

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Petr Král

Elektrické veličiny a jejich souvislosti u bodového
odporového svařování ocelových plechů s povlaky

Diplomová práce

1998

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra: Katedra strojírenská metalurgie

Školní rok: 1997/98

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro

Petra K R Á L E

obor

Strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Elektrické veličiny a jejich souvislosti u bodového odporového svařování ocelových plechů s povlaky.**

Zásady vypracování:

1. Seznamte se s teoretickými základy metod odporového svařování
2. Elektrické veličiny svařovacího procesu - základní pojmy, souvislosti, definice.
3. Návrh a realizace svařovacího pracoviště s možností snímání, záznamů a následného zpracování časových průběhů vybraných fyzikálních veličin svařovacího procesu.
4. Vliv opotřebení elektrod na časové průběhy sledovaných veličin.
5. Zhodnocení funkčnosti svařovacího pracoviště.

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: cca 50 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

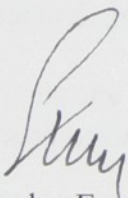
- [1] PLÍVA, L.: Odporové svařování. SNTL Praha, 1975
- [2] NEUMANN, H.: Sledování a řízení svařovacího procesu při bodovém odporovém svařování žárově pohlínkovaných ocelových plechů. /Disertační práce/, Liberec 1990, Fakulta strojní VŠST
- [3] Časopisy Schweissen und Schneiden - podle pokynů vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Heinz Neumann, CSc.

Konzultant:

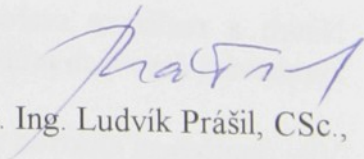
Zadání diplomové práce: 15. 10. 1997

Termín odevzdání diplomové práce: 15. 5. 1998


Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.,

Vedoucí katedry




Doc. Ing. Ludvík Prášil, CSc.,

Děkan

V Liberci dne 1. 12. 1997

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

strojírenská technologie

zaměření

strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské metalurgie

Elektrické veličiny a jejich souvislosti u bodového odporového svařování
ocelových plechů s povlaky

Petr Král

KSM- 469

Vedoucí diplomové práce: Ing. Heinz Neumann, CSc, TU Liberec
Konzultant:

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:78

Počet tabulek:4

Počet obrázků:50

Počet grafů:35

Počet výkresů:0

27. května 1998

Diplomová práce

Téma: Elektrické veličiny a jejich souvislosti u bodového odporového svařování ocelových plechů s povlaky

Anotace: Tato diplomová práce se zabývá studiem, měřením a vyhodnocením elektrických veličin při bodovém odporovém svařování ocelových pokovených plechů. Mezi tyto veličiny patří napětí mezi elektrodami, svařovací proud a elektrický odpor. Dále zkoumá vliv opotřebení elektrod na průběhy elektrických veličin.

Theme: The electrical quantities and their connection by the spot resistance welding of sheets steel with a film.

Annotation: The diploma work deals with a research, a metering and a evaluation of the electrical quantities at the spot resistance welding of metal coated sheets steel. The electrode voltage, the welding current and the resistance pertain to these quantities. There is also searched the effect of the electrode wear into time behaviors of the electrical quantities.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně
s použitím uvedené literatury

V Liberci, 17. května 1998



Petr Král

1. Úvod

2. Teoretická část

2.1. Historie a vývoj

2.2. Vlastnosti a aplikace

2.3. Vlivy a podmínky

2.4. Shrnutí

2.4.1. Závěry

2.4.2. Doporučení

2.4.3. Další práce

2.4.4. Závěr

2.4.5. Závěr

2.4.6. Závěr

2.4.7. Závěr

2.4.8. Závěr

2.4.9. Závěr

2.4.10. Závěr

2.4.11. Závěr

2.4.12. Závěr

2.4.13. Závěr

2.4.14. Závěr

2.4.15. Závěr

2.4.16. Závěr

2.4.17. Závěr

2.4.18. Závěr

2.4.19. Závěr

2.4.20. Závěr

2.4.21. Závěr

2.4.22. Závěr

2.4.23. Závěr

2.4.24. Závěr

2.4.25. Závěr

2.4.26. Závěr

2.4.27. Závěr

2.4.28. Závěr

2.4.29. Závěr

2.4.30. Závěr

2.4.31. Závěr

2.4.32. Závěr

2.4.33. Závěr

Na tomto místě vyslovuji poděkování vedoucímu diplomové práce Ing. Heinzi Neumannovi, CSc. za neocenitelné připomínky, praktické rady a příjemnou spolupráci po celou dobu vzniku této diplomové práce.

Obsah

1. Úvod	9
2. Teoretická část	11
2.1. Odporové svařování	11
2.2. Využití elektrického tepla ke svařování	12
2.3. Režimy a pracovní cykly	15
2.4. Metalurgie svaru při bodovém svařování	16
2.4.1. Metalurgické zvláštnosti při svařování povlakovaných plechů	17
2.5. Kvalita svarů a hodnocení jakosti svarů	19
2.5.1. Destruktivní zkoušky svarů	19
2.5.2. Nedestruktivní zkoušky svarů	20
2.6. Elektrody pro bodové svařování	21
2.6.1. Elektrodotové materiály	21
2.6.2. Životnost elektrod	22
2.7. Vztahy elektrických veličin u bodového svařování	23
3. Experimentální část	31
3.1. Přípravné práce	31
3.2. Kalibrace osciloskopu	34
3.3. Postup měření	35
3.4. Metodika hodnocení experimentu	36
3.5. Použitá zařízení	37
3.6. Grafické vyhodnocení experimentu	39
3.6.1. měření č. 1	39
3.6.2. měření č. 2	48
3.6.3. měření č. 3	57
3.6.4. měření č. 4	71
3.6.5. měření č. 5	72
3.6.6. měření č. 6	73
4. Diskuze	74
5. Závěr	76
Seznam použité literatury	77

Seznam použitých symbolů

symbol	veličina	jednotka
R	elektrický odpor	$[\Omega]$
U	elektrické napětí	$[V]$
I	elektrický proud	$[A]$
Q	dodané teplo	$[J]$
t_s	svařovací čas	$[s]$
dt	diferenciál času	$[s]$
ρ	měrný elektrický odpor materiálu	$[\rho \cdot m]$
X	jalový odpor	$[\Omega]$
F	přítlačná síla	$[N]$
dI	diferenciál proudu	$[A]$
$R_v(t_k)$	maximální dynamický odpor	$[\Omega]$
$R_v(k)$	efektivní dynamický odpor	$[\Omega]$
$R_v(t_k)$	okamžitý dynamický odpor	$[\Omega]$
u_v	maximální napětí v dané půlperiodě	$[V]$
u_v	okamžité napětí v dané půlperiodě	$[V]$
U_v	efektivní napětí v dané půlperiodě	$[V]$
i_v	maximální proud v dané půlperiodě	$[A]$
I_v	efektivní proud v dané půlperiodě	$[A]$
t_k	časový okamžik maximálního proudu i_v	$[s]$
t_k	časový okamžik maximálního napětí u_v	$[s]$
k	index půlperiody	$[-]$
v	index průběhu efektivního proudu	$[-]$
f	síťový kmitočet	$[Hz]$
T	perioda $1/f$	$[s]$
μ	stupeň příslušnosti	$[-]$
M	znak proudu, napětí u Fuzzy rozdělení	$[-]$
p	tlak	$[Pa]$

1. Úvod

Odporové svařování bylo objeveno již v roce 1877, nemohlo však být průmyslově využito, neboť nebyly k dispozici ani zdroje střídavého proudu velké intenzity, ani elektrické přístroje pro ovládání tak vysokých proudů. Proto až do roku 1925 se odporové svařovací stroje v průmyslu velmi málo používaly. Od roku 1925 však nastal prudký rozmach tohoto způsobu spojování kovů, začíná se rychle zdokonalovat a široce využívat.

Odporové svařování patří mezi metody, jimiž lze snadno zvýšit produktivitu práce, tj. snížit výrobní náklady v oblasti mezd a výrazně též v oblasti materiálových nákladů.

Nepatrný rozvod tepla při svařování snižuje deformace svařenců na minimum, takže se při tomto způsobu svařování nevyskytuje rovnání po svařování. To představuje úsporu pracnosti, a tím i mzdových nákladů, neboť u některých metod tavného svařování s přívodem tepelné energie prostřednictvím plamene nebo oblouku vyžaduje tato následná operace další čas.

Snaha po maximálním využití materiálů ve strojírenství vede cestou zvyšování jejich životnosti. K velice rozšířeným konstrukčním materiálům patří ocelové plechy s různými typy ochranných povlaků. Ochranné povlaky, které jsou nejčastěji na bázi Zn, Al, Sn, popř. jejich slitin Al+Si, Al+Zn, dávají plechu vyšší odolnost proti korozi a zvyšují průměrnou životnost výrobků bez ztráty funkčnosti a estetických vlastností.

Takto upravené plechy, nejčastěji pozinkované, jsou ve spojení s bodovým svařováním dnes nejběžnějším případem výroby automobilových karoserií. Pohlinikované ocelové plechy se používají především pro výrobu tepelně namáhaných součástí, jako jsou např. výfuková potrubí automobilů.

Například koncern VW poskytuje záruku na nejnovější model Golf IV 12 let na prorezavění karoserie. Toto si může dovolit, protože převážná část použitých plechů je oboustranně pozinkovaná.

V praxi bodového odporového svařování ocelových plechů s kovovými povlaky je nutno řešit celou řadu specifických problémů, které vyplývají z metalurgických zvláštností svařovacího procesu. Za prvořadý problém lze pokládat udržení rovnoměrné a požadované kvality svarových spojů především v souvislosti s rychle postupujícím opotřebením elektrod.

2. Teoretická část

2.1. Odporové svařování

Odporové svařování je jednou z metod tlakového svařování. Při odporovém svařování se spoj vytváří teplem vyvinutým průchodem elektrického proudu svařovanými dílci a jejich stykem za spolupůsobení tlaku. Proud se do svařovaných částí přivádí elektrodami zhotovenými zpravidla ze slitin mědi (Cu-Cr, Cu-Cr-Zr), nebo z čisté mědi.

Podle konstrukčního uspořádání elektrod a pracovního postupu tohoto elektromechanického procesu rozdělujeme odporové svařování na:

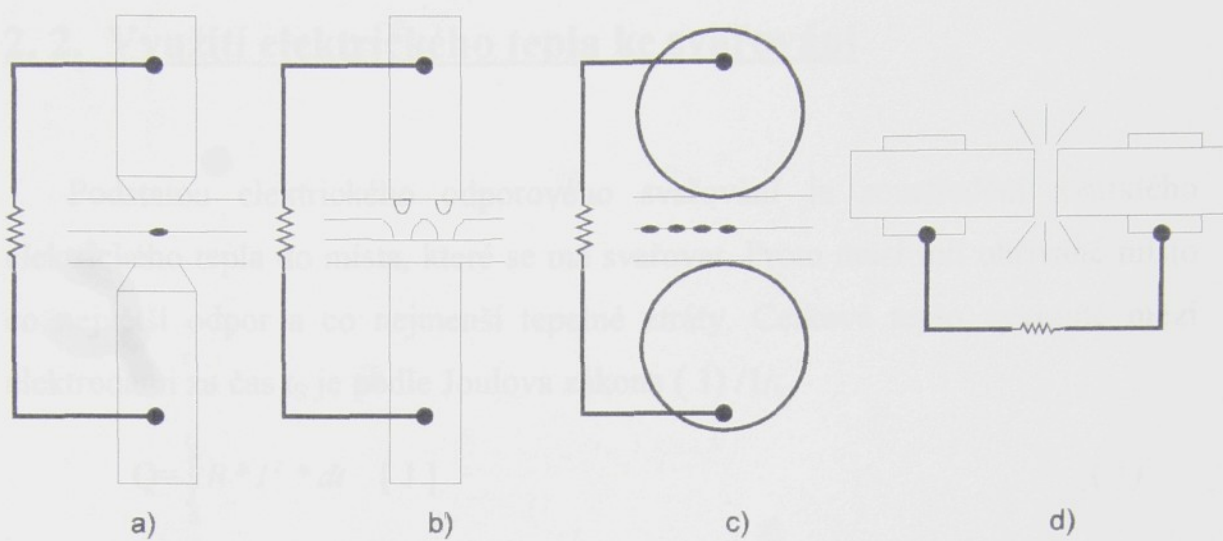
- bodové: spoje se vytvářejí v podobě svarových čoček mezi překlátovanými dílci
- švové: spoj se vytváří kotoučovými elektrodami ve tvaru souvislého, popř. přerušeného svaru, většinou mezi překlátovanými dílci
- výstupkové: spoje se vytvářejí na místech styku přirozených, nebo záměrně vytvořených výstupků
- stykové: svařované dílce jsou přitlačovány ve styčných plochách a svařují se v celé styčné ploše

Tyto základní druhy odporového svařování jsou schematicky naznačeny na **obr.1** /1/.

Typické vlastnosti tohoto způsobu svařování jsou:

- krátké svařovací časy (rychlost ohřevu je až 100 000 °C/s)
- vytváření spojů bez použití přídavných materiálů
- dají se svařovat mnohé materiály jinými způsoby nesvařitelné

Svařované části protékané proudem jsou zpravidla krátké a masivní, proto jejich elektrický odpor je nízký (10^{-2} až $10^{-5} \Omega$). Pracovní napětí je rovněž nízké



- a) bodové svařování
- b) výstupkové svařování
- c) švové svařování
- d) stykové svařování

Obr. 1 Základní druhy odporového svařování

(0,5 až 30V). Z toho vyplývá, že pro vývin dostatečného tepla je třeba velkých proudů. Požadovaná velká intenzita proudu při malém napětí a krátké intervaly vypínání a zapínání znesnadňují použití stejnosměrného proudu. Únosnými prostředky je řešitelné použití střídavého proudu, který lze vyrábět o větší i velké intenzitě pomocí jednoduchých a provozně bezpečných stabilních transformátorů. Proto ovládl střídavý proud oblast odporového svařování i přes nevýhodu, jakou je indukčnost.

Přítlačná síla zajišťuje přiblížení svarových ploch, zabezpečuje průchod svařovacího proudu, lokalizuje taveninu v místě budoucího svaru. Po ukončení průchodu proudu zajišťuje přítlačná síla prokování (plastické deformace chladnouceho svaru) a zabezpečuje odvod tepla ze spoje do elektrod.

2. 2. Využití elektrického tepla ke svařování

Podstatou elektrického odporového svařování je soustředění vzniklého elektrického tepla do místa, které se má svařovat. Proto musí mít ohřívané místo co největší odpor a co nejmenší tepelné ztráty. Celkové teplo vyvinuté mezi elektrodami za čas t_s je podle Joulova zákona (1) /1/.

$$Q = \int_0^{t_s} R * I^2 * dt \quad [J] \quad (1)$$

R- celkový činný odpor mezi elektrodami (pracovní odpor) [Ω]

I- proud protékající tímto odporem [A]

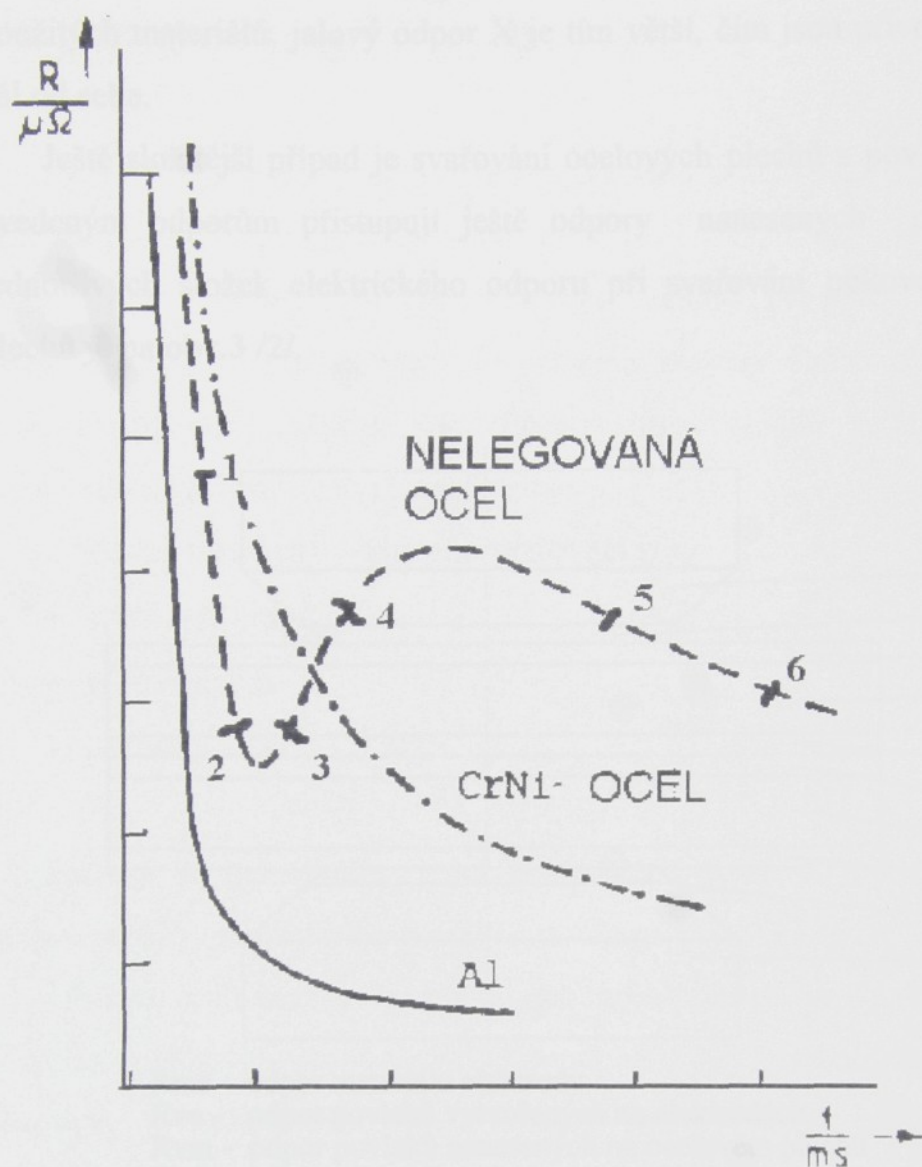
dt- diferenciál času

t_s - svařovací čas [s]

Elektrický odpor a svařovací proud se v průběhu svařovacího cyklu mění (R a I jsou funkce času) /4/. Na **obr.2** jsou naznačeny průběhy dynamických odporů pro některé materiály. Pomocí dynamického odporu se vyjadřuje vztah svařovacího proudu a napětí v průběhu svařování (jejich změny v závislosti na čase). Pro nelegovanou ocel lze na křivce dynamického odporu popsat některé typické body. V bodě 1 dochází k měknutí styku, v bodě 2 k průrazu povrchových vrstev, v bodě 3 k růstu teploty, ve čtvrtém bodu dochází k prvnímu tavení, v bodě 5 k růstu svarové čočky a v bodě 6 k výstřiku.

Odpor materiálu mezi elektrodami závisí na měrném odporu materiálu ρ , který silně roste s teplotou.

Pracovní odpor při bodovém svařování se skládá z kontaktního odporu mezi elektrodami a svařovanými dílci, z vnitřního odporu svařovaných dílců a z kontaktního odporu styku plechů /2/. Všemi složkami pracovního odporu protéká stejný proud. Podíl jednotlivých složek pracovního odporu na celkovém teple, vznikajícím mezi elektrodami, je úměrný jejich velikostem. Vnitřní odpor závisí na geometrickém tvaru cesty proudu, na rozložení proudových linií ve svařovaných součástech a na jejich měrném odporu ρ .



Obr. 2 Dynamický odpor svarku

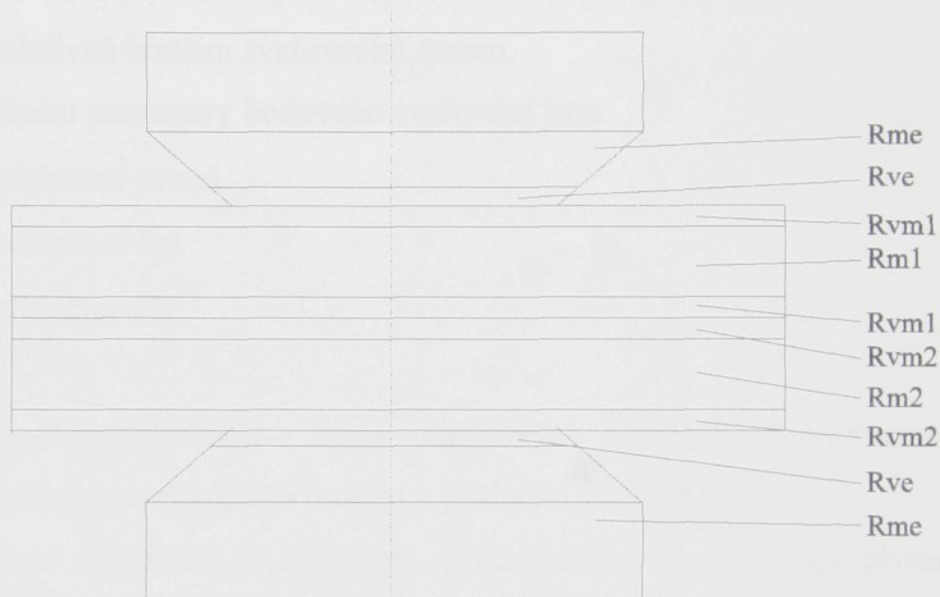
Měrný odpor ρ [$\Omega \cdot m$] je nejvýznamnější vlastnost materiálu při odporovém svařování. Závisí na chemickém složení materiálu, jeho teplotě a v menší míře i na jeho mechanickém a tepelném zpracování. Rozložení proudových linií závisí na geometrickém tvaru svařovaných součástí, na jejich magnetických vlastnostech a na kmitočtu střídavého proudu jimi procházejícího.

Kontaktní odpor vzniká tím, že povrch svařovaných ploch není nikdy absolutně hladký (styk v mnoha malých ploškách), ani kovově čistý (oxidační vrstvy, mastnota ap.).

Přívody proudu do místa svařování musí být co nejkratší a co nejtlustší, aby měly malý činný i jalový odpor. Činný odpor R vyplývá z měrných odporů

použitých materiálů, jalový odpor X je tím větší, čím jsou přívody delší, tenčí a dál od sebe.

Ještě složitější případ je svařování ocelových plechů s povlaky. Zde k výše uvedeným odporům přistupují ještě odpory nanesených povlaků. Přehled jednotlivých složek elektrického odporu při svařování pokovených ocelových plechů je na **obr.3** /2/.



- R_{me} - odpor materiálu elektrody
- R_{ve} - odpor povlaků vytvořených na elektrodách
- R_{vm} - odpor povlaků nanesených na ocelovém plechu
- R_m - odpor ocelového plechu
- $R_{k,ep}$ - kontaktní odpor mezi elektrodou a plechem
- $R_{k,pp}$ - kontaktní odpor mezi svařovanými plechy

Obr. 3 Složky odporu při svařování povlakovaných plechů

2.3. Režimy a pracovní cykly

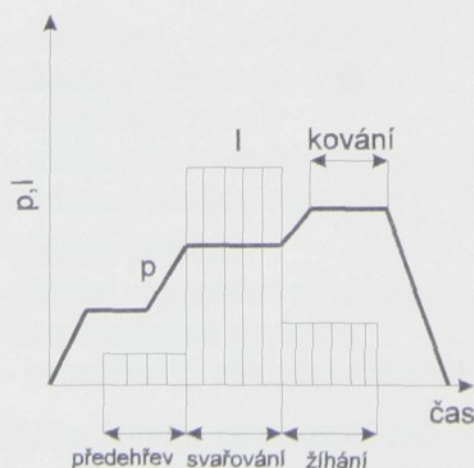
Svařovací parametry odporového svařování jsou operativní veličiny, které přímo působí na jakost svarového spoje [1]. Vzájemná kombinace velikostí svařovacích parametrů je tzv. svařovací režim, přičemž měkký režim je kombinace relativně nižšího proudu a tlaku s relativně delším svařovacím časem; naproti tomu tvrdý režim je kombinace relativně vyššího svařovacího proudu a tlaku s relativně kratším svařovacím časem.

Základní parametry bodového svařování jsou:

- svařovací proud
- svařovací čas
- přítlačná síla

Pomocí programového řízení odporových svářeček lze předem nastavit časové průběhy svařovacího proudu a přítlačné síly, viz **obr. 4**.

Pulzní svařování je svařování, při němž proud neprotéká plynule, ale v několika zvolených intervalech, přičemž se volí i doba průchodu proudu a přestávky v každém intervalu. Pulsace se též může použít při průchodu předehřívacího nebo žíhacího proudu. Řízení svahu proudu je způsob regulace svařovacího proudu, při němž v určitém intervalu svařovací proud buď postupně klesá, anebo stoupá.

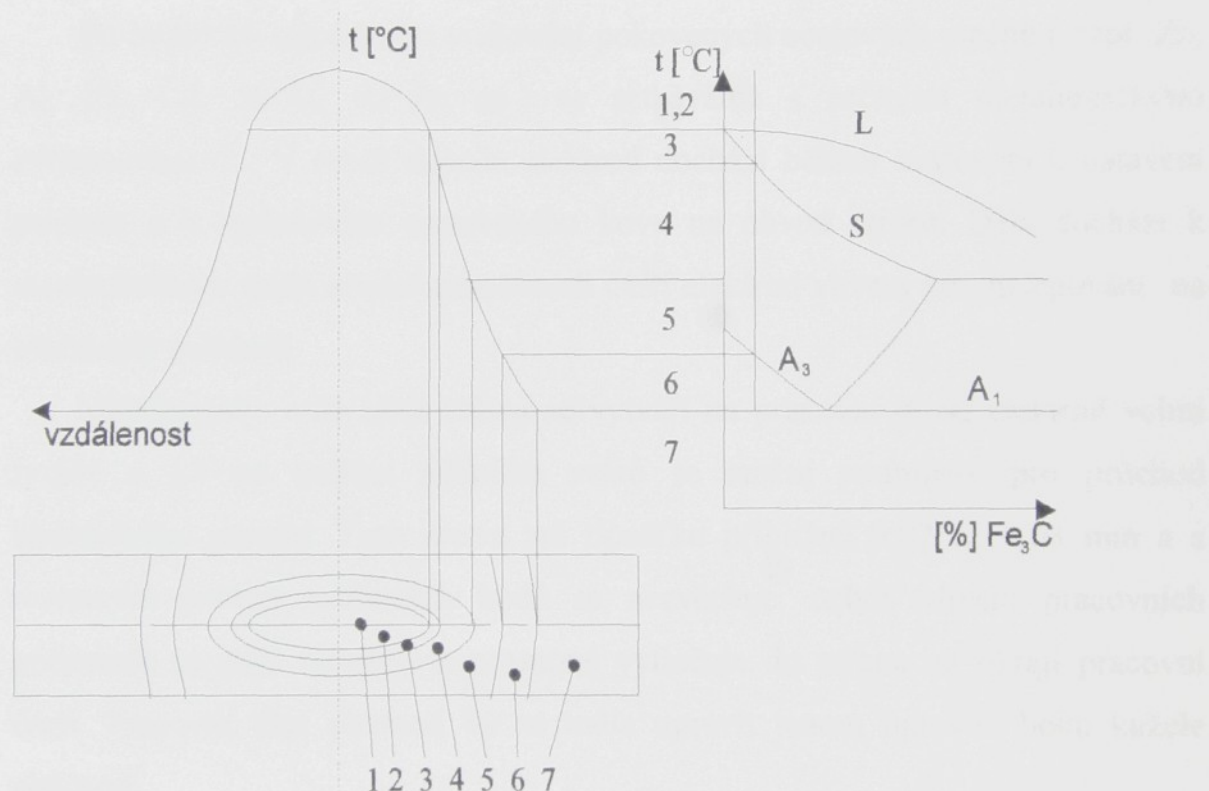


Obr. 4 Průběhy svařovacího programu

2. 4. Metalurgie svaru při bodovém svařování

Svarová čočka vzniká krystalizací svarového kovu spoje vzniklého lokálním natavením základního materiálu.

