

Ing. Jiří Malý, VÚHU

Použití kalkulátoru SHARP CS 421 pro výpočet rypných odporů kolesových
rypadel

0. Úvod

Peválečný rozvoj malých a středních mechanizačních a automatizačních prostředků se projevila nástupem nových elektromechanických a později elektronických zařízení v ekonomické oblasti a administrativě. Vznikla řada strojů využívajících hlavně děrných štítků a děrné pásky buď přímo, nebo ve spolupráci s počítačem.

Vědecko-výzkumná oblast však zůstávala poměrně dlouho stranou tohoto zájmu, a tak mezi běžnými pomůckami výzkumného pracovníka převažovala pravítka, tabulky a nomogramy. Počítač byl pak využit jen při tak rozsáhlých úlohách, že složitá příprava vstupních dat a náklady na strojový čas a zpracování se i při jednorázovém výpočtu vyplácely. Většina vědecko-technických úloh tak zůstávala u klasického způsobu výpočtu a vyhodnocení.

Během posledních dvou tří let však se postupně objevují na trhu nové prostředky výpočetní techniky - programovatelné kalkulátory. Vedle řady technických výhod (malé rozměry, jednoduchá instalace a provoz), předurčuje tyto prostředky pro výzkumnou práci i velká variabilita připojitelných zařízení jak na vstup, tak i výstup a možnost úprav a zásahů řešitele výpočtu během zpracování.

Ve Výzkumném ústavu pro hnědé uhlí se v současné době analyzuje možnost rozsáhlejšího uplatnění této techniky při řešení výzkumných úkolů a některé konkrétní příklady byly již popsány.

Dále popsáný problém je poměrně názornou ilustrací dalšího úspěšného využití malého programovatelného kalkulátoru.

1. Rypné odpory

Zjišťování rypných odporů kolesových rypadel lze rozdělit do dvou

fázi. V první fázi jde o měření prováděná za debývacího procesu přímo na rýpadle. Ve druhé fázi pak jde o výpočet prováděný dodatečně, přijatou metodikou.

Vlastní měření se v současné době provádí dvojím způsobem, a to tzv. metodou přímou (měřicím korečkem), kde výpočet rypných odporů je méně složitý nebo metodou nepřímou (měřením různých parametrů rýpadla, kde výpočet rypných odporů pak vyžaduje dosti únavnou výpočtářskou práci). Nepřímá metoda se stala základem i pro doporučení RVHP. Obě metody byly již popsány v literatuře proto pro účely tohoto článku uvádím jen používané vzorce a symboliku značení u metody nepřímé. Dále uvedené vzorce vycházejí z postupu používaného ve VÚHU Most. Tato metodika výpočtu se poněkud liší od postupu použitého v BPT tím, že se rypný odpor charakterizuje jako parametr kolesového rýpadla - nikoliv jako parametr zeminy.

Použité vzorce:

$$b = \frac{2\pi \cdot L \cdot n}{i \cdot p} \cdot 10^2 \quad [cm]$$

$$c_{stř} = \frac{c_{max} \cdot z}{2\pi} \left[1 + \cos \beta_H + \frac{c_{max}}{4R} \cdot 10^{-2} \left(\beta_H + \frac{\sin 2\beta_H}{2} \right) \right]$$

$$l_{stř} = c_{stř} + b_{stř} = c_{stř} + b \left(\frac{\beta_H \cdot z}{2\pi} + 1 \right)$$

$$Q = 573 \cdot c_{max} \cdot b \cdot z \cdot v \cdot 10^{-2}$$

$$N_z = \frac{Q \cdot h \cdot \gamma}{367} \quad h = R$$

$$l_{max} = c_{max} \sum_0^m \left[\sin \left(\beta_H - m \frac{2\pi}{z} \right) + c_{max} \frac{\cos^2 \left(\beta_H - m \frac{2\pi}{z} \right)}{2R} + b \left(\frac{\beta_H \cdot z}{2\pi} + 1 \right) \right]$$

$$P_{stř} = 102 \frac{N_{stř} - N_o - N_t}{v}$$

10 000
20 000

$$P_{\max} = 102 \frac{N_{\max} - N_0 - N_z}{v}$$

$$k_{\text{stř}} = \frac{P_{\text{stř}}}{l_{\text{stř}}}$$

$$k_{\max} = \frac{P_{\max}}{l_{\max}}$$

$$\alpha = \frac{k_{\max}}{k_{\text{stř}}}$$

Z praktických důvodů jsou tyto vzorce již upraveny pro výpočet jednotlivých veličin v těchto jednotkách:

