad \Lambda_2(0, u^*) = 0,$$

$$\dot{\Lambda}_3 = \Lambda_1 \sin \psi_0^* + (1 + \Lambda_2) v \cos \psi_0^*, \quad \Lambda_3(0, u^*) = 0,$$

$$\dot{\Lambda}_4 = \Lambda_1 \cos \psi_0^* - (1 + \Lambda_2) v \sin \psi_0^*, \quad \Lambda_4(0, u^*) = 0,$$

$$\Gamma(t^*, u^*) = \Lambda_3(t^*, u^*) - \Lambda_4(t^*, u^*) \tan \psi_0^* = 0$$

where: $f_1 = w \sin \psi_1^*$, $f_2 = w \cos \psi_1^*$, $f_3 = v - f_2$

$$\psi_0^* = \varphi + u^*, \quad \psi_1^* = \psi_0^* - \beta, \quad \psi_2^* = \psi_0^* + \gamma$$

$$\Lambda_1 = \frac{\partial v(t, u^*)}{\partial u}, \quad \Lambda_2 = \frac{\partial \varphi(t, u^*)}{\partial u}, \quad \Lambda_3 = \frac{\partial y(t, u^*)}{\partial u}, \quad \Lambda_4 = \frac{\partial x(t, u^*)}{\partial u}$$

The first four differential equations of the system (5) describe the phase state change of the particle, while the rest of the equations model its phase co-ordinates sensitivity to the control parameter u value perturbation.

The numerical solution of problem (5) could be organised as an iteration process for determining such values t^* and u^* for which the solution of the contained in (5) initial value problem satisfies the terminal restrictions $y(t^*) = 0$, $\Gamma(t^*, u^*) = 0$. Determining the roots t^* and u^* is not an easy task because of the discrete nature of the functions $y(t)$, $\Gamma(t, u)$ and of the limited precision with which their values and signs are generated when $t \rightarrow t^*$ and $u \rightarrow u^*$.

Fig. 1 is a good illustration of the particle phase state time-domain sensitivity functions with respect to the parameter u^* for a given solution of problem (5) for the below examined Example 1. According to this figure the coordinates $y(t)$ and $x(t)$ of the particle mass centre are most sensitive to perturbances of the sought optimal value u^* in the final moment $t = t^*$. This peculiarity requires utilisation of a sufficiently precise numerical integration scheme providing comparative results for $l \equiv x(t^*, u)$ for each value of $u \in I_u = [u_a, u_b]$.

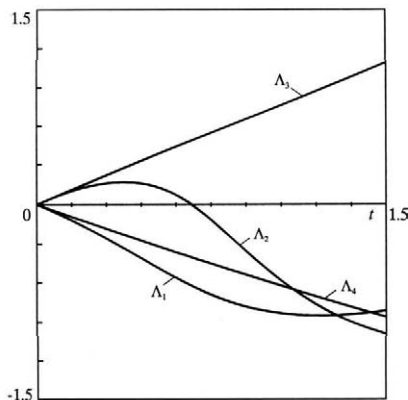
COMPUTATIONAL PROCEDURE

The difficulties accompanying the solution to problem (5) could be overcome by combining the advantages of certain ideas that improve the standard „shooting method“ procedure (Stoer, Bulirsch, 1993).

In Vitliemov (1994) there is a software programme VINCENT 1.1 for approximate solving of two-point boundary value problems with an unknown parameter at a non-fixed interval of independent argument variation. It realises the following algorithmic scheme.

An initial value and a step for the variation of the parameter u are set. An interval I_u is sought in which the function $\Gamma(t^*, u)$ changes its sign. The values of Γ are defined after integrating the contained in (5) initial value problem, in the interval $I_t = [0, t^*]$. For this purpose a slightly changed version of DOPRI8 from Hairer et al. (1987) is used, which provides a local integration precision $EPS = 10^{-7} + 10^{-16}$.

The value of t^* is defined through bilateral integration with decreasing step until this is no longer possible or the condition $|y(t^*)| < EPSG$ is satisfied.



1. Time-domain behaviour of the sensitivity functions $\Lambda_i(t, u^*)$, $i \in [1; 4]$, $t \in [0, t^*]$ for the case ($\rho_p = 700 \text{ kg/m}^3$, $L_p = 50 \text{ mm}$) of Example 1

The localisation of the root u^* of the equation $\Gamma(t^*, u) = 0$, $u \in I_u$ is done by the dichotomic method combined with interpolation of the function Γ by a fractional linear function with just one real root u_0 .

