

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro s. S L A V Í K A Pavlaobor strojírenská technologie

Protože jste splnil... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Stanovení tepelně fyzikálních vlastností formovacích a jádrových směsí používaných ve slévárně LIAZ Liberec

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s výrobou odlitků ze šedé litiny ve slévárně LIAZ Liberec, zejména s výrobou jader a přípravou formovacích a jádrových směsí.
2. Ve spolupráci s vedoucím práce a konsultanty navrhnete vhodný tvar zkušební formy a zkušebního jádra pro možnost měření tepelně fyzikálních vlastností formovacích a zejména jádrových směsí.
3. V provozních podmínkách slévárny LIAZ Liberec proveďte měření teplotního pole zkušebními forem a jader při odlévání šedé litiny.
4. Výsledky měření zpracujte jednak pomocí již dříve vypracovaného programu pro samočinný počítač MINSK 22, případně tuto metodu dále upravte a propracujte.
5. Zhodnoťte sledované formovací a jádrové směsi z hlediska jejich tepelné odolnosti a vlivu na průběh tuhnutí a chladnutí odlitků. Pokuste se navrhnout optimální směsi pro konkrétní podmínky slévárny LIAZ.

Autorské právo se řídí směrnicí MŠK z r. 1962, zejména z. j. 31 727/62-III/2 ze dne 12. července 1962. Věstník MŠK XVII, sešit 24 ze dne 18. 10. 1962 a 19. autoritativní záznam č. 115/53 ze dne 17. 10. 1962.

Rozsah grafických laboratorních prací: tabulky , grafy, schemata

Rozsah průvodní zprávy: 50 - 60 stran textu

Seznam odborné literatury:

Kolektiv : Problemy teploobměna litje-

Sbornik pod ved. A.I.Vejnika

Vejnik A.I.: Približennyj zasčot procesov teploprovodnosti

Vejnik A.I.: Těorija zatvėrděvaniya otlivki

Hak A.: Diplomová práce

Hejdánek V. : Diplomová práce

Články a časopisů

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Holubec

Konsultanti:

Ing. Pavel Simon

Ing. Jaroslav Exner CSc, Liaz Liberec

Datum zahájení diplomové práce: 15. X. 1973

Datum odevzdání diplomové práce: 31. V. 1974

L. S.

Doc. Ing. Václav Chaloupecký CSc

Vedoucí katedry

Doc. Ing. Oldřich Krejčíř CSc

Děkan

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	

Rámcové zadání:

Stanovení tepelně-fyzikálních vlastností
formovacích a jadrových směsí.

Jméno: Pavel S l a v í k

Vedoucí DP: Ing. Zdeněk H o l u b e c

Práce obsahuje:

Práce se zabývá stanovením tepelně-fyzikálních vlastností
jadrových a formovacích směsí, používaných ve slévárně
n.p. LIAZ Liberec. K tomuto používá stávajícího programu
P-0129 pro strojně-početní zpracování na samočinném počítači
MINSK 22.

Dále obsahuje novou metodiku pro zkoušení jadrových směsí,
která zachovává podmínky, kterým jsou jadrové směsi vystaveny.

Místo vypracování a obhajoby DP:

Katedra technologie a nauky o materiálu VŠST Liberec
za spolupráce s n.p. LIAZ Liberec.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-1-

C B S A H.

	Přehled základních značek	2
1.	ÚVOD	3
2.	TEPELNĚ-FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI FORMOVACÍCH SMĚSÍ	4
2.1	Koeficient tepelné akumulace formy	4
2.2	Konstanta tuhnutí odlitku	5
2.3	Koeficient tepelné vodivosti	5
2.4	Koeficient přestupu tepla	5
3.	VLASTNÍ EXPERIMENTÁLNÍ METODIKA	6
3.1	Návrh zkušebních forem	6
3.2	Metodika měření teplotního pole forem	13
3.2.1	Odlitek tvaru desky	13
3.2.2	Odlitek tvaru válce	13
3.3	Metodika měření teplotního pole jader	20
3.4	Přehled provedených měření forem	23
3.4.1	Vstupní data pro strojně-početní zpracování	27
3.4.2	Schema výpočtu pro odlitek tvaru desky	30
3.4.3	Schema výpočtu pro odlitek tvaru válce	32
3.4.4	Schema výpočtu pro jádra	35
3.5	Přehled provedených experimentů měření jader	37
3.5.1	Přehled naměřených hodnot na jádrech	39
3.5.2	Náběhy teplot v jádrech	41
3.5.3	Průběhy teplot v jádrech pro různé okamžiky tuhnutí a chlazení odlitku	48
4.	VÝPOČTENÉ VÝSLEDKY A HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ...	55
4.1	Výsledky výpočtu na samočinném počítači MINSK 22 ...	55
4.2	Hodnocení výsledků výpočtu na samočinném počítači ..	57
4.3	Výsledky výpočtu jader	58
4.4	Hodnocení výpočtu jader	58
4.5	Hodnocení náběhů teplot v jádrech	59
4.6	Hodnocení zvolené metodiky	60
5.	ZÁVĚR	61
6.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-2-

Přehled základních značek.

a_F - součinitel teplotní vodivosti formy $[m^2s^{-1}]$
 b_F - koeficient teplotní akumulace formy $[Ws^{\frac{1}{2}}m^{-2}deg^{-1}]$
 c_F - měrné teplo formy $[kJkg^{-1}deg^{-1}]$
 F - plocha rozhraní odlitek-forma $[m^2]$
 G_{od} - hmotnost odlitku $[kg]$
 K - konstanta tuhnutí odlitku pro období od počátku
lití do okamžiku ztuhnutí odlitku $[ms^{-\frac{1}{2}}]$
 $L_{celk.}$ - celkové efektivní latentní teplo krystalizační $[kJkg^{-1}]$
 n - stupeň paraboly
 Q_T - množství tepla odevzdané ztuhnutím $[kJ]$
 R - poměrná tloušťka odlitku $[m]$
 t_s - teplota solidu $[^{\circ}C]$
 t_L - teplota likvidu $[^{\circ}C]$
 t_F - teplota formy $[^{\circ}C]$
 X_F - vzdálenost tepelně neovlivněného místa $[m]$
 α - koeficient přestupu tepla $[m^2s^{-1}]$
 λ_F - součinitel tepelné vodivosti formy $[Wm^{-1}deg^{-1}]$
 $\mu_{př.}$ - opravný koeficient na přehřátí
 $\mu_{int.}$ - opravný koeficient na interval tuhnutí
 $\mu_{tv.}$ - opravný koeficient na tvar
 ρ_F - měrná hmotnost formy $[kgm^{-3}]$
 ρ_M'' - měrná hmotnost kovu v roztaveném stavu $[kgm^{-3}]$

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/71	
Fakulta strojní		KTM	-3-

1. Ú V O D.

Rychlost tuhnutí a chladnutí odlitků ve formě je ovlivněna materiálem použité formy nebo jader. Dále je rychlost tuhnutí ovlivněna materiálem odlitků, jejich tloušťkou stěn a tvarem. Intenzita, s jakou forma pohlcuje teplo z odlitků, se může značně lišit. U pískových forem je možno počítat s dosti širokým rozmezím tepelně-akumulačních vlastností v návaznosti na použité ostřívo, pojivo a další přísady. Výhledově lze počítat s účelovým použitím formovacích materiálů rozdílné tepelné akumulace v tom směru, aby pevnost a obrobitelnost v odlitcích byla rovnoměrnější ve všech místech odlitku. K takovým zásahům je potřebná dobrá znalost akumulačních vlastností různých formovacích a jádrových směsí.

Účelem práce bylo:

1. Aplikovat a prakticky ověřit metodiku měření tepelně-fyzikálních vlastností, vypracovanou původně pro keramické skořepinové formy, také pro formovací směsi používané pro šedou litinu.
2. Získat podklady o charakteru teplotního pole forem odlitků, tvaru desky a válce pro jednotlivé formovací a jádrové směsi, používané ve slévárně LIAZ Liberec pro odlévání členitých automobilových odlitků.
3. Navrhnout tvary zkušebních odlitků, respektující podmínky, kterým jsou vystavena jádra a zároveň se pokusit o vypracování metodiky určení množství tepla, které přejde z odlitku do jádra.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-4-

2. TEPELNĚ-FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI FORMOVACÍCH SMĚSÍ.

2.1 Koeficient tepelné akumulace formy.

Tepelně fyzikální vlastnosti formy nejlépe vyjadřuje koeficient tepelné akumulace formy b_F , který udává množství tepla připadající na plošnou jednotku povrchu za jednotku času při rozdílu teplot rovném 1°C . Je dán vztahem

$$b_F = \sqrt{c_F \lambda_F \rho_F} \quad [\text{Ws}^{\frac{1}{2}} \text{m}^{-2} \text{deg}^{-1}] \quad (1)$$

Určení tohoto koeficientu pro konkrétní formu je záležitostí číselně složitou. V praxi jde téměř vždy o nestacionární přenos tepla, t.j. za podmínek, kdy se teplotní pole odlitku i formy s časem mění. Všechny základní tepelně-fyzikální vlastnosti / c_F ; λ_F ; ρ_F / jsou funkcí teploty. V případě, že by tyto funkční závislosti na teplotě byly známy, tak při současném stavu výpočetní techniky by se tyto vlivy daly uvažovat. Uvedené závislosti však ve většině případů známy nejsou a musíme se spokojit se středními hodnotami základních tepelně-fyzikálních vlastností pro určitý teplotní interval. Z experimentálních metod zjišťování b_F patří k nej přesnějším metoda měření teplotního pole odlitku a formy. Je odvozena z Vejníkova způsobu řešení [1], to jest náhradou skutečného rozložení teplot v odlitku pro okamžik ztuhnutí, jednoduše matematicky vyjádřitelnými křivkami / parabolou, sinusovkou /. Teploty vyneseme do grafu v souřadnicích teplota - vzdálenost měřeného místa od stěny odlitku. Při vlastním výpočtu je velmi důležitá hodnota X_F , která se určí jako průsečík získané křivky s čarou představující teplotu formy.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-5-

2.2 Konstanta tuhnutí odlitku.

Při tuhnutí má největší význam konstanta tuhnutí K , která je přímo úměrná koeficientu tepelné akumulace formy b_F a vyjadřuje rychlost tuhnutí odlitku pro danou soustavu materiálu odlitku, materiálu formy a parametry odlévání. Tato konstanta představuje určitou zidealizovanou hodnotu konkrétní soustavy, kterou bereme v úvahu jako střední i když se v určitých mezích mění. Matematicky je dána vztahem

$$K = \frac{R}{\sqrt{\tau}} \quad [ms^{-\frac{1}{2}}] \quad (2)$$

2.3 Koeficient tepelné vodivosti.

Tento koeficient udává, jak látka vede teplotu, t.j. jak snadno se v ní vyrovnávají teplotní rozdíly. Matematicky je dán vztahem

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c} \quad [ms^{-1}] \quad (3)$$

Je definován pro odlitek i formu. I zde se projevuje komplikace z důvodů nestacionárního přenosu tepla. Jeho hodnotu lze nejspolehlivěji určit výpočtem z experimentálně stanovených hodnot konkrétní soustavy odlitek-forma.

2.4 Koeficient přestupu tepla.

Matematicky je dán vztahem

$$\alpha = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{b_{prostředí}}{\sqrt{\tau_{cel}}} \quad [Wm^{-2}deg^{-1}] \quad (4)$$

Pro výpočet je nutné brát jeho hodnotu jako konstantní pouze pro velmi úzký interval teplot, nebo počítat s α jako se spojitě se měnící veličinou závislou na b_F a na době chladnutí.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-6-

3. VLASTNÍ EXPERIMENTÁLNÍ METODIKA.

3.1 Návrh zkušebních forem.

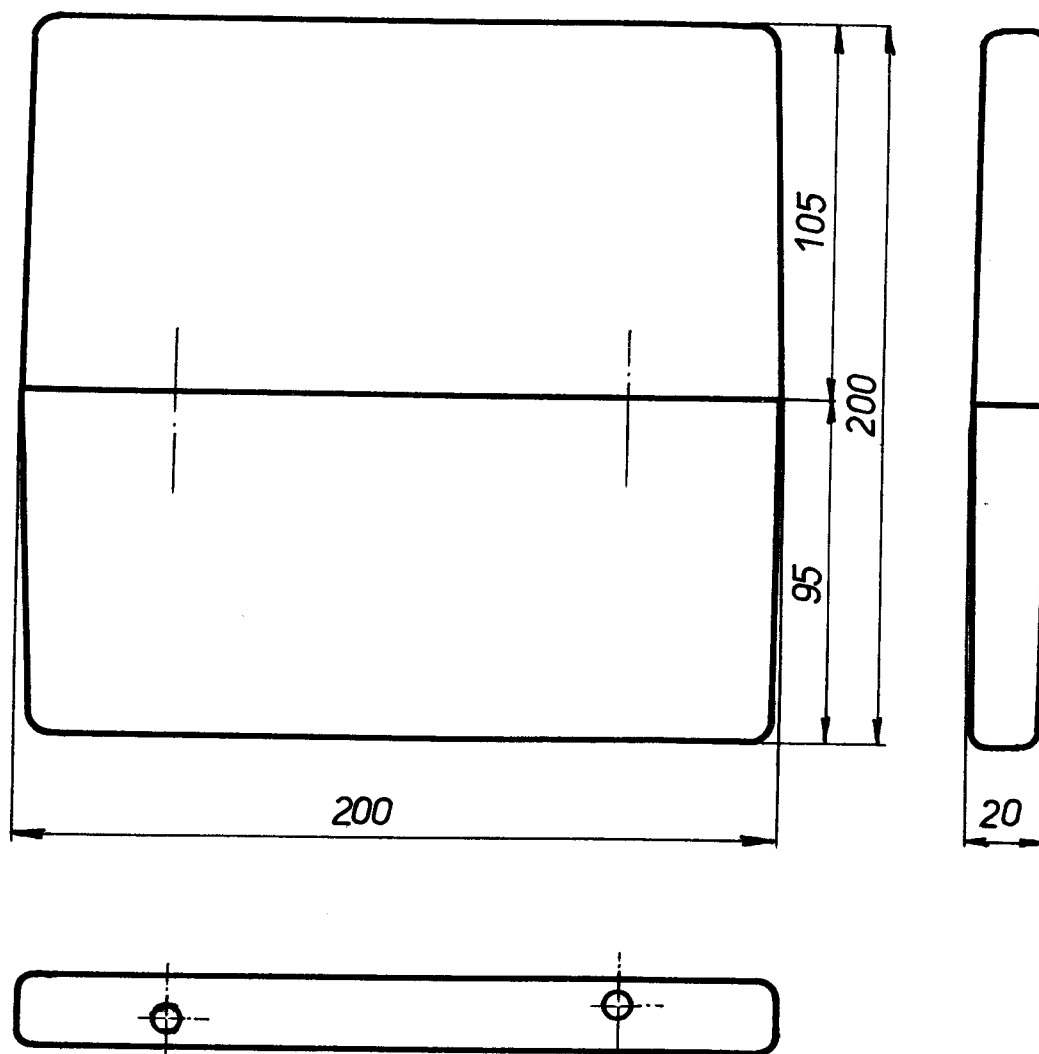
Při návrhu zkušebních odlitků bylo navázáno na [5].

Byl navržen odlitek tvaru desky rozměru 200x200x20 mm. Délka hrany odlitku musí být alespoň pětinásobkem tloušťky, abychom mohli zanedbat vliv čel na teplotní pole. Deskovitý tvar odlitku má oproti jiným složitějším tvarům nejpřesněji popsateľné teplotní pole a z toho důvodu vyplývá i nejpřesnější stanovení tepelně-fyzikálních vlastností. Model pro desku byl vyroben jako dělený a tvar je zřejmý z obr. 1.

Jako další byl navržen odlitek válcového tvaru o průměru 40 mm a délce 250 mm. Délka modelu je rovněž volena tak, aby přestup tepla mohl být i v tomto případě považován za jednorozměrný. Tvar a rozměry jsou patrný z obr. 2.

Pro zkoušení jadrových směsí bylo navrženo jádro o průměru 40 mm a délce 200 mm. Tvar a rozměry jsou uvedeny na obr. 3. Pro výrobu tohoto jádra byl zhotoven hliníkový jaderník, protože některé jadrové směsi se vytvrzují při teplotách okolo 300° C. V jádře byly zhotoveny dva otvory pro termočlánky $\varnothing$ 4 mm pomocí drátů $\varnothing$ 4 mm, které byly součástí jaderníku.

K zaformování tohoto jádra byly navrženy modely různých průměrů. Byly navrženy průměry 50, 60 a 80 mm. Tvar a rozměry jsou znázorněny na obr. 4, 5, 6. Tímto byly současně navrženy tloušťky stěn odlitku. Jedná se o tloušťky 5, 10 a 20 mm. Modely byly zhotoveny jako dělené. Všechny tyto tloušťky jsou běžné tloušťky stěn odlitků ze šedé litiny.



Obr.1. Model pro formování odlitku tvaru desky.

