

Vysoká škola: strojní a textilní
v Liberci

Katedra: materiálu a strojírenské
metalurgie

Fakulta: strojní

Školní rok: 1979/80

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Iva NOVÁ

obor strojírenská technologie

~~Vysoká škola strojní a textilní v Liberci,~~
~~metalurgie~~

Protože jste splnil..... požadavek svého plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: ~~Strojní~~ Sušení forem ze sádrových směsí

~~metalurgie~~

~~strojírenská metalurgie~~

~~Katedra strojní a strojírenské metalurgie~~
Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou a vypracujte rešerši o teorii a praxi sušení sáder a sádrových směsí.
2. Pokuste se o rozbor procesu sušení forem ze sádrových směsí na základě aplikace fyz.chemických zákonitostí.
3. Navrhněte laboratorní zařízení pro termo-gravimetrii, realizovatelné v laboratorních podmínkách KLM, včetně kontrolní metody.
4. Zpracujte potřebnou dokumentaci návrhu a zhodnoťte jej po stránce funkční; vypracujte podrobný postup práce na navrhovaném zařízení.
5. Proveďte termo-gravimetrii několika druhů sáder a směsí za různých podmínek.
6. Výsledky experimentů vyhodnoťte a formulujte závěry použitelné při návrhu optimálního pochodu sušení forem ze sádrových směsí.

Autorské právo se řídí směrnicí
MŠK pro státní záv. zkoušky
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVII, sešit 24/25
ze 31.8.1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

Vedoucí práce: Doc. Ing.

V 23/1980 S
Doc. Ing. Jaroslav Holubec, CSc.

Vysoká škola strojní a textilní

Ústřední knihovna

Prof. Ing. Jaroslav Holubec

Liberec

Vysoká škola: strojní a textilní
v Liberci

Katedra: materiálu a strojírenské
metalurgie

Fakulta: strojní

Školní rok: 1979/80

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Iva NOVÁ
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 diplomový úkol:

Název tématu: Studium sušení forem ze sádrových směsí

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou a vypracujte rešerši o teorii a praxi sušení sáder a sádrových směsí.
2. Pokuste se o rozbor procesu sušení forem ze sádrových směsí na základě aplikace fyz.chemických zákonitostí.
3. Navrhněte laboratorní zařízení pro termo-gravimetrii, realizovatelné v laboratorních podmínkách KMM, včetně kontrolní metody.
4. Zpracujte potřebnou dokumentaci návrhu a zhodnoťte jej po stránce funkční; vypracujte podrobný postup práce na navrhovaném zařízení.
5. Proveďte termogravimetrii několika druhů sáder a směsí za různých podmínek.
6. Výsledky experimentů vyhodnoťte a formulujte závěry použitelné při návrhu optimálního pochodu sušení forem ze sádrových směsí.

Autorské právo se řídí směrnicí
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j.
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31.8.1962 §19 aut. z.č. 115/53 Sb.

V 23/1980 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací: tabulky, grafy, schemata

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran textu

Seznam odborné literatury:

Kalous, V.: Základy fyzikálně chemických metod
Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních cvičení I.
Lušniak - Lech, L.: Způsob přípravy propustných sádrových forem
pro výrobu přesných odlitků. Referát.
Články z časopisů Slévárenství, Litejného průmyslu

Vedoucí diplomové práce: Ing. Zdeněk Holubec, CSc

Konsultanti: Prom.chem. Jana Kulhánková

Datum zahájení diplomové práce: 8. října 1979

Datum odevzdání diplomové práce: 23. května 1980

Doc. Ing. Václav Chaloupecký, CSc

Vedoucí katedry



Doc. RNDr. Bohuslav Stríž, CSc

Děkan

Význam študijního stroje a ventilu v liberci,
konstrukce študijního stroje
Příloha stroje

Číslo: 23 - 07 - 2

Strojní konstrukce
Příloha

Strojní konstrukce
Příloha

Konstrukce motoru a strojního katalogu

STUDIJNÍ STROJ V LIBERC
KONSTRUKCE STROJE

Ivo B. v. s.

DT - 23 - 1992/50

Význam študijního stroje: Det. Ing. Zdeněk Holubec, ČSc.
KRM VŠST Liberec

Konstrukce: Ing. Zdeněk Holubec, ČSc.
KRM VŠST Liberec

Strojní konstrukce a příloha

Příloha stroje 23

Příloha stroje 30

Příloha stroje 10

Příloha stroje 1

DT 621.744.50

23. květen 1990

* Hlavní úkolem společnosti, na jehož splnění je
vynášena odpovědnost a poskytnutí finanční literatury. *

Ma. Kovač

* Listopad 19. listopad 1988

Develte mi, abych tute
sveu práci věnovala svému
milevanému tatínkovi
in memoriam

O B S A H

		strana
1.	Ú V O D	8
2.	T H E O R E T I C K Á Č Á S T	10
2.1	POPIS SÁDRY A SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMÍŠÍ	10
2.1.1	Výroba a vlastnosti sádry	10
2.1.2	Směšování sádry	12
2.1.3	Sádrové formovací směsi	14
2.2	FORMY ZE SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMÍŠÍ	15
2.2.1	Podklady na formy ze sádrových formova- cích směsí	15
2.2.2	Výroba forem ze sádrových formovacích směsí	16
2.3	PROCES SUŠENÍ FORMY ZE SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMÍŠÍ	17
2.3.1	Základní teorie sušení forem ze sádrových formovacích směsí	17
2.3.2	Režim sušících procesů	19
2.3.2.1	Teorie sušení za konstantních podmínek	20
2.3.2.1.1	Výpočet doby sušení při konstantní rychlosti	22
2.3.3	Sušení forem ze sádrových formovacích směsí	22
2.4	ROZKROUK EXPERIMENTÁLNÍHO STUDIA TEPEL- NÍHO PRACOVÁNÍ FORMY ZE SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMÍŠÍ	27
2.4.1	Diferenční termická analýza	27
2.4.2	Termogravimetrie	29

		strana
2.5	FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÝ POPIS SUŠENÍ FOREM ZE SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ	30
2.5.1	Popis termodynamických vlastností sádry a sádrových formovacích směsí	31
2.5.2	Podmínky ohřevu a prostup tepla formou vyrobenou ze sádrových formovacích směsí	31
2.5.3	Řešení prostupu tepla vzorkem ze sádrové formovací směsí	32
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	35
3.1	NÁVRH A OVĚŘENÍ METODIKY A MĚŘÍ- CÍHO ZAŘÍZENÍ PRO STUDIUM TEPEL- NĚHO ZPRACOVÁNÍ FOREM ZE SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ	35
3.1.1	Základní požadavky na metodiku a měří- cí zařízení.	35
3.2	ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA METODIKU A MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ PRO STUDIUM PROCE- SU SUŠENÍ SÁDROVÝCH VZORKŮ	35
3.2.1	Princip měřicího zařízení	36
3.2.2	Popis navrhovaného zařízení	37
3.2.2.1	Konstrukce navrhovaného zařízení	38
3.2.2.2	Měření teploty při sušení vzorků ze sá- drových formovacích směsí	38
3.3	OVĚŘOVACÍ MĚŘENÍ	39

		strana
3.3.1	Príprava vzorky pre termogravimetrické meranie	40
3.3.2	Postup pri príprave vzorky	40
3.3.2.1	Určenie vhodného množstva	41
4.	VÝSLEDKY TERMOTERMOTRAN- SFORMOVACÍCH MERANÍ VZORKY Z SÍDROVÝCH FORMOVACÍCH MERANÍ PRÍPRAVENÝCH NA VŠET PRANA	46
4.1	Forma získanej formy na VŠET PRANA	46
4.2	Forma získanej formy	47
4.3	Výsledky meraní	47
5.	VÝSLEDKY MERANÍ MERANÍ MERANÍ MERANÍ VZORKY Z SÍDROVÝCH FORMOVACÍCH MERANÍ	50
5.1	Forma a meranie EXPERIMENTU	50
5.2	Forma a meranie výskumu meraní na VŠET A VŠET	50
5.3	Forma a meranie formy	51
6.	VÝSLEDKY MERANÍ	52
6.1	Výsledky meraní formy formy V výskume na výskume	53
6.2	Výsledky meraní formy formy VŠET VŠET	54
7.	BÁŤ	57
8.	BÁŤ FORMY LITERA- TURY	58
9.	SEKCE PRÍLOH	60

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATK A SYMBOLŮ

w	hmotová rychlost sušení	$/\text{kg s}^{-1}/$
w	anodová ovládací vlákná	$/\text{kg s}^{-1}/$
S	styková plocha sušící formy	$/\text{m}^2/$
t	čas sušení	$/\text{s}/$
a_0	hmotnost sušící formy se odčerpá formovací sušící	$/\text{kg}/$
t_1	čas sušení při konstantní rychlosti	$/\text{s}/$
w_1	hmotová rychlost sušení na konci periody	$/\text{kg s}^{-1}/$
a_x	charakteristická hmotnost vakuu při sušení	$/\text{kg}/$
a_0	konstanta spotřeby vakuu	$/\text{kg}/$
a	hmotnost vakuu před sušením	$/\text{kg}/$
α	koeficient difúze	$/\text{m}^2/\text{s}/$
γ	tepota sušení	$/\text{kg}/$
p_{pa}	parciální tlak vody nad vyměňovací formou	$/\text{Pa}/$
p_{pv}	parciální tlak vody nad vakuem	$/\text{Pa}/$
J	úroveň tepelné vodivosti	$/\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}/$
Q	tepelný tok	$/\text{W}/$
ρ	poloměr vakuu	$/\text{m}/$
i	výška vakuu	$/\text{m}/$
S_1	plocha kolmá na směru tepelného toku	$/\text{m}^2/$
T_1	tepota na povrchu vakuu	$/^\circ\text{C}/$
T_2	tepota uvnitř /ve středu/ vakuu	$/^\circ\text{C}/$

1. Ú V O D

Jedním z hlavních úkolů, vyžadujících se odvětví XV. a jím
KŠ souvisejícím a zejména rostoucí strojírenskou výrobou, je
zvýšení nejen produktivity práce, ale i přesnosti a kvality
výrobků se snižováním se náklady na suroviny a energii.