Hodnoty naměřené a parametry rypadla:

- L ... vzdálenost špičky korečku od středu otáčení horní stavby rypadla (m)
- n ... otáčky motoru kola (ot/min)
- i ... celkový převod horní stavby
- p ... počet výsypů (l/min)
- $c_{\max}$... změřená vzdálenost výsuvu (cm)
- z ... počet korečků
- β_H ... úhel záběru kola ($^{\circ}$); $\hat{\beta}_H$ (rad)
- H ... poloměr kola (m)
- h ... pracovní výška zdvihané zeminy (m)
- γ ... měrná hmota zeminy (g/cm^3)
- N_0 ... výkon motoru kola naprázdno (kW)
- $N_{\text{stř}}$... střední hodnota výkonu motoru kola (kW)
- $N_{\max}$... maximální hodnota výkonu motoru kola (kW)
- m ... počet korečků v záběru
- v ... obvodová rychlost kola (m/s)

Hodnoty vypočítávané:

- b ... (cm)
- $c_{\text{stř}}$... střední hodnota výsuvu (cm)
- Q ... odtěžené množství zeminy (m^3/hod)

- P_{str} střední hodnota obvodové síly kola (kp)
 P_{max} maximální hodnota obvodové síly kola (kp)
 l_{str} střední délka řezné hrany (cm)
 l_{max} maximální délka řezné hrany (cm)
 k_{str} střední rypný odpor rypadla (kp/cm)
 k_{max} maximální rypný odpor rypadla (kp/cm)
 α součinitel rypných odporů

Z uvedeného přehledu je zřejmé, že jak počet veličin do výpočtu vstupujících, tak také počet veličin pro výpočet nutných a výsledných není malý. Výpočtová tabulka pro řádově desítky opakovaných měření představuje řádově stovky naměřených a vypočítávaných hodnot.

2. Použití kalkulatoru pro výpočet

2.1 Úvahy obecné

Při úvaze jak racionalizovat výpočet je třeba především provést analýzu současné situace z několika hledisek. Hlavní kritéria zpravidla jsou tato:

- a) frekvence prováděných výpočtů
- b) současný stav využívání pomocné techniky pro výpočet a přesnost této techniky
- c) nutnost zjišťování a vypočítávání všech veličin
- d) stávající schéma (algoritmus výpočtu)
- e) technické možnosti nových výpočetních prostředků
- f) možnost realizace případných nových požadavků na měřicí metodu (zpětný vliv techniky)
- g) finanční možnosti krýt náklady a efektivnost zavedení racionalizace
- h) celkový čas na racionalizační akci

Odpovědi na uvedené otázky vyžadují celkovou analýzu situace, které se nelze vyhnout a teprve pak je účelné navrhnout její výpočetní postup. Při studiu problému je možné jít do rozličné hloubky, to je závislé hlavně na kritériu g) a počtu pracovníků, kteří se danému prob-

Komplexní zhodnocení situace pak vede k volbě některé z možných alternativ:

1. ponechat stávající výpočetní postup beze změn
2. navrhnout jiný výpočetní postup nebo i metodu bez nových výpočetních prostředků
3. úlohu racionalizovat z části technikou menšího rozsahu
4. úlohu zpracovávat na počítači
5. úlohu zcela automatizovat včetně získávání dat pro vstup

Jsou různé metody ke zjištění vhodnosti zařazení dané úlohy do jednoho z popsanych stupňů. Při akcích menšího rozsahu je jednou z možností kolektivní posezení situace různými řešiteli s přihlédnutím k popsáním kritériím. V daném případě tento způsob vedl k racionalizaci kalkulační technikou především z těchto důvodů:

- úloha se opakuje řádově v desítkách za rok
- variabilita proměnných je poměrně omezená, rypadel je jen několik typů
- kalkulační technika ovlivní stávající výpočetní metodu jen málo
- přesnost této techniky je vyhovující
- technika je dostupná fyzicky i finančně
- počet požadovaných výsledků lze zčásti redukovat
- racionalizace prokazatelně zkrátí čas na výpočet (celkovou efektivnost lze předpokládat).