Z hlediska metalurgického lze vytvořit bodovým svařováním kromě kvalitních tavných svarů také svary difúzní. Typ svaru závisí především na svařovací teplotě. Protože při odporovém svařování dochází k ohřevu velmi rychle, příslušné přeměny na křivkách A_1 a A_3 probíhají při vyšší teplotě než při



- L - likvidus S - solidus
struktura v oblastech:
1 - rovnoosé krystaly
2 - orientované dendritické krystaly
3 - migrace uhlíku, segregace prvků
4 - pásmo přehřátí
5 - žhání - zjemněná struktura
6 - nepřeměněná struktura
7 - neovlivněný základní materiál

Obr. 5 Rozložení teplot ve svarové čočce

pomalém ohřevu. Při rychlém ohřevu nastává růst krystalů při vyšších teplotách a trvá kratší dobu. V oblasti přehřátí nedochází k takovému zhrubnutí zrna jako u jiných způsobů svařování.

Na obr.5 jsou vyznačena pásma ohřátí materiálu při bodovém svařování /3/.

2. 4. 1. Metalurgické zvláštnosti při svařování povlakovaných plechů

Při bodovém odporovém svařování pokovených ocelových plechů (např. Zn, Al, Pb, Cd, Al+Si, Al+Zn ap.) se setkáváme s určitými metalurgickými zvláštnostmi /2/. V místě dosedu elektrod dochází během svařování k natavení povlaku a k vytlačování roztaveného kovu na obvod vtisku. Dále dochází k mechanickému poškození pracovních částí elektrod vlivem tzv. nalepování na svařovaný materiál.

Metalurgicky ovlivněná vrstva se vytváří na pracovní ploše elektrod velmi rychle a již po svaření několika svarů se změní podmínky pro průchod elektrického proudu. Tato vrstva má tloušťku přibližně 0,02 až 0,03 mm a s rostoucím počtem svařených bodů se nezvětšuje, neboť vlivem pracovních podmínek se stále narušuje a postupně vytlačuje do otřepu na okraji pracovní části. Pracovní část elektrod by se měla upravit jenom úpravou boku kužele elektrod.

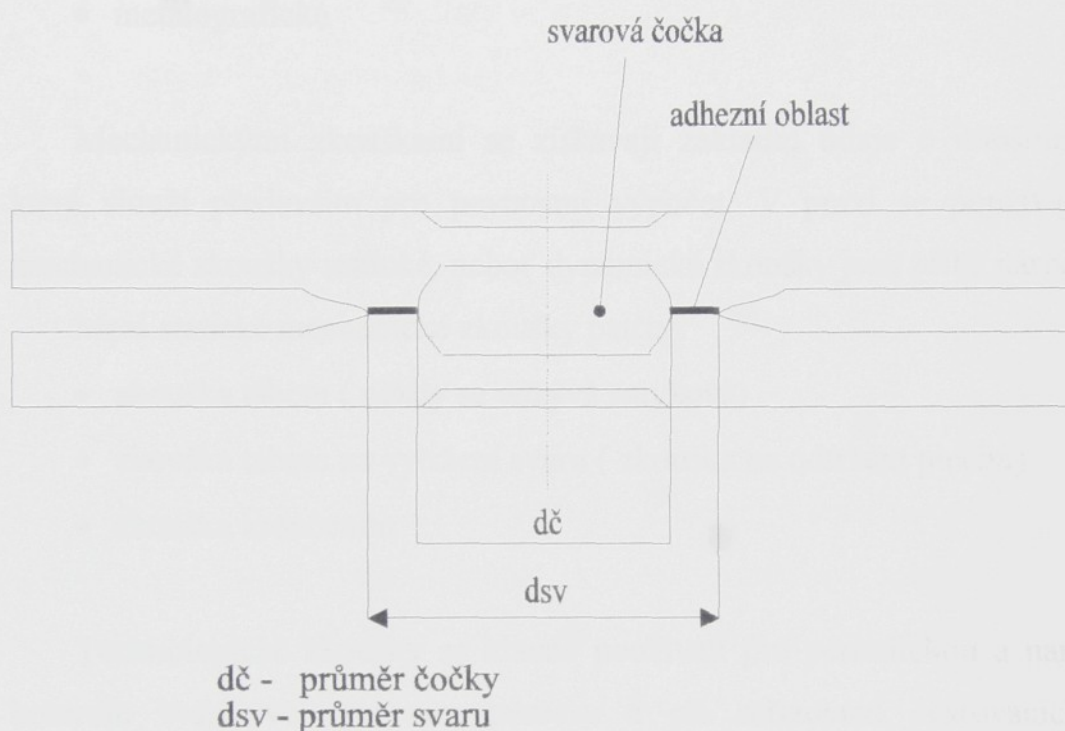
Při svařování ocelových plechů s kovovými povlaky má bodový svar dvě charakteristické oblasti:

- svarovou čočku (tj. oblast ocelového plechu natavenou v průběhu svařovacího procesu)
- oblast přilnutí plechů (tzv. adhezní oblast)

V adhezní oblasti, též nazývané pájená zóna, nedochází k natavení základního materiálu. Roztaví se pouze povlak plechu a tavenina je účinkem

svařovací síly vytlačena. Tato oblast se také podílí na celkové únosnosti svaru. Důležité jsou i plastické vlastnosti adhezní oblasti, neboť zabráněním vzniku trhlin v této oblasti spoje se zabrání i přístupu korozního prostředí k vlastní svarové čočce.

Charakter svaru pokoveného ocelového plechu je nakreslen na **obr.6**.



Obr. 6 Charakter svaru povlakovaného plechu

2. 5. Kvalita svarů a hodnocení jakosti svarů

Kvalitu odporových svarů je nutno posuzovat komplexně v souladu s požadovanými vlastnostmi svarků. Pro hodnocení kvality se musí stanovit vhodná kritéria a pro jejich zjištění vhodné metodické postupy. Kritéria kvality svarových spojů mají umožnit jejich jednoznačnou klasifikaci na **vyhovující a nevyhovující**.

Kvalita bodových svarů se hodnotí různými destruktivními i nedestruktivními zkouškami, které více či méně objektivně postihují výsledný efekt svařovacího procesu. Vhodný rozsah a způsob hodnocení kvality závisí především na účelu prováděných zkoušek a na podmínkách provozu svarků /2/.

2. 5. 1. Destruktivní zkoušky svarů

Destruktivní zkoušky bodových svarových spojů obvykle dělíme na /2/:

- mechanické
- technologické
- metalografické

Mechanickými zkouškami se získávají základní údaje o únosnosti svarů, které slouží především pro pevnostní výpočet. V praxi se používají hlavně mechanické zkoušky statické, neboť dynamické zkoušky jsou příliš náročné.

Mezi statické mechanické zkoušky patří:

- zkouška tahem (někdy se nazývá smyková)
- zkouška tahem na vytržení svaru (zkouška na odtržení plechů)
- zkouška kroucením

Technologické zkoušky se hlavně používají pro periodickou a namátkovou kontrolu svarů ve výrobním procesu a při seřizování svařovacích strojů. Nejdůležitější technologické zkoušky jsou:

- dílenská zkouška sekáčem
- odlupovací zkouška

Předností těchto zkoušek je jednoduchost provedení.

Při metalografickém hodnocení se posuzuje makrostruktura i mikrostruktura svarového spoje a hodnocení poskytuje údaje o:

- strukturní stavbě svarového spoje
- strukturní stavbě teplem ovlivněné oblasti
- charakteru okolní zóny svarové čočky ve styku svařovaných plechů
- homogenitě a celistvosti svaru
- rozměrech a tvaru čočky
- velikosti vtisku elektrod

2. 5. 2. Nedestruktivní zkoušky svarů

Nedestruktivní zkušební metody umožňují posoudit kvalitu svarových spojů bez porušení spoje. Jsou vhodné pro namátkovou i 100%-ní kontrolu svarů. Tyto zkoušky slouží k zjišťování vnějších i vnitřních vad svarů a dělí se na:

- vizuální - optické kontroly povrchu svaru a kapilární metody
- fyzikální - magnetoinduktivní
 - elektroinduktivní
 - akustické a magnetoakustické
 - radiografické
 - ultrazvukové
 - metoda vířivých proudů

Zvláštní postavení mezi metodami nedestruktivního hodnocení bodových svarů mají metody monitorování kvality svaru na základě sledování a vyhodnocování charakteristického průběhu veličin svařovacího procesu. Touto metodou se zabývá následující část této práce.

2. 6. Elektrody pro bodové svařování

Velký význam pro zvýšení produkce, kvality a v neposlední řadě i ekonomičnosti procesu mají elektrody zabezpečující průchod proudu a vzájemný kontakt stroje a svařovaných dílců.

Ideální elektrodový materiál by měl mít tyto vlastnosti /3/:

- vysoká elektrická a tepelná vodivost
- dostatečná mechanická pevnost
- vysoká teplota měknutí
- malá náklonnost k nalegování z povlaků
- velká odolnost proti otěru za vyšších teplot

- dobrá obrobiteľnosť
- nízka cena

Požiadavky na elektrodový materiál vychádzajú z vlastností svařovaného materiálu. Patrný rozdiel v požadovaných prioritných vlastnostiach na elektrodový materiál je medzi svařovaním mäkkého plechu, ktorý vyžaduje vyšší prúdové hustoty, a svařovaním nerez oceli, u ktorej sa kladú veľké nároky na mechanickú odolnosť elektrod.

2. 6. 1. Elektrodové materiály

Výše uvedeným požadovaným vlastnostiam vyhovujú meď, jej slitiny, materiály vyrobené práškovou metalúgiou a niektoré ťažkotavitelné kovy.

Použitelnosť slitinových materiálov meďi vychádza z vzájomnej kombinácie vlastností, a to predovšetkým vodivosti a pevnosti.

Rovnež tvárací pochody môžu meniť vlastnosti elektrod na bázi meďi. Tvárením dochádza k zpevneniu elektrodového materiálu, avšak pôsobenie tepla môže spôsobiť jeho odpevnenie. Tvárením lze zvýšiť tvrdosť elektrod až 2,5 krát.

Pro všeobecné použitie nachádzal predovšetkým elektrodový materiál Cu-Cr (obsah Cr 0,8%) a dnes je to predovšetkým Cu-Cr-Zr a to vzhľadom k priaznivým fyzikálnym vlastnostiam a odporu proti deformáciám pri stredne vysokých tlakoch.

2. 6. 2. Životnost elektrod

V průběhu svařování postupně dochází k opotřebení pracovní části elektrod, a tím se mění podmínky pro vytváření svarových spojů i jejich kvalita. V důsledku elektrického, tepelného, metalurgického a mechanického namáhání se mění vlastnosti (fyzikální i mechanické) a geometrie pracovní části elektrod i celkový stav povrchu pracovní části elektrod /2/.

Definovat jednoznačně pojem životnosti elektrod předpokládá stanovit i jednoznačná kritéria hodnocení kvality svaru. Pro praxi je důležitým údajem při vytváření nosných svarů počet těchto svarů, u kterých dosáhneme vytvoření pravidelné svarové čocky určité minimální velikosti a s dostatečnou únosností. Problematická je právě minimální přípustná velikost svarové čocky /2/.

Pro hodnocení životnosti svařovacích elektrod se používá řada metod /3/:

- po provedení 100 spojů se odebrané vzorky podrobí zkouškám pevnosti, metalografické a technologické zkoušce. Sleduje se užitečná (vytvoření větší svarové čocky než průměr elektrody na počátku) a celková (vytvoření svarové čocky bez omezení) životnost /3/
- sledování počtu svarů do okamžiku, kdy elektroda začne zanechávat v místě dotyku na plech barevné otisky, nebo do začátku lepení elektrod na plech /3/
- zkouška FORD BA 13-1: za předepsaných podmínek se zhotoví 2000 svarových spojů. Každý 250. svar se proměří a nejmenší hodnota naměřená během testu se pokládá za kritérium svařitelnosti /3/
- zkoušky životnosti elektrod prováděné na Katedře strojírenské metalurgie vycházejí ze zkoušky FORD BA 13-1, ovšem vzhledem k možnosti uplatnění náhodných vlivů se po 250-ti svarech hodnotí tři svary. Kritérium životnosti bylo určeno jako 80%-ní hranice z maximální únosnosti svarových spojů dosažených na začátku testu a mezní hranice velikosti průměru svarové čocky empirickým vztahem v závislosti na tloušťce svařovaných plechů. Zkoušku lze provádět i se změnou

svařovacích parametrů v průběhu svařování jako kompenzaci na opotřebení elektrod.

2. 7. Vztahy elektrických veličin u bodového odporového svařování

Mezi elektrické veličiny, které nás zajímají při bodovém odporovém svařování, patří /2/:

- napětí mezi elektrodami
- svařovací proud
- elektrický odpor
- svařovací výkon
- jejich integrály v určitém časovém okamžiku

Experimentální práce potvrdily, že děje probíhající při tvorbě bodového svaru jsou ve vztahu s průběhem tzv. dynamických proudo-napěťových charakteristik. Jejich výpočet se provádí v průběhu každé půlvlny /4/.

Rozeznáváme tři typy proudo-napěťových charakteristik:

- charakteristiky pro maximální hodnoty (odečítají se zvlášť maxima napětí a svařovacího proudu)
- charakteristiky pro efektivní hodnoty
- charakteristiky pro okamžité hodnoty (velikost napětí se odečítá v okamžiku maxima svařovacího proudu)

Vztahy se počítají z maximální hodnoty svařovacího proudu proto, že je zde vyloučen indukční vliv svařovacího proudu (toto platí pro svařování střídavým proudem).

$$\text{V tomto bodě platí : } \frac{dI}{dt} = 0 \quad (2)$$

Při bodovém svařování střídavým proudem dochází k fázovému posunu mezi elektrodovým napětím a svařovacím proudem. Proto dosahují tyto veličiny maximálních hodnot v různých okamžicích. Měřením bylo zjištěno, že největší fázový posun nedosahuje ani 2 % /4/.

U malých svarků můžeme použít proudo-napěťové charakteristiky sestavené z maximálních nebo efektivních hodnot. U velkých svarků by se mělo použít okamžitých proudo-napěťových charakteristik s ohledem na indukčnost svarku. V literatuře /4/ se hodnotí jako malý svarek plech o rozměrech: délka 1000 mm, šířka 40 mm a tloušťka 1mm.

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2., odpor svarku je funkcí času, protože závisí na teplotě. Odpor svarku má nelineární charakter, a proto se dá popsat jenom s pomocí proudo-napěťových charakteristik. Proto také rozeznáváme tři typy odporů svarku:

- extrémní hodnota odporu

$$R_v(t_k) = \frac{u_v(t_k)}{i_v(t_k)} \quad (3)$$

R_v - maximální (dynamický) odpor

u_v - maximální hodnota elektrodového napětí

i_v - maximální hodnota svařovacího proudu

t_k - časový okamžik maximální hodnoty proudu i_v

t_k - časový okamžik maximální hodnoty napětí u_v

k - index půlperrody

v - index průběhu efektivního svařovacího proudu

- efektivní hodnota odporu

$$R_v(k) = U_v(k) / I_v(k) \quad (4)$$

U_v - efektivní hodnota napětí

$$U_v = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (5)$$

T - časová hodnota jedné půlperrody (při frekvenci

50 Hz je $T=0,01$ s)

I_v - efektivní hodnota proudu

$$I_v = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (6)$$

- okamžitá hodnota odporu

$$R_v(t_k) = |u_v(t_k)| / |i_v(t_k)| \quad (7)$$

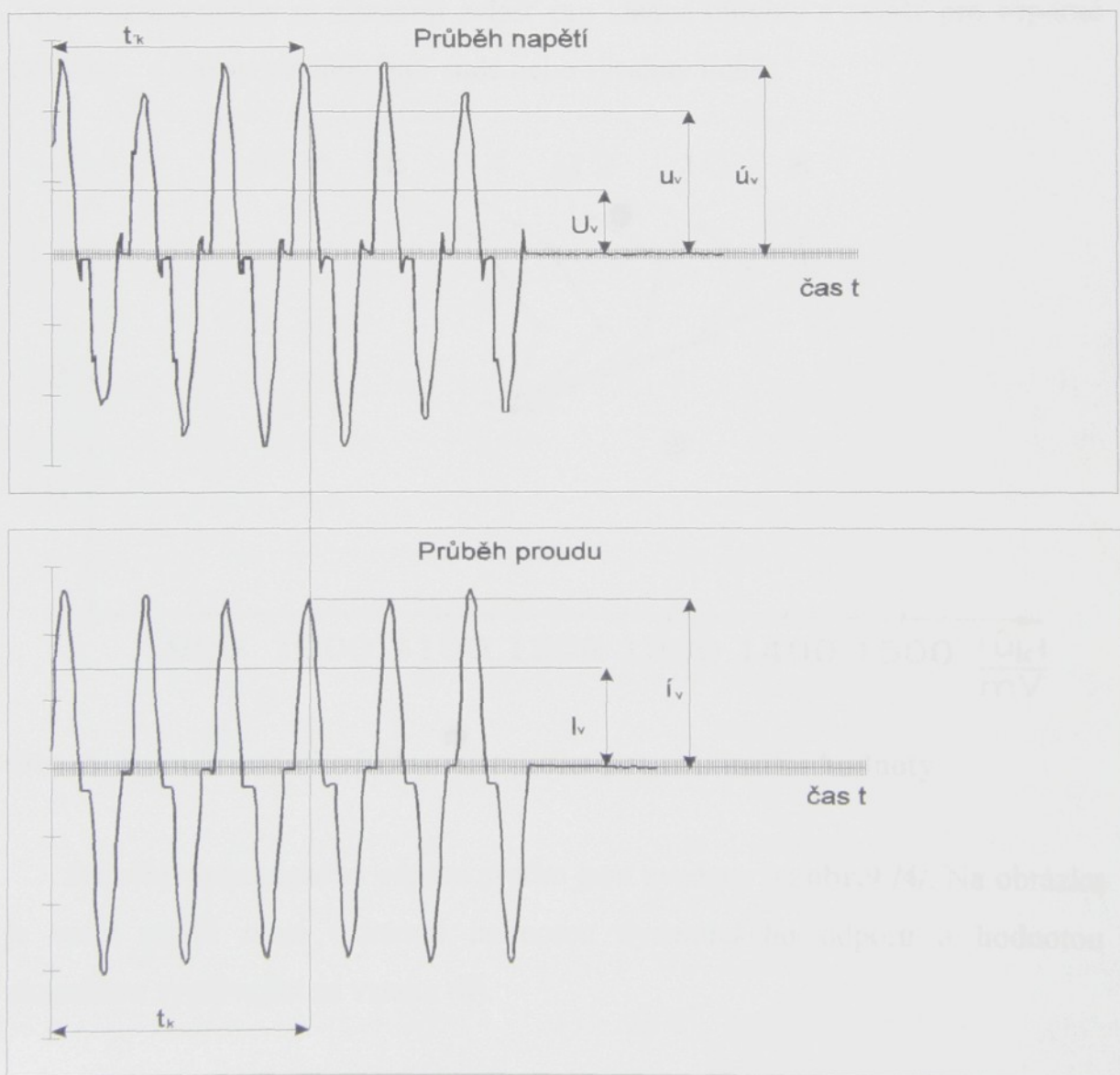
u_v - okamžitá hodnota napětí

i_v - maximální hodnota svařovacího proudu

t_k - časový okamžik maximální hodnoty proudu i_v

Pro velikosti jednotlivých odporů platí:

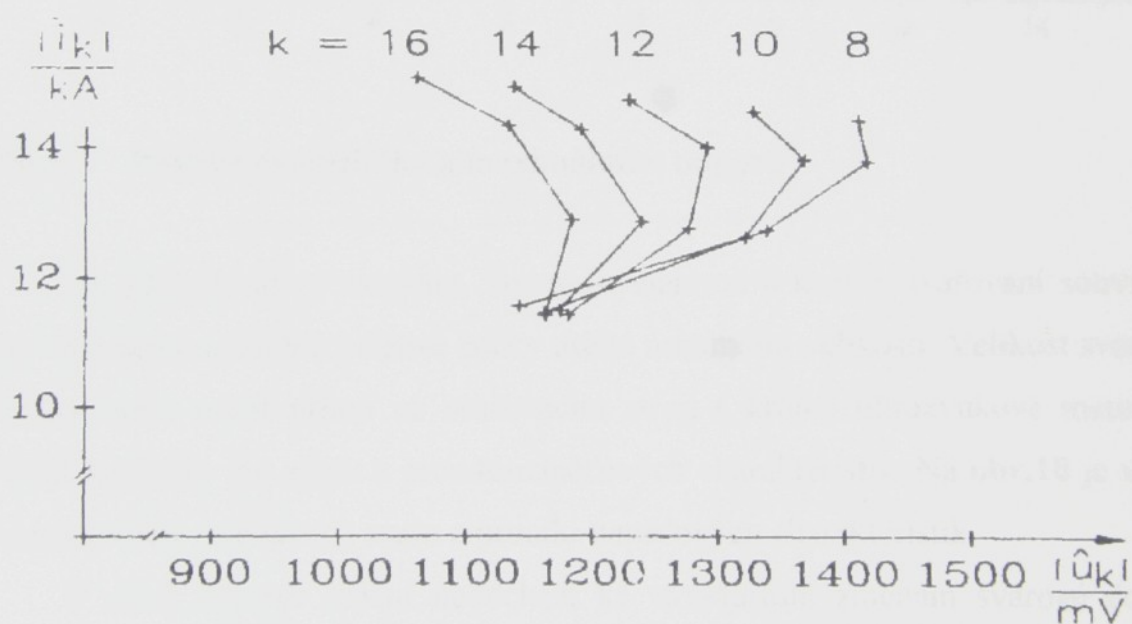
$$R_v(t_k) \geq R_v(t_k) \quad (8)$$



Obr. 7 Schématický průběh napětí a proudu s vyznačením měřených veličin

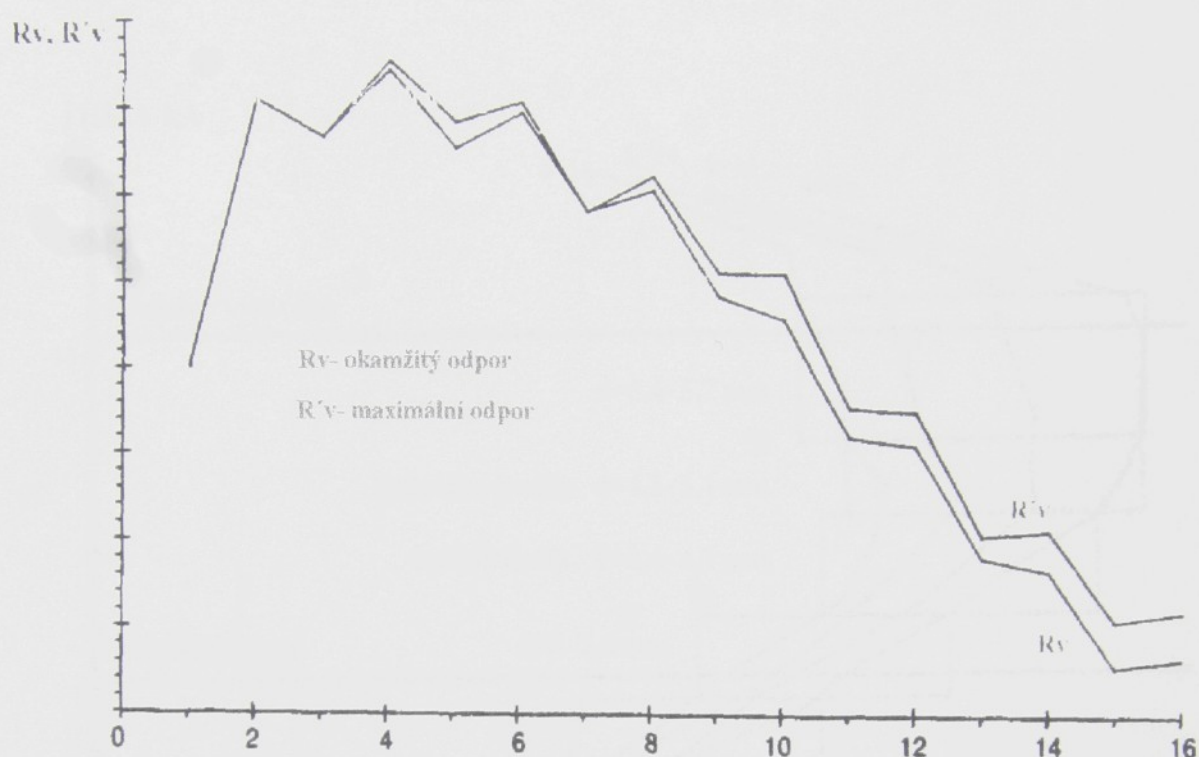
Měření dynamických odporů lze v praxi uskutečnit jenom s pomocí oscilografu, popř. PC vybaveného modulem paměťového osciloskopu. Po naměření příslušných průběhů svařovacího proudu a elektrodového napětí se odečtou, popřípadě vypočítají všechny potřebné hodnoty (i_v , u_v , U_v , I_v , u_v , R_v , R_{v_1} , R_{v_2}). Příklad naměřeného průběhu svařovacího proudu a elektrodového napětí s vyznačením odečítaných hodnot je uveden na **obr.7**.

Příklad průběhu proudu-napětíové charakteristiky pro maximální hodnoty je uveden na **obr.8** /4/. Na vodorovnou osu se vynášejí maximální hodnoty elektrodového napětí a na svislou osu se nanášejí maxima svařovacího proudu. Tyto charakteristiky se sestavují zvlášť pro kladné půlvlny a zvlášť pro záporné průběhy (k jsou všechny buď sudé nebo všechny liché).