Vědeckotechnický rozvoj socialistické výroby je založen na
vývoji techniky v plném využití poznatků vědeckotechnického
pokroku ve výrobní praxi.

Strojovnictví, které je důležitou součástí celé strojírenské
výroby, se musí orientovat na takové formy technologie odlišné,
které umožňují snížit spotřebu času a přesnosti ve strojírenské
výrobě. Jedná se především o stát výrobky odlišné a vyšší rozší-
řenou a tvarovou přesností. Jednou z metod, která tyto požadav-
ky zahrnuje, je odlišná do formy na odlišných formovacích
metodách. Součástí výroby této technologií zvyšují také dal-
ší zpracování a jejich tvarové a rozměrové přesnosti jsou velmi
důležité. Jedná se především o metody, které se především používají
při výrobě umělejších součástí ze slitin hliníku, v některých
případech i ze slitin oceli. Tato metoda poskytuje výhodu mnohem
vyšší přesnosti ve zpracování a hlavnější přesnosti lití do pís-
kových forem. Další velkou výhodou je dosažení vysoké přesnosti
celé povrchu odlišné. Pro zajištění dobré kvality výrobků (od-
lišné) litých do forem na odlišných metodách je třeba vyřadit mno-
ho úkolů, vyžadujících se fyzikálněmechanických, ale i technologických
vlastností odlišné a zejména odlišných formovacích metod.

Jedním z hlavních důvodů je skutečnost, že komunismus není jen
ideou, ale je i způsobem života, který se projevuje v každém
odstupu od ideálu, neboť se jedná o ideu, která
je v každém z nás.

Skutek je důležitý i v oblasti na úrovni společenské, kdy
se jedná o ideu.

Skutek se objevuje nejen v oblasti společenské, ale i v oblasti
ideální a morální, která je důležitá pro celou společnost.
Skutek se objevuje i v oblasti společenské, která je důležitá
pro celou společnost. Skutek se objevuje i v oblasti společenské,
která je důležitá pro celou společnost. Skutek se objevuje i v
oblasti společenské, která je důležitá pro celou společnost.
Skutek se objevuje i v oblasti společenské, která je důležitá
pro celou společnost. Skutek se objevuje i v oblasti společenské,
která je důležitá pro celou společnost. Skutek se objevuje i v
oblasti společenské, která je důležitá pro celou společnost.

2. T E O R E T I C K Á Č Á S T

2.1 P O P I S S Á D R Y A S Á D R O V Ý C H F O R M O V A C Í C H S M Ě S Í

2.1.1 V ý r e b a a v l a s t n o s t i s á d r y

Prášková sádra se získává pálením sádrovce, to je minerál veškeraný síran vápenatý ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) rozemletý na moučku. Po smíchání prášku s potřebným množstvím t. zv. r o z d ě l o v a c í v o d y suspenze za určitého času stvrdne a tuhne /1/.

Sádrovec je minerál krystalizující v jednodenné soustavě nejčastěji v tabulkách, sloupcích jednodenného čtvercového nebo obdelného tvaru. Je stejny podle jedné roviny souměrnosti. Je čistý až bílý, ale často bývá znečištěn hlínou a sloučeninami železa. Do teploty 42°C je stálý, při vyšších teplotách ztrácí postupně krystalicky vázanou vodu /1/.

Sádra je v podstatě síran vápenatý (CaSO_4) s určitým množstvím vázané vody, čili hydraulicky tuhneící maltema, vyráběná odvodněním sádrovce. Při pálení sádrovce na $107 - 180^\circ\text{C}$ vzniká voda z původních $2\text{H}_2\text{O}$ jen $1/2 \text{ H}_2\text{O}$, t. j., že z dihydrátu vzniká polodihydrát ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{ H}_2\text{O}$). Při teplotě nad 180°C ztrácí sádra i polovinu molekuly vody ($1/2 \text{ H}_2\text{O}$) a mění se při $190 - 200^\circ\text{C}$ v bezvodý síran vápenatý CaSO_4 čili anhydrit. Tento anhydrit smíchaný s vodou tuhne ještě rychleji než normální sádra. Při ještě vyšší teplotě se zvolna ztrácí schopnost tuhnutí /2/. Při 400°C tato schopnost téměř mizí a vzniká

* první série *. Při 600°C je účinný účinek opět zachován tuhnutí velmi pomalu (minutě 10). V silném páru při 800 - 850°C se účinně rozpouští v CaO (kvalitativně vzpomíná) a SO_2 (kvalitativně sírový) podle /2/.

V přírodních se vyskytuje několik druhů, t.j. anhydrit, polychryzot, anhydrit, t.j. komplexní kyselý kalcium. Pro-
duktu tepelného rozkladu anhydritu podle podstaty anhydritu
do 6 různých forem anhydritu podle /1/.

1. Polychryzot $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$
2. Polychryzot $\beta\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$
3. Anhydrit CaSO_4 III
4. Anhydrit βCaSO_4 III
5. Anhydrit CaSO_4 II
6. Anhydrit CaSO_4 I

Různé formy přírodních anhydritů se odlišují v podstatě tímto po-
stupy:

1. Polychryzot $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ vzniká anhydritem anhydritem
anhydritem v prostředí přehřívání velmi pomalu při teplotě 115 až
125°C. Anhydrit je krystalický, anhydritem roztavením anhy-
du krystalizuje (při přehřívání podle anhydritu). Při přehřívání
anhydritu se anhydritem anhydritem anhydritem. Krystalický anhy-
du voda anhydritem anhydritem (0,6 - 0,75) H_2O .

2. Polychryzot $\beta\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ vzniká anhydritem anhydritem
při teplotě 100°C anhydritem při teplotě anhydritem. Krystalický
krystalický anhydritem anhydritem anhydritem anhydritem, t.j.

6,21 vah. % Struktura je vločkovitá, šupinatá, rozeklaná. Při pozorování mikroskopem však ani při velkém zvětšování nejsou rozpoznatelné obrysy krystalů. Protože má polohydrát větší povrch prášku, je energeticky méně stabilní a lehčeji rozpustný ve vodě.

3. Anhydrit CaSO_4 III (rozpustný anhydrit) vzniká úplným odvedněním sádrovice nebo polohydrátu ve vakuu při 100°C nebo při 110°C za normálního tlaku.

4. Anhydrit CaSO_4 III vzniká rovněž úplným odvedněním ve vakuu při teplotě blízké 100°C nebo žháním při teplotě 140 až 300°C za normálního tlaku.

5. Anhydrit CaSO_4 II vzniká úplným odvedněním sádrovice při teplotě vyšší než 300°C za normálního tlaku. Při teplotách přesahující 800°C se rozkládá na CaO a SO_3 .

6. Anhydrit CaSO_4 I vzniká žháním suroviny nebo předchozích produktů při teplotě 1225 až 1230°C za normálního tlaku.

2.1.2 Rozdělení sádry

V praxi rozlišujeme sádra podle mnoha hledisek, je to na příklad podle stupně pálení sádrovice, tedy podle mineralogického složení, dále podle doby tuhnutí, podle jemnosti mletí, těllosti podle druhu pálení nebo podle účelu. V podstatě však rozlišujeme podle 4 skupin /1/.

a) sádra rychle tuhneucí

- b) sádra pomalu tuhneucí
- c) vysokopevnostní sádra
- d) anhydritové pojivo

a) Sádra rychle tuhneucí - tu dostaneme pálením sádrovce při teplotě 107 až 200°C, jde prakticky o polohydrát $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ obsahující až 2/3 rozpustného anhydritu, který způsobuje rychlé tuhnutí nerezleženého sádrovce a cizích příměsí. Po přípravě suspenze tuhne a tvrdne během 5 až 20 minut.

Dále se druhy dělí na:

1. sádra modelářskou - obsah 90 % polohydrátu
2. sádra štukatérskou (alabastrová) obsah asi 75 % polohydrátu
3. sádra omítkovou - obsahuje téměř polohydrát.

b) Sádra pomalu tuhneucí se též nazývá sádra stavební, je tvořena anhydritem I, II, bývá označována jako sádra hydraulická. Vyrábí se pálením sádrovce při teplotě 800 až 1000°C. Tuhnutí začíná v podstatě po 2 hodinách od přípravy sádrovce.

c) Vysokopevnostní sádra je tvořena v podstatě z polohydrátu $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$. To také určuje náročné vlastnosti prášků.

d) Anhydritové pojivo - podstatou je prášek skládající se v podstatě z anhydritu, t.j. bezvodného síranu vápennatého. K prášku se přidává malé množství katalyzátoru - budiče, barviva a přísady, které mají dále zlepšovat požadované konkrétní vlastnosti.

ved Koberlice a Opavy. Kromě těchto směsí vyrobených z uvedených sáder se používají některé zahraniční směsi, běžně používané v dentální technice, označované obchodním názvem Garasia, jejich složení a původ výrobce Dental Jičín dleuvádí.

2.2 FORMY ZE SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ

2.2.1 Postup výroby forem ze sádrových formovacích směsí

Lití do forem ze sádrových formovacích směsí lze použít do slitin s nižší tavicí teplotou. Je vhodné a v zahraničí často používané pro přesné lití slitin hliníku i některých slitin oceli, ale i nízkotavitelných slitin zinku.

Hlavním problémem, který vzniká při výrobě forem ze sádrových formovacích směsí je dosažení dostatečné prodyšnosti. Těto dosáhneme vhodným složením sádrových formovacích směsí a dodržováním doporučeného postupu sušení forem z těchto směsí.

Na závadu je také sklon forem ze sádrových formovacích směsí k nadvlhnutí. Nadvlhnutí forem z těchto směsí má za následek odvařování a tím podstatné zhoršení kvality odlitku. Proto se přidávají do sádrových formovacích směsí přísady, které umožňují regulovat dobu tuhnutí, roztlačnost při tuhnutí a tvrdnutí a zvyšovat prodyšnost forem ze sádrových formovacích směsí.