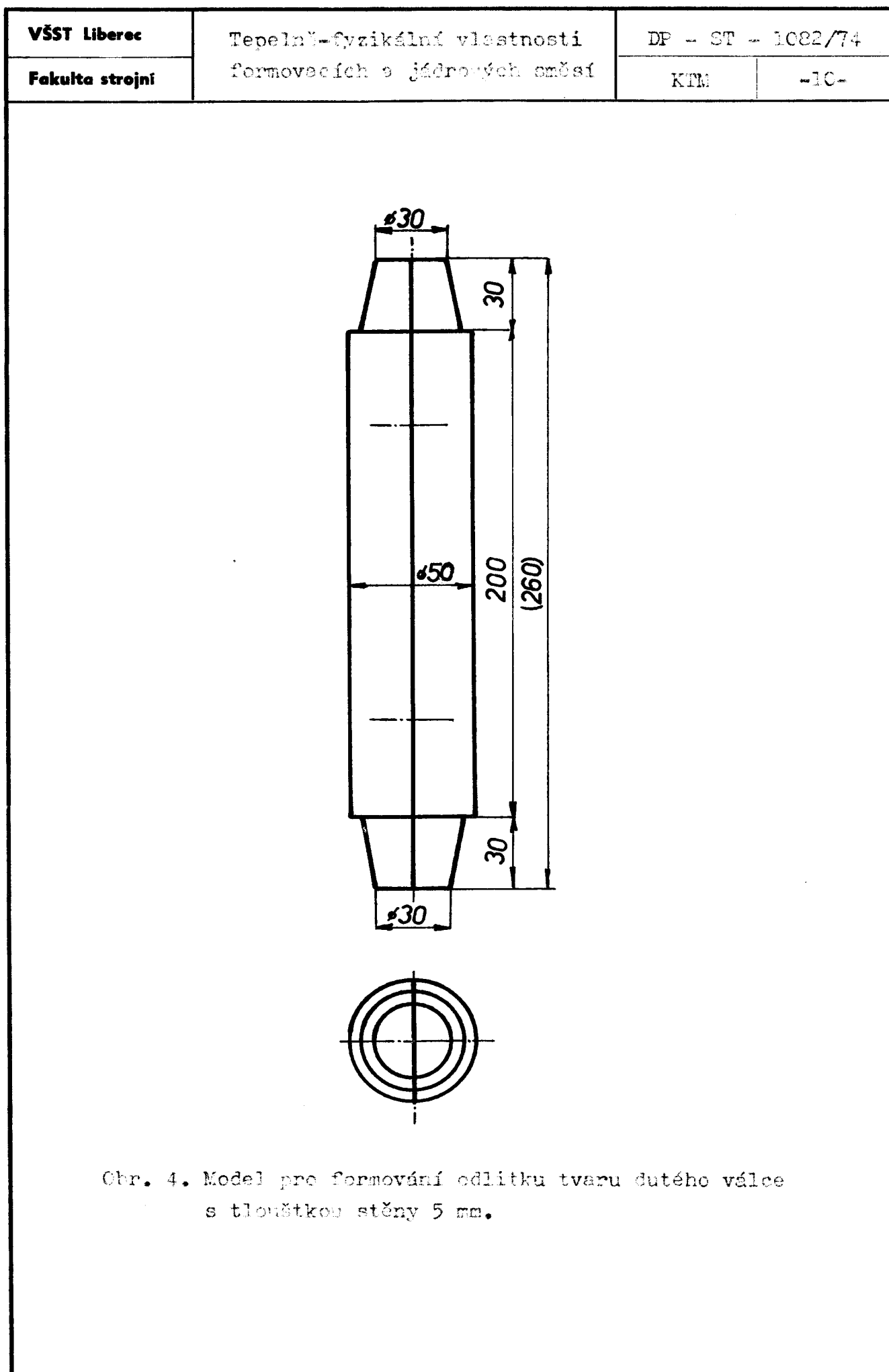
VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-8-

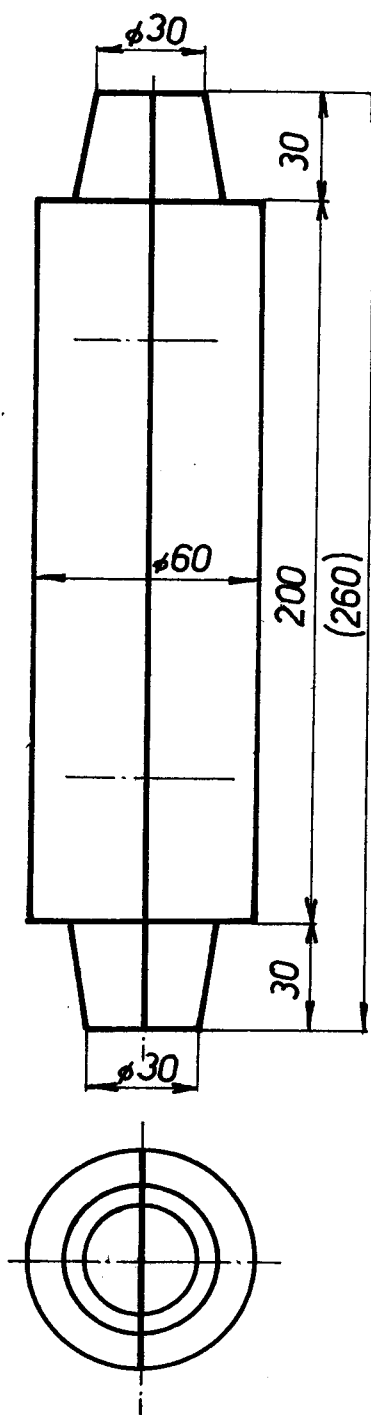
Obr.2. Model pro formování odlitku tvaru válce.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-9-

The drawing consists of two views: a side elevation and an end view. The side elevation shows a vertical rod with a central cylindrical section of diameter 30 mm and length 200 mm. The total length is 260 mm. The top and bottom sections are conical, each with a height of 30 mm. The top outer diameter is 40 mm, and the bottom outer diameter is 30 mm. The end view shows a circular cross-section with a diameter of 30 mm and a central hole with a diameter of 10 mm. A small arrow points to the center of the rod.

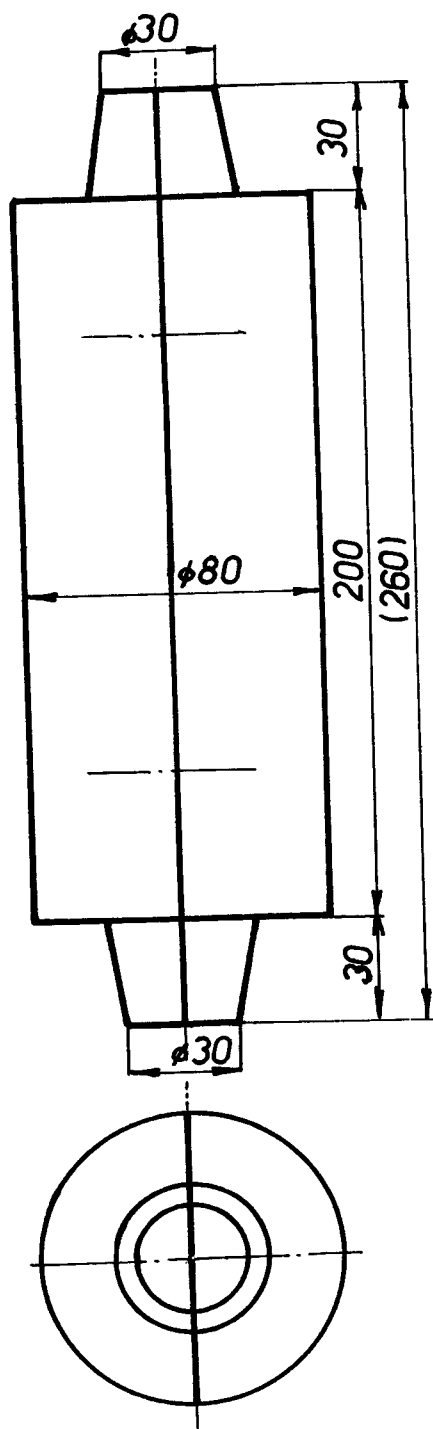
Obr.3. Tvar a rozměry jádra pro zkoušení jádrových směsí.





Obr.5. Model pro formování odlitku tvaru dutého válce
s tloušťkou stěny 10 mm.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DF - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-12-



Obr.6. Model pro formování odlitku tvaru dutého válce
s tloušťkou stěny 20 mm.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-13-

3.2 Metodika měření teplotního pole forem.

3.2.1 Odlitek tvaru desky.

Celkové uspořádání formy pro odlitek tvaru desky je znázorněno na obr. 7. K zaformování byl použit rám o rozměrech 300x300x125 mm. Otvory pro termočlánky byly zhotoveny pomocí zvláštní šablony znázorněné na obr. 8. Použití šablony značně urychlilo přípravu otvorů pro termočlánky a zároveň ji značně zpřesnilo. Ukázalo se vhodným, aby termočlánky umístěné nejbližší rozhraní odlitek-forma byly vyvedeny dělicí rovinou. Tím se odstranilo nebezpečí porušení dutiny formy. Teplota kovu byla snímána termočlánkem, který se hned po odlití zasouval do taveniny. Tato teplota byla snímána pouze jediným termočlánkem, protože teplotu odlitku lze považovat za konstantní v celém průřezu.

3.2.2 Odlitek tvaru válce.

Uspořádání je nakresleno na obr. 11. Model $\varnothing$ 40 mm a délky 250 mm byl zaformován do ocelového rámu tvaru válce $\varnothing$ 220 mm. Kolmost modelu byla zajištěna hrotem ve dně rámu a středící šablonou tvaru kříže v horní části rámu, jak je znázorněno na obr. 9. Kolmost byla nutná z důvodu rozmístění měřících míst ve formovací směsi.

Otvory pro termočlánky byly rovněž v tomto případě zhotoveny pomocí šablony, naznačené na obr. 10.

Otvory byly zhotoveny drátem $\varnothing$ 5 mm opatřeným ostrým hrotem. Termočlánky byly bez obtíží a nebezpečí porušení formy vyváděny

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-14-

vrchem. Formy pro odlitky tvaru válce byly méně pracné než tvaru desky, protože byly vyráběny pomocí jednoduchého neděleného modelu.

Použité termočlánky: pro všechna měření byly použity termočlánky Chromel-Alumel.

Pro snímání teploty taveniny byl vyzkoušen termočlánek PtRh-Pt uložený v ochranné trubičce. Tato trubička však značně zpožďovala náběh teploty a z toho důvodu nebylo zaznamenáno přehřátí, které je nutné k výpočtu.

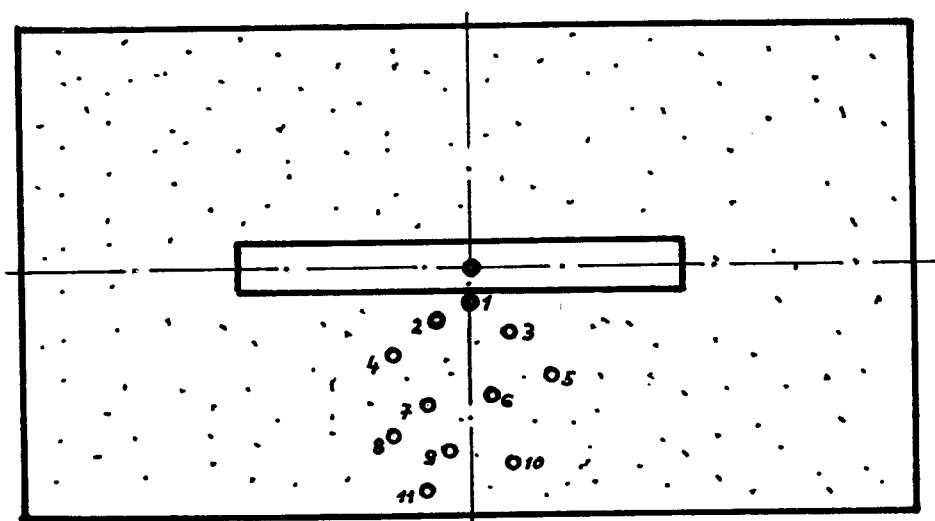
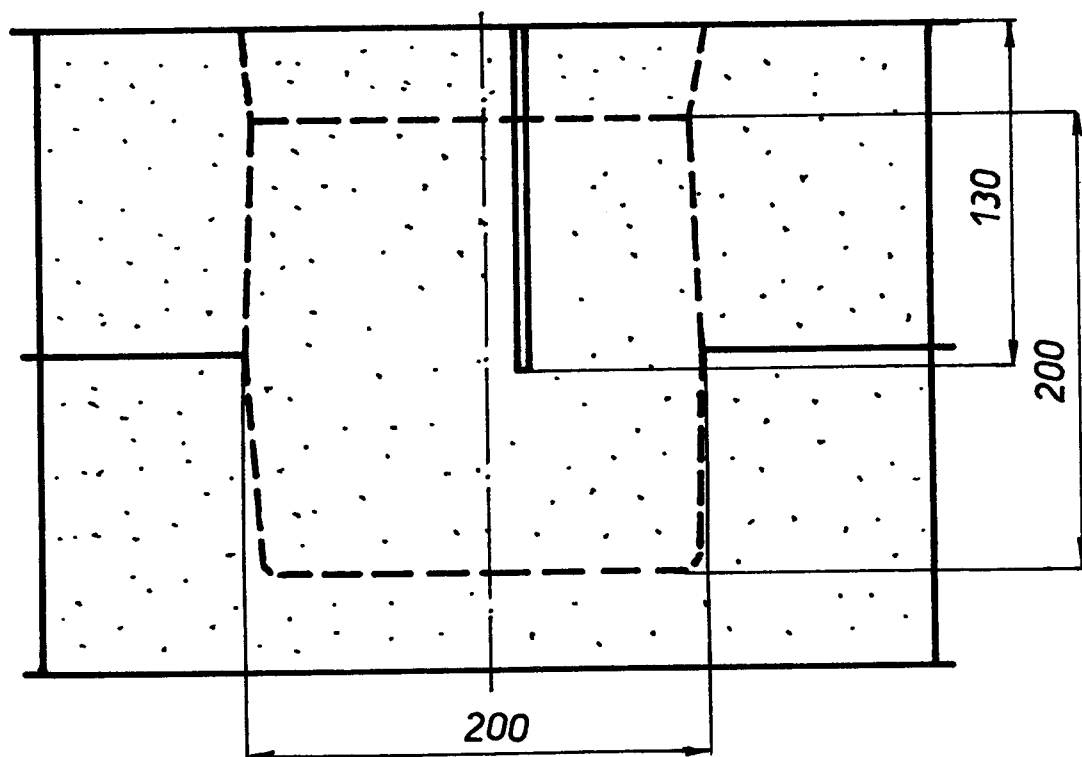
Používat termočlánky PtRh-Pt bez ochranné trubičky a tím je ničit by nebylo hospodárné, protože bylo provedeno několik desítek experimentů.

Údaje termočládku byly registrovány dvanáctibodovým zapisovačem při rychlosti posuvu registračního papíru 1200 mm/hod.

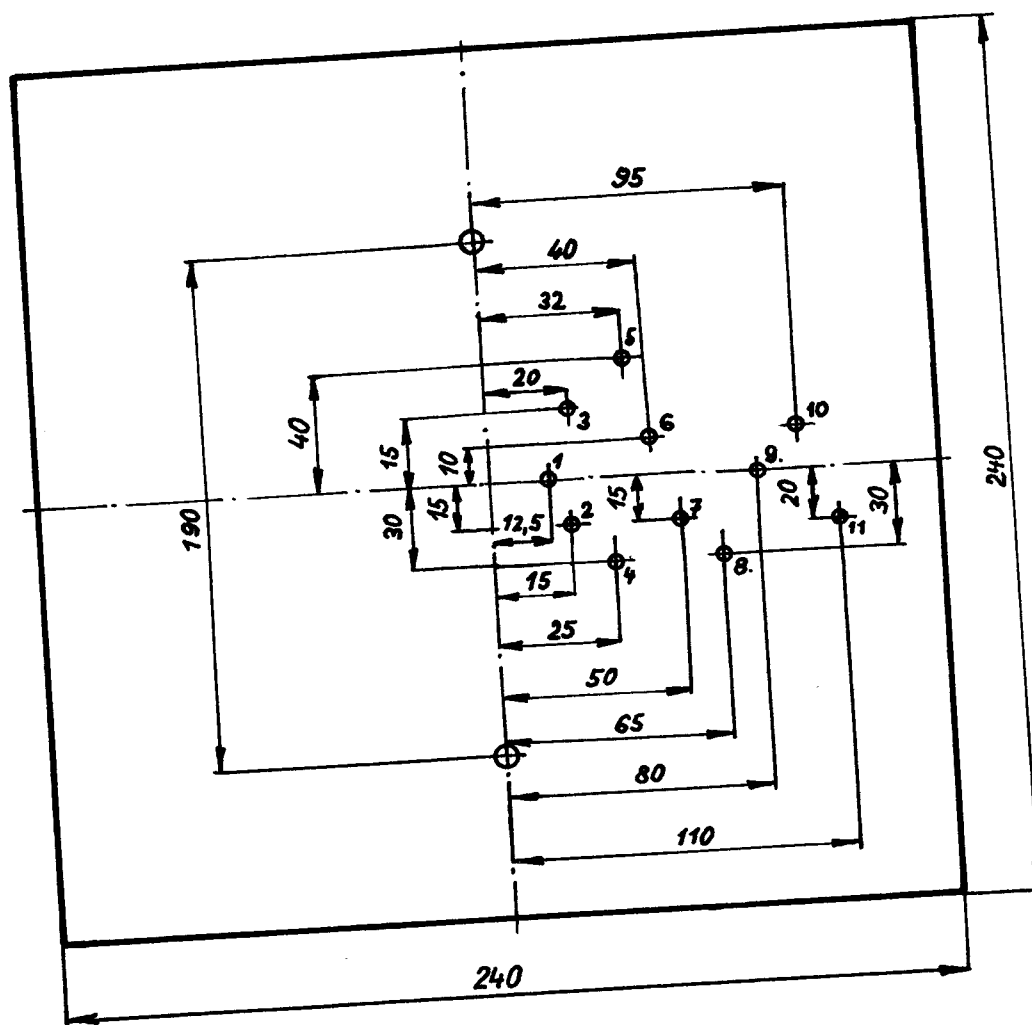
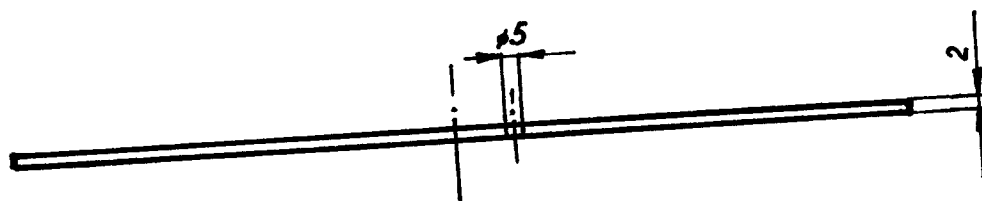
Pro snímání tuhnutí a chladnutí odlitku byly propojeny vstupy č. 1,4,7 a 10, aby tato křivka byla dostatečně přesně zaregistrována. Z této křivky je nutno odečíst teplotu přehřátí t_{pr} , teplotu likvidu t_l , teplotu solidu t_s a teplotu eutektoidní přeměny t_{eut} .

Na ostatní vstupy byly připojeny termočlánky snímající teploty ve formě. Toto zapojení se plně osvědčilo a pracovalo spolehlivě. Tímto zapojením dostaneme křivku chladnutí odlitku a křivky náběhů teplot jednotlivých měřených bodů formy na jednom registračním papíře, což má velkou výhodu při vyhodnocování.