Obr. 8 Proudonoapětíová charakteristika pro maximální hodnoty

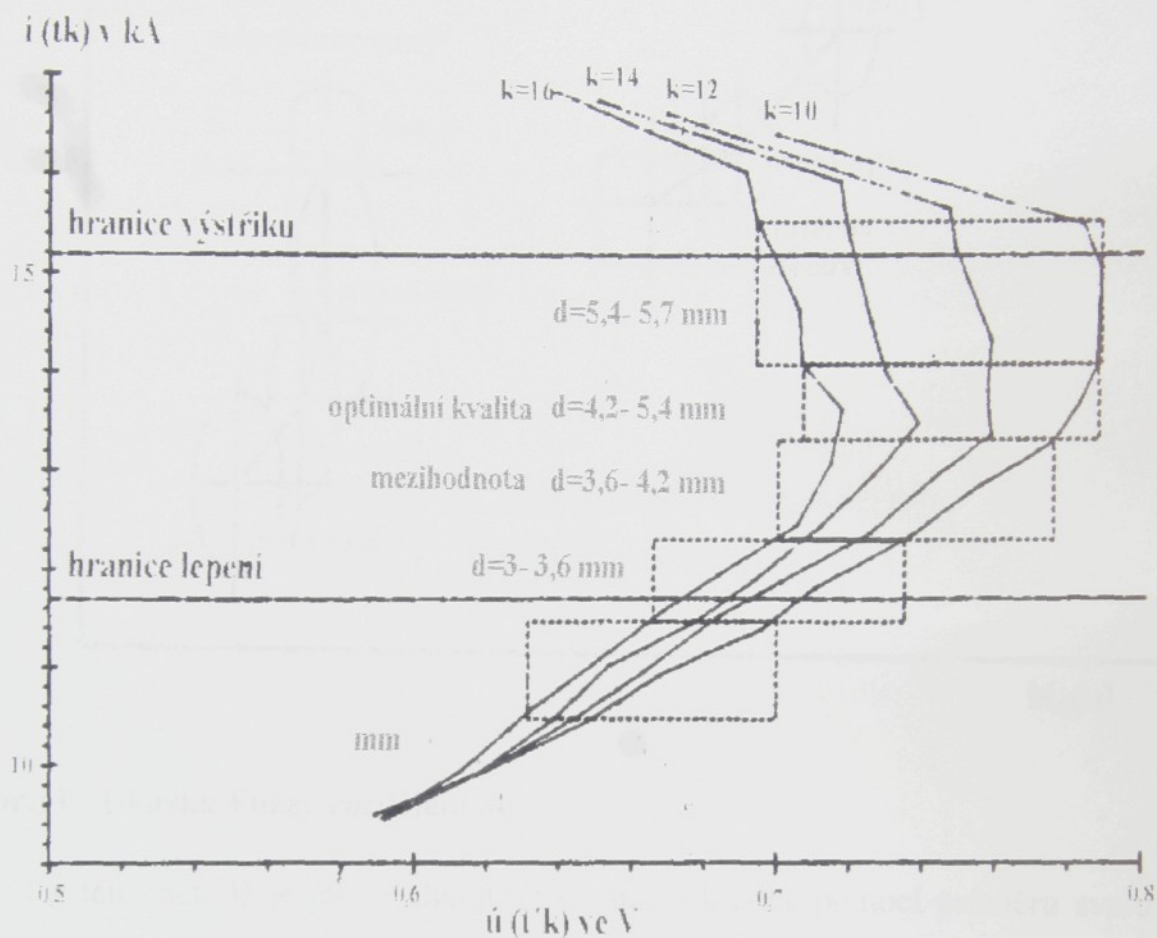
Průběhy dynamického odporu svaru jsou uvedeny na **obr.9** /4/. Na obrázku je vidět rozdíl mezi extrémní hodnotou dynamického odporu a hodnotou okamžitou vyplývající ze vztahu (8).



Obr. 9 Průběh okamžitého a maximálního odporu

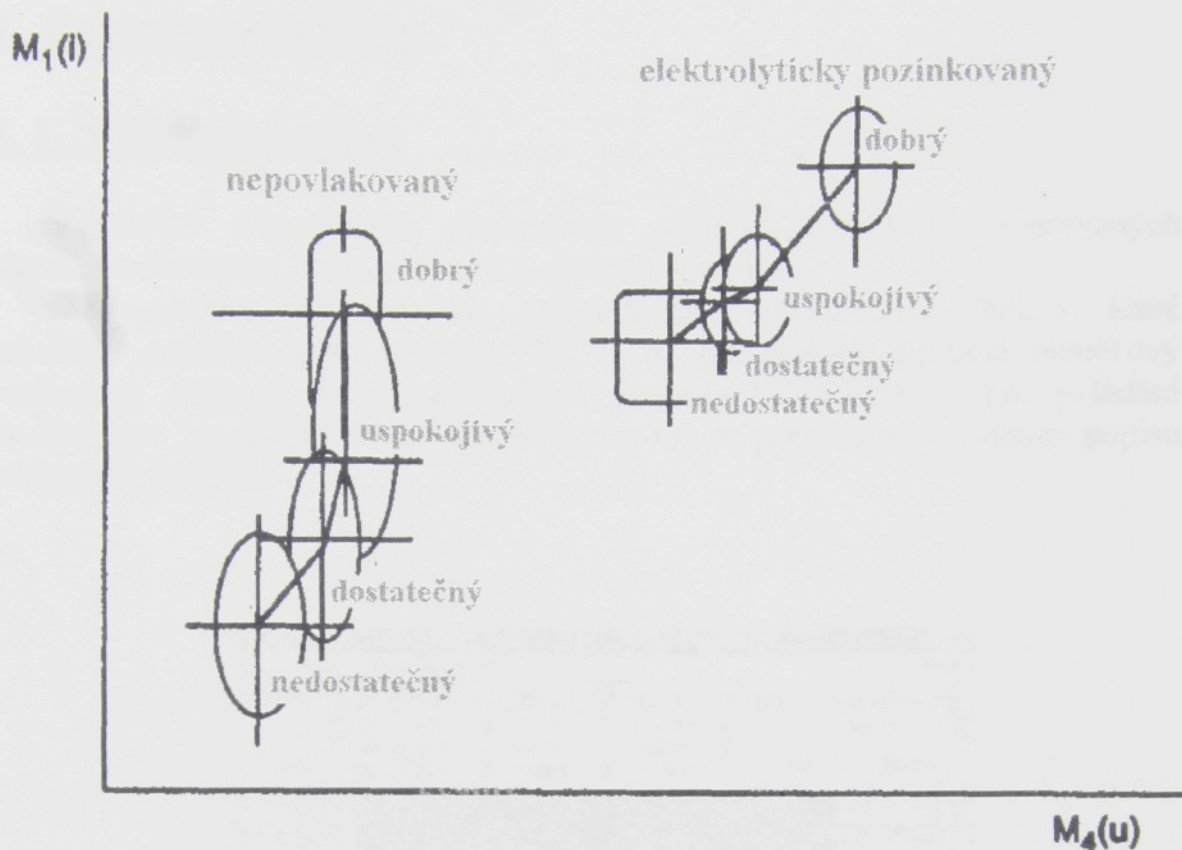
Jak již bylo dříve uvedeno, životnost elektrod a kvalita svařování souvisí s vytvořením pravidelné svarové čocky určité minimální velikosti. Velikost svarové čocky nelze měřit přímo ve svařovacím stroji (kromě ultrazvukové metody). Velikost čocky lze zjistit z proudu-napětových charakteristik. Na **obr.10** je vidět vztah kvality (velikosti) svaru a proudu-napětových charakteristik.

V okolí hranice lepení nedochází ke strukturním změnám svarové čocky vlivem nepatrného vývinu tepla. V tomto úseku má charakteristika přibližně lineární tvar a jednotlivé charakteristiky leží blízko u sebe. Zcela jinak vypadají závislosti při vyšším proudu, zde je patrné nelineární chování charakteristik. Ty se od sebe odchýlí a částečně zakříví. Tato situace dokazuje velké strukturní změny uvnitř plechu, které vedou k natavení plechu. Zde se teprve utváří svarová čocka. Při zvýšení intenzity proudu nejprve napětí stagnuje a potom se dokonce snižuje. Toto platí pro $k > 8$ [4]. Zde se dá jednoznačně přiřadit velikost svarové čocky, která zaručuje kvalitu svaru.



Obr.10 Závislost velikosti svaru a proudo-napět'ových charakteristik

Jinou možností pro zjišťování kvality svarů je hodnocení pomocí Fuzzy rozdělení. Tato logika řeší úlohy na základě nejistých nebo přibližných informací. Podstatou Fuzzy logiky je to, že jsou členům neurčité množiny přiřazeny stupně příslušnosti μ , vyjadřující to, nakolik je prvek členem množiny. Stupeň nabývá hodnoty z intervalu $[0,1]$. Prvek se stupněm příslušnosti 0 není členem a prvek se stupněm 1 je plným členem množiny.



Obr.11 Ukázka Fuzzy rozdělení /4/

I v této metodě je jakost charakterizována výhradně pomocí průměru svaru d_p . Zde je možnost velké množství svarů částečně rozdělit. Pomocí speciálního softwaru FUCS /4/ jsou odděleny jednotlivé časové průběhy svařovacího proudu a elektrodového napětí, kterým jsou přiřazeny znaky $M_1(i)$ a $M_4(u)$. Pomocí určité funkce jsou definovány jednotlivé třídy kvality. Při tomto rozdělení se svary nedělí na dobré a špatné, ale na dobré, uspokojivé, dostatečné a nedostatečné. Tento způsob rozdělení je bližší lidskému rozhodování. Na **obr.11** jsou jednotlivé třídy kvality znázorněné pomocí vrstevnic /4/.

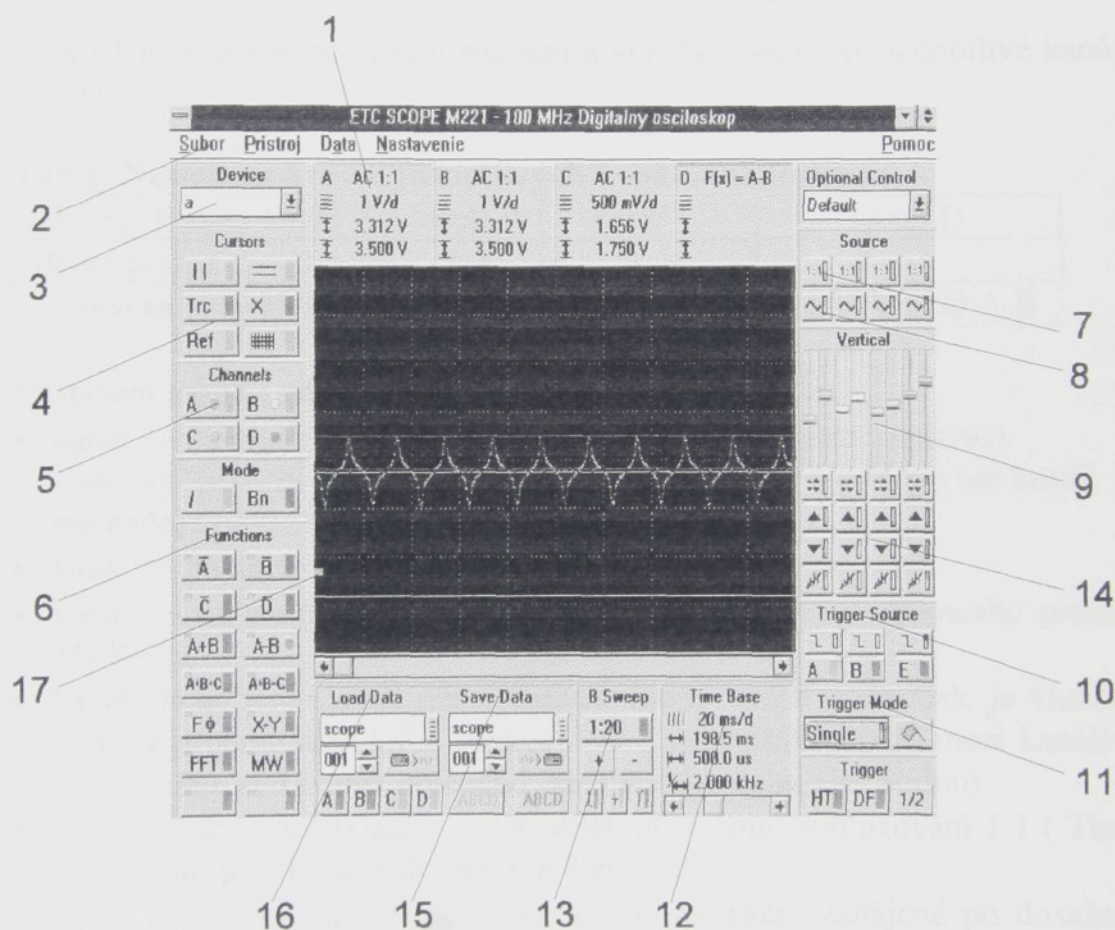
Nevýhodou těchto metod je, že se výsledky mění se změnou rozměrů a geometrie svarku, tak i se změnou opotřebení elektrod.

3. Experimentální část

3.1. Přípravné práce

Vlastnímu experimentu předcházela příprava pracoviště, svařovaných plechů, svařovacího stroje, elektrod a osobního počítače.

Do osobního počítače byly nainstalovány dva moduly EM221, které umožňují používat takto upravené PC jako čtyřkanálový digitální paměťový osciloskop. Dále je nutné nainstalovat program SCOPE-M221 pro ovládání osciloskopu. Na obr.12 je ukázka obrazovky tohoto programu s uvedením popisu základních funkcí.



Obr.12 Vzhled obrazovky programu SCOPE M221

Legenda obrazovky:

1. údaje o vertikální ose pro kanály A, B, C, D
2. hlavní menu
3. nastavení aktuálního přístroje (volba dvou- nebo čtyř- kanálového osciloskopu)
4. nastavení zobrazování vertikálních a horizontálních kurzorů, mřížky a referenčního kurzoru
5. zapnutí/ vypnutí zobrazování kanálů A, B, C, D
6. ovládání funkcí

7. přepínání konstanty sondy (1:1, 1:10)
8. přepínání střídavého a stejnosměrného průběhu signálu
9. ovládání vertikálního posunu pro každý kanál zvlášť
10. volba typu spouštěcího signálu (kanál A, B nebo externí signál)
11. ovládání spouštění (automatické, manuální, ...)
12. ovládání časové základny osciloskopu (prodlužování a zkracování měřené doby)
13. ovládání výřezu zobrazovaných dat (1:1, ..., 1:20)
14. přepínání vertikálních rozsahů kanálů A, B, C, D (např. 1V/d)
15. ovládání zápisu dat do souboru
16. ovládání načítání dat ze souboru
17. nastavení úrovně spouštěcího signálu

V **tab.1** je uvedeno nastavení rozsahů a konstant sond pro jednotlivé kanály A, B, C, D.

Tab.1 Nastavení úrovní jednotlivých kanálů osciloskopu

veličina/ kanál	kanál A	kanál B	kanál C	kanál D
dělicí poměr	1:1	1:1	1:1	-
rozsah	1V/dílek	1V/dílek	500mV/dílek	rozdíl kanálů A,B

Nastavení a popis některých dalších prvků:

- kanál A- na tento kanál je připojen stíněný kabel z horní elektrody bodovky pomocí BNC konektoru (měří potenciál elektrody vůči kostře počítače)
- kanál B- na tento kanál je připojena dolní elektroda
- kanál C- na tento kanál je připojen výstup z měřiče svařovacího proudu MZP-201
- kanál D- na tento kanál není připojen žádný vnější vstup, zde je vložena pomocí programu SCORE funkce A-B (vypočítává rozdíl mezi kanálem A a B, a tak získáváme potenciál mezi horní a dolní elektrodou)
- nastavení časové-základny 20ms/dílek při režimu zobrazování 1:1 (Time Base) platí pro dobu svařování 6 a 8 period
- režim spouštění- nastaveno jednorázové spouštění zahájené po dosažení synchronizační podmínky (Trigger Mode- Single)
- ovládání spouštění- spouštění od kanálu A na sestupnou hranu, úroveň spouštění nastavena na cca 1V (Trigger Source)
- referenční kurzor- nastavit na libovolnou hodnotu (k této hodnotě jsou vztažené zobrazované hodnoty jednotlivých kanálů)
- digitální stínění- používat ve vypnutém stavu
- měření před synchronizační událostí- používat ve vypnutém stavu
- nastavení osciloskopu- nutno nastavit přístroj jako čtyřkanálový (hlavní menu- přístroj)

Před zahájením měření je nutné provést test funkčnosti osciloskopu a měřicích sond. Popis tohoto testu je uveden v manuálu osciloskopu na str.16 /7/.

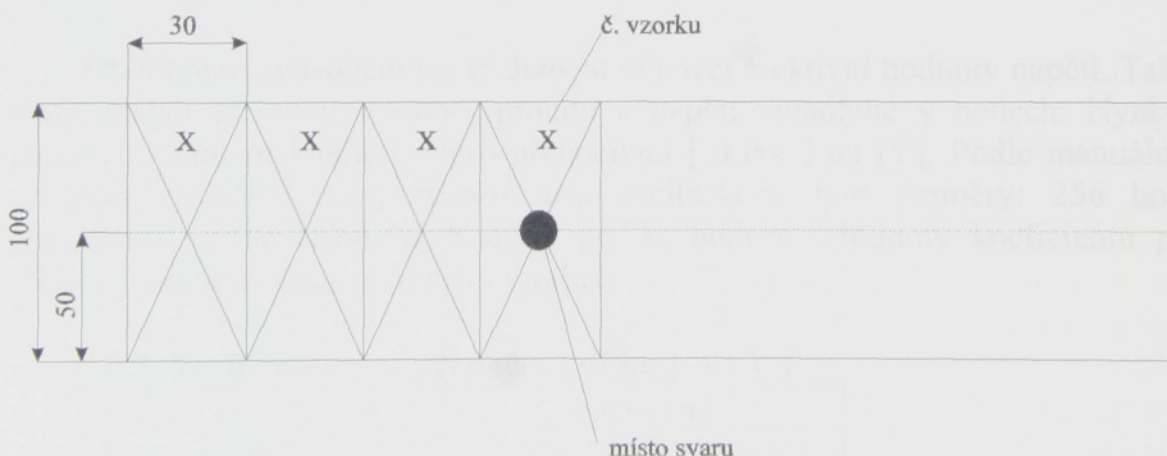
Odečítání jednotlivých hodnot z obrazovky osciloskopu se provádí následovně. Po zobrazení měřených průběhů na obrazovku si přesunu (pomocí myši) červený horizontální kurzor na měřené místo a v údajích o vertikální ose pro daný kanál (viz. obr.12, pozice 1) se zobrazí velikost měřeného signálu vzhledem k referenčnímu kurzoru (bílý). Toto je relativní hodnota. Skutečnou hodnotu získáme tak, že zjistíme velikost signálu po ukončení svařovacího času vzhledem k referenčnímu kurzoru a tyto hodnoty od sebe odečteme.

Činná část elektrod byla pomocí soustruhu upravena na tyto hodnoty:

- průměr dosedací plochy- 5mm
- úhel seříznutého kužele- 60°

U každé elektrody byla před a po skončení svařování změřena její délka a zapsána do tabulky. Demontáž elektrod se provádí pomocí rozpěrného kroužku a matice, která se našroubuje na elektrodu.

Příprava vybraných svařovaných plechů spočívala v rozstříhání tabulí pohliníkováného plechu na pásy pomocí tabulových nůžek, následovalo odmaštění pásů acetonem a zkušební pásy byly opatřeny č. vzorku, které bylo na ně vyraženo pomocí raznic. Plechy pro vzorky na vyhodnocování zkouškou tahem mají rozměr 100x1000mm **obr.13**. Pásy o rozměru 30x1000mm byly určeny ke zhotovení svarů mezi jednotlivými sériemi zkušebních vzorků. Tyto plechy nebyly značeny a nevyhodnocovaly se.



Obr. 13 Plech pro vzorky na zkoušku tahem

Příprava pracoviště zahrnovala osazení stroje elektrodami, nastavení svařovacích parametrů, přípravu přístrojového vybavení a nastavení průtoku chladicí kapaliny. Z přístrojového vybavení se kromě PC se musel zapojit měřič svařovacího proudu VÚZ MZP 201. Zde stojí za zmínku instalace toroidního snímače na spodní rameno bodovky.

3. 2. Kalibrace osciloskopu

Kalibraci bylo nutné provést pro přepočítání velikosti svařovacího proudu. Jelikož osciloskop změřil velikost proudu ve [V], tak je nutné tuto hodnotu přepočítat na [kA]. Dále je nutné zjistit koeficienty pro převod: [dílek] $\rightarrow$ [V], protože výstup z programu SCOPE realizovaný přes clipboard (schránka) má výstupní rozměr [dílek].

Nejprve je nutné vysvětlit postup výpočtu efektivních hodnot svařovacího proudu a napětí.

Efektivní hodnoty se vypočítaly pomocí programu EXCEL, kam byly data exportovány z programu SCOPE. Program SCOPE zaznamenává pro každý kanál 400 bodů z celého rozsahu. V našem případě stačilo exportovat přes clipboard hodnoty z kanálů C a D. Po načtení dat do EXCELU je třeba určit nulové hodnoty pro jednotlivé kanály. Tyto hodnoty lze stanovit z hodnot následujících po poslední půlperiodě pomocí střední hodnoty. Takto obdržíme dvě nulové hodnoty (jednu pro kanál C, druhou pro kanál D). Tyto nulové hodnoty je třeba odečíst od exportovaných dat, a tak získáme kladné a záporné půlperiody, u kterých je zapotřebí stanovit efektivní hodnotu (pro každou půlperiodu zvlášť). Efektivní hodnotu lze realizovat pomocí vztahu:

$$I_{\text{EFEKT}} = \frac{\sum (i_{n-1} + i_n) * t}{T} \quad [\text{dílek}] \quad (9)$$

i_{n-1}, i_n - jednotlivé okamžité hodnoty proudů [dílek]

t - doba mezi dvěma následujícími hodnotami proudu, $t = 0,0005 \text{ s}$

T - doba jedné půlperiody, $T = 0,01 \text{ s}$

Obdobným způsobem lze realizovat výpočet efektivní hodnoty napětí. Takto jsme dostali efektivní hodnoty proudu a napětí vyjádřené v bodech. Nyní je zapotřebí stanovit koeficient pro přepočítání [dílků] na [V]. Podle manuálu k programu SCOPE má vertikální osa osciloskopu tyto rozměry: 256 bodů obrazovky je rozděleno na 8 dílků po 32 bodech. Hodnoty koeficientů pro efektivní hodnoty jsou stanoveny v **tab.2**.

tab.2. koeficienty pro přepočítání [dílků] $\rightarrow$ [V]

veličina	rozsah	koeficient
I_{EFEKT}	500mV/dílek	1dílek $\cong 0,015625 \text{ V}$
U_{EFEKT}	1V/dílek	1dílek $\cong 0,03125 \text{ V}$

V dalším kroku je třeba stanovit přepočtový koeficient pro určení velikosti svařovacího proudu v [kA] namísto [dílek]. Toto lze realizovat pomocí měřiče svařovacího proudu VÚZ MZP-201, nastaveného pro měření efektivního proudu a bodovky s nastaveným svařovacím časem 1 perioda. Měřič VÚZ MZP-201 zaznamená větší efektivní hodnotu proudu ze dvou půlperiod. Dále je nutné stanovit efektivní hodnotu proudu pomocí digitálního osciloskopu (výše uvedený

postup). Z těchto dvou hodnot stanovíme koeficient. Kvůli přesnosti několikrát opakujeme toto měření viz **tab.3**.

tab.3. Stanovení koeficientu [dílek] → [A]

č. měření	I_{EFEKT} MZP-201 [A]	I_{EFEKT} vypočtené [díky]	výkon stroje [%]	koeficient
1	7200	24	50	300
2	7600	25,4	53	299,21
3	8000	26,9	56	297,4
4	8600	28,4	59	302,82
5	9000	30,4	62	296,1
				střední hodnota je 299

Přepočtový koeficient pro svařovací proud vyjádření ve [V] je roven podílu výše uvedených koeficientů (299/0,015625), tzn. že $1V \cong 19136A$.

3.3. Postup měření

Prvních deset svarů bylo provedeno pro ustálení průchodu svařovacího proudu. U těchto svarů byly do tabulky zaznamenávány tyto údaje:

- efektivní hodnota svařovacího proudu z měřiče VÚZ MZP-201
- svařovací čas [perioda] z měřiče VÚZ MZP-201
- poznámka- např. došlo-li k výstřiku nebo k lepení elektrod
- počet provedených svarů

Jelikož se tyto svary nevyhodnocovaly, prováděly se na plechy o rozměru 30x1000 mm. V průběhu svařování těchto deseti svarů se optimalizovaly svařovací podmínky, a to jak velikost svařovacího proudu, tak i svařovací doba.

Jedenáctý, dvanáctý a třináctý svar byly již zkušební a proto se prováděly na plechy o rozměru 100x1000 mm, přičemž úplně první svar se nevyhodnocoval (neměl přiřazené žádné číslo), protože byl proveden za jiných podmínek než ostatní svary na téže pásu (svařovací proud nemohl procházet předcházejícími svary). I zde byly do tabulky zaznamenávány hodnoty jako u prvních deseti svarů. Navíc se zde už provádělo měření na osciloskopu. Nejprve byly pomocí clipboardu uloženy hodnoty kanálu C a D. Potom se již odečítaly maximální hodnoty svařovacího proudu, napětí a okamžité hodnoty napětí pro jednotlivé půlvlny. Toto odečítání je třeba provádět při zobrazení 1:20 (B Sweep), protože při jiném zobrazení se několik bodů zobrazuje jako jeden a tím dochází k nepřesnostem. Velikost jednotlivých veličin se zobrazuje v údajích o jednotlivých kanálech. Odečtené hodnoty se zapíší do tabulky. Tyto hodnoty je poté nutné zanést do PC, kde se pomocí programu EXCEL dále zpracují.

Následující postup byl takový, že po deseti, padesáti, stu, dvoustěpadesáti a dále po každých dvěšestpadesáti svarech se tři svary vyhodnocovaly dle výše

uvedeného postupu. Na plechy, které se nevyhodnocovaly bylo nabodováno cca 250 svarů. Měření bylo ukončeno po dosažení jednoho tisíce svarů.

Po ukončení svařování byla zjištěna konečná délka svařovacích elektrod, která byla také zanesena do tabulky.

Svařené pásy (určené k dalšímu vyhodnocení) byly podrobeny následujícím operacím: rozstříhány na jednotlivé vzorky, provrtány a začištěny kvůli uchycení na trhačce, pomocí speciálního přípravku ohnuty do tvaru U a následně opět začištěny otvory z vnějšku.

Tahová zkouška se prováděla na trhačím stroji FM 1000. Řádně upnuté vzorky byly zatěžovány až do porušení svaru, tj. do okamžiku vytržení svarové čočky z plechu nebo porušení adhezního spoje. Získaná síla byla opět zaznamenána.

Rozměry svarových čoček byly měřeny na Abbého komparátoru. Průměr čočky byl změřen ve dvou navzájem kolmých směrech a aritmetický průměr z těchto dvou hodnot byl zapsán do tabulky.