2.2 Výpočet rypných odporů kalkulátorem CS 421

Kalkulátor SHARP CS 421, který byl pro výpočet zvolen, má 3 pracovní registry, 12 paměťových registrů a řadu matematických zabudovaných funkcí v hardware (trigonometrické, logaritmy, exponenciální, převrácené hodnoty atd.). Je možné jej programovat na 144 pracovních kroků s trvalým uložením do paměti. Program může mít 2 části na sebe nezávislé (de facto 2 programy). Uvedené technické možnosti dávají tušit, že přímý výpočet podle běžného výpočetního schématu ruční práce by buď nevyužil možností kalkulátoru, nebo by vyžadoval příliš mnoho

operační práce s ukládáním mezivýsledků. Tím by se racionalizační efekt značně snížil.

Byl proto navržen a realizován algoritmus výpočtu na kalkulátoru, spočívající na těchto principech:

- výpočet má být jednotný pro všechny typy rypadel jmenovitě KU 800, KU 300, K 1000, K 800, K 300. Parametry příslušného rypadla se na začátku výpočtu uloží do paměti a zůstávají neměnné během řešení celé výpočtové tabulky (Základní parametry - viz tab. 1).
- úhel záběru β_H lze předepsat, proto jej stanovujeme $\beta_H = \frac{\pi}{2}$
- vlastnost (měrnou hmotu) zeminy (γ) určí laboratoře a bude známa jako konstanta po jistou část měření
- skutečně požadované hodnoty po provedení výpočtu jsou jen tyto:
 $k_{\max}, k_{\text{str}}, \alpha$

Ostatní hodnoty slouží jen k orientačnímu posouzení situace.

Realizace uvedených zásad vedla k programu a operačnímu postupu dle blok.schématu na obr. 1 a 2. Program sestává ze dvou částí, které jsou na sebe vázány jen tím, že výsledky výpočtu v první části slouží operátorovi jako část vstupních údajů pro výpočet podle druhé části. Z toho plyne, že je nejprve zapotřebí provést výpočet podle první části programu, potom podle druhé části programu. Jinak jsou z hlediska hardware (použité střadače a funkce kalkulátoru) i programových instrukcí obě části na sobě nezávislé. Prvá část má 136 kroků, druhá část 70. Proto nemohou být uloženy v paměti současně.

Hledisko citelného omezení paměťových možností vedlo k matematické přípravě vzorců před vlastním programováním. Vzorce uvedené v kapitole 1. je možné přepsat do následujícího tvaru (respektujeme přitom zásady algoritmu a) až d):

$$b = \frac{C}{P} \cdot L \cdot n \quad (1)$$

$$c_{\text{str}} = B \cdot c_{\max} \left[1 + A \cdot c_{\max} \right] \quad (2)$$

$$l_{\text{str}} = c_{\text{str}} + b \left(\frac{z}{4} + 1 \right) \quad (3)$$

$$Q = D \cdot c_{\max} \cdot b \quad (4)$$

$$N_z = E \cdot Q \cdot \gamma \quad (5)$$

$$l_{\max} = c_{\max} (3,63 + F \cdot c_{\max}) + b \left(\frac{z}{4} + 1 \right) \quad (6)$$

$$P_{\text{stř}} = G \left[N_{\text{stř}} - N_o - N_z \right] \quad (7)$$

$$P_{\max} = G \left[N_{\max} - N_o - N_z \right] \quad (8)$$

$$k_{\text{stř}} = \frac{P_{\text{stř}}}{l_{\text{stř}}} \quad (9)$$

$$k_{\max} = \frac{P_{\max}}{l_{\max}} \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{k_{\max}}{k_{\text{stř}}} \quad (11)$$

V těchto vzorcích byly zavedeny konstanty A až G platné pro všechny typy rypadel takto:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{1}{R} \cdot 0,392 \\ C &= \frac{628}{1} \\ E &= \frac{h_z}{367} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} B &= \frac{z}{6,28} \\ D &= 57,3 \cdot z \cdot v \cdot 10^{-3} \\ G &= \frac{102}{v} \end{aligned} \quad (13)$$