Od sádrových forem vyžadujeme tyto vlastnosti:

- a) dostatečnou prodyšnost
- b) dostatečnou pevnost

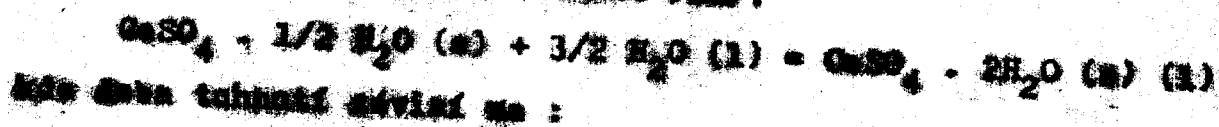
c) nízká hustota

d) při ohřevu se rychle rozpouští ve vodě tvoří suspenzi

Těchto vlastností mohou být využity kombinací různých druhů sádry a jílovit.

2.2.2 Těsnění sádrového cementu /1/ /12/

Formy ze sádrových formovacích sádr se vyrábějí většinou obléváním sádrového cementu (sádrové formovací sádra a voda), dle křivky. Tato směs je dosti lehká a dobře loupá a hladký povrch této formy. Zpracování objemu sádry při tuhnutí má za následek lepší vyplnění formy a dobré kopírování povrchu. Sádrová směs (tzn.), vytvořená formovací směsí sádry se vodě rychle tvrdne podle rovnice /12/:



a) druhu sádry

b) množství vody

c) teplotě vody

d) hustotě sádry

Při celém oblévání sádry se také špatně lije, špatně hustne, rychle tvrdne a vyplňuje větší množství tepla se současným smrštěním objemu. Se zvýšením teploty vody se prodlužuje doba tuhnutí sádry, proto se musí při přípravě směsi voda ohřát na (18°C) se doporučuje podle /1/.

Jedním z nejdůležitějších aspektů celé výroby forem ze sádrových formovacích sádr je podle /16/ otázka izolace:

Ztuhlá forma ze sádrových formovacích směsí se nechá tvrdnout 6 - 8 hodin po odlití na vzduchu, pak se vloží do autoklávu a po době 8 hodin se působí přetlakem 0,1 MPa nasycené páry. Takto se sádrová formovací směs dehydruje. Pak se tato forma vlhčí, po 24 hodinách se začne vysoušet pomalým ohřevem při teplotě 100, 150 - 200°C a ponechá se 4 - 8 hodin stuhnout a hned po tomto procesu se musí do této formy odlévat kov.

Další metodou celkové výroby sádrových forem je metoda Bendix. Tato metoda je podobná metodě Antisch, ale místo autokládování se suší a žihá v rozmezí teplot 230 - 400°C po dobu 16 hodin. Takto tepelně zpracovaná forma se nechá pomalu vychladnout.

2.3 PROCES SUŠENÍ FOREM ZE SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ

2.3.1 Základní teorie sušení forem ze sádrových formovacích směsí

Při odlévání tekutého kovu do sádrových forem dochází na rozhraní forma - kov k intenzivnímu odpařování vlhkosti obsažené v dílech těhote forem. Jedná se o vodu volnou a o vodu vázanou. Voda volná je určena vodním poměrem, voda vázaná t. zv. dihydrátem $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ nebo polohydrátem $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$. Z tohoto důvodu formy tepelně zpracováváme, sušíme, eventuálně žiháme. Při sušení odstraňujeme vodu volnou, při žihání odstraňujeme vodu vázanou, krystalickou. Sušení je určitá fáze tepelného zpracování, při které používáme běžných teplot do 200°C, žihání provádíme při teple-

tě nad 200°C .

Proces sušení je velmi důležitý pro dosažení správné struktury i správných vlastností těchto forem.

Vlhký, nevysušený materiál, lze pokládat za systém tvořený absolutně suchou látkou (skeletem) a vodou. Energie potřebná k vysušení má obvykle formu určující množství tepla za určitých podmínek teploty, rychlosti a způsobu proudění sušicího prostředí. Sušení těchto forem decilím snižuje technologických vlastností vysušené látky a zajišťuje podle /6/:

- a) dosažení určitých požadovaných fyzikálně-chemických vlastností
- b) zlepšení strukturálních a tepelných vlastností materiálu formy.

Celá teorie sušení forem ze sádrových formovacích směsí je založena na dvou vědních disciplínách:

1. Na teorii přestupu tepla a přeměny hmoty.
2. Na teorii vazby ve hmotě.

Při průběhu sušení se zkoumá jeho rychlost a vlivy, kterými na ně působí parametry vysušené formy a sušicího prostředí.

Sušení sádrových forem lze hodnotit z hlediska statiky a dynamiky sušení.

Statika sušení podle /6/ definuje vztah počátečních a koncových podmínek sušitelného materiálu dané formy a definuje děj látkový a energetický (tepelný a entalpiický) bilancemi, z nichž vypočítáme spotřebu sušícího prostředku, jeho parametry a spotřebu tepla.

Dynamika sušení podle /6/ určuje souvislosti mezi změnou vlastností vysoušené formy ze sádrových formovacích směsí a parametry sušícího pochodu. Určuje změnu vlhkosti sádrové formy v místě i v čase v závislosti na měrné vlhkosti a vazbě vlhkosti této formy, na rozdělení teploty ve hmotě, na způsob sušení, na druh a konstrukci sušárny.

2.3.2 Režim sušících procesů

Formy ze sádrových formovacích směsí jsou v syrovém stavu pro odlévání kovů nepoužitelné. Před odléváním je nutné jejich tepelné zpracování, kde je velmi důležitý proces sušení. Samotný průběh sušícího procesu ovlivňuje do značné míry konečné vlastnosti těchto forem.

Při libovolném režimu sušícího procesu nemusíme obdržet optimální výsledky sušení. Můžeme je hodnotit podle toho, do jaké míry splňují požadavky na ně kladené. Optimální sušící režim musí však splňovat podmínky:

- a) Musí zajistit výrobu formy takové kvality a vlastností, aby umožňovala odlitkového odlitku požadované rozměrové a tvar-

rové přesnosti bez povrchových a vnitřních vad.

b) Musí být ekonomicky a časově výhodný.

Z hlediska technologicko-ekonomického chceme při sušení těchto forem získat jejich optimální vysušení za co nejkratší čas a nejmenších nákladů. Velmi důležitým faktorem při sušení je rychlost sušení, která podle /6/ závisí na mnoha faktorech:

1. Struktura materiálu a jeho chemické složení.
2. Tvaru a poměru povrchu k objemu sušené formy.
3. Počáteční vlhkosti formy.
4. Požadovaná stupni vysušení.
5. Vlastnostech použitého sušicího zařízení.
6. Stejnýměrnosti sušení.

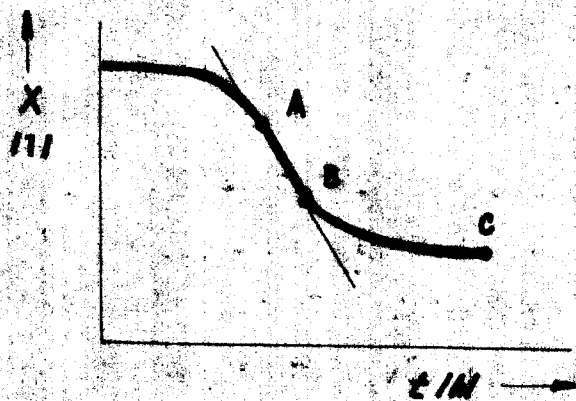
Rychlost sušení můžeme provádět za konstantní teploty, vlhkosti a rychlosti proudění vzduchu v sušicím zařízení.

Pod pojem sušení se zahrnuje i někdy nesprávně takový ohřev forem, jehož výsledkem jsou chemické změny pojiv podle /9/.

2.3.2.1 Teorie sušení za konstantních podmínek

Sestavení látkových a energetických bilancí je základem sušení forem ze sádrových formovacích směsí. Jde o stanovení doby sušení a rychlosti přivedu tepla do těchto forem. Pro konstantní podmínky sušení platí, že vlhkost sušené látky je funkcí času:

$$X = f(t)$$



Obz. 3. 1 Obz. závislosti $X = g(t)$

Úsek AB představuje periodu konstantní rychlosti snění,
úsek BC představuje tlumivou periodu rychlosti snění.

Hmotová rychlost snění podle /6/ je:

$$v = \frac{dX}{dt} = -a_0 \cdot \frac{dX}{dt} / \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} / (2)$$

W - množství uvolněné vlny

$$W = a_0 \cdot / X' - X'' /$$

X' - počáteční vlnnost formy se oděrové formovací sněží

X'' - konečná vlnnost formy se oděrové formovací sněží

S - styková plocha formy se oděrové formovací sněží se
sněžísní hustotou $/\text{g}^2/$

t - čas snění $/\text{s}/$

a_0 - hustota snění formy se oděrové formovací sněží $/\text{kg}/$

2.3.2.1.1 Výpočet doby sušení při konstantní rychlosti /6/

$$w_1 = \frac{w_0}{S} \cdot \frac{dX}{dt} = \text{konst.} \quad (3)$$

$$\int_0^{t_1} dt = \int_{X_0}^{X_1} - \frac{w_0}{S \cdot w_1} dX \quad (4)$$

w_1 - konstantní rychlost sušení na konci periody sušení
/ kg·m⁻² · h⁻¹ /

X_0 - počáteční vlhkost materiálu

X_1 - koncová vlhkost materiálu

t_1 - čas sušení /h/ při konstantní rychlosti

Po integraci vztahu (4) dostaneme:

$$t_1 = \frac{w_0}{S \cdot w_1} \cdot X_0 + \frac{w_0}{S \cdot w_1} \cdot \frac{X_1}{h} \quad (5)$$

Po další úpravě vztahu (5) dostaneme vztah doby sušení při konstantní rychlosti:

$$t_1 = \frac{w_0}{S \cdot w_1} \cdot (X_0 + X_1) / h \quad (6)$$

2.2.3 Další formy sušících konvenčních sušič / 3, 7, 8, 10, 11, 14 /

Problém sušení se objevil četná literatura, takže však nikde explicitně konkrétní řešení problému sušení dílců forem se ušlechtilých feromagnetických materiálů.