3. 4. Metodika hodnocení experimentu

Při experimentu byly provedeny dvě měření s vyhodnocením, jedno kompletní vyhodnocení již dříve naměřených hodnot a tři částečná vyhodnocení dříve naměřených hodnot. Pro obě měření byly nastaveny tyto svařovací parametry:

- svařovací síla- 2250N
- kadence svarů- cca 20 min⁻¹
- průtok chladicí kapaliny- cca 4 l.min⁻¹
- doba kování- 10 period
- doba 1. přitlaku- 10 period
- doba hlavního přitlaku- 20 period

Svařovací čas a svařovací proud jsou uvedeny v tab.4.

tab.4. Nastavení svařovacího stroje pro jednotlivá měření

č. měření / veličina	svařovací čas [periody]	svařovací proud [%]
měření 1	6	60
měření 2	8	53

Měření č. 1-5 pohliníkováný plech: od fy Thyssen typ fal 1, tloušťka 0,8 mm

Měření č. 6 plech s povlakem Al-Zn:od fy Coceril typ Galvalume, tl. 0,8 mm

Jako metoda pro zjišťování životnosti elektrod byla zvolena metoda vycházející ze zkoušky FORD BA 13-1, která je popsána v kapitole 2.6.2. Metoda plně určuje hranice, do kterých lze spoj považovat za vyhovující. Tato mezní hranice je určena:

- 80% hodnota maximální únosnosti svarového spoje dosaženého na začátku testu. To znamená 80% z aritmetického průměru maximální únosnosti první série vzorků (tj. přibližně 12., 13. a 14. svar)
- minimální velikost průměru svaru dána vztahem:

$$D_{\text{SVARU}} = \text{konst} \cdot \sqrt{s} \quad (10)$$

s- tloušťka plechu- v našem případě je $s=0,8\text{mm}$

konst= 5, konstanta je zvolena dle práce [2/

výslednou hodnotu snížíme o 10%, $D_{\text{SVARU}} = 4 \text{ mm}$

Pro záznam údajů o měření a naměřených hodnotách byly vytvořeny tabulky, které obsahují následující údaje:

- údaje o elektrodách: počáteční a konečná délka, úhel, průměr a číslo elektrody
- údaje o plechu: druh a tloušťka plechu
- číslo vzorku
- počet zhotovených svarů
- svařovací parametry: svařovací proud a čas
- rozměry svarů: průměry ve dvou na sebe kolmých směrech a aritmetický průměr
- únosnost svarů
- elektrické veličiny: maximální proud a napětí, okamžité napětí
- poznámka

Počtení vyhodnocení měření se skládalo z výpočtu maximálního, okamžitého a efektivního odporu pro každou půlperiodu. Dále bylo nutné provést přepočty:

- [dílek] $\rightarrow$ [V]
- [dílek] $\rightarrow$ [kA]
- [V] $\rightarrow$ [kA]

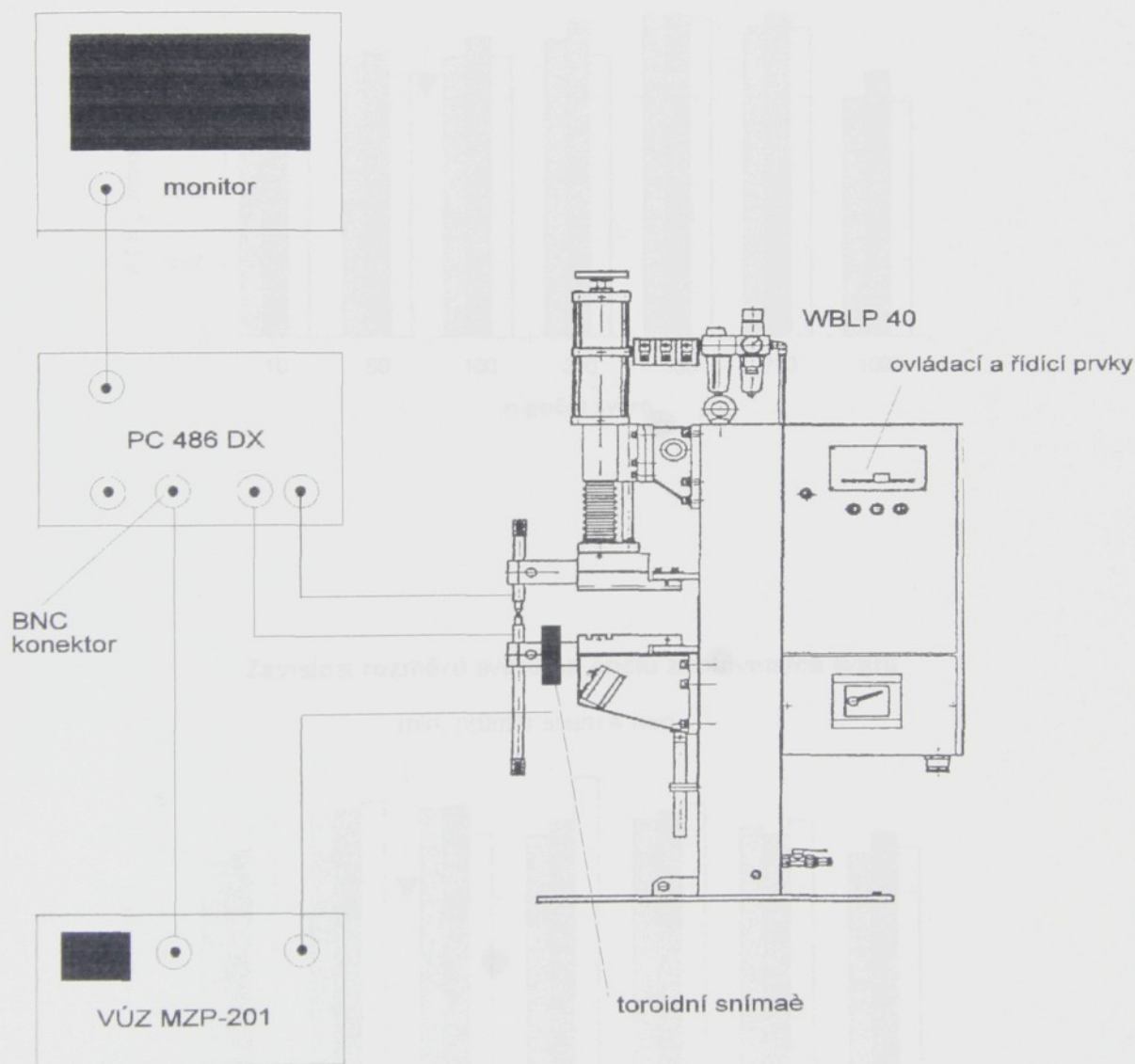
Grafické vyhodnocení měření se skládalo ze sestavení těchto grafů:

- sestavení průběhů maximálního, okamžitého a efektivního napětí, maximálního a efektivního proudu a maximálního, okamžitého a efektivního odporu v závislosti na čase. Vždy se sestavoval jeden průběh jako aritmetický průměr ze tří vzorků. Tyto grafy byly sestavovány jenom pro obě mnou provedené měření a pro jedno již dříve provedené měření
- sestavení závislosti změny polohy svařovacího proudu a napětí na opotřebení elektrod
- sestavení závislosti maximální únosnosti svarů na počtu provedených svarů. V grafu je vyznačena hranice vyhovujícího svaru.
- sestavení grafů závislosti velikosti svarů na počtu provedených svarů. Zde je vyznačena hranice minimálního průměru svaru

3. 5. Použitá zařízení

V průběhu experimentu byla použita tato zařízení:

- bodový odporový svařovací stroj WBLP 40
- měřič svařovacího proudu a času VÚZ MZP-201
- PC 486 DX s vestavěným digitálním paměťovým osciloskopem M221
- trhací stroj FM 1000
- Abbého komparátor - optický přístroj pro měření průměrů svarů



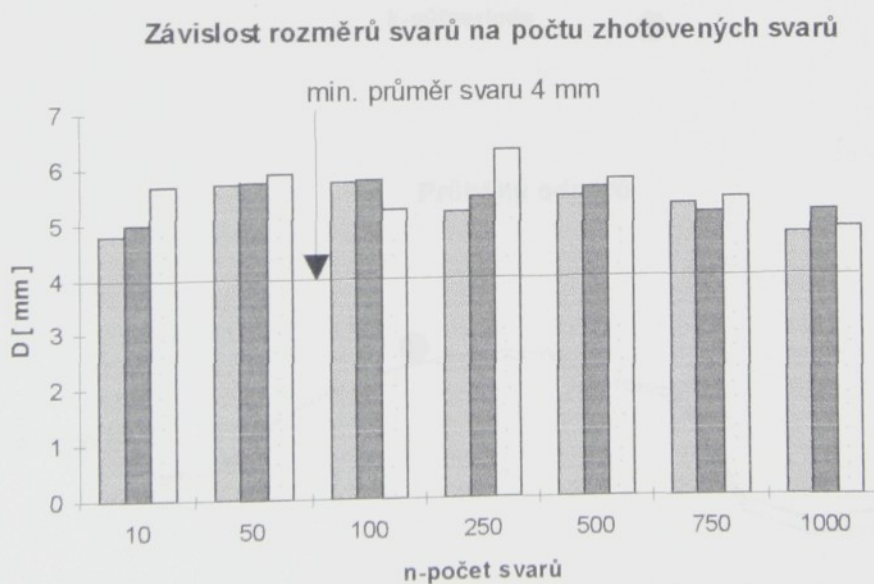
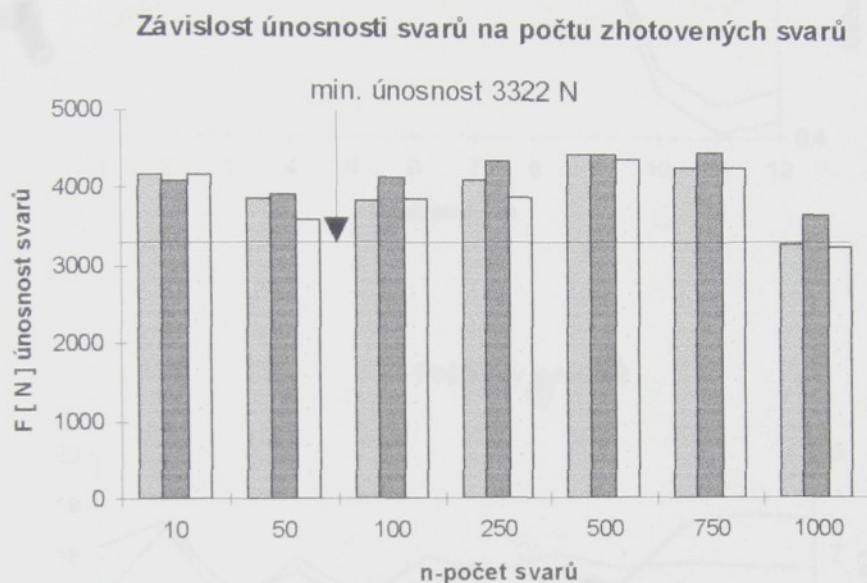
Obr.14 Schema zapojení

Na obr.14 je nakresleno schema zapojení jednotlivých zařízení při měření. Propojení jednotlivých zařízení je uskutečněno pomocí stíněných kabelů. Stínění je vždy připojeno na kostru přístroje přes objímku BNC konektoru. Druhá strana stínění není nikam zapojená, protože rám bodovky je vodivě spojen s elektrodami skrz transformátor.

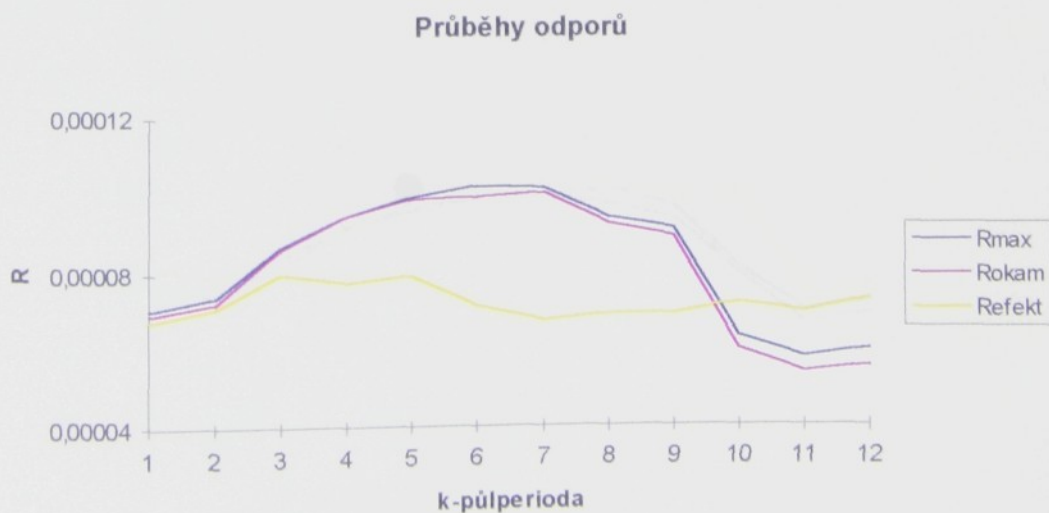
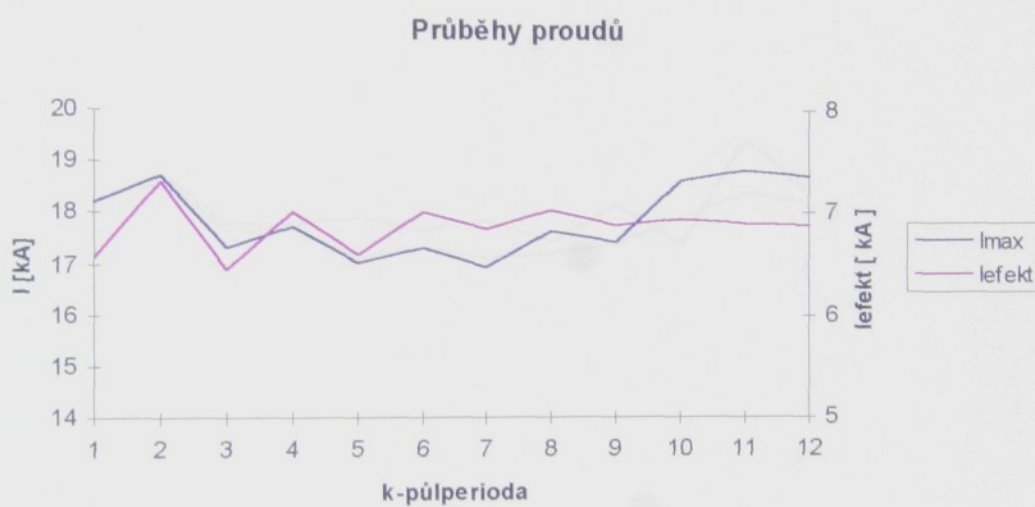
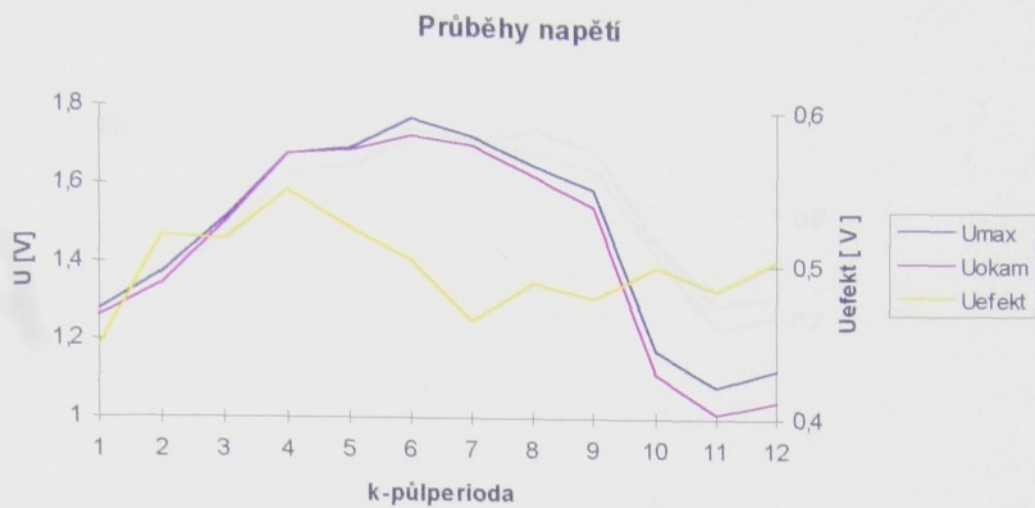
3.6. Grafické vyhodnocení experimentu

3.6.1. měření č.1

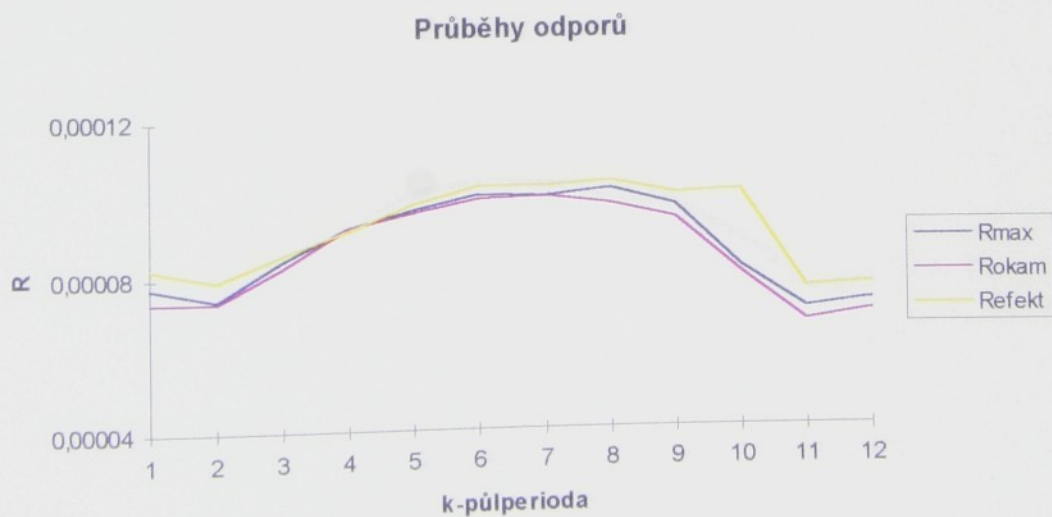
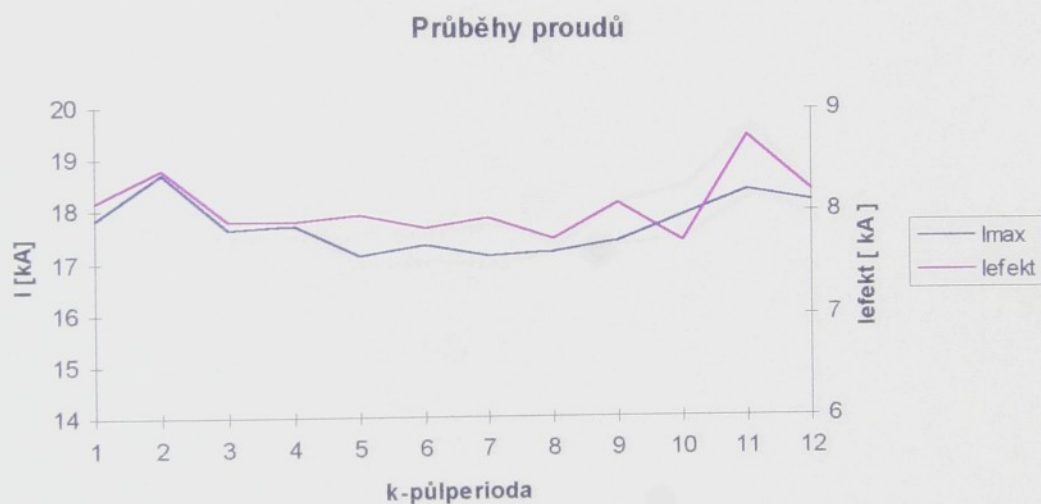
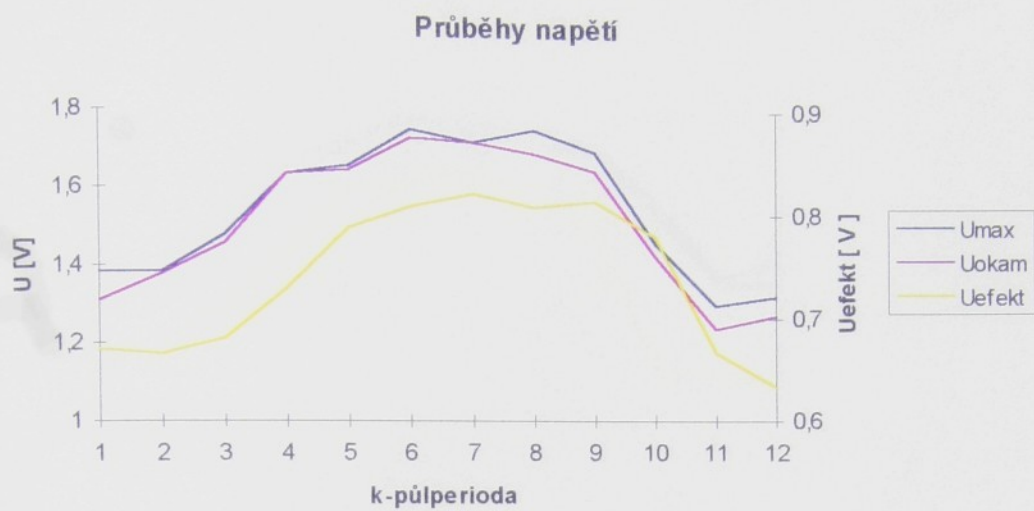
výkon stroje: 60%
svařovací čas 6 period



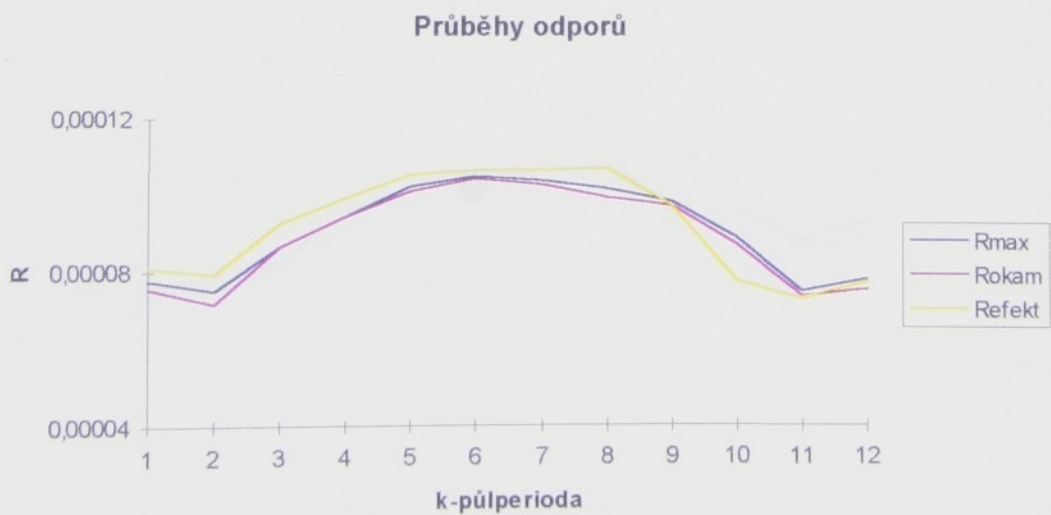
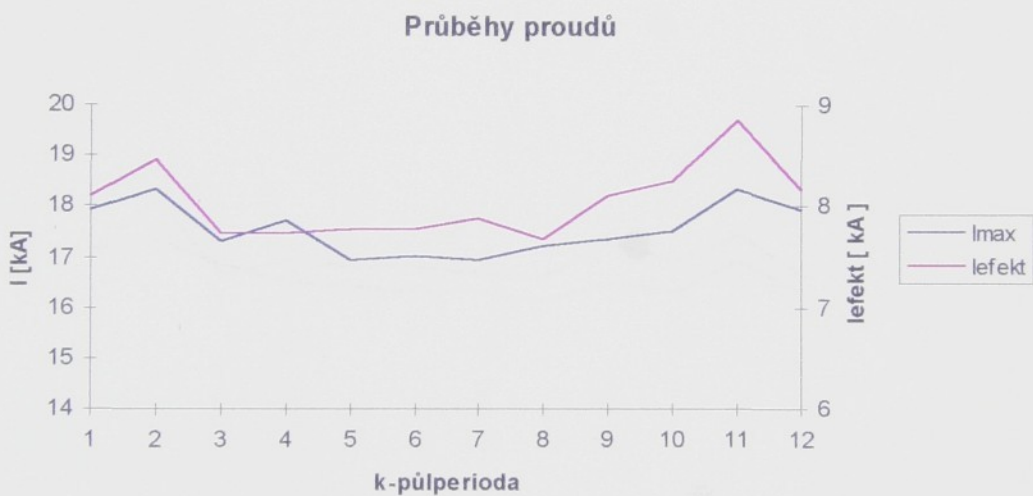
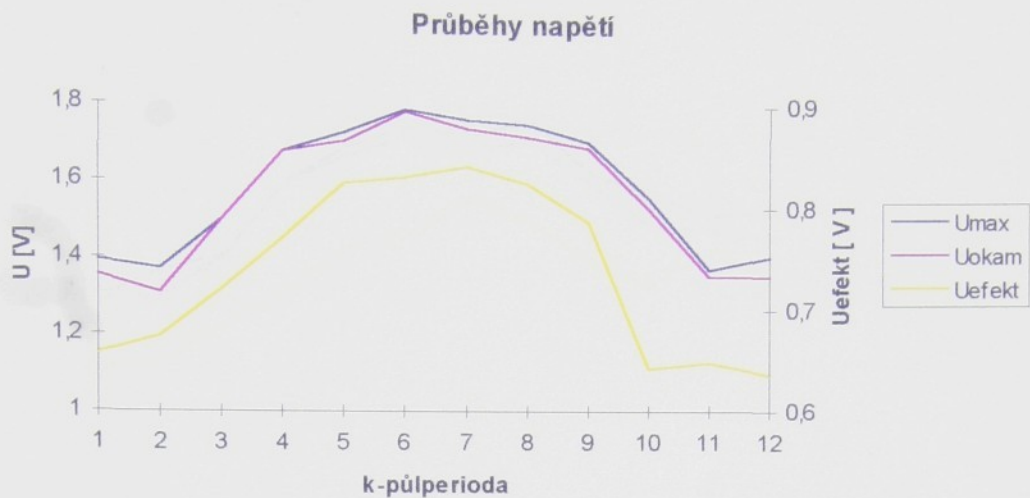
Obr.15 Závislost rozměru svarů a jejich únosnosti na počtu zhotovených svarů



