

Vysoká škola: strojní a textilní v Liberci Katedra: termomechaniky

Fakulta: strojní Školní rok: 1967/ 68

DIPLOMNÍ ÚKOL

pro Jiřího Šl e m í n a

obor strojírenská technologie

-Protože jste splnil požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomní úkol:

Název tematu: Kalení s proměnnou intenzitou proudění kalicí

olejové lázně.

Pokyny pro vypracování:

Laboratorně ověřit vliv změny intenzity uspořádaného nuceného proudu olejové lázně OL- J 4 na průběh ochlazování a charakter prokalení válcových vzorků průměrů 30 a 50 mm z materiálu 15 241. Laboratorní zkoušky provést na zkušebním zařízení pro sledování tepelných pochodů při kalení nuceným proudem oleje, instalovaném v laboratoři katedry termomechaniky a technického měření.

Na základě laboratorních zkoušek provést stadii možnosti praktické aplikace výsledků na kalení cementovaných vzorků válcového tvaru $\varnothing$ 30 a 50 mm z materiálu 14 223 v provozu n.p. Liaz-Rýnovice, kalených na zařízení pro kalení průtočným principem.

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962. Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze dne 31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5

✓ 128/1968

Rozsah grafických laboratorních prací: schémata, skicý, obrázky,;

Rozsah průvodní zprávy: 30 až 40 stran textu

Seznam odborné literatury:

- Kraus, Vl.: Atlas diagramů pro zušlechťování konstrukčních ocelí, SNTL, Praha 1964
Petraš, L.V.: Kalkuli prostředí pro tepelné zpracování kovů, SNTL, Praha 1962
Lykev, A.V.: Teorijs teploprovodnosti, Moskva 1952
Jareš, V.: Metalografie oceli, ČSAV, Praha 1960
Píšek, F.: Nauka o materiálu I., ČSAV, Praha 1957
Hynčica, V.: Návrh zařízení pro kalení do horkého oleje průtočným principem. Zpráva č. 62-102, VŠST, 1962
Hynčica, V.: Podmínky tepelných pochodů při kalení v případě podélného nuceného obtékání válce olejem. Kandidátská disertační práce, VŠST 1966.

Vedoucí diplomní práce:

Ing. V. Hynčica CSc

Konsultanti:

Datum zahájení diplomní práce: 9.10.1967

Datum odevzdání diplomní práce: 17.6.1968



[Signature]

Vedoucí katedry

[Signature]

Děkan

VŠST Liberec		Katedra KTE
Fakulta strojní	- 1 -	DP ST-674/68

Obsah.	strana
Předmluva	3
Úvod.....	4
1.Obecný rozbor řešeného problému.....	6
2.Zkušební zařízení a princip jeho funkce	9
3.Podmínky a rozsah provedení zkoušek	15
4.Technika měření.....	22
4.1.Technika měření teplot.....	22
4.2.Technika měření tvrdostí.....	27
5.Výsledky zkoušek.....	28
5.1.Průběhy teplot při kalení vzorků	28
5.2.Výsledky měření tvrdostí vzorků	28
6.Vyhodnocení zkoušek.....	60
6.1.Vyhodnocení tepelných pochodů	60
6.1.1.Porovnání průběhů povrchových teplot vzorků pro jednotlivé režimy kalení.....	60
6.1.2.Porovnání průběhů teplot v jádře vzorků pro jednotlivé režimy kalení.....	64
6.1.3.Vyhodnocení průběhů rychlostí ochlazování v jádře vybraných vzorků.....	68
6.1.4.Vyhodnocení rozdílů teplot povrchů a jádra vzorků pro jednotlivé režimy kalení.....	72

strana

6.2. Metalografické vyhodnocení.....	81
6.2.1. Porovnání průběhů tvrdostí vzor- ků v jejich průřezu.....	81
6.2.2. Porovnání povrchových nebo maxi- málních a středních hodnot tvr- dostí vzorků.....	82
6.2.3. Porovnání struktury kalených vzorků.....	86
Závěr.....	93
Literatura.....	94

VŠST Liberec	- 3 -	Katedra KTE
Fakulta strojní		DP ST-674/68

Předmluva.

Diplomní práce na téma - kalení s proměnnou intenzitou proudění kalící olejové lázně- je studií problému dosud u nás neřešeného. Této práci jde o laboratorní prověření možností použití tohoto způsobu kalení v provozních podmínkách. Práce spojené s řešením tohoto úkolu byly prováděny jednak v laboratoři katedry termomechaniky a technického měření na VŠST v Liberci, jednak v laboratorních útvaru podnikové metalurgie n.p. LIAZ Rýnovice, neboť v tomto podniku je instalováno zařízení pro kalení do lázně s nuceným prouděním.

Při řešení tohoto náročného úkolu jsem se na všech pracovištích setkal s velkým pochopením. Využívám proto této příležitosti k vyjádření díky především ing. Václavu Hynčicovi CSc - vedoucímu této diplomní práce, - za cenné rady a podporu. Můj dík patří rovněž pracovníkům katedry termomechaniky a technického měření na VŠST v Liberci i zaměstnancům útvaru podnikové metalurgie n.p. LIAZ Rýnovice za technickou pomoc.

V červnu 1968.

Štěpán Jirák

Úvod.

Důležitým technologickým oborem zpracování kovů je tepelné zpracování. Jednou z významných forem tepelného zpracování je kalení, které zahrnuje řadu metod navzájem se od sebe lišících.

Mezi nejnověji zaváděné metody patří způsob kalení do lázně s nuceným prouděním, který dává možnost ovládání procesu kalení, takže lze regulovat ochlazovací účinek kalící lázně v širokém rozmezí, volbou teploty a rychlosti proudění kalící lázně.

Tento způsob kalení vyžaduje speciální kalící zařízení. Laboratorní zařízení [1] pro kalení do horkého oleje průtočným principem, je instalováno na katedře termomechaniky a technického měření, na VŠST v Liberci. Provozní zařízení [2] pro tento způsob kalení je instalováno v n.p. LIAZ Rýnovice.

Vzhledem k tomu, že provozní zařízení [2] je ojedinelé zařízení tohoto druhu v naší republice, nebylo možno vycházet ze zkušeností jiných pracovišť. Podkladem pro zaměření práce, volbu rozsahu provedení zkoušek, výběr techniky měření teplot a uspořádání zkoušek, byly zkušenosti z laboratorního výzkumu obsaženém v [1].

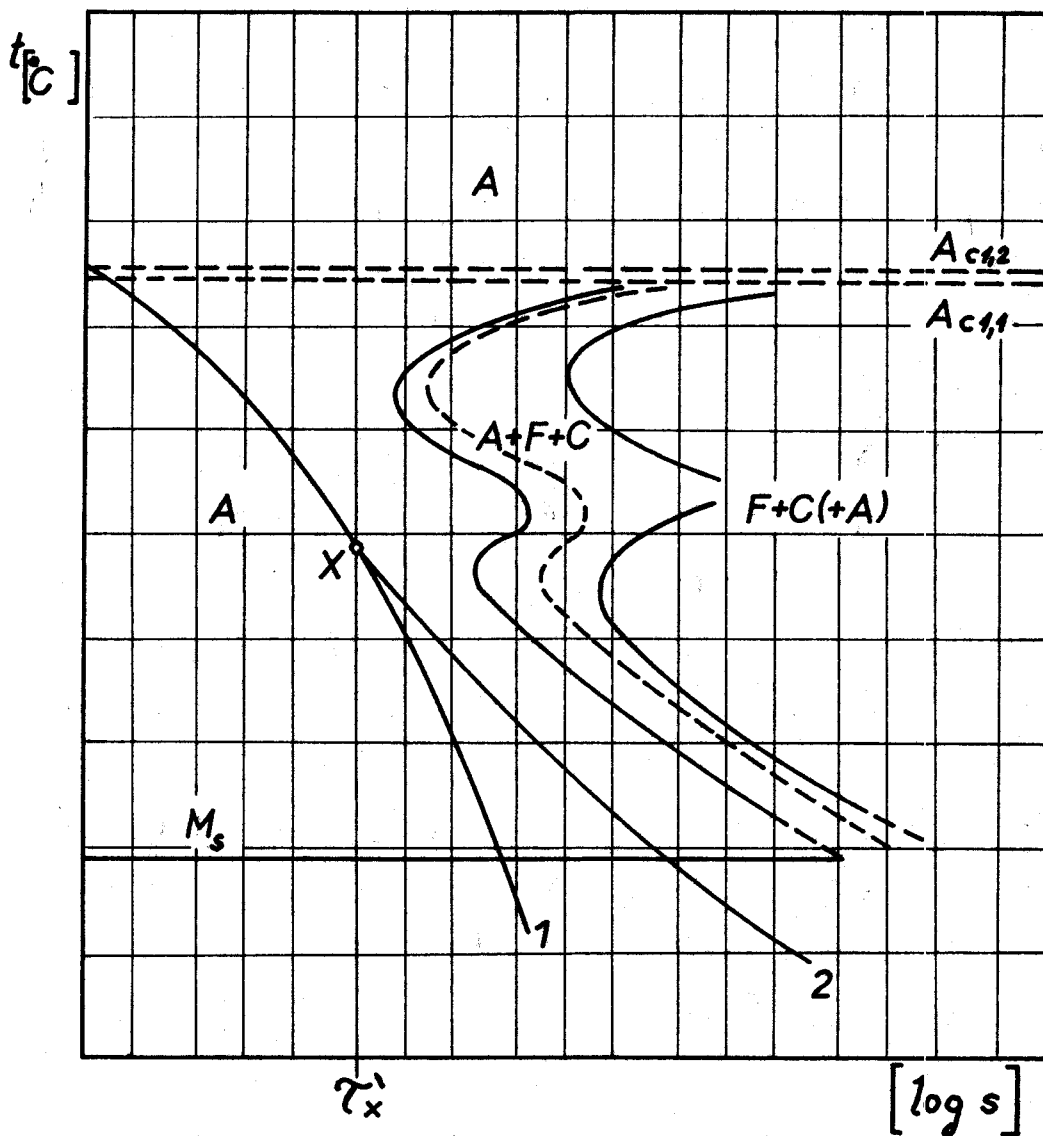
V rámci diplomové práce bylo nutno provést studii kalení nuceným proudem olejové lázně, při změně intensity její rychlosti v samotném procesu kalení. Tato studie byla provedena v laboratoři katedry termomechaniky a technického měření. Sledování procesu kalení se obvykle provádí

jen z hlediska metalografického na vzorcích zakalených danou technikou. Při řešení diplomního úkolu bylo sledování procesu kalení provedeno jak z hlediska metalografického, tak také z hlediska tepelných pochodů. Sledování tepelných pochodů v podmínkách rychlých teplotních změn si však vyžádá použití zvláštní přístrojové techniky a potřebných zkušeností a nutno také dodat, že je poměrně pracné. Zvládnutí diplomové práce v požadovaném rozsahu bylo usnadněno tím, že řešitel po dobu 3,5 let se zúčastňoval různých prací z oblasti tepelné technické problematiky, řešených uvedenou katedrou.

1. Obecný rozbor řešeného problému.

Obecně lze na průběh ochlazování při kalení do olejové lázně klást požadavek, aby ochlazování v oblasti perlitické přeměny bylo prudké a v oblasti martensitické přeměny pomalé. Prudké ochlazování v oblasti perlitické přeměny má zabránit vzniku měkké feriticko-perlitické struktury a naopak tomu pomalé ochlazování v oblasti martensitické přeměny/ pod M_s /, má zabránit vzniku velkých vnitřních pnutí, která jsou dána složením pnutí v důsledku strukturálních přeměn a pnutí tepelných v důsledku rozdílu teplot mezi povrchem a jádrem kaleného dílu.

Při kalení do olejové lázně OL -J4 /ložiskový olej/, je počáteční údobí kalení nepříznivě ovlivňováno působením parního polštáře. Zavedením kalení nuceným proudem olejem je dle [1], působení parního polštáře značně potlačeno, přičemž je žádoucí rychlost proudění olejové lázně okolo 0,5 m/s. Je-li žádoucí, aby nucené proudění kalící lázně v oblasti perlitické přeměny bylo intenzivní, potom v oblasti martensitické přeměny je žádoucí zmírnění intensity proudění lázně. Schematicky je možno znázornit žádoucí průběh ochlazování křivkou X2 v obr.1, kde do diagramu IRA je schematicky transformován průběh teploty v čase. Počátek kalení je proveden při jedné rychlosti proudění lázně, přičemž po určité době se rychlost proudění lázně zmenší, v důsledku čehož dojde ke zpomalení rychlosti ochlazování kaleného dílu.



obr.1 - Schema principu kalení s proměnnou intenzitou rychlosti proudění kalící lázně transformováním průběhu teploty v čase do diagramu IRA.

X1 - kalení beze změny rychlosti proudění kalící lázně.

X2 - kalení se změnou rychlosti proudění kalící lázně.

U provozního zařízení [2] se kalící lázeň dopravuje do kalící vany pomocí čerpadel. Kalená vsázka se zavází do prázdné kalící vany, čerpadla se zapínají až po zavezení vsázky a uzavření víka kalící vany. To znamená, že jednotlivé partie vsázky po výšce jsou zahlcovány postupně. Z provozu je známo, že doba úplného zahlcení kalící vany olejem od okamžiku zapnutí čerpadel činí $5 + 7s$ v závislosti na druhu vsázky/jejím objemu/. Tento fakt je rozhodující při výběru okamžiku změny intenzity proudění lázně /bod Xobr.1 /, což bylo vzato v úvahu i při laboratorních zkouškách.

Vlastní realizace změny intenzity rychlosti kalící lázně v provozních podmínkách řešena nebyla. V laboratorních podmínkách u zkušebního zařízení byla provedena změna rychlosti kalící lázně pomocí obtokového potrubí, které bylo otevřeno v požadovaném čase od počátku kalení / τ_x' /.

Při kalení s proměnnou intenzitou proudění lázně byl sledován vliv doby na strukturu a tvrdost kaleného vzorku a na rychlosti ochlazování vzorků v oblasti martensitické přeměny/ oblast přeměny vymezená dle teploty povrchu vzorků/.

2. Zkušební zařízení a popis jeho funkce.

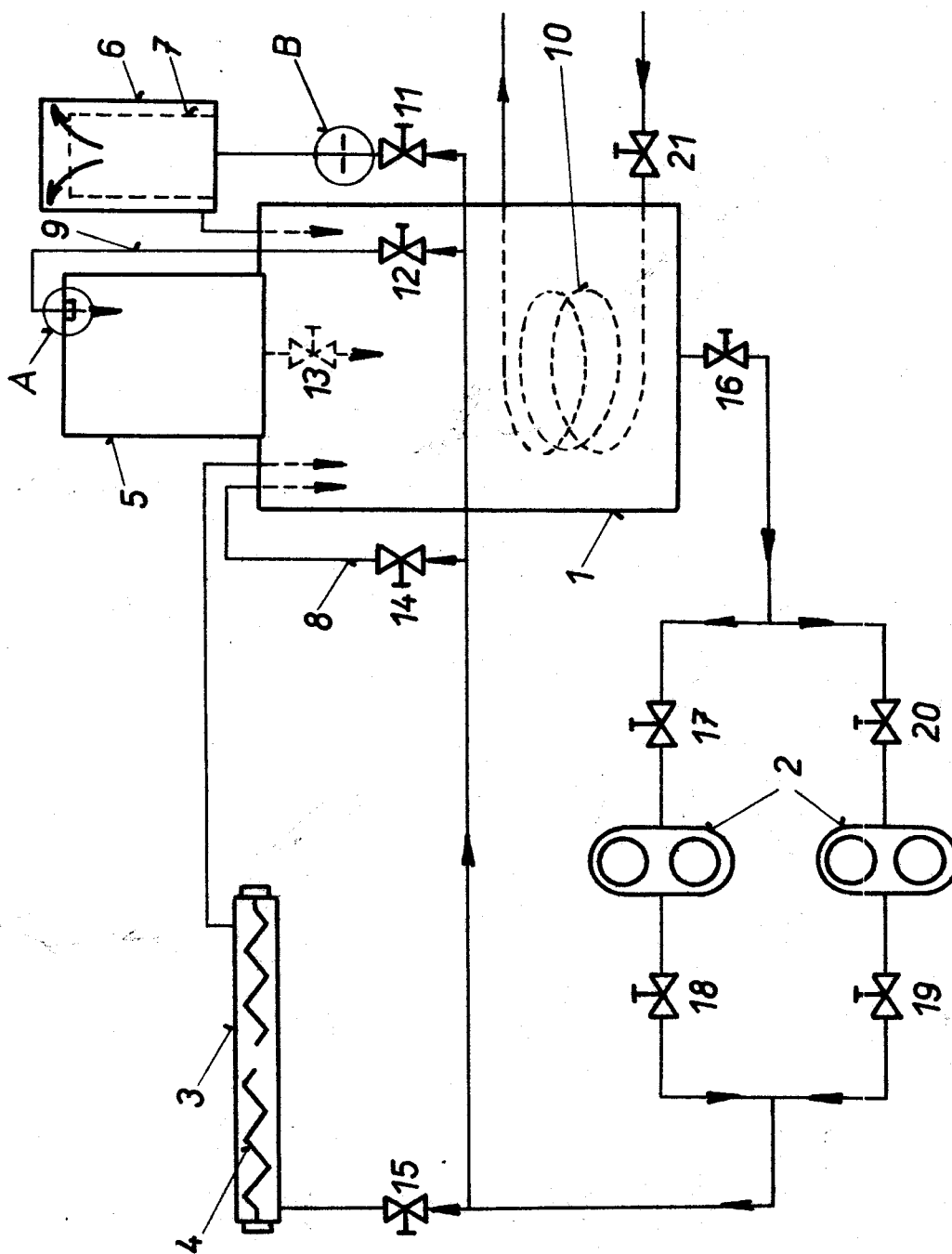
Schema zkušebního zařízení je přivedeno na obr.2.

Zkušební zařízení je sestaveno z nádrže pro olej 1 o obsahu 150 l s dvojitým pláštěm / izolace/, dvouzubových čerpadel oleje 2 o výkonu 100 l/min. každé, průtokového ohříváče oleje 3 se dvěma pohonnými elektrickými topnými tělesy 4 typu T-03 o výkonu 6kW každé, měrné nádoby 5 k určení rychlosti proudění z nateklého množství, kalící vany 6 se sadou výměnných vložek 7 pro snadnou reprodukovatelnost rychlosti proudění oleje při plném výkonu čerpadel, obtokového potrubí 8, přívodního potrubí 9 k měrné nádobě, chladiče olejové lázně 10 a uzavíracích ventilů 11 až 21.

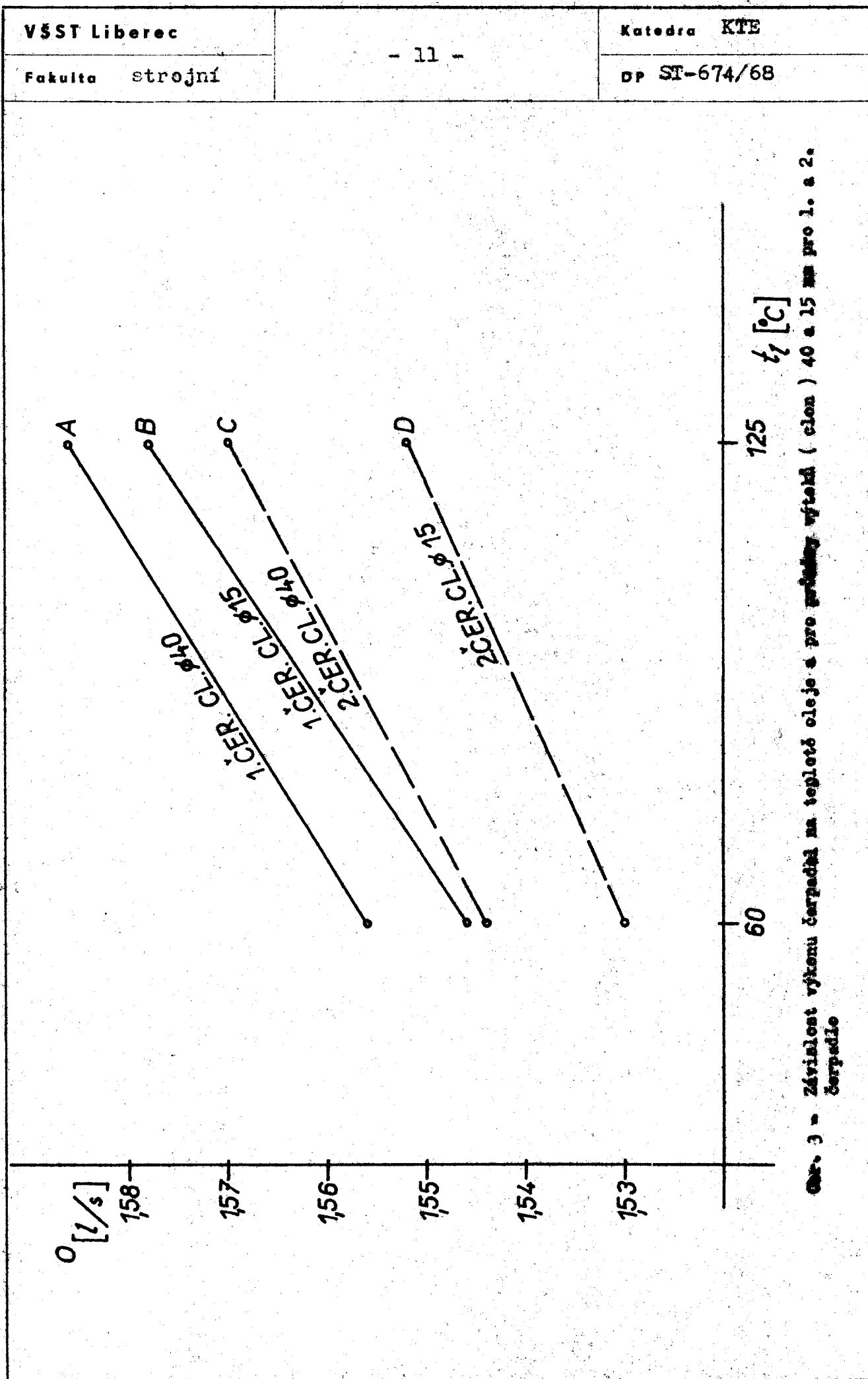
Vlastní kalení se provádí v kalící vaně 6, přičemž vzorek ohřátý na kalící teplotu se umístí do prázdné kalící vany a až poté se zapínají čerpadla.

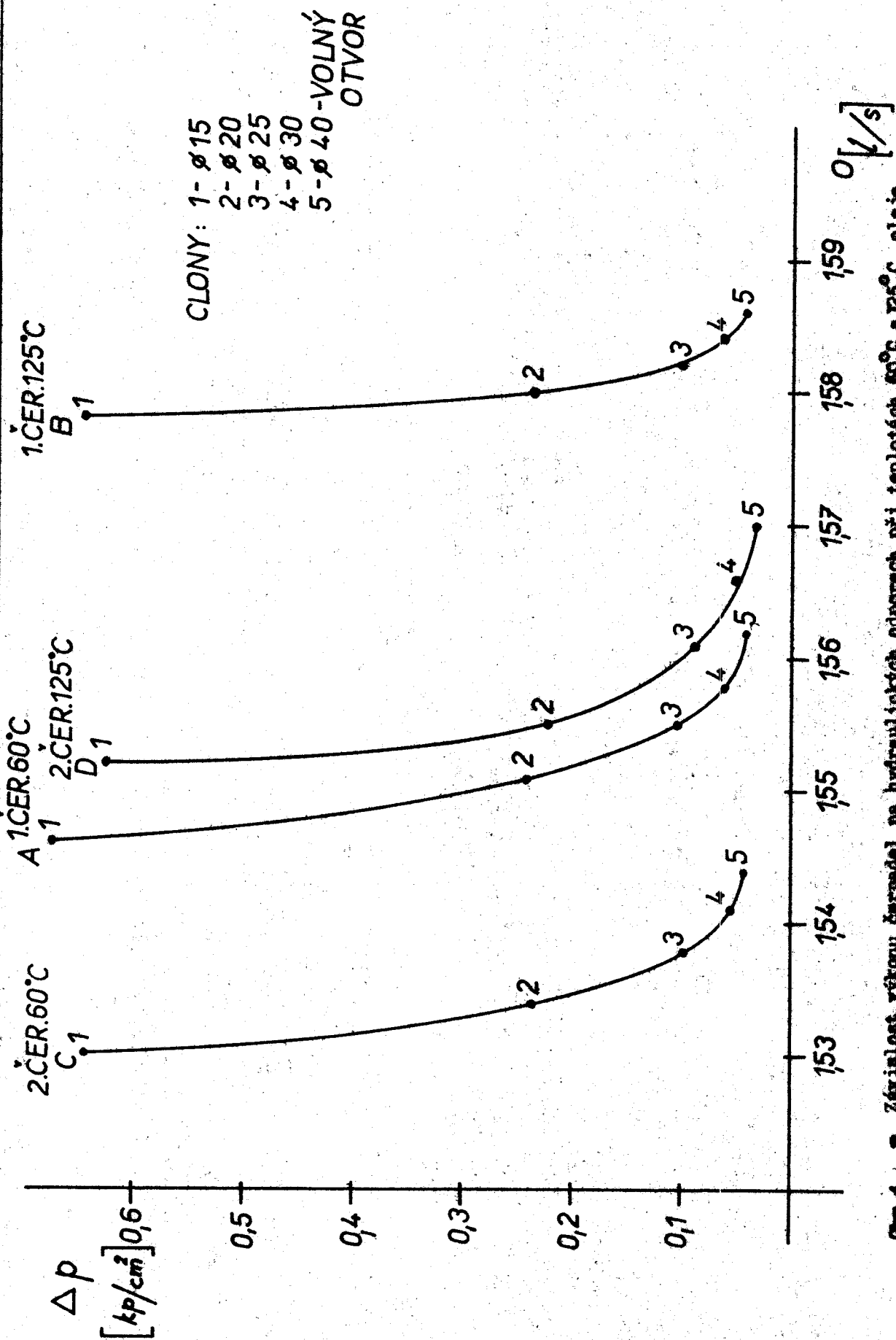
Pro řešený případ bylo požadované rychlosti proudění lázně v kalící vaně docíleno vhodnou velikostí průměru výměnné vložky 7. Rozměry výměnných vložek byly voleny tak, aby požadované rychlosti obtáčení bylo docíleno při plném výkonu jednoho čerpadla.

Výkon čerpadel byl stanoven v závislosti na teplotě lázně a na hydraulickém odporu vyvozeném uměle na úseku přívodního potrubí 9 pomocí vestavěných clon různých průřezů. Hydraulické odpory jednotlivých clon byly stanoveny výpočtem a výkon čerpadel byl určen pomocí měrné nádoby 5. Výsledky těchto měření jsou uvedeny na obr.3 a obr.4.



obr. 2- Schema zkušebního zařízení. 1 - nádrž pro olej, 2 - čerpadlo oleje, 3 - průtokový ohříváč oleje, 4 - ponorná tepná tělesa, typu T-O3(6 kW), 5 - měrná nádoba, 6 - kalící vana, 7 - výměnná vložka kalící vany, 8 - sbírková petruží, 9 - petruží přívodu oleje do měrné nádoby k určení rychlosti proudění, 10 - vodní chladič olejové lázně, 11 až 21 - uzavírací ventily
A - usávěcí petruží přívodu oleje 2; B - clona v přívodu oleje ke kal. vaně 6





Obr. 4 • Závislost výkonu čerpadel na hydraulických odporech při teplotách 60°C a 125°C oleje
(pro 1. a 2. čerpadlo)

Z obr.3 je zřejmé, že při změně teploty lázně v rozsahu 60 až 125° C se změnil výkon 1. čerpadla o $1,9 \pm 2,0 \%$ 2. čerpadla o $1,7 \pm 1,8 \%$ pro oba ϕ clon, t.j. ϕ 15 a 40mm. Z obr. 4 je patrné, že při změně hydraulického odporu pří-
vodního potrubí 9 s clonkou v rozsahu od 0,03 do 0,65 kp/cm², se výkon čerpadel změnil o $0,7 \pm 1,0 \%$ pro teplotu lázně 60° C a o 0,6 až 1,0 pro teplotu lázně 125° C.

Změna výkonu čerpadel v závislosti na teplotě lázně a v závislosti na hydraulickém odporu přívodních potrubí se zařazenými clonkami uvažována nebyla. Rychlost proudění lázně byla určována pro střední hodnoty stanovených výkonů. Chyba v nastavení požadované rychlosti nepřesáhla hodnot $\pm 1,5 \pm 2\%$.

Při kalení s proměnnou intenzitou proudění lázně byly ventily 11 a 12 otevřeny, ventily 14 a 15 uzavřeny. Výstup přívodního potrubí 9 byl uzavřen mechanickou uzávěrkou A/výkres č.DP-ST-674/68.1/, která byla v době odpovídající změně intenzity proudění lázně otevřena. V důsledku toho se dodávané množství lázně dělilo mezi přívodní potrubí 9 a přívodní potrubí ke kalící vaně. Aby bylo docíleno dělení dodávaného množství lázně mezi kalící vanu a přívodní potrubí 9 v poměru potřebném pro redukci rychlosti proudění z původní, do přívodního potrubí ke kalící vaně, byla zamontována clonka B/obr.2 a výkres č.DO-ST-674/68.2/. Průměr clonky byl pokusně stanoven tak, aby bylo docíleno žádoucího rozdělení proudu lázně.

Na uvedeném zkušebním zařízení byly prováděny zkoušky se samostatnými vzorky válcového tvaru. Uložení vzorků bylo pomocí opěrek soustředné s vnitřním průměrem výměnné vložky 7 kalící vany ve svislé poloze, takže zkušební vzorky byly obtékány podélným proudem oleje směrem zdola nahoru.

3. Podmínky a rozsah provedení zkoušek.

Laboratorní zkoušky byly provedeny při teplotách kalící lázně 60 a 125°C. Jako kalící lázně bylo použito ložiskového oleje OL-J4 [3]. Zkušební vzorky byly zhotoveny z materiálů 15241 a 14223. Materiál 14223 je cementační ocel. Vzorky zhotovené z tohoto materiálu byly v kalírně n.p. LIAZ Rýnovice nacementovány v cementační peci typu "MONOCARB". Gradient cementace byl proveden laboratoří útvaru podnikové metalurgie zmíněného podniku. Uvedená laboratoř rovněž provedla chemický rozbor materiálů pro zkušební vzorky. Chemické rozborů a gradient cementace jsou uvedeny v tabulce 1,2,3 a 4. Grafické znázornění gradientu cementace v nacementované vrstvě je představeno na obr.5.

Zkušební vzorky, které sloužily jednak pro sledování teplotního pole, jednak pro metalografické vyhodnocení, byly vyrobeny dle obr.6. Rozmístění otvorů pro snímání teplot uvnitř vzorků, bylo navrženo dle [1]. Vzhledem k tomu, že vrtání pro termočlánky bylo prováděno do vzdálenosti poloviny délky vzorků, přesná místa snímání teplot byla odečtena až po přípravě vzorků pro metalografické vyhodnocení. Přehledně jsou vzdálenosti snímání teplot uvedeny v tabl.5.

Z hlediska sdílení tepla zkušební vzorky nesplňují podmínku neomezeného válce, pro který má být délka $l = 5 + 10d$, kde d představuje ϕ vzorků.

Tab. 1 - Chemický rozbor materiálu dle ČSN 15 241 Ø 30.

Chem.slož.	C	Mn	Si	Cr	V	P	S
ČSN	0,35-0,42	0,60-0,75	max 0,35	1,70-2,00	0,10-0,20	max 0,03	max 0,04
skutečnost	0,38	0,63	1,	1,94	0,18		

Tab. 2 - Chemický rozbor materiálu dle ČSN 15 241 Ø 50.

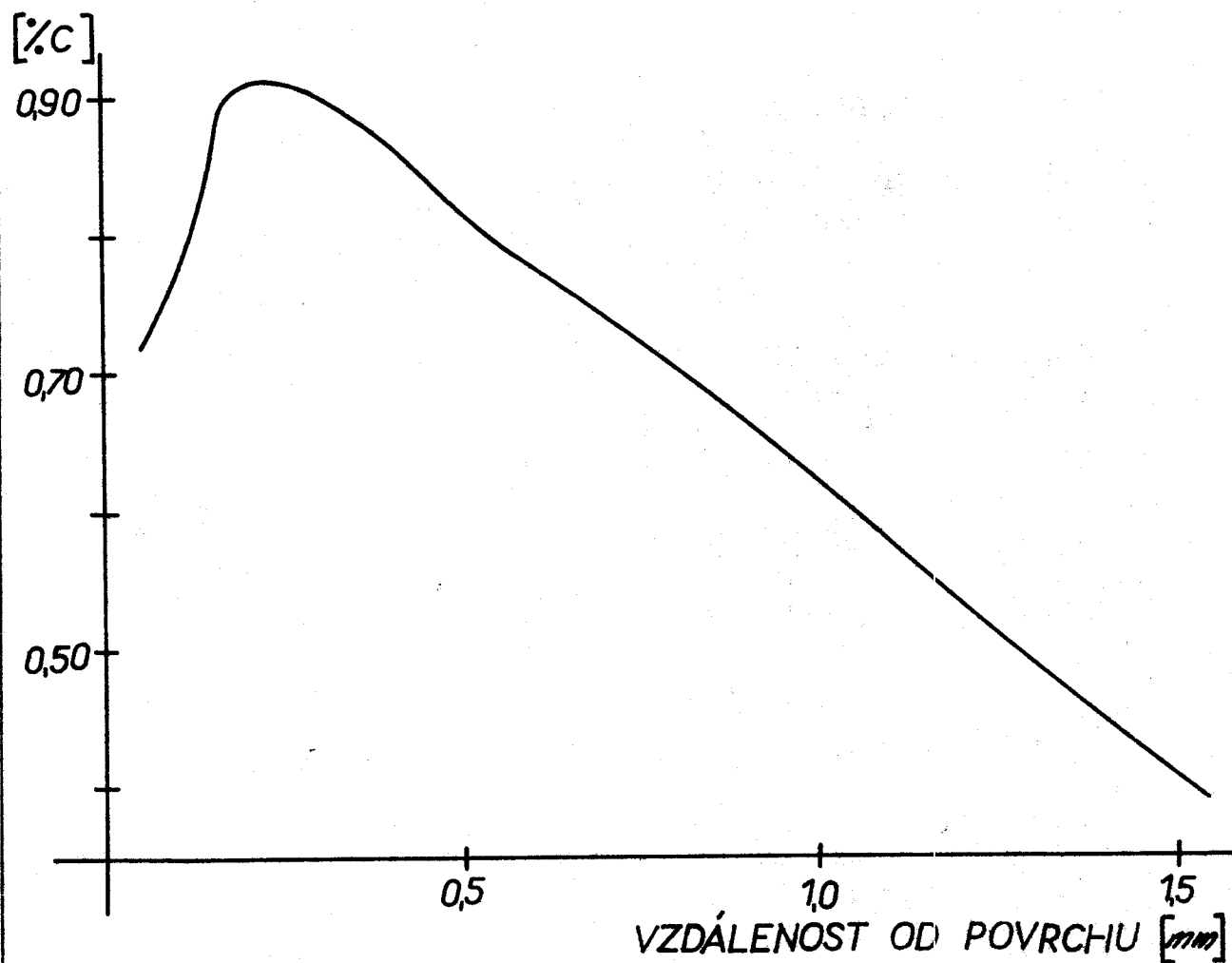
Chem.slož.	C	Mn	Si	Cr	V	P	S
ČSN	0,35-0,42	0,60-0,75	max 0,35	1,70-2,00	0,10-0,20	max 0,04	max 0,04
skutečnost	0,41	0,61		1,98	0,19		

Tab.3 - Chemický rozbor materiálu dle ČSN 14 223 Ø 30

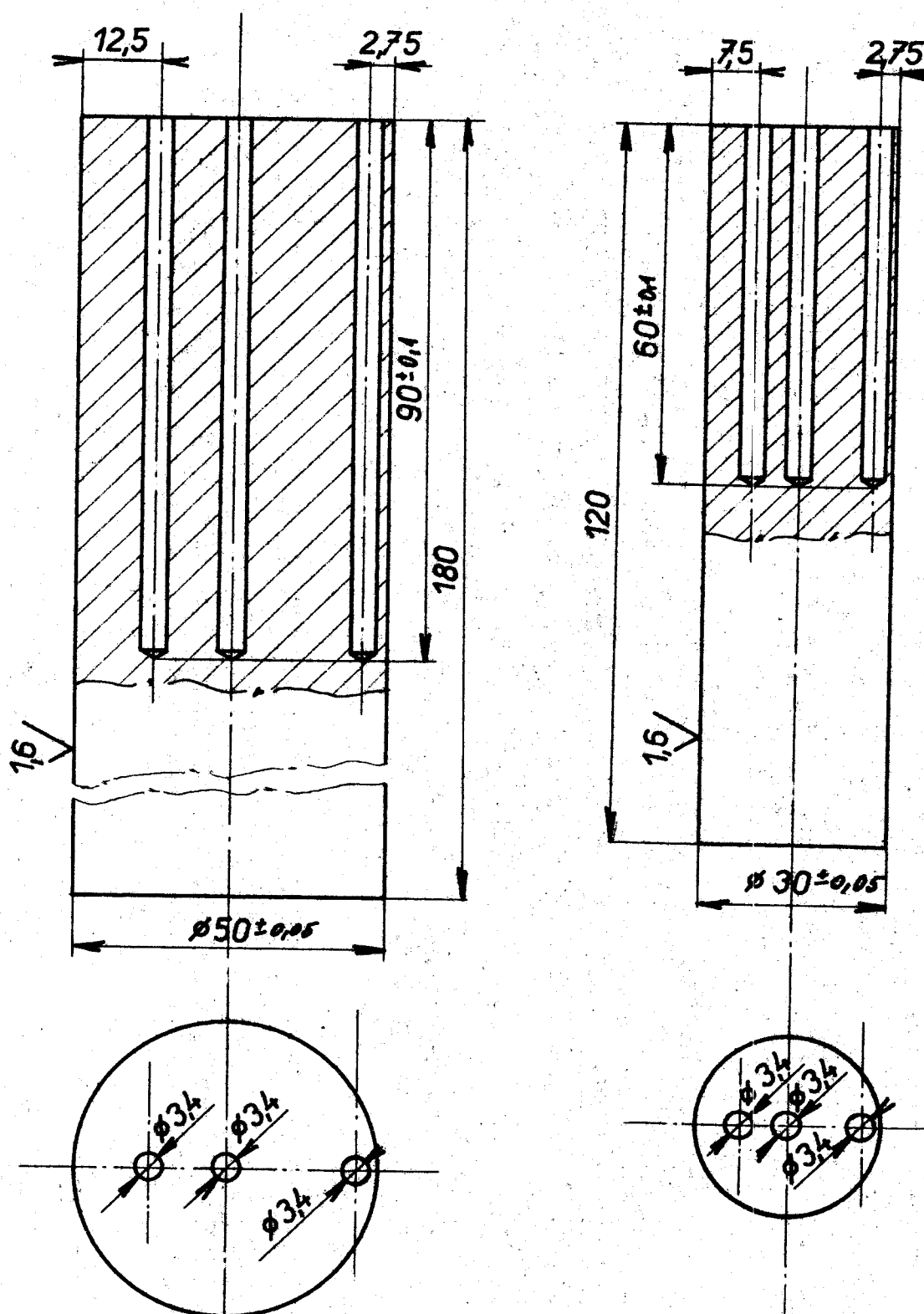
Chem.slož.	C	Mn	Si	Cr	V	P	S
ČSN	0,16	1,14	0,27	1,00	0,05	0,03	0,043
skutečnost	0,21	1,04	0,37	1,22		0,022	0,01

Tab. 4 - Gradient cementace

vrstva mm	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,35	0,45
% C	0,72	0,77	0,86	0,91	0,91	0,89	0,84
vrstva mm	0,55	0,65	0,72	0,95	1,15	1,35	1,55
% C	0,79	0,76	0,72	0,61	0,55	0,47	0,39



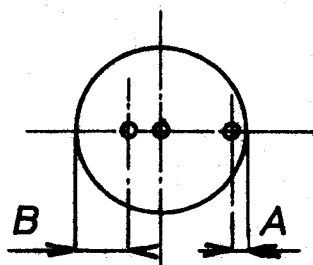
obr.5 - Grafické znázornění gradientu cementace pro materiál 14 223



obr.6 - Konstruktivní provedení vzorků

Tab. 5 - Poloha míst A a B, ve kterých byly měřeny teploty uvnitř vzorků

vzorek	A	B
B1	2,6	7,5
B2	2,8	7,3
B3	3,0	7,0
B4	3,0	6,8
B5	3,3	7,4
D1	3,2	13,9
D2	3,0	12,4
D3	2,7	13,2
D4	2,7	12,5
D5	3,3	12,6
E1	4,3	7,6
E2	3,7	8,0
E3	3,0	7,0
E4	4,0	7,4
E5	4,0	7,3
E6	3,4	8,2



Pozn.: uvedené hodnoty jsou vzdálenosti měřené od povrchu vzorku jak ukazuje obrázek.