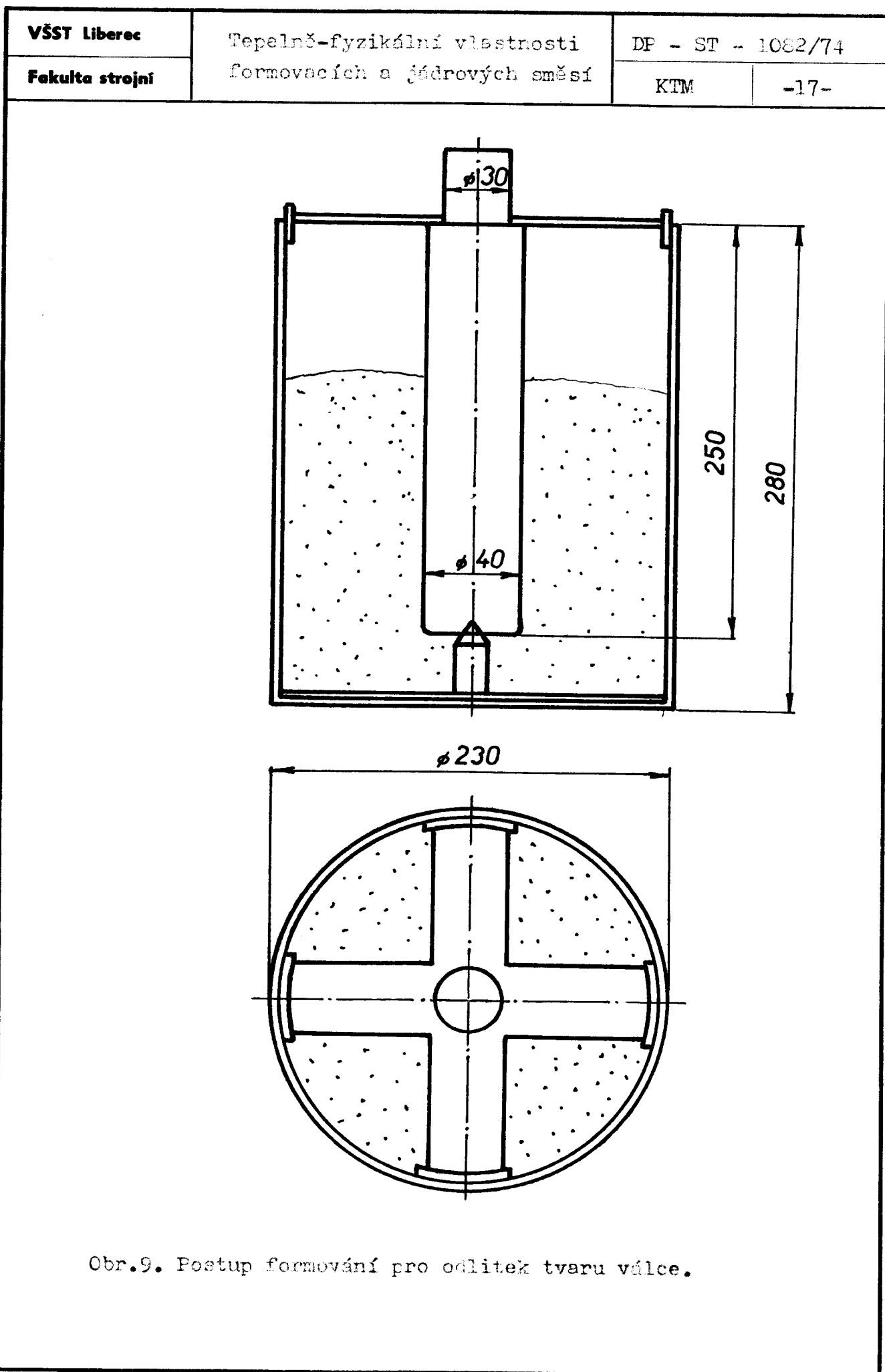
VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-15-



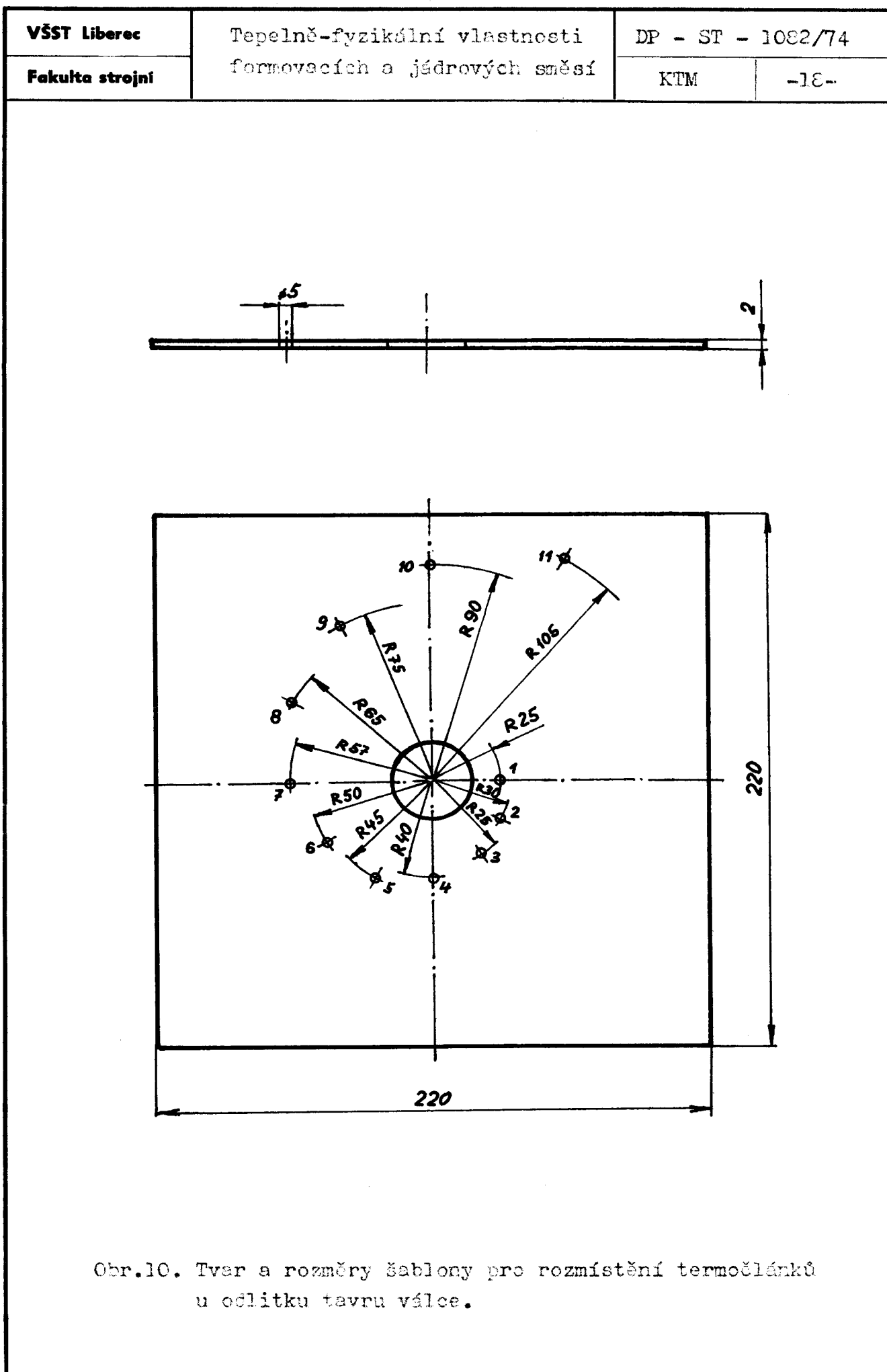
Obr.7. Uspořádání zkušební formy pro odlitek tvaru desky.

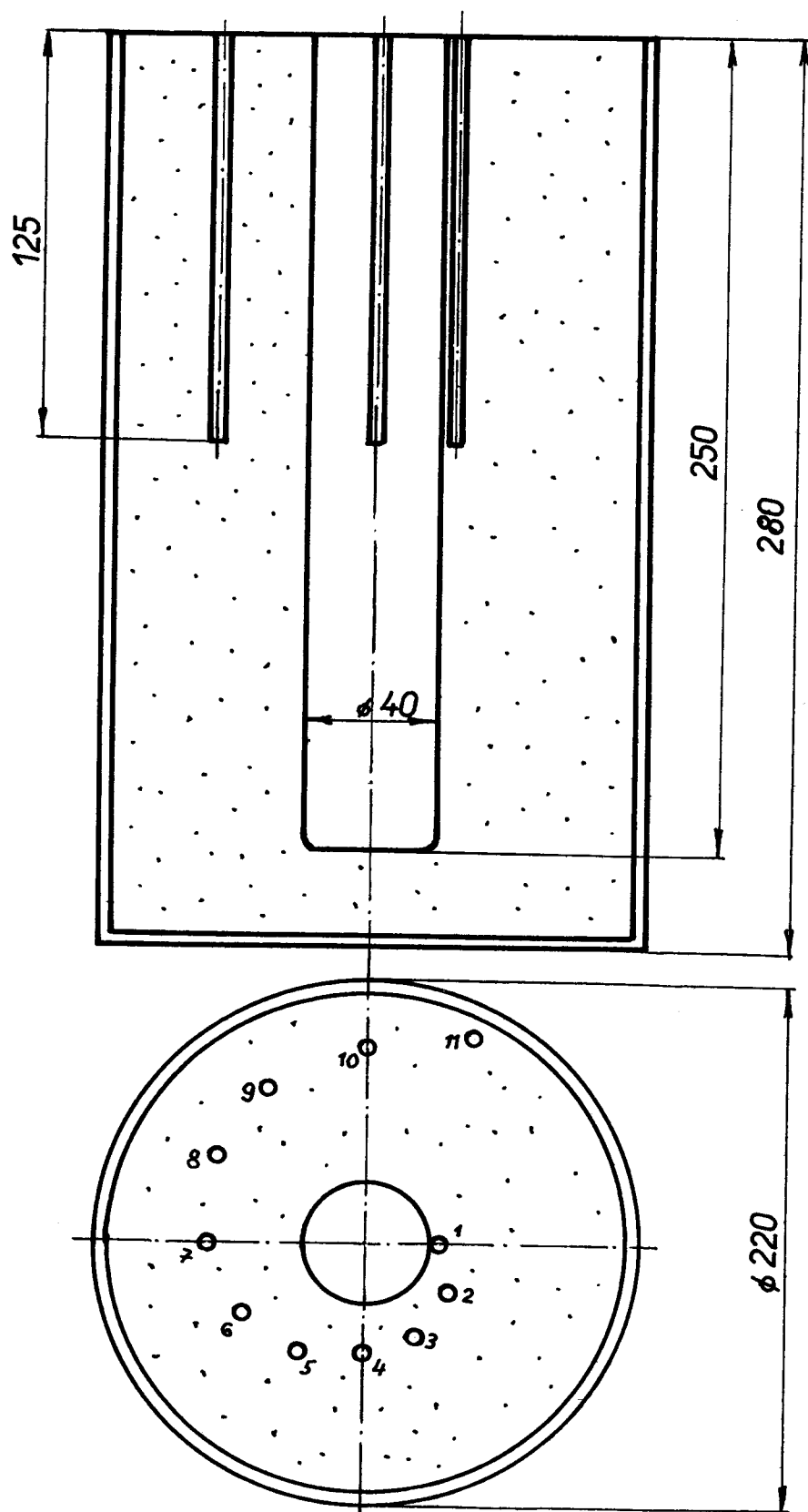


Obr.8. Tvar a rozměry šablony pro rozmístění termočlánků u odlitku tvaru desky.



Obr.9. Postup formování pro odlitek tvaru válce.





Obr.11. Uspořádání zkušební formy pro odlitek tvaru válce.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-20-

3.3 Metodika měření teplotního pole jader.

Tato metodika je původní, nebyla převzata z žádných pramenů. Při jejím návrhu se muselo pamatovat na to, aby jadrová směs byla vystavena při zkouškách takovým podmínkám, jako je vystavena v praxi. Celkové uspořádání formy pro tuto zkoušku je znázorněno na obr. 12. Podstata zvolené metodiky tkví v tom, že se mění časová změna teplotního pole válcového jádra o průměru 40 mm, které je obklopeno po celém rozhraní válcové části odlitkem. Odlitek má tvar dutého válce délky 200 mm a tloušťky stěn $t=5,10$ a 20 mm, které jsou zachovány rovnoměrně po celém obvodu. Vnější povrch válce vytváří pís-
ková forma z jednotné formovací směsi. Forma je zhotovena v rámech o rozměrech 300x300x125 mm. Jednotná formovací směs, ve které je jádro zaformováno, byla již proměřena a její tepelně-fyzikální vlastnosti byly vypočteny. Pro vytvoření dutiny pro jádro byly zhotoveny dělené modely, viz obr. 4,5 a 6. Teplotní pole v jádře je snímáno dvěma termočlánky. Jsou umístěny v ose jádra a v jedné polovině mezi osou jádra a rozhraním odlitek-jádro. Oba jsou vyvedeny dělicí rovinou. Termočlánek měřící teplotu odlitku, jehož teplý spoj je v jedné polovině tloušťky stěny odlitku, je vyveden rovněž dělicí rovinou. Z tohoto důvodu byly na rámech v těchto místech zhotoveny otvory. Lící soustava je patrna z obr. 12. Před odlitím byla forma vždy zatížena závažím.

Termočlánky byly zapojeny k dvanáctibodovému zapisovači s rychlostí posuvu registračního papíru 1200 mm/hod.

VŠST Liberec Fakulta strojní	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
		KTM	-21-

Aby bylo možno provádět současně dvě měření na jednom zapisovači, byly propojeny vstupy následovně:

1 - 7; 2 - 8; 3 - 9; 4 - 10; 5 - 11; 6 - 12.

Jednotlivé dvojice snímaly:

1 - 7 ... teplotu v odlitku 1.měření

2 - 8 ... teplotu v odlitku 2.měření

3 - 9 ... teplotu v 1/2 1.měření

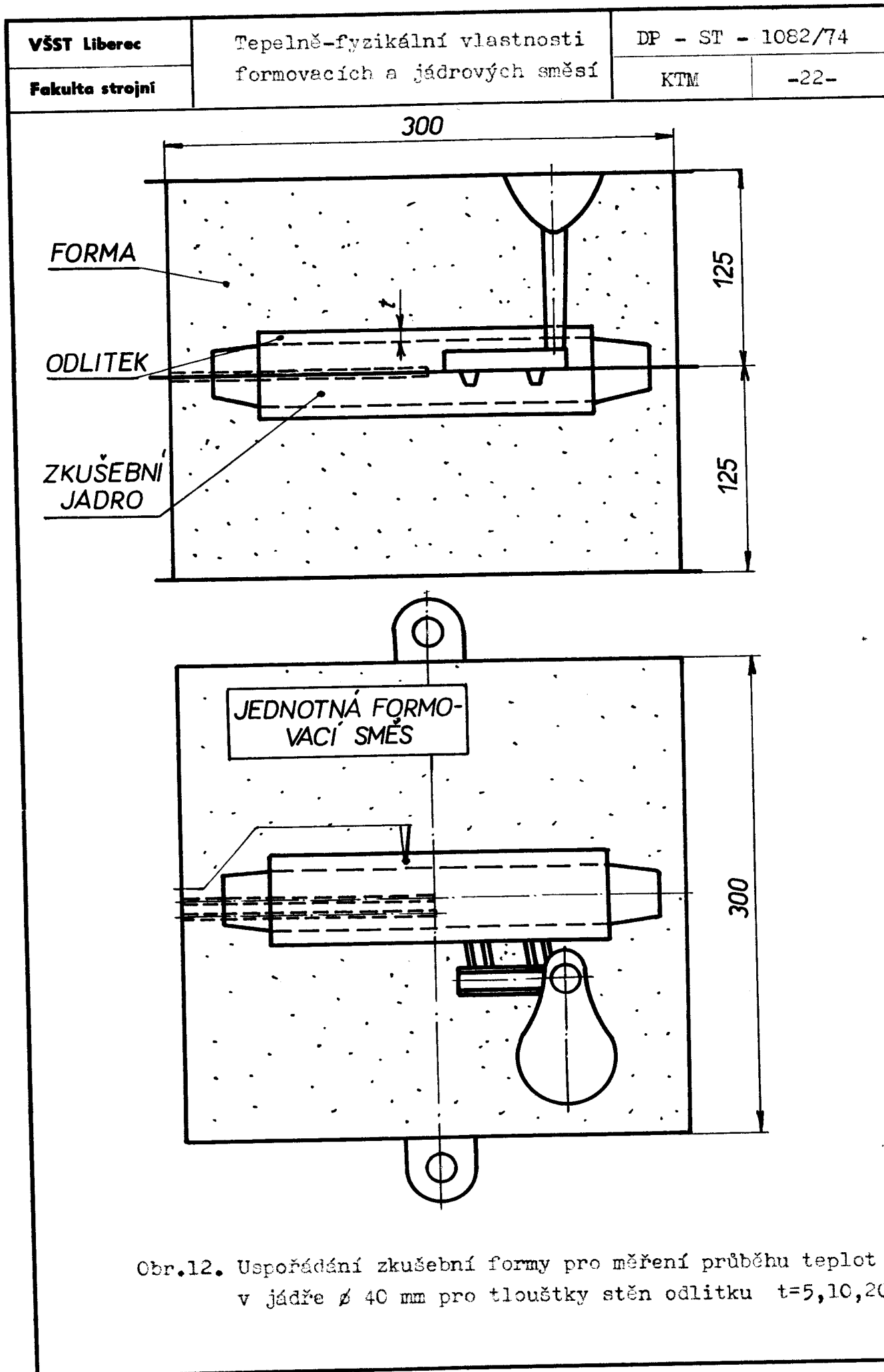
4 - 10 ... teplotu v 1/2 2.měření

5 - 11 ... teplotu v ose jádra 1.měření

6 - 12 ... teplotu v ose jádra 2.měření

Z toho vyplývá, že každé měřené místo bylo registrováno vždy po 18 vteř. I pro tato měření byly používány termočlánky Chromel-Alumel. Měření byla prováděna a registrována až do dosažení eutektoidní přeměny.

Dále bylo původně měřeno jádro $\varnothing$ 20 mm stejné délky. Při výrobě těchto jader a následujících zkouškách se však ukázalo, že tak dlouhé tenké jádro nesnese obvyklou manipulaci, zakládání termočlánků do předformovaného otvoru, natož pak odlévání. Pouze v jednom případě se podařilo zlomené jádro opravit a odlít, proto bylo od dalších zkoušek s jádry $\varnothing$ 20 mm upuštěno.



3.4 Přehled provedených měření forem.

Z jednotné formovací směsi a jádrových směsí byly vytvořeny formy pro odlitky tvaru válce a desky. Účelem bylo zjistit, jak by se tyto směsi chovaly jako formy. Tepelně-fyzikální vlastnosti byly stanoveny podle Vejnika a Nechádzziho pomocí samočinného počítače MINSK 22. K tomuto účelu existuje na katedře KTM program "Výpočet tepelně-fyzikálních veličin při tuhnutí a chladnutí odlitků v keramických formách", evidovaný pod číslem P-0129. Formy byly zhotoveny pouze z jednotné formovací pískové směsi a dále z jádrových směsí, ze kterých se podařilo zhotovit formu. Formy z jádrových směsí byly zhotoveny proto, že řada jádrových směsí je používána na tzv. nepravá jádra. Tepelné podmínky nepravých jader se více podobají tepelným podmínkám formy, než pravých jader. Rozpis experimentů v tab.1.

Přehled směsí, které byly měřenyJednotná formovací písková směs - měření č. DS4101 a VS4101

Vratný písek	959,60 kg
Křemenný písek T2S mokrý $d_{50}=0,27$	34,00 "
Asfakolová emulze	2,20 "
Bentonit STANDART 650	4,20 "
	1000,00 "

Technické hodnoty:

Pevnost v tlaku	800 - 1100 p/cm ²
Prodyšnost	min. 100 n.j.p.
Vlhkost	3 + 4 %
Vyplavitelné látky	max. 14 %.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-24-

Jádrová směs CT - měření č. DS4202 a VS 4202

Křemenný písek T2S $d_{50}=0,27$	930 kg
Černouhelná moučka jakost B	10 "
Vodní sklo 48-50° Bé	<u>60 "</u>
	1000 "
5 váhových % CO ₂	50 "

Technické hodnoty:

Nejmenší pevnost v tlaku	10 kp/cm ²
Vlhkost	1,7 - 2,3 %

Jádrová směs CT s rexolem - měření č. DS 4303 a VS 4303

Křemenný písek T2S suchý $d_{50}=0,27$	935 kg
Rexol	7 "
Vodní sklo 48-50° Bé	<u>58 "</u>
	1000 "
5 váhových % CO ₂	50 "

Technické hodnoty:

Pevnost v tlaku	8 - 13 kp/cm ²
Vlhkost	1,7 - 2,3 %

Jádrová směs CT vazná - měření č. DS 4404 a VS 4404

Křemenný písek T2S suchý $d_{50}=0,27$	901 kg
Bentonit STANDART 650	31 "
Dextrin tržní druh B	7 "
Hydroxyd sodný šupinkový	2 "
Vodní sklo 48-50° Bé	<u>59 "</u>
	1000 "
5 váhových % CO ₂	50 "

Technické hodnoty: pevnost v ohybu po vysušení min. 10 kp/cm²

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-25-

Jádrová směs olejová /jako forma neměřeno/

Křemenný písek T2S suchý $d_{50}=0,27$	955,00 kg
Tmel BT 3	5,00 "
Bentonit STANDART 650	10,00 "
Olej ISTA jakost A	30,00 "
	<u>1000,00 "</u>

Technické hodnoty:

Pevnost v ohybu	25 + 35 kp/cm ²
Prodyšnost	min. 200 n.j.p.