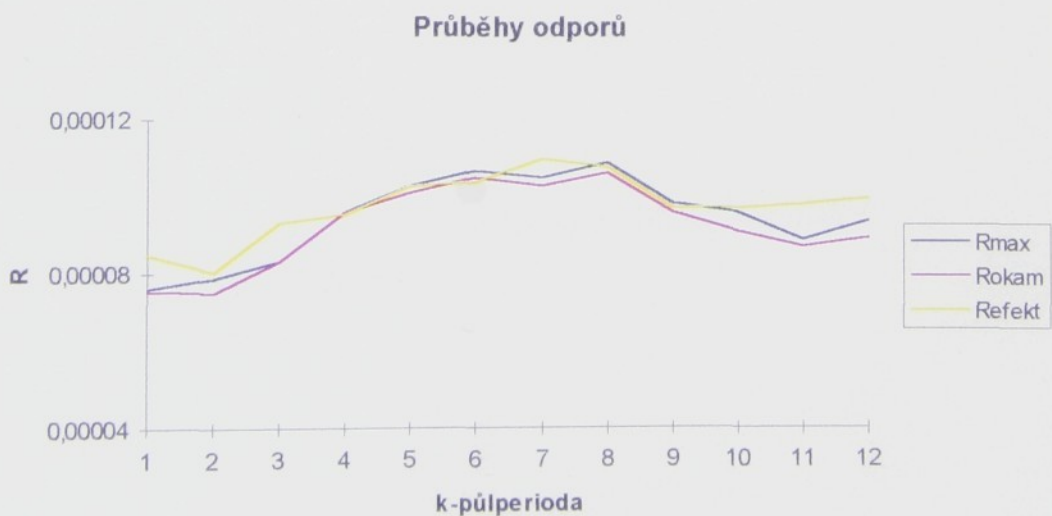
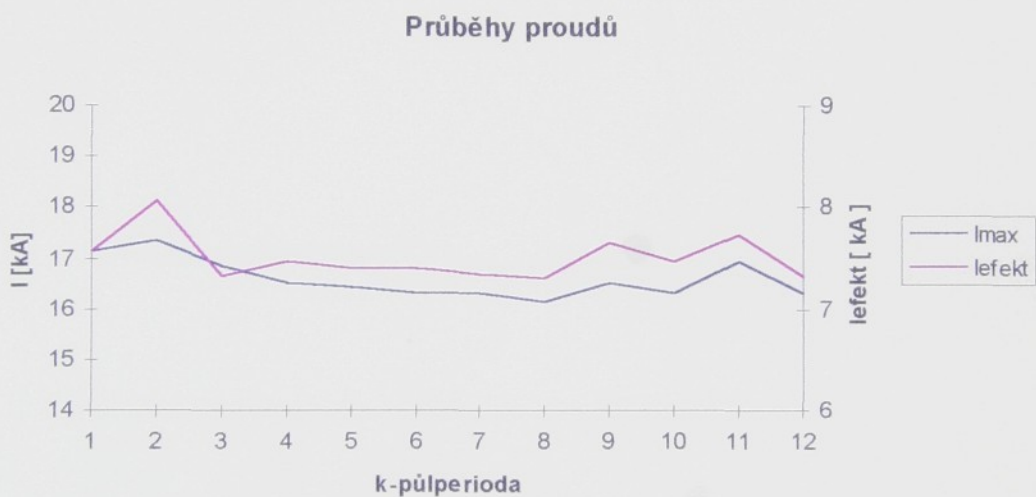
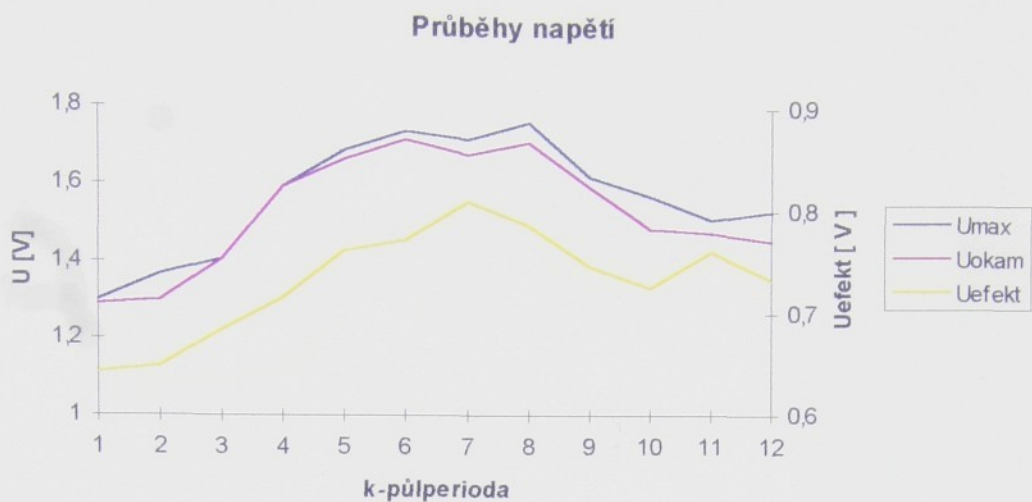
Obr.16 Průběhy elektrických veličin pro svary 10-12



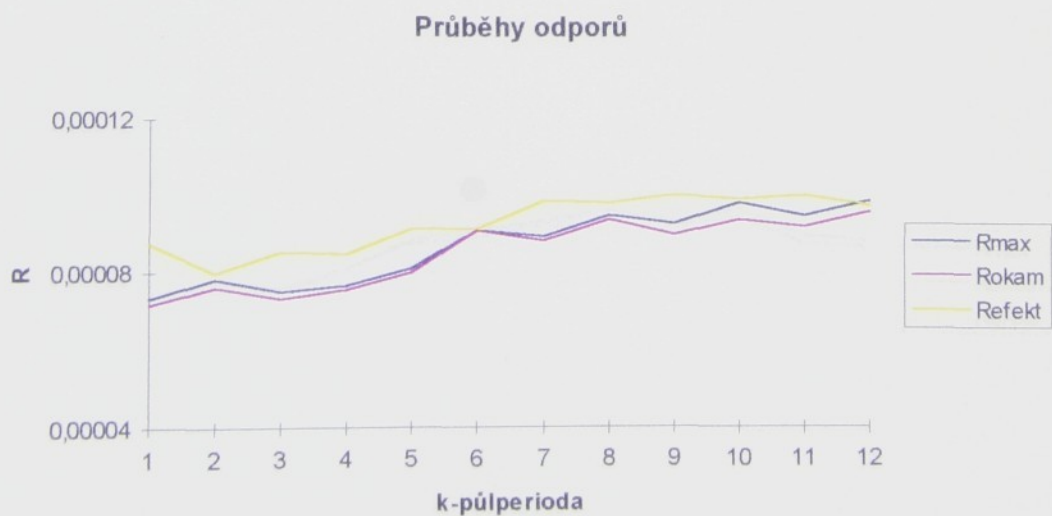
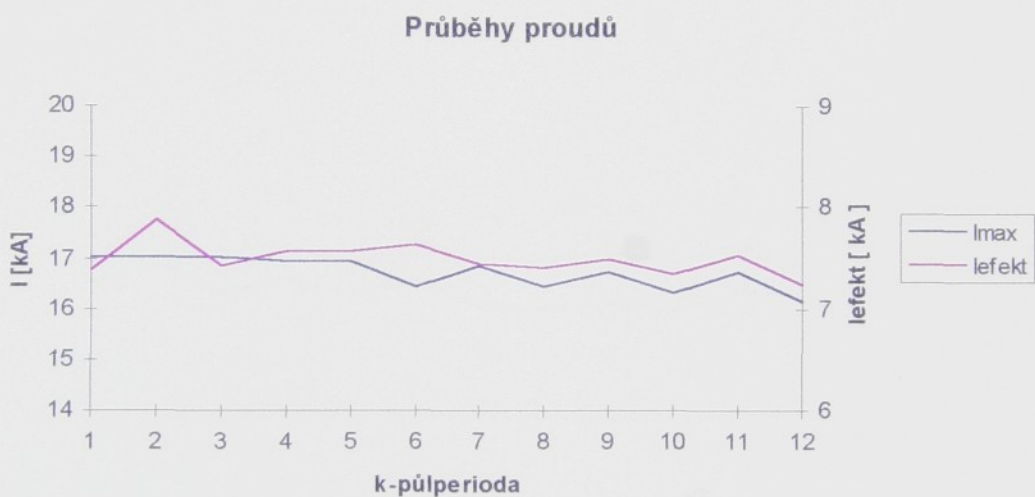
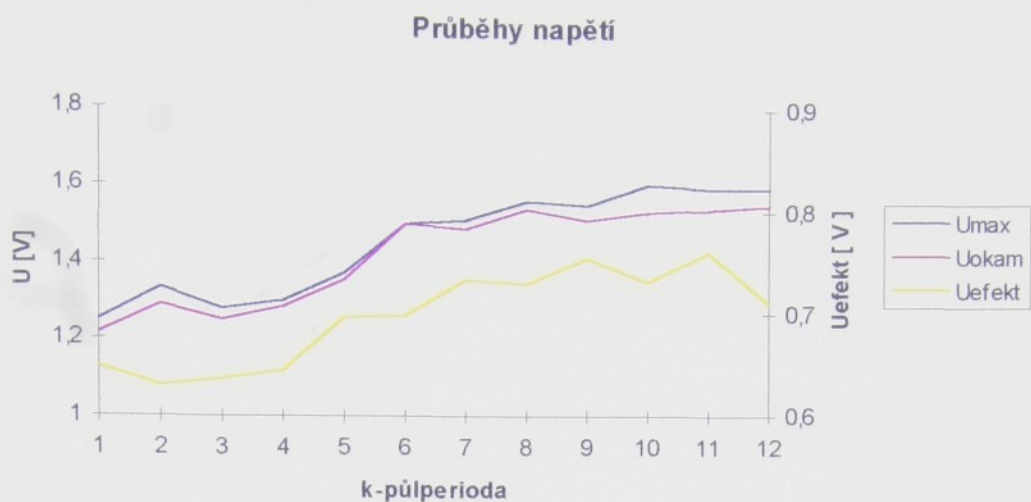
Obr.17 Průběhy elektrických veličin pro svary 50-52



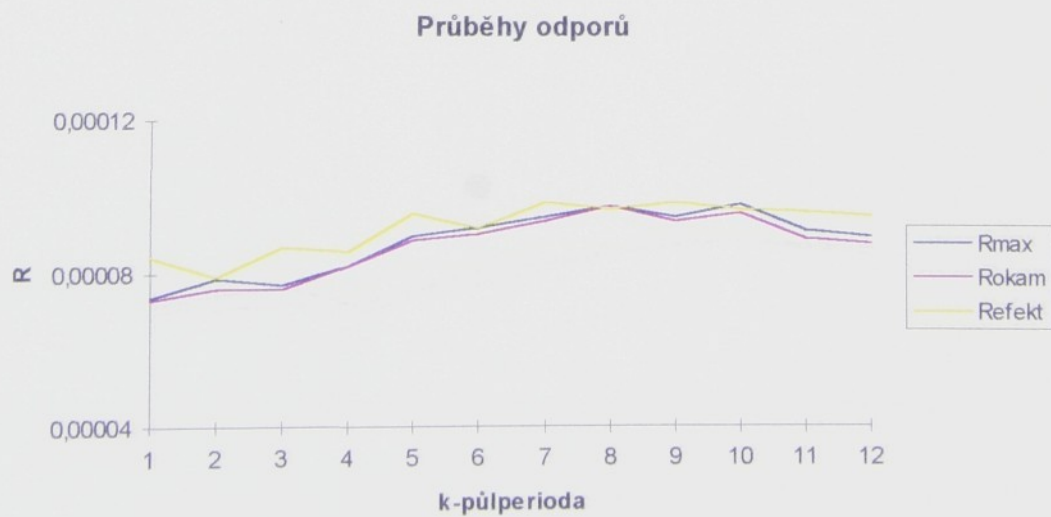
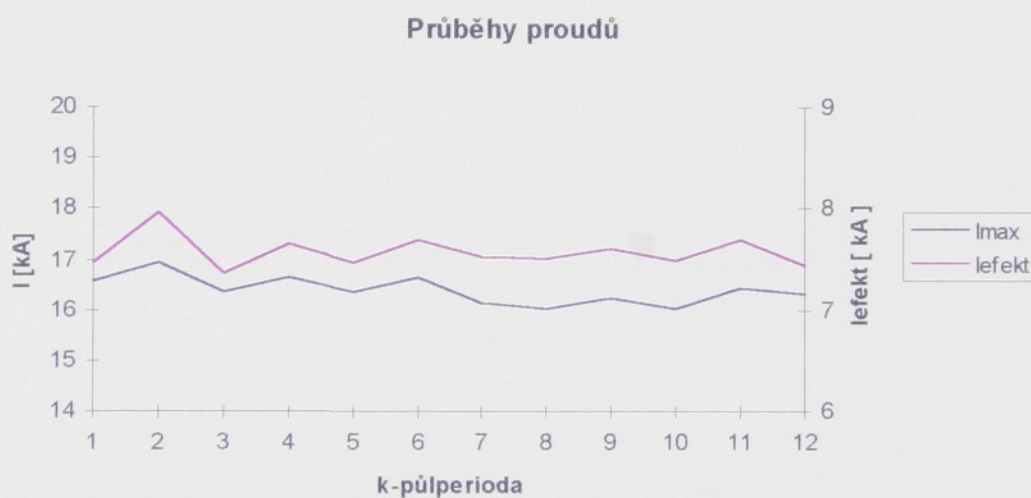
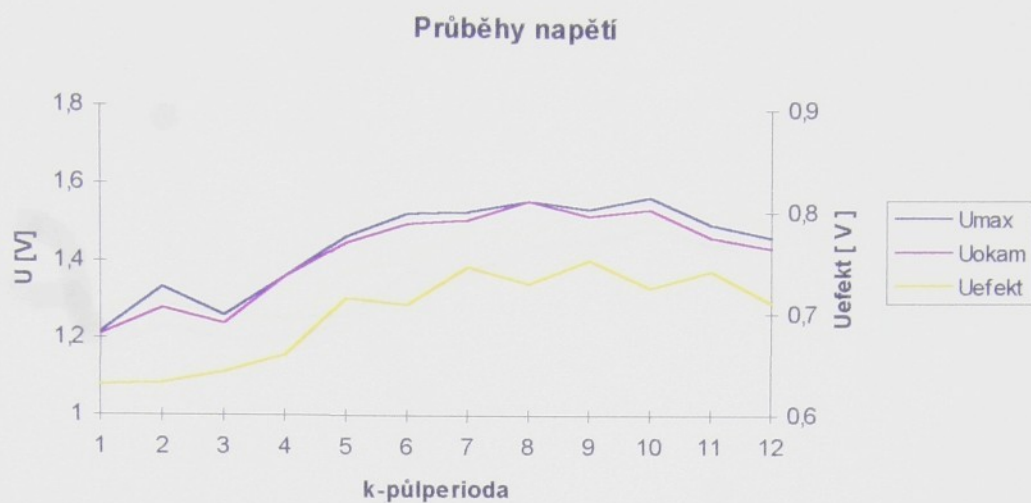
Obr.18 Průběhy elektrických veličin pro svary 100-102



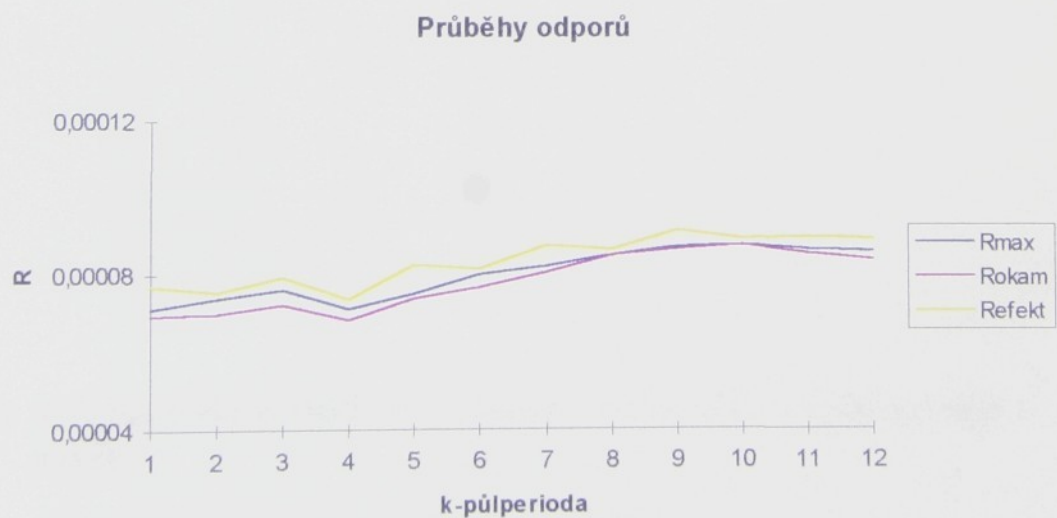
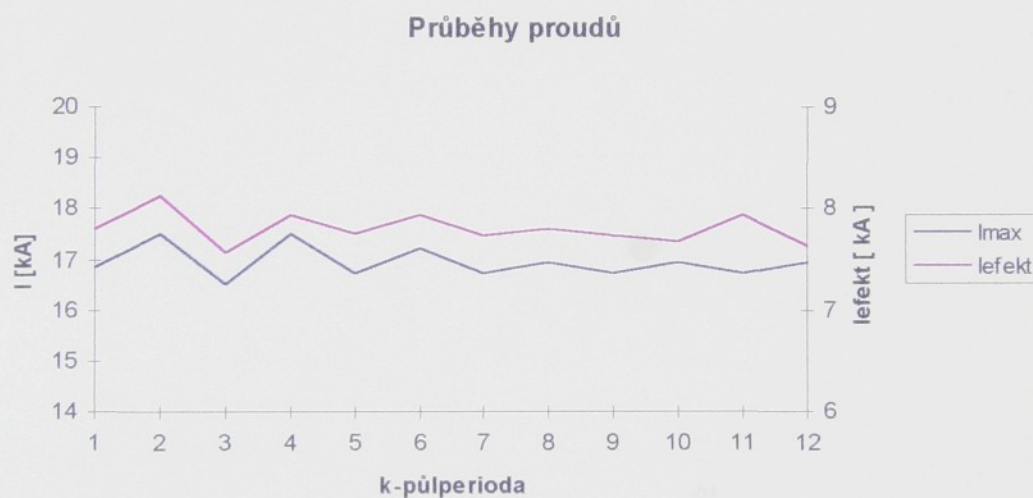
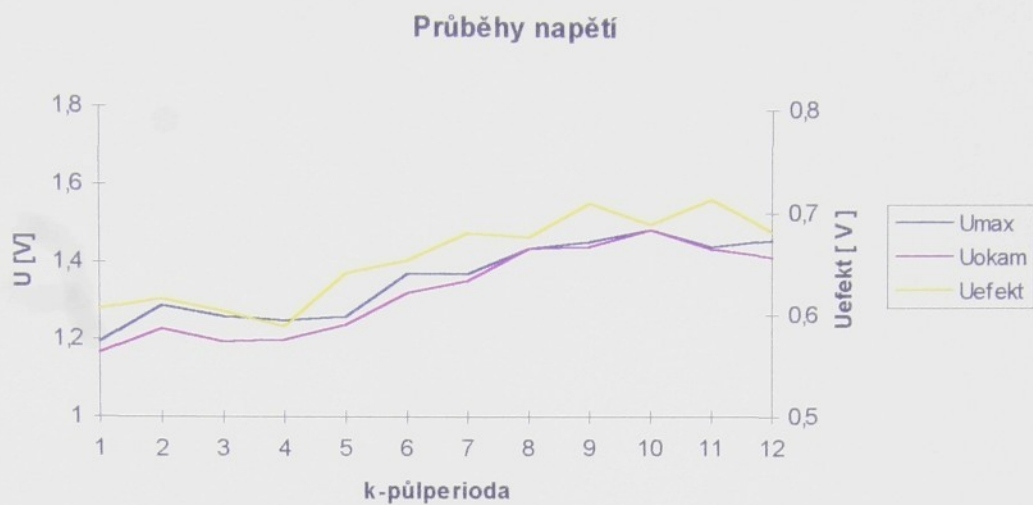
Obr.19 Průběhy elektrických veličin pro svary 250-252



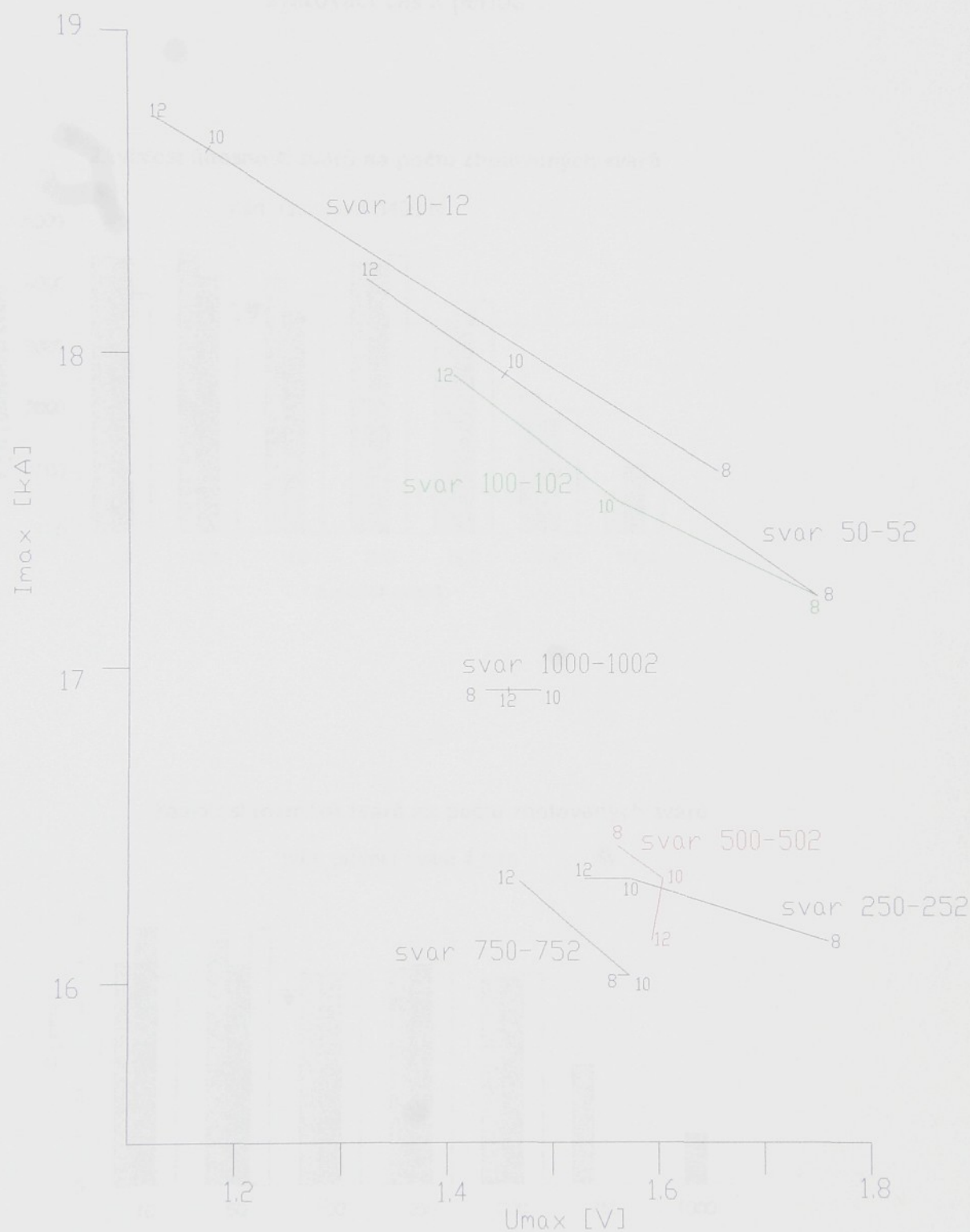
Obr.20 Průběhy elektrických veličin pro svary 500-502



Obr.21 Průběhy elektrických veličin pro svari 750-751



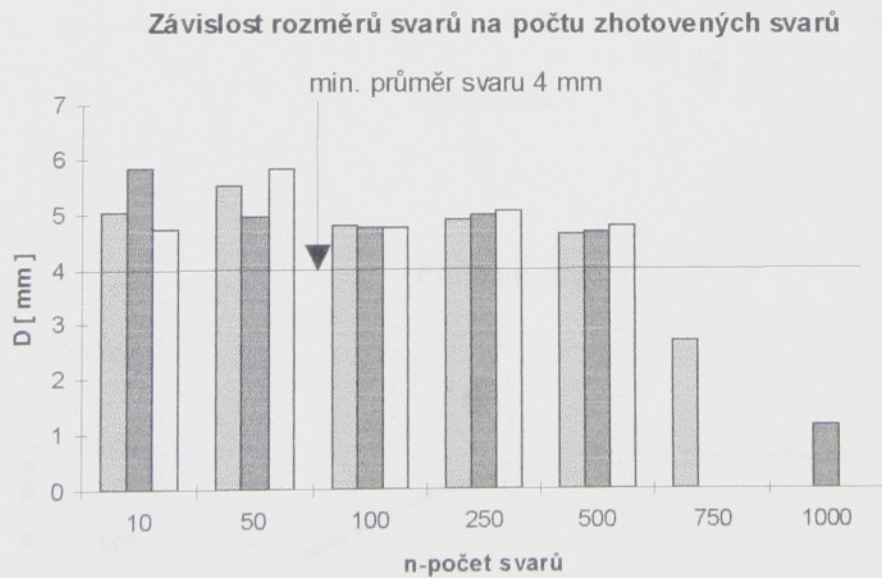
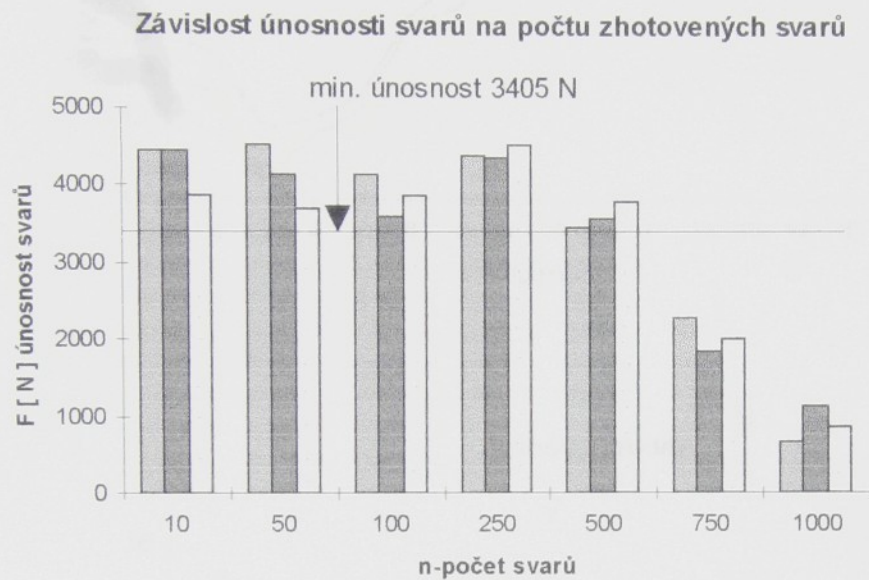
Obr.22 Průběhy elektrických veličin pro svary 1000-1002