These steps are repeated until one of the following inequalities is satisfied $(u_b - u_a) < EPSU$, $|\Gamma| < EPSF$, where $EPSU$ is the length of the smallest admissible interval I_u , and $EPSF$ – a number corresponding to the total integration error within the whole interval I_t . Then it is assumed that $u^* \equiv u_0$.

All examples that follow are solved with the help of this procedure at values for the parameters $EPS = 10^{-12}$, $EPSU \equiv EPSG = 10^{-9}$.

EXAMPLES

Example 1: Manure particles spreading

In the work of Kastelovič et al. (1988) results are given from numerical simulation of the flight range in a still air medium of manure particles of parallelepipedal shape with the same cross section and different length (L_p) of 30, 50, and 100 mm. The particles are spread over a horizontal surface ($\gamma \equiv 0$) from a height $H = 0.93 \text{ m}$ with initial velocity value $V_0 = 8.16 \text{ m/s}$.

In the case considered, the coefficient of aerodynamic resistance could be evaluated by the formula

$$K_D = (1/2) C_D \rho_a / (\rho_p L_p)$$

where: $C_D = 1$
 $\rho_a = 1.25 \text{ kg/m}^3$
 L_p is measured in metres

According to the data of Redelberger and Reioe (1990), $\rho_p = 400 + 1000 \text{ kg/m}^3$.

Tab. I shows results in dimensional form, acquired as solutions to problem (5) for the given data.

I. Optimal values α^* ($^\circ$)/ R^* (m) for some types of manure particles

ρ_p (kg/m^3)	L_p (mm)		
	30	50	100
400	38.867/6.122	39.851/6.635	40.659/7.100
700	39.925/6.676	40.539/7.029	41.026/7.327
1 000	40.382/6.936	40.829/7.204	41.177/7.424

At ideal flight conditions for the particles ($K_D = 0$) the optimum solution found is: $\alpha^* = 41.539^\circ$; $R^* = 7.661$ m.

Example 2: Separation of seeds in a vertical air stream

The zone limits of particles of different dimensions and density at pneumatic separation could be predicted through simulating the paths with maximum flight length. As an example let us consider the case of separation of similar seed particles with different equivalent diameter d_e (m) at descending vertical air stream with the following data: $V_0 = 25$ m/s; $H = 0$; $\gamma = 0$; $W = 30$ m/s; $\beta = -\pi/2$ rad; $\rho_a = 1.2$ kg/m³; $\rho_p = 1400$ kg/m³; $\eta = 14.9 \cdot 10^{-6}$ m²/s; $q = g = 9.81$ m/s².

The coefficient K_D is calculated from the equation $K_D = (3/4) C_D \rho_d / (\rho_p d_e)$, where (Gorjail and O'Callaghan, 1990) for flow modes in the interval of Reynolds' numbers $Re \equiv V_r d_e / \eta = 10^3 + 2(10)^5$ it is accepted that $C_D = 0.44$.

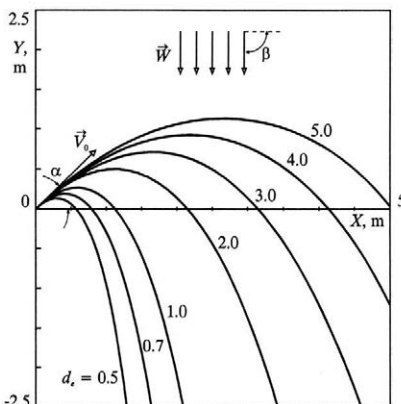
II. Parameters of the optimal paths in Example 2

d_e (mm)	α^* ($^\circ$)	R^* (m)	Re (-)
0.5	37.542	0.542	755-1 657
0.7	37.574	0.757	1 069-2 320
1.0	37.622	1.075	1 523-3 316
2.0	37.775	2.110	3 031-6 636
3.0	37.921	3.108	4 545-9 960
4.0	38.061	4.072	6 040-13 287
5.0	38.194	5.002	7 537-16 618

Tab. II gives the parameters of the optimal paths defined for particles of different equivalent diameter d_e . It can be seen that the optimum projection angle is almost constant: $\alpha^* \approx 38^\circ$. At this value of α Fig. 2 shows the determined with the animator/simulator software PHASER (K o ç a k , 1989) paths of the particles under consideration. The results thus acquired could be used at defining the „separation points“ of the different fractions.