Jak už bylo uvedeno, počátek vysočení těchto forem je velmi obtížný, protože se jedná o velmi specifickou strukturu dílců, která

je nositelem vlastností těchto forem pro odlévání.

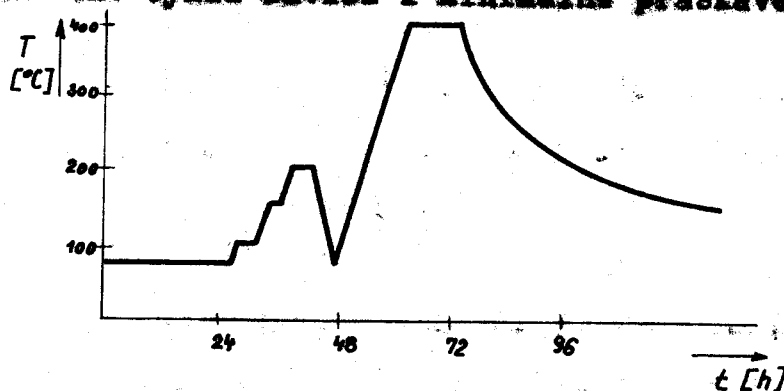
Způsoby tepelného zpracování hydratačně stuhlé sádky se rozdělují na dvě základní skupiny:

a) S u š e n í - s hlavním cílem odstranění volné vody, to se provádí do teploty 200°C .

b) Ž í h á n í - s důsledkem postupné stráty vázané vody (krystalické) provádí se při teplotě nad 200°C .

Studium sušicího procesu prováděné na katedře materiálu a strojírenské metalurgie Vysoké školy strojní a textilní v Liberci ukázalo, že lze sušit v běžných sušárnách do 200°C a žít v konerových pecích do 400°C . Tímto výzkumem bylo zjištěno, že správně stanovený proces sušení nahrazuje technologicky náročný proces zpracování těchto forem v autoklávu (čili metodu Antloch).

Bylo dokázáno, že vysušené formy musí pomalu chladnout v sušicím zařízení až na teplotu 150°C a pak se dily ihned vymají a používají k odlití. Celková doba přípravy těchto forem trvá asi 72 hodin. Též bylo dokázáno, že na správném dodržení sušicího cyklu závisí i minimální praskavost těchto forem.



Obr. č. 2 Diagram tepelného zpracování sádkových forem

Tento výsledek ukázal, že měrná hmotnost forem se sádrových formovacích směsí při vysušení klesá s hodnoty $1,7 \text{ g/cm}^3$ na $1,0 \text{ g/cm}^3$. Ukázalo se, že absolutní úbytek vody je přímo úměrný ploše povrchu sušené formy (t.j. ploše styku díla formy se sušicím prostředím). Byly prováděny pokusy sušení forem se sádrových formovacích směsí na válcových vzorcích standardních rozměrů $\varnothing 50 \times 50 \text{ mm}$. Poměr velikosti povrchu vzorku v centimetrech² k objemu sušeného vzorku v centimetrech³ charakterizoval tvar sušeného díla formy. Zákonitost této teorie byla potvrzena procesem sušení standardních vzorků s různým poměrem povrchu k objemu vzorku. Zároveň byl vytvořen i matematický model sušení. Pro každý standardní vzorek byla spočítána poměrná hodnota součinitele úměrnosti ϵ (vztahující k hmotnosti a povrchu vzorku) / g/h /.

Změny hmotností standardního vzorku na čase:

$$\frac{m_x - m_z}{m_x - m_z} = e^{-\frac{\epsilon \cdot t}{m_z}} \quad (7)$$

- m_x - okamžitá hmotnost vzorku /g/
- m_z - konečná hmotnost vzorku po sušení /g/
- m - hmotnost vzorku na počátku sušení /g/
- t - čas sušení /h/
- ϵ - součinitel úměrnosti vztahující na tvar a velikost standardního vzorku /g/h/.

Tato teorie byla ověřena celou řadou měření a pak byly porovnány naměřené a vypočítané hodnoty podle vzorce (7) a ukázalo se, že tyto hodnoty se shodují. Pro experimenty byla použita směs obsahující alabastrovou směs a prášek z použitých

komplexu silných form obsahovaných se silici Si_2 a 70 %
rozšlívací vzh. Si_2 obsah (katalytická reakce):

65 % silicového prášku

28 % křemenného písku

5 % mastla

2 % křemelin.

Pokusy ukázaly, že silicový materiál, který se vztahuje ke pře-
měně vyhledávané formy obsahujícího silici, je také vhodný
a po vložení vzh. do plynu se vztahuje například k přeměně. Tato
přeměna vzh. do vzh. do plynů skutečných křemenných prášků,
které vyhledávají vzh. do křemenných prášků. V dalších částech
dělání se plynů křemenných a křemenných prášků
dělání. V plynových částech silicového prášku tyto křivky epizody.

Z literatury známá je například uváděná práce auto-
klivování křemenných prášků, která se také dělá je také vhodná
přilís technologií a energeticky náročná. Výsledky ukázaly,
že procesy jsou závislé na mnoha různých parametrech a pod-
mínkách, které však nejsou konkrétně v literatuře uvedeny. Pro-
to byly provedeny výzkumy vzhledem křemenných prášků silici vy-
hledávání (Si_2) pomocí difrakční metody (XRD)
provedené při křemenných a křemenných prášků. Byla pozorována změna
přeměny, k níž dochází a jednotlivých form Si_2 . Po křemenných
prášků byly identifikovány různé skupiny křemenných prášků vy-
hledávání a jednotlivých částí silici vzhledem (Si_2).
přeměny ukázaly, že celková křemenná forma silici silici
byla spojena s chemickou reakcí a křemenných prášků Si_2 .
Konkrétní údaje však literatura neuvádí.

Dle se odhadlo, že nejlépe odstraněná vodní část
v oxidovaných formách lze provést do jich nahřívání se dostateč-
ně dlouhý čas na teplotu 100 - 120° C. Po odstranění vodní vo-
dy pokračuje oxidace, aby bylo možné odstranit všechny výso-
tovo vodní částky. Největší výškové formy se vytvářejí a díky
dřívě jako polycrystalline struktura vypařování.

Výstup oxidací, ani-li se vztahují formy při různých te-
plotách asi kolem 200° C je čas oxidace delší (14 - 16 hodin).
Při použití vyšších teplot nad 400° C je čas oxidace jen 2 - 3 ho-
din. To závisí na čistotě a velikosti těchto forem. Při přes-
něm režimu kontroly bylo použito teploty až 800 - 850° C. Počas
/7/ se klade velký důraz právě na teplotu oxidace, protože při
příliš vysoké teplotě (950° C) dochází již k rozkladu oxidu
vápenatého (CaO) na kyslíkatý vápenatý a kyslíkatý oxid
podle rovnice:



Bude zřejmé, že oxidace přechází v oxidaci, jako se přechází ky-
slíkatý kyslík, díky a uhlík oxidují tato teplota rostoucí,
a když přechází, že při oxidaci, respektive oxidaci by teplota 710° C
v oxidaci přechází byla přechodem. Které výskoky oxid-
ly, že přechází-li teplota formy 100° C dochází k největší oxid-
ce vápenaté vody.

Při průběhu oxidace literatury, která se týká oxid-
ace oxidovaných oxidovaných forem, se ukazuje, že oxidace je
příliš rychle jako oxidace. Literaturu navrhuje, která in-
terval teplot oxidace a oxidace formy se oxidací kyslíkatého
oxidu, nejenže oxidace jsou oxidací ani oxidací oxidovaných

farmaceutických účelů, ze kterých jsou tyto formy vyrobeny. Literatura uvádí pouze články při řešení této problematiky, hlavně pokud se týká pasivních teplot, zejména komplexní rezervy slouží odlišným farmaceutickým účelům. Těmto není nikdy uveden druh pasivního účinku a účinného zařízení.

2.4 MOŽNOSTI EXPERIMENTÁLNÍHO STUDIA TERMOLOGIE VYPOČETNÍ FORMY 2K SÍLNOVÝCH FARMACEUTICKÝCH ÚČELŮ

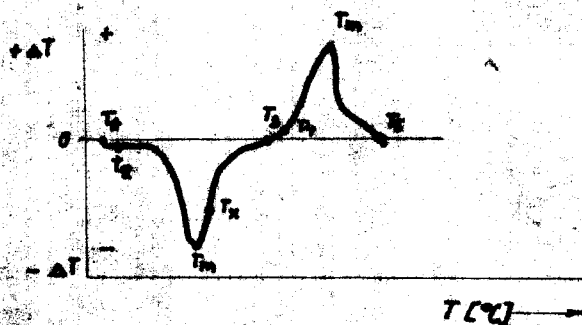
Možnosti tohoto studia se dají provádět pomocí termické analýzy. Pod pojem termické analýzy rozumíme obecně takové experimentální analytické metody, při nichž se sledují některé fyzikální vlastnosti zkoumané látky v závislosti na teplotě a teplotě /12/. Jsou to metody, které popisují různé fyzikálně-chemických vlastností složek systému při jeho ohřevu. Většina těchto metod sleduje příslušné vlastnosti systému (hmotnost, energii, velikost a podobně), jako dynamickou funkci teploty.

2.4.1 Termická analýza (TA)

Je dynamická, teplotně analytická metoda, při níž se sledují teplotní efekty chemického vzorku a spojení s jeho fyzikálními a chemickými vlastnostmi při jeho lineárním ohřevu, nebo ochlazení. Tento vzorek se sjednotí teplotní reakcí s různými složkami a vzhledem k rozdílnosti (indiferentní), vznikající při jejich ohřevu, který je lineární funkcí času. Teplota ve vzorku závisí na teplotě okolního prostředí, podobně jako, když jsou složkami fyzikálních gic-

ná a charakteristických teplot ve směru probíhajících. Graficky se
maximální rozdíl teplot je funkci času t .