Není to však na závađu řešení úkolu v rámci diplomové práce, neboť na základě naměřených teplotních průběhů se nevyhodnocovaly charakteristiky, pro něž by bylo podmínkou, aby zkušební vzorky byly neomezenými válci.

Laboratorní zkoušky mají být studii s ohledem na podmínky provozu kalírny. Na základě popisu průběhu procesu kalení na provozním zařízení [2] uvedeném v kapitole 1., byly stanoveny tyto doby změny intensity proudění lázně odečítané od okamžiku, kdy hladina olejové lázně dostoupila do poloviny délky vzorku: $\tau_x' = 0, 3, 6, 10, 15$ a 20s. Rovněž rychlosti proudění kalící lázně byly voleny tak, aby se laboratorní zkoušky co nejvíce přiblížily provozním podmínkám. Přehledně jsou podmínky laboratorních zkoušek uvedeny v tab.6.

Tab. 6 - Přehled režimů kalení

vzorek	materiál	průměr vzorku d [mm]	délka vzorku l [mm]	čas máčení t_x rychl. [s]	rychllost oleje w [m/s]	teplota oleje t [°C]	průměr vložky D [mm]
B1	15241	30	120	0	0,46	60	72
B2	15241	30	120	6	0,46na0,1	60	72
B3	15241	30	120	10	0,46na0,1	60	72
B4	15241	30	120	15	0,46na0,1	60	72
B5	15241	30	120	10	0,46na0,1	125	72
D1	15241	50	180	0	0,44	60	84
D2	15241	50	180	6	0,44na0,1	60	84
D3	15241	50	180	10	0,44na0,1	60	84
D4	15241	50	180	20	0,44na0,1	60	84
D5	15241	50	180	10	0,44na0,1	125	84
E1	14223	30	120	0	0,46	60	72
E2	14223	30	120	3	0,46na0,1	60	72
E3	14223	30	120	6	0,46na0,1	60	72
E4	14223	30	120	10	0,46na0,1	60	72
E5	14223	30	120	15	0,46na0,1	60	72
E6	14223	30	120	10	0,46na0,1	125	72

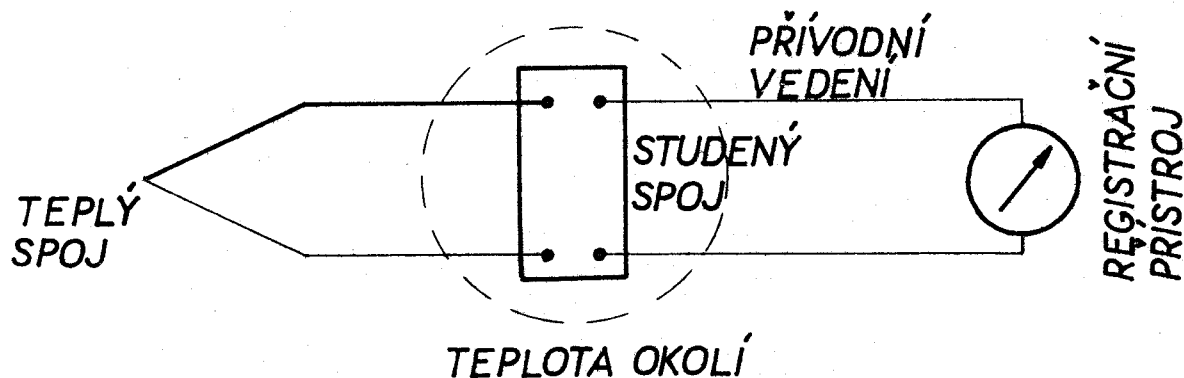
4. Technika měření.

4.1. Technika měření teplot.

Účelem měření teplot je získání teplotního pole vzorků v závislosti na čase, které je důležité pro provedení závěrů o použitelnosti metody kalení s proměnnou intenzitou rychlosti kalící lázně.

Při kalení do lázně s nuceným prouděním dochází k poměrně značným rychlostem ochlazování, zvláště na povrchu vzorku. Vzhledem k této skutečnosti, musí být volena i registrační metoda. Proto ve sledovaném případě bylo použito oscilografu.

O způsobu a podmínkách použití oscilografu k registraci teplot, lze obecně říci asi toto : teploty se snímají pomocí termočlánků, které jsou napojeny na smyčky oscilografu přívodními kabely. Schema tohoto uspořádání :



Měřicí metoda, dle které se termočlánky napojují na smyčky je výchylková a tedy závislá na elektrickém odporu

přívodního vedení včetně termočlánků. Toto vedení musí být bráno s ohledem na vlastnosti smyčky tak, aby vlivem jeho elektrického odporu nebyla výchylka smyčky příliš potlačena. Aby bylo možné porovnávat jednotlivě získané průběhy teplot mezi sebou, je nezbytné, aby přívodní vedení, včetně termočlánků, mělo vždy tentýž odpor. Elektrický odpor přívodního vedení se nemění. Nesmí se tedy měnit ani odpor termočlánků- proto musí mít termočlánky stejnou délku. Rovněž při ohřevu se jejich odpor nesmí trvale měnit.

Ve sledovaném případě bylo k registraci teplot použito osmismyčkového escilografu firmy RFT(NDR). Použité smyčky a vlastnosti přívodních kabelů jsou přivedeny na tab.7. Jako čidel pro snímání teplot bylo použito termočlánků Fe-Ko pro teploty uvnitř vzorků a Ch-A pro povrchové teploty.

Výhodou termočlánků Fe-Ko je, že má strmou charakteristiku. Je dlouhodobě použitelný do teplot 600+ 650°C a krátkodobě do 800°C. V našem případě však byl použit do 870°C. Pro zjištění chyby, k jaké v tomto případě dochází, byly provedeny pomocné zkoušky. Termočlánek Fe- Ko byl vložen do pece v délce, v jaké je v peci při ohřevu vzorků pro kalení. Byl ohříván na teplotu 900°C po dobu 1 hodiny. Zjištěný rozdíl v elektrickém odporu mezi jeho hodnotou před a po ohřevu činil 1 %. Vzorky pro kalení byly ohřívány v téže peci, avšak po dobu kratší než 1 hodina. Z toho plyne, že při použití termočlán-

tab.7- Použité smyčky pro registraci průběhů teplot
při kalení vzorků a vlastnosti přívodních kabelů.

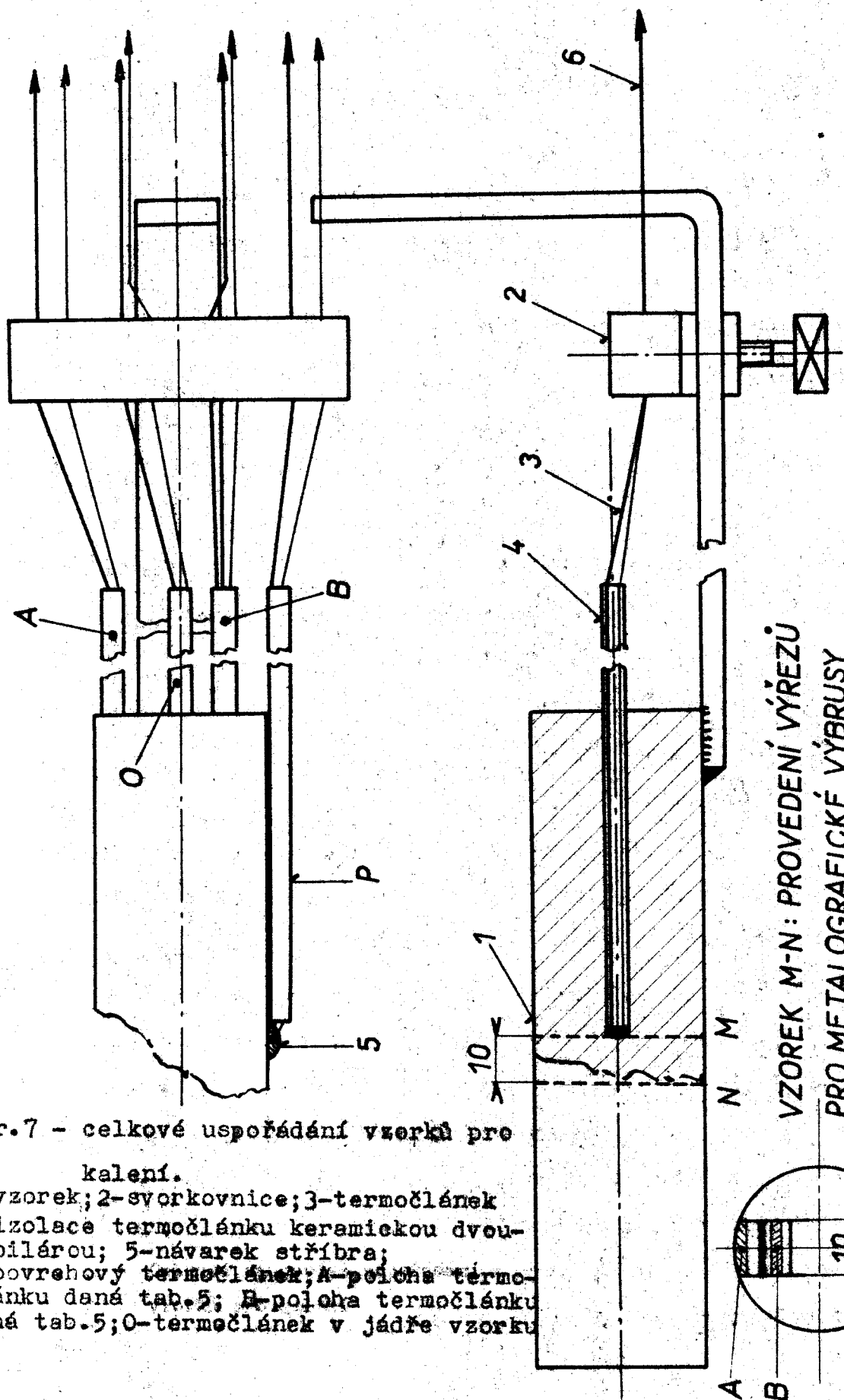
smyčka typu	výr, číslo	místo měření	el. odpor kabelů Ω
MSD 8	4.38.1281	P	20,00
MSD 8	4.38.1282	A	19,98
MSD 5	3.25.3694	B	5,035
MSD 5	4.39.300	O	5,04

ku Fe-Ko, za podmínek výše popsanych, nebudou výsledky nepříznivě ovlivněny.

Termočlánky pro snímání vnitřních teplot byly navařeny do dna otvorů vzorků zhotovených dle obr.6. Navaření bylo provedeno kondenzátorovým výbojem pomocí kondenzátorové svářečky při napětí $U = 70V$ a kapacitě $C = 7.200 \text{ F}$.

Povrchové termočlánky byly navařeny technicky čistým stříbrem pomocí plamene. Rovněž zde bylo nutno pomocnou zkouškou prověřit možnost použití termočlánků Fe-Ko. Ukázalo se, že termočlánky Fe-Ko (zvláště Fe větev), byly při navařování plamenem tak poškozeny, že buď už při ohřevu, nebo při prvním styku s kalící lázní, došlo k jejich poruše. Zde se nejlépe osvědčilo použití termočlánků Ch-A, jednak z důvodů, že nedojde k jejich narušení při navařování a také při ohřevu na kalící teplotu $870^{\circ}C$ jsou podstatně pevnější než termočlánky Fe-Ko. Proto zde také nehrozí nebezpečí od mechanického porušení.

Celkové uspořádání vzorků připravených pro kalení představuje obr.7. Ke vzorkům s navařenými termočlánky, izolovanými keramickými dvoukapilárami, jsou přivařeny držáky. Na nich je snímatelně upevněna svorkovnice s trvale uchycenými přívodními kabely k oscilografu. Na vstupu svorkovnice se uchycují volné konce termočlánků. Spoj ve svorkovnici, jak ukazuje výše uvedené schema, je studeným spojem termočlánku. Aby nedošlo k chybám v měření, nesmí se jeho teplota měnit. Je třeba, aby jeho teplota byla teplotou místnosti. Při ohřevu vzorků pro



obr.7 - celkové uspořádání vzorků pro kalení.

1-vzorek; 2-svorkovnice; 3-termočlánek
4-izolace termočlánek keramickou dvoukapilárou; 5-návarek stříbra;
P-povrchový termočlánek; A-poloha termočlánek daná tab.5; B-poloha termočlánek daná tab.5; 0-termočlánek v jádře vzorku

kalení, který se prováděl v muflové peci, byl studený spoj termočlásku stíněn šamotovými deskami a tím chráněn před tepelným sáláním pece. Všechna uvedená opatření byla provedena ve snaze co nejvíce vzájemně přiblížit jednotlivá měření.

Lze říci, že měření průběhů teplot bylo provedeno s přesností $\pm 2+3\%$.

4.2. Technika měření tvrdosti.

Znalost tvrdosti zakalených součástí je velmi důležitým ukazatelem jakosti provedení kalení.

Ze vzorků, kterých bylo použito pro měření teplotního pole při kalení, byla odebrána tělíška o tloušťce 10mm, jak ukazuje obr.7, řezy v rovině M a N. Tvrdosti byly měřeny v rovině M, t.j. v rovině, ve které také byly měřeny teploty při kalení. Jako měřicího přístroje bylo použito tvrdoměru typu " VICKERS" při zatížení 10kp. Tvrdosti byly měřeny ve dvou směrech k sobě kolmých od povrchu k jádru vzorku. Vzdálenosti vpichů od povrchu vzorků byly odečítány pomocí lupy s měřicí stupnicí v objektivu. Tvrdosti získané v obou směrech měření byly vyneseny do téhož obrázku a z nich proveden střední průběh. V diplomové práci jsou uvedeny jen tyto střední průběhy.

5. Výsledky zkoušek.

5.1. Průběhy teplot při kalení vzorků.

Z oscilografických záznamů získaných sledováním změn teplot vzorků při kalení, byly vyhodnoceny závislosti teploty na čase a vyneseny do semilogaritmických souřadnic.

Průběhy ochlazování pro vzorky řady " B " (pro materiál 15241 o průměru vzorků 30mm) jsou uvedeny na obr.8+ 11 pro teplotu lázně 60°C a obr.12 pro teplotu lázně 125°C.

Průběhy ochlazování pro vzorky řady " D " (pro materiál 15241 o průměru vzorků 50mm) jsou uvedeny na obr.13 + 16 pro teplotu lázně 60°C a obr.17 pro teplotu lázně 125°C.

Průběhy ochlazování pro vzorky řady " E " (pro materiál 14223 o průměru vzorků 30mm) jsou uvedeny na obr.18+ 22 pro teplotu lázně 60°C a obr. 23 pro teplotu lázně 125°C.

Samostatné obrázky představují průběhy ochlazování při kalení dle režimů uvedených v tab. 6.

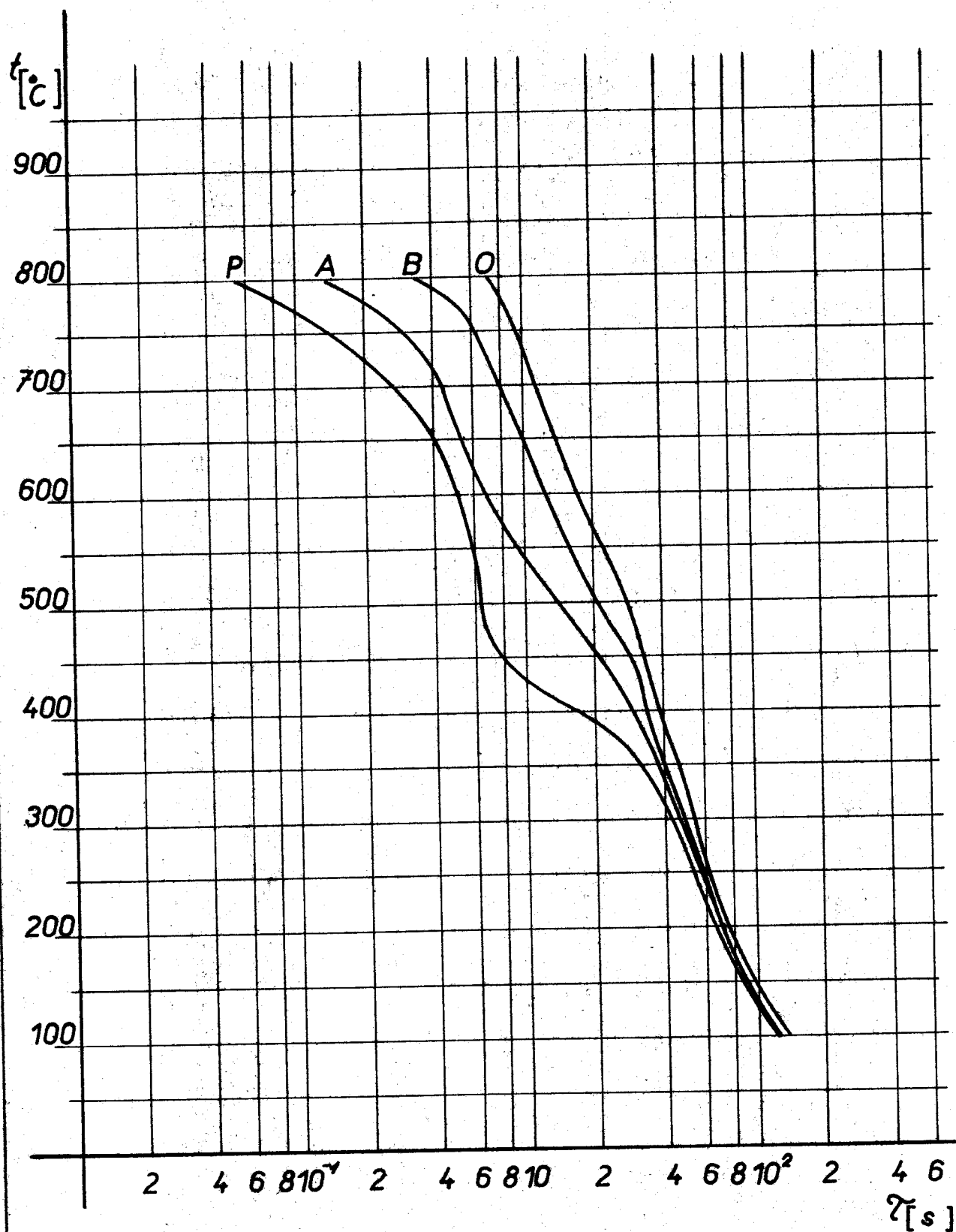
5.2. Výsledky měření tvrdosti vzorků.

Tvrdosti byly měřeny u všech vzorků použitých pro sledování teplotního pole při kalení. Jejich průběh je sledován v závislosti na vzdálenosti od povrchu vzorků.

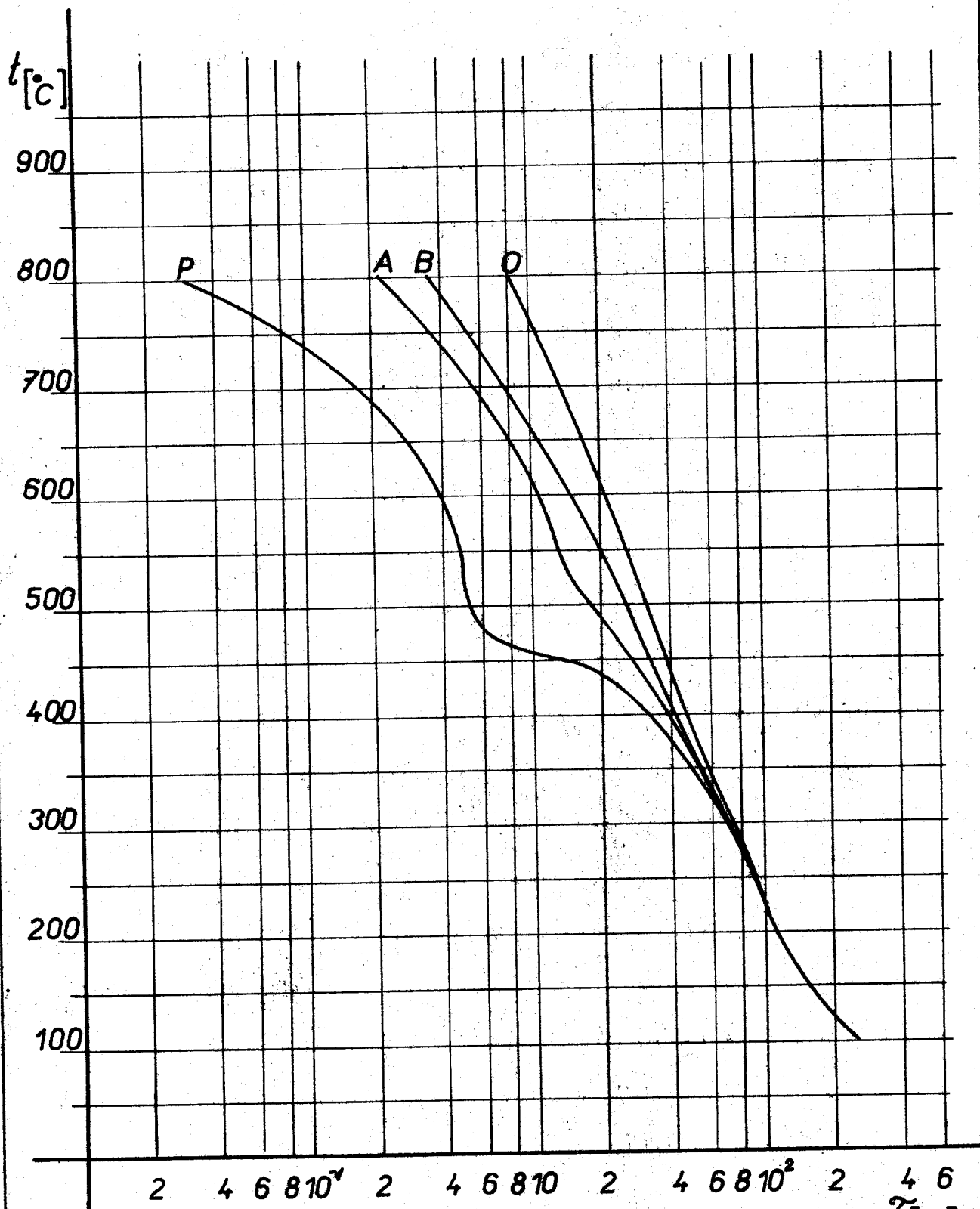
Průběhy tvrdostí pro vzorky řady " B " jsou uvedeny na obr. 24+ 27 pro teplotu lázně 60°C a obr. 28 pro teplotu lázně 125°C.

Průběhy tvrdostí pro vzorky řady " D " jsou uvedeny na obr.29+ 32 pro teplotu lázně 60°C a obr. 33 pro teplotu lázně 125°C.

Průběhy tvrdostí pro vzorky řady " E " jsou uvedeny na obr.34+ 38 pro teplotu lázně 60°C a obr. 39 pro teplotu lázně 125°C.

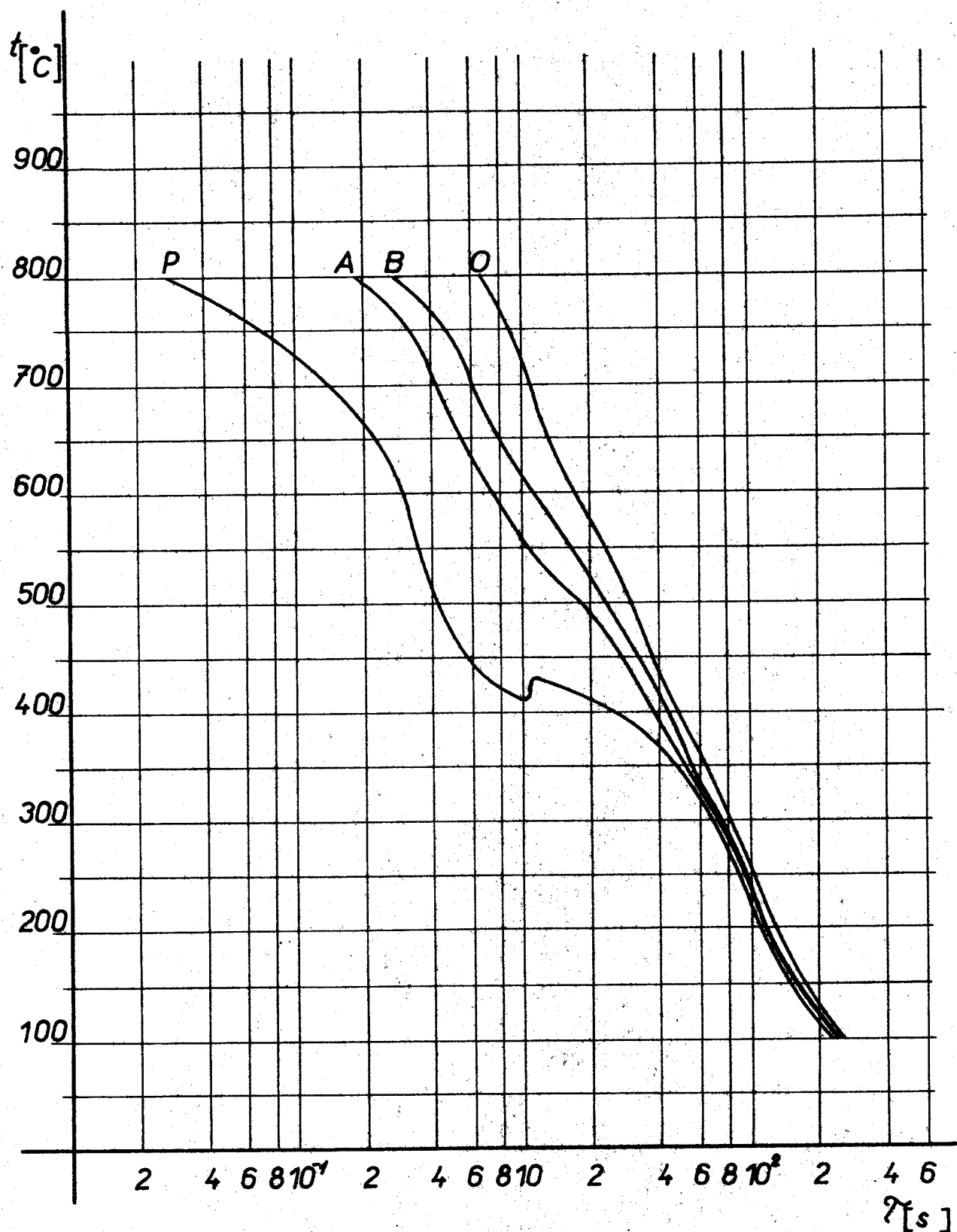
obr. 8 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek B₁

$$t_1 = 60^\circ\text{C}; w_1 = 0,46 \text{ m/s}$$

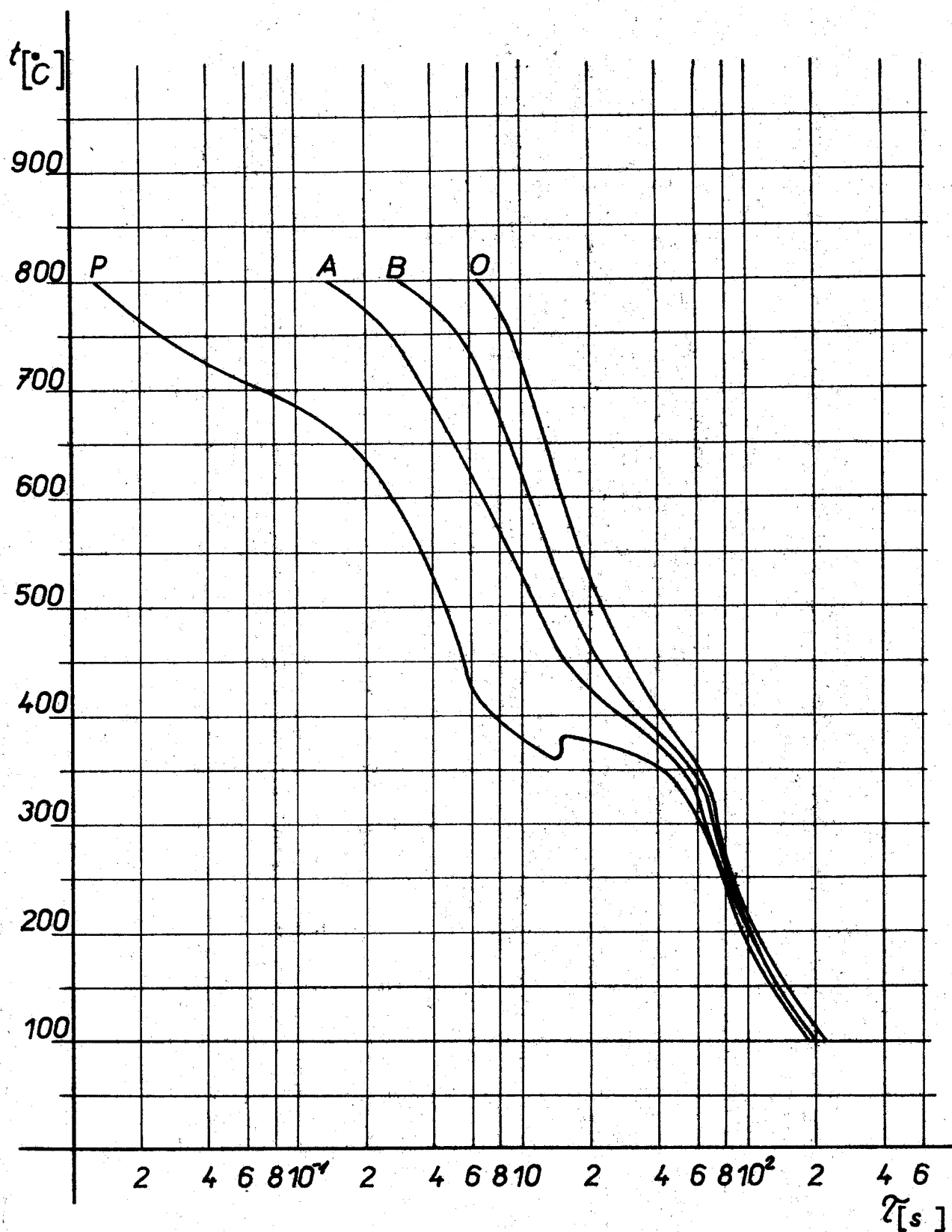


obr.9 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek B_2

$t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1$ m/s; $\tau'_x = 6$ s

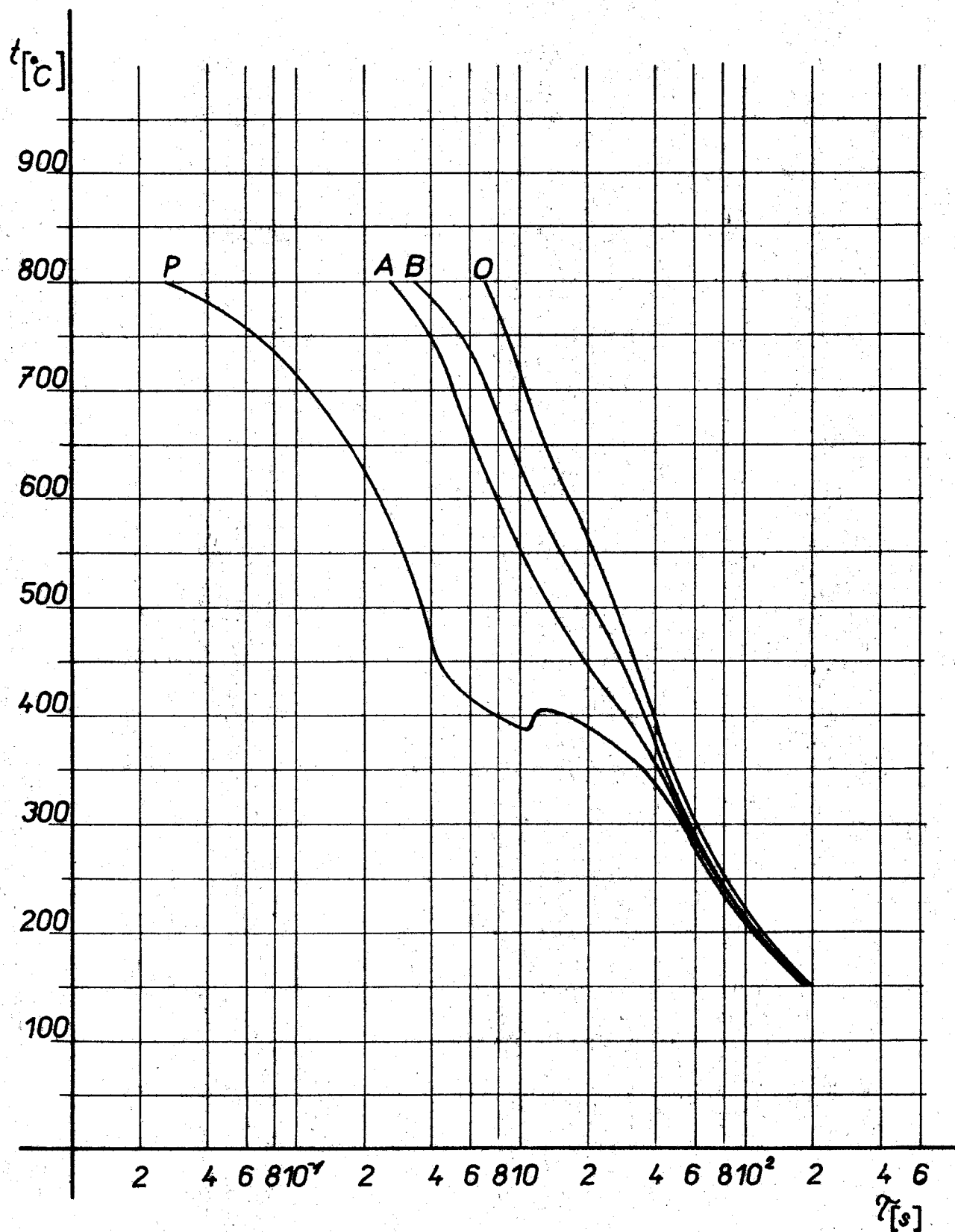


obr.10 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek B₃
 $t_1 = 60^{\circ}\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tau_x = 10 \text{ s}$