Jádrová směs FM pro metodu HB /jako forma neměřeno/

Křemenný písek T2S suchý $d_{50}=0,27$	963,30 kg
Pryskyřice FM 5270	26,70 "
Kyselina PTS /paratoluensulfonová/	7,00 "
Incor 40 %-ní roztok	3,00 "
	<u>1000,00 "</u>

Životnost směsi za studena	3 hodiny
Vytvrzovací teplota	240 - 260° C

Technické hodnoty:

Pevnost v ohybu	50 + 70 kp/cm ²
-----------------	----------------------------

Jádrová směs obalovaná /jako forma neměřeno/

Křemenný písek Š 38	955,00 kg
Fernal 1170 A	38,40 "
Katalyzátor K 822	6,60 "
	<u>1000,00 "</u>

Technické hodnoty:

Pevnost v ohybu	min. 25 kp/cm ²
-----------------	----------------------------

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-26-

Číslo vzorku	t_{pr}	t_L	t_S	Obsah přísad [%]					C_{exk}	Se	Číslo tavby
	[°C]	[°C]	[°C]	C	Mn	Si	P	S			
DS4101	1240	1222	1189	3,67	0,95	2,45	0,067	0,036	4,313	1,06	216/73
DS4202	1240	1205	1180	3,69	1,01	2,29	0,065	0,036	4,292	1,05	29/74
DS4303	1209	1186	1169	3,68	1,02	2,27	0,070	0,032	4,280	1,02	38/74
DS4404	1240	1204	1175	3,78	0,97	2,16	0,068	0,039	4,299	1,06	30/74
VS4101	1225	1167	1146	3,74	1,01	2,34	0,076	0,033	4,222	1,07	40/74
VS4102	1240	1204	1182	3,69	1,01	2,29	0,065	0,036	4,292	1,05	29/74
VS4303	1230	1192	1180	3,68	1,02	2,27	0,070	0,032	4,280	1,02	38/74
VS4404	1240	1205	1175	3,78	0,97	2,16	0,068	0,039	4,299	1,06	30/74

Tab.1. Rozpis provedených experimentů.

Druh směsi	ϕ	h	G	Vlhkost	σ_{pt}	γ	Prodyšnost
	[mm]	[mm]	[g]	[%]	[kp/cm ²]	[kg/m ³]	n. j. p.
Jednočlá- form. směs	50	52,3	157,3	3,7	1,0	1520	253
	50	52,3	157,2		1,02	1520	235
Směs CT	50	52,3	158,3	2,4	13,1	1540	-
	50	51,8	157,8			1542	
Směs CT s rexolem	50	52,7	161,0	2,3	12,1	1560	-
	50	52,8	163,8			1570	
Směs CT vazná	50	51,7	158,5	3,5	11,0	1510	-
	50	52,0	158,5			1500	

Tab.2. Neměřené vlastnosti směsí.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-27-

3.4.1 Vstupní data pro strojně početní zpracování.

Označení vzorků

1	2	3	4	5	6
X	X	X	X	X	X

1 ... tvar odlitku /V-válec, D-deska/

2 ... diplomová práce S-Slavík

3 ... materiál odlitku: 4-šedá litina

- 4 ... druh zkoušené směsi
- 1 ... jednotná formovací písk. směs
 - 2 ... jadrová směs CT
 - 3 ... jadrová směs CT s rexolem
 - 4 ... jadrová směs CT vazná
 - 5 ... jadrová olejová směs
 - 6 ... jadrová směs FM
 - 7 ... jadrová obalovaná směs

5,6 ... pořadové číslo

V tabulce zadaných hodnot /tab.č.3/ je uvedeno:

Sloupec

1. počet cyklů /t.j. počet t_i resp. x_i pro výpočet stupně paraboly/
2. volba části výpočtu: 1 - pouze 1.část / K_{tuh} /
2 - dokonce
3. označení vzorku
4. R - poměrná tloušťka odlitku /m/
5. t_p - teplota v pánvi
6. t_{pR} - teplota přehřátí /odečteno z grafu/, /°C/
7. t_L - teplota likvidu /°C/
8. t_S - teplota solidu /°C/
9. t_F - teplota formy /°C/

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-28-

10. c_S - měrné teplo tuhé fáze po ztuhnutí /kcal.kg⁻¹.deg⁻¹/
11. c_{Ll} - měrné teplo taveniny před dosažením likvidu
/kcal.kg⁻¹.deg⁻¹/, /použito pro výpočet dle Vejnika/
12. c_{LS} - měrné teplo taveniny před dosažením likvidu,
avšak uvažované jako prakticky stejné s měrným
teplem v intervalu tuhnutí /použito pro výpočet
dle Nechendziho/, /kcal.kg⁻¹.deg⁻¹/
13. ρ_T - měrná hmotnost taveniny v okolí likvidu /kg.m⁻³/
14. ρ_F - měrná hmotnost formovacího materiálu /kg.m⁻³/
výpočet patrný z tab. 2
15. L_M - latentní teplo krystalizační čistého kovu, který
převládá ve slitině /použito pro výpočet dle
Nechendziho/, /kcal.kg⁻¹/
16. L_{Sk} - skutečné latentní teplo krystalizační slitiny
/kcal.kg⁻¹/ t.j. teplo uvolněné při krystalizaci
a ochlazování mezi t_L a t_S /použito pro výpočet
dle Vejnika/
17. $\tau_{TUH.CELK.}$ - celková doba tuhnutí /s/, odečteno ze
záznamu
18. $\tau_{TUH.NAM.}$ - doba tuhnutí bez doby na akumulaci tepla
přehřátí slitiny /s/, odečteno ze záznamu
- 19.-24. t_i - teplota naměřená ve stěně formy /°C/
- 25.-30. x_i - vzdálenost od rozhraní odlitek-forma /mm/
31. x_F - vzdálenost tepelně neovlivněného místa
v okamžiku ztuhnutí /mm/ -odečteno z obr.27,28
32. φ - koeficient na přepočtení plochy v grafech.

Počet cyklů	Číslo výpočtu	Číslo vzorku	R	t_p	$t_{př}$	t_L	t_s	t_F	C_s	C_{L1}	C_{L2}	ρ_T	ρ_F
			m	°C	°C	°C	°C	°C	$\frac{kcal}{kg \cdot deg}$	$\frac{kcal}{kg \cdot deg}$	$\frac{kcal}{kg \cdot deg}$	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{kg}{m^3}$
6	2	DS 4101	0,01	0	1240	1222	1189	20	0,34	0,4	0,2	6500	1520
5	2	DS 4202	0,01	0	1240	1205	1180	20	0,34	0,4	0,2	6500	1550
5	2	DS 4303	0,01	0	1209	1186	1169	20	0,34	0,4	0,2	6500	1550
5	2	DS 4404	0,01	0	1240	1204	1175	20	0,34	0,4	0,2	6500	1510
6	2	VS 4101	0,01	0	1225	1167	1146	20	0,34	0,4	0,2	6500	1520
6	2	VS 4202	0,01	0	1240	1204	1182	20	0,34	0,4	0,2	6500	1550
4	2	VS 4303	0,01	0	1230	1192	1180	20	0,34	0,4	0,2	6500	1550
6	2	VS 4404	0,01	0	1240	1205	1175	20	0,34	0,4	0,2	6500	1510

L_M	L_{SK}	$\tau_{T_{uh.cel.}}$	$\tau_{T_{uh.}}$	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_F	φ
$\frac{kcal}{kg}$	$\frac{kcal}{kg}$	s	s	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	-
65	26	159	135	1114	1042	256	136	82	22	2,5	5	10	15	30	55	55	0,025
65	26	126	93	954	681	256	104	52	0	2,5	5	10	15	30	0	50	0,025
65	26	99	66	412	256	214	98	36	0	2,5	5	10	15	30	0	37	0,025
65	26	120	93	1136	446	98	86	28	0	2,5	10	15	30	55	0	58,4	0,025
65	26	114	93	818	589	95	95	46	36	5	10	15	20	30	45	54	0,025
65	26	99	66	505	225	105	95	85	24	5	10	15	20	30	45	45	0,025
65	26	84	48	246	94	94	52	0	0	10	15	20	30	0	0	30	0,025
65	26	101	69	969	742	178	92	43	27	5	10	15	20	30	45	51	0,025

Tab.3. VSTUPNÍ HODNOTY

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-30-

3.4.2. Senema výpočtu pro odlitek tvaru desky.

Celý program se skládá v podstatě ze tří částí. V první části se kromě pomocných hodnot počítá konstanta tuhnutí, ve druhé části koeficient tepelné akumulace formy a ve třetí měrné teplo formy, tepelná a teplotní vodivost formy.

Podle potřeby je možno počítat pouze část první nebo nechat proběhnout celý výpočet až do konce. V této práci se používalo programu až do konce. Výpočet probíhá podle rovnic uvedených v diplomové práci [4].

Koeficienty tepelné akumulace formy b_F podle jednotlivých autorů jsou dány vztahy:

$$b_{FN} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{L_{celk} \rho_M''}{(t_s - t_F)} K_{celk.nam} [kW s^{\frac{1}{2}} m^{-2} deg^{-1}] \quad (5)$$

$$b_{FP} = \sqrt{\frac{n+1}{2n}} \frac{L_{celk} \rho_M''}{(t_s - t_F)} K_{celk.nam} [kW s^{\frac{1}{2}} m^{-2} deg^{-1}] \quad (6)$$

$$b_{FS} = \sqrt{\frac{1}{\pi-2}} \frac{L_{celk} \rho_M''}{(t_s - t_F)} K_{celk.nam} [kW s^{\frac{1}{2}} m^{-2} deg^{-1}] \quad (7)$$

Význam indexů:

N ... výpočet dle Nechendziho

S ... výpočet dle Vejníka - sinusovka

P ... výpočet dle Vejníka - parabola

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-31-

Měrné teplo formy c_F je počítáno podle vzorců:

$$C_{FS} = \frac{\pi}{\pi - 2} \frac{R \rho_M'' L_{celk}}{\chi_F \rho_F (t_s - t_F)} \quad [kJ kg^{-1} deg^{-1}] \quad (8)$$

$$C_{FP} = (n + 1) \frac{R \rho_M'' L_{celk}}{\chi_F \rho_F (t_s - t_F)} \quad [kJ kg^{-1} deg^{-1}] \quad (9)$$

Součinitel tepelné vodivosti formy λ_F je dán vztahy:

$$\lambda_{FS} = \frac{1}{\pi} \frac{\chi_F R \rho_M'' L_{celk}}{(t_s - t_F) \tau_{celk.nam}} \quad [W m^{-1} deg^{-1}] \quad (10)$$

$$\lambda_{FP} = \frac{1}{2n} \frac{\chi_F R \rho_M'' L_{celk}}{(t_s - t_F) \tau_{celk.nam}} \quad [W m^{-1} deg^{-1}] \quad (11)$$

Součinitel teplotní vodivosti formy a_F je dán vzorcí:

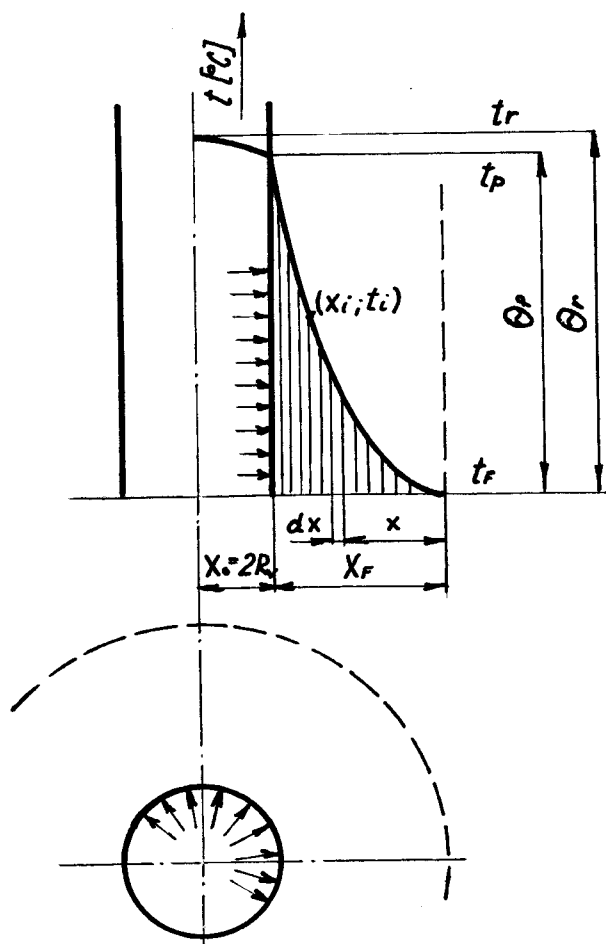
$$a_{FS} = \frac{\pi - 2}{\pi^2} \frac{\chi_F^2}{\tau_{celk.nam}} \quad [m^2 s] \quad (12)$$

$$a_{FP} = \frac{1}{2n(n+1)} \frac{\chi_F^2}{\tau_{celk.nam}} \quad [m^2 s] \quad (13)$$

Toto je přehled vzorců pro výpočet základních tepelně-fyzikálních vlastností formy. Úplný přehled vzorců je uveden v [4]. Je nutné konstatovat, že v současné době je program překonán. V programu není počítáno s korekcí na tvary odlitků např. válce. Program za současného stavu provádí celý výpočet jako pro desku.

3.4.3 Schema výpočtu pro odlitek tvaru válce.

Vejnik a jeho spolupracovníci metodu výpočtu tepelně-fyzikálních vlastností experimentálním stanovením exponentu paraboly, jakožto náhradní křivky rozložení teplot ve stěně formy při odlévání válce neuvádějí a proto byly vzorce odvozeny [9] na základě dřívějších dílčích řešení Vejnika. [3]. Sledovaná soustava tuhnoucí odlitek-forma /viz. obr. 13/ představuje v podstatě, z hlediska teplotního pole formy, řešení úlohy ohřevu dutého válce /o poloměru otvoru X_0 / zevnitř.



Obr.13. Teplotní pole pro odlitek tvaru válce.

Odvození vychází z rovnice tepelné rovnováhy o rovnosti tepla vydaného při tuhnutí odlitku, tepla prošlého rozhraním odlitek-forma a tepla akumulovaného formou,

$$dQ_{kr} = dQ_{pr} = dQ_{ak} \quad (14)$$

kterou můžeme pro konkrétní podmínky dle obr. 13 při úvaze náhradní křivky paraboly n -tého řádu napsat ve tvaru

$$\lambda_F n \frac{Q_T}{2R_v} F \frac{1}{\Delta} d\tau = \frac{1}{n+1} 2R_v F \rho_F c_F Q_T \left(1 + \frac{2\Delta}{n+2}\right) d\Delta \quad (15)$$

kde Δ vyjadřuje obecně poměr $\frac{x}{x_0}$ a pro okamžik tuhnutí odlitku /pro $\tau = \tau_{celk}$ / bude $\Delta = \frac{x_F}{x_0} = \frac{x_F}{2R_v}$.

Jestliže zavedeme pro tuhnutí odlitku tvaru válce bezrozměrnou veličinu tloušťky prohřátí formy dutého válce $\Delta_v = \frac{x_F}{R}$, tedy $\Delta_v = 2\Delta$, přejde rovnice /15/ do tvaru

$$\lambda_F n \frac{Q_T}{R_v} F \frac{1}{\Delta_v} d\tau = \frac{1}{n+1} R_v F \rho_F c_F Q_T \left(1 + \frac{\Delta_v}{n+2}\right) d\Delta_v \quad (16)$$

a po integraci a úpravě dostaneme pro okamžik ztuhnutí odlitku tvaru válce / $\tau_{celk.v}$ / rovnici

$$\frac{Q_F \tau_{celk.v}}{R_v^2} = \frac{1}{2n(n+1)} \left[1 + \frac{2\Delta_v}{3(n+2)}\right] \Delta_v^2 = Fo_v \quad (17)$$

kde Fo_v je Fourierovo číslo pro válec.

Použitím tohoto vztahu při řešení rovnice tepelné rovnováhy pro okamžik ztuhnutí válcového odlitku, kdy celkové teplo krystalizační uvolněné odlitkem $L_{celk.}$ bylo zcela akumulováno formou, dostaneme pro výpočet celkové doby tuhnutí

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-34-

válce o poměrné tloušťce R_v rovnici

$$\tau_{cel} = \frac{n+1}{2n} \frac{R_v^2 \rho_H''^2 L_{celk}}{Q_{Tef} b_F^2} \cdot \frac{1 + \frac{2}{3(n+2)} \Delta_v}{\left[1 + \frac{1}{2(n+2)} \Delta_v\right]^2} [s] \quad (18)$$

a z ní pak vztah pro koeficient tepelné akumulace formy b_{FP}
/podle Vejníka/

$$b_{FP} = \sqrt{\frac{n+1}{2n}} \frac{R_v \rho_H'' L_{celk}}{Q_{Tef} \sqrt{\tau_{celk.v}}} \cdot \frac{\sqrt{1 + \frac{2}{3(n+2)} \Delta_v}}{1 + \frac{1}{2(n+2)} \Delta_v} \quad (19)$$

Ze srovnání rovnice (6) a rovnice (19) je pak patrný význam
i velikost odvozeného opravného koeficientu pro odlitek tvaru
válce jak pro výpočet doby tuhnutí odlitku, tak i pro výpočet
 b_{FP} .