Každý charakteristický teplotní skok při výměně
na křivce DTA teplotní změny odpovídá p i k , se kterými se
může se vztahem poměrně určit teplotu probíhajícího
na její rozdílu teplot.



Obr. 2. 3. Základní diferenciální termická analýza (DTA)

Od poměrní teploty $T_1 - T_2$ (T_1) odpovídá p rozdílu.
Rozdíl teplot mezi termoelektrickými články ΔT je přímě 0.
V okamžiku T_1 je změna, která nastane již před touto teplotou,
tak velká, že se začíná projevovat endotermní efekt, který
dosahuje maximálního rozdílu ($-\Delta T$) v bodě T_1 , takže
hož není z hlediska fyzikální-chemické výměny, ale jeho po-
loha se teplotně souvisí se teplotní vodivostí vzduchu, se
rychlou změnou je v okamžiku probíhající změny teploty
vše. Rozdíl teplot dále v bodě T_2 , v bodě T_2 dojde opět
spět stejné teploty jako interní změna ($\Delta T=0$). Obdobně
uplněte lze uplněte uplněte externí efekt.

Touto analýzou lze tedy DTA velmi snadno získat základní
představu o kvalitě elektrického účinku.

2.4.2 Termogravimetrie (TG)

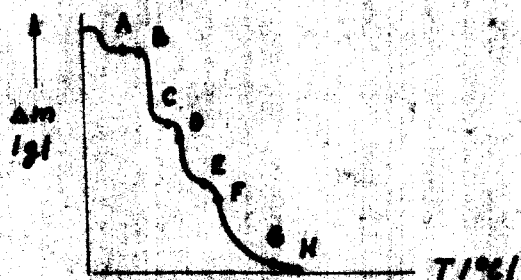
Je experimentální metoda založená na plynulém sledování hmotnosti zkoumaného vzorku při jeho ohřevu. Podle způsobu ohřevu vzorku hovoříme o termogravimetrii izoterní (statické), při níž se ohřev děje za konstantní teploty, nebo neizoterní (dynamické), při níž se ohřev děje za stoupající nebo klesající teploty. Teplota se zvyšuje lineárně s časem.

Neizoterní metodika má významné uplatnění v pracích výzkumného charakteru, neboť umožňuje získat poměrně rychle přehled o celkovém teplotním chování sledované látky.

Termogravimetrické křivky vyjadřují závislost změny hmotnosti na teplotě, poskytují informaci o složení výchozího vzorku o jeho tepelné stálosti nebo tepelném rozkladu i o produktech, které při rozkladech vznikají podle [12].

Podle závislosti, jestli se při pokusu sledují, může termogravimetrická křivka vyjadřovat:

- a) závislost hmotnosti (měny hmotnosti na teplotě nebo na čase) vyjádřenou normální termogravimetrickou křivkou;
- b) závislost rychlosti změny hmotnosti na teplotě nebo na čase vyjádřenou diferenciální derivovanou TG křivkou.



Obr. 8. 4 Graf závislosti změny hmotnosti na teplotě

Mezi body A a B dochází ke změně hmotnosti, vzorek je stálý. V bodě B dochází k dehydrataci, vyjádřené poklesem hmotnosti, která končí v bodě C, kdy vzorek ztratil první molekulu vody. Mezi body C a D je vzorek opět stálý a k další dehydrataci dochází v bodě D. Úbytek hmotnosti mezi body D a E je vyjádřen ztrátou další molekuly vody. Úsek mezi body E a F představuje stálou sloučeninu, která ztrácí poslední molekulu vody v bodě F - G a úsek G - H vyjadřuje v dané teplotní oblasti stálou bezvodou sloučeninu.

Kvantitativně lze změnu hmotnosti určit měření vzájemnosti na ose hmotnosti mezi dvěma příslušnými horizontálními hladinami. Vyhodnocení křivky je do jisté míry subjektivní. Osa hmotnosti může být ovlivněna různými způsoby /12/:

- jako změna hmotnosti
- jako procenta ošklivé strážky hmotnosti
- jako výkon požárního dýkacího hmotnosti

2.5 FYZIKÁLNÍ-CHÉMIKÝ POPIS SUŠENÍ PORÉZNÍ SÍŤOVÝCH FORMOVACÍCH SMÍŠÍ

Čistě chemickými metodami mohlo měřit podle /13/ vypracovat odlišné vlastnosti produktů získaných odvodňovací směsí ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Předpokládala se existence různých forem dihydrátu, polodihydrátu a anhydritu.

Každá soustava, na kterou působí vnější vlivy, se snaží samovolně dostat do rovnovážného stavu. Pro izotermní a izobarické děje je určen tento stav, změna termodynamické funkce

ΔG - Gibbsovy energie doprovázející svažovací děj.

2.5.1 Extrudovatelnost vlastností sádry a sádro- vých formovacích směsí

Největším vlastností sádrových formovacích směsí je sá-
dra, kterou se nyní budeme zabývat a termodynamicky popíšeme.
Za normální taplety je sádra polohydrát jako termodynamicky ne-
stálá látka, se však mnohem mnohem rozpustnější asi 5 x než
stálá fáze - sádrovec. Při tuhnutí sádry probíhá reakce (1).

Kdybychom smíchali mol sádry (t.j. 145,15 g) se elektro-
metrickým množstvím vody, přechla by veškerá voda mezi krysta-
ly tak by se vytvořil jeden mol sádrových krystalů (172,15 g)
jako porézní hmota /18/. Použijeme-li vody více, a to je vždy
nutné především se zřetel na formovatelnost sádrové směsi, sta-
de část vody absorbována, zůstane uzavřena v pórech mezi kry-
staly sádrovec, tato voda se nazývá voda valná neboli kapilární.
Sádra se v průběhu stave vyzrání nejčastěji ve formě po-
lohydrátu ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$). S určitým množstvím rozpělovací
vody podle (1) přechází opět dýchavě $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - sádro-
vec. Množství rozpělovací vody je určeno vodním součinitelem,
který stanovuje podíl vody a hmotnostního množství sádry. Podle
výzkumů prováděných na katedře materiálu a strojírenské mate-
riálu na Vysoké škole strojí a textilní v Liberci se ukázalo,
že při sušení forem je úbytek hmotnosti po vysušení asi 45 g.

2.5.2 Reologická chřív a průběh křív formy vzhledem ke sádrovým formovacím směsí

Při odlehování procesem sušení těchto forem dochází nej-
dříve ke normální teplotě (20°C) k odmršťování, pak k tání
formy sahajícího na teplotu varu vody, sluznice a vypařování.
Odmršťování probíhá pouze s povrchní odlehování formy, vypařo-
vání probíhá s celého objemu.

Rychlost sušení je dána rozdílem parciálních tlaků syté
páry nad materiálem a parciálního tlaku páry ve vzduchu. S ro-
stoucí teplotou sušícího prostředí se zvyšuje parciální tlak
vodní páry v materiálu. Tak dochází k difuzi vody ze sušící-
ho vzorku do sušícího prostředí. Hmotí silou difuze je rozdíl
parciálních tlaků:

$$\Delta P = P_{pm} - P_{pv} \quad / \text{MPa} / \quad (3)$$

P_{pm} - parciální tlak syté páry nad vysoušenou formou /MPa/

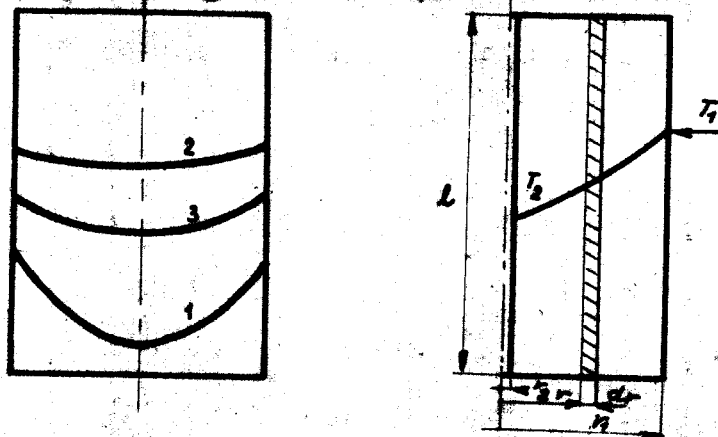
P_{pv} - parciální tlak syté páry ve vzduchu. /MPa/

Při sušení forem jsou nejdříve prokřiveny povrchové vrst-
vy a mezi povrchem a středem uvažované formy dochází k větší-
mu teplotnímu gradientu. Tento teplotní gradient je způsoben
tím, že střed je špatným vodičem tepla ($\lambda = 0,02 \cdot 10^{-3} \cdot \text{W} \cdot \text{m}^{-1}$,
šlápná tepelná vodivost).

2.3.3 Špatný způsob sušení tvarů se střední hmotností

Při rozdílném prostupu tepla není hustota tepelného toku
stejná, neboť plocha kolmá ke směru prostupu tepla se mění.