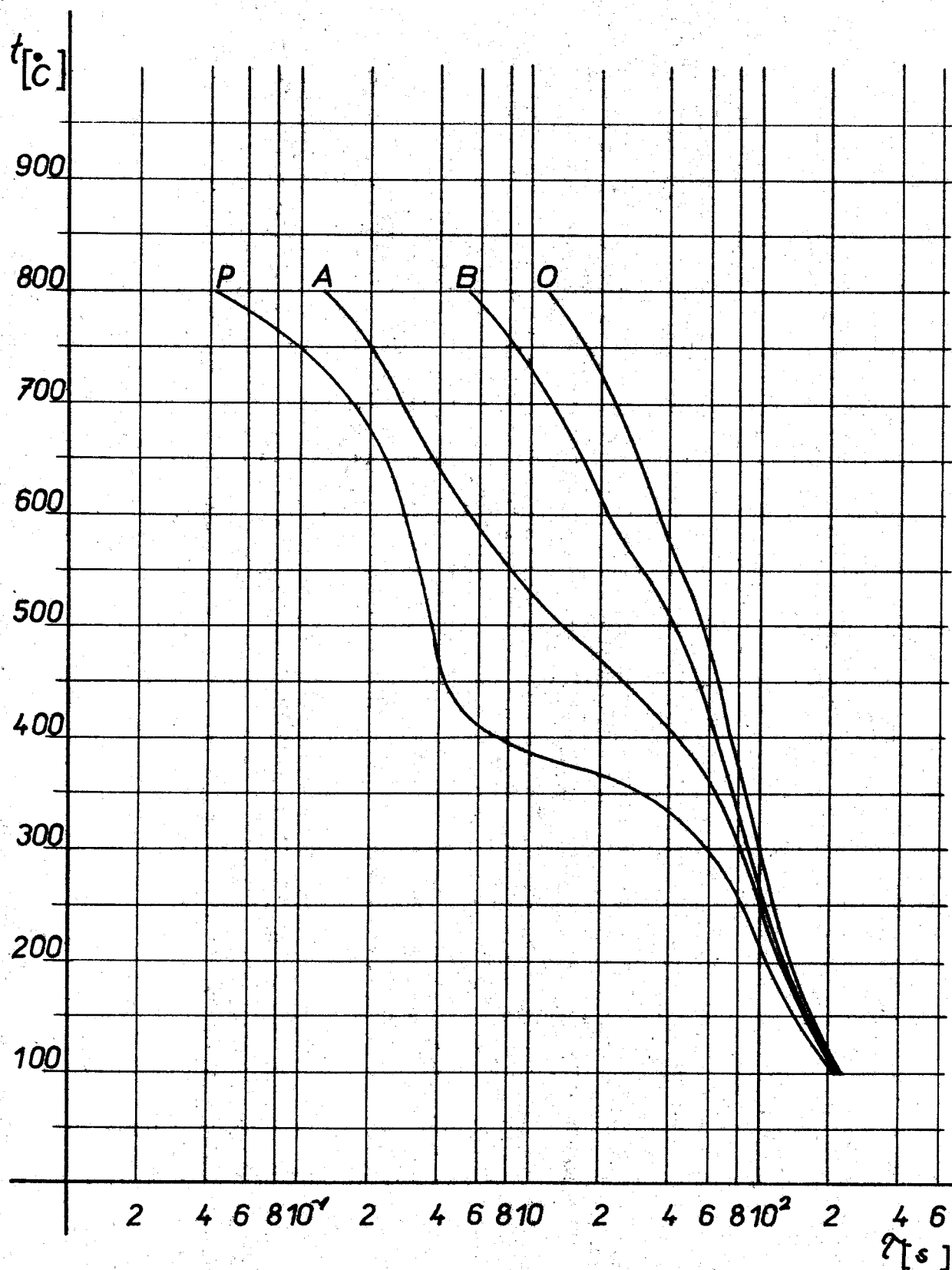


obr. 11 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek B₄

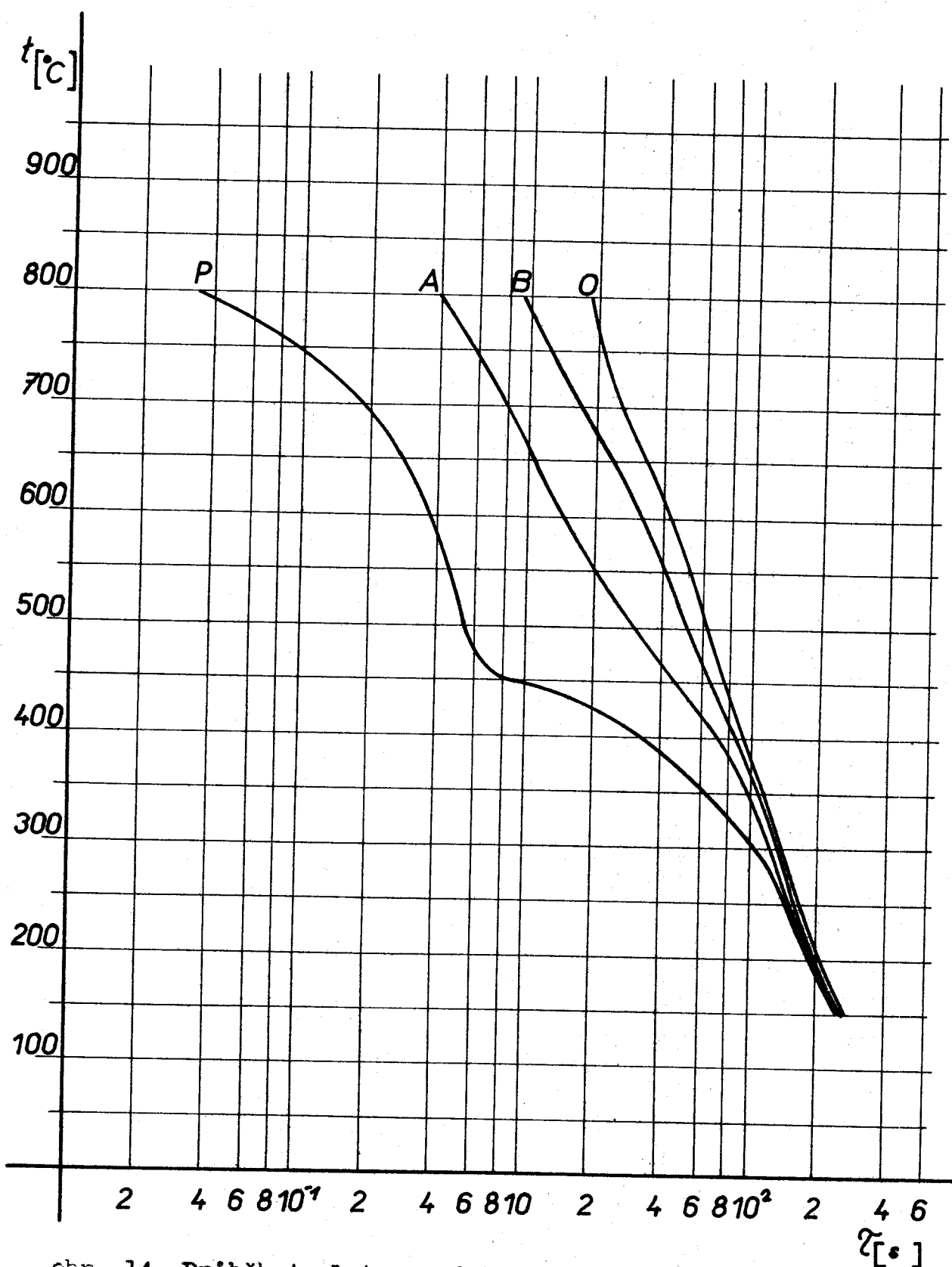
$$t_1 = 60^\circ\text{C}; w_1 = 0,46 \text{ na } 0,1\text{m/s}; \tau'_x = 15\text{s}$$

obr.12 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek B₅

$$t_1 = 125^\circ\text{C} ; w_1 = 0,46 \text{ na } 0,1 \text{ m/s} ; \tau'_x = 10\text{s}$$

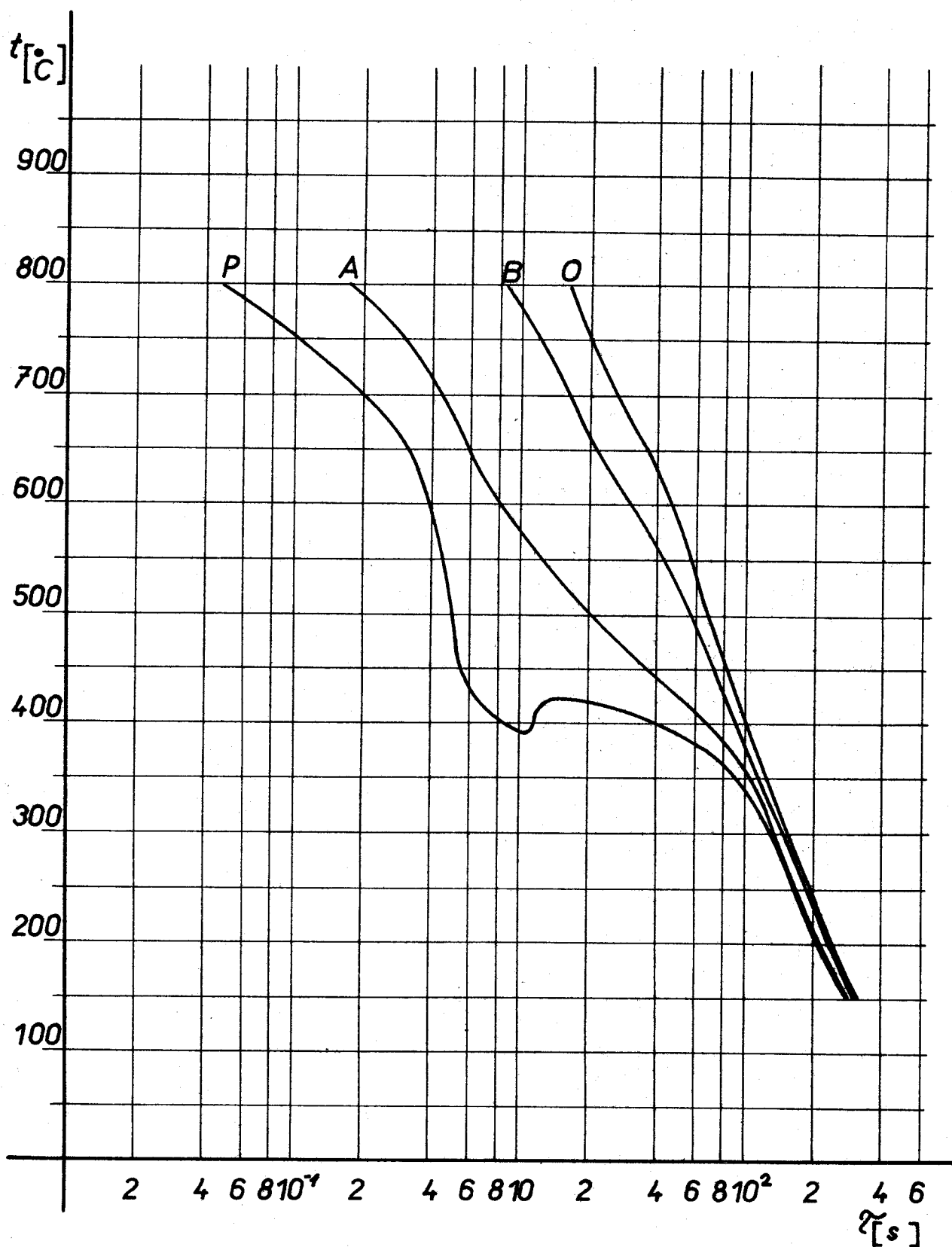
obr. 13- Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek B₁

$$t_1 = 60^\circ\text{C}; w_1 = 0,44\text{m/s}$$



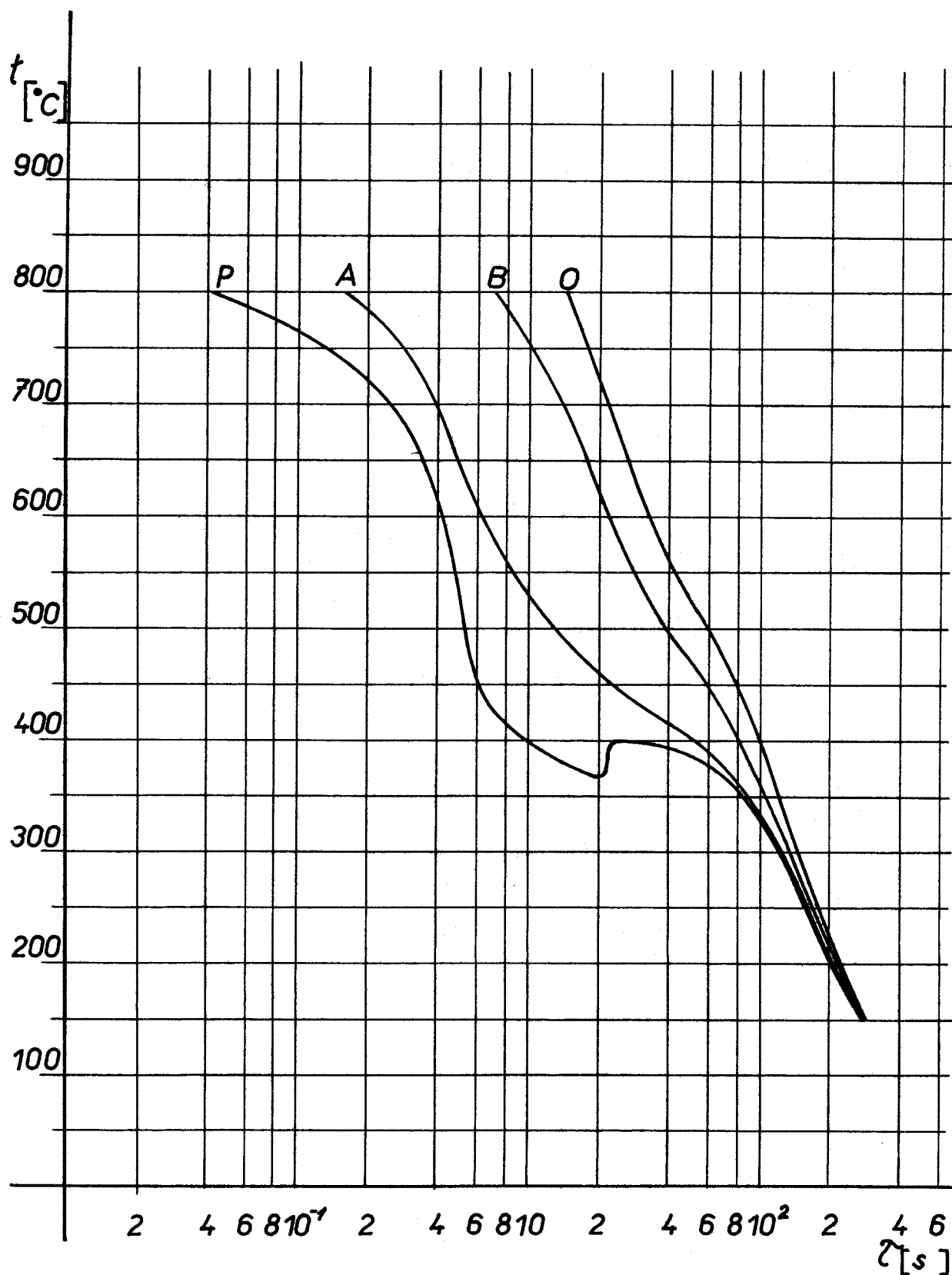
obr. 14 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek D_2

$t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,44$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tau'_x = 6 \text{ s}$



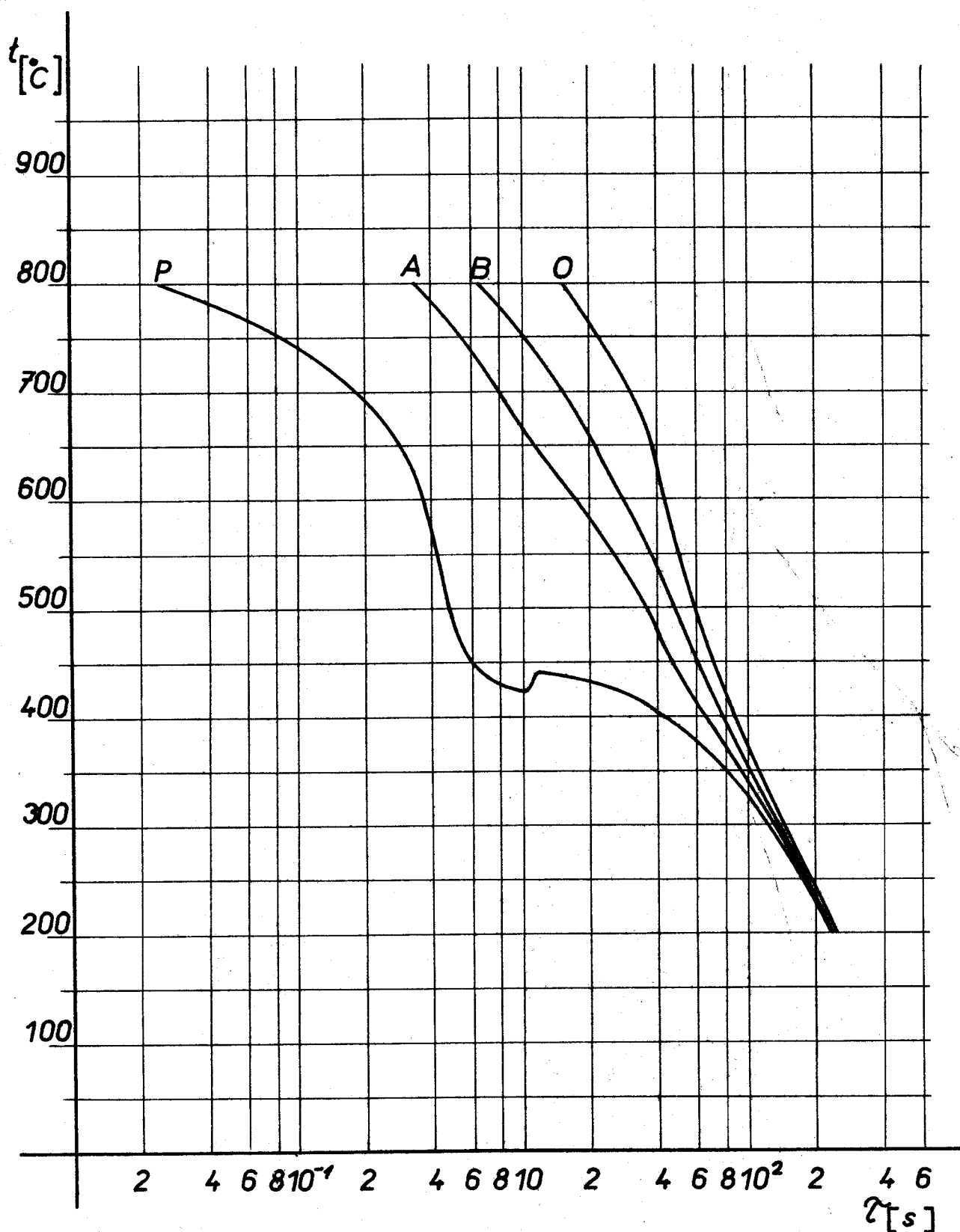
obr. 15 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek D_3

$t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,44$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tau'_x = 10 \text{ s}$



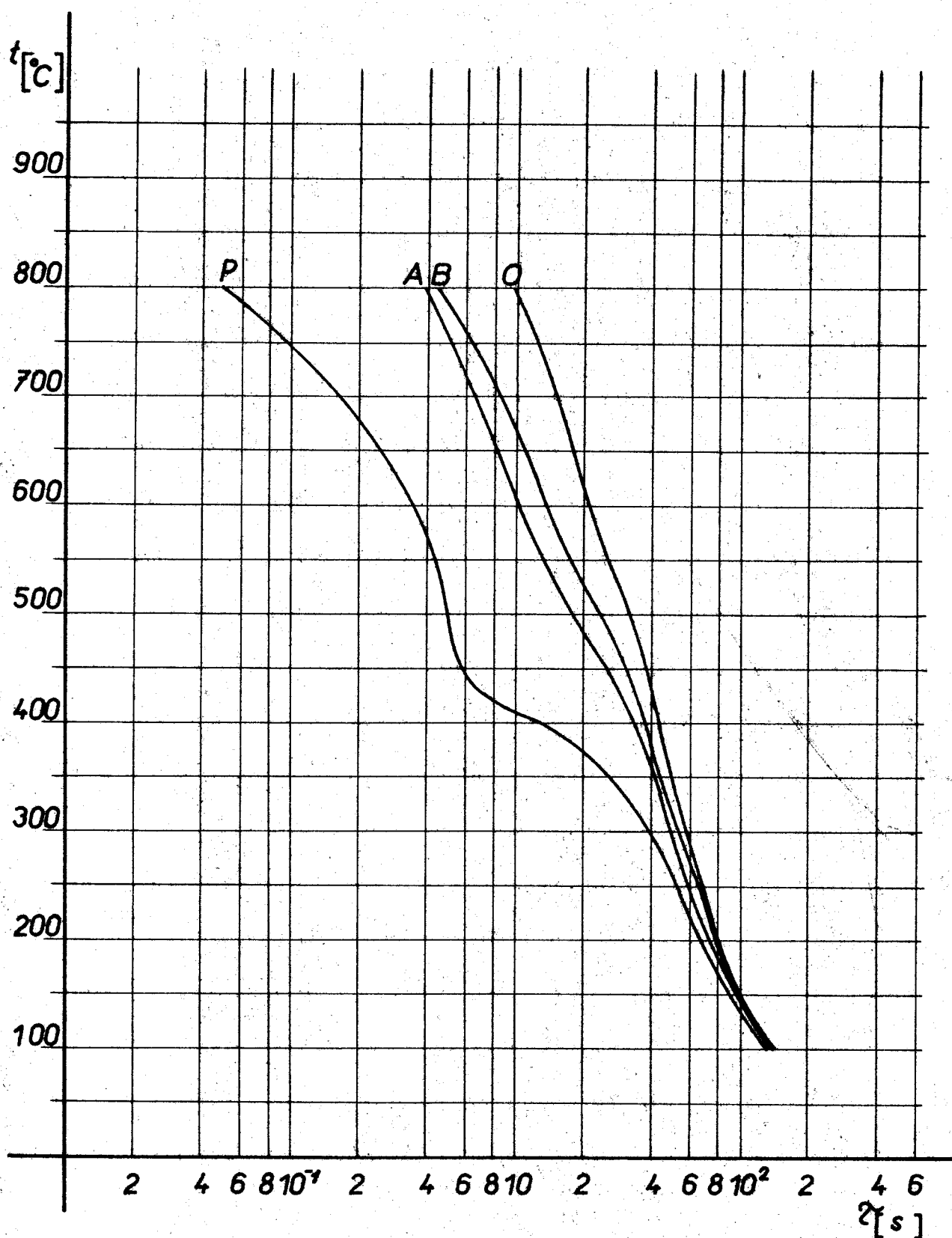
obr. 16- Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek D_4

$$t_1 = 60^\circ\text{C}; w_1 = 0,44 \text{ na } 0,1 \text{ m/s}; \tau_x = 20\text{s}$$

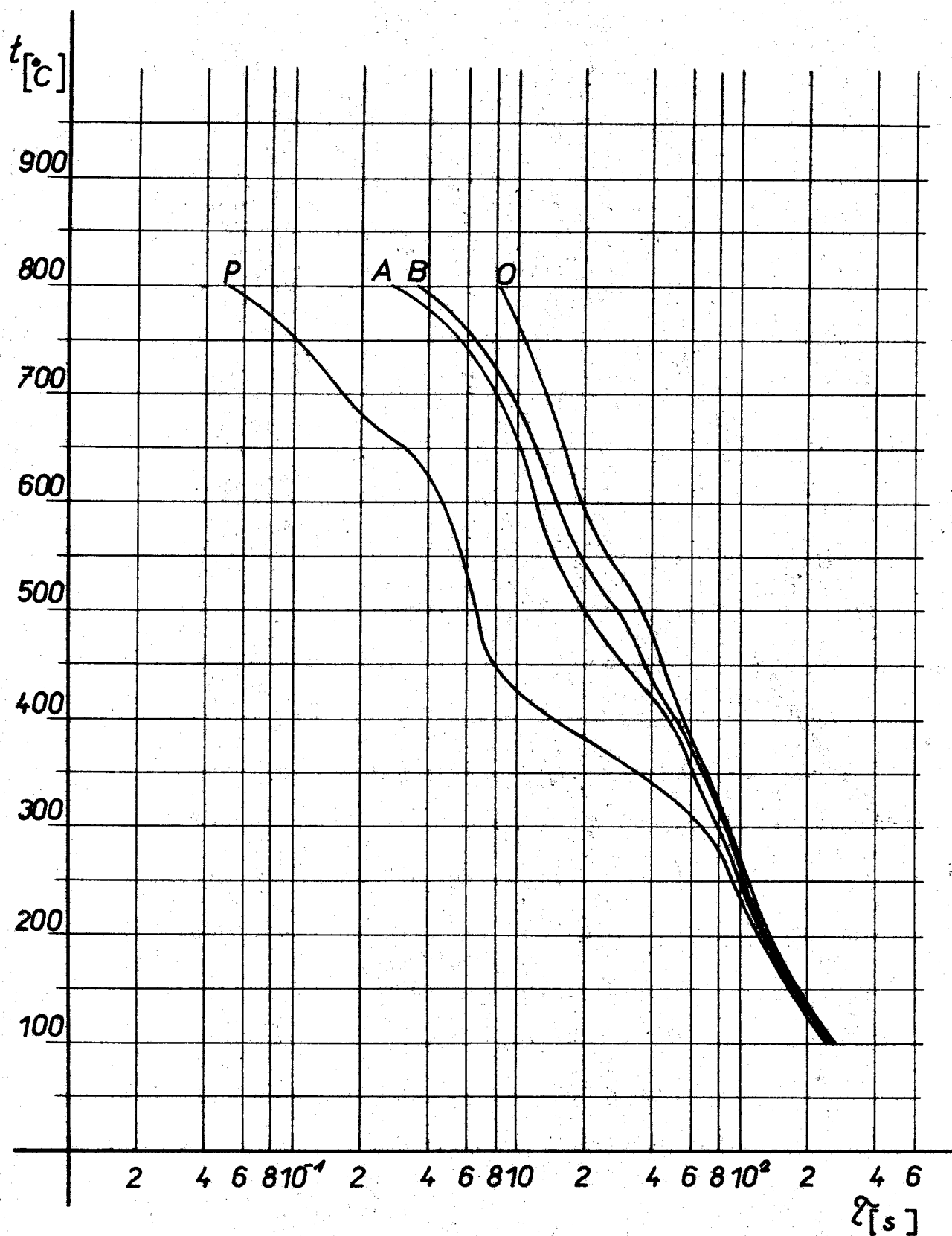


obr.17 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek D₅

$t_1 = 125^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,44$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tilde{\tau}_x = 10\text{s}$

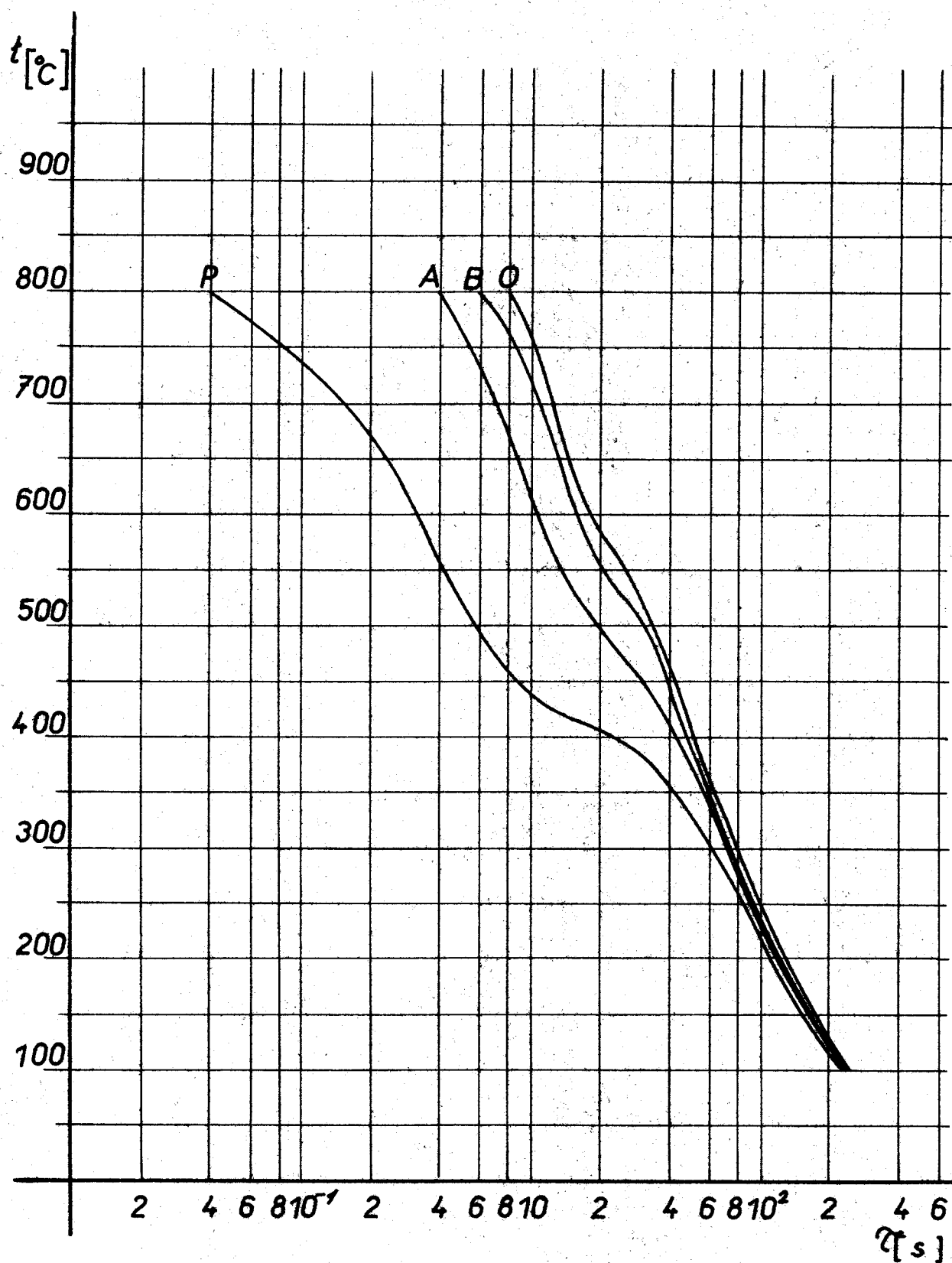
obr. 18 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek E_1

$$t_1 = 60^\circ\text{C}; w_1 = 0,46 \text{ m/s}$$



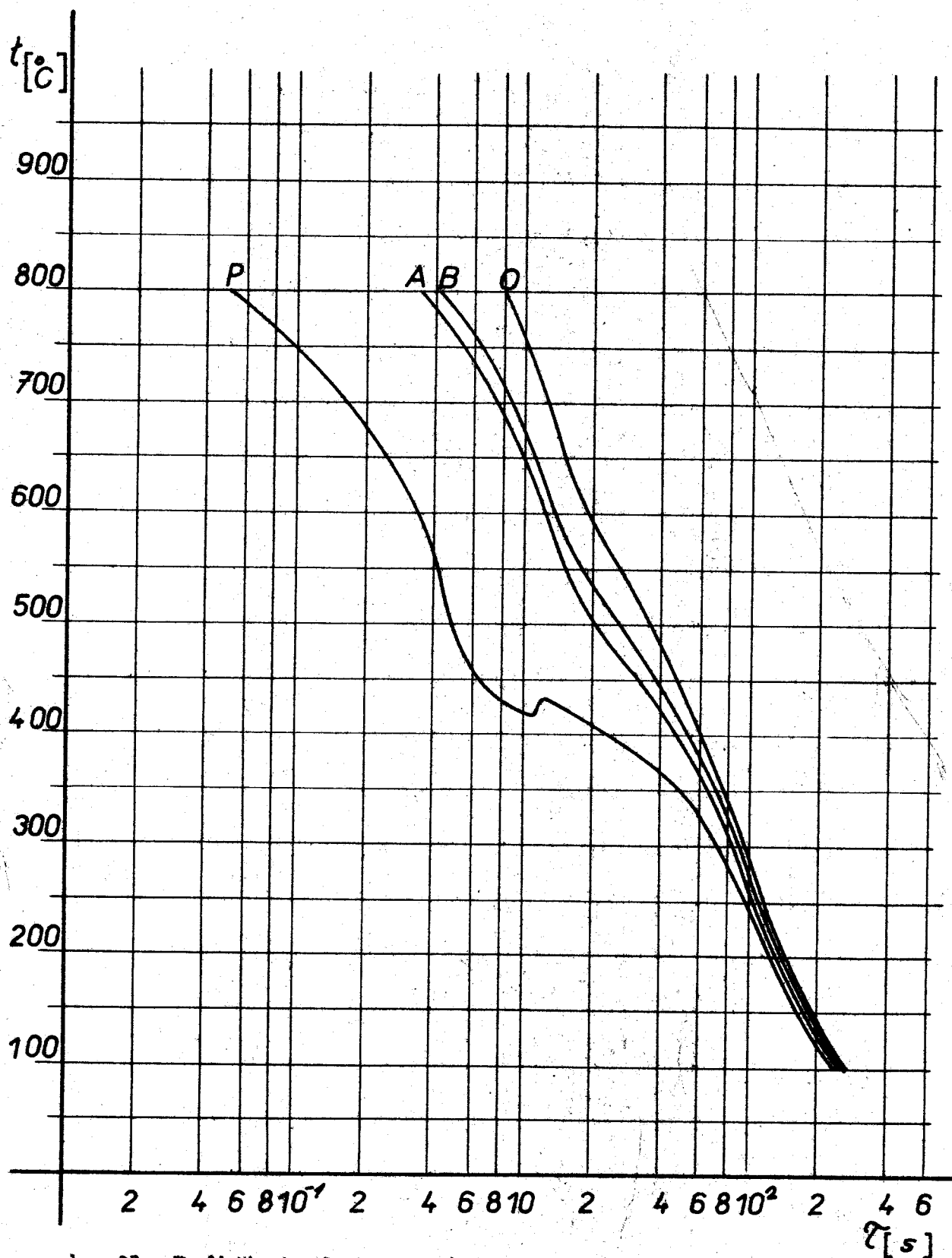
obr. 19 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek E₂