Z rovnice tepelné rovnováhy byly pak obdobně vhodnými
úpravami odvozeny též vztahy pro ostatní tepelně-fyzikální
veličiny včetně příslušných opravných koeficientů pro odlitek
tvaru válce, a to pro tepelnou vodivost formy

$$\lambda_{FP} = \frac{1}{2n} \frac{R_v \chi_F \rho_H'' L_{celk}}{Q_{Tef} \tau_{celk}} \cdot \frac{1 + \frac{2}{3(n+2)} \Delta_v}{1 + \frac{1}{2(n+2)} \Delta_v} [Wm^{-1}deg^{-1}] \quad (20)$$

pro měrné teplo formy

$$C_{FP} = (n+1) \frac{R_v \rho_H'' L_{celk}}{\chi_F \rho_F Q_{Tef}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{2(n+2)} \Delta_v} [kJkg^{-1}deg^{-1}] \quad (21)$$

a konečně z rovnice (17) vztah pro teplotní vodivost formy

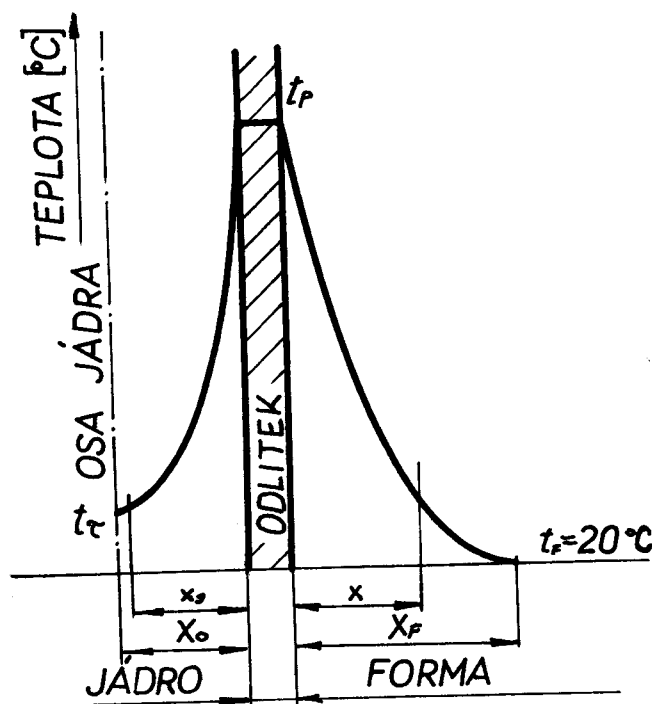
$$a_{FP} = \frac{1}{2n(n+1)} \cdot \frac{\chi_F^2}{\tau_{celk}} \left[1 + \frac{2}{3(n+2)} \Delta_v\right] [m^2s^{-1}] \quad (22)$$

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
		KTM	-35-

3.4.4 Schema výpočtu pro jádra.

Konečným cílem navržených experimentů s jádry byl pokus o výpočet, kolik tepla v okamžiku ztuhnutí odlitku akumulovalo jádro a kolik přešlo do formy za předpokladu znalosti tepelně-fyzikálních vlastností formovací směsi, materiálu odlitku a výsledného teplotního pole jádra.

Vlastní pokus o výpočet vychází v podstatě z Vejníkova principu parabolického rozložení teplot ve formě i jádře, nerespektuje však zachování výchozí teploty jádra / 20°C /, ale naopak za "výchozí teplotu" jádra uvažuje teplotu v ose jádra v okamžiku ztuhnutí odlitku. Principiálně jsou uvažované poměry znázorněny na obr. 14.



Obr.14. Teplotní pole v jádře a ve stěně formy.

Rovnice tepelné rovnováhy

$$Q_{od.T} = Q_{ak.J} + Q_{ak.F} + Q_Z \quad (23)$$

$Q_{od.T}$ teplo uvolněné odlitkem do okamžiku konce tuhnutí [kJ]

$Q_{ak.J}$ teplo akumulované jádrem v okamžiku konce tuhnutí [kJ]

$Q_{ak.F}$ teplo akumulované formou v okamžiku konce tuhnutí [kJ]

Q_Z teplo odvedené čely odlitku a známkami jádra [kJ]

Teplo uvolněné odlitkem do okamžiku konce tuhnutí se spočítá podle vzorce

$$Q_{od.T} = L_{EF} \cdot G_{od} \quad [kJ] \quad (24)$$

L_{EF} efektivní latentní teplo krystalizační zahrnující opravu na přehřátí a interval tuhnutí [kJ kg⁻¹]

G_{od} hmotnost odlitku [kg]

Teplo akumulované formou v okamžiku konce tuhnutí je počítáno podle vzorce

$$Q_{ak.F} = \frac{1}{n+1} F_F X_F \gamma_F c_F (t_p - t_F) \left(1 + \frac{2}{n+2} \Delta\right) [kJ] \quad (25)$$

$$\text{kde } X_F = \sqrt{2n(n+1)a_F \tau_T} \cdot \mu_{Tvar} \quad [m] \quad (26)$$

Hodnoty potřebné k tomuto výpočtu viz tab. 3 a tab. 7.

Teplo akumulované jádrem v okamžiku konce tuhnutí je součtem tepla potřebného na ohřátí celého objemu jádra až na teplotu t_τ v ose odlitku /viz obr. 14/ a tepla akumulovaného hmotou jádra podle parabolického rozložení mezi teplotami t_τ a t_p . Matematicky je vyjádřeno vztahem

$$Q_{ak.J} = \frac{1}{n+1} F_J X_J \gamma_J c_J (t_p - t_\tau) \left(1 - \frac{1}{n+2} \Delta\right) + \pi X_o^2 l_J \gamma_J (t_\tau - t_F) [kJ] \quad (27)$$

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí		DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní			KTM	-37-

3.5 Přehled provedených experimentů měření jader.

Označení vzorků

1	2	3	4	5	6	7
X	X	X	X	X	-	X

1 ... tvar odlitku / J - odlitek s jádrem /
2,3 ... průměr jádra [mm]
4,5 ... číselné označení materiálu jádra:

2 ... jádrová směs CT
3 ... jádrová směs CT s rexolem
4 ... jádrová směs CT vazná
5 ... jádrová olejová směs
6 ... jádrová směs FM
7 ... jádrová obalovaná směs

6,7 ... označení tloušťky stěny odlitku [mm]

Všechny vzorky byly očištěny a otryskány. Otryskané vzorky byly zváženy. V případě, že se experiment nezdařil, /např. nevydržely termočlánky, do dělicí roviny vnikl kov/ byly experimenty zrušeny a zopakovány. Pro experimenty byla volena litina z indukční pece, protože se z ní odlévají odlitky s velmi malým rozptylem sledovaných prvků přibližně eutektoidního složení. Byla tím sledována objektivita všech pokusů a jejich vzájemná porovnatelnost. Číselné hodnoty hmotnosti odlitku, složení litiny, uhlíkového ekvivalentu $C_{\text{ekv.}}$, stupně eutektičnosti S_e jsou uvedeny v tabulce 4.

Pro olejovou směs se stěnou 10 mm se nepodařilo zajistit litinu z indukční pece, která byla vždy používána a experiment byl proveden s litinou z kuplovny.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-38-

Mater. směsí	Číselné označení	G [kg]	Obsah přísad [%]					C _{em}	S _e	Číslo tavby
			C	Mn	Si	P	S			
Směs CT	J4002-05	1,19	3,69	0,89	2,30	0,068	0,032	4,299	1,05	48/74
	J4002-10	2,71	3,70	0,98	2,37	0,094	0,035	4,378	1,06	44/74
	J4002-20	5,68	3,70	0,98	2,37	0,094	0,035	4,378	1,06	44/74
Směs CT s rexolem	J4003-05	1,15	3,66	1,00	2,31	0,081	0,032	4,278	1,04	43/74
	J4003-10	2,70	3,74	1,01	2,27	0,068	0,032	4,340	1,04	41/74
	J4003-20	5,70	3,66	1,00	2,31	0,081	0,032	4,278	1,04	73/74
Směs CT vazná	J4004-05	1,15	3,60	1,25	2,35	0,076	0,058	4,168	1,03	50/74
	J4004-10	2,66	3,60	1,25	2,35	0,076	0,058	4,168	1,03	50/74
	J4004-20	5,61	3,69	0,89	2,30	0,068	0,032	4,299	1,05	48/74
Olejová směs	J4005-05	1,10	3,70	0,96	2,56	0,094	0,033	4,386	1,07	53/74
	J4005-10	2,67	3,36	1,01	1,84	0,197	0,110	3,92	0,93	-
	J4005-20	5,59	3,70	0,96	2,56	0,094	0,033	4,386	1,07	53/74
FM směs	J4006-05	1,10	3,67	1,00	2,60	0,065	0,032	4,352	1,01	54/74
	J4006-10	2,61	3,60	1,04	2,49	0,051	0,036	4,255	1,04	60/74
	J4006-20	5,63	3,60	1,04	2,49	0,051	0,036	4,255	1,04	60/74
Obalo- vaná směs	J4007-05	1,08	3,62	1,02	2,36	0,070	0,027	4,245	1,04	66/74
	J4007-10	2,69	3,69	1,02	2,34	0,075	0,027	4,313	1,05	64/74
	J4007-20	5,63	3,69	1,02	2,34	0,075	0,027	4,313	1,05	64/74

Tab.4. Rozpis složení litiny pro měření jader .

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-39-

3.5.1 Přehled naměřených hodnot na jádrech.

V tab. 5 jsou uvedeny hodnoty teplot v jádře pro zvolené okamžiky tuhnutí a chlazení odlitku.

Význam jednotlivých symbolů:

τ_T - doba tuhnutí odlitku [s]

t_s - teplota solidu [°C]

$t_{T,1/2}$ - teplota v okamžiku konce tuhnutí v jedné polovině mezi osou jádra a rozhraním odlitek-jádro [°C]

$t_{T,0}$ - teplota v okamžiku konce tuhnutí, v ose jádra [°C]

τ_{max} - doba, za kterou naběhne max. teplota v ose jádra [s]

t_k - teplota kovu pro okamžik max. teploty v ose jádra [°C]

$t_{max,1/2}$ - teplota, v okamžiku max. teploty v ose jádra, v jedné polovině mezi osou jádra a rozhraním odlitek-jádro [°C]

$t_{max,0}$ - max. teplota v ose jádra [°C]

τ_e - doba, za kterou nastane eutektoidní přeměna [s]

t_e - teplota eutektoidní přeměny [°C]

$t_{e,1/2}$ - teplota, v okamžiku začátku eutektoidní přeměny, v jedné polovině mezi osou jádra a rozhraním odlitek-jádro [°C]

$t_{e,0}$ - teplota, v okamžiku začátku eutektoidní přeměny, v ose jádra [°C]

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-40-

Mater. směsí	Číselné označení	τ_r [s]	t_s [°C]	$t_{t.1/2}$ [°C]	$t_{t.o}$ [°C]	τ_{max} [s]	t_K [°C]	$t_{max.1/2}$ [°C]	$t_{max.o}$ [°C]	τ_e [s]	t_e [°C]	$t_{e.1/2}$ [°C]	$t_{e.o}$ [°C]
Směs CT	J4002-05	24	1170	139	46	460	652	694	709	183	738	648	515
	J4002-10	96	1170	698	252	392	825	975	986	895	738	802	830
	J4002-20	300	1170	1102	1018	458	1130	1152	1148	2120	738	772	778
Směs CT s rexolem	J4003-05	24	1170	122	64	452	684	738	726	270	738	736	685
	J4003-10	138	1170	746	388	437	908	954	950	990	738	778	795
	J4003-20	399	1170	1137	1095	516	1148	1136	1125	2320	738	766	778
Směs CT vazná	J4004-05	21	1170	114	79	445	681	692	684	210	738	645	546
	J4004-10	87	1170	402	190	429	858	884	906	802	738	778	804
	J4004-20	354	1170	1069	1006	510	1126	1072	1072	1940	738	772	785
Olejová směs	J4005-05	30	1170	415	148	396	708	680	698	218	738	664	622
	J4005-10	132	1170	756	525	362	950	955	960	1020	738	764	772
	J4005-20	330	1170	1090	1052	485	1120	1105	1116	2150	738	756	756
FM směs	J4006-05	33	1170	168	84	392	702	696	692	244	738	672	618
	J4006-10	81	1170	512	214	414	896	890	922	906	738	758	768
	J4006-20	375	1170	1070	1085	432	1155	1070	1094	2002	738	752	764
Obalo- vaná směs	J4007-05	36	1170	196	82	432	685	702	694	225	738	682	602
	J4007-10	102	1170	594	344	387	882	908	948	880	738	770	808
	J4007-20	270	1170	1045	935	468	1090	1106	1072	1920	738	788	784

Tab. 5. Naměřené hodnoty na jádrech.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DF - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-41-

3.5.2 Náběhy teplot v jádrech.

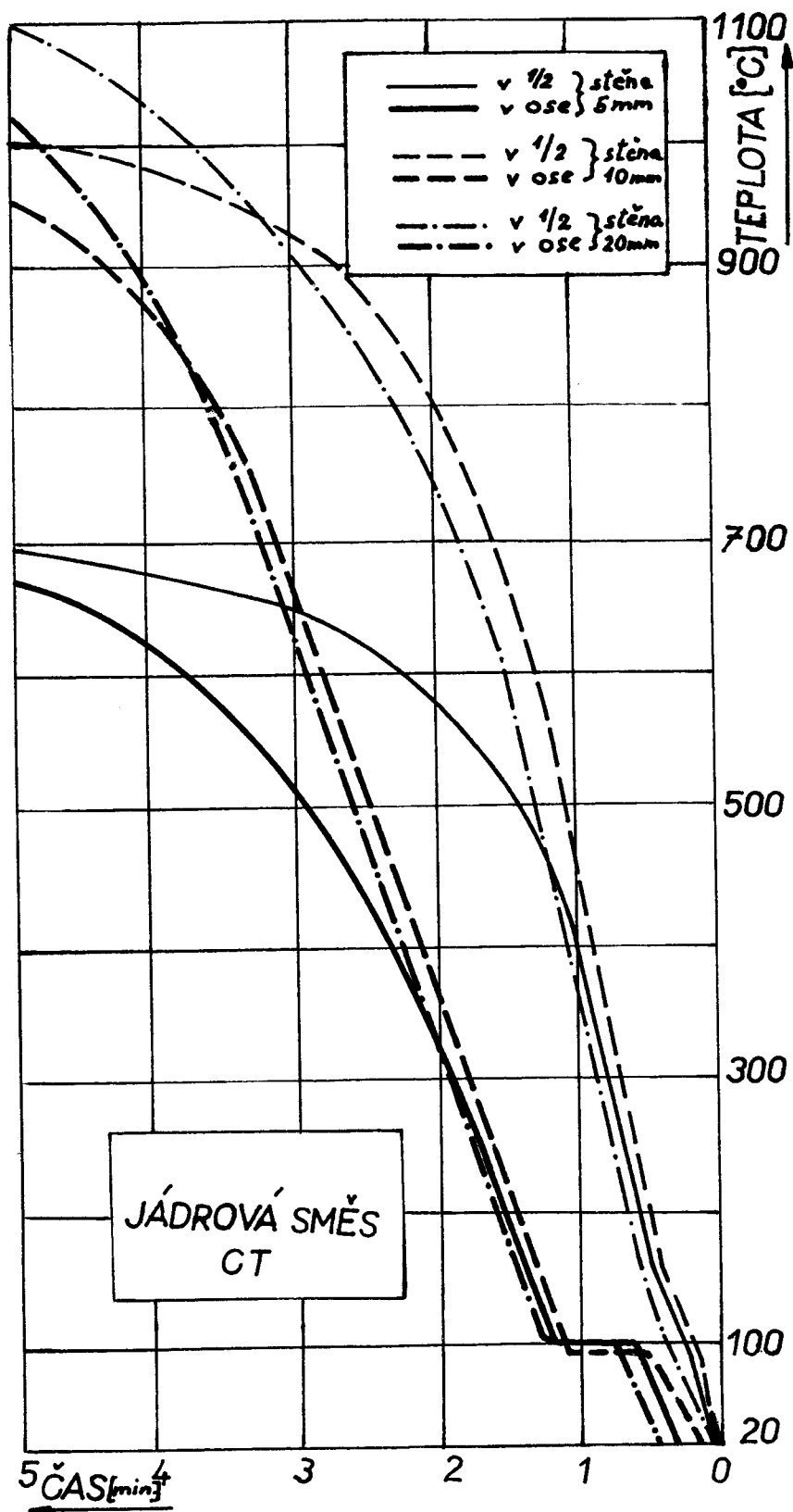
V této části byly překresleny záznamy zapisovače do páté minuty po odlití. Znázorněno na obr. 15 až obr. 20. Čas na vodorovné ose probíhá zleva doprava, protože byly přímo kopírovány ze záznamu zapisovače.

Účelem překreslení těchto náběhů teplot bylo posoudit a porovnat vyskytující se kondenzační zóny, rychlost náběhu teplot, výši naběhnuté teploty.

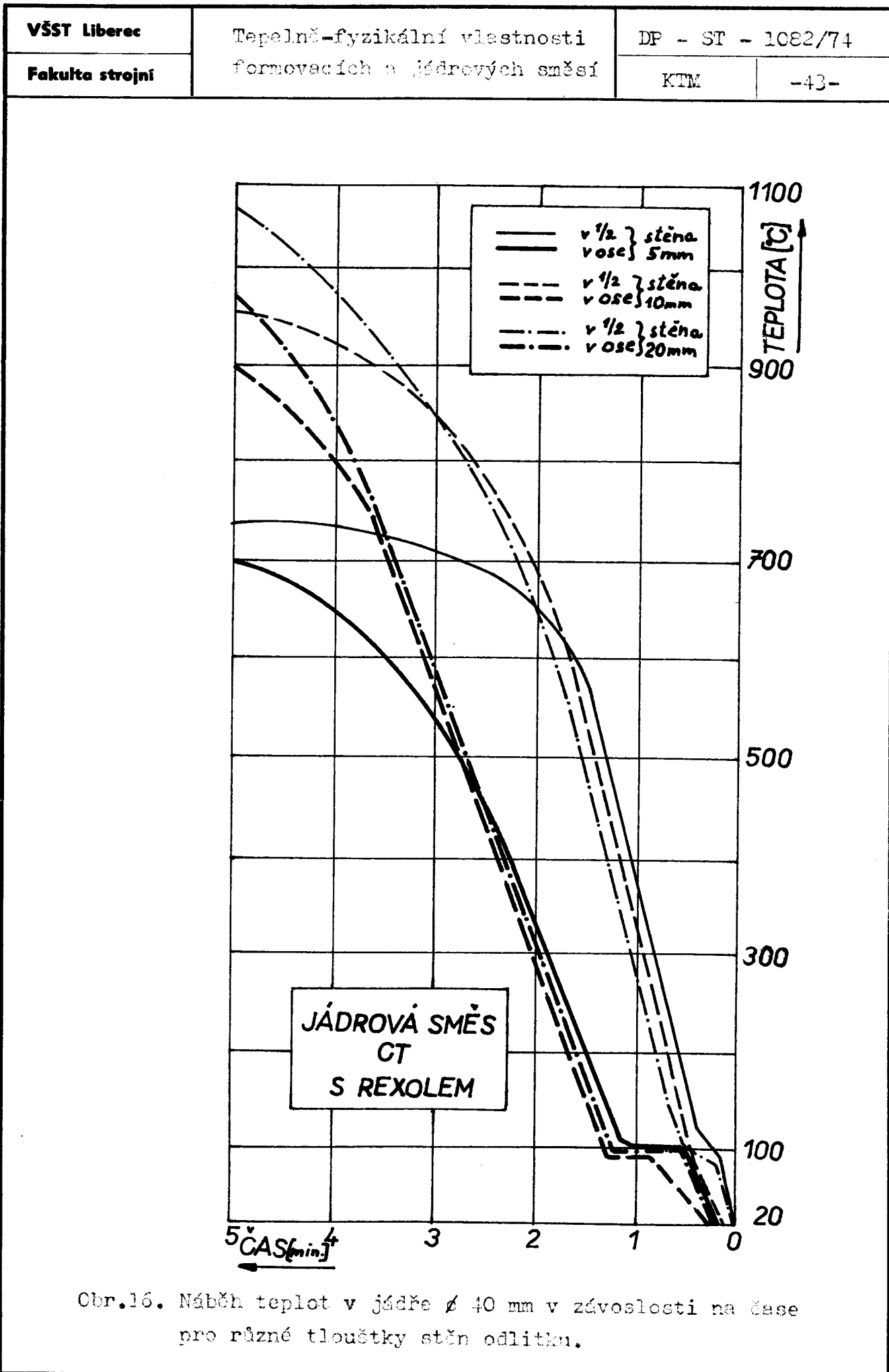
Je třeba zdůraznit, že všechna jádra měla vytvořeny stejné podmínky t.j. litina stále mírně nadeutektoidní, stejná teplota přehřátí, stejný materiál formy /jednotná formovací písková směs/.