- 1 - teplotní gradient na počátku sušení
- 2 - teplotní gradient na konci sušení
- 3 - teplotní gradient v průběhu sušení



Obr. 6. 3 Přechod tepla soustředěným

Podmínkou sdílení tepla je teplotní spád ΔT mezi dvěma místy v jedné látce, mezi nimiž se má teplo sdílet. Je-li po celou dobu sdílení tepla pro daný případ konstantní teplotní spád (nepřeměnný v čase t), mluvíme o stacionárním ustáleném sdílení tepla. Pro stacionární sdílení tepla platí obecný Fourierův vztah:

$$\dot{Q} = -\lambda S \frac{dT}{dx} \quad (9)$$

$\dot{Q}$ - tepelný tok (W)

λ - měrná tepelná vodivost $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$

S - plocha kolmá ke směru tepelného toku $[m^2]$

$-\frac{dT}{dx}$ - teplotní gradient (je záporný, neboť teplota ve směru toku klesá) $[K \cdot m^{-1}]$

Vedení tepla jednobokou válcovou stěnou s výchozího vztahu (9) dostaneme za $S = 2\pi r l$ dostaneme po integraci vztah:

$$\dot{Q} = \frac{2\pi \lambda l (T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (10)$$

r - poloměr vzorku /m/

T₁ - teplota na povrchu vzorku

/°C/

l - výška vzorku /m/

T₂ - teplota uvnitř vzorku

/°C/

Uvažujeme-li, že měření forem ze středových formovacích směsí se dá popsat rovnicí:



Předložený teoretický rozbor je prvním pokusem aplikovat k tomu, aby bylo možné využít experimentálně získaných hodnot a jejich grafického zpracování k poznání různých vlivů na proces tepelného zpracování forem ze středových formovacích směsí. Získané poznatky posloužily při přípravě vlastních pokusů, zpracování metodiky měření a sestavení, ověření účinnosti měření.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. NÁVNE A OVĚRNÍ METODIKY A MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ PRO STUDIUM TEPLOTNÍHO ZPRACOVÁNÍ FORMY ZE SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ

3.1.1 Základní požadavky na metodiku a měřicí zařízení

Metodika a laboratorní zařízení pro studium procesu teplotního zpracování vzorků ze sádrových formovacích směsí musí - s ohledem na možnosti využití získaných poznatků v praxi teplotního zpracování těchto forem - splnit tyto požadavky:

1. Velikost a tvar zkoušebního vzorku musí v určité míře odrážet podmínky při teplotním zpracování skutečných forem.
2. Musí umožnit stanovení mechanických úbytků připravených vzorků v závislosti na čas, při současném sledování průběhu teplot ve vzorku.
3. Musí umožnit různé podmínky ohřevu vzorku na příklad různé rychlosti ohřevu, předlohy při různých teplotách a pod.
4. Musí zjistit, pokud máme, co nejjednodušší a přehledný způsob vyhodnocení získaných výsledků.

Z těchto hledisek se přistoupilo k návrhu metodiky měřicího zařízení, což je předmětem další části této práce.

3.2 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA METODIKU A MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ PRO STUDIUM PROCESU SUŠENÍ SÁDROVÝCH VZORKŮ

Celý vývoj metody měření je možné rozdělit do dvou etap, její představa je postupně vypracování podmínek měření zejména ve směru získání údajů, porovnání s měření na klasických termoelektrech.

Vzorek, na němž byl proveden teplotní zpracování sledován, byl válcového tvaru s 35 x 50 mm, který je používán při hodnocení poměru měřících faktorů v tlaku. Na vzorku byly měřeny absolutní hodnoty úhybu měřícího při jeho ohřevu v peci.

K tomu bylo navrženo, realizováno a ověřeno vlastní měřící zařízení.

3.2.1 Princip měřícího zařízení

Termoelektrometrické měření se provádí na termoelektrech. Během termoelektrové zvané jako statistický CHANDOSKÝ, byl konstruován roku 1932. Toto měření je tvořeno během analytickou vahou, opatřenou tlumičem s hliníkovými kotelny ve směru parafinového oleje a pohybuje. Na jedné straně vahadla je křemíkové vlákno, které není přímo pro vložení vzorku do pevného prostoru. V blízkosti vlásky se měří teplota termoelektrometrických článků. Každá poloha vahadla je registrována pomocí světelného paprsku odraženého od zrcátka připevněného na vahadlo. Světelný paprsek dopadá na tubus s fotografickým papírem, který se přes převodný mechanismus elektrického, který převádí otáčky rotace tepelné pletky. U tohoto měřícího přístroje byla provedena řada zlepšení. V zahraničí je konstruovánější termoelektrové podle CHANDOSKÝ.

3.2.2 První zkušební sada

Pro návrh termistru pro termistimetrické měření vstup-
ní na odřezcích formovacích strojů se vycházelo z požadavků na
kvalitu materiálu a strojnické metalurgie.

U daného zařízení byla místo principu analytických sen-
zorů použita vlastnosti ocelového tyčového materiálu s průmě-
rem 2 mm a délkou 150 mm. Tento materiál byl upraven jako nio-
tický určitý vzhledový senzor. Celá tato část byla upravena
na masivní ocel. Prohnutí volného konce senzoru je určeno
hmotností naváženého odřezového vzorku na jeho volném konci.

Snímač měřící polohy nosníku je realizován pomocí izdu-
kčního vysílače č. 99424, který umožňuje vstoupit signál
do převodníku čísla 90124 a stabilizátoru napětí ST 8000.1,
usměrňovací výstupní veličina je registrována šestibitovým zapí-
sovačem M1 16 (M16). Tento zapisovač pracuje s intervalem 7,5 ms
konec má jednotlivá měření s rychlostí posunu registrační-
ho papíru 1200 mm na minutu.

Ke stanovení přesnosti výšky zapisovače na výškovém
luku jádra nosníku bylo použito kalibrace pomocí
laboratorních závaží. Tak byla stanovena kalibrační křivka
 $g - \Delta V$ - viz příloha.

Velikost výšky a tím i průběh kalibrační křivky je mož-
né měnit měnou hodnoty odporu v převodníku.

Pro chřazení byla použita běžná kolínková pila typ K39
doplňková regulace teploty GEPAPOT.

Celkové uspořádání je patrné z obrázku 3.8 a skupinového
schéma na obr. 8

3.2.2.1 Konstrukce navrženého zařízení

Celkové uspořádání navrženého zařízení (termováň) je patrné z výkresu 1 - NF - 1991 - 80 (v příloze).

Hlavní část navrženého zařízení tvoří navržený stojan skládající se ze dvou U profilů a dvou nosných tyčí, po kterých se pohybuje ve vodorovném směru vytvářený mechanismus pomocí kterého je možné nastavit správnou polohu jádra indukčního vysílače.

3.2.2.2 Měření teploty při sušení vzorků ze sádkových termostatických smaltů

Teplotu při sušení event. sítání směsí pomocí termo-
elektrických článků (termočlánků) Fe - Ko a $\varnothing$ 0,5 mm a ter-
močlánků Cu - Ko $\varnothing$ 0,3 mm. Pro stanovení teploty v peci by-
ly použity termočlánky Fe - Ko a pro měření teploty ve středě
a na povrchu vzorku termočlánky Cu - Ko. Termočlánky Fe - Ko
byly chráněny kapilárou $\varnothing$ 3 mm. Zvláštní pozornost byla vě-
nována termočlánkům ke snímání teploty na povrchu a ve středě
vzorku. Po několika ověřených úpravách se nejvíce osvědčilo
zabudování podle obr. 5. 9.



Obr. 5. 9 Zabudování termočlánků ve vzorku

Mapy termocelů byly měřeny a registrovány 6 tečevy zapisovatelé M 16 (RPR), tedy stejně jako byly zapisovány hmotnostní změny měřených vzorků.

3.3 ověřovací měření

Předem připravený vzorek umístěn ve středové brýlce na uzavíracím termocelovém byl před upravením na termocelový svídek na předvedení a pak upraven na první element termocel. Pak byla přesná měřící vlnová poloha jádra indukčního vyzařování. Ihned po tomto měření byla zapnuta elektrická pila a uveden do chodu s tečevy zapisovatel. Byl sledován výpis číselku hmotnosti ve vzorku a průběh teplot ve vzorku na jeho povrchu a v poví v závislosti na čase.

Při měření se muselo dbát na rychlost ohřevu vzorku, neustále sledovat teploty ve vzorku a na povrchu, neboť tato teplota neměla překročit 730°C , kdy se siran vápenatý rozkládá na kyslík vápenatý a kyslík sirný.

Pomocí papíru v zapisovateli byl měřen na hodnotu 1200 cm/hod. aby výpis byl, které odpovídají číselku a teploty, byl dostatečně přehledný a čitelný. Po ukončení měření, kdy u číselku hmotnosti středové vzorku byl konstatován, byl vyjmut vzorek z pily a spát svídek pro kontrolu přesnosti měření na čase měření. Z naměřených výsledků byla sestavena tabulka se skládá která se dala konstruovat grafy následujících závislostí:

$$\frac{m}{m_0} = f(t)$$

představuje graf číselku hmotnosti v čase k počáteční hmotnosti vzorku před měřením jako funkce času

$$\frac{m + m_0}{\rho} = f(T)$$

poněkryš dbytek hmotnosti jako funkce teploty

$$T = f(t)$$

teplota jako funkce času

Zároveň do grafu $T = f(t)$ byly zakresleny teploty v po-
ci ve středě vzorku na jeho povrchu.

Grafická vyhodnocení provedených měření je uvedeno na gra-
fech 8.18 - 23 (v příloze).

3.3.1 Příprava vzorků pro termogravimetrické měření

Pro přípravu vzorků Ø 35 x 50 mm byla použita průzkumná
sádra Mobilgips MG 11 druh II (HDR). Tato sádra je nazývá-
na jako alabastrová, s různým vnitřním poměrem.