$t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tau_x = 3\text{s}$



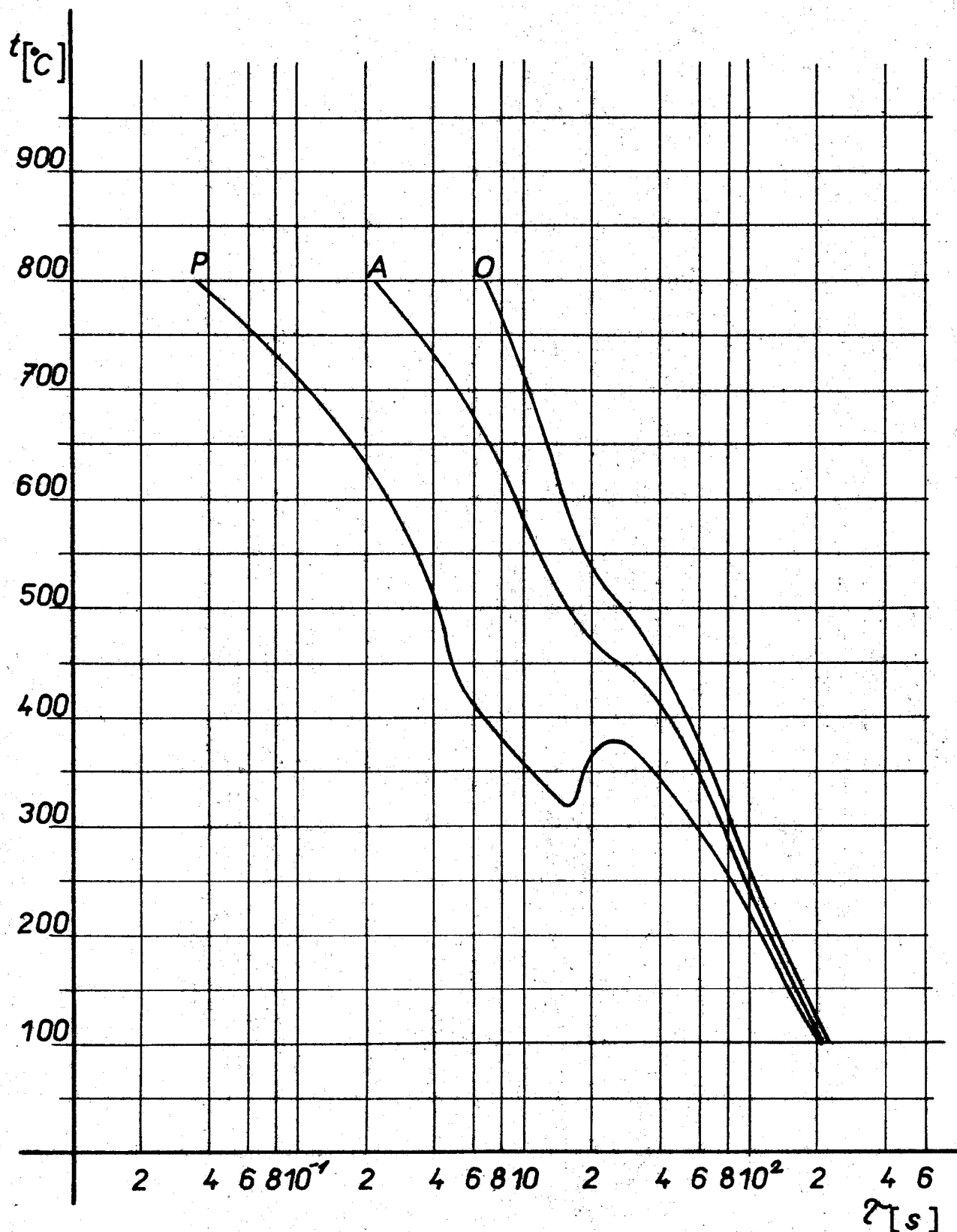
obr. 20- Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek E_3

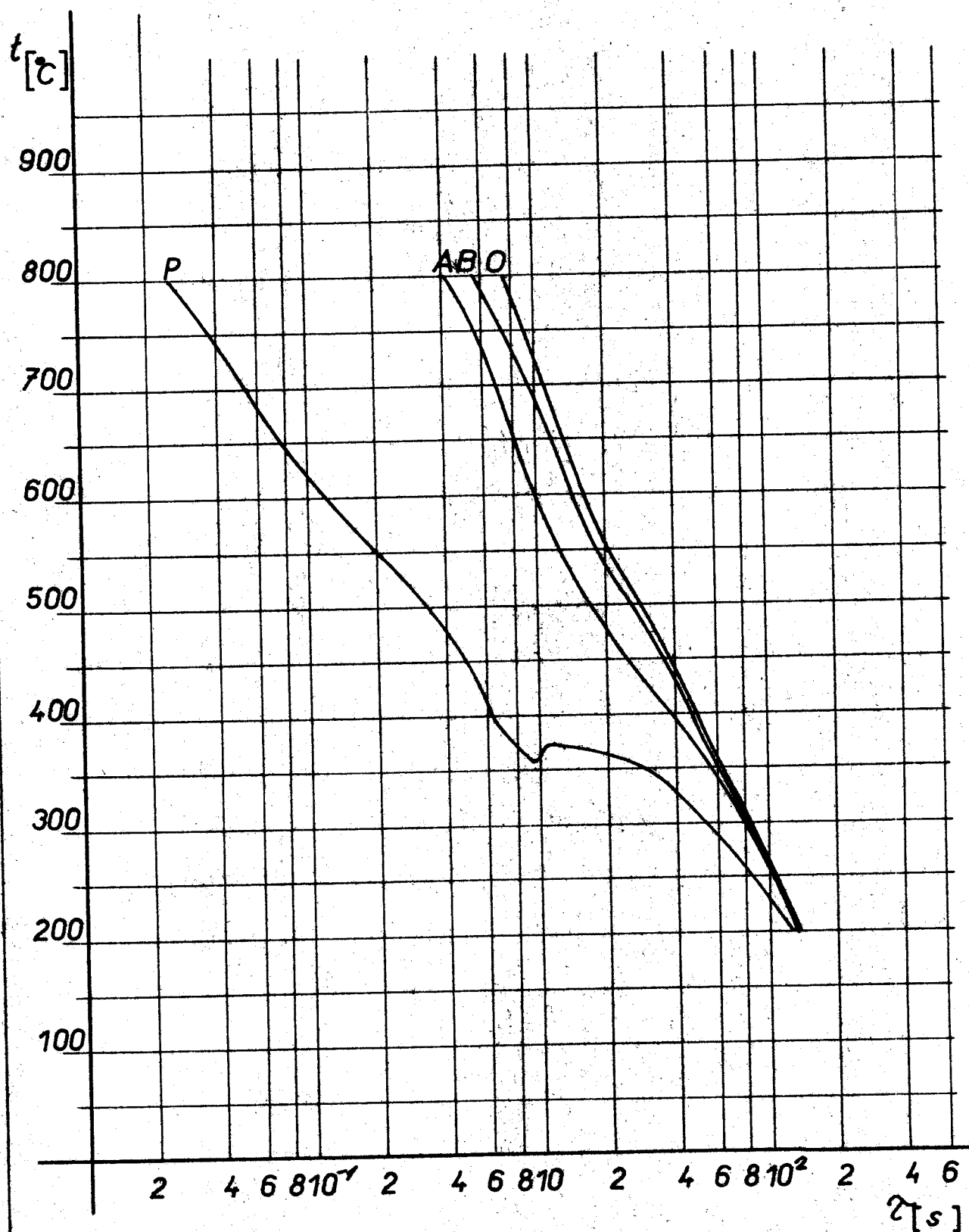
$$t_1 = 60^\circ\text{C} ; w_1 = 0,46 \text{ na } 0,1 \text{ m/s} ; \tau_x = 6s$$



obr.21- Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek E₄

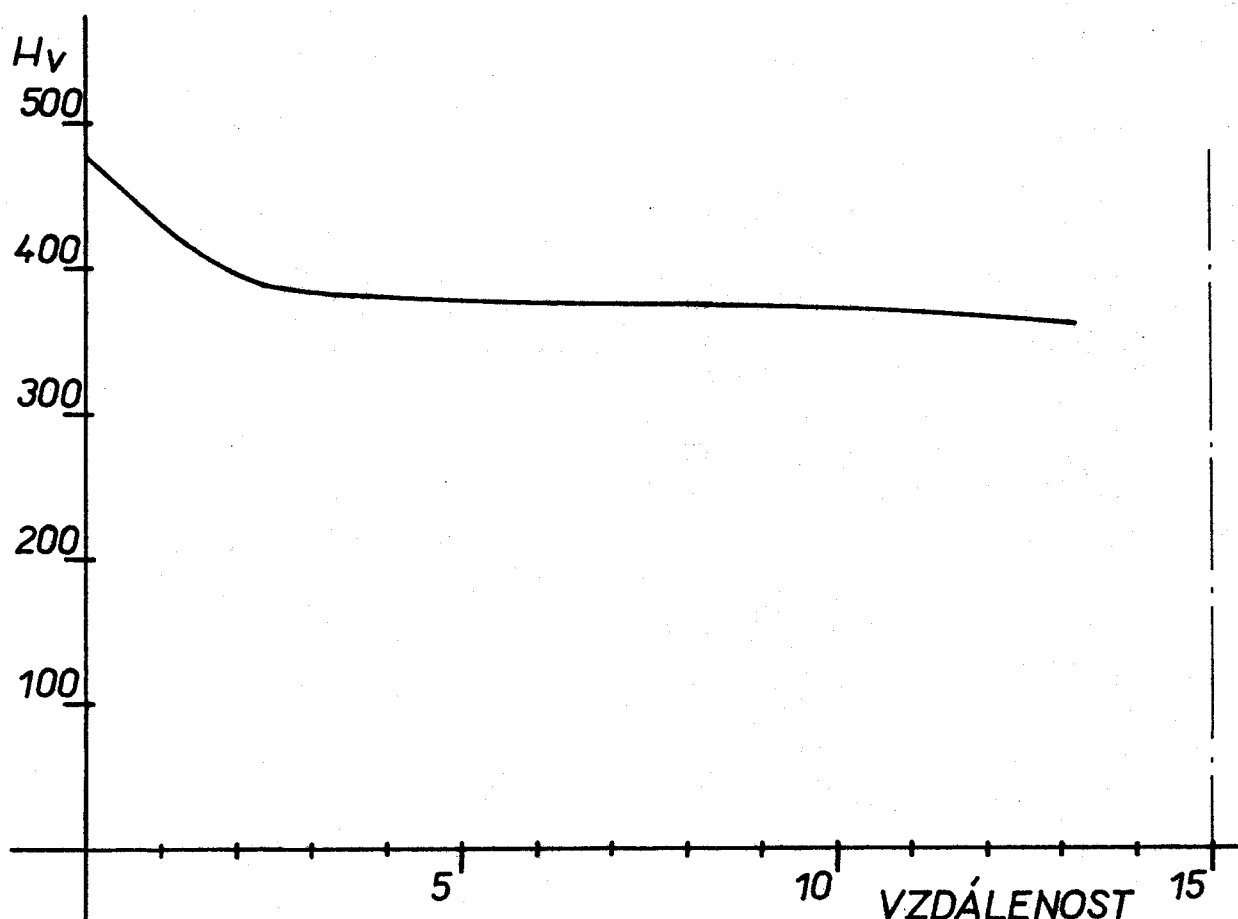
$t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1$ m/s; $\tau'_x = 10$ s

obr. 22- Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek N₅
 $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tau_x = 15\text{s}$

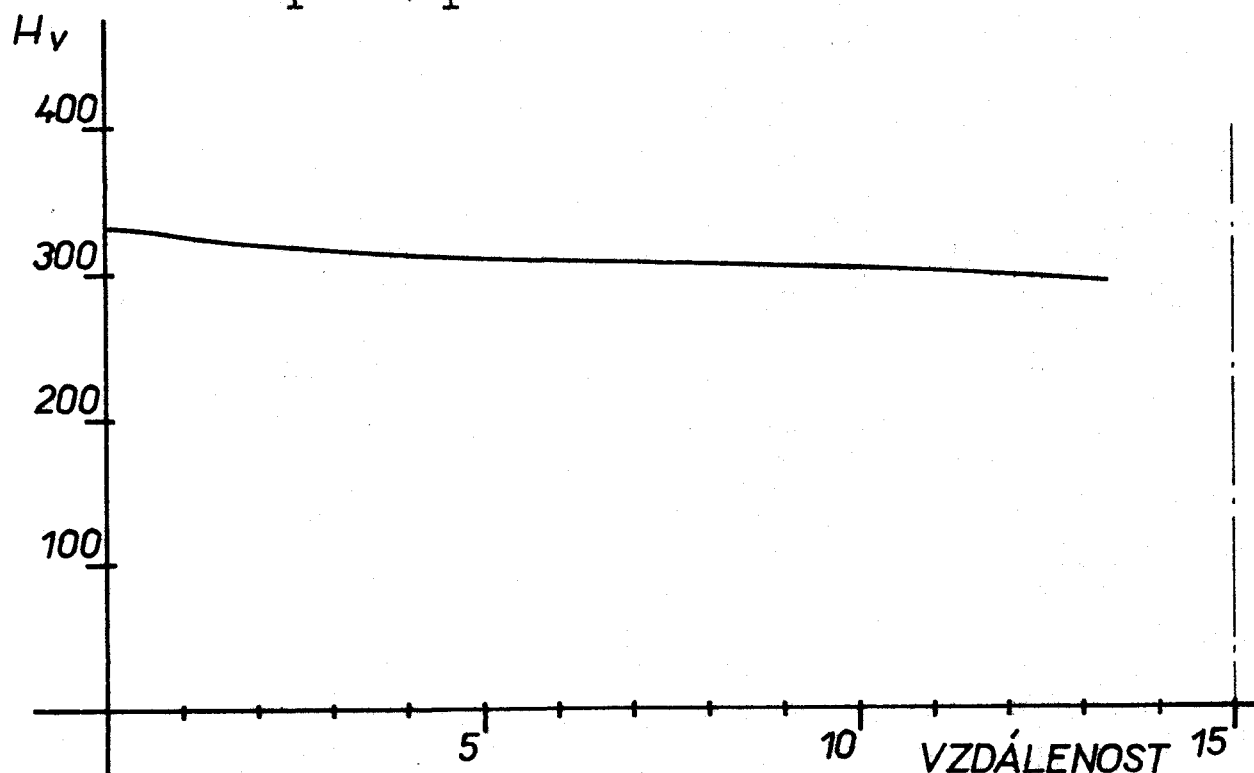


obr. 23 - Průběh teploty v závislosti na čase pro vzorek E₆

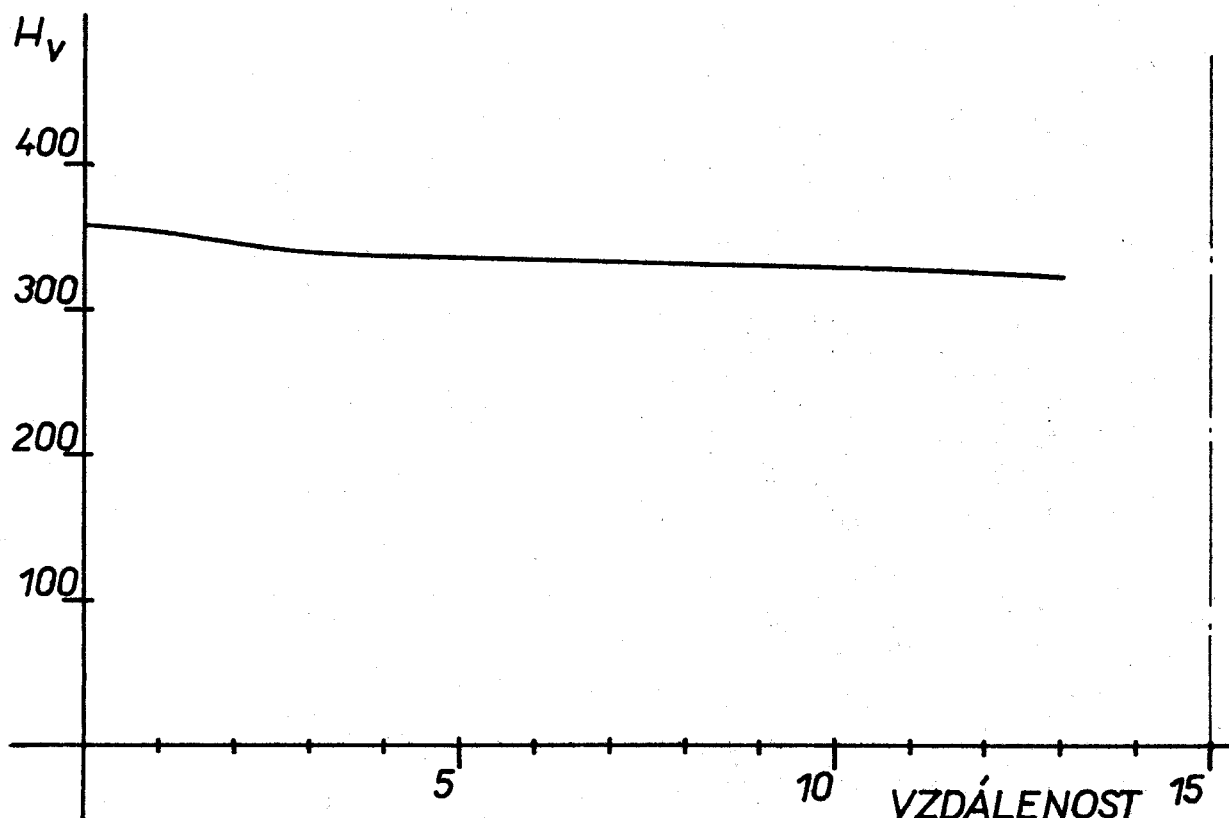
$t_1 = 125^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tau'_x = 10\text{s}$



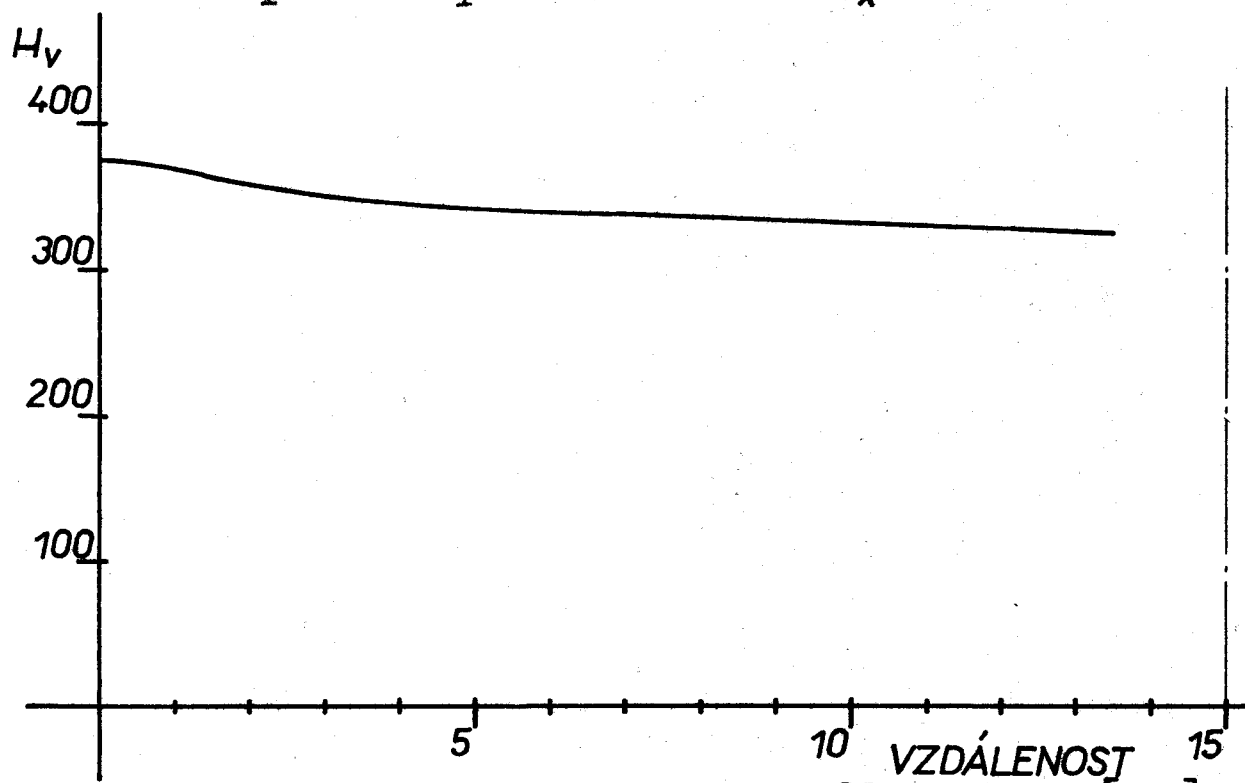
obr. 24 - Průběh tvrdostí pro vzorek B₁ OD POVRCHU [mm]
 $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46 \text{ m/s}$



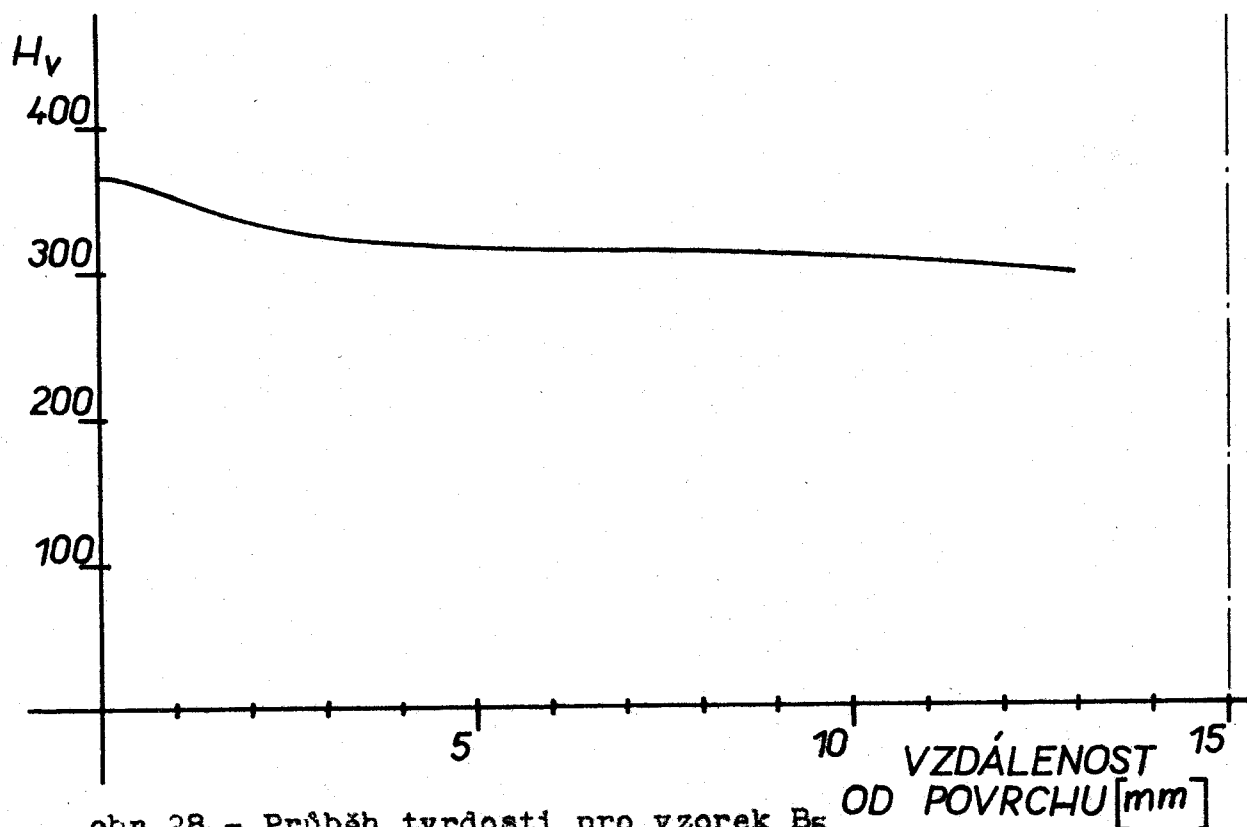
obr. 25 - Průběh tvrdostí pro vzorek B₂ OD POVRCHU [mm]
 $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tau'_x = 6 \text{ s}$



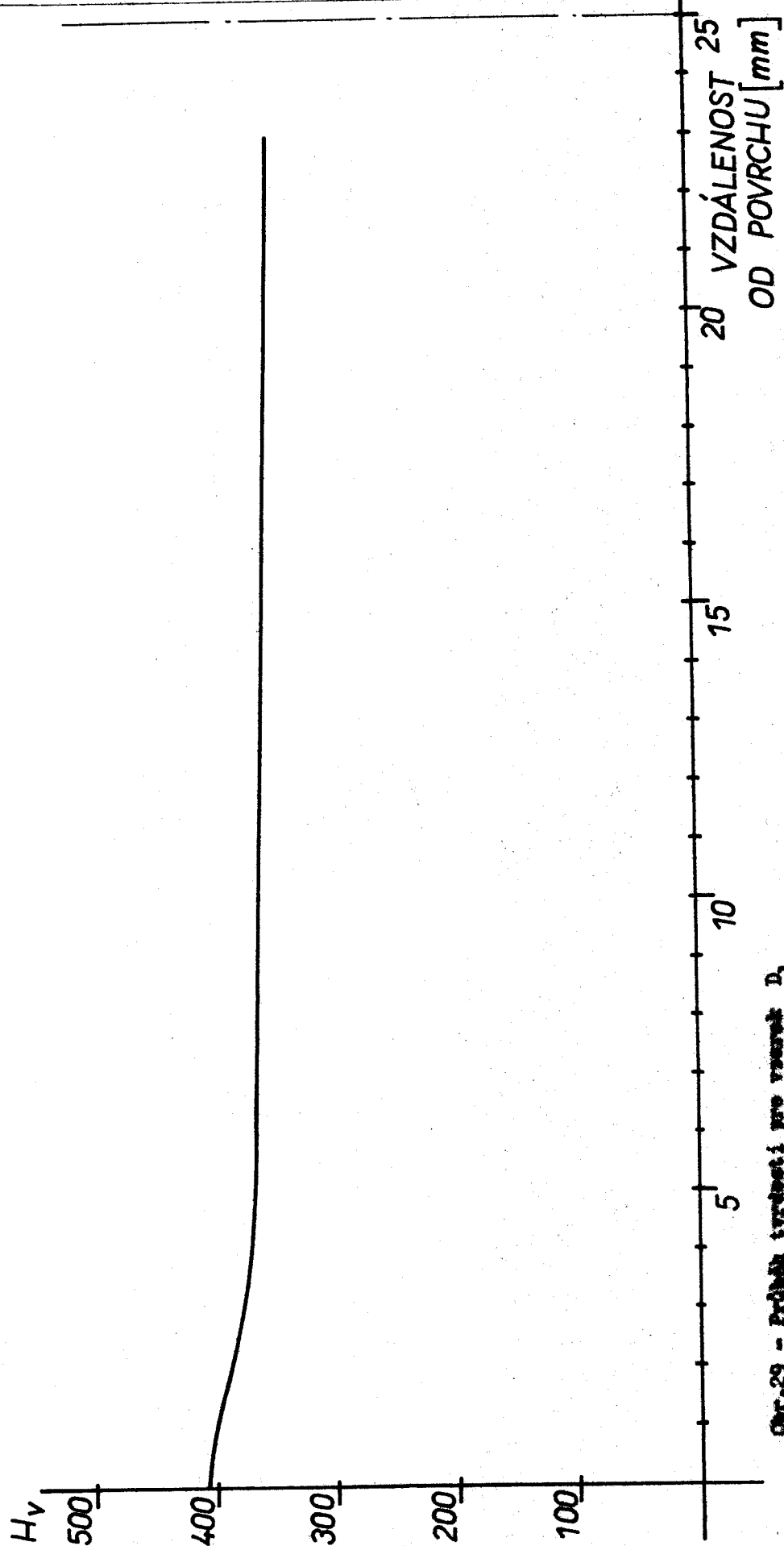
obr.26- Průběh tvrdostí pro vzorek B_3
 $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tilde{z}'_x = 10\text{s}$



obr.27 - Průběh tvrdostí pro vzorek B_4
 $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tilde{z}'_x = 15\text{s}$

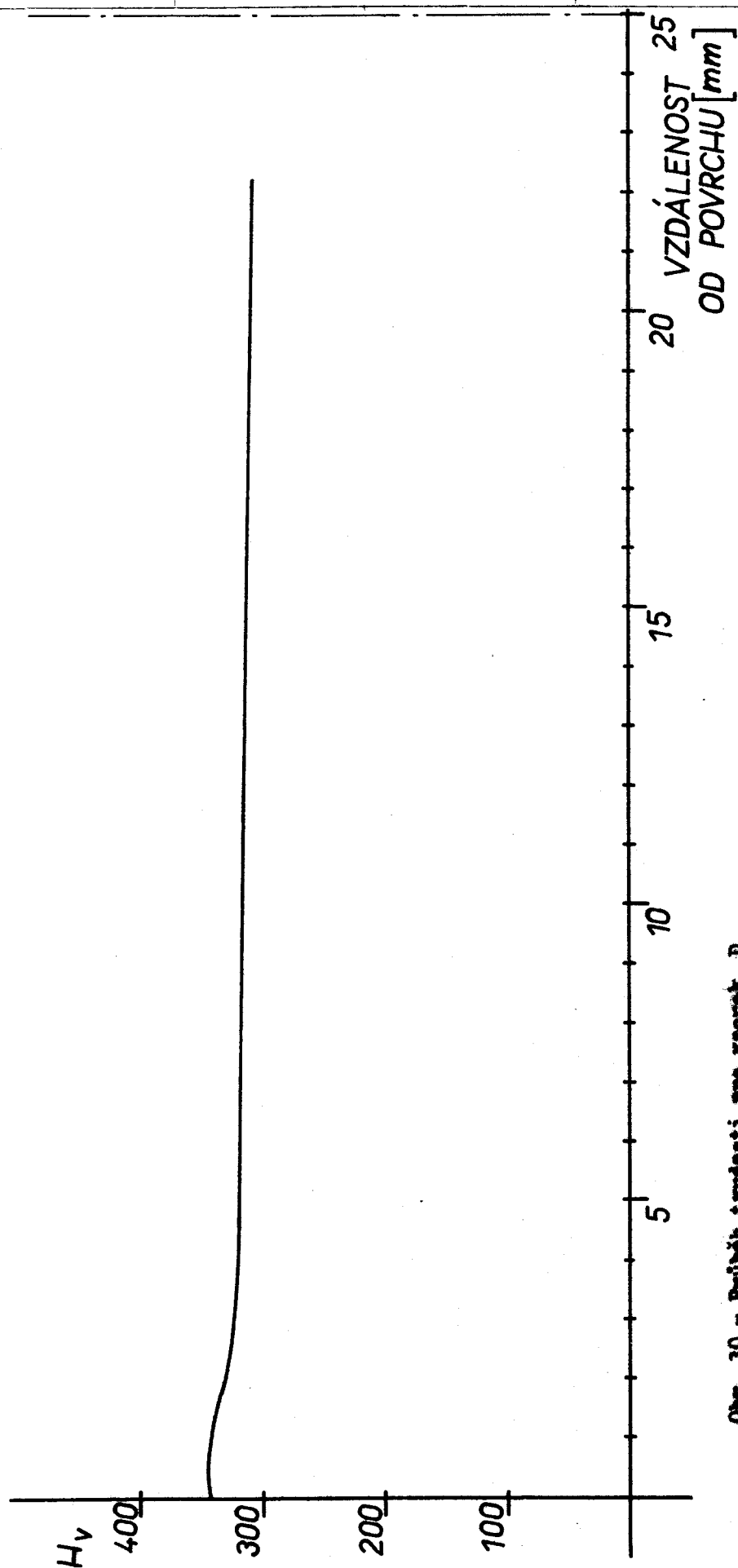


obr.28 - Průběh tvrdosti pro vzorek B₅
 $t_1 = 125^\circ\text{C}; w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$ $\tau'_x = 10\text{s}$



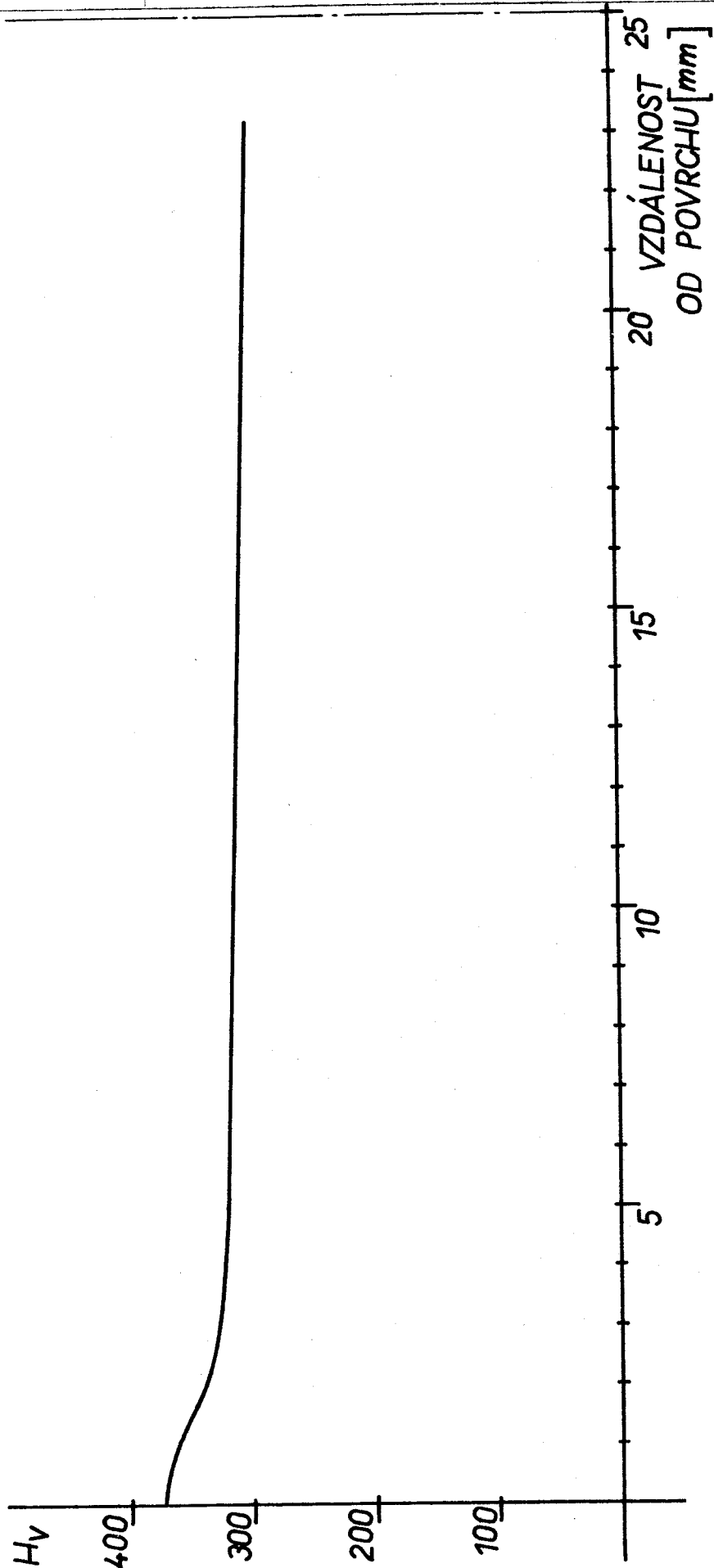
Obr. 29 - Průběh tvrdosti pro vzorek D₃

$t_1 = 60^\circ\text{C}$; $v_1 = 0,44 \text{ m/s}$

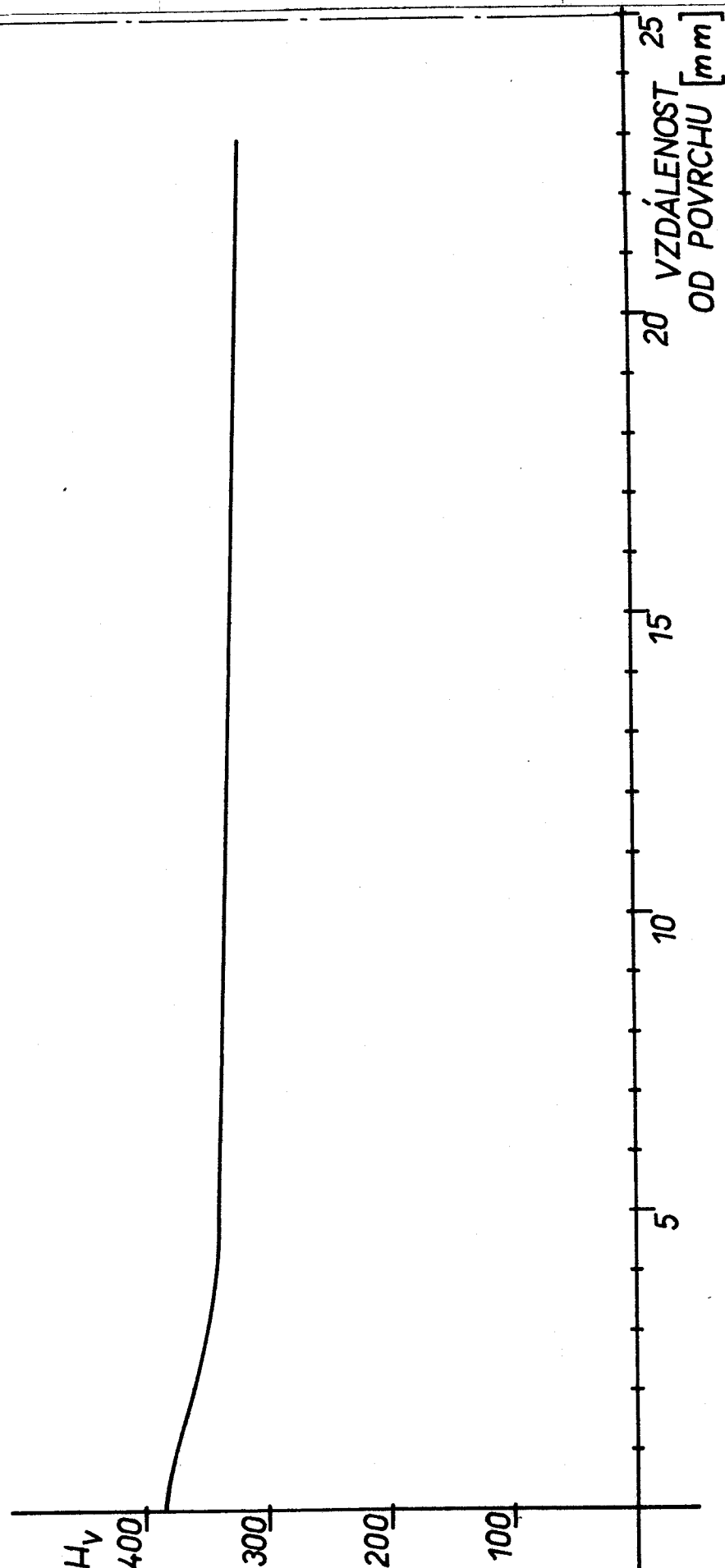


Obr. 30 - Průběh tvrdosti pro vzorek D₂

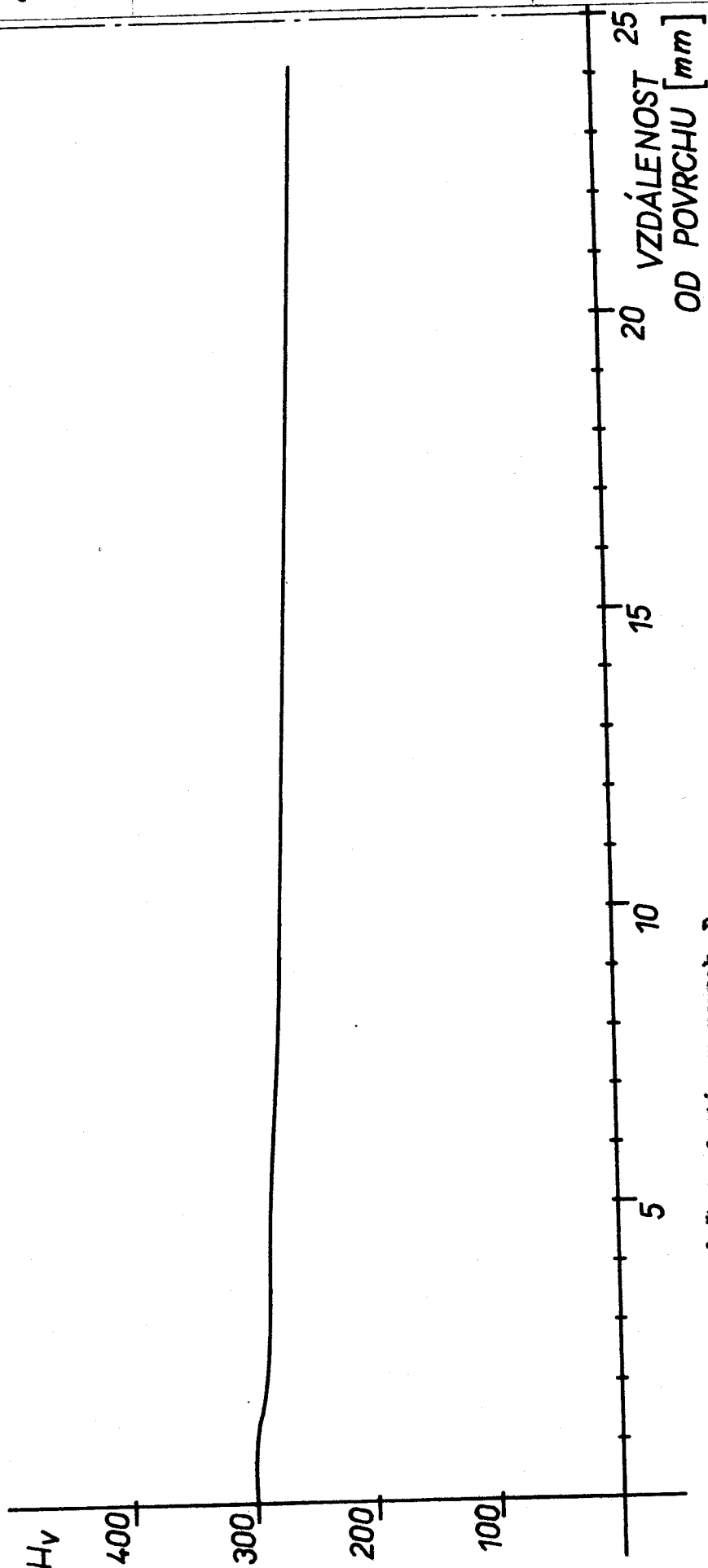
$t_1 = 60^\circ C$; $n_1 = 0,44$ mm 0,1 m/s ; $\tau_x = 6s$