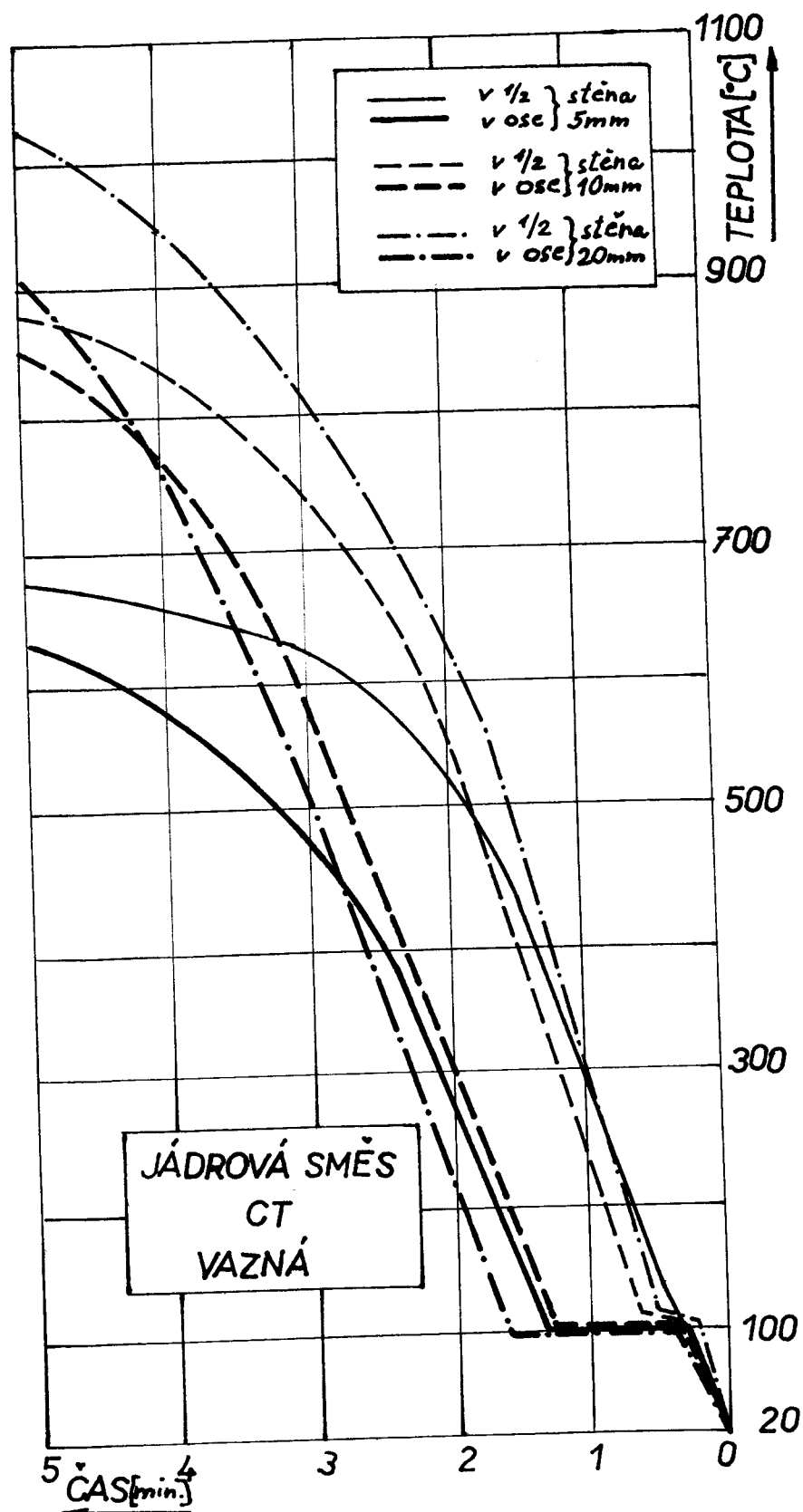
Odlišné náběhy teplot v jádrech jsou tedy závislé prakticky pouze na materiálu jádra. Každý graf odpovídá jedné jadrové směsi. Jsou v něm vyneseny průběhy teplot pro různé tloušťky stěn odlitku a to 5, 10 a 20 mm, pro jádro vždy o průměru 40 mm. Jsou zaznamenány průběhy v ose jádra /tlusté čáry/ a v jedné polovině mezi osou jádra a rozhraním odlitek - jádro /slabé čáry/.

Další průběh teplot, který již není na okopírovaných grafech, byl ovšem také hodnocen a to pro okamžiky konce tuhnutí odlitku, max. teploty v ose jádra a začátek eutektoidní přeměny.

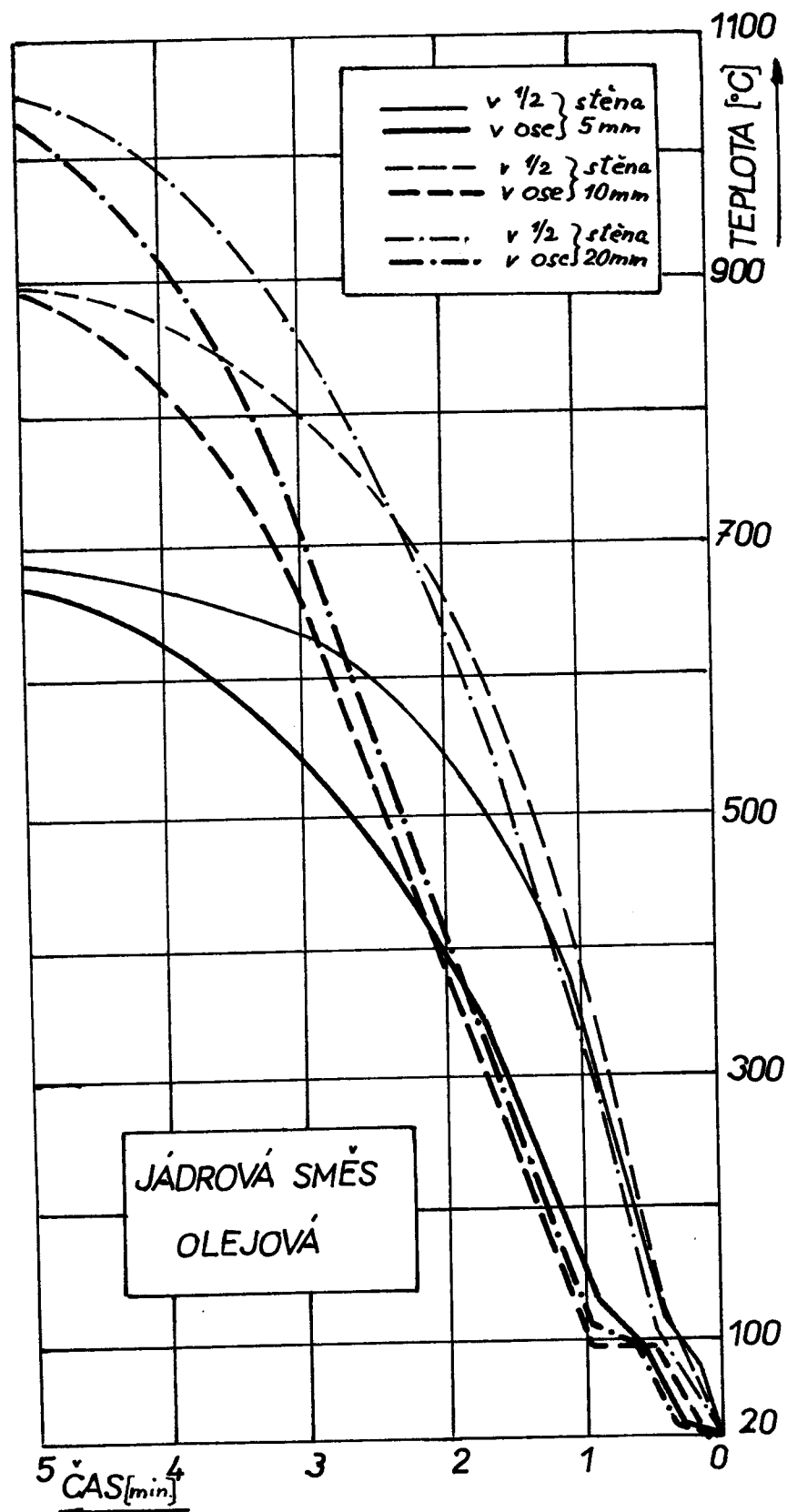


Obr.15. Náběh teplot v jádře $\varnothing 10$ mm v závislosti na čase pro různé tloušťky stěn odlitku.

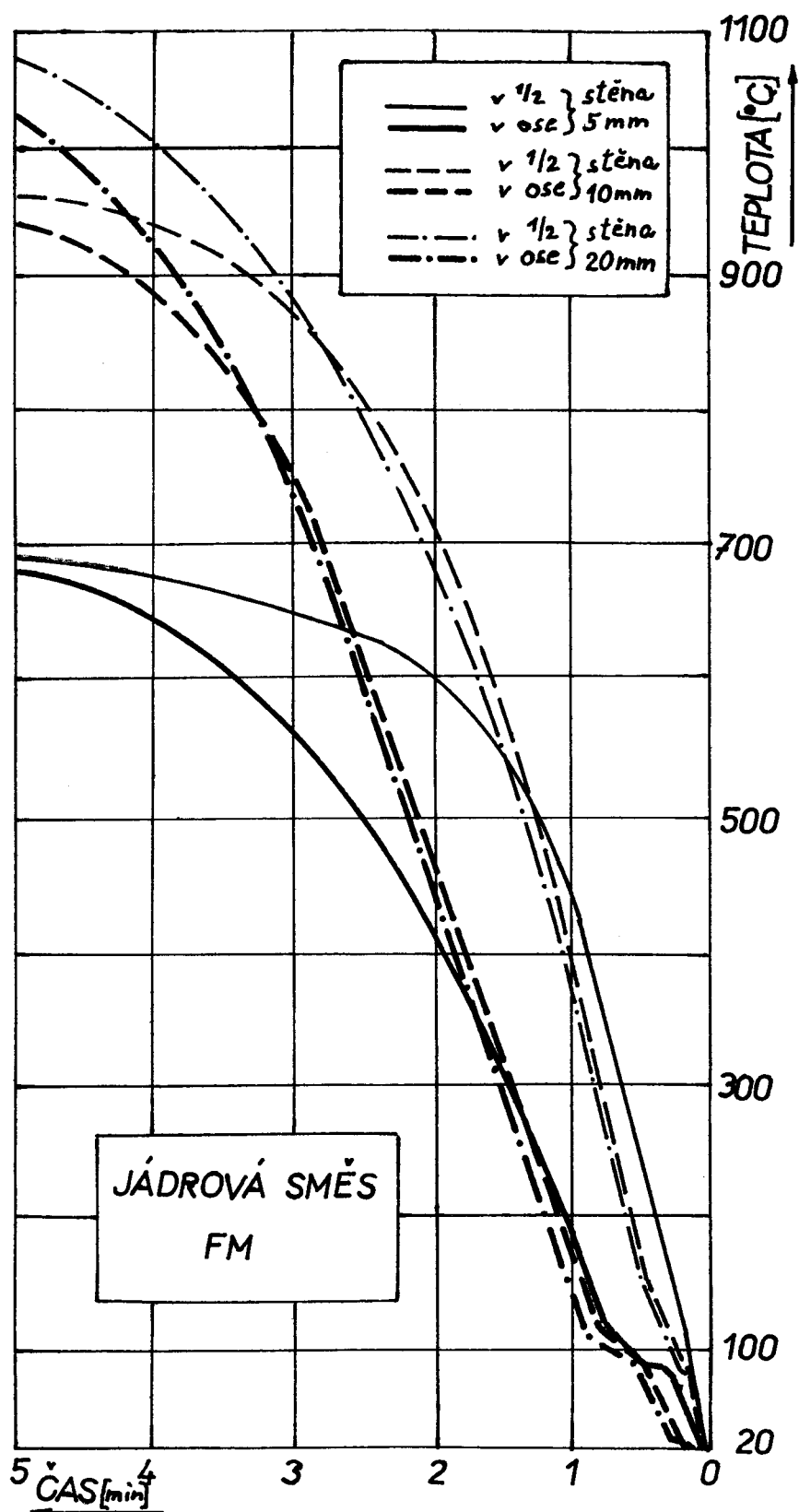




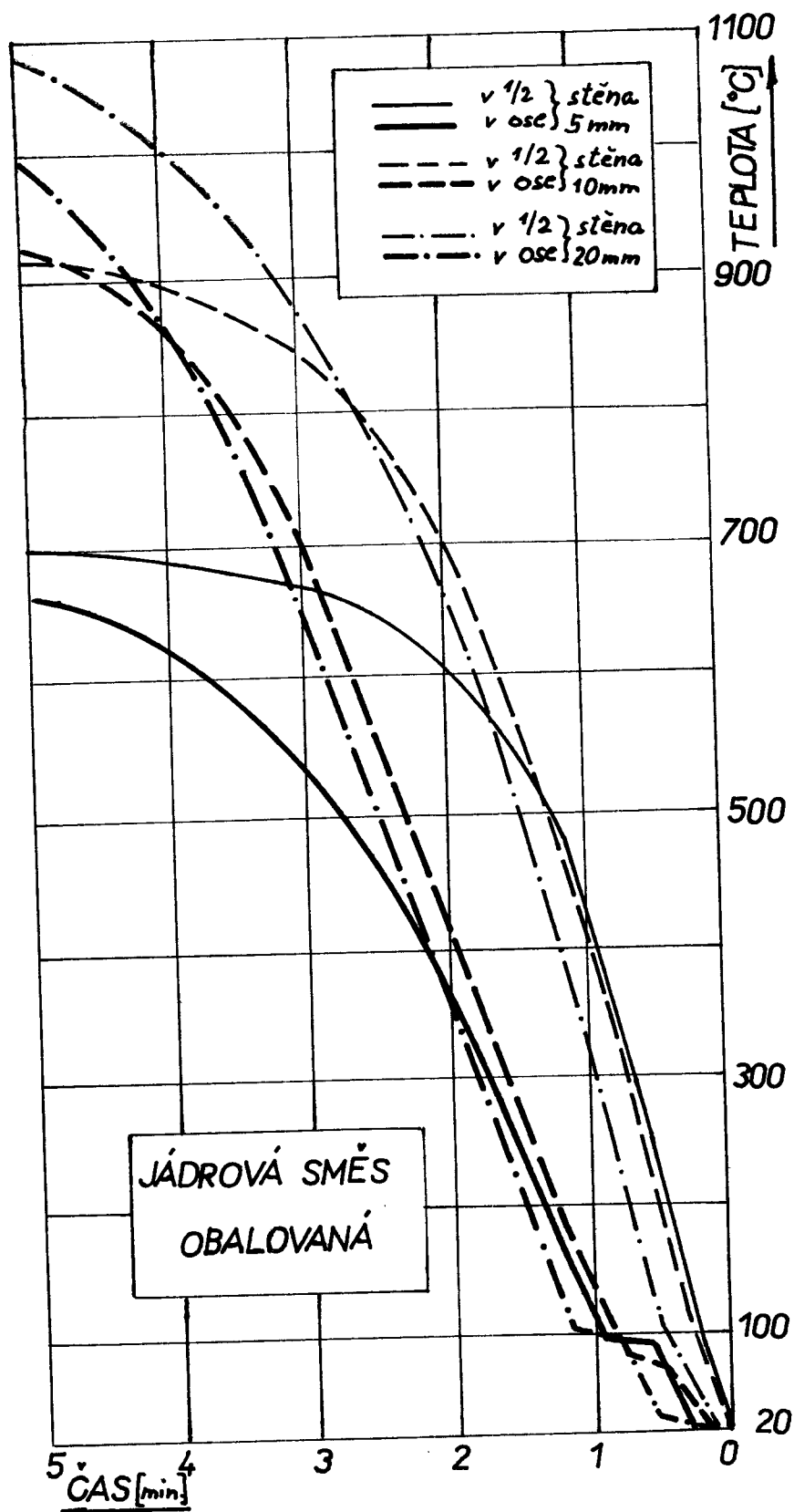
Obr.17. Náběh teplot v jádře ϕ 40 mm v závislosti na čase pro různé tloušťky stěn odlitku.



Obr. 18. Náběh teplot v jádře $\phi 40$ mm v závislosti na čase pro různé tloušťky stěn odlitku.



Obr.19. Náběh teplot v jádře $\varnothing 40$ mm v závislosti na čase pro různé tloušťky stěn odlitku.



Obr.20. Náběh teplot v jádře ϕ 40 mm v závislosti na čase pro různé tloušťky stěn odlitku.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-48-

3.5.3 Průběhy teplot v jádrech pro různé okamžiky tuhnutí a chladnutí odlitku.

Pro různé okamžiky tuhnutí a chladnutí odlitku byly sestrojeny grafy /viz obr. 21 až obr. 26/ znázorňující teplotní pole uvnitř jádra.