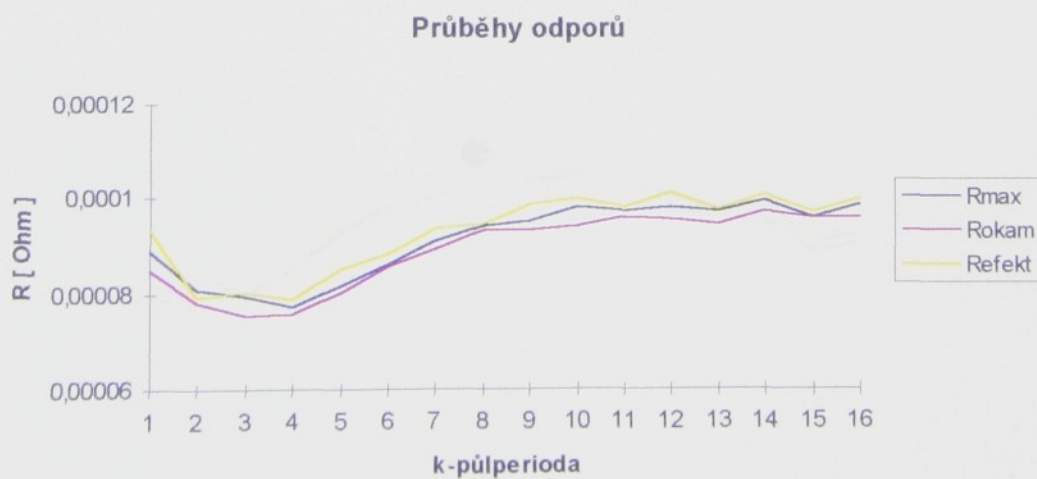
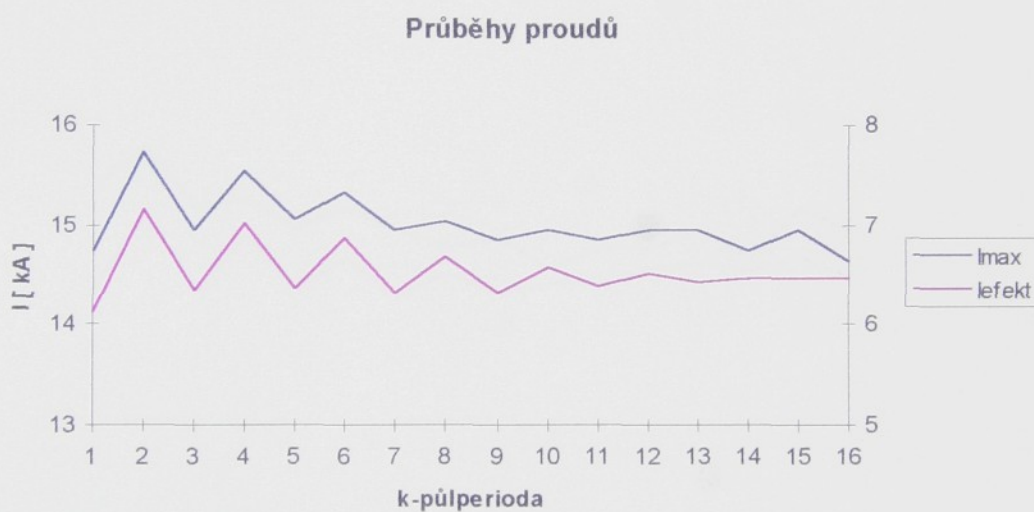
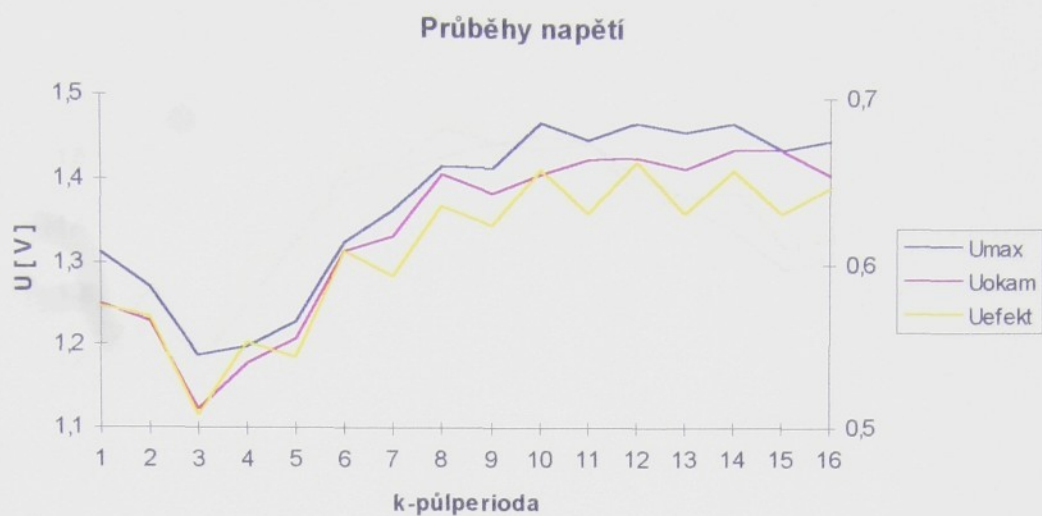
Obr.23 Vliv opotřebení elektrod na změny polohy svařovacího proudu a napětí

3.6.2. měření č.2

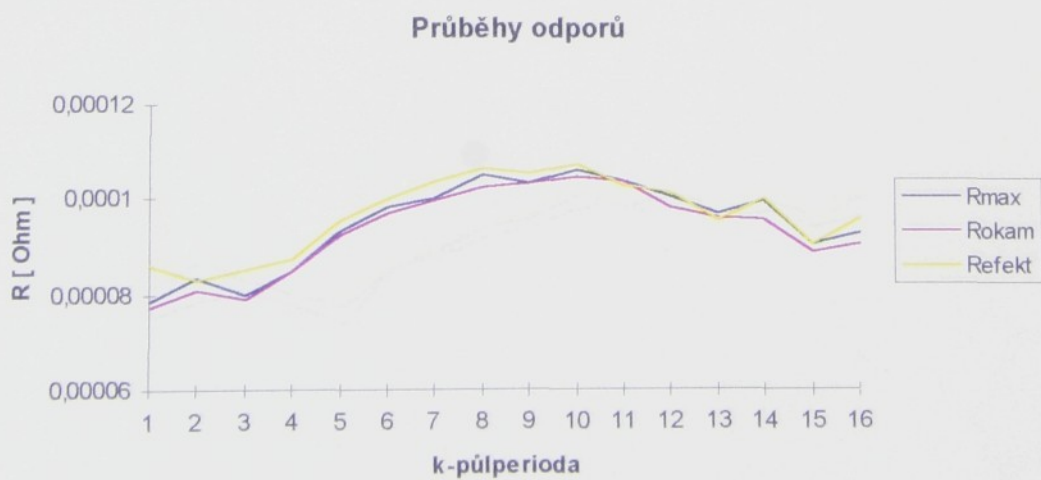
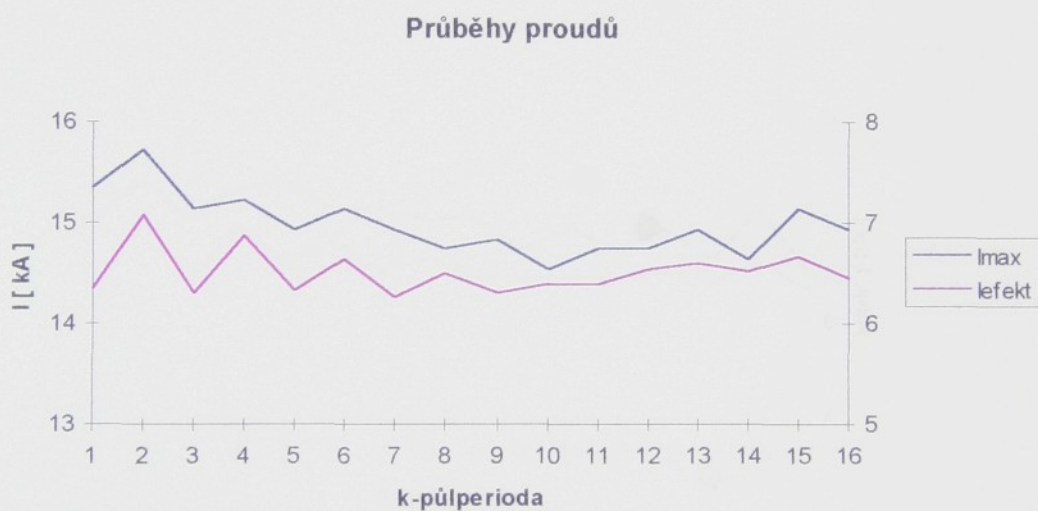
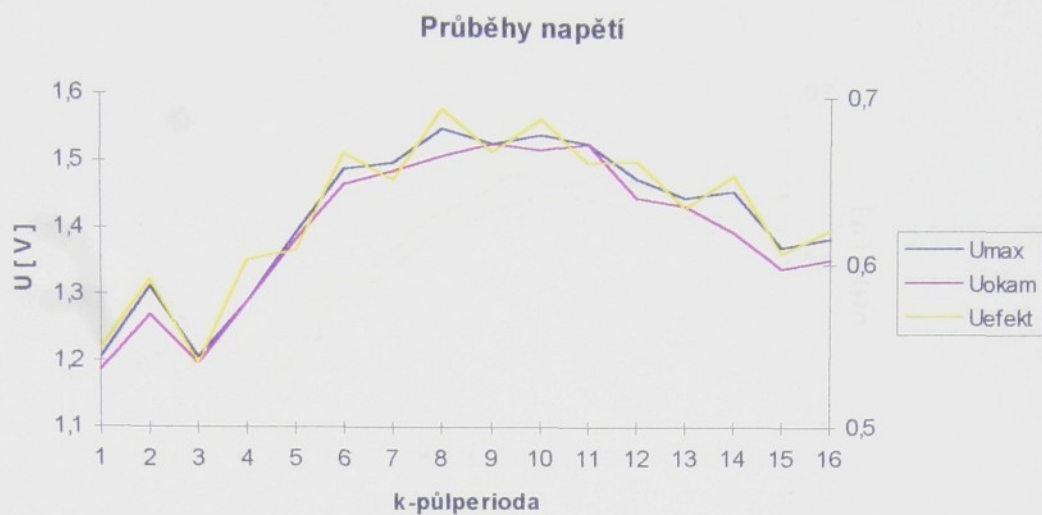
výkon stroje: 53%
svařovací čas 8 period



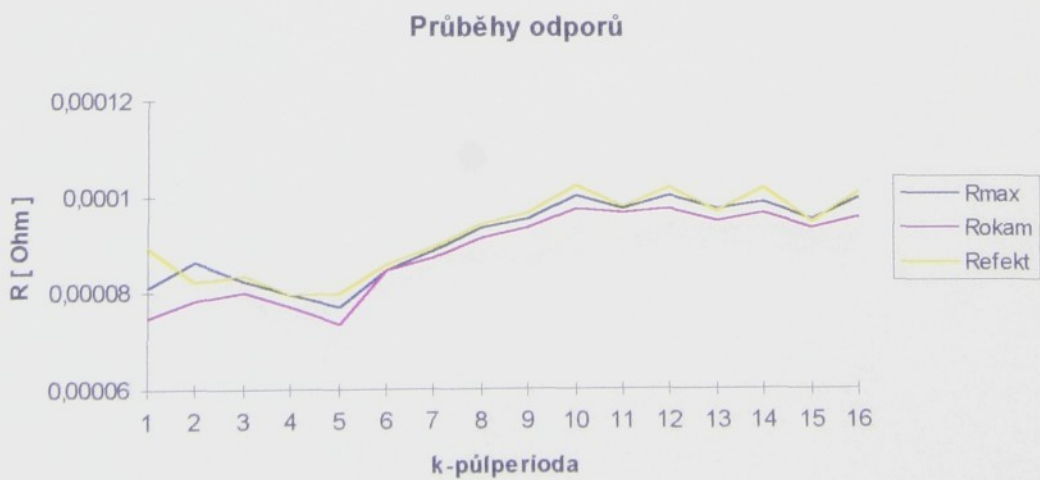
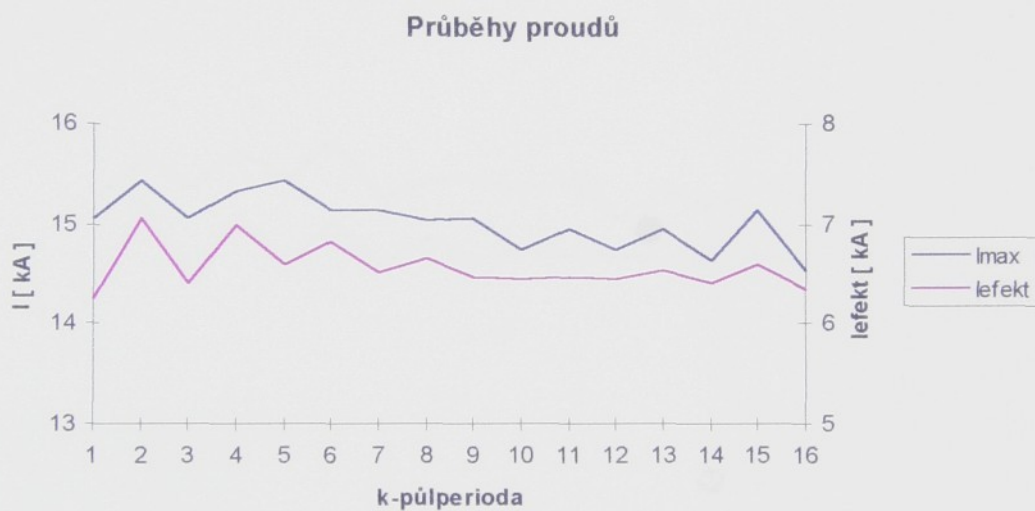
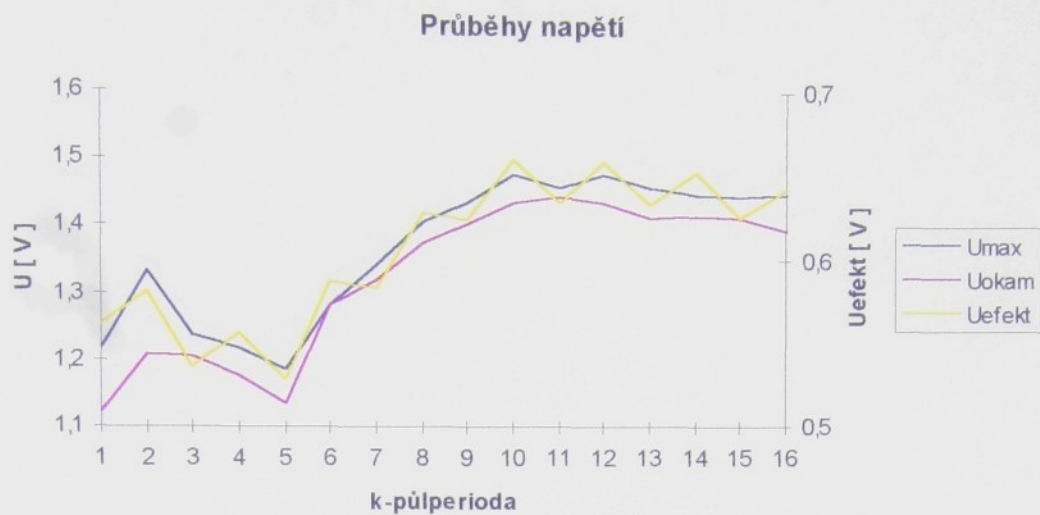
Obr.24 Závislost rozměru svarů a jejich únosnosti na počtu zhotovených svarů



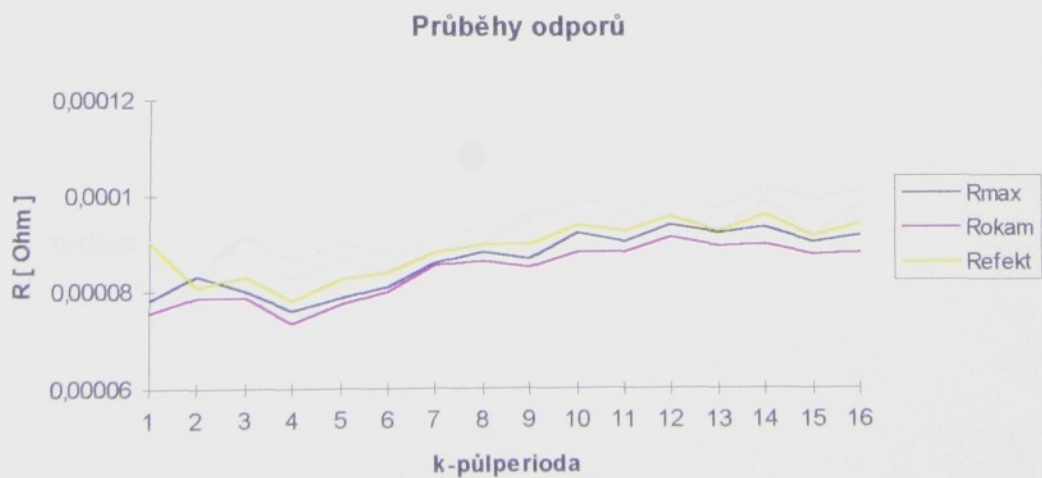
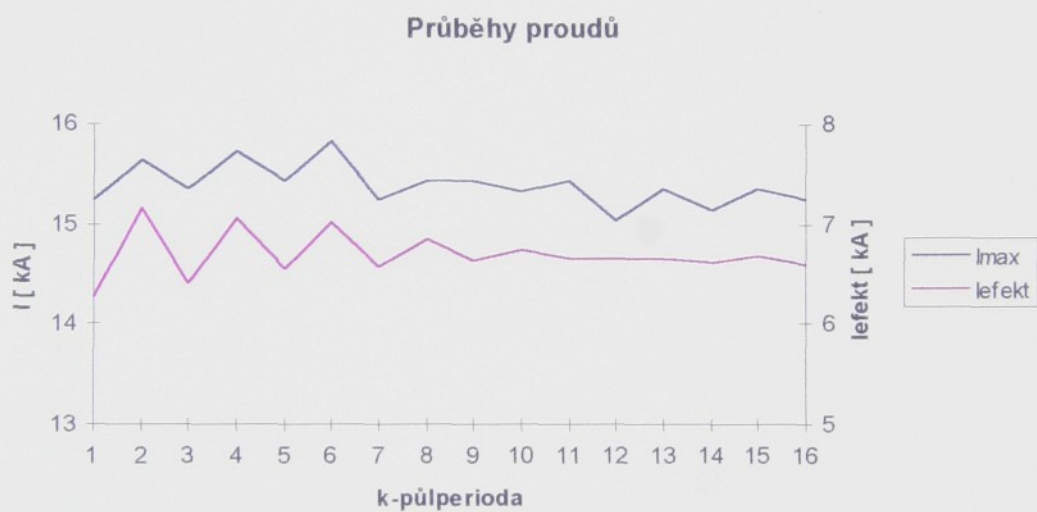
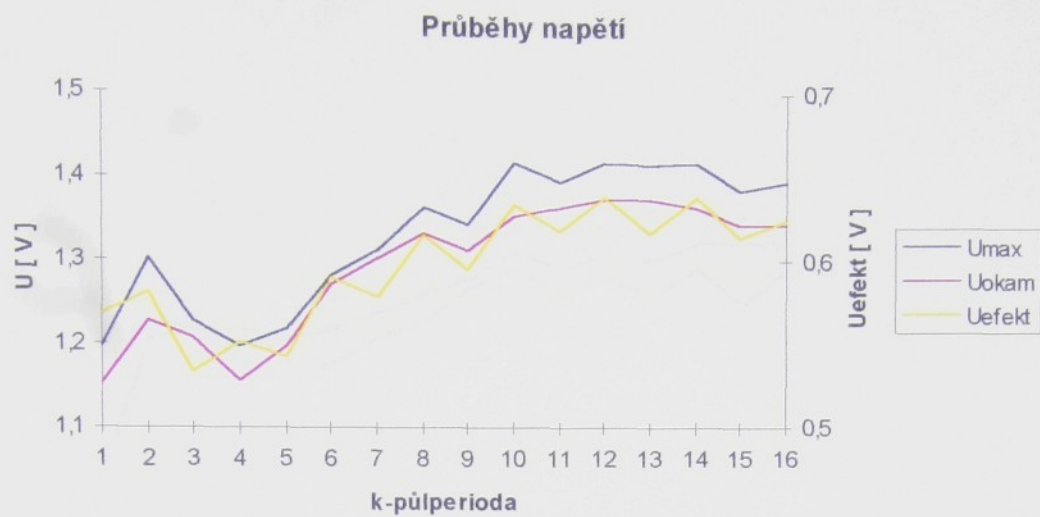
Obr.25 Průběhy elektrických veličin pro svary 11-13



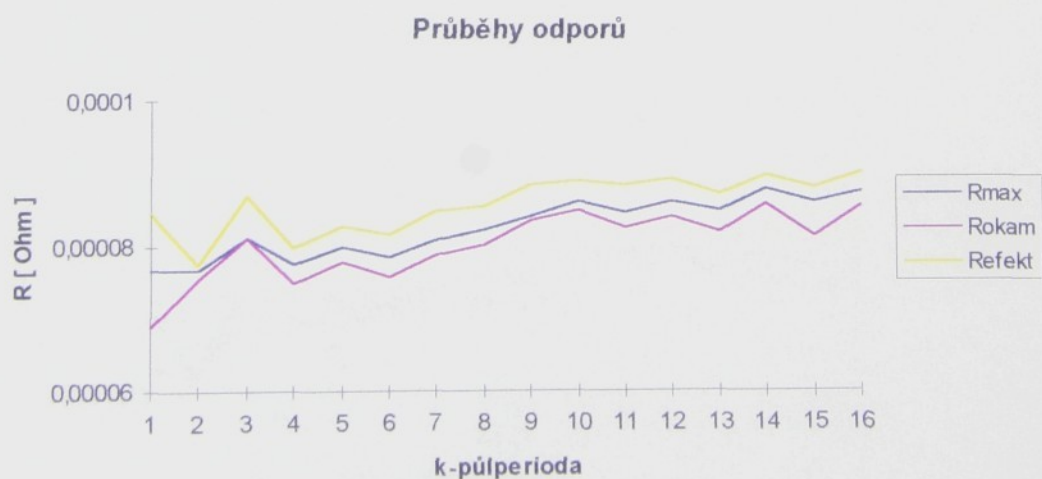
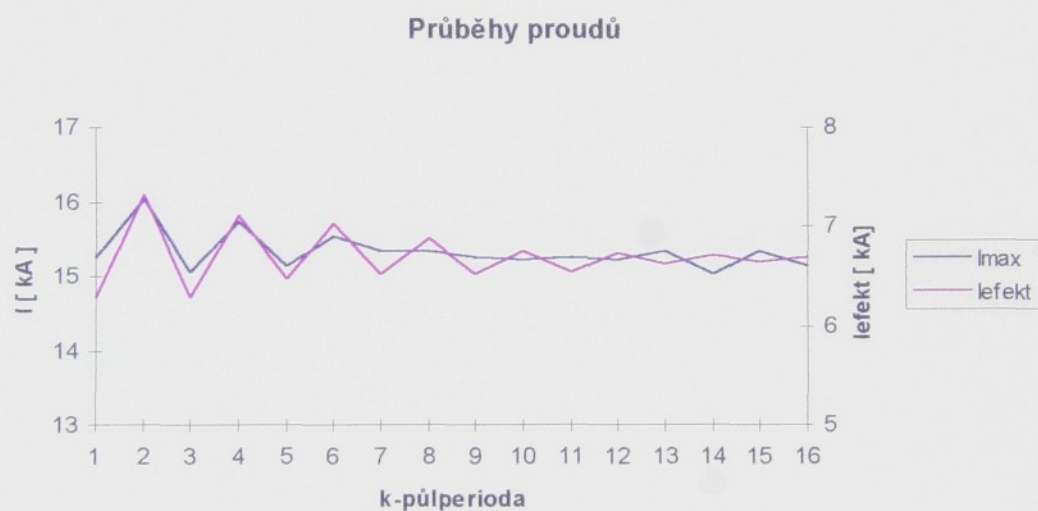
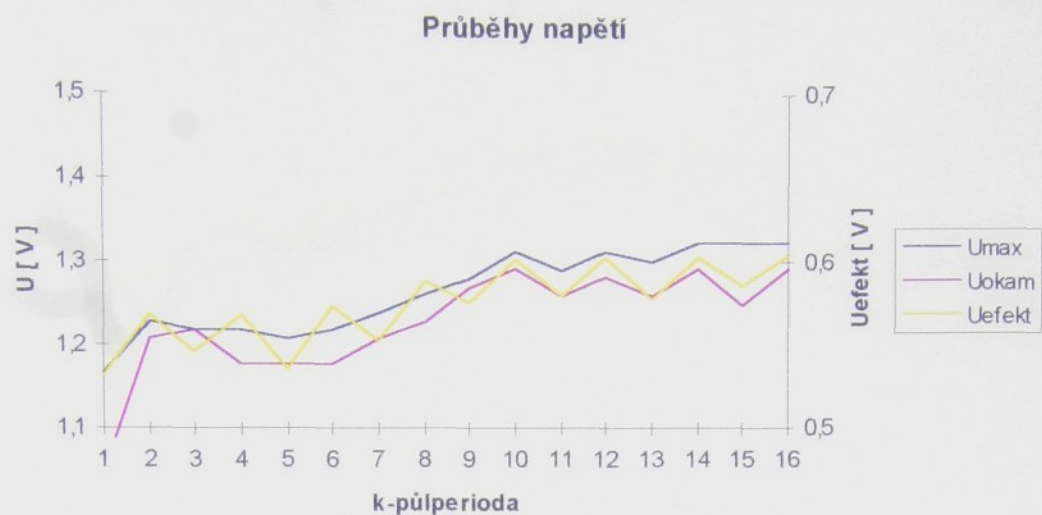
Obr.26 Průběhy elektrických veličin pro svary 51-53



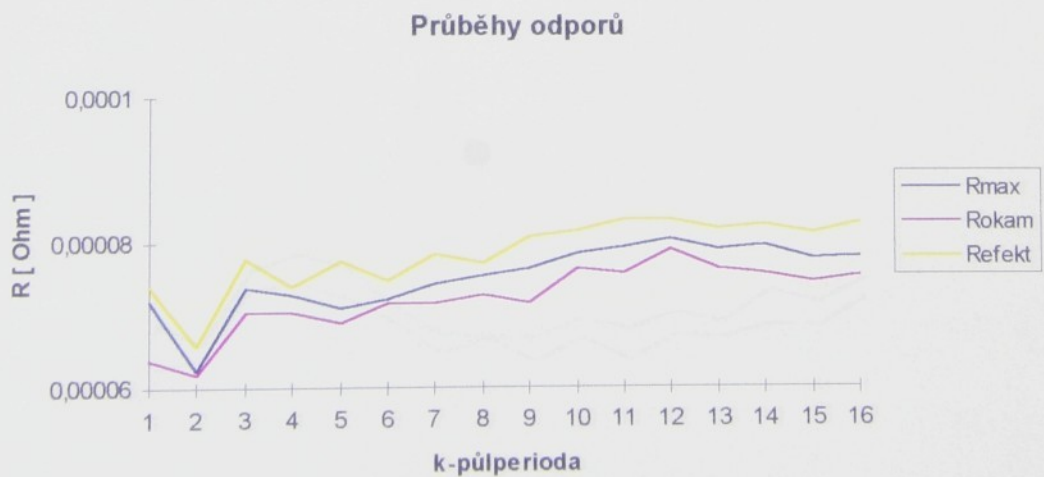
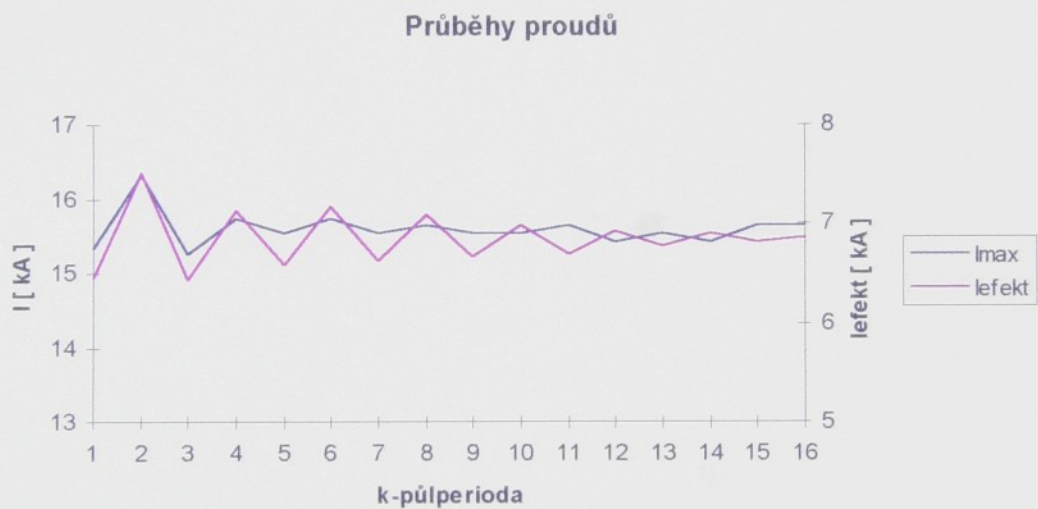
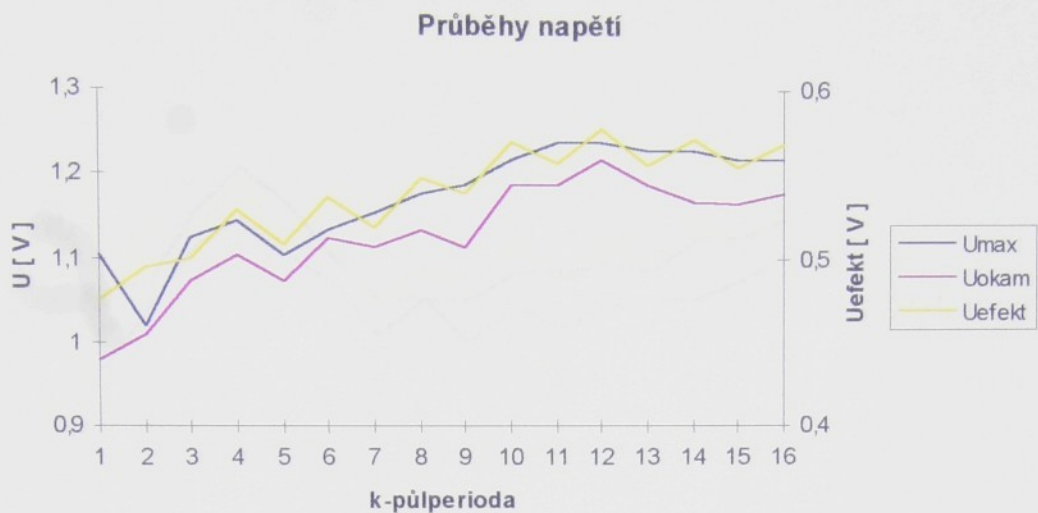
Obr.27 Průběhy elektrických veličin pro svary 101-103