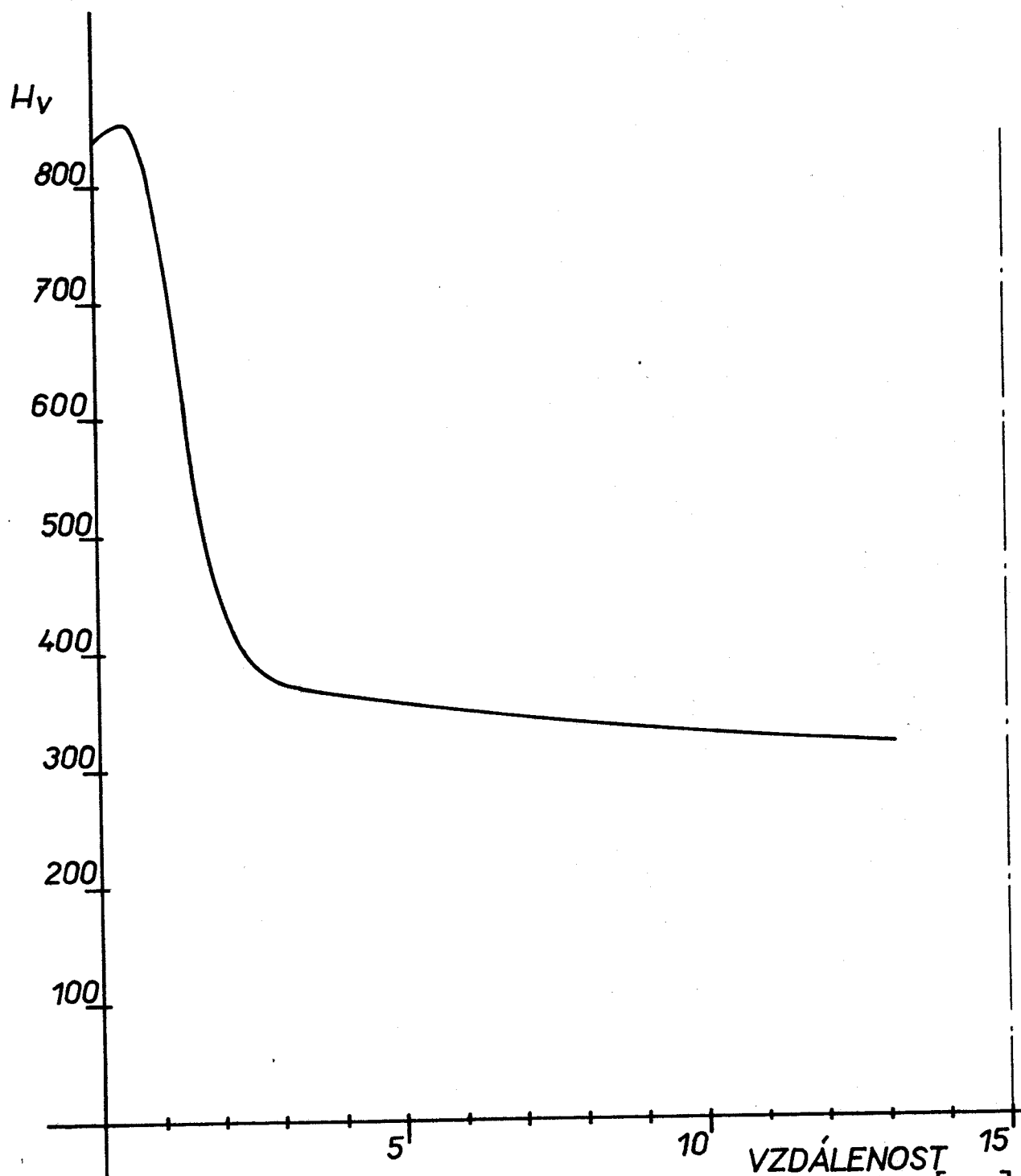
Obr. 31 - Průběh tvrdosti pro vzorek D₃
 $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_2 = 0,44$ mm 0,1 μm $\tau_x = 10\text{s}$



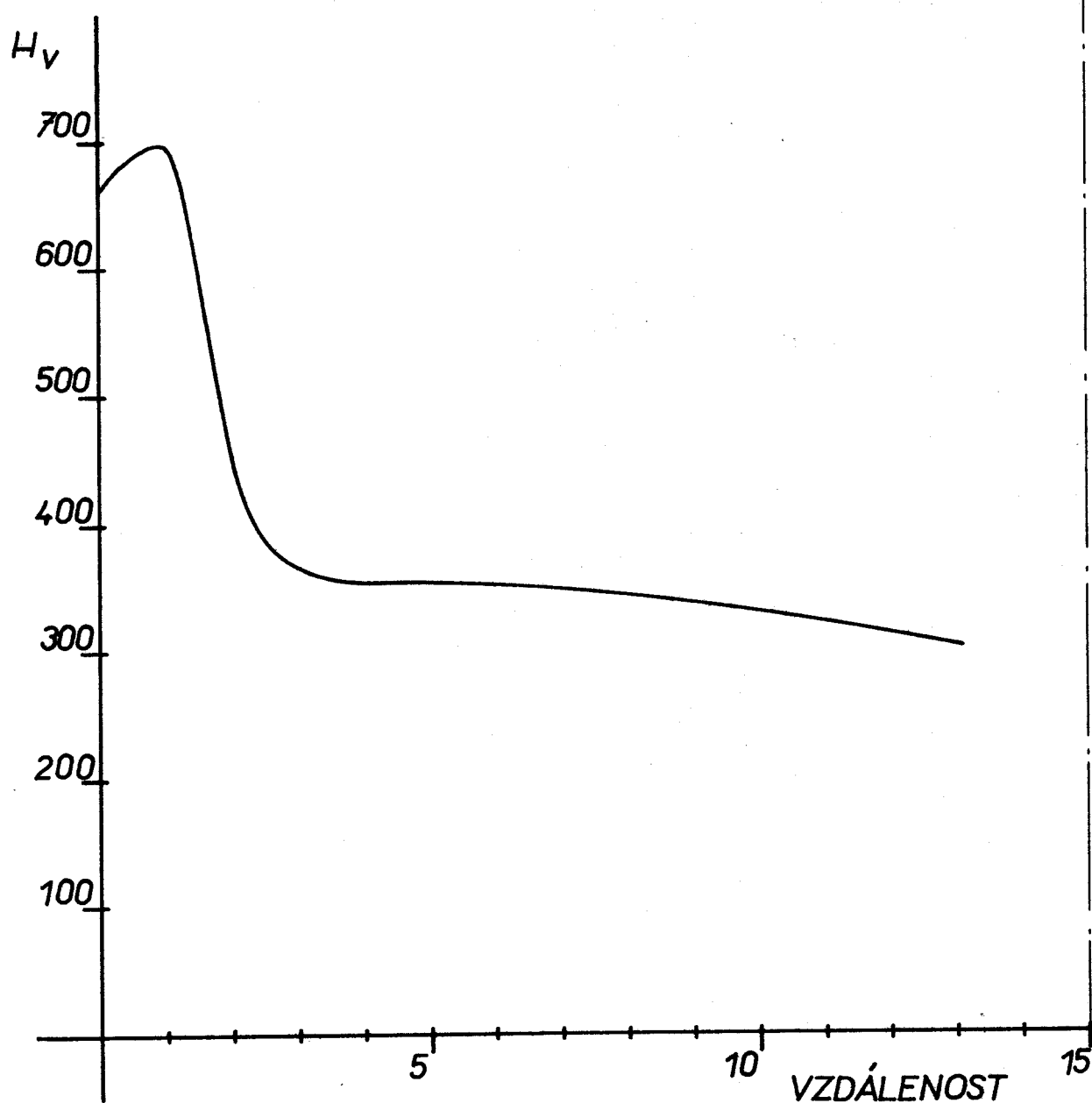
Obr. 32 -Průběh tvrdosti pro vzorek D₄
 $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,44$ mm 0,1 mm; $\tau_x = 20$ s



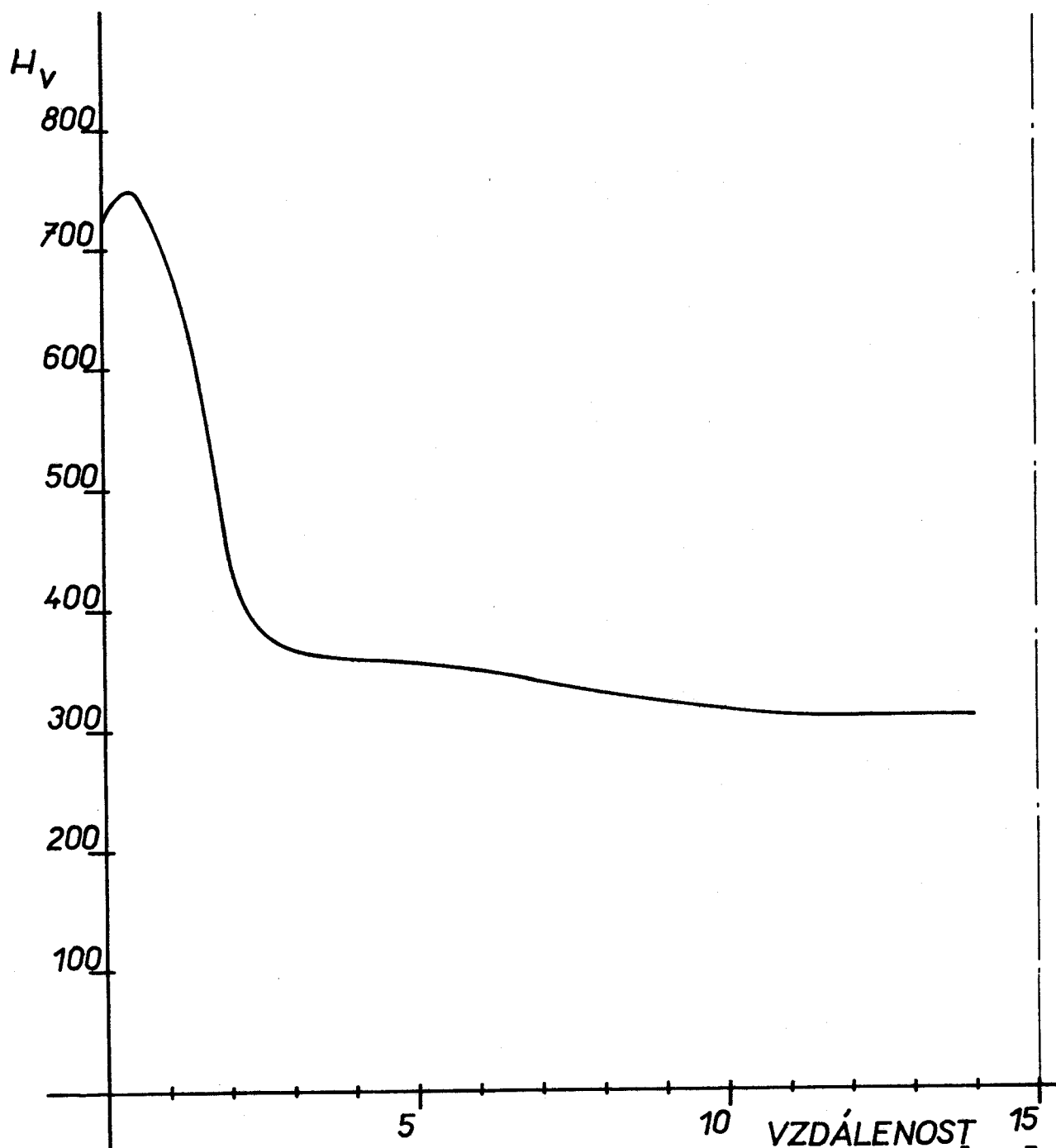
Obr. 13 - Příběh tvrdosti pro vzorek D_3
 $t_1 = 125^\circ C$; $v_2 = 0,44$ mm $0,1m/s$; $\gamma'_x = 10s$



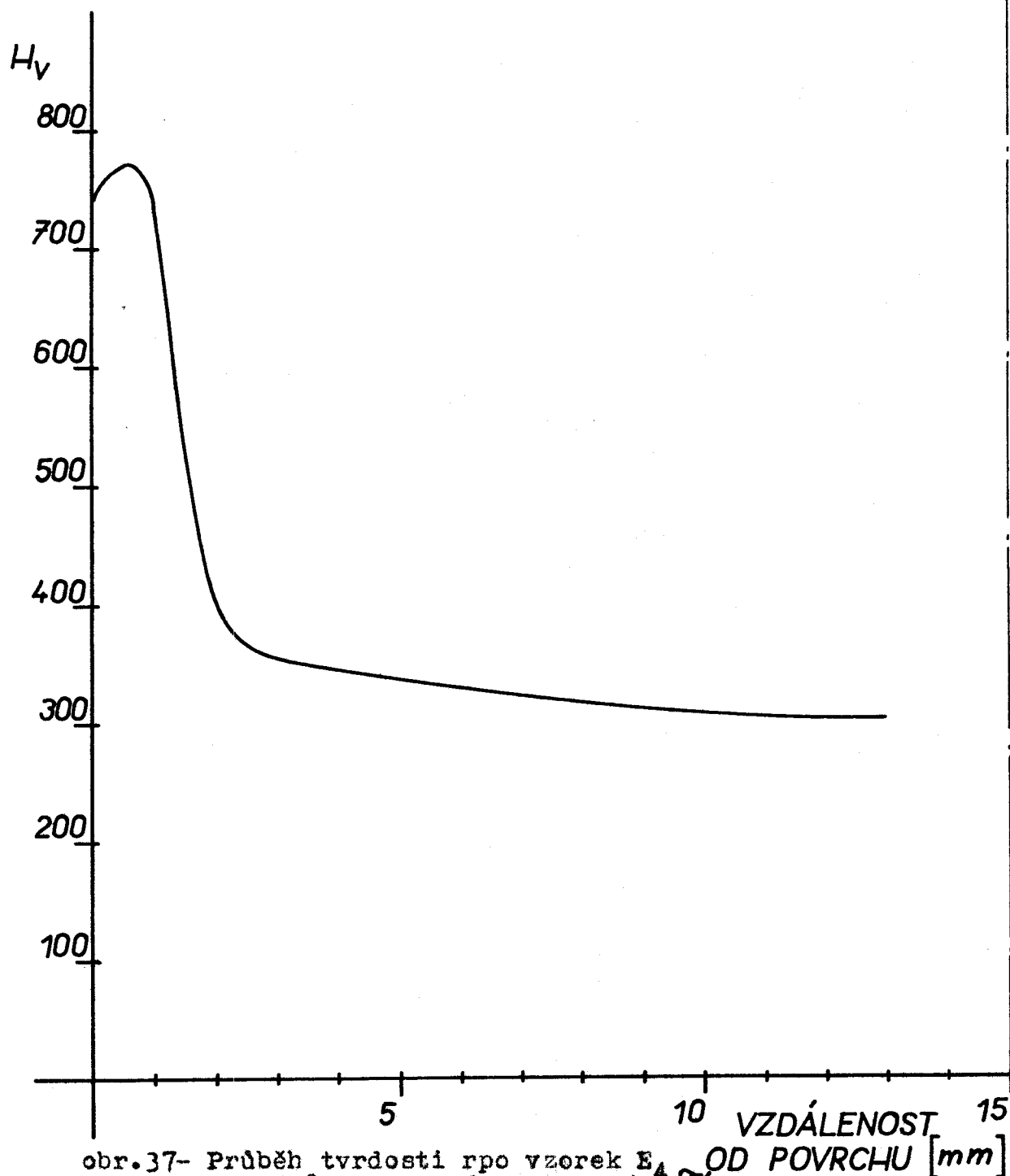
obr. 34- Průběh tvrdostí pro vzorek E₁ OD POVRCHU [mm]
 $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46 \text{ m/s}$.



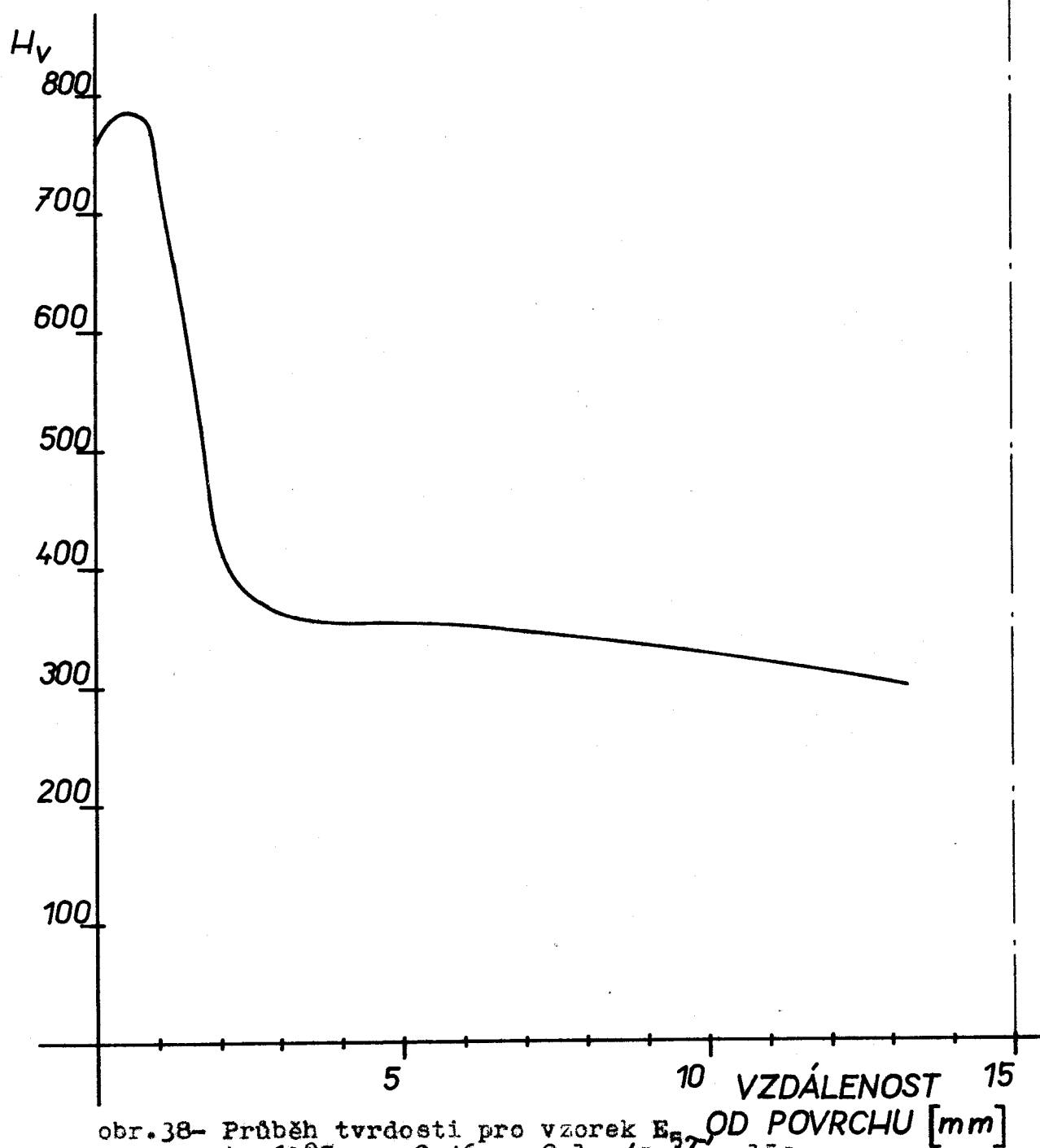
obr. 35- Průběh tvrdosti pro vzorek E₂ QD POVRCHU [mm]
 $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tau_x = 3 \text{ s}$



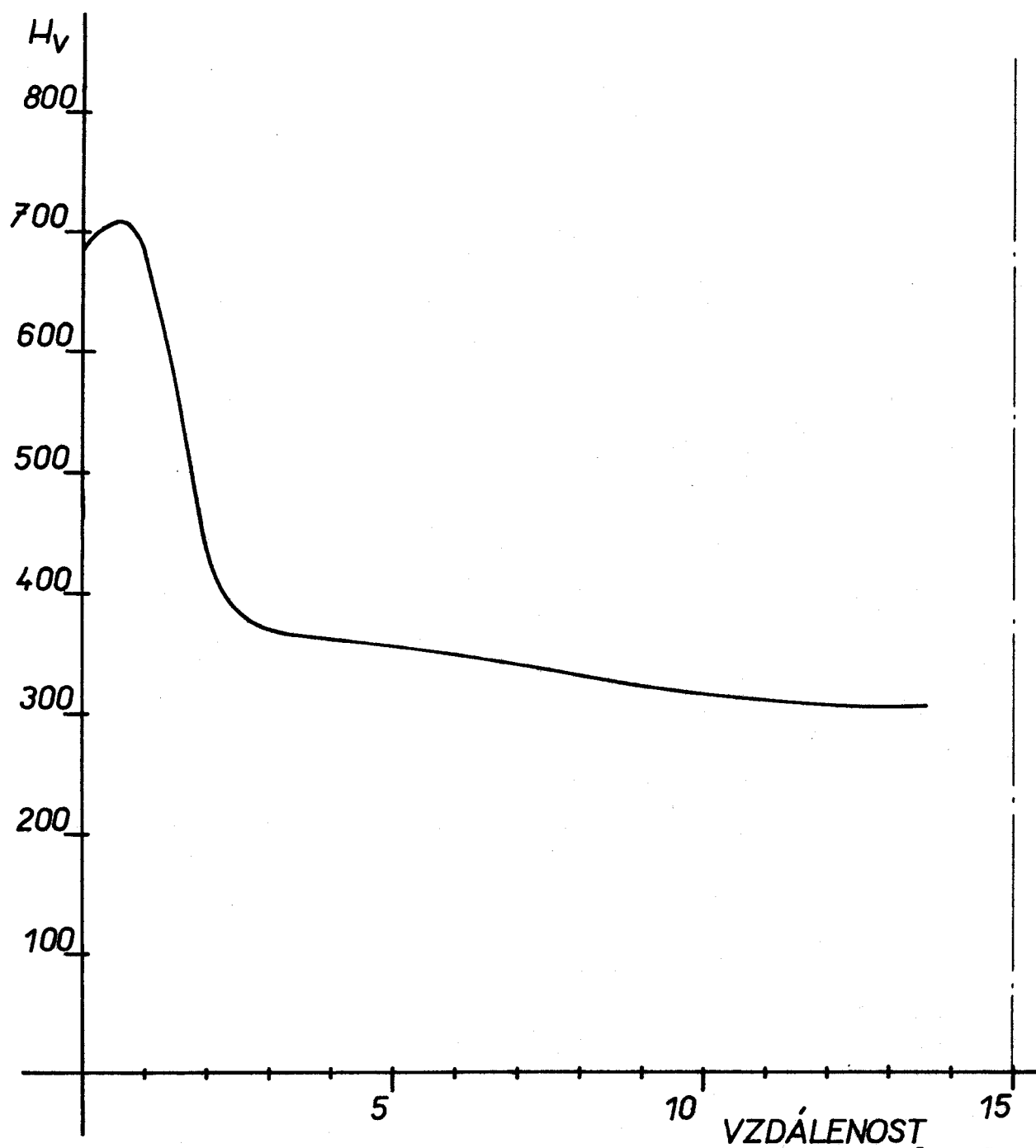
obr.36- Průběh tvrdosti pro vzorek E₃ OD POVRCHU [mm]
 $t_1=60^{\circ}\text{C}$; $w_1=0,46$ na $0,1\text{ m/s}$; $\tau_x=6\text{ s}$



obr.37- Průběh tvrdosti rpo vzorek E₄ OD POVRCHU [mm]
 $t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$; $\tau_x = 10\text{s}$



obr.38- Průběh tvrdosti pro vzorek E₅₂ OD POVRCHU [mm]
 $t_1=60^{\circ}\text{C}$; $w_1=0,46$ na $0,1\text{ m/s}$; $t_x=15\text{ s}$



obr.39 - Průběh tvrdosti pro vzorek E₆ OD POVRCHU [mm]
 $t_1 = 125^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46$ na $0,1 \text{ m/s}$; $t_x = 10\text{s}$

6. Vyhodnocení zkoušek.

6.1. Vyhodnocení tepelných pochodů.

Vyhodnocení tepelných pochodů je prováděno pro povrch a jádro vzorků, neboť toto jsou mezní případy průběhů ochlazování, t. j. s maximální a s minimální rychlostí ochlazování. Průběhy teplot v místech A a B dokreslují uvedené mezní případy.

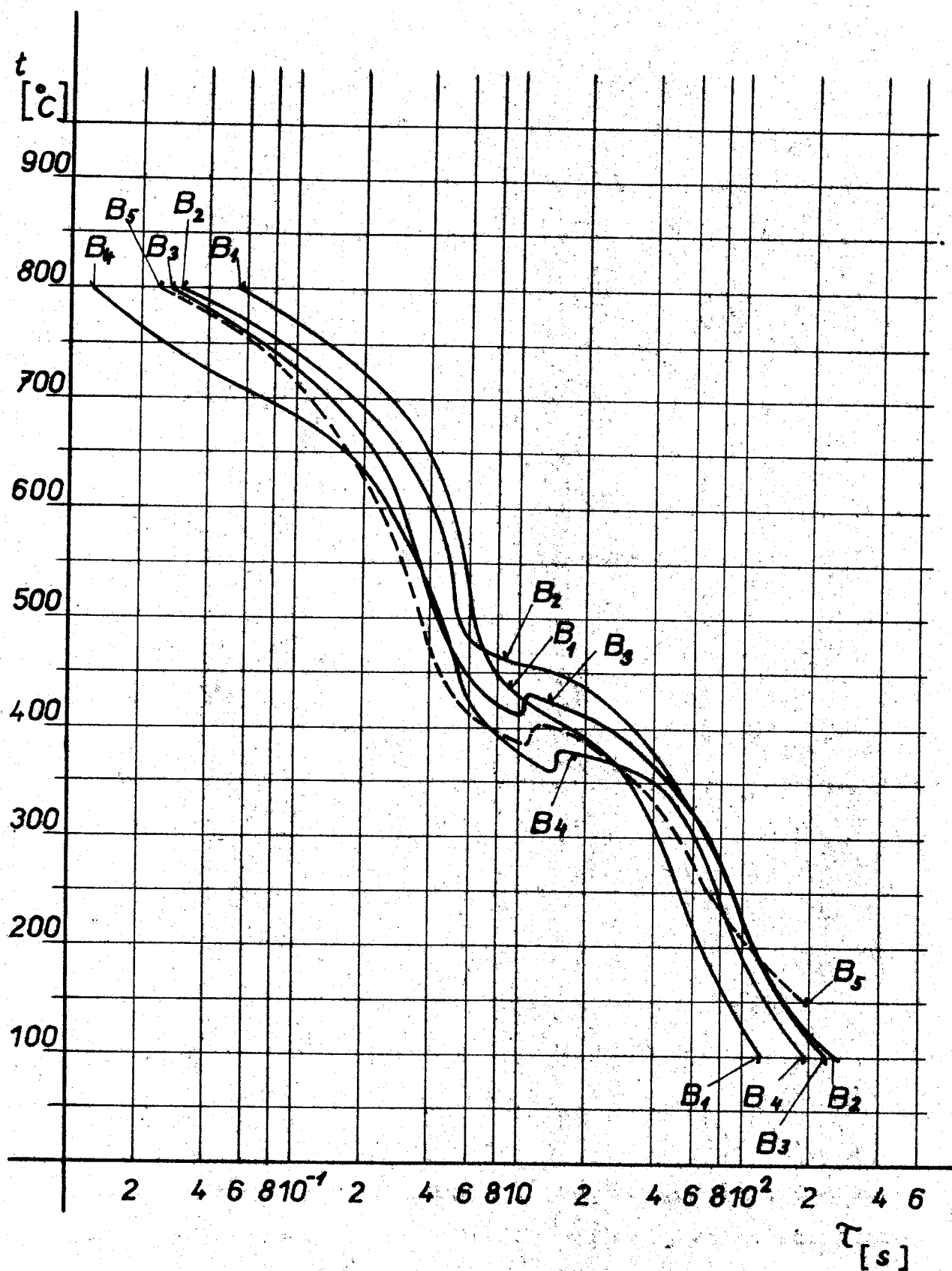
6.1.1. Porovnání průběhů povrchových teplot vzorků pro jednotlivé režimy kalení.

Průběhy povrchových teplot pro jednotlivé řady vzorků jsou uvedeny na obr. 40 (řada "B"), obr. 41 (řada "D") a obr. 42 (řada "E").

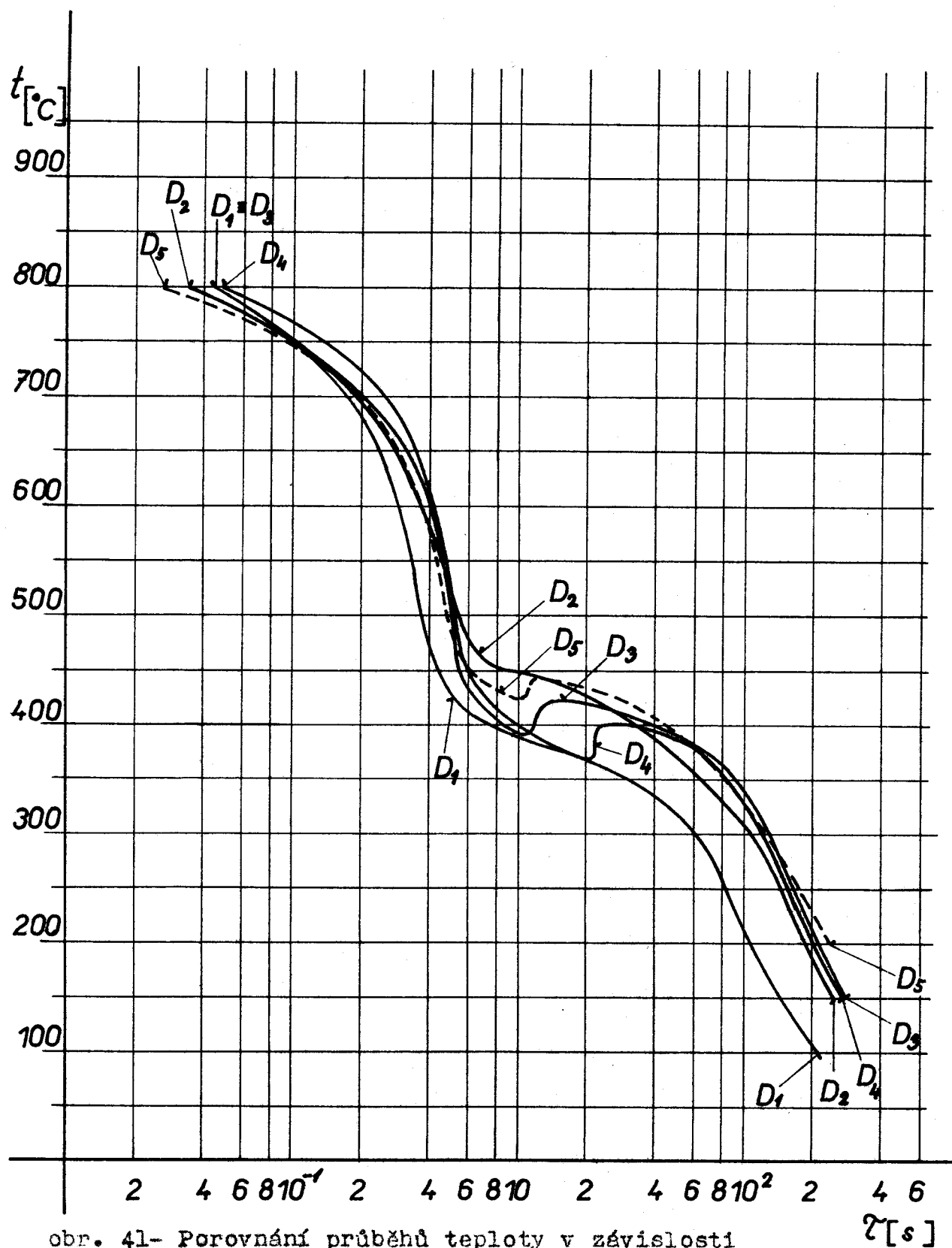
Z uvedených průběhů je možno formulovat tyto závěry :

1/V oblasti teplot do okamžiku změny intenzity rychlosti proudění kalící lázně (dále jen "změny rychlosti lázně"), by měly být všechny průběhy ochlazování vzorků při teplotě lázně 60°C shodné. Skutečnost je taková, že vykazují rozdíly. Je to způsobeno tím, že tato oblast teplot je oblastí nestabilního filmového varu a rozdíly průběhů teplot je možné brát jako : rozptyl měření spolu s ohledem na individuální provedení vzorků.