CONCLUSION

The present work formulates the problem for defining the maximum flight range of a particle in a station-



2. Paths of seed particles of differing diameter d_e (mm), in vertical air stream ($V_0 = 25$ m/s, $\alpha = 38^\circ$, $W = 30$ m/s, $\beta = -\pi/2$)

ary air flow of turbulent resistance as problem (3) for one-parametric optimisation of the mathematical model simulating its flight. After applying the necessary conditions of T. L. Vincent to this problem a two-point boundary value problem (5) evolves, which has a simpler structure compared to the traditional approach based on the maximum principle in the optimal control theory.

The specific difficulties of the numeric solution of problem (5) are overcome with the help of an improved version of the shooting method realised in a software programme VINCENT 1.1.

The examples examined here illustrate the capabilities of the proposed approach for defining the paths of maximum range with a prescribed precision for the flight of particles in some technological processes in mechanised agriculture.

NOTATION

C_D	– drag coefficient (–)
Re	– Reynolds number (–)
α	– projection angle (rad)
β	– air flow incline angle (rad)
γ	– ground incline angle (rad)
θ	– angular co-ordinate (rad)
d_e	– equivalent diameter (m)
X, Y	– orthogonal coordinates (m)
H	– initial height (m)
R	– flight range (m)
K_D	– aerodynamic resistance coefficient (m^{-1})
T, T_1	– current and final moment of time (s)
V, V_0, V_r	– absolute, initial absolute, and relative velocities of the particle (m/s)
W	– constant velocity of air medium (m/s)
η	– air kinematic viscosity (m^2/s)
g	– gravitational acceleration (m/s^2)
$q = (1 - \rho_a / \rho_p)g$	– generalised acceleration (m/s^2)
ρ_a, ρ_p	– air and particle densities (kg/m^3)

REFERENCES

- BAJC, D.: Maximum ranges in ideal projectile motion – a generalization. *Am. J. Phys.*, 58, 1990 (4): 408–409.
- GORIAL, B. Y. – O'CALLAGHAN, J. R.: Aerodynamic properties of grain/straw materials. *J. Agric. Engng Res.*, 46, 1990 (4): 275–290.
- HAIRER, E. – NØRSETT, S. P. – WANNER, G.: Solving ordinary differential equations. I. Nonstiff problems. Berlin, Springer 1987. 480 pp.
- HART, D. – CROFT, T.: Modelling with projectiles. Chichester, Horwood 1988. 152 pp.
- KASTELOVIČ, E. – SLOBODA, A. – VESELOVSKA, E.: An analysis of the particle path during manure application. *Zeměd. Techn.*, 34, 1988 (5): 263–270 (in Czech).
- KOČAK, H.: Differential and difference equations through computer experiments. New York, Springer 1989. 224 pp.
- LEITMANN, G.: The calculus of variations and optimal control. New York, Plenum 1981. 311 pp.
- PONTRYAGIN, L. S.: Maximum principle in optimal control. Moscow, Science 1989. 64 pp. (in Russian).
- REDELBERGER, H. – RELOE, H.: Compost application. *Landtechnik*, 48, 1993 (12): 665–669 (in German).
- STOER, J. – BULIRSCH, R.: Introduction to numerical analysis. Berlin, Springer 1993. 660 pp.
- VINCENT, T. L. – GRANTHAM, W. J.: Optimality in parametric systems. New York, Wiley 1981. 243 pp.
- VINCENT, T. L. – LEE, C. S.: Parametric optimization with dynamic systems. *Appl. Math. Comput.*, 12, 1983 (2/3): 169–185.
- VITLIEMOV, V. G.: VINCENT 1.1 – a procedure for one-parametric optimization of non-linear dynamical systems in non-fixed time interval. Research work reports of the TU-Rousse, 35, 1994 (4): 38–43 (in Bulgarian).
- VITLIEMOV, V. G. – IVANOV, I. V. – TANOV, R. R.: Particles flight modelling and optimization for technological processes in mechanised agriculture: Flight simulation. *Zeměd. Techn.*, 42, 1996 (1): 1–4.
- VITLIEMOV, V. G. – IVANOV, I. V. – TANOV, R. R.: Particles flight modelling and optimization for technological processes in mechanised agriculture: Identification problems. *Zeměd. Techn.*, 43, 1997 (1): 9–13.