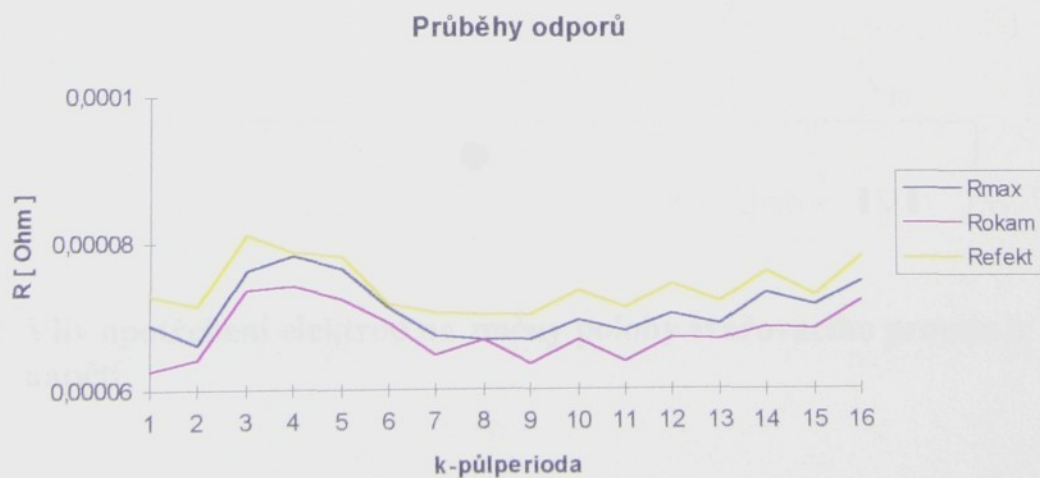
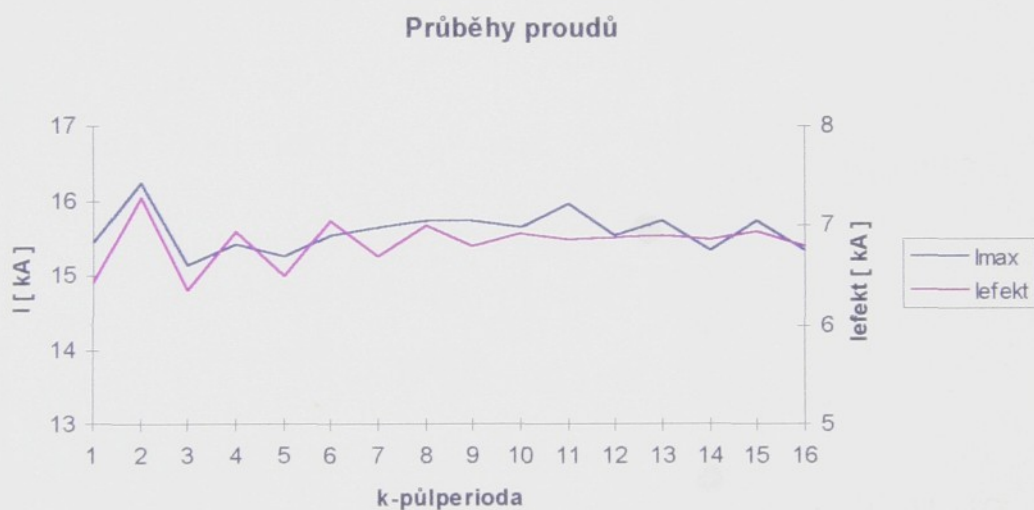
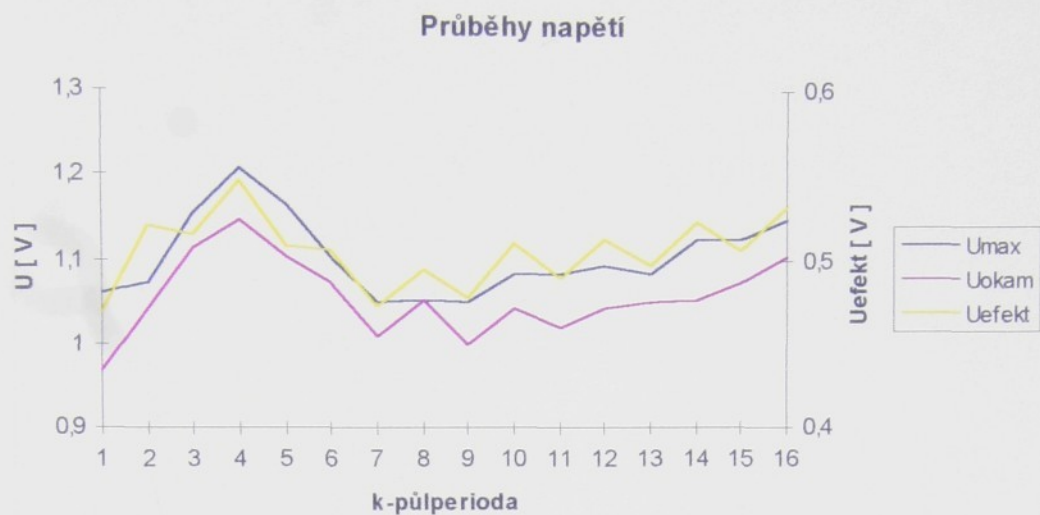
Obr.28 Průběhy elektrických veličin pro svary 251-253



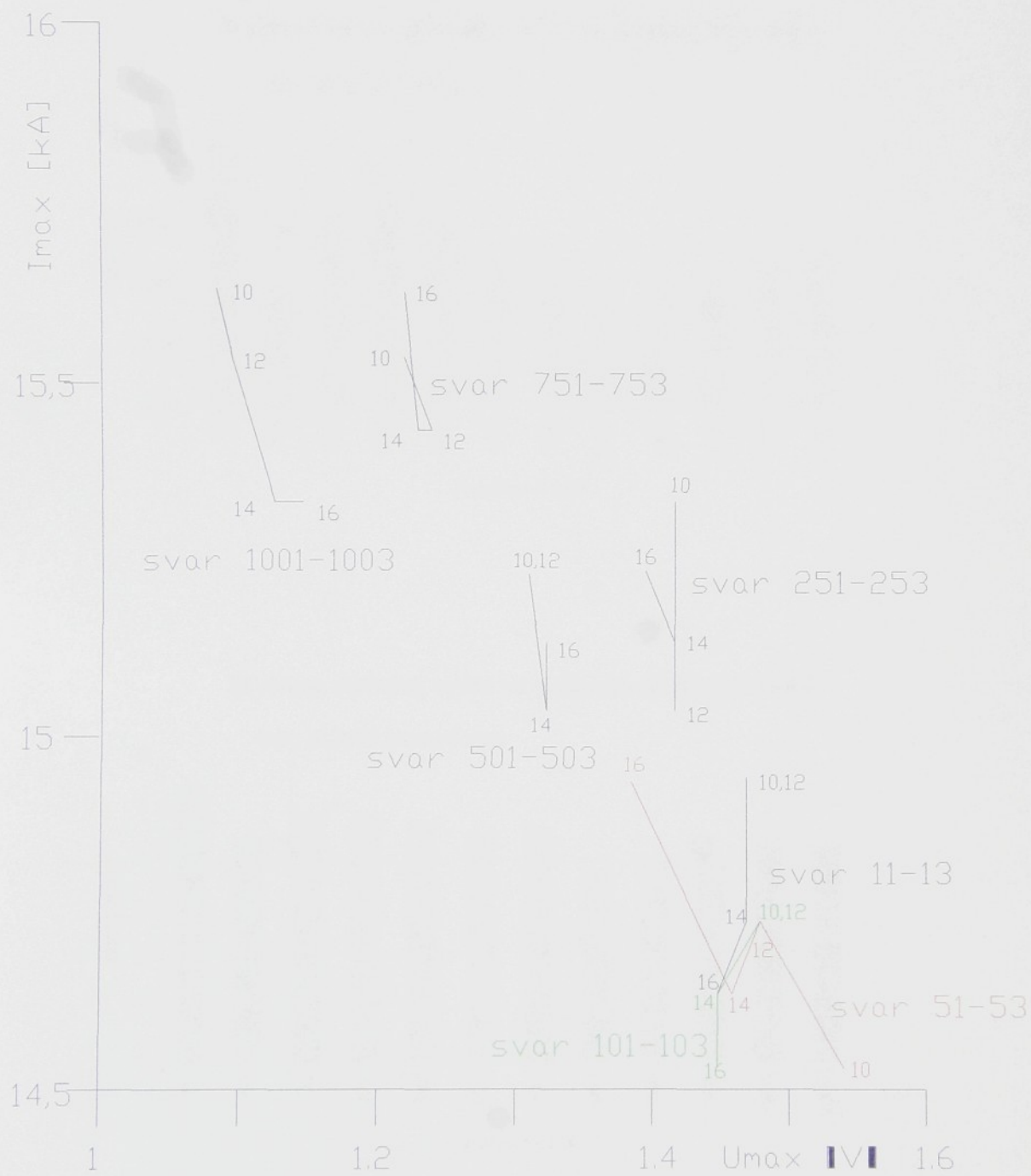
Obr.29 Průběhy elektrických veličin pro svary 501-503



Obr.30 Průběhy elektrických veličin pro svary 751-753



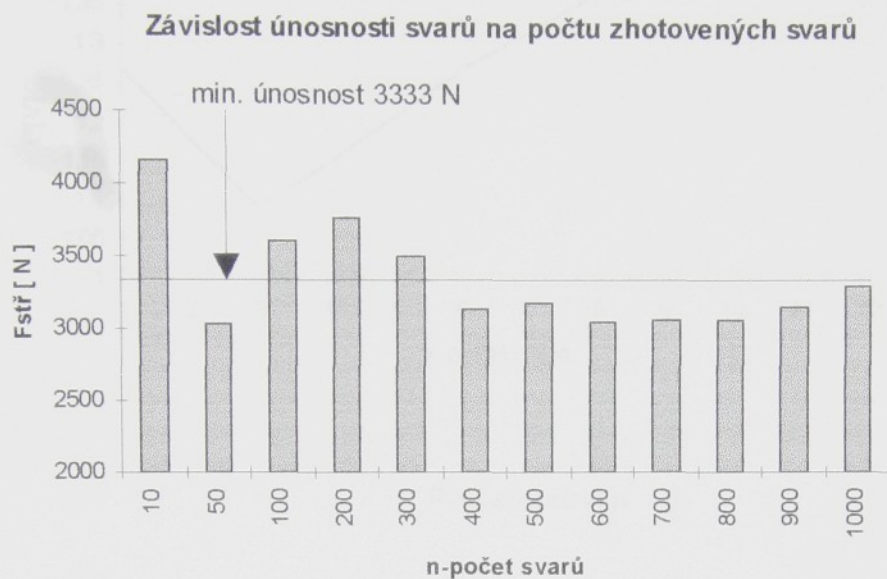
Obr.31 Průběhy elektrických veličin pro svary 1001-1003



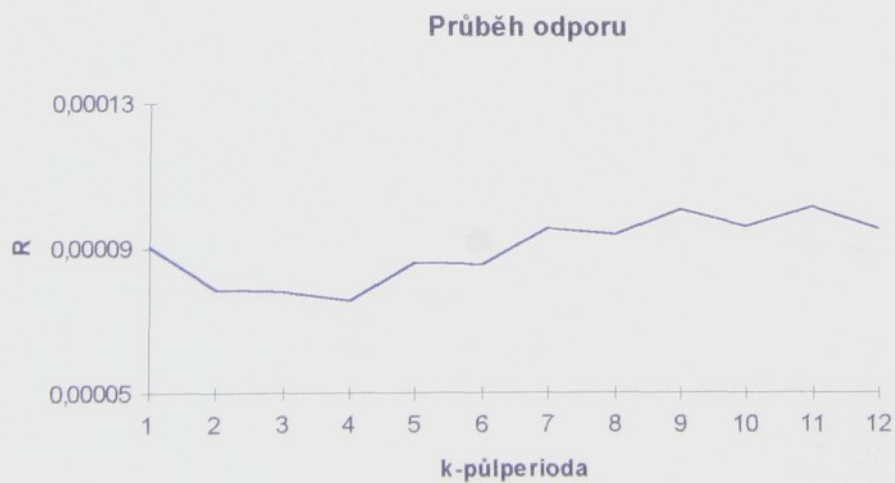
Obr.32 Vliv opotřebení elektrod na změny polohy svařovacího proudu a napětí

3.6.3. měření č.3

výkon stroje: maximum (stroj WBP 80.2)
svařovací čas 6 period



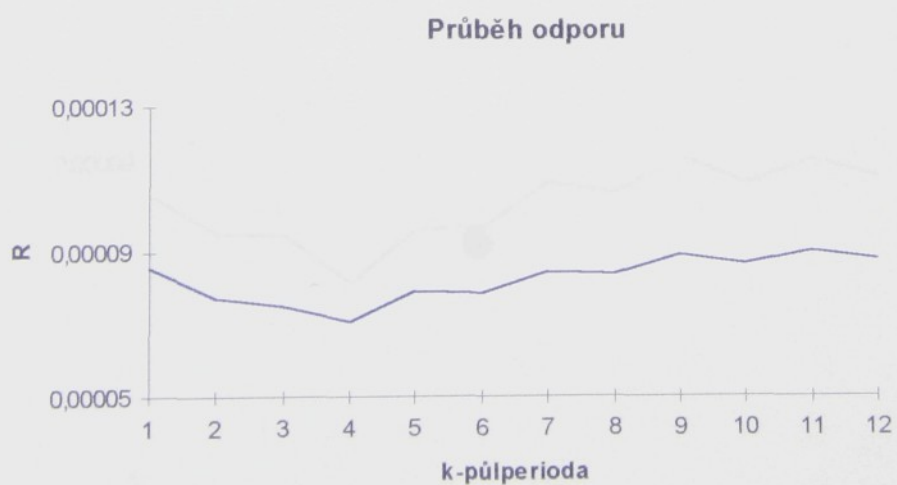
Obr.33 Závislost rozměru svarů a jejich únosnosti na počtu zhotovených svarů



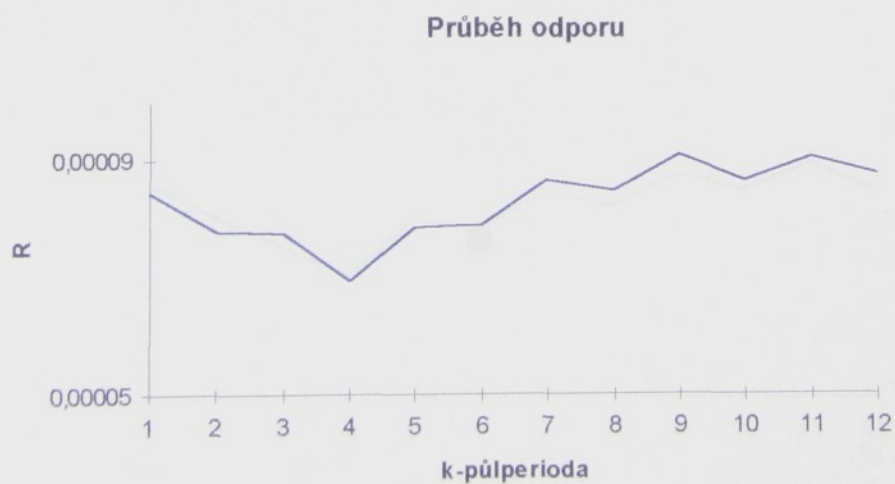
Obr.34 Průběhy elektrických veličin pro svary 11-16



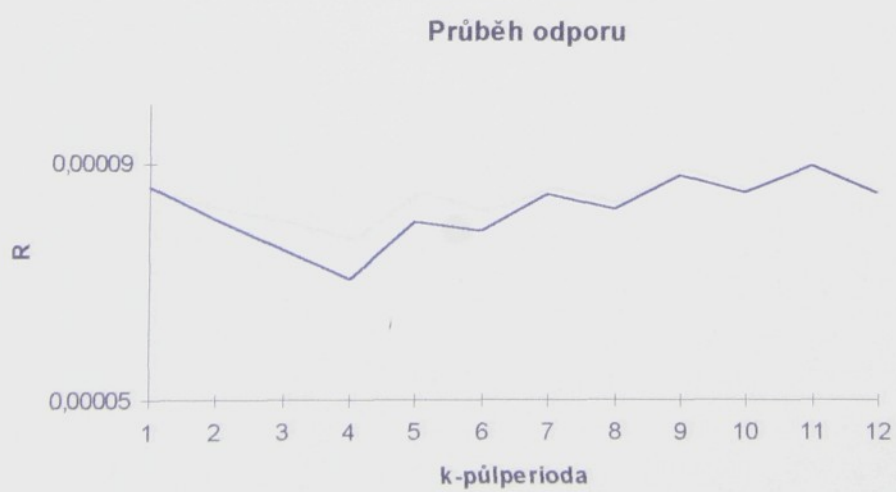
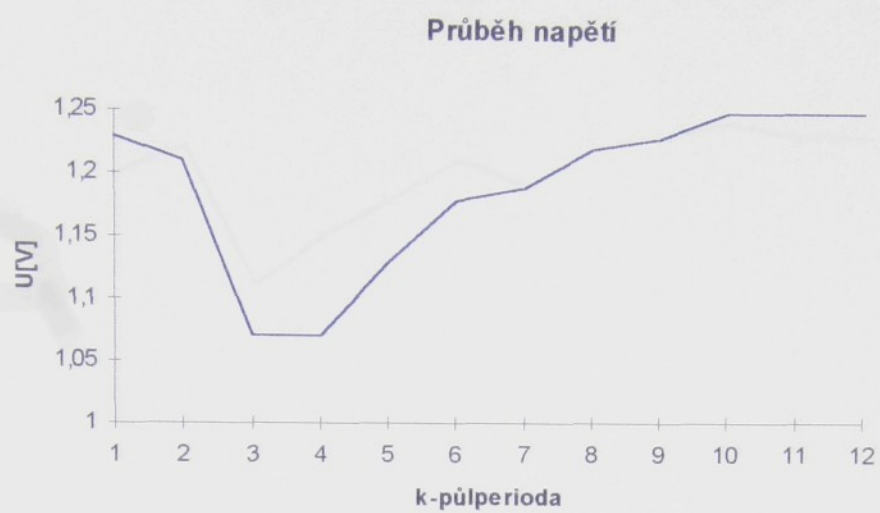
Obr.35 Průběhy elektrických veličin pro svary 51-56



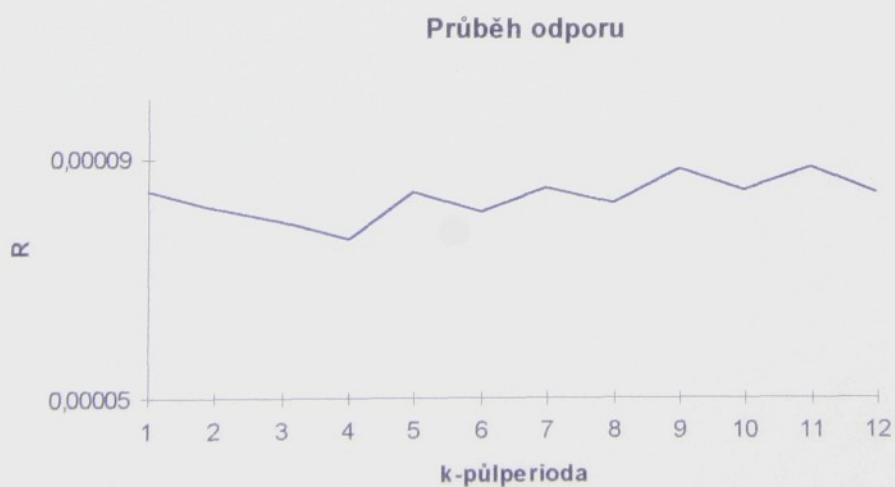
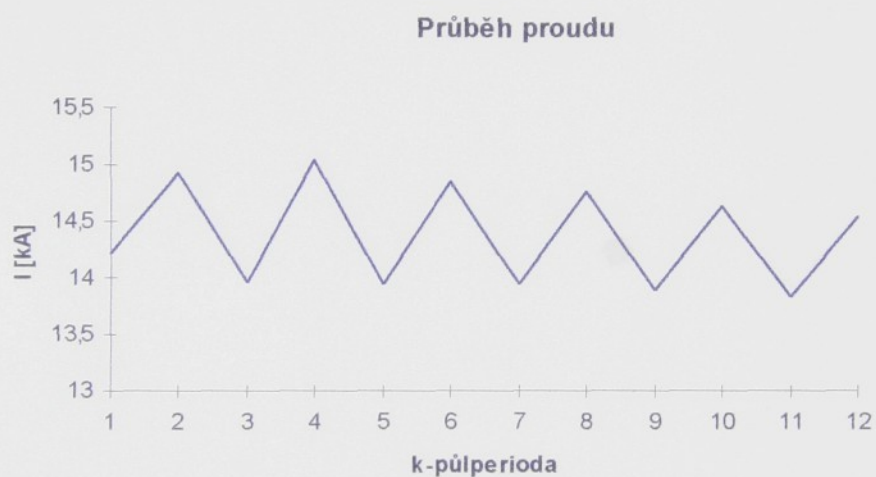
Obr.36 Průběhy elektrických veličin pro svary 101-106



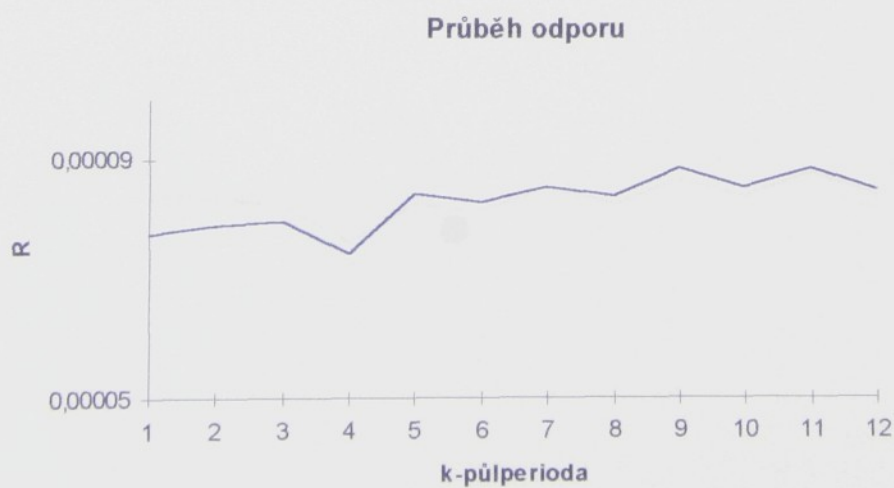
Obr.37 Průběhy elektrických veličin pro svary 201-206



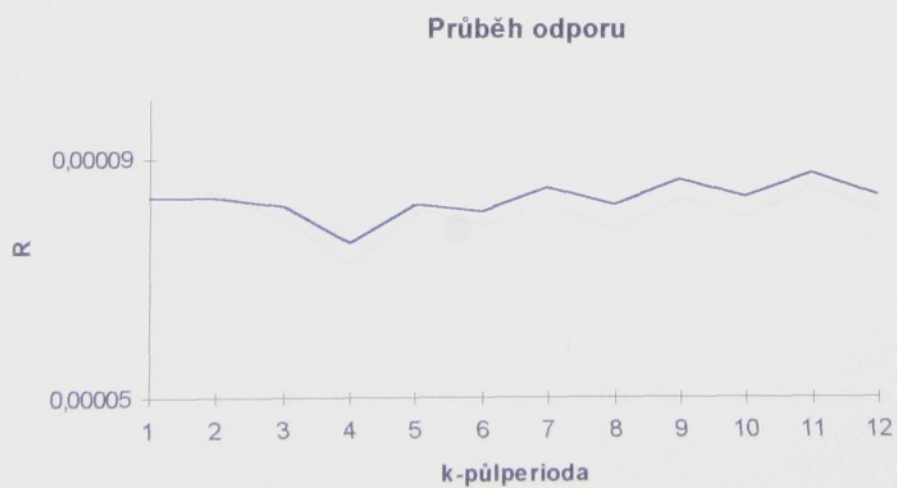
Obr.38 Průběhy elektrických veličin pro svary 301-306



Obr.39 Průběhy elektrických veličin pro svary 401-406



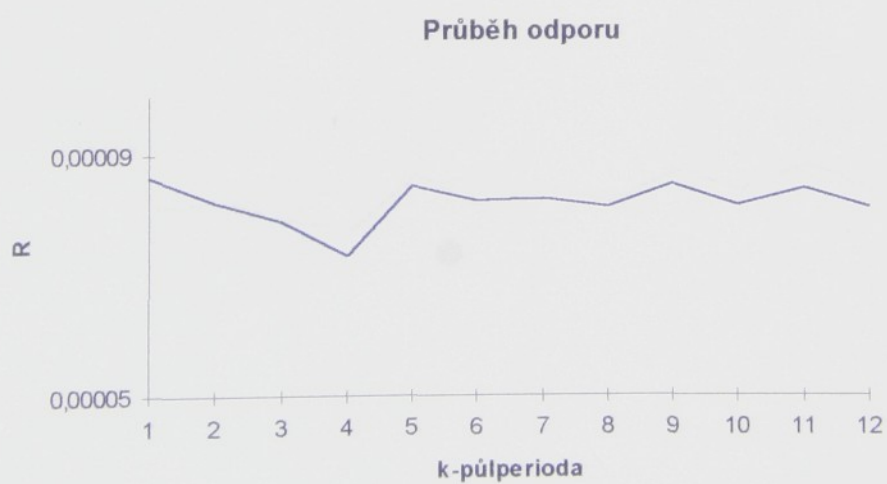
Obr.40 Průběhy elektrických veličin pro svary 501-506