Dále pro rypadlo KU 800 je zavedeno:

$$F_{\text{KU 800}} = \frac{1}{2R} \left[\cos^2(90^\circ) + \cos^2(72^\circ) + \cos^2(54^\circ) + \cos^2(36^\circ) + \cos^2(18^\circ) \right] \quad (12a)$$

pro rypadlo KU 300, K 800 a K 300 platí

$$F = \frac{1}{2R} \left[\cos^2(90^\circ) + \cos^2(54^\circ) + \cos^2(18^\circ) \right] \quad (12b)$$

a pro K 1000 platí

$$F_{\text{K 1000}} = \frac{1}{2R} \left[\cos^2(90^\circ) + \cos^2(45^\circ) \right] \quad (12c)$$

tímto způsobem bylo možno specifikovat konstrukční vlastnosti rypadel a použitý technologický postup do sedmi konstant kumulovaně a realizovat program podle zjednodušeného tvaru vzorců (1) až (11).

Prvá část programu pracuje podle vzorců (1) až (6), (12), druhá část podle vzorců (7) až (11). Požadavek a) algoritmu pak realizujeme tak, že rypadlo nedefinujeme parametry podle tab. 1, ale přepočtenými konstantami A až G pro každé rypadlo podle vzorců (12), (13). Propočet těchto konstant pro uvedené typy rypadel má pracovník předem vždy k dispozici.

Podle blokových schémat byl pak rozepsán program do jednotlivých kroků - instrukcí a nahrán na dva magnetické štítky. Podrobný popis programu včetně instrukčního kódu je rovněž k dispozici.

Operační postup výpočtu je následující:

operátor:

- 1/ nahraje do paměti kalkulátoru prvou část programu (štítek č. 1) označenou PROG/1
- 2/ po odstartování programu definuje rypadlo podle tabulkových hodnot konstantami A až F
- 3/ uloží hodnoty veličin z , p , γ
- 4/ uloží naměřené hodnoty $c_{\max}$, L , n

kalkulátor:

- 5/ vypočte a vytiskne hodnoty N_z , $l_{\max}$, $l_{\text{stř}}$

operátor:

- 6/ rozhodne, zda při výpočtu dalších řádků tabulky zůstává γ beze změny. Podle toho se vrací s výpočtem na bod 3 nebo 4 operačního postupu a provádí výpočet dalšího řádku
- 7/ po ukončení výpočtu 1. části tabulky uloží z druhého magnetického štítku PROG/2
- 8/ po odstartování PROG/2 uloží hodnoty G a N_0
- 9/ uloží hodnoty N_z , $l_{\max}$, $l_{\text{stř}}$ podle výsledků z bodu 5 pro příslušný řádek

10/ uloží naměřené hodnoty $N_{\max}$, $N_{\text{stř}}$

kalkulátor:

11/ vytiskne ukládané hodnoty $N_{\max}$, $N_{\text{stř}}$

12/ vypočte a vytiskne $k_{\max}$, $k_{\text{stř}}$, α

operátor:

13/ pokud není výpočet tabulky ukončen, vrací se na bod 9 a pokračuje ve výpočtu dalšího řádku tabulky.

Uvedený operační postup je v praxi velmi jednoduchý. Zde byl uveden především pro ilustraci spolupráce operátora a kalkulátoru během výpočtu. Způsob provádění jednotlivých operací na kalkulátoru odpovídá běžnému postupu.

Příklad výpočtu:

Pro výpočet rypného odporu rypadla KU 800/5 na dele Maxim Gorkij platí hodnoty uvedené v tabulce 1 pro rypadlo KU 800. Konstanty v tomto případě mají tyto hodnoty:

$A = 0,000628$	$\gamma = 2,2$ (údaj z laboratoře)	$G = 26,0$
$B = 3,1847$	$z = 20$	$N_0 = 100$
$C = 0,1580$	$E = 0,01705$	$p = 120$
$D = 4,50$	$F = 0,00157$	

Podle operačního schématu uložíme naměřené hodnoty $c_{\max}$, L , n , $N_{\max}$, $N_{\text{stř}}$ a provedeme výpočet N_z , $l_{\max}$, $l_{\text{stř}}$, $k_{\text{stř}}$, $k_{\max}$, α .

Srovnání hodnot vypočtených standardním způsobem a hodnot vypočtených popsáním programem na kalkulátoru SHARP CS 421 uvádí tabulka 2. Jsou uvedeny výpočty ze třech různých měření.