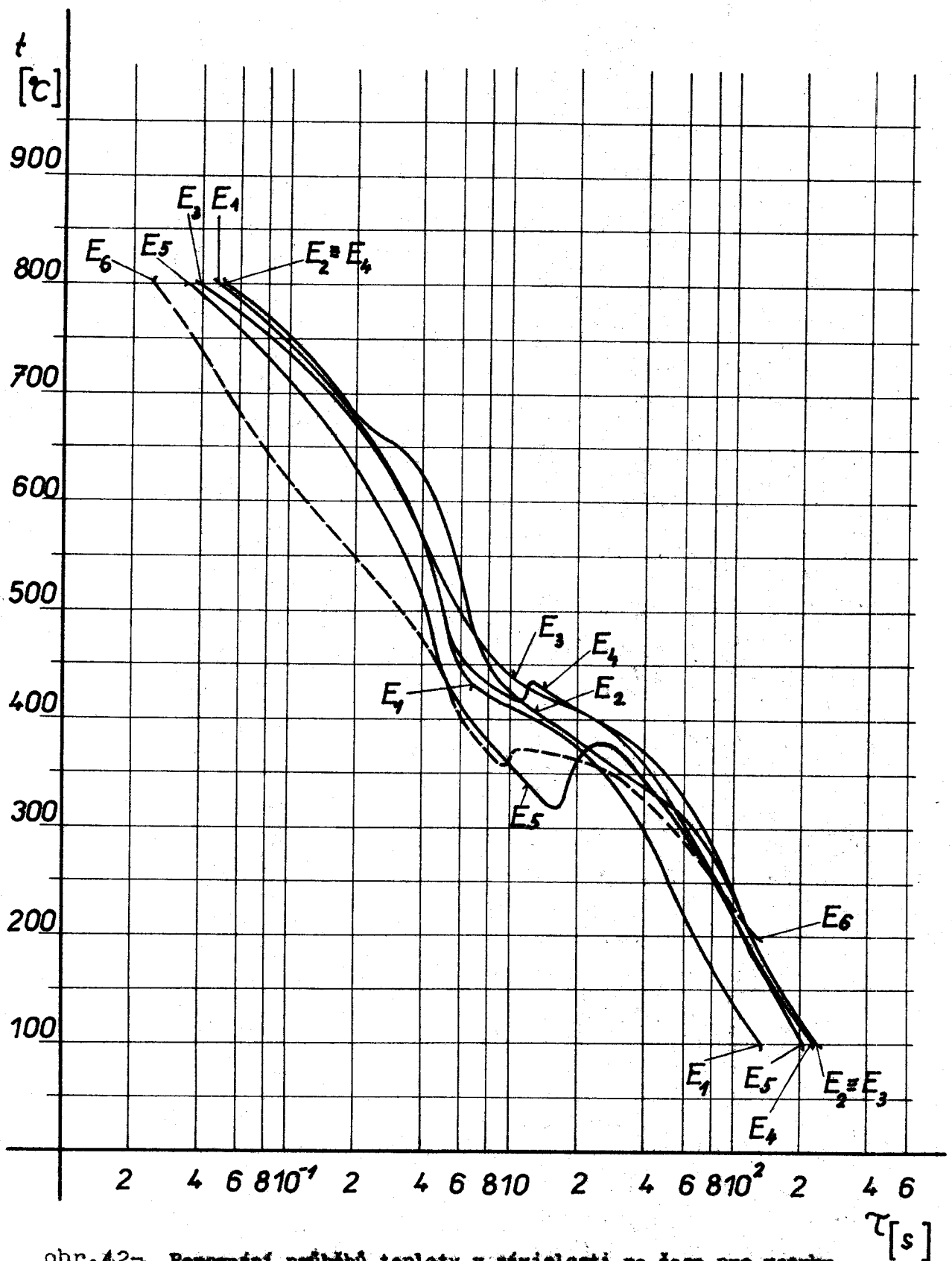
2/Po změně rychlosti lázně se projevuje růst teploty povrchu vzorků. Je to způsobeno tím, že je odvod tepla z povrchů vzorků omezen, probíhá pomaleji než rozvod tepla materiálem vzorků. To znamená, že povrch vzorků je určitou dobu vyhříván vnitřním teplem.



obr. 40- Porevnání průběhů teploty v závislosti na čase pro vzorky řady "B"
(tab. 5) pro "povrch".



obr. 41- Porovnání průběhů teploty v závislosti
na čase pro vzorky řady "D" pro "povrch".



obr. 4.2- Porovnání průběhů teploty v závislosti na čase pro vzorky řady "E" pro "povrch".

Ukazuje se, že čím je delší doba (τ_x ; obr.1) změny rychlosti lázně, tím výraznější je růst teploty povrchu.

3/ Dále se ukazuje, že po okamžiku změny rychlosti lázně dochází k podstatnému zpomalení ochlazování povrchu vzorků. Tato skutečnost ukazuje, že i uvnitř vzorku musí dojít ke zpomalení ochlazování.

Přitom je možno říci, že čím je delší doba změny rychlosti lázně, tím se křivky více přibližují průběhům kalení beze změny rychlosti lázně, avšak rozdíly zůstávají výrazné.

4/ Průběh teploty vzorku při kalení, ochlazovaného v lázni o teplotě 125°C , je charakterizován, v oblasti teplot pod změnou rychlosti lázně, značným zpomalením ochlazování. To znamená, že s růstem teploty kalící lázně se znásobuje účinek změny rychlosti lázně.

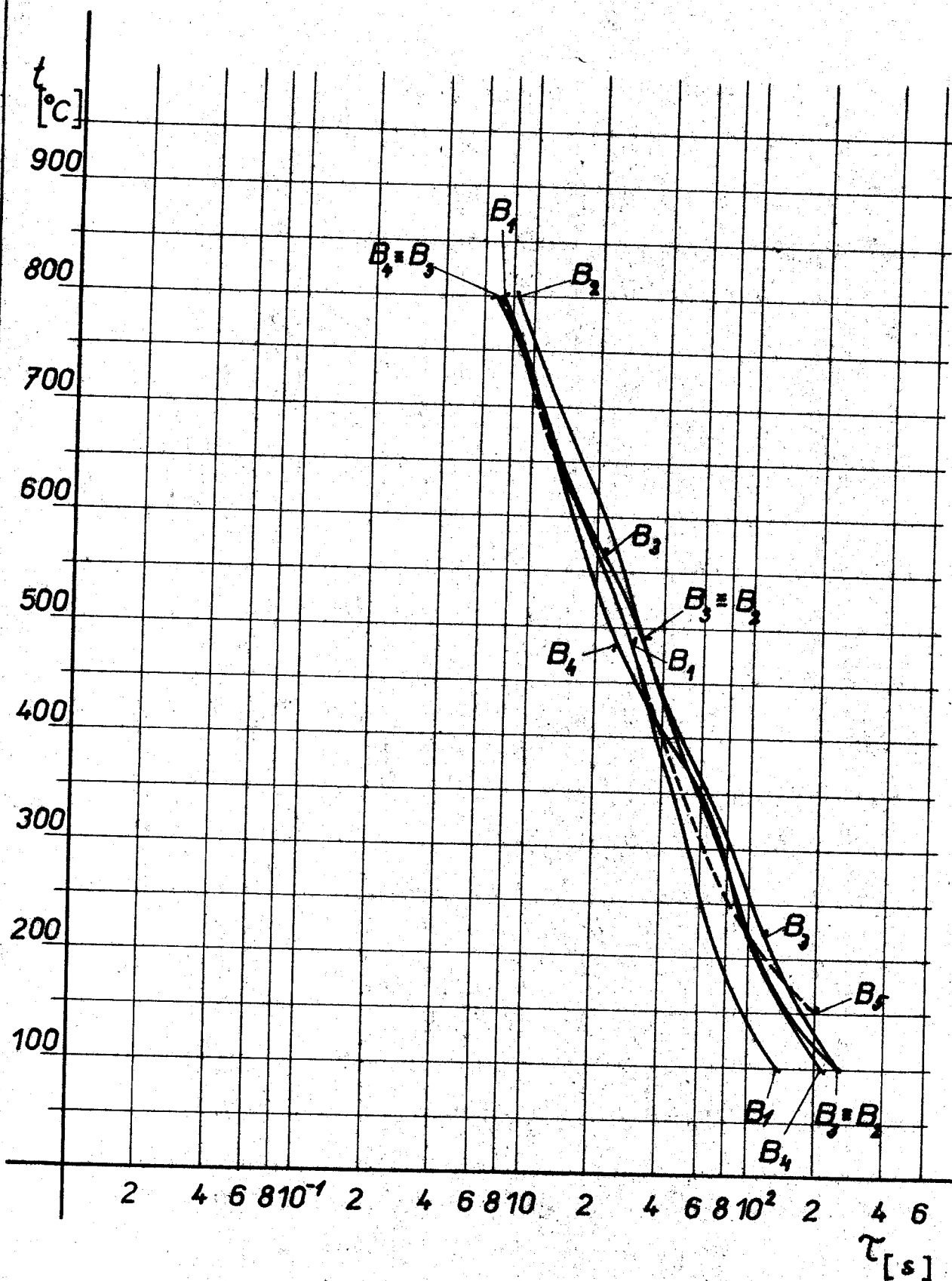
6.1.2. Porovnání průběhů teplot v jádře vzorku pro jednotlivé režimy kalení.

Průběhy teplot v jádře vzorků jsou uvedeny pro jednotlivé řady vzorků na obr.43 (řada "B"), obr.44 (řada "D") a obr.45 (řada "E").

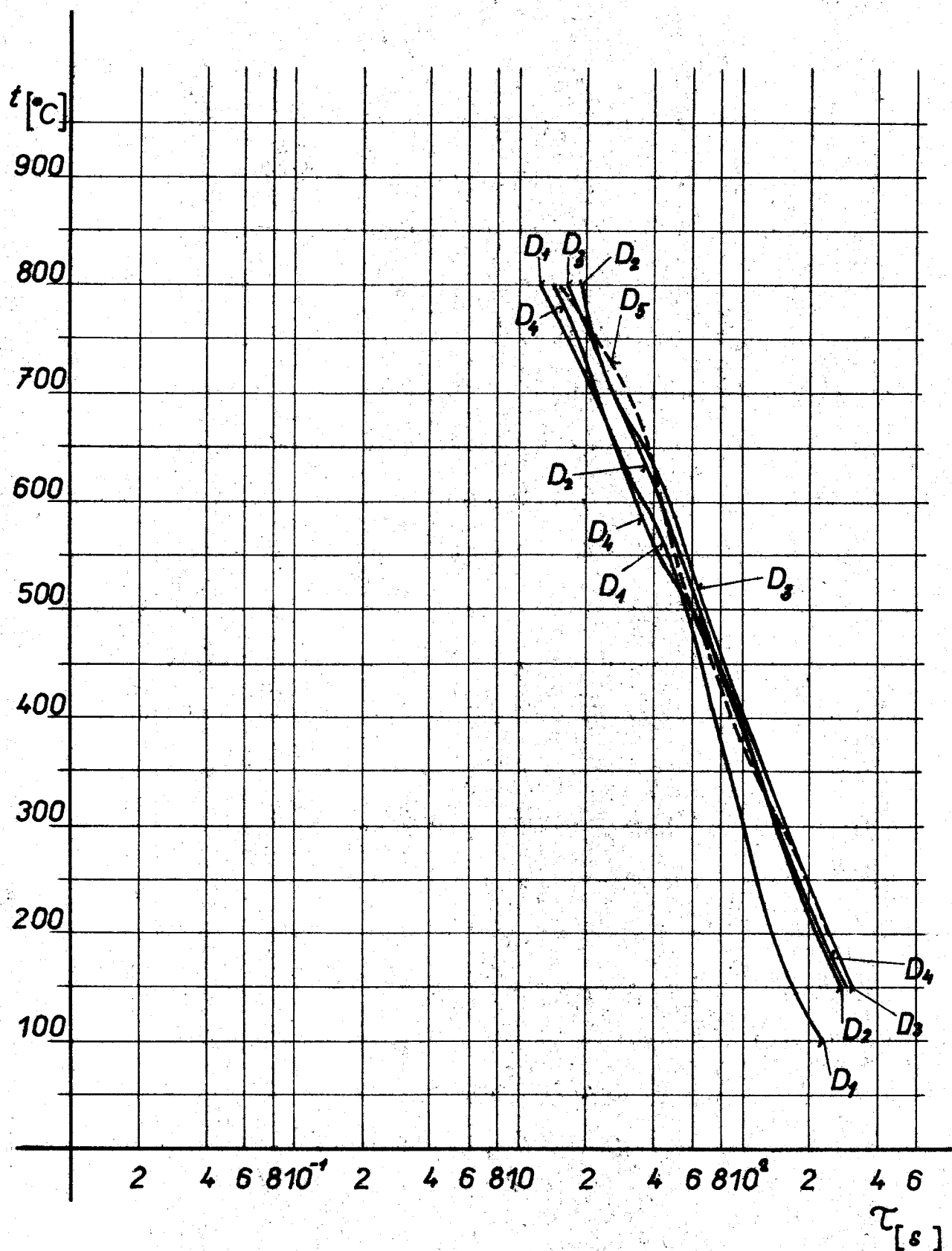
Z uvedených průběhů je možno formulovat tyto závěry:

1/V oblasti teplot nad 450°C platí uvedené v kapitole 6.1.1.- závěr 1/.

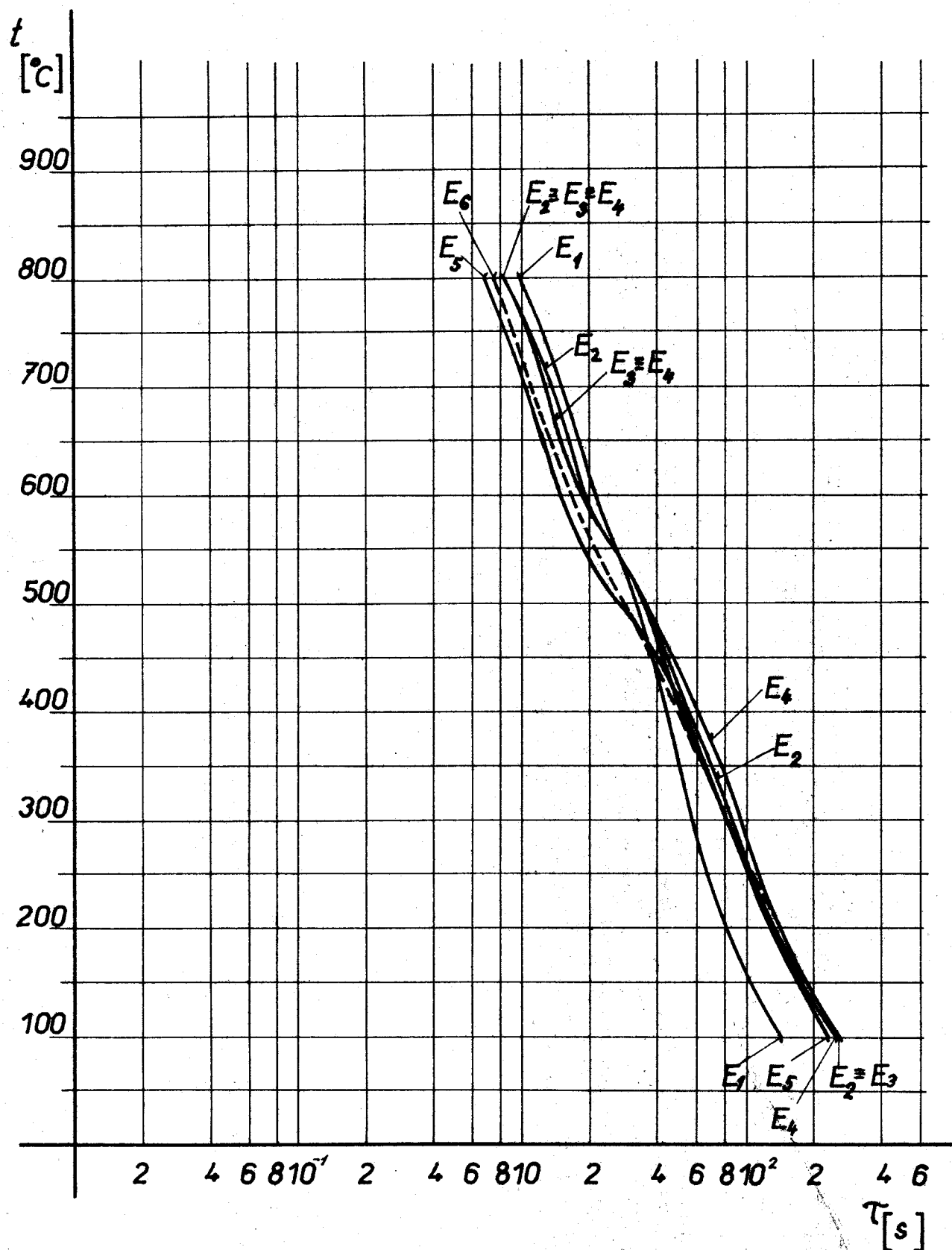
2/V oblasti teplot pod 450°C dochází u průběhů ochlazování vzorků kalených se změnou rychlosti lázně vůči průběhům ochlazování vzorků kalených beze změny rychlosti



Obr. 43 - Porovnání průběhů teploty v závislosti na čase pro vzorky řady "B" (tab. 5) pro " jádra ".



obr. 44- Porovnání průběhů teploty v závislosti na čase pro vzorky řady "D" pro "jádro".



obr. 45 - Porovnání průběhů teploty v závislosti na čase pro vzorky řady "K" pro "jádro".

lázně k výraznému zmírnění ochlazování. Zde opět platí, že čím je delší doba změny rychlosti lázně, tím se křivky více přibližují k průběhům teplot vzorků kalených bez změny rychlosti lázně, avšak rozdíly zůstávají značné.

3/ Pro průběhy teplot jádra vzorků kalených do lázně o teplotě 125°C lze říci totéž, co je uvedeno v kapitole 6.1.1.- závěr 4/.

Poznámka pro kapitoly 6.1.1. a 6.1.2.

Průběh ochlazování vzorku D₂ (kaleného při změně rychlosti lázně po $\tau_x=6\text{s}$) nezapadá logicky do posloupnosti průběhů ochlazování vzorků této řady, to znamená, nesměřuje po změně rychlosti lázně k nejdělsím časům. Při ohřevu, manipulaci se vzorkem při kalícím procesu, či při vlastním měření teplot došlo k chybě, která se projevila až po vyhodnocení oscilogramu. Příčin, které mohly tuto chybu způsobit, je celá řada. Při zpracování výsledků se tato chyba projevila na obr. 41 a 44. V ostatních případech se vyhodnocují jen relativní vztahy, týkající se vzorku samotného a tam se tato chyba neprojeví. Do závěru výsledků měření toto však nebude pojato.

6.1.3. Vyhodnocení průběhů rychlostí ochlazování v jádře vybraných vzorků.

Ukazatelem intensity ochlazování vzorků v průběhu kalení jsou rychlosti ochlazování.

Pro posouzení průběhů rychlostí při ochlazování v jád-

že vzorků, byly vybrány vzorky řady "B" a to B₁-ochlazovaný beze změny rychlosti lázně a B₂ - ochlazovaný se změnou rychlosti lázně po $\tau' = 6s$, neboť představují extrémní hodnoty průběhů ochlazování při kalení do lázně o teplotě 60°C a B₅- ochlazovaný v lázni o teplotě 125°C.

Rychlosti ochlazování povrchu vzorků nejsou uvedeny, neboť z jejich průběhů nebylo možno učinit logické závěry. Příčiny tkví v tom, že průběhy povrchových teplot jsou ovlivněny v oblasti nad teplotou změny rychlosti lázně existencí nestabilního filmového varu.

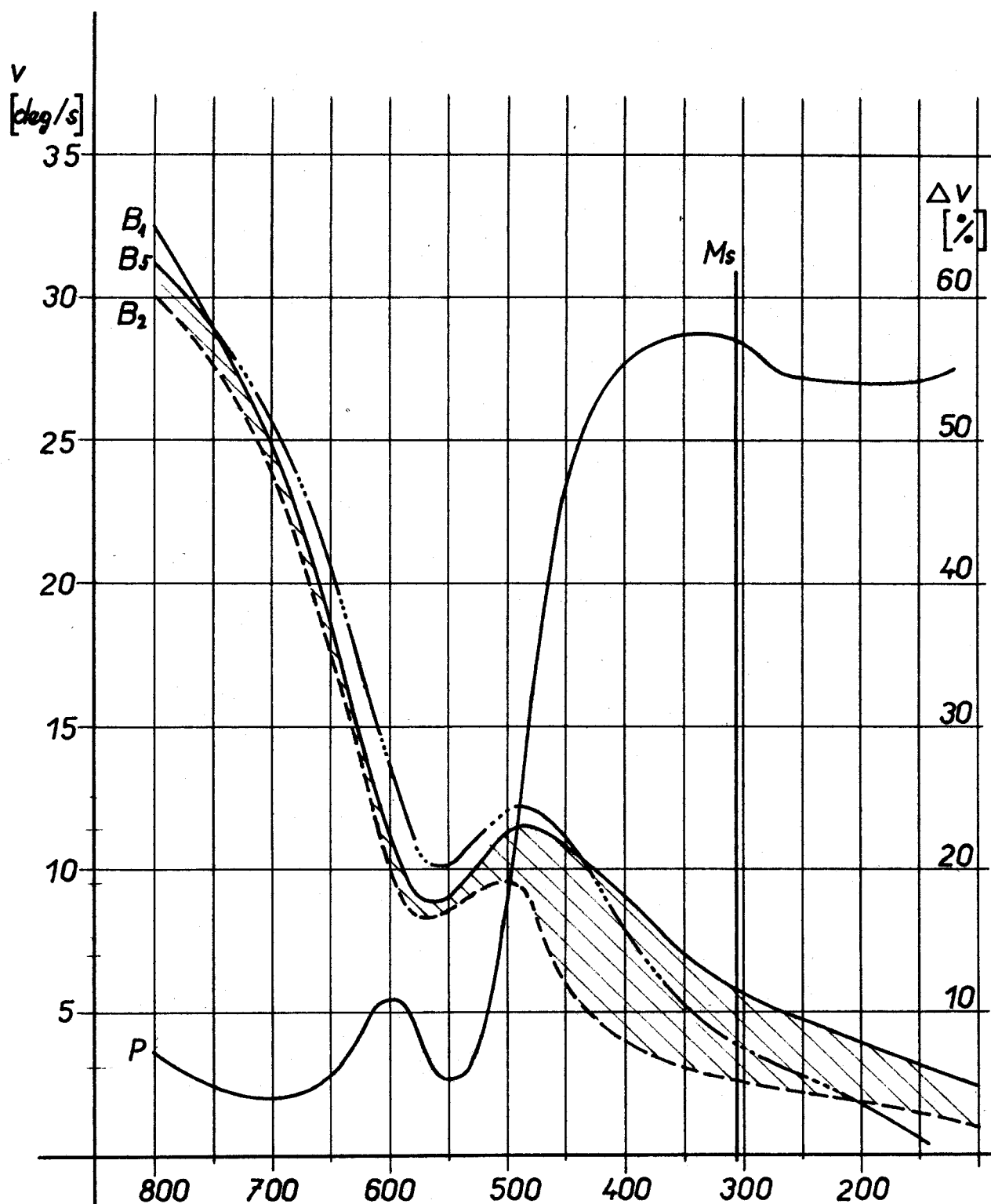
Průběhy rychlostí pro vybrané vzorky jsou přivedeny na obr. 46- v závislosti na teplotě a na obr. 47- v závislosti na době kalení. V obou obrázcích jsou ještě uvedeny čarami P rozdíly rychlostí mezi vzorky B₁ a B₂ v procentech.

Z uvedených průběhů lze formulovat tyto závěry :

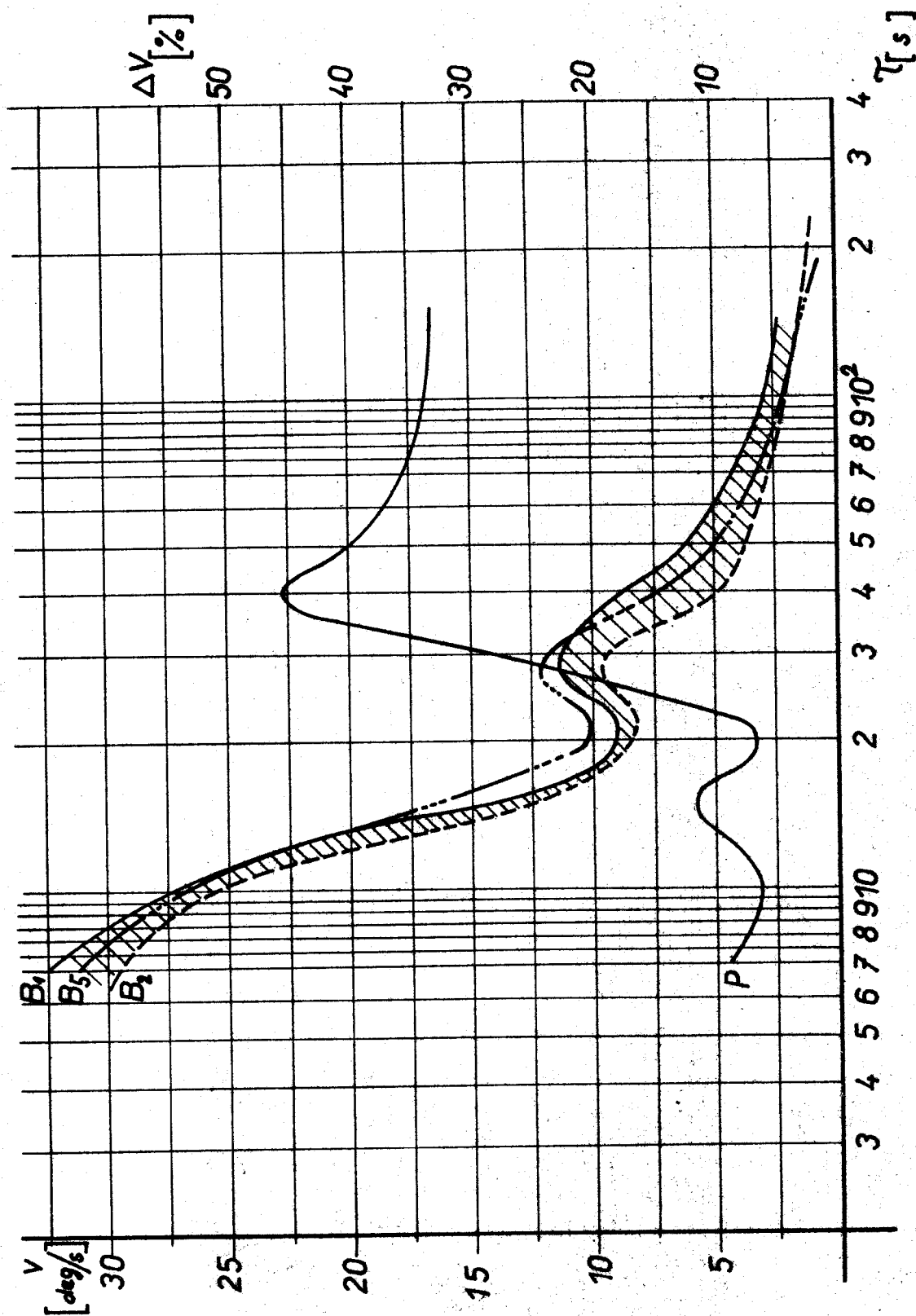
1/ Rychlosti ochlazování vzorků kalených se změnou rychlosti lázně jsou v celém průběhu menší, než beze změny rychlosti lázně, přičemž rychlosti ochlazování jader vzorků B₃ a B₄ by byly umístěny mezi průběhy B₁ a B₂.

Tato skutečnost je vyjádřena na obr. 46 a 47 vyšrafovanou plochou mezi průběhy rychlostí ochlazování vzorků B₁ a B₂.

2/ V průběhu křivky P je patrné, že v oblastech teplot nad 500°C jsou procentové rozdíly v rychlostech vzorků B₁ a B₂ malé. V oblasti teplot mezi 500 a 400°C, t.j.



obr.46-Závislost rychlosti ochlazování na teplotě t [$^{\circ}\text{C}$]
 při kalení pro jádra vzorků.
 $B_1-t_1=60^{\circ}\text{C}; w_1=0,46\text{m/s}; B_2-t_1=60^{\circ}\text{C}; w_1=0,46\text{na } 0,1\text{m/s};$
 $\tau_x=6\text{s}; B_5-t_1=125^{\circ}\text{C}; w_1=0,46\text{na } 0,1\text{m/s}; \tau_x=10\text{s}$
 Průběh P-procentový rozdíl rychlostí Δv mezi vzorky B_1 a B_2 .
 M_s -teplota martensit start pro materiál 15241.



Obr. 47 - Závislost rychlosti ochlazování na čase při kladání pro ~~plasty~~ ~~plasty~~

$B_1 - t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46\text{m/s}$; $B_2 - t_1 = 60^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46\text{m/s}$; -60 ; $B_3 - t_1 = 125^\circ\text{C}$; $w_1 = 0,46\text{m/s}$; -10

Průměr P - procentní rozdíl rychlosti ΔV mezi vlnky.

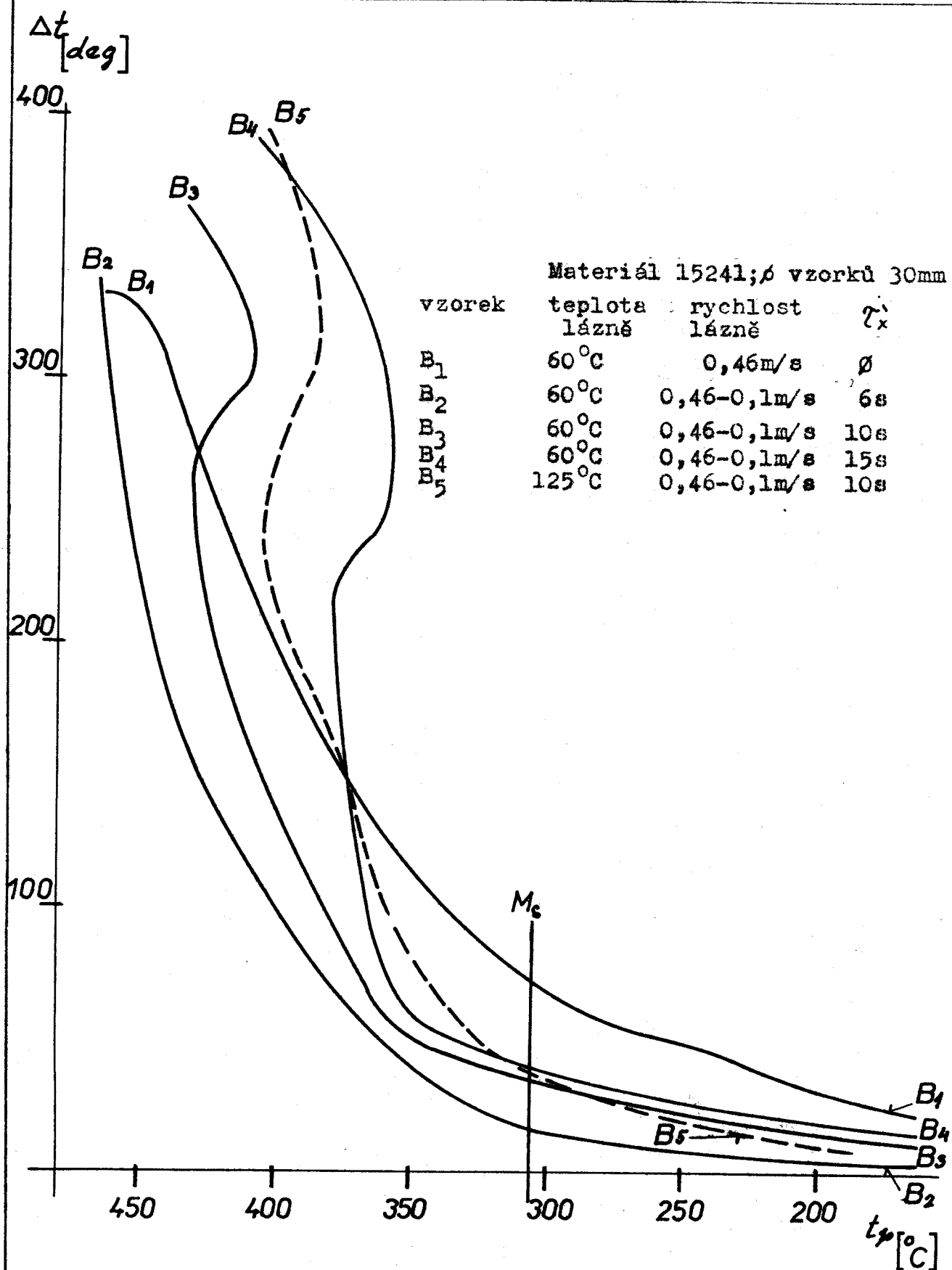
v oblasti, kde dochází k odklonu průběhu teplot u vzorku B_2 od průběhu teplot vzorku B_1 v důsledku změny rychlosti lázně, dochází k prudkému vzrůstu procentového rozdílu rychlostí. Maximum tohoto rozdílu je při teplotě 325°C a činí 57,6 %. Dále pak příliš neklesá.

Oblast vysokých procentových rozdílů rychlostí spadá převážně do oblasti teplot martensitické přeměny. Tato skutečnost je velmi důležitá, neboť vnitřní pnutí materiálu vznikající v důsledku strukturálních přeměn se sníží, protože intenzita ochlazování vzorku B_2 bude v této oblasti podstatně nižší než u vzorku B_1 [4] [5].

3/ Průběh rychlosti ochlazování jádra vzorku B_5 (kalen do lázně o teplotě 125°C) vykazuje v počátečním stadiu ochlazování, t.j. do teploty 750°C , nižší hodnoty a odtud až do teplot okolo 450°C hodnoty vyšší, než je tomu u vzorku B_1 . Pod teplotou 450°C se rychlost ochlazování prudce snižuje a po dosažení teploty 200°C je dokonce nižší než u vzorku B_2 . Opět se ukazuje, že rostoucí teplota lázně znásobuje účinek změny rychlosti proudění lázně. Tato skutečnost je potvrzením závěru 4/kapitola 6.1.1.

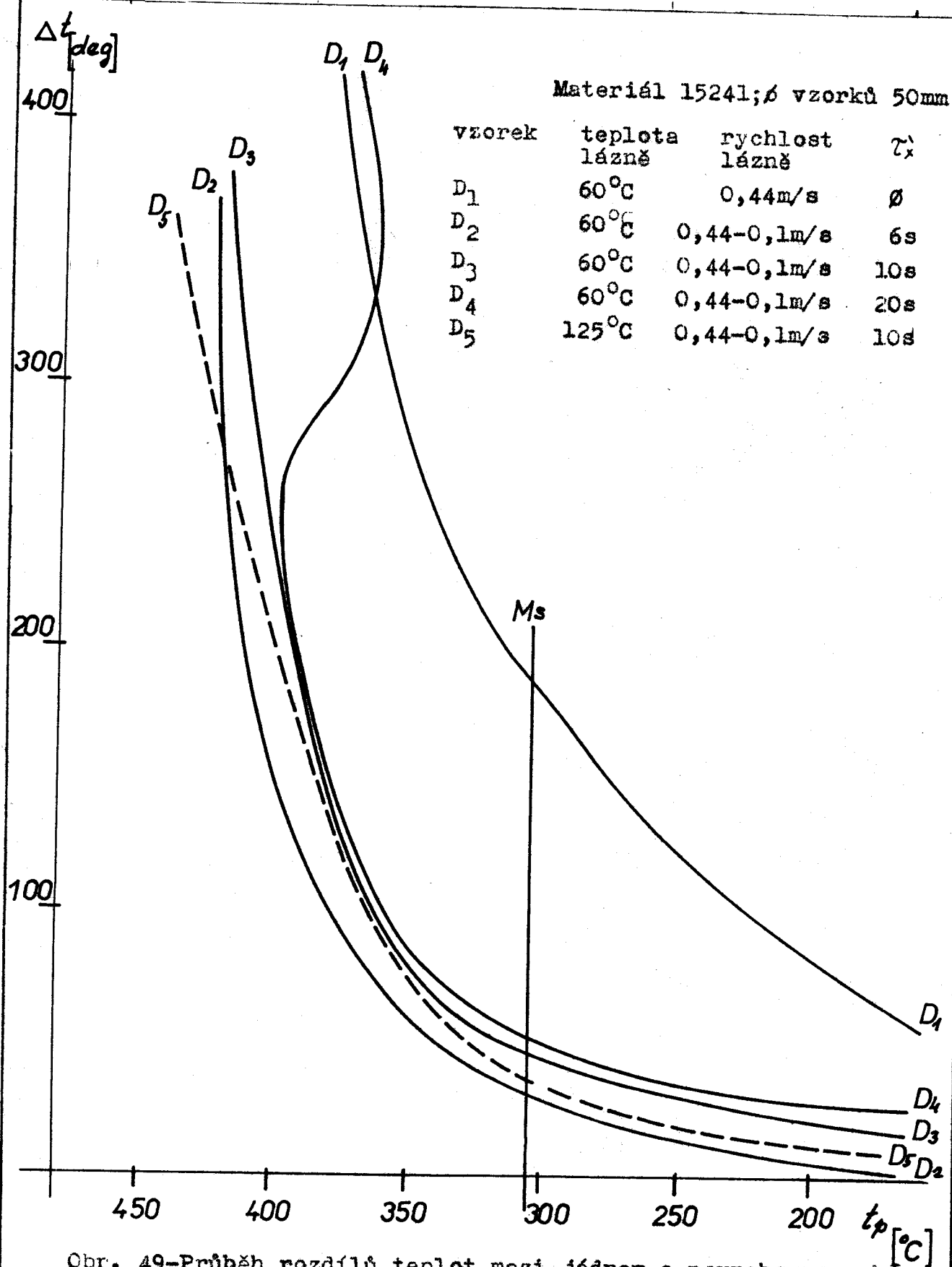
6.1.4. Vyhodnocení rozdílů teplot povrchu a jádra vzorků pro jednotlivé režimy kalení.