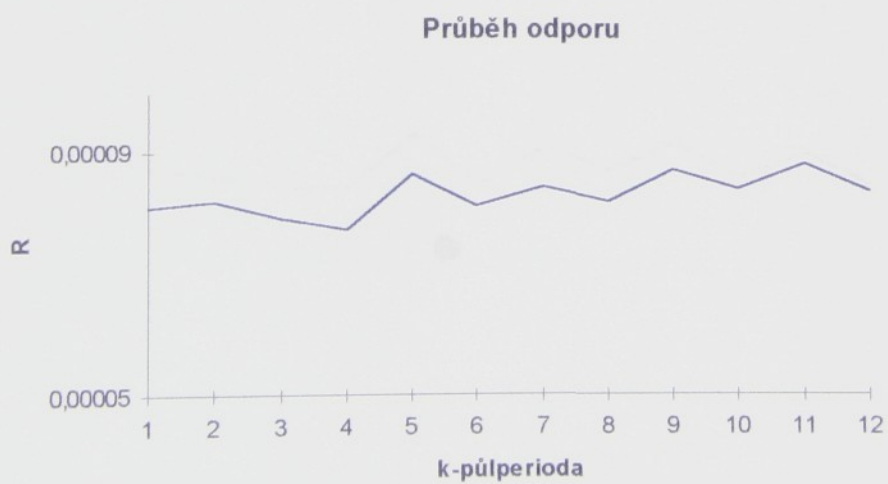
Obr.41 Průběhy elektrických veličin pro svary 601-606



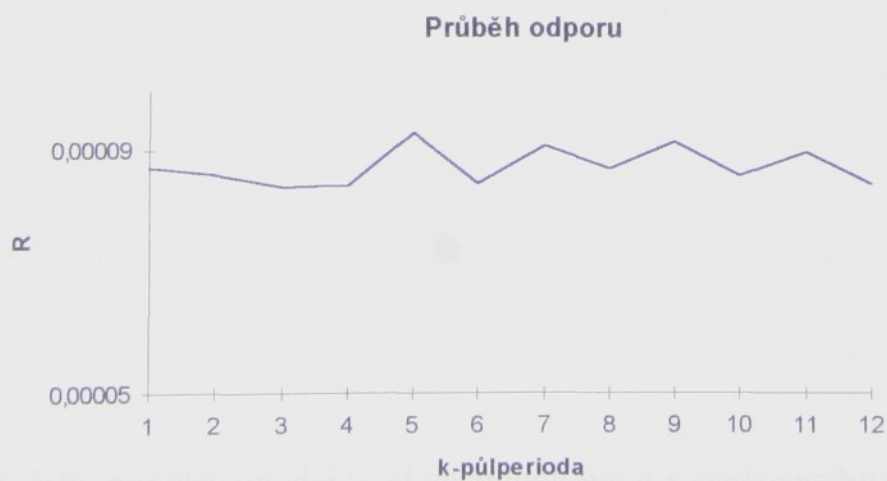
Obr.42 Průběhy elektrických veličin pro svary 701-706



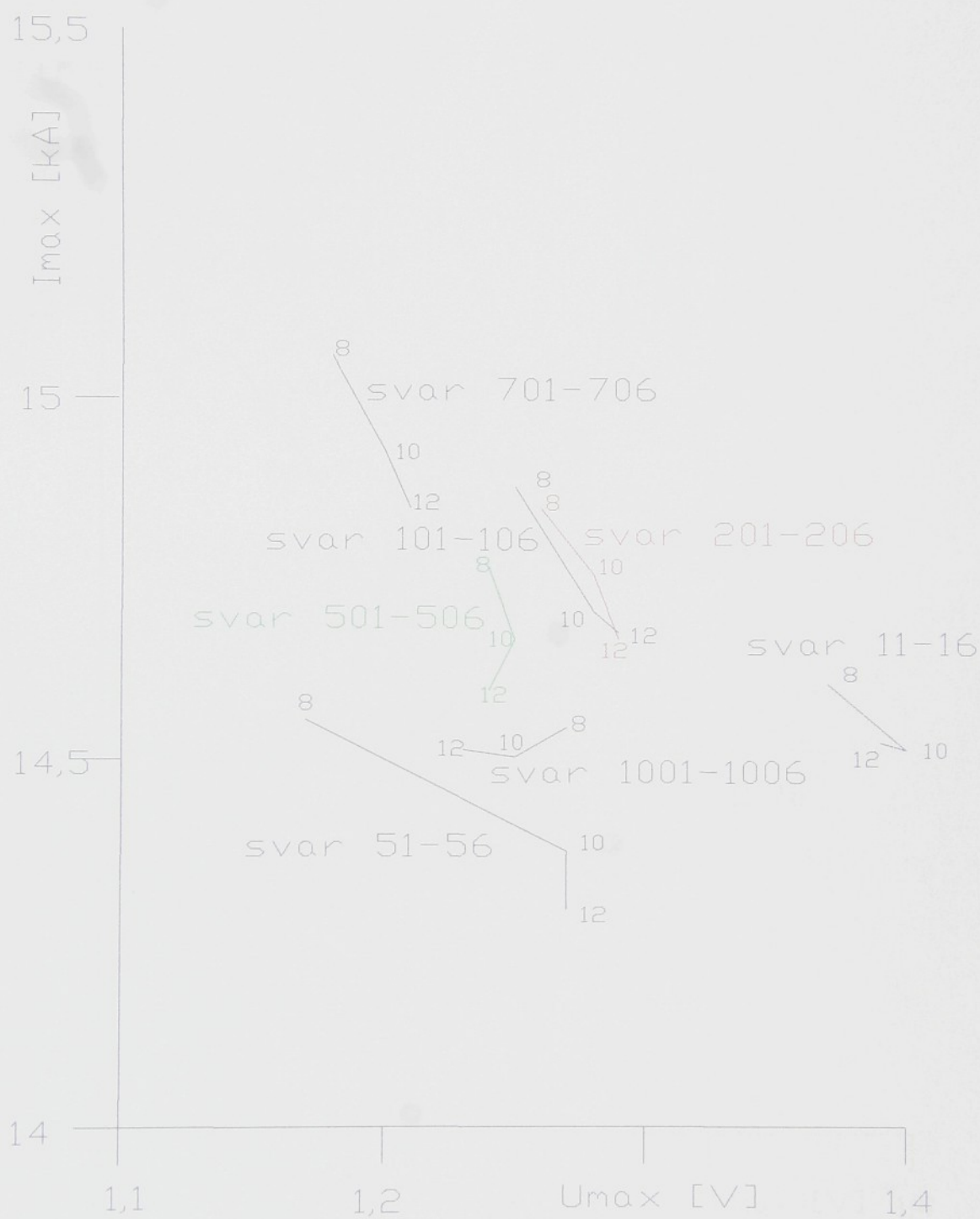
Obr.43 Průběhy elektrických veličin pro svary 801-806



Obr.44 Průběhy elektrických veličin pro svary 901-906

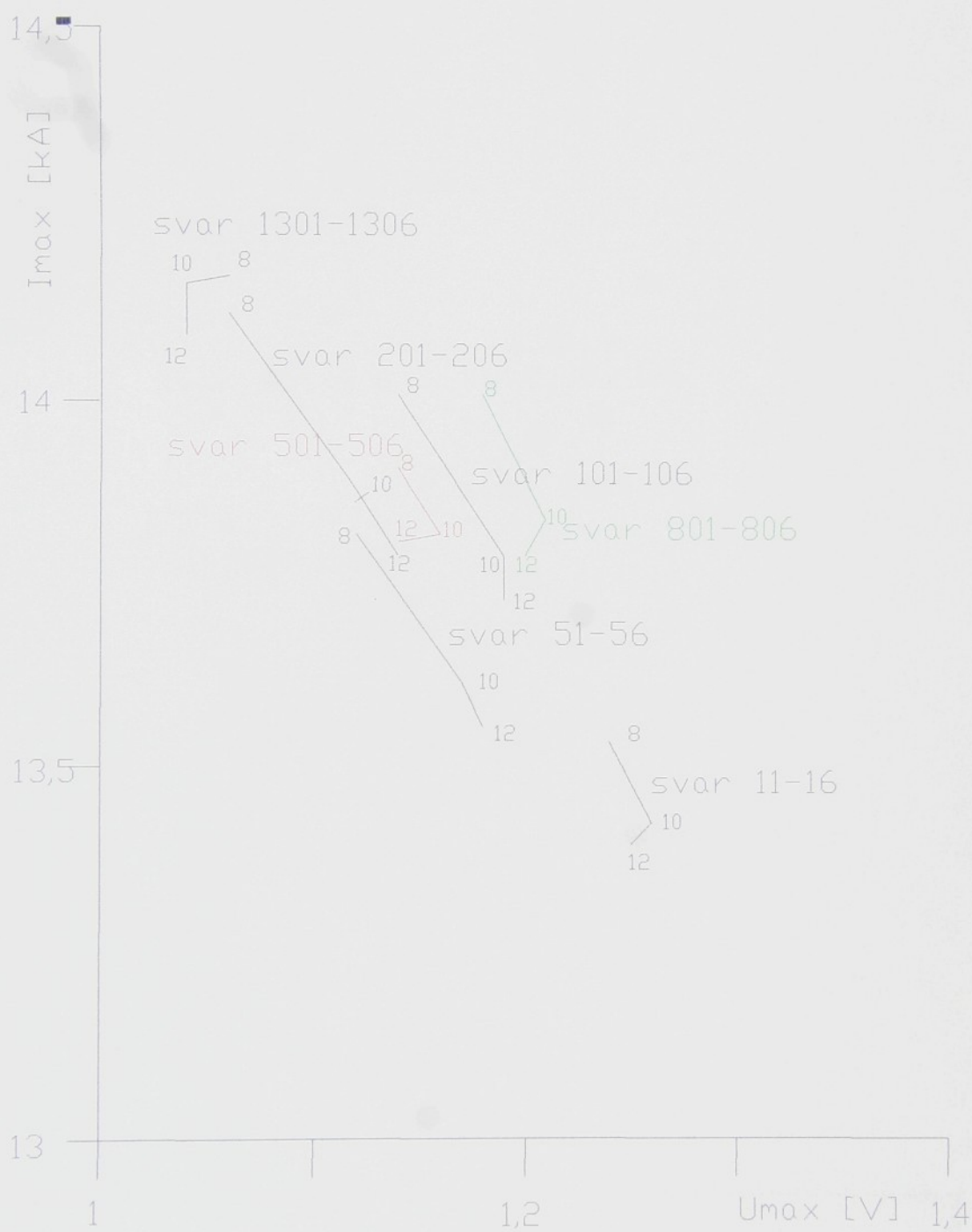


Obr.45 Průběhy elektrických veličin pro svary 1001-1006



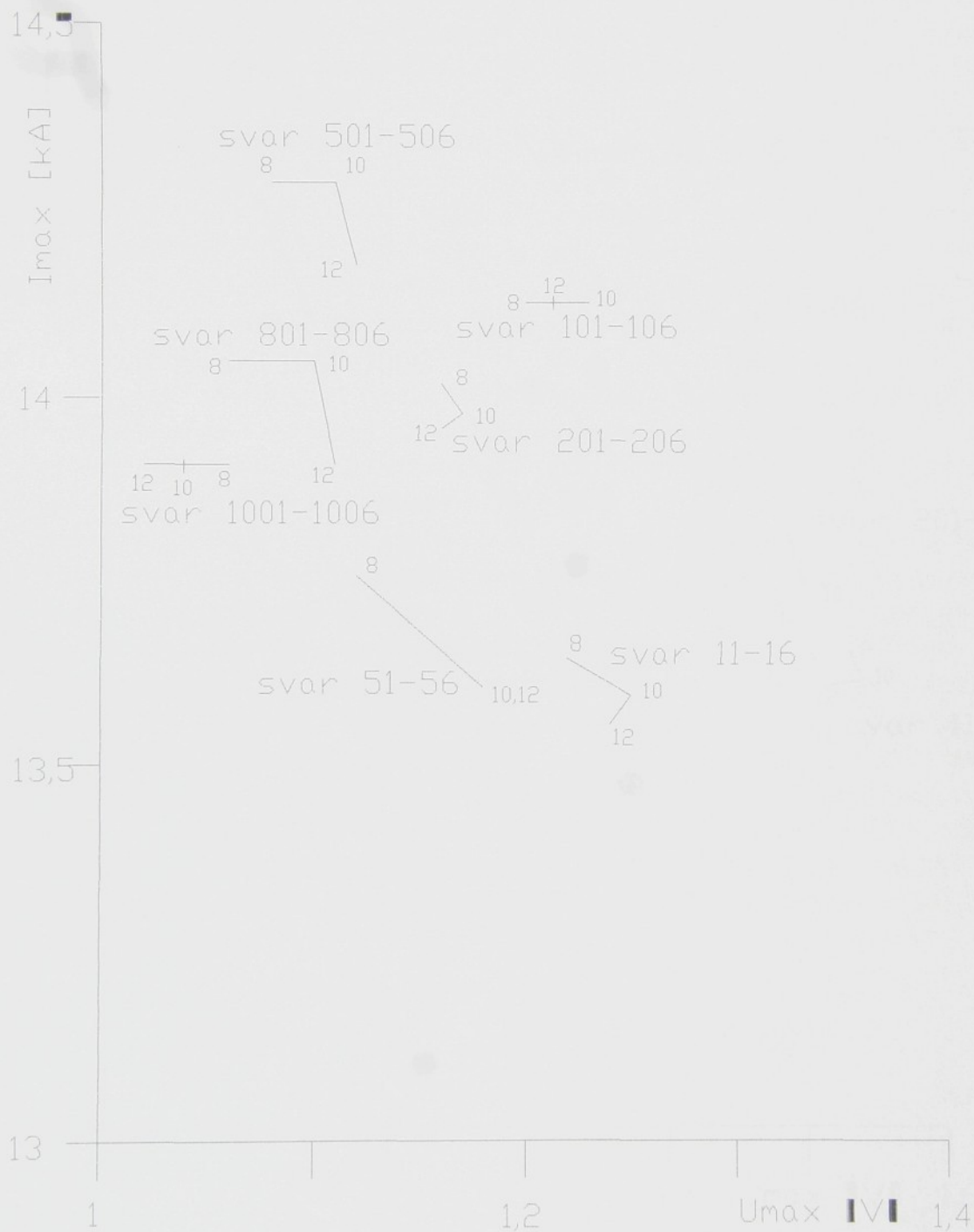
Obr.46 Vliv opotřebení elektrod na změny polohy svařovacího proudu a napětí

3.6.4. měření č.4



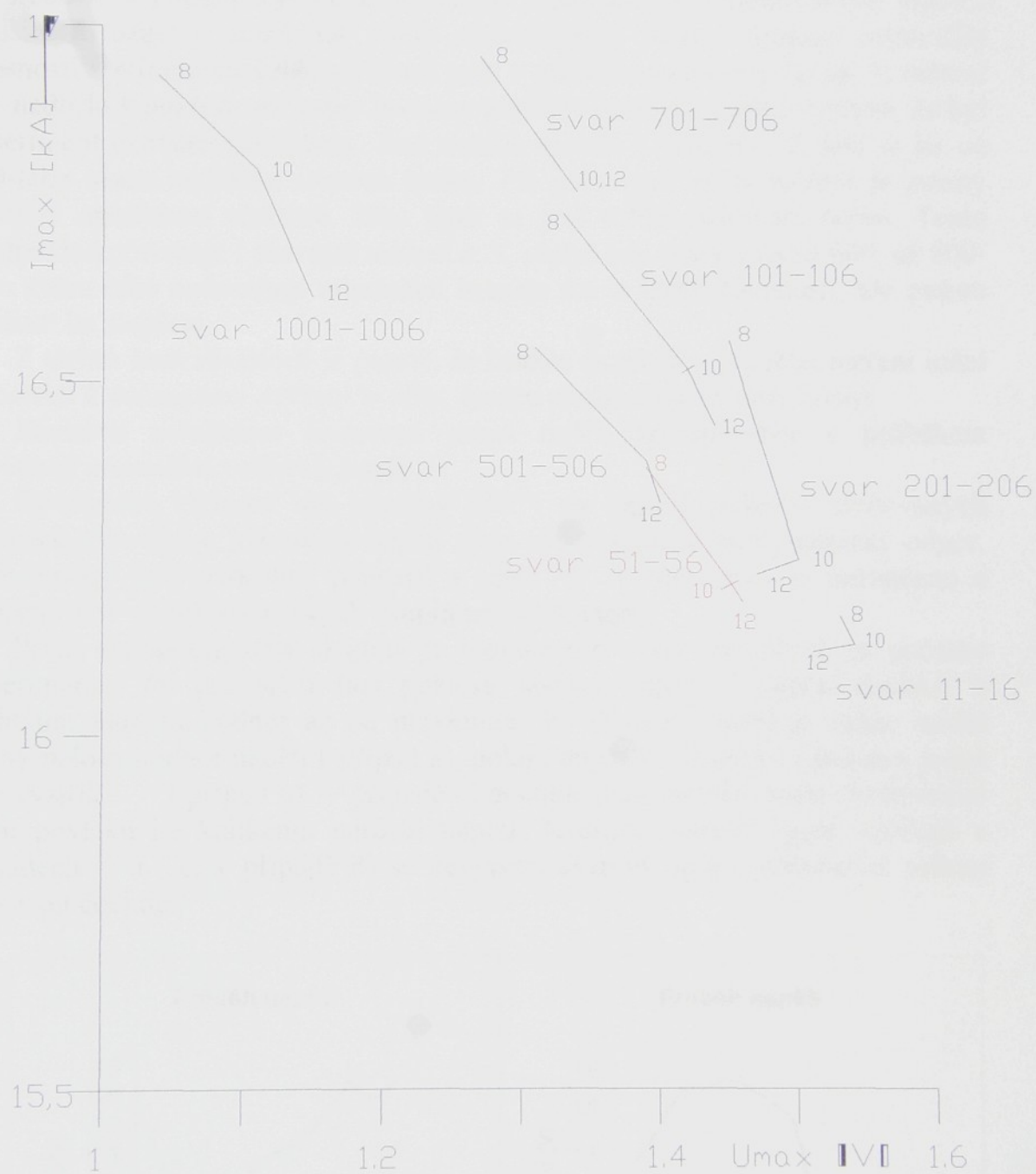
Obr.47 Vliv opotřebení elektrod na změny polohy svařovacího proudu a napětí

3.6.5. měření č.5



Obr.48 Vliv opotřebení elektrod na změny polohy svařovacího proudu a napětí

3.6.6. měření č.6



Obr.49 Vliv opotřebení elektrod na změny polohy svařovacího proudu a napětí

4. Diskuze výsledků

V souladu se zadáním se sledoval vliv opotřebení elektrod na průběhy fyzikálních veličin při svařovacím procesu.

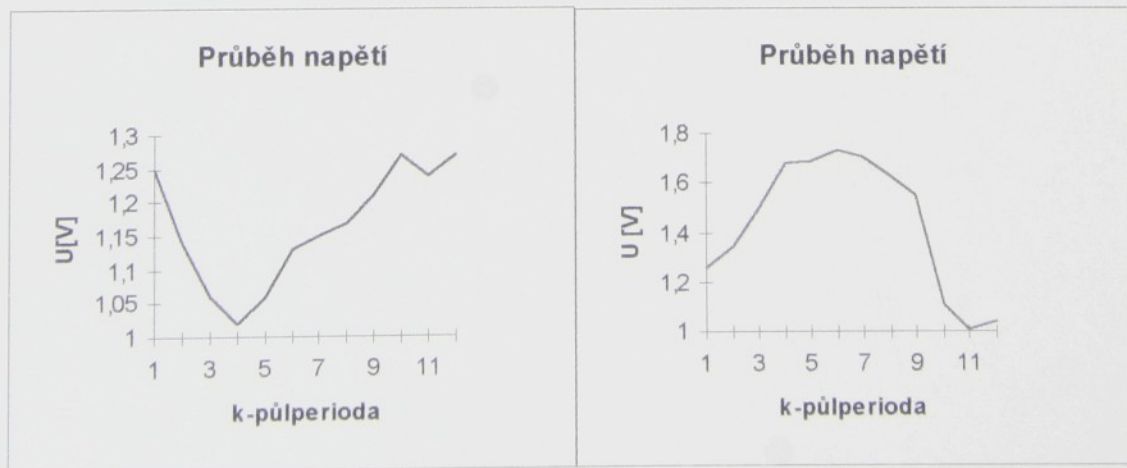
Vliv postupně rostoucího opotřebení elektrod na únosnost a rozměry svarů lze sledovat v grafech závislosti únosnosti svarů na počtu zhotovených svarů a závislosti rozměrů svarů na počtu zhotovených svarů. Hranice minimální únosnosti a minimální velikosti svarů jsou v grafech naznačeny čarou. V měření č. 1 nedošlo k poklesu ani jedné hodnoty pod tyto hranice, z čeho vyplývá, že byl experiment ukončen příliš brzy. Jiná situace nastala u měření č. 2, kde se již od 750-tého svaru netvořila svarová čoučka. Při porovnání obou měření je patrný rozdíl v opotřebení elektrod. Jako lepší se jeví tvrdší svařovací režim. Tento předpoklad potvrzuje i převzaté měření č. 3, i když zde svary v okolí 600. až 800-tého svaru také nedosahují minimální hranice ani u jedné závislosti, ale potom dochází ke zlepšení.

Z těchto šesti závislostí je patrné, že kvalita svarů se v průběhu měření mění (dochází k dočasnému zvýšení kvality, kterou představuje průměr bodů).

Závislost minimální únosnosti svarů dobře koresponduje s průběhem závislosti minimální velikosti svarů.

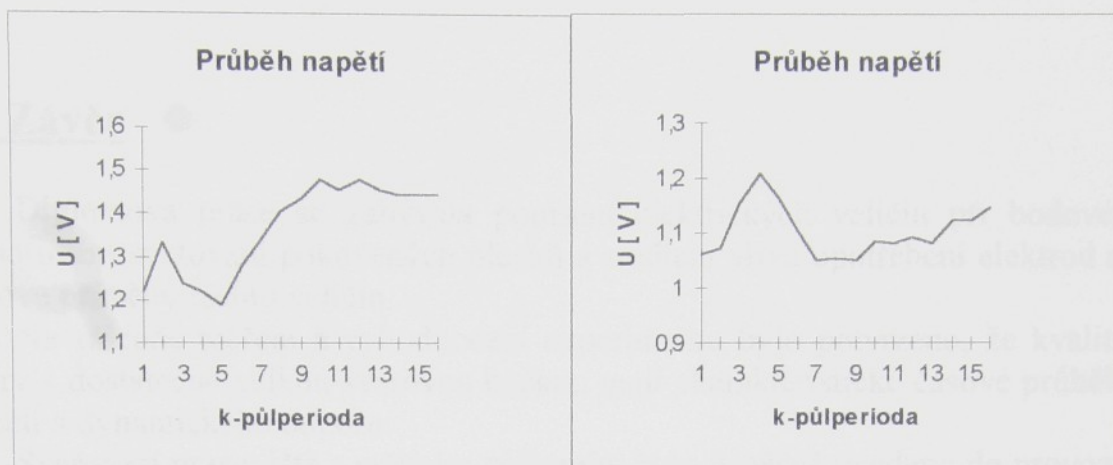
Opotřebení elektrod má výrazný vliv i na časové průběhy sledovaných elektrických veličin, hlavně na napětí mezi elektrodami a na dynamický odpor. Tyto změny jsou podrobně popsány v práci [2]. V této práci je naznačeno a popsáno šest charakteristických skupin průběhů napětí.

První charakteristická skupina je typická pro svary vytvořené na počátku experimentu. Po počáteční fázi poklesu hodnot odporu i napětí dochází k rychlému nárůstu hodnot až na maximum. Po dosažení maxima může nastat mírný pokles hodnot napětí (případ a), pokud dojde k výraznému poklesu jedná se o výstřik (případ b). V případě c) dochází před vytlačováním roztaveného kovu povlaku ke krátkému nárůstu napětí. Kvalitní svarové spoje vznikají v případech a - c, v případě d) se nevytváří svarový spoj s dostatečně velkou svarovou čoučkou.



a)

b)



c)

d)

Obr.50 Charakteristické průběhy napětí

Měření č. 2 a 3 korespondují s výše popsány charakteristickými průběhy. U měření č. 1 nebyl zjištěn na počátku experimentu charakteristický pokles napětí a na začátku bylo měření doprovázeno výstřikem roztaveného kovu.

Dále lze pozorovat, že na začátku testu je rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou napětí podstatně větší než na konci životnosti elektrod.

Průběhy napětí jsou v souladu s průběhy dynamického odporu.

Opotřebení elektrod má výrazný vliv i na grafy závislosti změny polohy svařovacího proudu a napětí na opotřebení elektrod.

Tyto závislosti splňují obecně trend, že při neopotřebovaných elektrodách je křivka umístěná v oblasti vyššího napětí a nižšího svařovacího proudu. V důsledku opotřebení elektrod se křivka posouvá do oblasti nižšího napětí a vyššího svařovacího proudu. Toto tvrzení dokládají měření č. 2 a 3. Graf měření č. 1 plně nesplňuje výše uvedené předpoklady. Na toto měření měly pravděpodobně hlavní vliv výstřiky tekutého kovu.

I tyto závislosti korespondují s výsledky měření únosnosti a rozměrů svarů.

5. Závěr

Diplomová práce se zabývala popisem elektrických veličin při bodovém odporovém svařování pokovených plechů a studiem vlivu opotřebení elektrod na časové průběhy těchto veličin.

Na základě měření a vyhodnocení experimentu bylo potvrzeno, že kvalitní svary s dostatečně velkou svarovou čočkou mají charakteristické časové průběhy napětí a dynamického odporu.

Svařovací pracoviště s měřicím zařízením bylo úspěšně uvedeno do provozu. V průběhu měření však bylo zjištěno několik nedostatků. Největší nedostatek byl v programu SCOPE určeném pro ovládání digitálního osciloskopu. Osciloskop změří v průběhu jednoho měření 8000 hodnot pro každý kanál, ale program SCOPE jich je schopen uložit a exportovat do jiných aplikací jenom 400. Proto bylo nutné provádět odečet hodnot manuálně z monitoru, jenom výpočet efektivních hodnot byl prováděn z exportovaných dat.

V budoucnu by bylo dobré provést stejný experiment pro více různých svařovacích proudů (I_{EFEKT}) a stejný svařovací čas. Pak by bylo možné sestavit dynamické proudovo-napěťové charakteristiky jaké jsou popsány v teoretické části, u kterých by se musel ověřit vliv opotřebení elektrod na průběhy těchto charakteristik.

Kdyby se podařilo vyřešit přenos dat a jejich počítačové zpracování, bylo by možné ve stejném časovém horizontu provést podstatně více měření. Proto by bylo dobré kontaktovat distributora digitálního osciloskopu.

Seznam použité literatury

1. Plíva, L.: Odporové svařování. SNTL Praha 1975
2. Neumann, H.: Sledování a řízení svařovacího procesu při bodovém odporovém svařování žárově pohliníkových ocelových plechů. Disertační práce, Liberec 1990, VŠST
3. Michalech, P.: Životnost elektrodových špiček vyrobených práškovou metalurgií při bodovém odporovém svařování. Diplomová práce, Liberec 1997, TU
4. Časopisy Schweissen und Schneiden, č. 47/1995, 43/1991, 44/1992, 48/1996
5. Kuncipál, J.: Nové technologie ve svařování. SNTL Praha 1984
6. Kolektiv: Svařování pozinkovaných plechů. Sborník přednášek, Praha 1971, ČVTS
7. Příručka uživatele. Manuál k osciloskopu M221