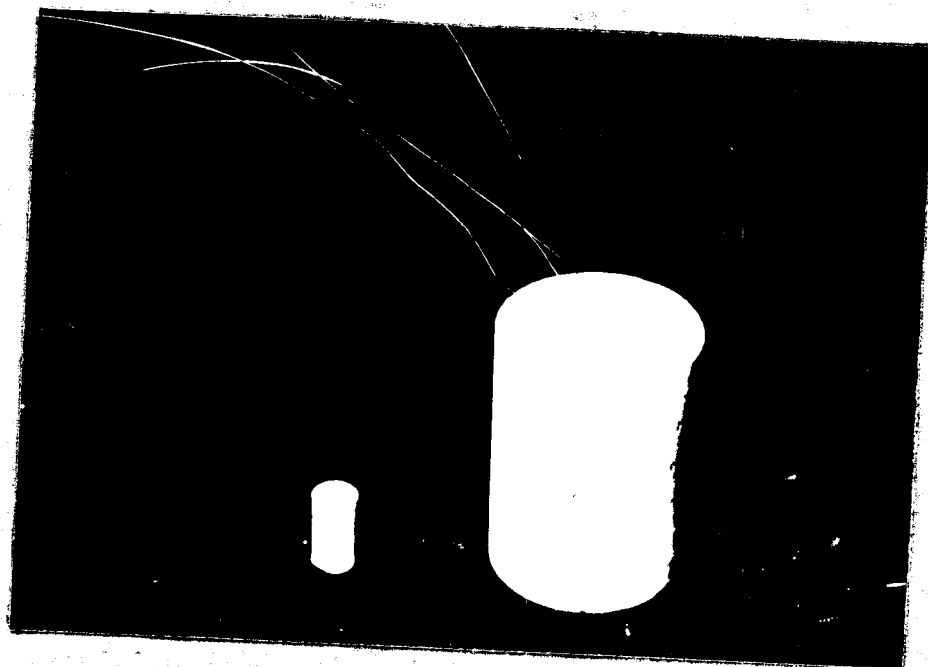
3.3.2 Postup při přípravě vzorků

Pro výrobu vzorků Ø 35 mm a výšky 50 mm byla použita for-
ma z PVC. Na jeden vzorek bylo použito 100 g alabastrové sá-
dry. Ta se 15 s vypala do připravené pryžové misky s potiskem
množství reaktivovací vody, která je určena tak zvazem vnitřním
součinitelům. Pak následovalo míchání po dobu 45 s, 30 s se
vyklepává vzduch a pak následovalo pomalé míchání po dobu 30 s.
Takto připravená směs se lije do formy z PVC položené na dno.
Vyrobený sádravý vzorek byl o řezky vyjmut po 1800 s. Pak ná-
sledovalo zabudování černošláků Ba - Ks do středu a na po-
vrch vzorku. Tím byl vzorek připraven k měření.

3.3.2.1 Určování vodního součinitele

Vodní součinitel určuje podíl vody a hmotnostní součinitel
sádrové formovací směsi.

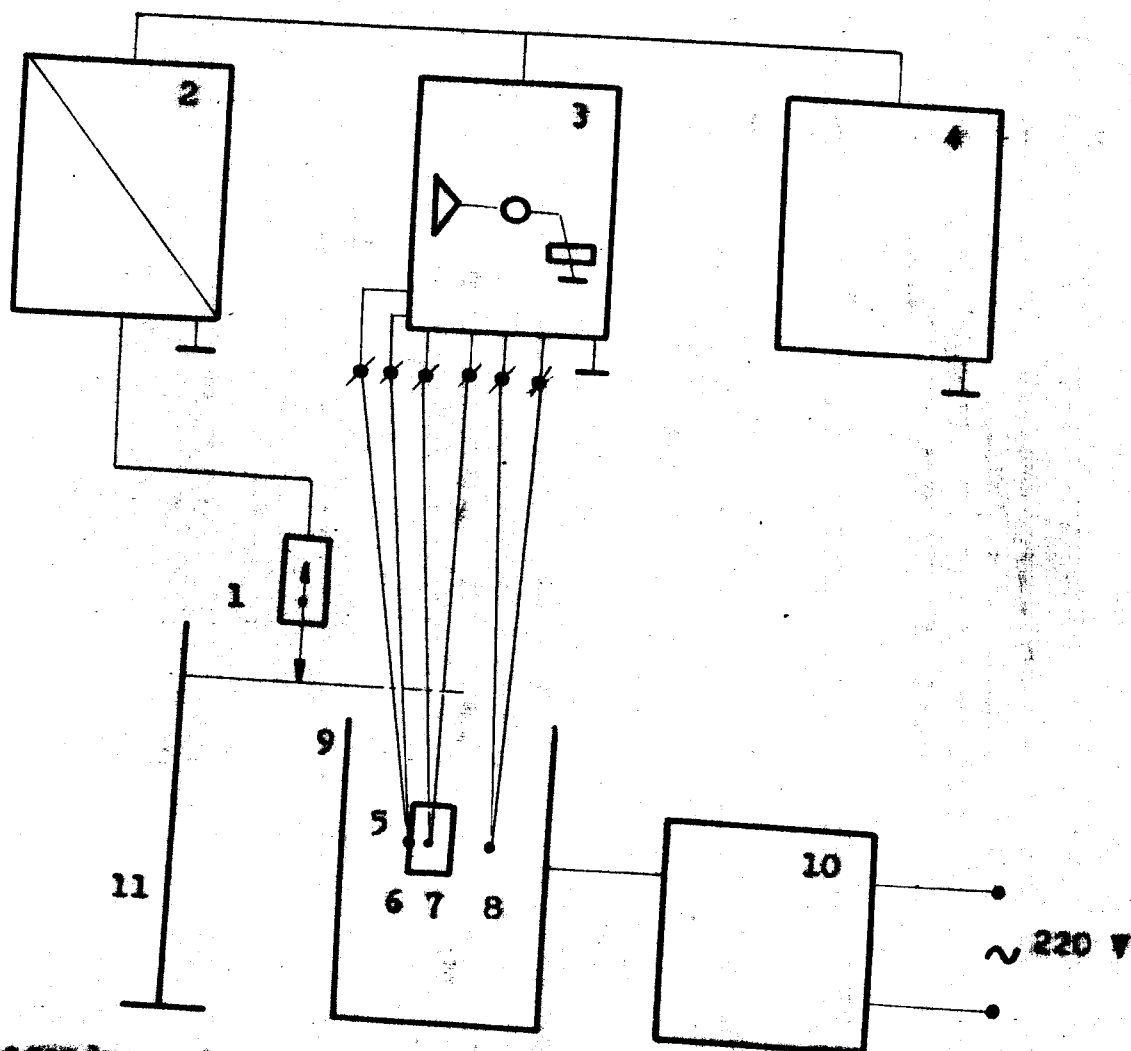
Směs se vyplnila do potřebného množství vody 15 a, 45 a se
míchala rychle, 30 a se vytlačoval vlnou a 20 a se směs miche-
la pomalu. Takto připravovaná směs sádrové formovací směsi a vody
se nalila do formy z PVC o 35 x 30 mm, uložené na skle. Po 10 a
od nalití směsi byl váleček svednut a sádrová směs vytvořila
"koláč", jehož optimální d pro sádrové formy je 90 mm.



Obr. 8.10 Vzorky pouzité při měření

Zkhlad prováděcích ověřovacích měření

Skupina měření	Označení měření	Rychlost ohřevu v peci Maximální teplota v peci	Použitá směs nebo sádra	Vodní poměr V/P	Teplota předlevy v peci
I.	I - 01 - 1	20°C/min. 700°C	alabastrová sádra	1	
	I - 02 - 08	20°C/min. 600°C	alabastrová sádra	0,8	
	I - 03 - 06	20°C/min. 600°C	alabastrová sádra	0,6	
	I - 04 - 06	20°C/min. 600°C	alabastrová sádra	0,6	
II.	II - 01 - 1	20°C/min. 300°C	alabastrová sádra	1	300°C
	II - 02 - 1	20°C/min. 500°C	alabastrová sádra	1	500°C
	II - 03 - 1	20°C/min. 200°C	alabastrová sádra	1	200°C



- Legenda:**
- 1 - indukční vysílač 99 424 - průhyb
 - 2 - převodník 90 124 - průhyb
 - 3 - diferenciální zesilovač Mk I6 (NDR)
 - 4 - stabilizátor napětí ST 8000.1
 - 5 - vzorek
 - 6 - termoelektrický článok Cu - Ke Ø 0,3 mm
 - 7 - termoelektrický článok Cu - Ke Ø 0,3 mm
 - 8 - termoelektrický článok Fe - Ke Ø 0,5 mm
 - 9 - elektrická kalinková pec K 59
 - 10 - fotoelektrický regulátor ZEPAPOT
 - 11 - stojan

Šupinová schéma zařízení

4. VÝSLEDKY THERMOGRAVIMETRICKÝCH MĚŘNÍ VZORKŮ ZE SÁDROVÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ PROVÁDĚNÝCH NA VŠCHT PRAHA

Pro možnost porovnání výsledků získaných na navrženém měřícím zařízení (termováž) byla požádána katedra technologie silikátů a její laboratoř termické analýzy na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze o možnost provedení několika měření na vhodně připravených vzorcích rozměrů $\varnothing 6 \times 12$ mm.

Byla provedena celkem 4 měření, jejich výsledky uvádíme v této kapitole.

4.1 POPIS ZAŘÍZENÍ POUŽÍVANÉHO NA VŠCHT PRAHA

Termováž se pracuje s těžištěm posunutým od osy otáčení vahadla, čímž je umožněna úplná kompenzace zařin hmotnosti vzorku. Hlavní část zařízení je tvořena upravenou analytickou vahou typu MROPA A3. Nad je umístěna speciálně upravená laboratorní pírka s vakuum.

Rídící a registrační jednotka obsahuje zdroj proudu pro pec a pro kompenzační regulátor teploty. Programová jednotka s výměnnou voškou při řízení teploty je umístěna na minimu.

Maximální teplota v peci je 1550°C . V pecním prostoru jsou umístěny 3 termočlánky PtRh - Pt. Na jeden termočlánek se nasazuje vzorek, druhý je měřena teplota ve vzorku. Další termočlánek je umístěn v pecním prostoru a je určen pro měření teploty v peci. Poslední termočlánek slouží jako odevzdávací pro DTA. Celé zařízení je opatřeno dvěma zapisovacími liniemi.

Jáden zapínaveš je určen pro sledování dýtků hmotností, dle-
ně je určen pro různé DTA.

4.2 PŘÍKLAD VÝKONNÉ VZORKY

Celkem 4 měření byla prováděna ve dvou etapách. V první etapě byly měřeny vzorky $\varnothing 6 \times 12$ mm z alabastrové sádry a Garasinu, který obsahuje asi 30 % sádry a 60 % křemičitého písku, zbytek složení není známo.

Ve druhé etapě byla měřena prášková alabastrová sádra a práškový Garasin.

Při všech měřeních byly použity metody TG a DTA.