3. Výsledky a zhodnocení:

Výsledky docílené popsáním způsobem užitím kalkulátoru CS 421 lze shrnout takto:

- výpočet byl proveden s přesností na šest desetinných míst, což přineslo celkové zvýšení přesnosti proti standardnímu způsobu. Technic-

- ké vlastnosti kalkulátoru tuto přesnost dovolují ještě zvýšit
- bylo docíleno asi šestinásobku zkrácení výpočtového času proti dosavadnímu způsobu používajícímu kalkulačku ELKA
 - prokázala se efektivnost úsilí vynaloženého na studium a analýzu problému. Problém vedl k odladění výpočtu včetně zkušebního příkladu a definitivní verzi programu asi za 5 týdnů od počátku studia problému
 - algoritmizace úlohy vedla ke zpřesnění i stávající metodiky a definování počtu korekcí v záběru pro jednotlivé typy rypadel
 - postup ukázal další možnosti celkové automatizace měření a výpočtu
 - realizovaný program umožňuje dosti širokou variabilitu použití i pro modernizovaná nebo jinak nestandardní rypadla.

Nelze rovněž pominout jistý instrukční charakter uvedeného příkladu. Proto bylo věnováno v tomto článku dosti místa i obecné charakteristice úlohy.

S h r n u t í

Použití kalkulátoru SHARP CS 421 pro výpočet rypných odporů kolesových rypadel

Článek se zabývá použitím programovatelného kalkulátoru pro výpočet rypných odporů. Je uvedena obecná úvaha efektivnosti použití programovatelného kalkulátoru pro vědecko-technický výpočet. Dále je popsán konkrétní případ využití kalkulátoru SHARP CS 421 a operační postup výpočtu. Ze srovnání docílených výsledků vyplývá vhodnost a výhodnost použitého postupu.

Р е з ю м е

Применение калькулятора ШАРП ЦС 421 при определении величин сопротивления копанью роторных экскаваторов

Статья посвящена изложению проблематики в связи с употреблением программируемого калькулятора для определения величин сопротивления копанью. Приводятся общие рас-

Tabulka 1 - Parametry kolesových rypadel

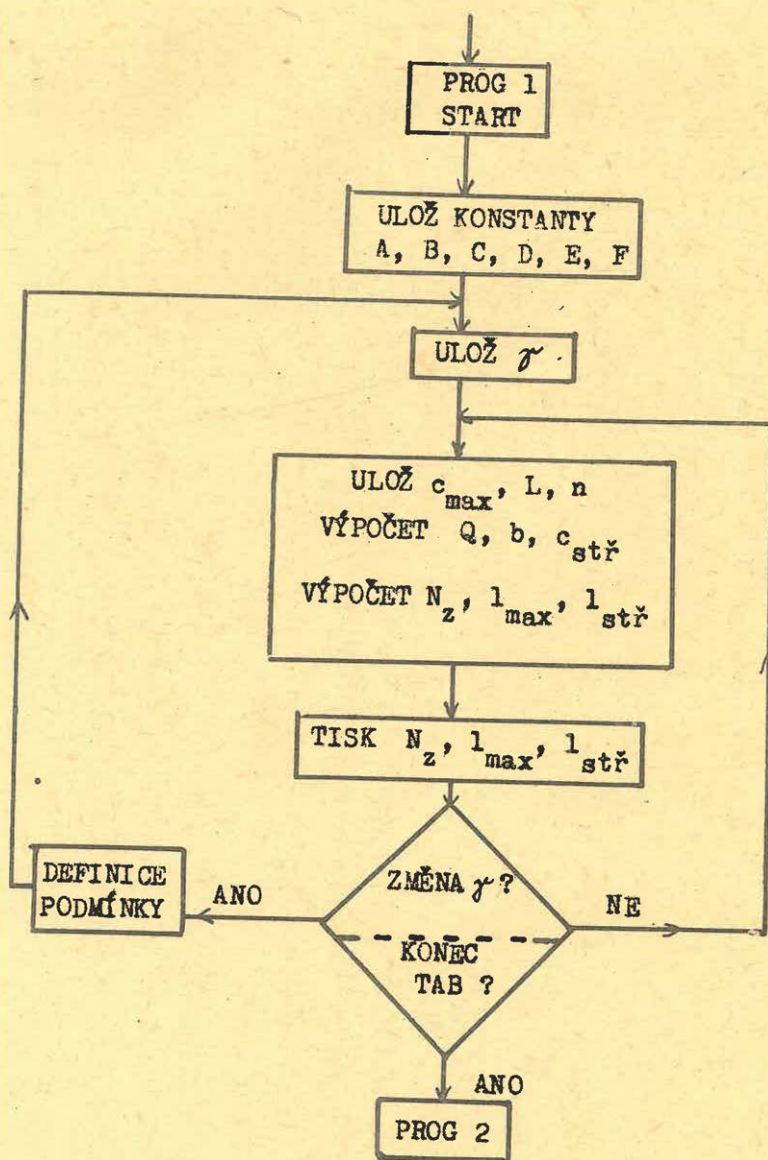
R y p a d l o t y p						
technický parametr	označ.	KU 800	KU 300	K 1000	K 800	K 300
převodový poměr	i	3980	2480	11060	10650	5095
počet výsypů	p	120	51-76,5	28-42,5	30-42	40-55,5
poloměr kola	R(m)	6,25	3,5	3,55	4	3
počet korečků	z	20	10	8	10	10
výkon motoru kola naprázdno	N_o (kW)	100	30	12	20	10
záběrový úhel	β_H (°)	90	90	90	90	90
obvodová rychlost kola	(m/s)	3,93	1,75	1,7555	2,0	1,5