Byly zvoleny tyto okamžiky:

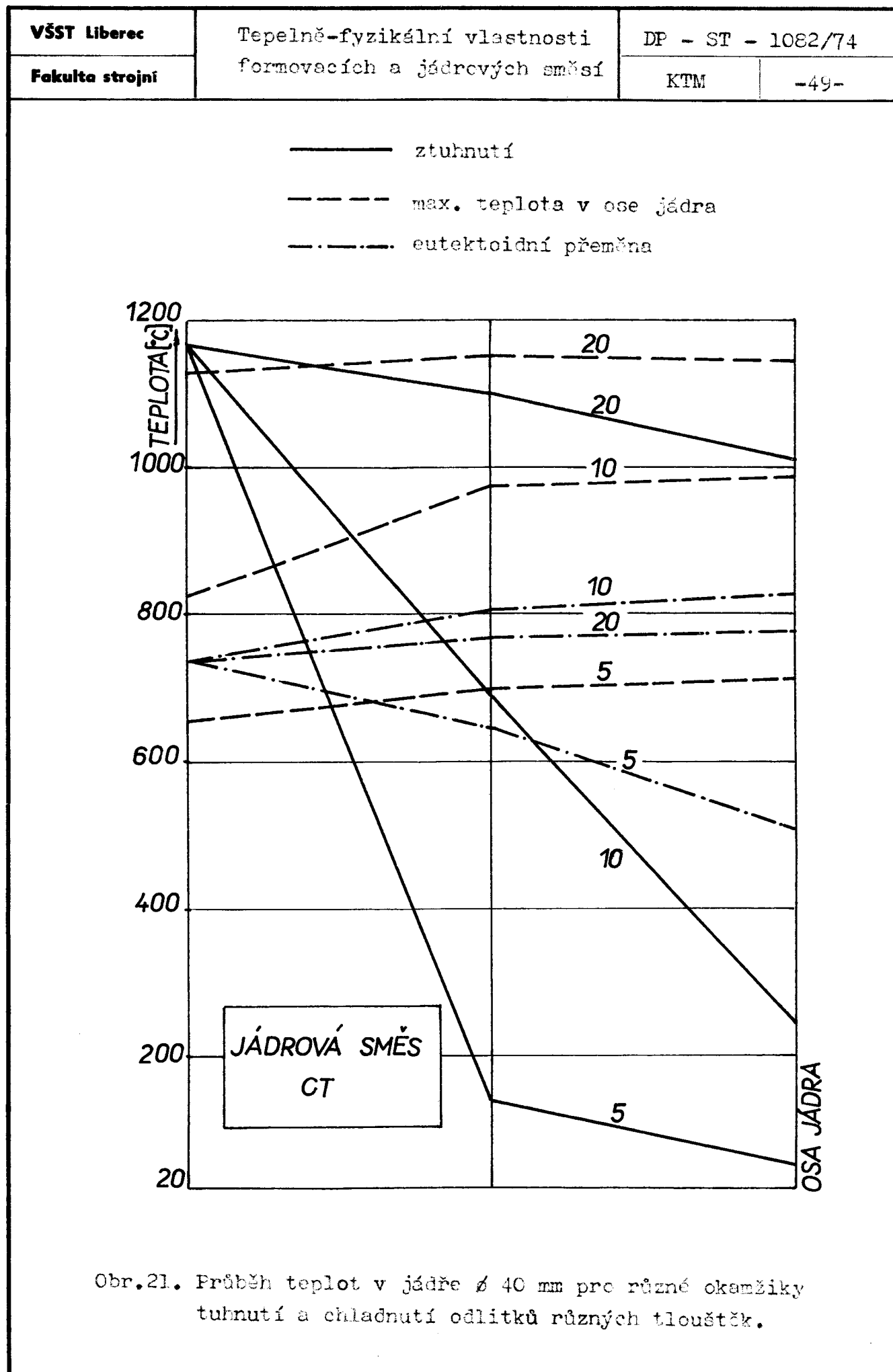
- okamžik konce tuhnutí odlitku
- okamžik dosažení maximální teploty v ose jádra
- okamžik dosažení začátku eutektoidní přeměny.

Všechny tyto časy lze ze záznamu bezpečně odečíst. Tato metodika byla zvolena proto, že se i zde jedná o nestacionární vedení tepla a zvolené okamžiky jsou důležité jak pro odlitek, tak i pro zkoušenou jadrovou směs.

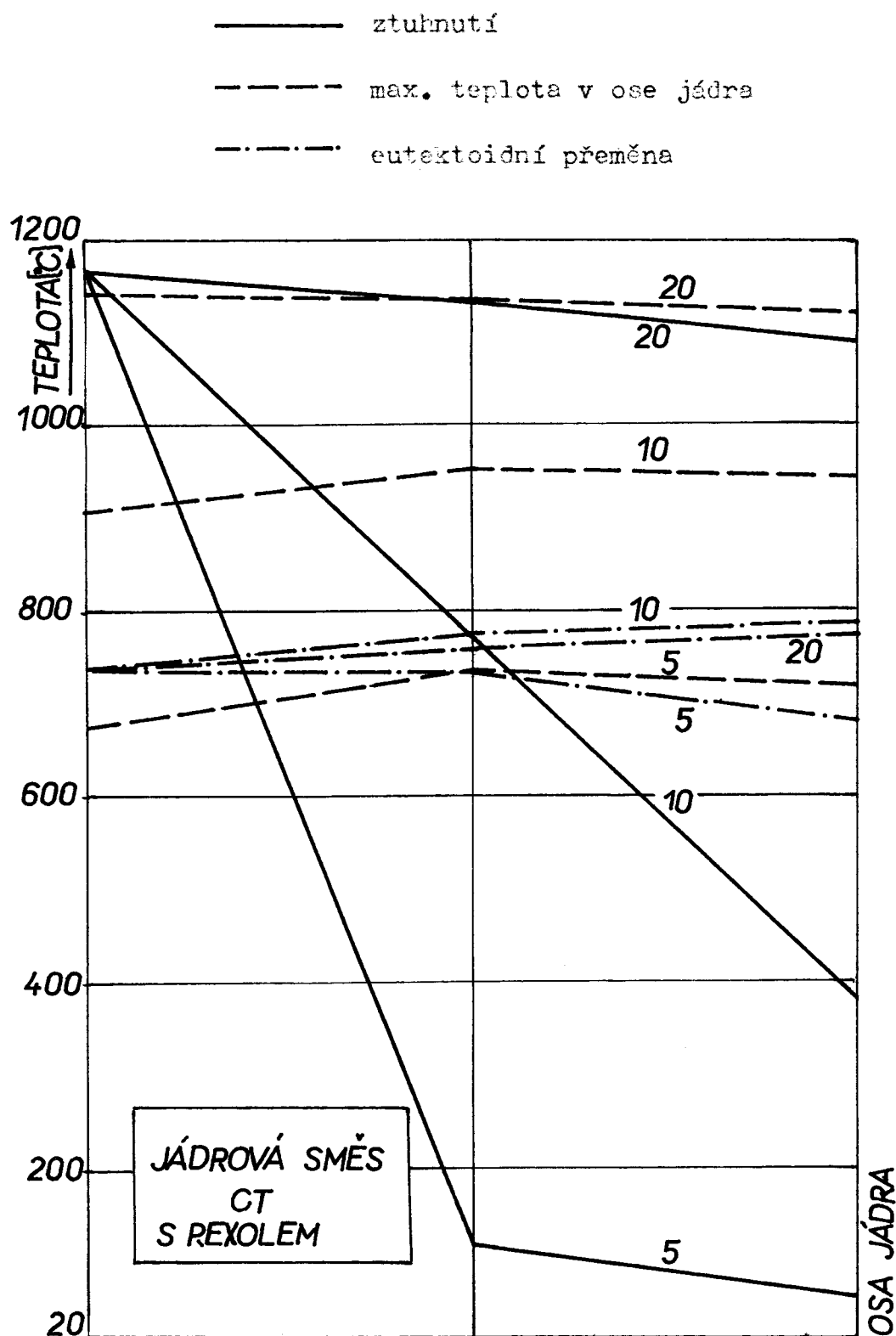
Byly vyneseny pouze hodnoty od rozhraní odlitek - jádro po osu jádra, protože se jedná o symetrické těleso. Body byly spojeny pouze informativně přímkami, protože máme k dispozici pouze tři body.

Každý graf odpovídá jedné jadrové směsi a tloušťka odlitku v [mm] je vždy číslem u příslušné lomené čáry připsána.

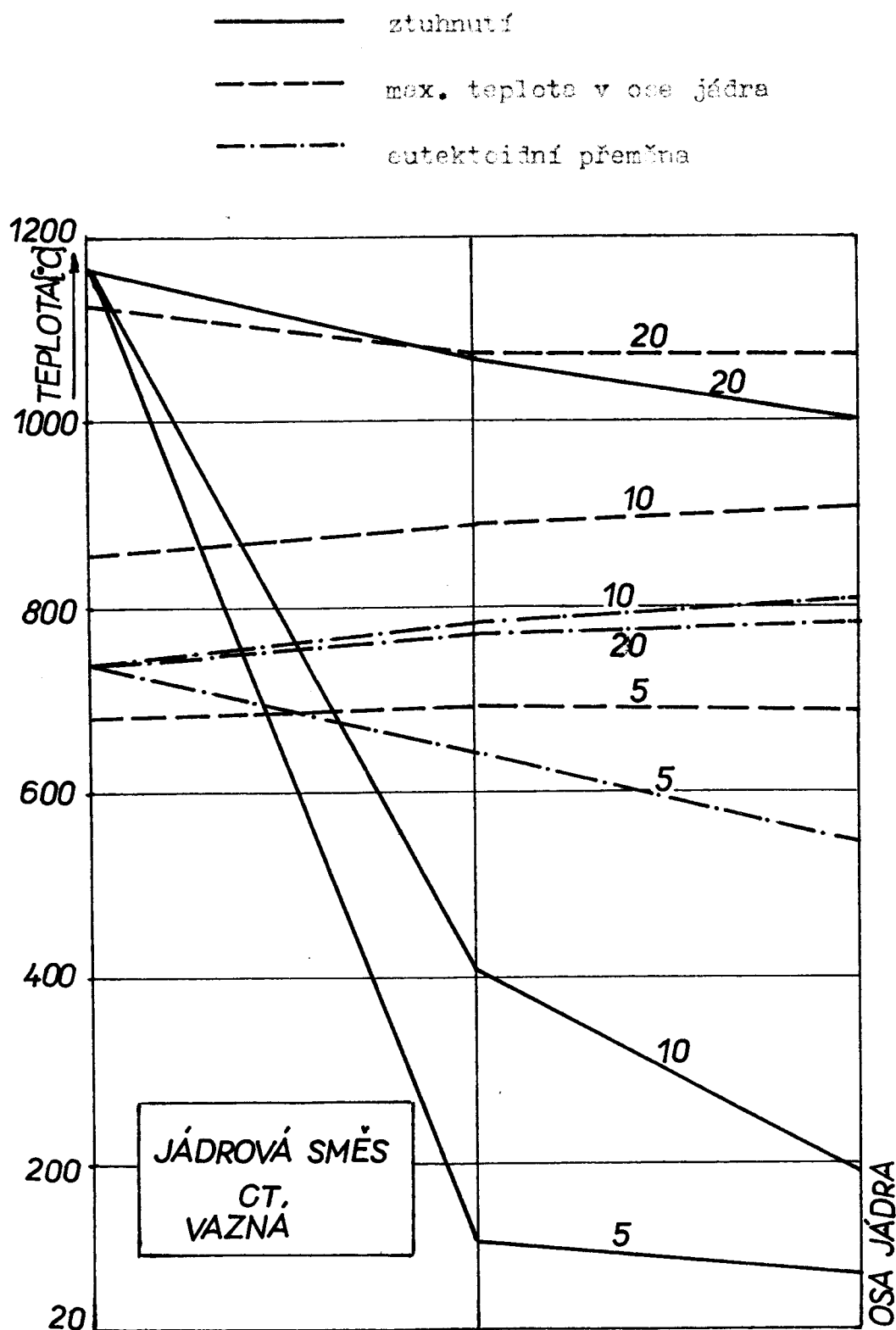
Hodnoty pro sestrojení těchto grafů jsou uvedeny v tab. 5. Chceme-li tyto grafy mezi sebou vzájemně srovnávat, musíme brát v úvahu také časy, které sledovaným okamžikům odpovídají. Tyto časy jsou uvedeny rovněž v tab. 5.



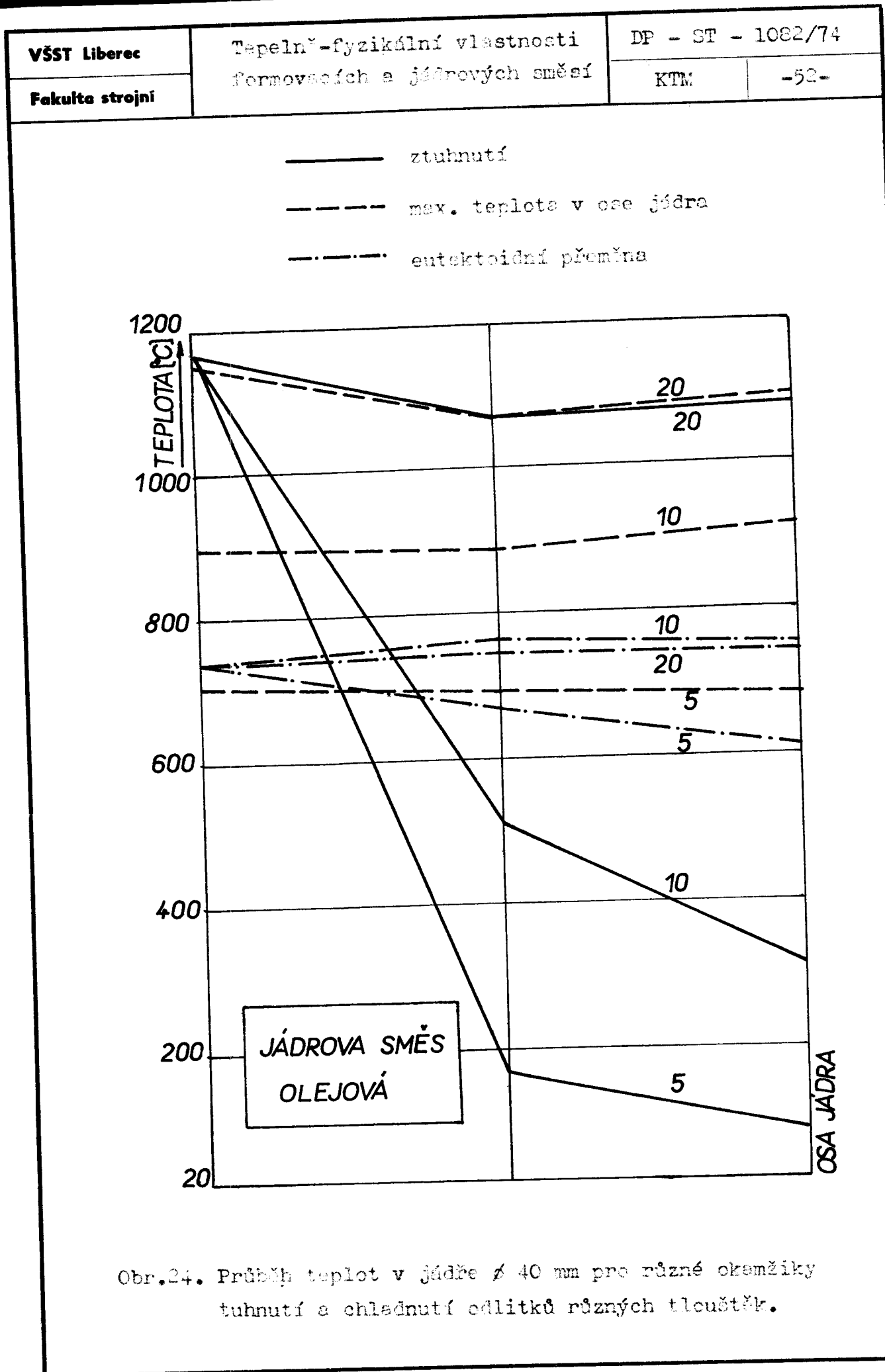
Obr.21. Průběh teplot v jádře $\varnothing$ 40 mm pro různé okamžiky tuhnutí a chlazení odlitků různých tloušťek.



Obr.22. Průběh teplot v jádře $\varnothing 40$ mm pro různé okamžiky
ztuhnutí a chlazení odlitků různých tloušťek.

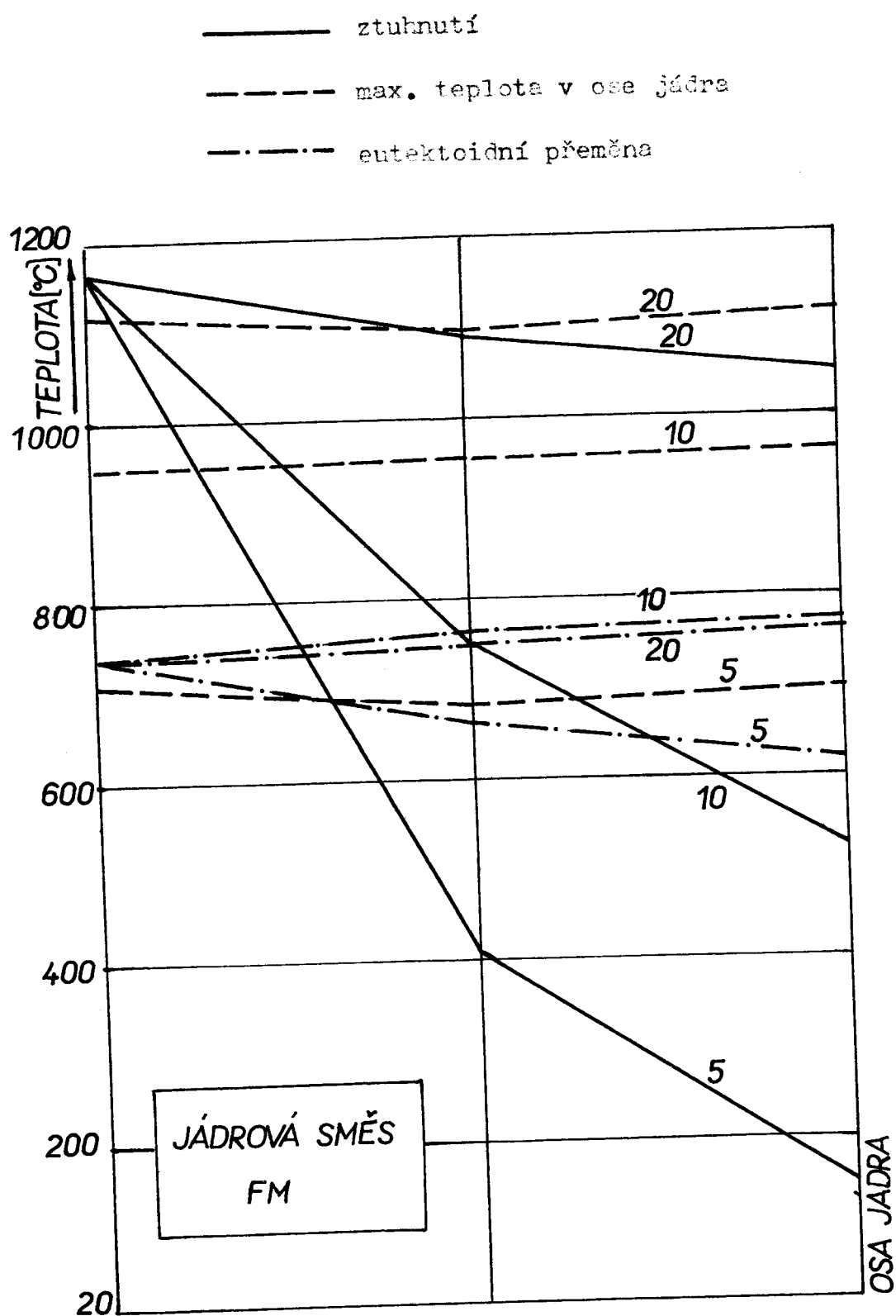


Obr.23. Průběh teplot v jádře $\varnothing$ 40 mm pro různé okružníky
tuhnutí a chlazení odlitků různých tloušťek.