Průběhy rozdílů teplot mezi povrchem a jádrem jednotlivých vzorků v závislosti na povrchové teplotě jsou přivezeny na obr. 48 (řada "B"), obr. 49 (řada "D") a obr. 50 (řada "E").



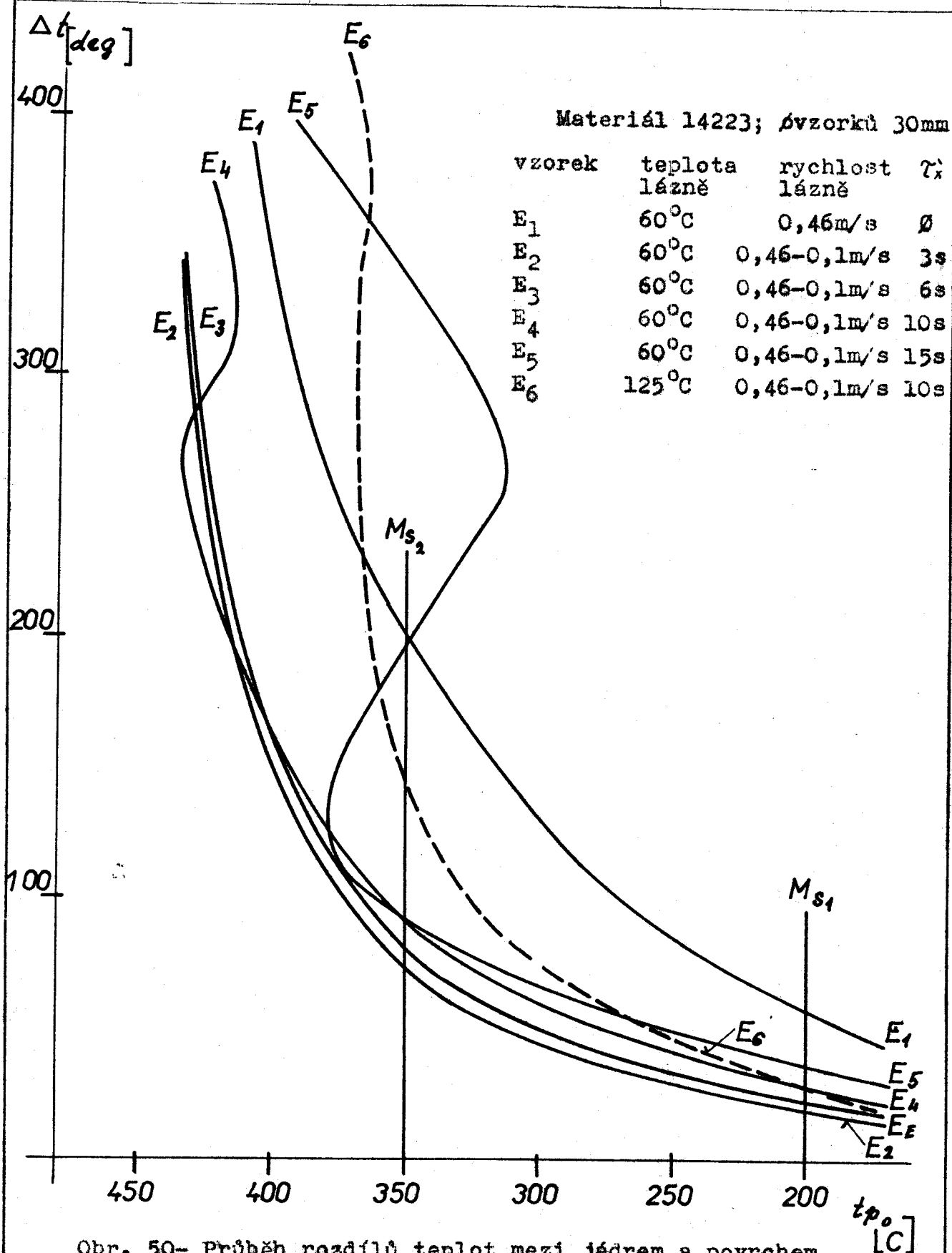
Obr. 48-Průběh rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků řady "B" v závislosti na teplotě povrchu.

Ms - teplota martensit start



Obr. 49-Průběh rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků řady "D" v závislosti na teplotě povrchu.

M_s - teplota martensit start



Obr. 50- Průběh rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků řady "E" v závislosti na teplotě povrchu.

Ms_1 -teplota martensit start pro 0,91% C

Ms_2 -teplota martensit start pro vzdálenost 1,5mm pod povrchem kde je 0,4% C.

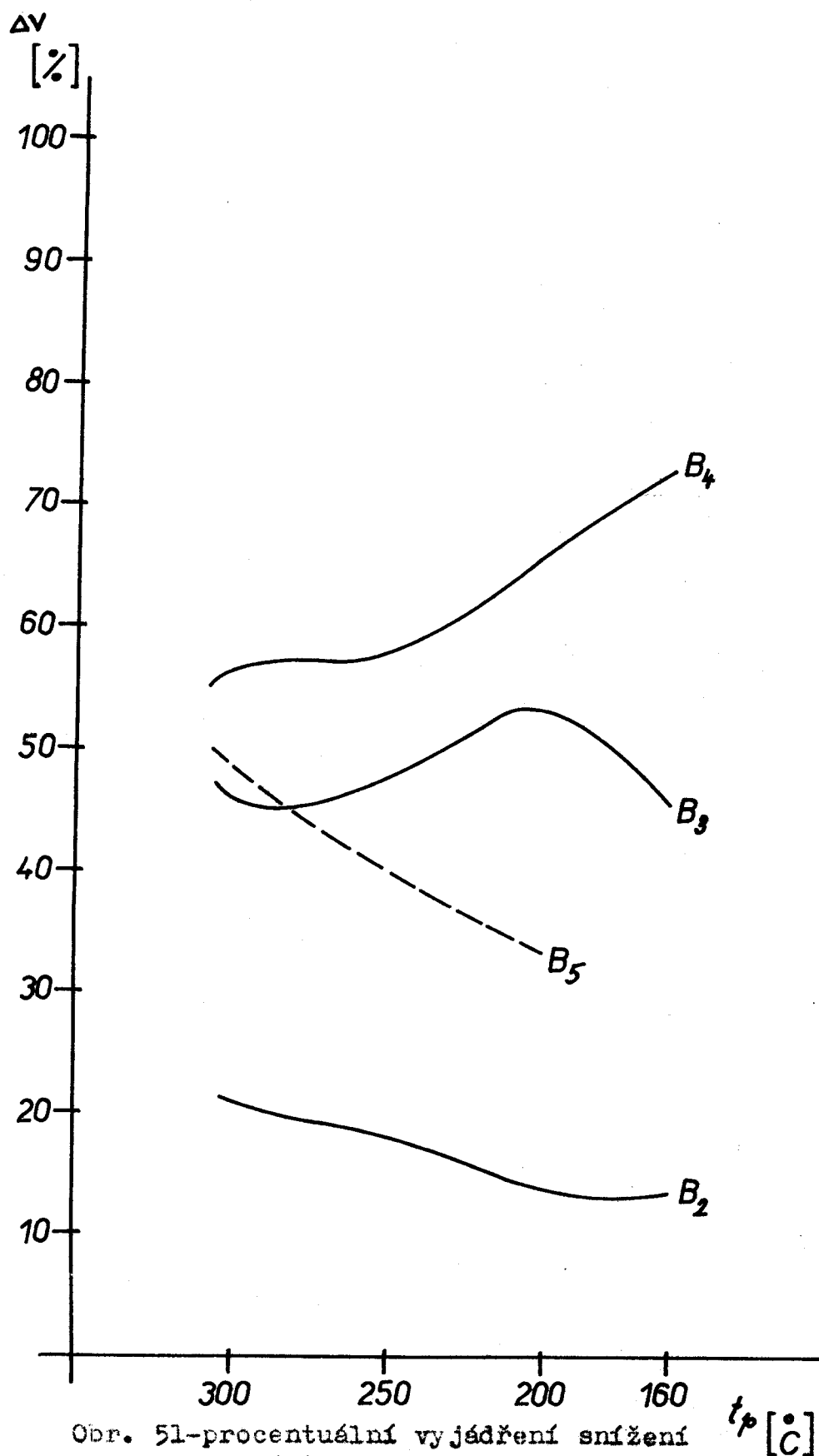
Procentuální vyjádření snížení rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků pro jejich jednotlivé řady, v závislosti na teplotě povrchu vzorků v oblasti martensitické přeměny, při kalení se změnou intenzity rychlosti proudění kalící lázně vzhledem ke kalení beze změny intenzity rychlosti proudění kalící lázně, je přivedeno na obr.51 (řada "B"), obr.52 (řada "D") a obr. 53 (řada "E").

Z průběhů přivedených na obr. 48, 49 a 50 lze formulovat tyto závěry:

1/ Největší význam mají průběhy v oblasti martensitické přeměny, jejíž počátek je vyznačen čarou Ms. V této důležité oblasti ochlazování je patrný výrazný pokles rozdílů teplot v důsledku provedení změny rychlosti lázně oproti kalení bez této změny. Extrémní hodnoty vyjadřují polohy průběhů pro vzorky kalené beze změny rychlosti lázně a pro vzorky kalené se změnou rychlosti lázně po $\tau'_x = 3$ eventuálně 6s. Při změně rychlosti po delších časech t.j. po $\tau'_x = 10, 15$ eventuálně 20s se difference rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků zmenšuje. Je však nutno dodat, že je i potom výrazný.

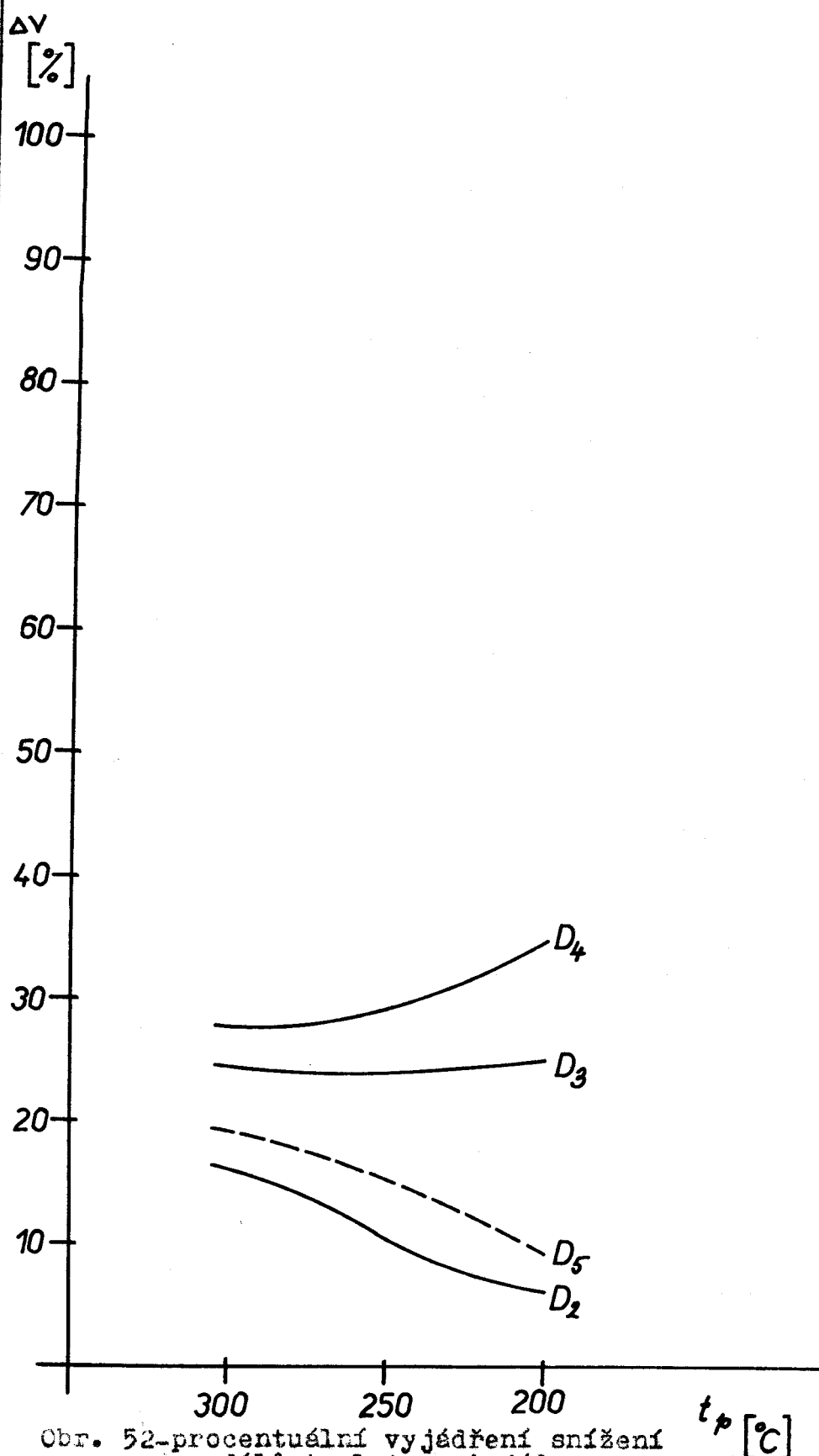
2/ Dále se ukazuje, že s rostoucí velikostí průměrů vzorků, jsou difference rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků (dále jen "rozdílů teplot") markantnější.

3/ Průběh rozdílů teplot u vzorků kalených do lázně o teplotě 125°C je charakterisován klesající tendencí. Ukazuje se tedy, že s rostoucí teplotou kalící lázně, narůstá difference rozdílů teplot vůči ostatním průběhům.

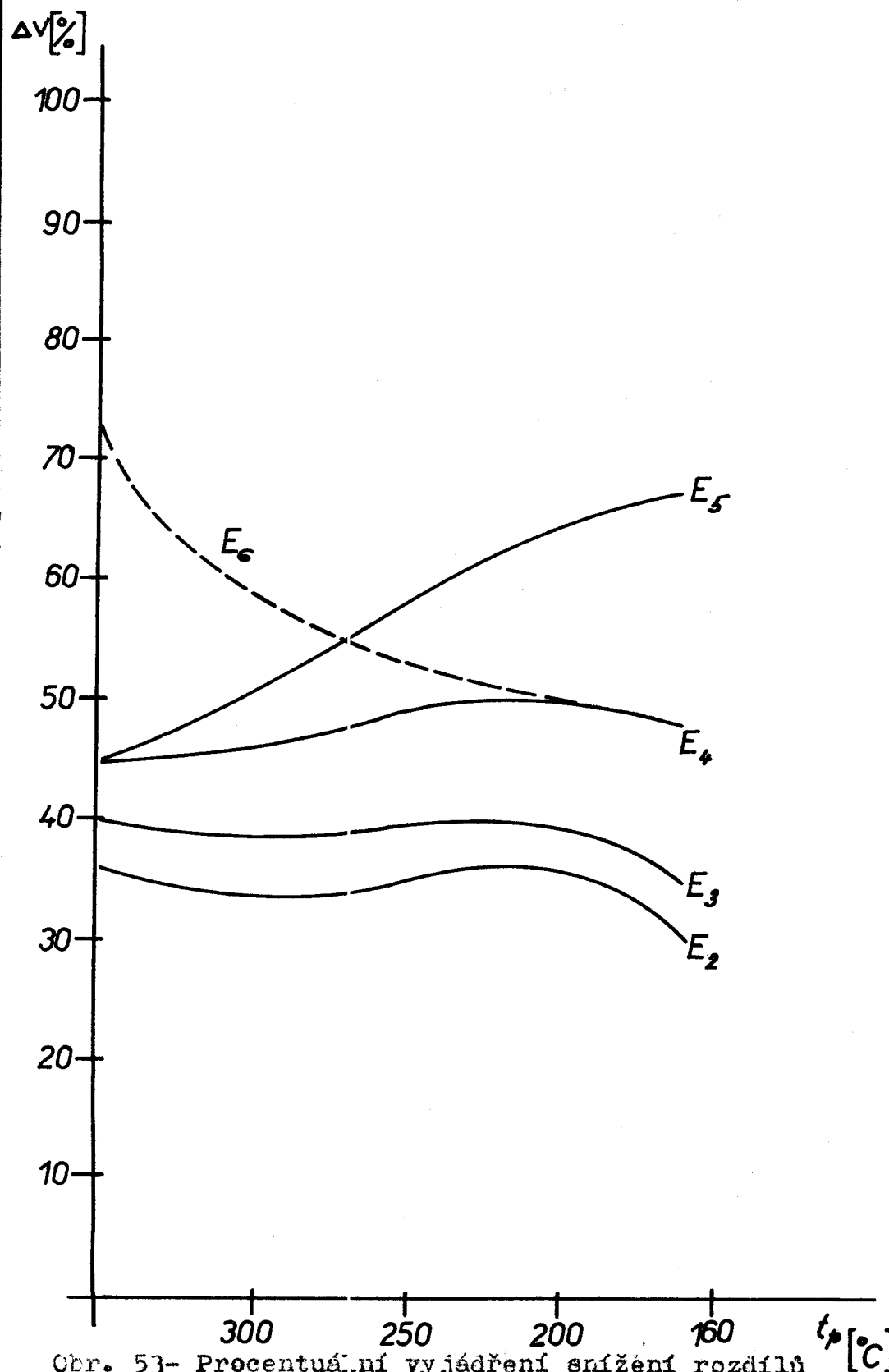


Obr. 51-procentuální vyjádření snížení

rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků řady "B" v závislosti na teplotě povrchu vzorků, v oblasti martensitické přeměny, při kalení se změnou intenzity rychlosti proudění kalící lázně, vzhledem ke kalení bez změny intenzity rychlosti proudění kalící lázně.



Obr. 52-procentuální vyjádření snížení rozdílu teplot mezi jádrem a povrchem vzorků řady "D" v závislosti na teplotě povrchu vzorků, v oblasti martensitické přeměny, při kalení se změnou intenzity rychlosti proudění kalící lázně, vzhledem ke kalení beze změny intenzity rychlosti proudění kalící lázně.



Obr. 53- Procentuální vyjádření snížení rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků řady "E" v závislosti na teplotě povrchu vzorků, v oblasti martensitické přeměny, při kalení se změnou intenzity rychlosti proudění kalicí lázně, vzhledem ke kalení beze změny intenzity rychlosti proudění kalicí lázně.

týkajících se vzorků, kalených do lázně o teplotě 60°C se změnou její rychlosti.

Průběhy přivedené na obr.51,52 a 53 procentuálně vyjadřují, (týká se oblasti martensitické přeměny), v jaké míře došlo k poklesu rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků v závislosti na povrchové teplotě. Tyto průběhy jsou provedeny pro vzorky kalené se změnou rychlosti lázně a jsou vztaženy ke vzorkům kaleným bez této změny, jejichž hodnoty jsou považovány za 100%.

Z těchto průběhů lze formulovat tyto závěry:

1/ Při vzájemném porovnání průběhů se nejpříznivěji jeví průběhy pro vzorky kalené do lázně:

a/ o teplotě 60°C při změně její rychlosti po $\tau'_x = 3$ eventuálně 6 a 10s,

b/ o teplotě 125°C .

Méně příznivě se jeví průběhy pro vzorky kalené do lázně o teplotě 60°C , při změně její rychlosti po $\tau'_x = 15$ eventuálně 20s. Vzájemným porovnáním jednotlivých řad vzorků, jeví se nejpříznivěji řada "D" (materiál 15241 o průměru vzorků 50mm), z čehož plyne; že kalení těles větších průměrů je při použití této metody výhodnější oproti tělesům průměrů menších.

2/ Při posouzení všech průběhů jako celku lze říci, že se použitím kalení se změnou rychlosti lázně vůči kalení bez této změny dosáhne podstatného procentuálního snížení rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků.

Tento fakt potvrzuje závěry učiněné pro průběhy rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorku (obr. 48, 49 a 50).

Z průběhů uvedených na obrázcích této kapitoly, lze formulovat velmi důležitý společný závěr:

Ukazuje se, že při kalení se změnou rychlosti lázně dochází k podstatnému snížení rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků. Lze očekávat, že v důsledku toho poklesnou vnitřní pnutí způsobená rozdíly teplot mezi uvedenými místy kaleného předmětu. [4] [5].

6.2. Metalografické vyhodnocení.

6.2.1. Porovnání průběhů tvrdostí vzorků v jejich průřezu (obr. 24+ 39)

Průběhy tvrdostí jsou dle druhu materiálu charakteristické.

Z průběhů přivedených na obr. 24+ 33 pro vzorky řady "B" a "D" (materiál 15241 o průměrech vzorků 30 a 50 mm) lze formulovat tyto závěry:

1/ Při kalení se změnou rychlosti lázně dochází k poklesu tvrdostí. Pro případ kalení do lázně o teplotě 60°C poklesne nejvíce tvrdost při změně rychlosti lázně při $\tau_x = 6\text{ s}$. Při změnách rychlosti lázně po delších časech se poněkud tvrdosti zvyšují, avšak zůstávají výrazně pod hodnotou tvrdostí daných průběhem kalení bez změny rychlosti lázně.

2/ Tvrdosti vzorků kalených do lázně o teplotě 125°C vykazují ve svém průběhu hodnoty tvrdostí ještě nižší, než při kalení se změnou rychlosti lázně při $\tau_x = 6\text{ s}$.

Z průběhů přivedených na obr. 34 + 39 pro vzorky "E" (materiál 14223 o průměru vzorků 30mm) lze formulovat tento závěr:

Režimy kalení jsou ovlivněny jen oblastí cementované vrstvy, kdežto tvrdosti jader vzorků jsou na nich nezávislé a tudíž nevykazují rozdíly.

O posunutí hodnot tvrdostí v oblasti cementační vrstvy, v závislosti na režimech kalení, platí tytéž závěry, jako v případě pro vzorky řady "B" a "D".

6.2.2. Porovnání povrchových nebo maximálních a středních hodnot tvrdostí vzorků.

Průběhy týkající se povrchových nebo maximálních a středních tvrdostí vzorků, jsou přivedeny na obr. 54, 55 a 56.

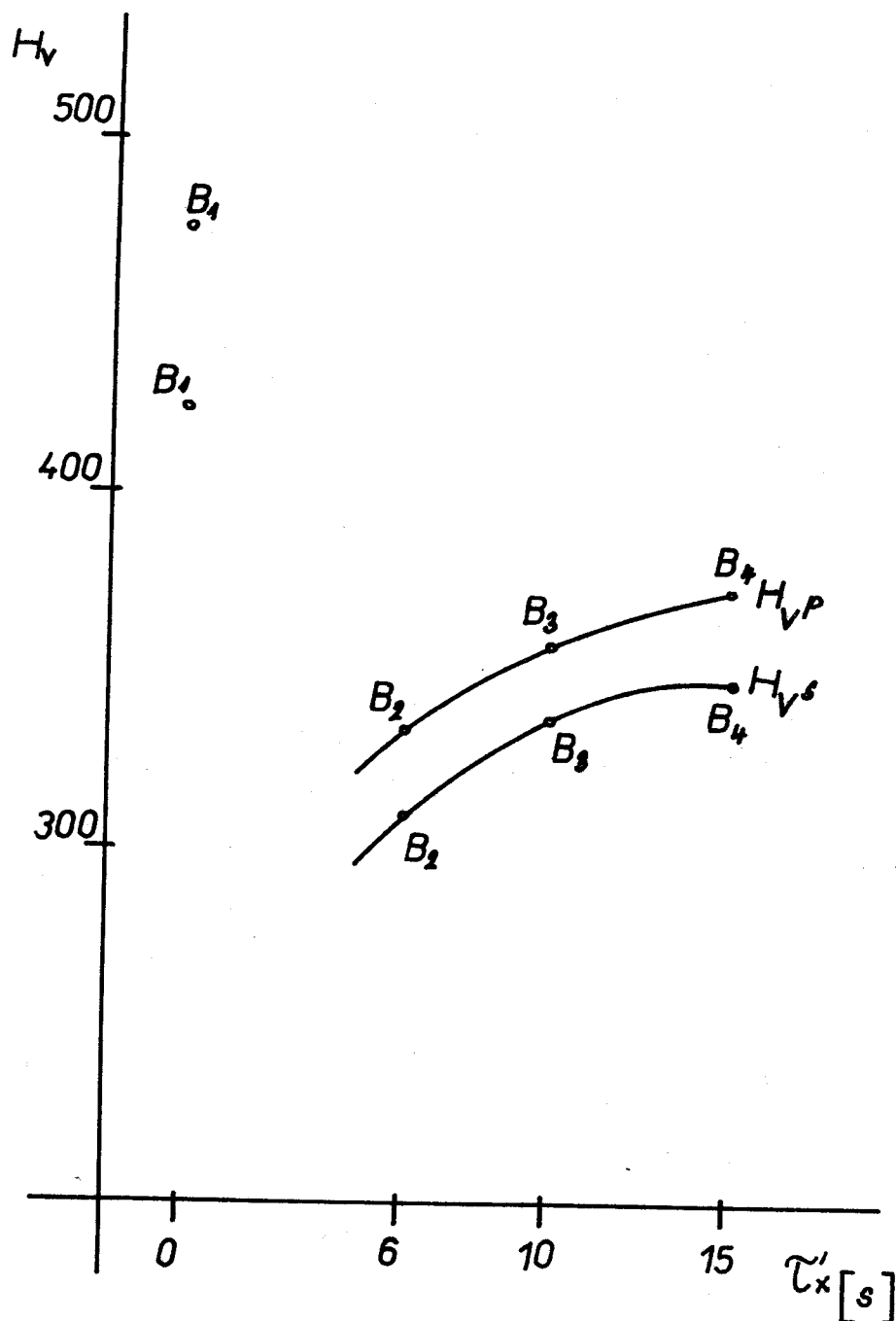
Z těchto průběhů lze formulovat tyto závěry:

1/ Ukazuje se, že čím je kratší doba změny rychlosti lázně, tím je získaná tvrdost nižší. S rostoucí dobou roste i tvrdost.

2/ tyto průběhy svoji podstatou dotvrzují závěry učiněné v kapitole 6.2.1.

3/ Ukazuje se zde souvislost s průběhy ochlazování a potvrzují se závěry učiněné v předešlých kapitolách, v souvislosti s následky kalení při změnách rychlosti lázně.

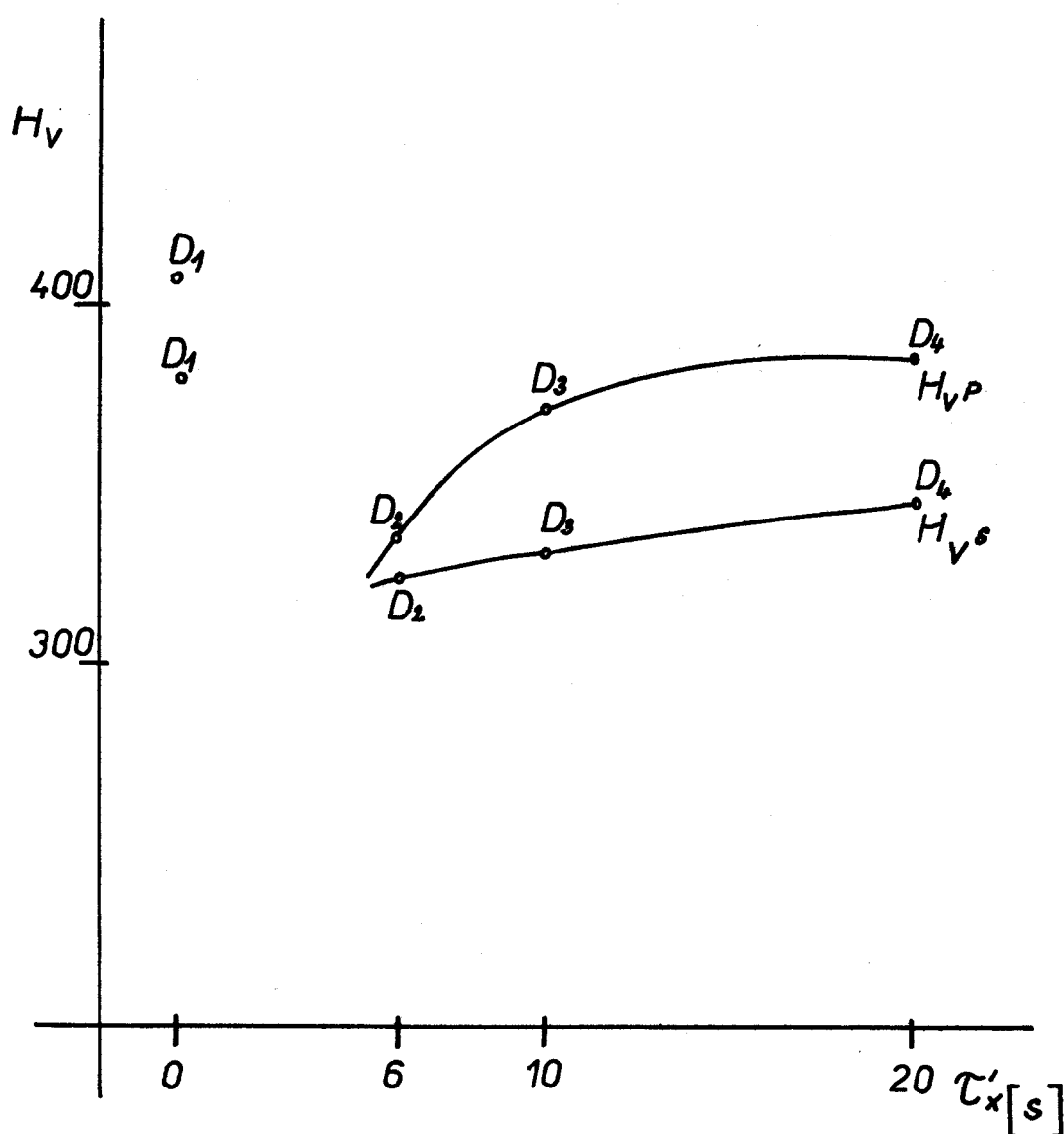
Poznámka: Průběh středních hodnot tvrdostí u vzorků řady "E" může být ovlivněn nepříznivě rozdílem v tloušťce cementační vrstvy.



Obr. 54- Závislost tvrdostí vzorku řady "B" na čase změny rychlosti proudění kalící lázně.

H_{vp} -tvrdost povrchu

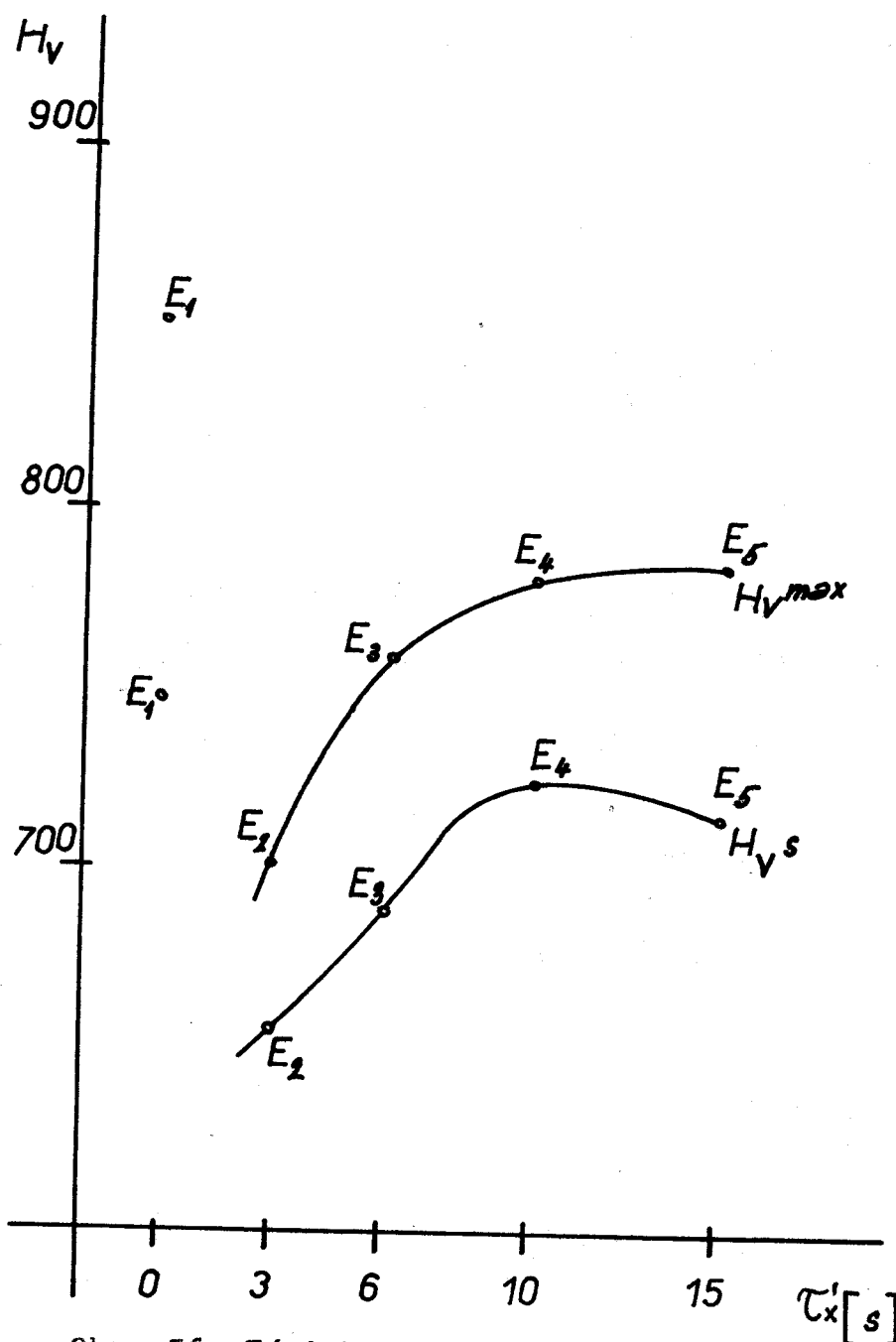
H_{vs} -tvrdost střední



Obr.55- Závislost tvrdostí vzorku řady "D" na čase změny rychlosti proudění kalící lázně.

H_{vp} - tvrdost povrchu

H_{vs} - tvrdost střední



Obr. 56- Závislost tvrdosti vzorků řady "E" na čase změny rychlosti proudění kalící lázně

H_{vmax} - maximální tvrdost

H_{vs} - střední tvrdost cementované vrstvy, přičemž se považuje její tloušťka do hodnoty $500H_v$.

6.2.3. Porovnání struktury kalených vzorků.

Závěry, které jsou provedeny pro výsledky vyhodnocení průběhů ochlazování, rychlosti ochlazování, rozdílů teplot mezi jádrem a povrchem vzorků a tvrdostí, potvrzují výsledky metalografických vyhodnocení. Jsou provedena pro výběr vzorků, jež byly považovány za charakteristické. Metalografická vyhodnocení jsou provedena pro povrchové oblasti (místo A) a pro (místa B)-obr.7-vzorku M-N.

Fotografie struktur z výše uvedených míst vzorků představují obr.I.+ XII.

Vzorek B₁-místo A: obr.I.-struktura je převážně tvořena směsí bainitu a martensitu. Jemně v malém množství je též vyloučen ferit.

Vzorek B₁- místo B: obr.II.- struktura je tvořena směsí bainitu a feritu. Podíl martensitu je vyloučen jemně a ve velmi malém množství.

Vzorek B₂- místo A: obr.III.- struktura je tvořena téměř výhradně dvěma hlavními složkami a to bainitem a martensitem. Obě tyto složky jsou zastoupeny asi ve stejném poměru. Ve stopovém množství je vyloučen ferit.

Vzorek B₂- místo B: obr.IV.- základní složkou struktury je bainit. Vedle něho, je jako samostatná složka struktury, vyloučen v menším množství ferit.

Vzorek D₁- místo A: obr.V.- struktura je tvořena ve větší míře bainitem a tvoří tak její základní hmotu. Poněkud menším množství je vyloučen martensit.

VŠST Liberec	- 87 -	Katedra KTE
Fakulta strojní		DP ST-674/68

Struktura též obsahuje jako samostatnou složku v menší míře i ferit.

Vzorek D₁- místo B: obr. II.-základní hmotu struktury tvoří směs bainitu a feritu. Samostatně, ale jen v menším množství je vyloučen martensit.

Vzorek D₂- místo A: obr. III.-struktura je tvořena téměř výhradně dvěma hlavními složkami a to bainitem a martensitem. Obě tyto složky jsou zastoupeny asi ve stejném poměru. Ve stopovém množství je vyloučen ferit.

Vzorek D₂- místo B: obr. VI.-základní složkou struktury je bainit. Vedle něho je vyloučen i ferit ovšem v podstatně menším množství.