Tabulka 2 - Hodnoty naměřené (Pro $N_o = 100$ kW; $\gamma = 2,2$; $p = 120$; $Z = 20$)

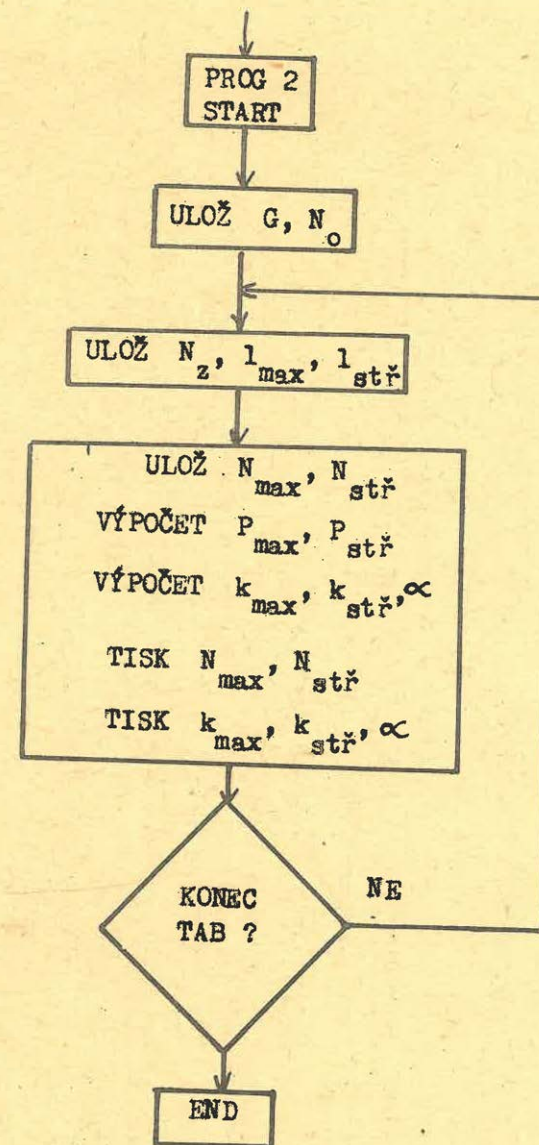
č. měření	c_{max}	L	n	N_{max}	N_{str}
1	58,0	12,0	140	760	660
2	70	13,91	230	800	620
3	75	14,66	120	860	720

- Hodnoty vypočtené

	N_z	l_{max}	l_{str}	k_{max}	k_{str}	α
1 Starý ZP.	21,6	228,3	204,73	72,573	68,255	1,06
CS 421	21,592217	229,093480	204,712572	72,446224	68,373704	1,059563
2 Starý ZP.	49,7	287,3	258,04	58,746	47,302	1,24
CS 421	49,772381	287,067470	258,003429	58,891815	47,386663	1,242793
3 Starý ZP.	29,7	295,1	264,2	64,229	57,986	1,10
CS 421	29,323236	294,978930	264,000133	64,403240	58,172693	1,107104



Obr. 1



Obr. 2