Received on May 10, 1996

Contact Address:

Asst. Prof. Venko G. Vitliev, Department of Mechanics 420A, Mechanical Engineering Faculty, University of Rousse, BG-7017 Rousse, Bulgaria, Fax: (00359 82) 45 51 45, e-mail: venvit@mech.ru.acad.bg

Oznamujeme čtenářům a autorům našeho časopisu,
že v návaznosti na časopis Scientia agriculturae bohemoslovaca, který až do roku 1992 vycházel
v Ústavu vědeckotechnických informací Praha, vydává od roku 1994

Česká zemědělská univerzita v Praze

časopis

SCIENTIA AGRICULTURAE BOHEMICA

Časopis si zachovává původní koncepci reprezentace naší vědy (zemědělství, lesnictví, potravinářství) v zahraničí a jeho obsahem jsou původní vědecké práce uveřejňované v angličtině s rozšířenými souhrny v češtině.

Časopis je otevřen nejširší vědecké veřejnosti a redakční rada nabízí možnost publikace pracovníkům vysokých škol, výzkumných ústavů a dalších institucí vědecké základny.

Příspěvky do časopisu (v angličtině, popř. v češtině či slovenštině) posílejte na adresu:

**Česká zemědělská univerzita v Praze
Redakce časopisu Scientia agriculturae bohemica
165 21 Praha 6-Suchbát**

POKYNY PRO AUTORY

Časopis uveřejňuje původní vědecké práce, krátká sdělení a výběrově i přehledné referáty, tzn. práce, jejichž podkladem je studium literatury a které shrnují nejnovější poznatky v dané oblasti. Práce jsou uveřejňovány v češtině, slovenštině nebo angličtině. Rukopisy musí být doplněny krátkým a rozšířeným souhrnem (včetně klíčových slov).

Autor je plně odpovědný za původnost práce a za její věcnou i formální správnost. K práci musí být přiloženo prohlášení autora o tom, že práce nebyla publikována jinde.

O uveřejnění práce rozhoduje redakční rada časopisu, a to se zřetelem k lektorským posudkům, vědeckému významu a přínosu a kvalitě práce.

Rozsah vědeckých prací nemá přesáhnout 15 stran psaných na stroji včetně tabulek, obrázků a grafů. V práci je nutné používat jednotky odpovídající soustavě měrových jednotek SI (ČSN 01 1300).

Vlastní úprava rukopisu má odpovídat státní normě ČSN 88 0220 (formát A4, 30 řádek na stránku, 60 úhozů na řádku, mezi řádky dvojité mezery), k rukopisu je vhodné přiložit disketu s prací pořízenou na PC v některém textovém editoru, nejlépe v T602, a s grafickou dokumentací. Tabulky, grafy a fotografie se dodávají zvlášť, nepodlepují se. Na všechny přílohy musí být odkazy v textu.

Pokud autor používá v práci zkratky jakéhokoliv druhu, je nutné, aby byly alespoň jednou vysvětleny (vypsány), aby se předešlo omylům. V názvu práce a v souhrnu je vhodné zkratky nepoužívat.

Název práce (titul) nemá přesáhnout 85 úhozů. Jsou vyloučeny podtitulky článků.

Krátký souhrn (Abstrakt) je informačním výběrem obsahu a závěru článku, nikoliv však jeho pouhým popisem. Musí vyjádřit všechno podstatné, co je obsaženo ve vědecké práci, a má obsahovat základní číselné údaje včetně statistických hodnot. Musí obsahovat klíčová slova. Nemá překročit rozsah 170 slov. Je třeba, aby byl napsán celými větami, nikoliv heslovitě. Je uveřejňován a měl by být dodán ve stejném jazyce jako vědecká práce.

Rozšířený souhrn (Abstract) je uveřejňován v angličtině, měly by v něm být v rozsahu cca 1–2 strojopisných stran komentovány výsledky práce a uvedeny odkazy na tabulky a obrázky, popř. na nejdůležitější literární citace. Je vhodné jej (včetně názvu práce a klíčových slov) dodat v angličtině, popř. v češtině či slovenštině jako podklad pro překlad do angličtiny.

Úvod má obsahovat hlavní důvody, proč byla práce realizována a velmi stručnou formou má být popsán stav studované otázky.

Literární přehled má být krátký, je třeba uvádět pouze citace mající úzký vztah k problému.

Metoda se popisuje pouze tehdy, je-li původní, jinak postačuje citovat autora metody a uvádět jen případné odchylky. Ve stejné kapitole se popisuje také pokusný materiál.