Vzorek E₁- místo A: obr. VII.- Do hloubky asi 0,9mm je struktura tvořena převážně martensitem, s malým množstvím bainitu. Dále do hloubky, je struktura tvořena jen martensitem.

obr. VIII.-k martensitu postupně přibývá, jako samostatné složky bainitu. Konečně se začíná objevovat, v jemných jehličkách, i ferit.

obr. IX.-ještě dále do hloubky je struktura tvořena přechodovými složkami s malým množstvím feritu ve formě jehlic.

Vzorek E₁- místo B: obr. IX.-struktura je tvořena převážně přechodovými složkami s malým množstvím feritu ve formě jehlic.

Vzorek E₂- místo A: obr. VIII.- strukturu tvoří směs martensitu s bainitem, kterého s rostoucí hloubkou přibývá. Objevuje se ve formě jemných jehli i ferit.

Vzorek E₂- místo B: obr. X.- strukturu tvoří bainit s poněkud větším množstvím feritu, než je tomu v povrchové oblasti tohoto vzorku. Ferit je vyloučen ve formě jehlic. Kromě toho obsahuje struktura i menší množství martensitu, který je vyloučen ve formě malých ostrůvků.

Vzorek E₃- místo A: obr. VIII.- struktura je tvořena martensitem, k němuž směrem od povrchu přebývá jako samostatné složky bainitu. Dále pak se začíná objevovat v jemných jehličkách i ferit.

obr. IX.- ještě dále do hloubky je struktura tvořena přechodovými složkami s malým množstvím feritu ve formě jehlic.

Vzorek E₃- místo B: obr. XI.- strukturu tvoří převážně bainit. Další složkou struktury je větší množství feritu vyloučeného ve formě jehlic. Martensitu je velmi malé množství a tvoří malé ostrůvky.

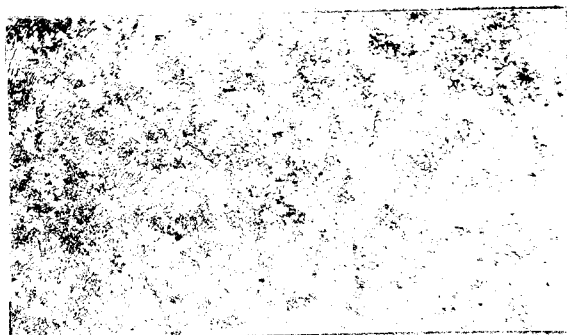
Vzorek E₄- místo A: obr. VII.- do hloubky asi 0,7 je struktura tvořena převážně martensitem s malým množstvím bainitu. Dále do hloubky je struktura tvořena jen martensitem.

obr. VIII.- k martensitu postupně přibývá, s rostoucí vzdáleností od povrchu, jako samostatná složka bainit.

Konečně se začíná objevovat v jemných jehličkách i ferit.

Vzorek E₄- místo B: obr. XII.- strukturu tvoří přechodová směs bainitu, feritu a martensitu. Základní hmotu struktury tvoří bainit. Ferit, jako samostatná složka je vyloučen ve formě jemných jehliček. Martensit je vyloučen v podobě malých ostrůvků.

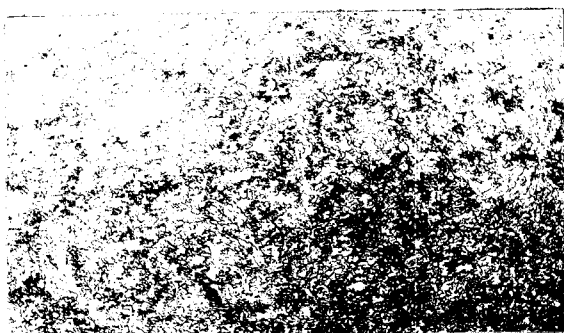
Pro přibližnou kontrolu závěrů při metalografickém vyhodnocení jsou přiloženy průsvitky IRA diagramů, odpovídajících použitým materiálům. Vzhledem k tomu, že při kalení uvedeným způsobem jde o kontinuální ochlazování, bylo by na místě použití ARA diagramu. ARA diagramy použitých materiálů nebyly v dostupné literatuře k dispozici [6].



obr. I.

3%Nital

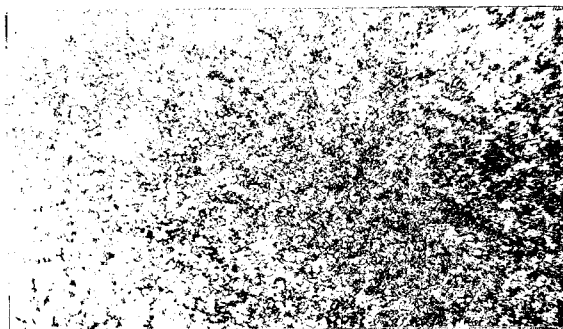
250x



obr. II.

3%Nital

250x



obr. III.

3%Nital

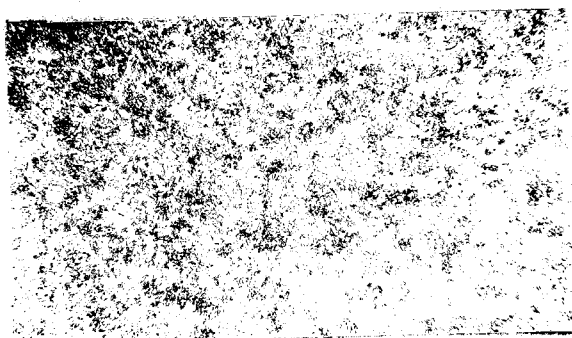
250x



obr. IV.

3%Nital

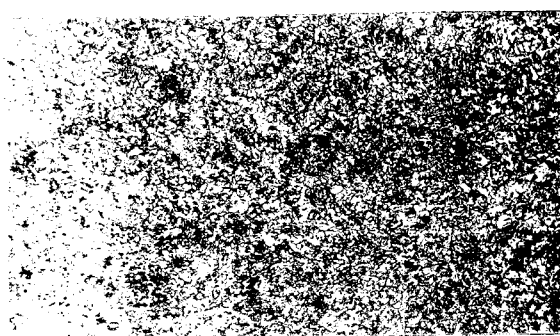
250x



obr. V.

3% Nital

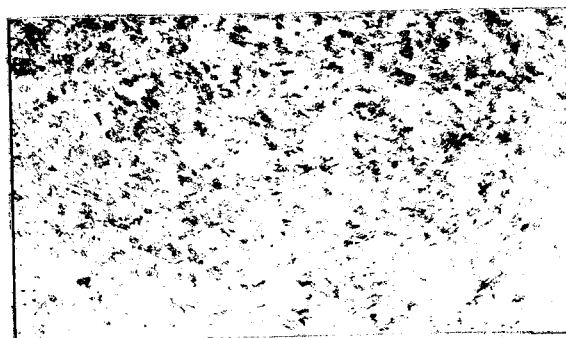
250x



obr. VI.

3% Nital

250x



obr. VII.

3% Nital

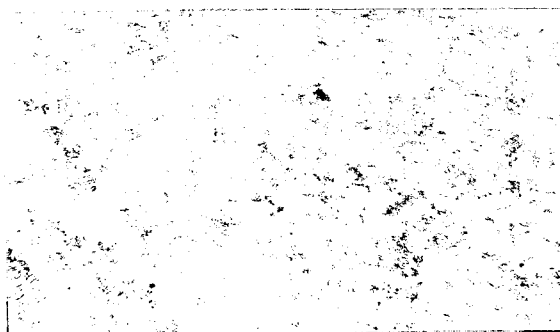
250x



obr. VIII.

3% Nital

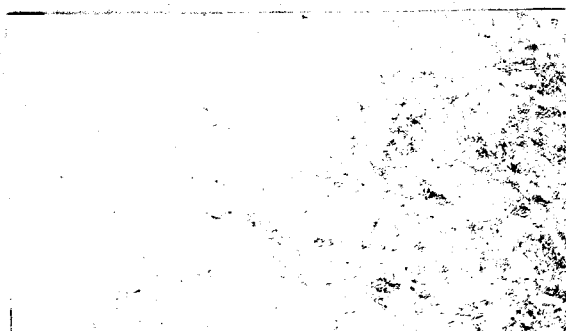
250x



obr. IX.

3% Nital

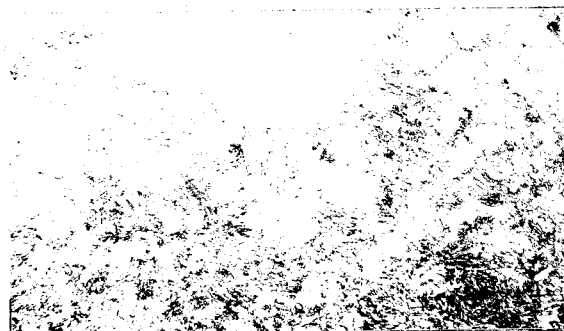
250x



obr. X.

3% Nital

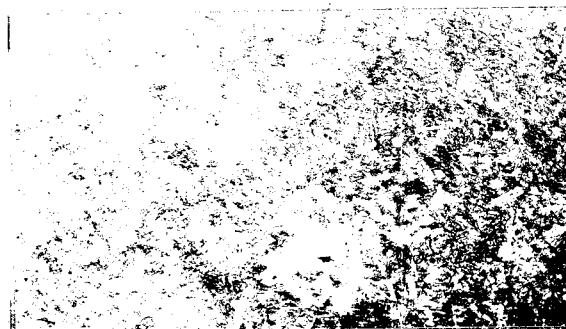
250x



obr. XI.

3% Nital

250x



obr. XII.

3% Nital

250x

Závěr.

Tato diplomová práce se zabývala možností použití metody kalení do olejové lázně s nuceným oběhem, při kterém bylo použito změny intensity rychlosti jejího proudění.

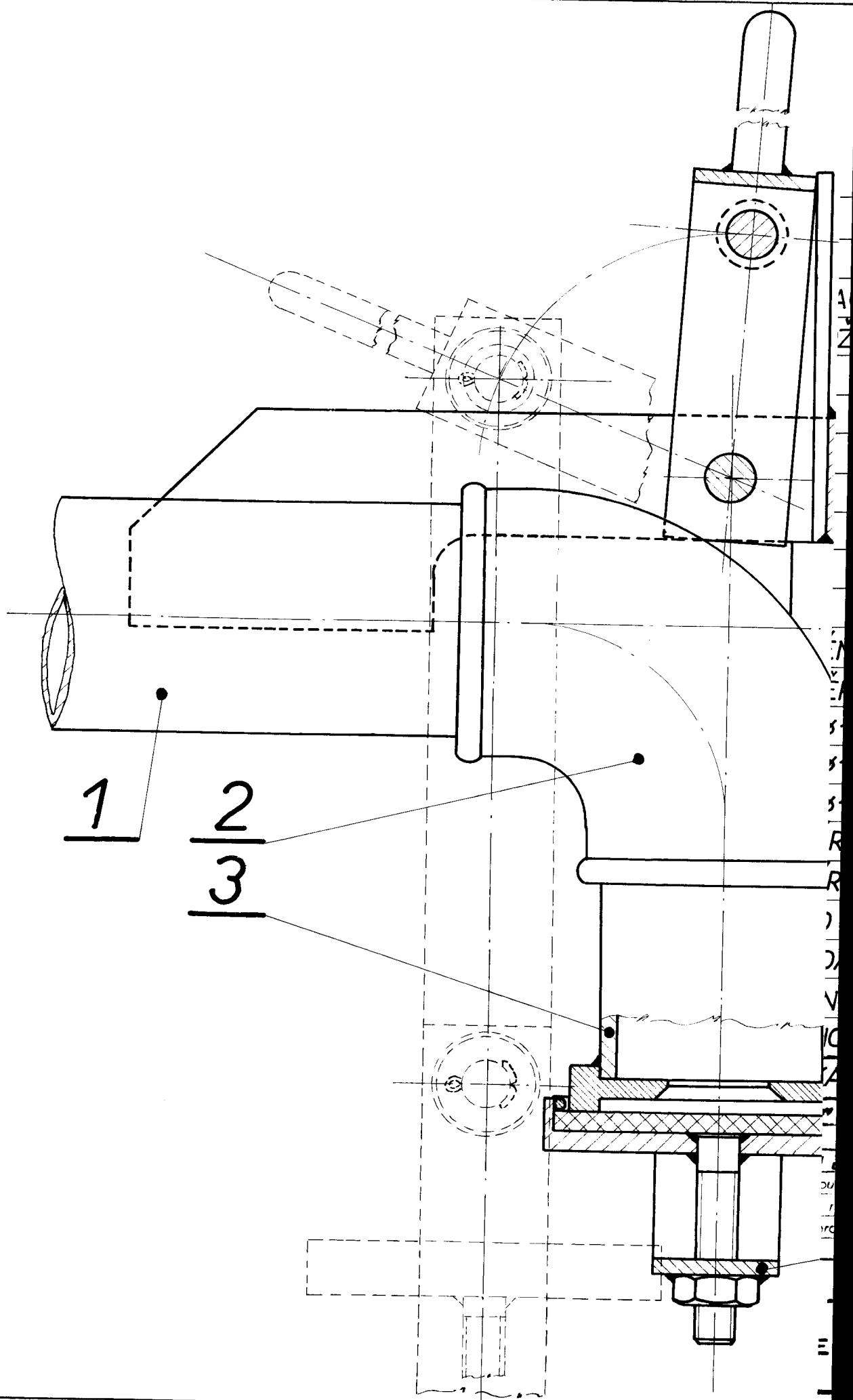
Protože zkoušky konané s ohledem na možnosti provozního zařízení [2] ukázaly dobré výsledky, lze říci, že sledovaná metoda se dá aplikovat v praxi .

V Liberci, dne 17. června 1968.

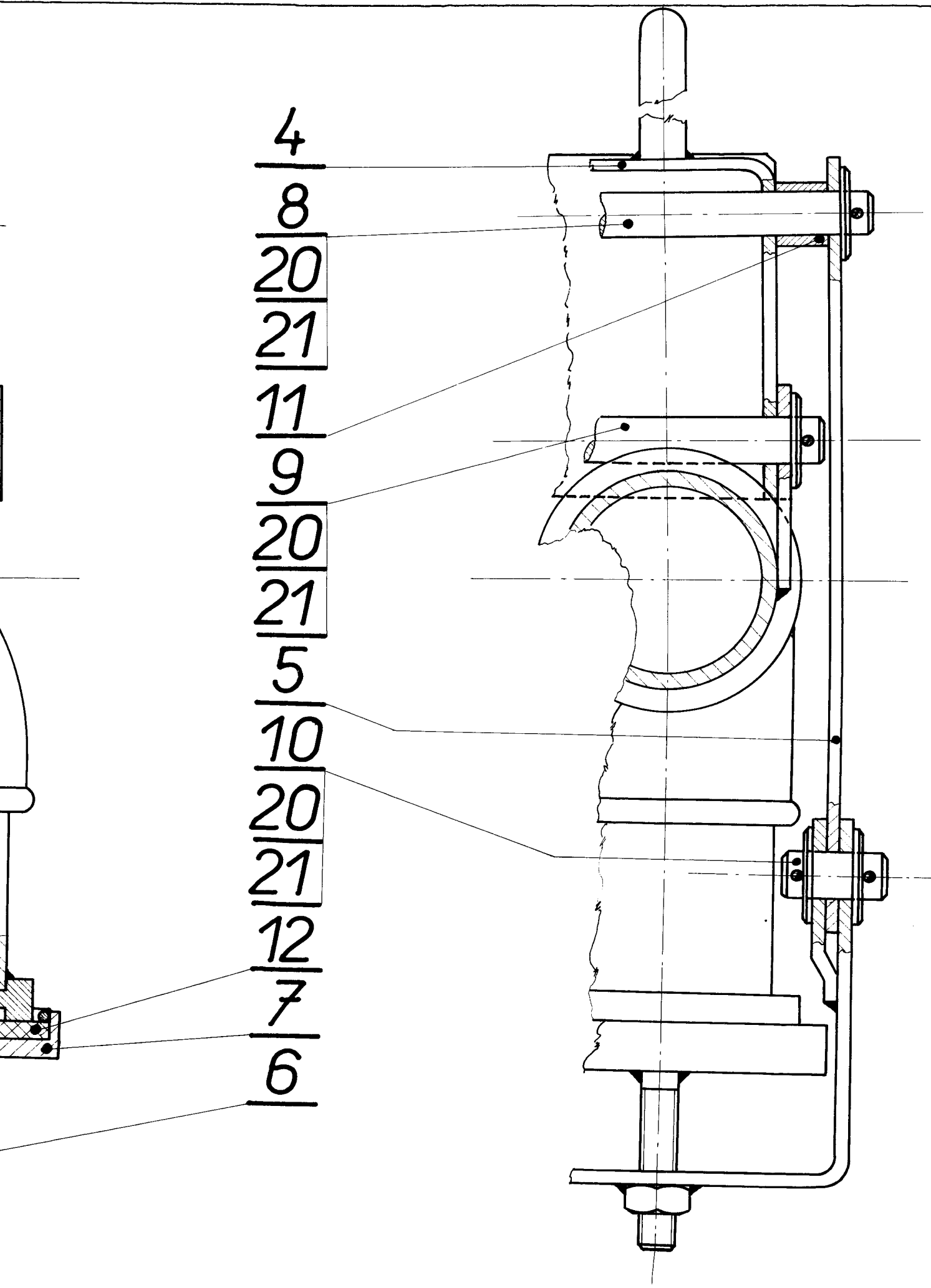
Škvrta Jiří

Literatura.

- [1] HYNČICA V.: Kandidátské disertační práce část I.
VŠST Liberec, Ústav termomechaniky a
technického měření; 1966; 123s.
- [2] HYNČICA V.: Návrh zařízení pro kalení do horkého
oleje průtočným principem.
Zpráva č.62-102, VŠST Liberec,
Ústav termomechaniky a technického mě-
ření; 1962; 23s.
- [3] Benzina n.p. Praha: Katalog pohonných látek, maziv
a jiných výrobků z ropy.
1961; 94s.
- [4] JAREŠ V.: Metalografie ocelí,
ČSAV, Praha; 1960; 275s.
- [5] PÍŠEK F.: Nauka o materiálu I.
Praha, ČSAV; 1957; 754s.
- [6] KRAUS V.: Atlas diagramů pro zušlechťování kon-
strukčních ocelí.
SNTL, Praha 1964, 171 s.



4
8
20
21
11
9
20
21
5
10
20
21
12
7
6



									23
									24
12	ZÁVLAČKA	3x15				ČSN 021781			21
12	PODLOŽKA	10,5				ČSN 021701			20
									19
									18
									17
									16
									15
									14
									13
1	TĚSNĚNÍ	Ø66-4				PRYŽ			12
2	ROZPĚRNÝ KROUŽEK	Ø15x2,5-12				ČSN 425715			11
2	ČEP	Ø10-24				ČSN 427610			10
1	ČEP	Ø10-68				ČSN 427610			9
1	ČEP	Ø10-90				ČSN 427610			8
1	UZAVÍRACÍ TALÍŘ								7
1	UZAVÍRACÍ VIDLICE								6
2	TÁHLO	25x3-170				ČSN 425340			5
1	OVLÁDACÍ VIDLICE								4
1	VÝMĚNNÝ NÁSTAVEC S CLONOU								3
1	KOLENO J _s	1 1/2"				ČSN 138205			2
1	TRUBKA J _s	1 1/2" S DRŽÁKEM							1

Počet kusů	Název - Rozměr	Polotovár	Mat. konečný	Mat. výchozí	Třída Odp.	Č. váha	Hr. váha	Číslo výkresu	Pos.
------------	----------------	-----------	--------------	--------------	------------	---------	----------	---------------	------

Poznámka

Celková č. váha kg

Měřítko	Kreslil	Státní příj.	Čís. sním.	Změna	Datum	Podpis	Index změny	x
1:1	Prozkoušel							x
	Norm. ref.							x
	Výp. projedná.	Schválil	Č. transp.					x
		Dne 1.6.1968						x

**VŠST
LIBEREC**

Typ
Název
UZÁVĚRKA A
POTRUBÍ PŘÍVODU OLEJE 9

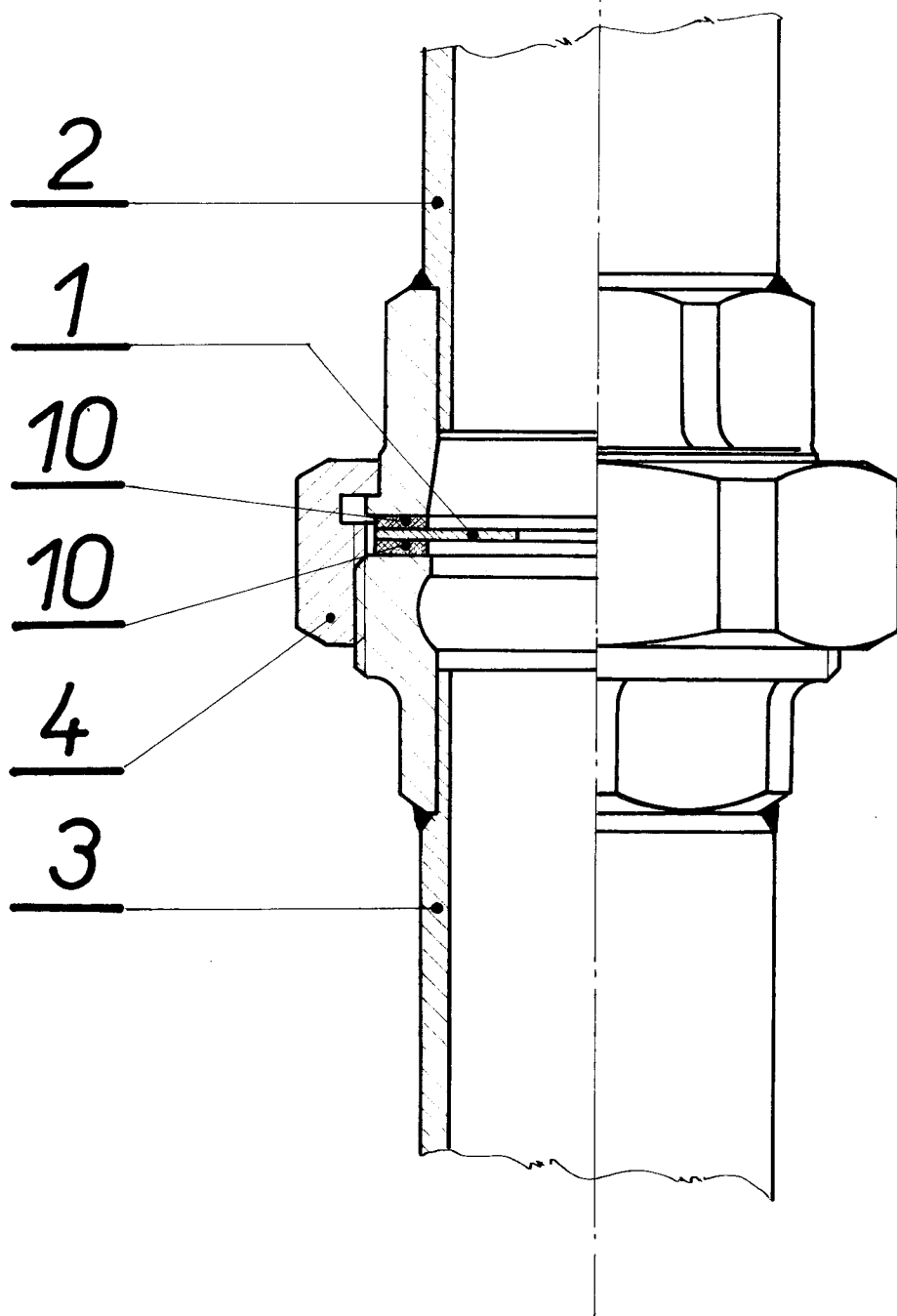
Starý výkres

Nový výkres

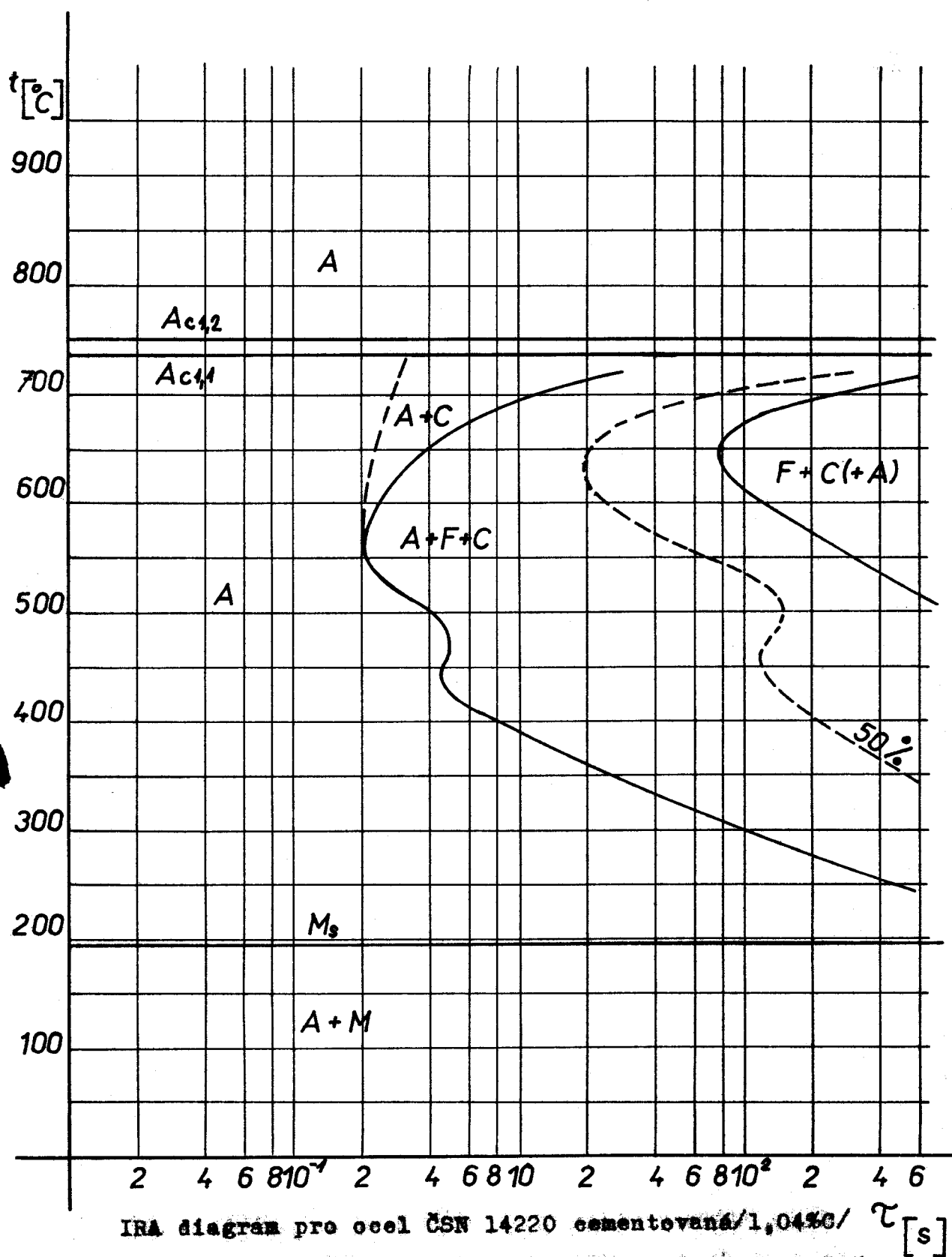
DP-ST 674/68.1

Počet listů 2

Ust 1

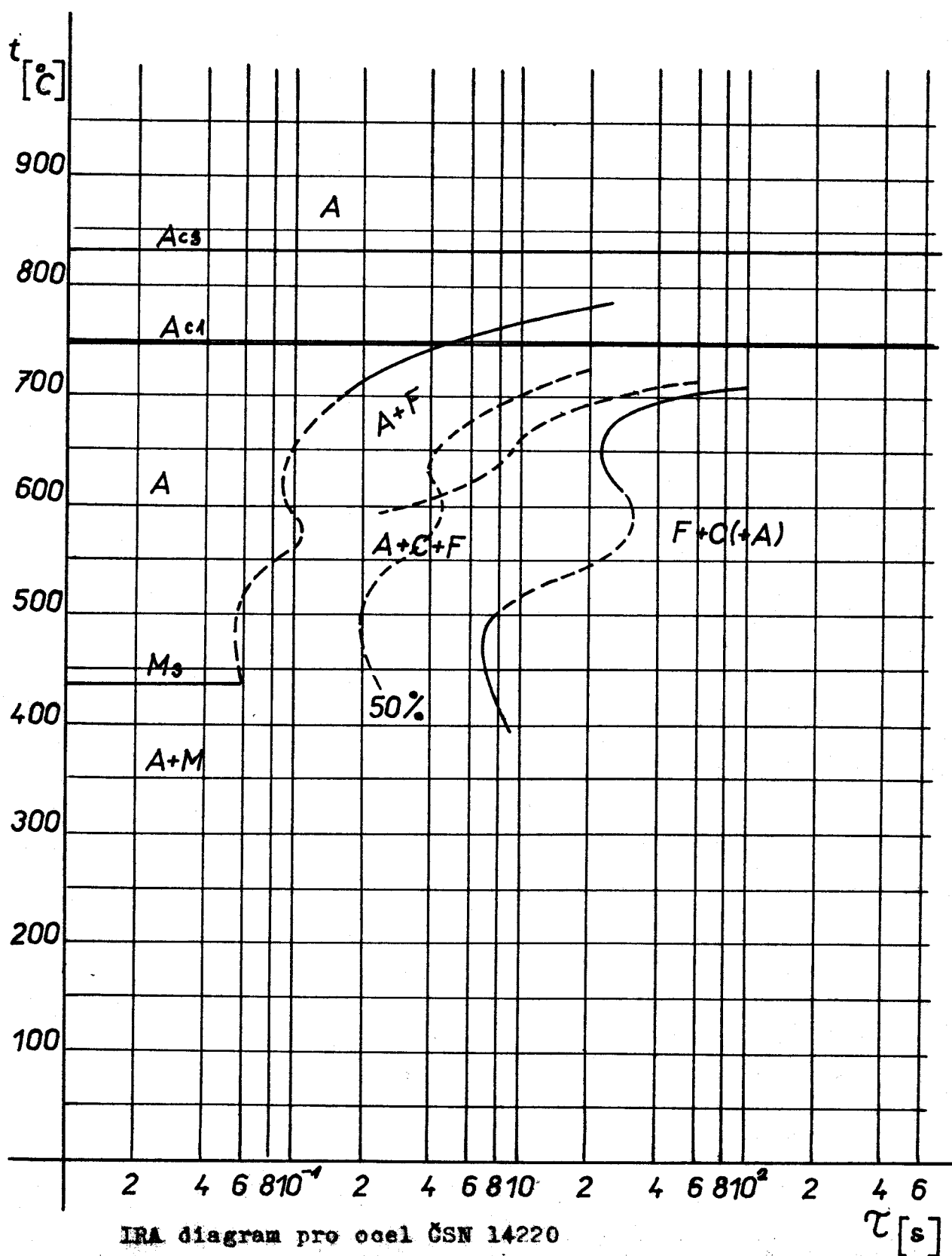


0 TĚSNIČÍ KROUŽEK 52x60						ČSN 029310.6		10
								9
								8
								7
								6
MATICE PŘESUVNÁ						ČSN 138280		5
NÁTRUBEK PŘÍMÝ S PŘÍVODNÍ TRUBKOU						ČSN 138270		4
NÁTRUBEK OPĚRNÝ S PŘÍVODNÍ TRUBKOU						ČSN 138272		3
CLONKA tl.1,5		11370						2
Název - Rozměr	Položka	Mat. konečný	Mat. výchozí	Hl.váha	Číslo výkresu			1
Změna			Celková č. váha kg					
Kreslí	Přezkoušel	Norm. ref.	Výr. projedn.	Schválil	Dne	Čís. sním.	Čís. transp.	
				1.6.1968				
ŠST BEREC		UMÍSTĚNÍ CLONKY B		Starý výkres		Nový výkres		
				DP-ST 674 / 68.2		Počet listů 2		



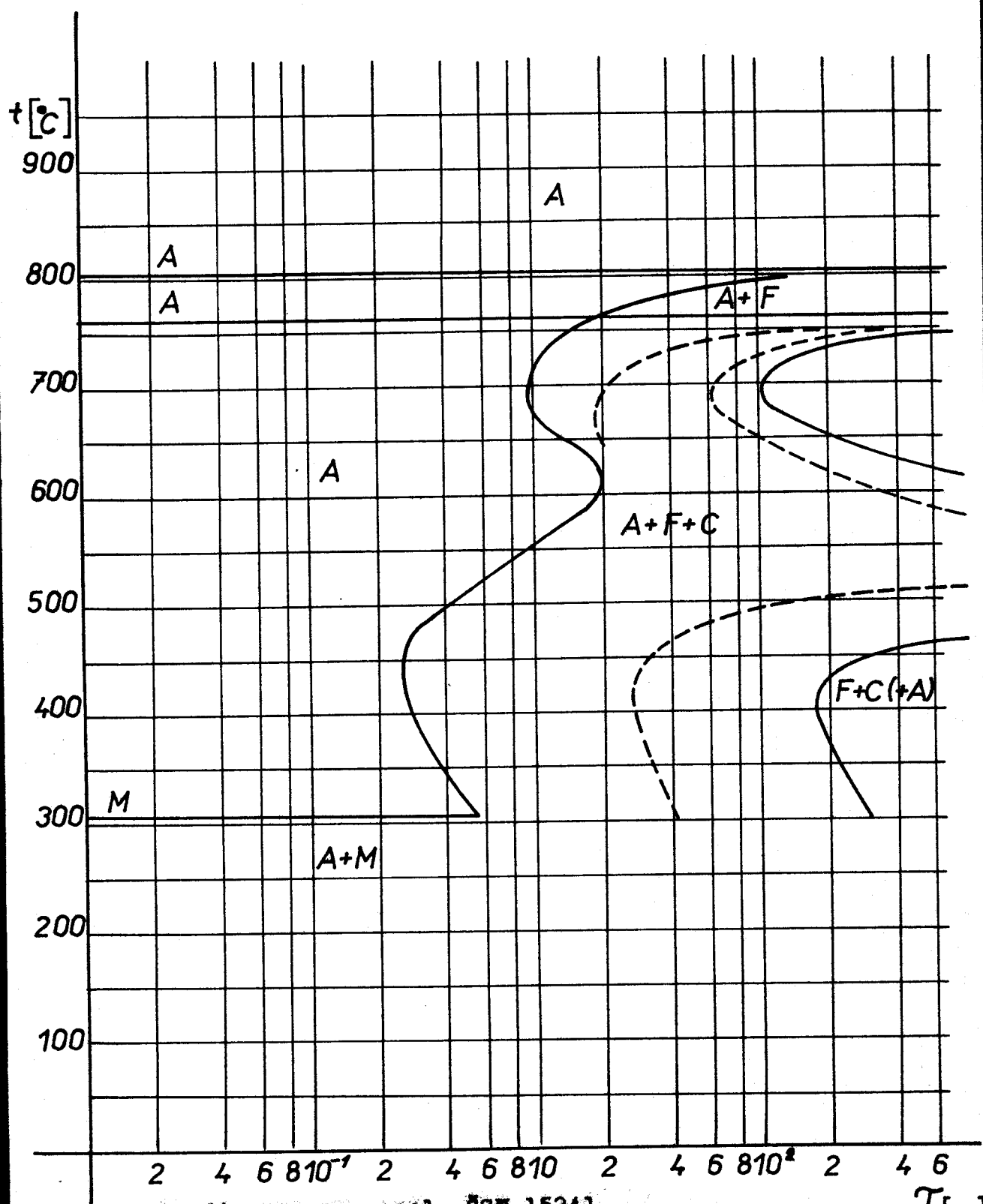
C-1,04%, Mn-1,14%, Si-0,27%, P-0,03%, S-0,043%, Cr-1,0%, Ni-0,12%,
V-0,05%

austenitisace: teplota=850°C, doba=15 min, velikost zrna -Ba32
teploty: $Ac_{1,2}=750\pm5^\circ\text{C}$, $Ac_{1,1}=735\pm5^\circ\text{C}$, $M_s=195\pm4^\circ\text{C}$



C-0,16%, Mn-1,14%, Si-0,27%, P-0,03%, S-0,043%, Cr-1,0%, Ni-0,12%, V-0,05%

austenitizace: teplota=850 $^{\circ}\text{C}$, doba=15 min, velikost zrna -7
 teploty: $Ac_3=830\pm 5^{\circ}\text{C}$, $Ac_1=747\pm 5^{\circ}\text{C}$, $M_s=435\pm 10^{\circ}\text{C}$



$C=0,4\%$, $Mn=0,62\%$, $Si=0,3\%$, $P=0,026\%$, $S=0,012\%$, $Cr=1,87\%$, $Ni=0,22\%$
 $V=0,33\%$,

austenitizace: $t_{\text{teplota}}=870^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{dobu}}=15\text{min}$, velikost zrna - 8
 teploty: $A_{c3}=802\pm 8^{\circ}\text{C}$, $A_{c1}=758\pm 5^{\circ}\text{C}$, $M_s=315\pm 8^{\circ}\text{C}$