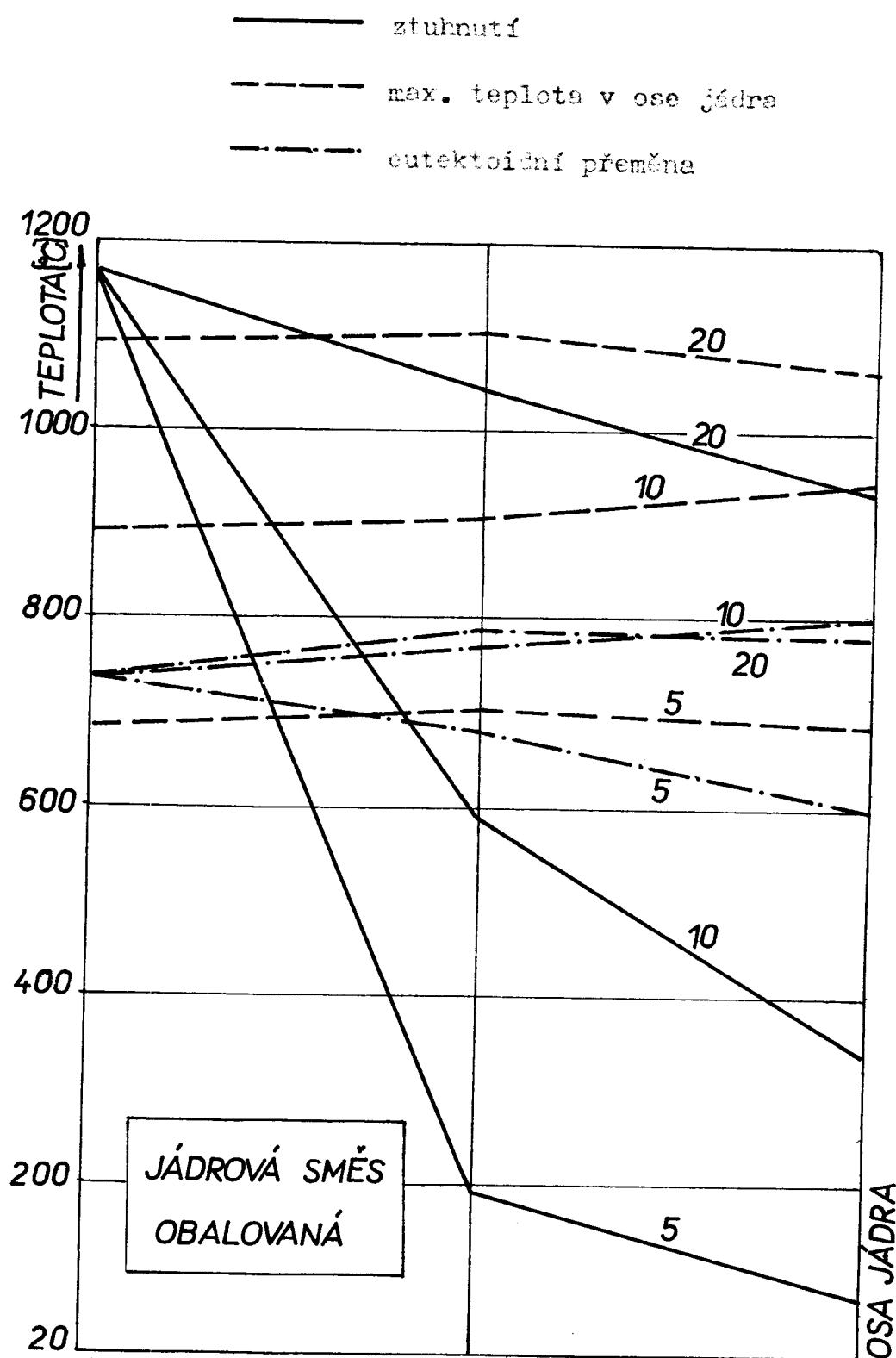


Obr.24. Průběh teplot v jádře $\varnothing 40$ mm pro různé okemžiky tuhnutí a chlazení odlitků různých tloušťek.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-53-



Obr.25. Průběh teplot v jádře ϕ 40 mm pro různé okamžiky tuhnutí a chlazení odlitků různých tloušťek.



Obr. 26. Průběh teplot v j dre $\varnothing 40$ mm pro různé okamžiky
ztuhnutí a chládnutí odlitků různých tlouštěk.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-55-

4. VYPOČTENÉ VÝSLEDKY A HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT.

4.1 Výsledky výpočtu na samočinném počítači MINSK 22.

Z řady výsledků, které tiskne počítač, jsou zde uvedeny pouze nejdůležitější výsledky tepelně-fyzikálních vlastností a některých zajímavých pomocných hodnot.

Číselné označení	C_{FP}		λ_{FP}		b_{FP}		$Q_{FP} \cdot 10^3$ $m^2 h^{-1}$
	$kcal\ kg^{-1}\ deg^{-1}$	$KJ\ kg^{-1}\ deg^{-1}$	$kcal\ m^{-1}\ h^{-1}\ deg^{-1}$	$W\ m^{-1}\ deg^{-1}$	$kcal\ m^{-2}\ h^{-1}\ deg^{-1}$	$KW\ s^{-1}\ m^{-2}\ deg^{-1}$	
DS4101	0,201	0,848	1,118	1,300	18,5	1,291	3,655
DS4202	0,401	1,678	0,657	0,776	20,4	1,420	1,074
DS4303	0,538	2,251	0,530	0,616	21,0	1,466	0,636
DS4404	0,208	0,870	1,697	1,974	23,1	1,610	5,409
VS4101	0,339	1,421	1,138	1,324	24,2	1,681	2,205
VS4202	0,338	1,417	1,037	1,206	23,3	1,627	1,977
VS4303	0,389	1,628	0,984	1,144	24,3	1,699	1,632
VS4404	0,274	1,146	1,458	1,696	24,5	1,713	3,529

Tab.6. Tepelně-fyzikální vlastnosti dle Vejníka - náhrada parabolou.

Číselné označení	$C_{FP.0}$		$\lambda_{FP.0}$		$b_{FP.0}$		$Q_{FP} \cdot 10^3$ $m^2 h^{-1}$
	$kcal\ kg^{-1}\ deg^{-1}$	$KJ\ kg^{-1}\ deg^{-1}$	$kcal\ m^{-1}\ h^{-1}\ deg^{-1}$	$W\ m^{-1}\ deg^{-1}$	$kcal\ m^{-2}\ h^{-1}\ deg^{-1}$	$KW\ s^{-1}\ m^{-2}\ deg^{-1}$	
VS4101	0,233	0,973	1,249	1,450	20,9	1,460	3,500
VS4202	0,244	1,020	1,132	1,528	20,7	1,445	2,995
VS4303	0,293	1,221	1,064	1,249	21,9	1,540	2,341
VS4404	0,184	0,768	1,628	1,880	22,7	1,582	5,890

Tab.7. Opravené hodnoty na tvar odlitku.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-56-

Číselné označení	CFS		λ_{FS}		bFS		$\alpha_{FS} \cdot 10^3$ $m^2 h^{-1}$
	$kcal kg^{-1} deg^{-1}$	$KJ kg^{-1} deg^{-1}$	$kcal m^{-1} h deg^{-1}$	$W m^{-1} deg^{-1}$	$kcal m h^{-1} deg^{-1}$	$KWs^{\frac{1}{2}} m deg^{-1}$	
DS4101	0,151	0,634	1,891	2,199	20,9	1,456	8,213
DS4202	0,175	0,734	2,245	2,612	24,7	1,724	8,262
DS4303	0,218	0,914	1,949	2,167	25,7	1,792	5,758
DS4404	0,158	0,662	2,826	3,287	26,0	1,813	11,835
VS4101	0,183	0,768	2,968	3,452	28,8	2,607	10,651
VS4202	0,189	0,789	2,601	3,025	27,6	1,924	8,900
VS4303	0,214	0,897	2,503	2,911	28,8	2,011	7,540
VS4404	0,181	0,758	2,932	3,411	28,3	1,976	10,723

Tab.8. Tepelně-fyzikální vlastnosti dle Vejníka - náhrada sinusovkou.

Číselné označení	Konstanty tuhnutí $\cdot 10^4 [mh^{-1}]$						LEF.1		LEF.2	
	K_{celk}	K_{NAH}	$K_{VYM.1}$	$K_{VYM.2}$	$K_{KOR.1}$	$K_{KOR.2}$	$\frac{kcal}{kg}$	$\frac{KJ}{kg}$	$\frac{kcal}{kg}$	$\frac{KJ}{kg}$
DS4101	4,758	5,164	5,259	5,015	6,168	5,454	84	353	75	312
DS4202	5,345	6,222	6,394	5,893	7,247	6,255	88	369	76	318
DS4303	6,030	7,385	6,831	6,443	7,462	6,732	90	337	73	304
DS4404	5,477	6,222	6,580	6,054	7,589	6,481	90	347	77	322
VS4101	5,620	6,222	7,357	6,546	8,189	6,851	95	397	79	332
VS4202	6,030	7,385	7,244	6,665	8,101	7,024	87	366	76	317
VS4303	6,547	8,660	7,931	7,272	8,455	7,486	84	351	74	311
VS4404	5,970	7,223	7,141	6,582	8,271	7,064	90	319	77	322

Tab.9. Konstanty tuhnutí a efektivní latentní tepla.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-57-

4.2 Hodnocení výsledků výpočtu na samočinném počítači.

Stávající program P-0129, podle kterého samočinný počítač MINSK 22 počítá, pracuje spolehlivě. Vzhledem k tomu, že není zcela dokončen v části korekce na tvar odlitku počítá vše jako desku.

Přepočet na tvar odlitku je tedy nutno prozatím provádět ručně, viz tab. 7. Opravné koeficienty na tvar, vyskytující se v rovnicích (19) až (22), jsou pro ruční počítání značně zdlouhavé a naopak pro strojní výpočet výhodné, protože se jedná pouze o základní matematické operace. Zdokonalení stávajícího programu P-0129 v tomto směru by bylo velice vhodné a účelné.

V souladu s praxí a s [8] potvrdilo vlastní měření a výpočet, že normální CT směsi více akumulují teplo, než obvyklá formovací písková směs - viz tab. 6 a tab. 7. Dolní polovina tab. 6 není ještě přepočtena na tvar odlitku a správné přepočtené hodnoty jsou v tab. 7.

Zvláštní postavení v CT směsích zaujímá CT směs s přísadkou rexolu pro zvýšení rozpodávosti jader. Tato směs se vyznačuje největším měrným teplem c_F a současně nejmenším koeficientem tepelné vodivosti λ_F . To způsobuje, že při stejné hodnotě tepelné akumulace formy, teploty ve stěně formy stoupají pomaleji.

Změna vzájemného poměru λ_F / c_F se potom projeví v nejmenší hodnotě koeficientu teplotní vodivosti a_F .

Provedeným měřením se opět ukázalo, že sinusoida není vhodnou náhradní křivkou - viz tab. 8.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-58-

4.3 Výsledky výpočtu jader.

V tab. 10 je přehled vypočtených hodnot tepla, které akumulovalo jádro a forma. Výpočet probíhal dle zvolené metodiky v 3.4.4.

Materiál jádra	Číselné označení	n_D	$Q_{ak.J}$		$Q_{ak.F}$		$Q_{ak.J} + Q_{ak.F}$		Q_T	
			kcal	KJ	kcal	KJ	kcal	KJ	kcal	KJ
Jádrová směs CT	J4002-05	3,60	40	167	67	270	107	443	109	455
	J4002-10	1,04	78	328	171	715	249	1043	245	1025
	J4002-20	0,85	106	442	372	1550	478	1992	511	2140
Jádrová směs CT rexolem	J4003-05	4,25	44	184	67	280	111	464	104	435
	J4003-10	1,13	98	410	220	920	318	1330	243	1015
	J4003-20	0,86	129	530	520	2175	649	2705	513	2140
Jádrová směs CT vazna	J4004-05	4,98	26	109	61	254	87	363	104	435
	J4004-10	2,26	44	184	164	685	208	869	239	999
	J4004-20	1,39	75	312	460	1920	535	2232	505	2120

Tab.10. Vypočtené hodnoty zkoušení jader.

4.4 Hodnocení výpočtu jader.

Přesnost zvolené metodiky vyplývá ze srovnání součtu $Q_{ak.J} + Q_{ak.F}$ s teplem uvolněným ztuhnutím odlitku Q_T .

U jádrové směsi CT a jádrové směsi CT vazné pro všechny tloušťky stěn odlitku a u jádrové směsi s rexolem pro tloušťku stěny odlitku 5 mm toto srovnání zhruba odpovídá.

Zajímavé výsledky vycházejí u směsi CT s rexolem pro tloušťky stěn odlitku 10 a 20 mm. Vychází tam totiž, že se akumuluje více tepla, než může dodat odlitek v okamžiku ztuhnutí.

Vysvětlení by mohlo být v tom, že přítomný rexol je zdroj tepla.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DF - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-59-

4.5. Hodnocení náběhů teplot v jádrech.

Na obr. 15 až na obr. 20 jsou nakresleny náběhy teplot v jádrech. U všech se kolem 100° C projevuje kondenzační zóna. U jádrových CT směsí je tato zóna výrazná, zejména u jádrové směsi CT vazné. Je to způsobeno tím, že má vyšší vlhkost v důsledku přítomného bentonitu. Hodnoty vlhkostí uvedeny v tab. 2.

Zmíněná kondenzační zóna se však projevuje i u ostatních směsí. U směsi FM a obalované směsi zřejmě kondenzují těžké složky pryskyřic, rozpouštědel, katalyzátorů a pod.

Porovnáním rychlostí náběhů teplot / t.j. strmosti průběhu / zjistíme, že nejrychleji nabíhala teplota v jádrové směsi CT. Náběhy teplot u jádrové směsi FM a jádrové směsi obalované byly shodné, což není nikterak překvapující, protože obsahují podobný typ pryskyřičného pojiva. Náběhy velmi podobné zmíněným směsím měly i jádrové směs olejová a jádrová CT směs s rexolem. Nejpomalejší náběh teplot ze všech směsí byl naměřen u jádrové směsi CT vazné.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-50-

4.6. Hodnocení zvolené metodiky.

Při celkovém hodnocení metodiky se ukázalo, že získané hodnoty b_F , c_F , λ_F , a_F pro jádrové směsi získané z měření forem s odlitkem desky nebo válce mají svůj význam, i když víme, že nejsou respektovány podmínky, kterým jsou vystavena jádra, t.j. odlitek neobklopuje jádrovou směs. Tyto hodnoty jsou důležité pro navržený výpočet tepla akumulovaného jádrem. Z tohoto důvodu by bylo dobré doměřit zbývající jádrové směsi, t.j. jádrovou směs olejovou, jádrovou směs FM a jádrovou směs obalovanou jako formy pro odlitek tvaru desky a válce. Modely budou muset být bezpodmínečně kovové, protože budou muset odolat vytvrzovací teplotě $250 + 300^\circ \text{C}$.

Přestože výpočet tepelné bilance měřených odlitků forem a jader bylo možno uskutečnit pouze u jádrových CT směsí, ukazují tyto první výsledky, že metodika tohoto výpočtu v prvním přiblížení - s úvahou ztrát na šelech odlitku a známkami jader - ukazuje na dobrou shodu s výsledky experimentu a bude nutno ji dále ověřit i na jiných typech jádrových směsí, zejména s pryskyřičnými pojivy a s větším počtem měření.

Z výsledků získaných použitou metodikou se dá usuzovat na to, zda se směs, jako pravé jádro chová stejně jako forma, či nikoliv.

V případě rovnosti součtu $Q_{ak.J} + Q_{ak.F}$ a tepla uvolněného odlitkem v okamžiku ztuhnutí Q_T se pro uvažované konkrétní případy jádrové směsi, použité jako pravá jádra, chovají podobně jako formy. V tom případě, že se akumuluje tepla více, než mohl poskytnout ztuhlý odlitek, musíme uvažovat vnitřní zdroje tepla v jádrech.

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jadrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-61-

5. Z Á V Ě R .

Tato práce měla za úkol rozšířit dosavadní znalosti o problémech zjišťování hodnot tepelně-fyzikálních vlastností formy. Dále se měla pokusit o vypracování nové metodiky stanovení tepelně-fyzikálních vlastností jadrových směsí při respektování podmínek, kterým jsou jadra vystavena.

Cílem práce bylo přispět k hlubšímu poznání formovacích a jadrových směsí, používaných v n.p. LIAZ Liberec s ohledem na náročnost při výrobě složitých automobilových odlitků. Podle hodnocení pracovníků slévárny získané výsledky budou užitečné ve směru propracovávání technologií odlitků s minimální hodnotou vnitřního pnutí bez dodatečného žíhání. Jedině dobrou znalostí tepelně-fyzikálních vlastností můžeme různé směsi účelně používat a získávat odlitky s požadovanou strukturou a mechanickými vlastnostmi.

Pokládám za svou povinnost poděkovat pracovníkům Katedry technologie a nauky o materiálu VŠST v Liberci pod vedením s. doc. inž. Václava Chaloupeckého, CSc. za vytvoření podmínek pro vypracování této diplomové práce.

Dále děkuji s. Miroslavu Landovi - vývojovému šlevači - za účinnou pomoc při výrobě forem, s. Drahomíru Vlachovi - vedoucímu laboratoře - za zajištění některých prací v laboratoři. Zejména pak děkuji svému konzultantovi, s. inž. Jaroslavu Exnerovi, CSc. - vedoucímu metalurgovi - za odborné vedení a nepostradatelné rady.

V Liberci 30.5.1974

Pavel Slavík
.....
Pavel Slavík

VŠST Liberec	Tepelně-fyzikální vlastnosti formovacích a jádrových směsí	DP - ST - 1082/74	
Fakulta strojní		KTM	-62-

6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.

- [1] Kolektiv: Problemy teploobměna litje
Sbornik pod ved. A.I.Vejnika, MINSK 1960
- [2] Vejník, A.I.: Teorijsa zatvėrděvanijsa otlivki.
Moskva 1960, Mašgiz.
- [3] Vejník, A.I.: Približennij rasčot procesov teploprovodnosti
Moskva 1959, GEI.
- [4] Hak, A.: Studium podmínek elektrosanalógovéhó modelování tepelných dějů při tuhnutí a chlazení odlitků v keramických formách. Diplomová práce VŠST Liberec 1970 /ved.DP a konsultant ing.J.Exner CSc/.
- [5] Hejčánek, V.: Studium teplotního pole odlitku a formy při odlévání odlitků jednoduchých tvarů ze slitin Al-Si s různým obsahem Si do pískových a keramických forem. Diplomová práce VŠST Liberec 1971 /ved. DP a konsultant ing.J.Exner CSc/.
- [6] Havlíček, F. - Elbel, T.: Studium tepelně-fyzikálních vlastností formy. "Slévárenství" 1969, č.9, s.366+372.
- [7] Kavička, F. - Šimoník, S.: Shrnutí pramenů pro řešení teplotního pole odlitku a formy při odlévání. "Slévárenství" 1970, č.3-4, s.157+180.
- [8] Vetiška, A.: K problematice kalorimetrického zjišťování tepelně-akumulačních vlastností formy. "Slévárenství" 1974, č.1, s.13+17.
- [9] Exner, J.: Závěrečná zpráva státního úkolu F-6-41-36/2, část B, VŠST Liberec 1970.
- [10] Exner, J.: Stanovení tepelně-fyzikálních vlastností keramických forem /koncept/.