Výsledky – při jejich popisu se k vyjádření kvantitativních hodnot dává přednost grafům před tabulkami. V tabulkách je třeba shrnout statistické hodnocení naměřených hodnot. Tato část by neměla obsahovat teoretické závěry ani dedukce, ale pouze faktické nálezy.

Diskuse obsahuje zhodnocení práce, diskutuje se o možných nedostacích a práce se konfrontuje s výsledky dříve publikovanými (požaduje se citovat jen ty autory, jejichž práce mají k publikované práci bližší vztah). Je přípustné spojení v jednu kapitolu spolu s výsledky.

Literatura musí odpovídat státní normě ČSN 01 0197. Citace se řadí abecedně podle jména prvních autorů. Odkazy na literaturu v textu uvádějí jméno autora a rok vydání. Do seznamu se zařadí jen práce citované v textu. Na práce v seznamu literatury musí být odkaz v textu.

Na zvláštním listě uvádí autor plné jméno (i spoluautorů), akademické, vědecké a pedagogické tituly a podrobnou adresu pracoviště s PSČ, číslo telefonu a faxu, popř. e-mail.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Original scientific papers, short communications, and selectively reviews, that means papers based on the study of technical literature and reviewing recent knowledge in the given field, are published in this journal. Published papers are in Czech, Slovak or English. Each manuscript must contain a short and a longer summary (including the key words).

The author is fully responsible for the originality of his paper, for its subject and formal correctness. The author shall make a written declaration that his paper has not been published in any other information source.

The board of editors of this journal will decide on paper publication, with respect to expert opinions, scientific importance, contribution and quality of the paper.

The paper extent shall not exceed 15 typescript pages, including tables, figures and graphs.

Manuscript layout shall correspond to the State Standard ČSN 88 0220 (quarto, 30 lines per page, 60 strokes per line, double-spaced typescript). A PC diskette should be provided with the paper, written in an editor program, preferably T602, and with graphical documentation. Tables, figures and photos shall be enclosed separately. The text must contain references to all these annexes.

The **title** of the paper shall not exceed 85 strokes. Subtitles of the papers are not allowed either.

Abstract is an information selection of the contents and conclusions of the paper, it is not a mere description of the paper. It must present all substantial information contained in the paper. It shall not exceed 170 words. It shall be written in full sentences, not in form of keynotes, and comprise base numerical data including statistical data. It must contain key words. It should be submitted in English and if possible also in Czech or Slovak.

Introduction has to present the main reasons why the study was conducted, and the circumstances of the studied problems should be described in a very brief form.

Review of literature should be a short section, containing only literary citations with close relation to the treated problem.

Only original method shall be described, in other cases it is sufficient enough to cite the author of the used method and to mention modifications of this method. This section shall also contain a description of experimental material.

In the section **Results** figures and graphs should be used rather than tables for presentation of quantitative values. A statistical analysis of recorded values should be summarized in tables. This section should not contain either theoretical conclusions or deductions, but only factual data should be presented here.

Discussion contains an evaluation of the study, potential shortcomings are discussed, and the results of the study are confronted with previously published results (only those authors whose studies are in closer relation with the published paper should be cited). The sections Results and Discussion may be presented as one section only.

The citations are arranged alphabetically according to the surname of the first author. References in the text to these citations comprise the author's name and year of publication. Only the papers cited in the text of the study shall be included in the list of references. All citations shall be referred to in the text of the paper.

If any abbreviation is used in the paper, it is necessary to mention its full form at least once to avoid misunderstanding. The abbreviations should not be used in the title of the paper nor in the summary.

The author shall give his full name (and the names of other collaborators), academic, scientific and pedagogic titles, full address of his workplace and postal code, telephone and fax number or e-mail.

OBSAH – CONTENT

Grečenko A., Matějka J., Bartolomějev A.: Zhutnění půdy koly a jeho modelování – Soil compaction by wheels and its modelling	41
Kavka M., Kolek L., Vašák J., Faměra O., Pošar B.: Optimalizace počtu a využití sklízecích mlátiček s ohledem na faktor včasnosti sklizně – Optimization of the number and utilization of combines according to the term of harvest	59
Vitliemov V. G., Ivanov I. V., Tanov R. R.: Particles flight modelling and optimisation for technological processes in mechanised agriculture: maximum range of flight – Modelování letu částic a optimalizace technologických prvků při mechanizaci zemědělství: nejdelší dráha doletu ...	75