Při přípravě vzorků $\varnothing 6 \times 12$ mm byl kladen důraz na zachování pevnosti během používání vzorků $\varnothing 35 \times 50$ mm.

Hmotnosti jednotlivých vzorků před sušením byly zjištěny na analytické váze. Byly zjištěny následující hmotnosti:

0,984 g - u vzorku $\varnothing 6 \times 12$ mm z alabastrové sádry

1,123 g - u vzorku $\varnothing 6 \times 12$ mm z Garasinu

0,600 g - o práškových navážkách Garasinu a alabastrové sádry.

4.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

1. Konec z alabastrové sádry a křivka TG a DTA je stejná. Než dosáhne právně v rámci ve 3 výrazně odlišných etapách od teploty 40 až 240°C.

První stupeň, který je nejohroženější 35,4 % z celkové dýtky materiál je ukončen při teplotě 150 - 155°C. Druhý stupeň od dýtky 5,1 % z celkové navážky, je ukončen asi při 190°C. Třetí stupeň od dýtky 2,04 % z celkové

navážky je ukončen při teplotě 240°C.

Na křivce DTA je v oblasti teplot 300 - 460°C nevýrazný exoeфекt. Při teplotě kolem 560°C se vytváří výrazný endoeфекt, který není spojen se změnou hmotnosti.

2. Vzorok z Garasimu: z měření vyplývá, že dehydratace probíhá tak ve 3 výrazně odlišných stupních v teplotním rozsahu od 40 až do 230°C. První stupeň, který je nejzřetelnější představuje 18,3 % úbytku z celkové navážky je ukončen při teplotě 10 - 135°C. Druhý stupeň představuje 4,33 % úbytku z celkové navážky, je ukončen při teplotě 175°C. Třetí stupeň, který představuje 1,6 % úbytku z celkové navážky je ukončen při teplotě 220°C. Na křivce DTA jsou v oblasti teplot 270 - 400°C dva nevýrazné exoeфекty, které jsou spojeny s nevýraznými úbytky hmotnosti. Při teplotě 550°C se vytváří výrazný endoeфекt, který není spojen se změnou hmotnosti.
3. Dodávka alabastrové gázy: termogram znázorňuje na křivce DTA jeden endoeфекt, který začíná při teplotě 190°C, který je spojen s výraznější změnou hmotnosti, která představuje 3 % z celkové navážky. Od teploty 400°C - 720°C následuje nevýrazný exoeфекt, který je spojen s malou změnou hmotnosti 0,25 % z celkové navážky. Patrně jde již o rozklad $\text{CaSO}_4 = \text{CaO} + \text{SO}_3$.
4. Garasim gránek: z termogravimetrických křivek vyplývá, že dehydratace probíhá od 120 a končí asi při 170 - 180°C, která je spojena se změnou hmotnosti 1,5 % z celkové navážky. S nevýrazným endoepektem dochází při teplotě 360°C, který není spojen se změnou hmotnosti a pravděpo-

debat přímou transformací SiO_2 (kysličník křemičitý).

Při měření na zahřívání byla rychlost ohřevu přes 7°C za minutu. Různou rychlost zahřívání realizuje od teploty 100°C v peci. Nadměrná regulace teploty je, že průběh teploty s časem není lineární, což se projevuje na stupnici teploty a těchto grafech, které nám zahřívání poskytlo.

Ze známých TG ($\Delta m = f(t)$) a DTA ($T = f(t)$) není třeba provádět graf $\frac{m - m_0}{m_0} = f(T)$, neboť oba tyto známky se doplňují a není třeba provádět další grafická úpravy. Z obou těchto známek se může vyčíst velmi rychle, o jakou reakci jde a zda-li je doprovázena úbytkem hmotnosti.

Pro srovnání měření vzorků z alabastrové sádry byl sestaven graf $\frac{m - m_0}{m_0} = f(T)$.

5. VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT SUŠENÍ VZORKŮ ZE SÁ- DROVÝCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ

5.1 PŘEHLED A ROZDĚLENÍ MĚŘENÍ

Pomocí měřiče sušivní, který bylo popsáno v kapitole 3., kde byla provedena serie měření úbytků hmotnosti vzorků ze sadrových formovacích směsí v závislosti na teplotě. Měření byla prováděna v laboratorii na katedře materiálu a strojírenské metalurgie Vysoké školy strojní a textilní v Lázních. Pro kontrolu přesnosti navrženého zařízení (termometr) byla provedena 4 měření na VŠCHT, Praha, jak bylo popsáno v kapitole 4.

5.2 POROVNÁNÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA VŠCHT A VŠCHT

Provedeno měření 4 vzorků Ø 33 x 50 mm (s průměrnou vodivostí součinitelem 0,6 - 1), při lineárním ohřevu v peci do teploty 600 - 700°C, ukazuje, že při teplotě od 40 do 420°C ve směru vzorku dochází k významné dehydrataci, která se projevuje postupným úbytkem hmotnosti vzorku.

Při teplotě 40°C strádaly vzorky asi 1,4 - 1,6 % s celkovou hmotností před sušením. K významnému úbytku hmotnosti dochází při teplotě 80 - 90°C, který tvoří asi 39 % z počáteční hmotnosti. Při teplotě 125°C je již celkový úbytek hmotnosti vzorků asi 44 % a při této teplotě došlo k úbytku asi 2 % z celkové hmotnosti vzorku. K dalšímu malému úbytku hmotnosti

vzorků dochází v rozmezí teplot 340 - 450°C, tento úbytek tvoří asi 2 % celkové hmotnosti. Celkový úbytek hmotnosti vzorku při této teplotě tvoří již 45 až 48 % z původní hmotnosti.

Tyto hodnoty se přibližují k hodnotám naměřeným na VŠCHT Praha (viz kapitola 4,3) hlavně pokud se týká počáteční dehydratace vzorku. Měření se liší v rozmezí teplot 230 - 450°C. Měření na VŠCHT Praha ukazuje, že při teplotě okolo 300 - 450°C dochází k nevýznamnému exofektu, který není spojen s významným úbytkem hmotnosti vzorku. Měření na VŠST Lábeň také tento úbytek, který je asi 2 % zaznamenalo. Naproti tomu nebyl však zaznamenán na VŠST významný úbytek hmotnosti při teplotě kolem 230°C.

5.3 ROZBOR NAVRŽENÉHO POSTUPU

Měření na termobalancích, které vyrábějí zahraniční firmy, jsou velmi přesná, dají se použít, jak k termogravimetrii, tak i k diferenční termické analýze. Pro měření na těchto přístrojích se používají vzorky velmi malé, zejména kelinky o 5 6 mm a vřsky 12 mm s průřezem navílek.

Zařízení, které bylo pro studium procesu tepelného zpracování ferit se sférických formací a které navrženo a ověřeno na kateře materiálů a strojírenské metalurgie je možné shrnout takto:

- a) Na zařízení je možné provádět měření na vzorcích válcích rozměrů - Ø 15 x 50 mm i vrtáček s dostatečnou citlivostí;
- b) reprodukovatelnost měření, jak byla vyhodnocována na základě 7 měření na vzorcích ohrovaných za stejných podmínek,

je velmi dobrá, účhytky nepřesahují 10 %;

c) při ohřevu vakuu se zmenšuje se objemná hmotnostních úbytků snižuje teplota uvnitř vakuu a na jeho povrchu;

d) na sázení je velmi citlivost vliv různých parametrů se proces sázení (na př. tvar a velikost vakuu, rychlost ohřevu, teploty a doby proudění a pod.).

6. V Ý N O D N O C E N Í M Ě Ř E N Í

Prováděná měření vzorků s 35 x 50 mm se sádrových formovacích směsí byla rozdělena do dvou skupin. První skupina měření se zabývala zjišťováním poměrných úbytků hmotnosti u vzorků s různými vodními součiniteli (0,6; 0,8; 1) při plynulém ohřevu pece na teplotu v rozsahu 600 - 700°C. Do druhé skupiny patří měření vzorků, která byla prováděna při předlívání teploty v peci při 200, 300 a 500°C.

6.1 V Ý N O D N O C E N Í P O M Ě R N Ě H O Ú B Y T K U H M O T N O S T I V Z Á V I S L O S T I N A T E P L O T Ě

Z výsledků měření uvedených vzorků se sádrových formovacích směsí, která byla prováděna při plynulém ohřevu pece, vyplývá, že k poměrnému úbytku hmotnosti vlivem dehydratace při sušení dochází v rozsahu teplot 40 - 450°C měřených ve střední vzorku. Při teplotě 40°C se poměrný úbytek hmotnosti vzorků pohybuje od 0,998 až do 0,985, úbytek hmotnosti vzorku představuje maximálně 2 % z původní hmotnosti. Při teplotě 80 - 95°C činí tento poměrný úbytek 0,826 - 0,598, toto rozmezí úbytku závisí na vodním součiniteli. Čím je větší vodní součinitel, tím je poměrný úbytek menší. Celkový úbytek hmotnosti vzorku představuje 39 - 40 % celkové hmotnosti vzorku. Další výrazná změna hmotnosti nastává při teplotě 120 - 125°C, kdy poměrný úbytek vzorků se pohybuje v rozsahu 0,593 - 0,522 a celkový úbytek hmotnosti vzorku představuje 44 - 47 % z původní hmotnosti.

K posunům úbytku hmotnosti vlivem dehydratace dochází při teplotě v rozsahu $340 - 450^{\circ}\text{C}$, kdy poměrný úbytek hmotnosti představuje $0,593 - 0,501$, celkový úbytek hmotnosti vzorku se pohybuje od 45 do 49 % z celkové hmotnosti.

Měření poměrných úbytků hmotnosti prováděná předložením teploty v peci při $200, 300$ a 500°C ukazují, že čím je teplota předlovy nižší, tím je doba sušení delší. Při teplotě 40°C má poměrný úbytek hmotnosti $0,997 - 0,927$ a celkový úbytek hmotnosti vzorku je až 6 % původní hmotnosti. Tento rozsah odpovídá na teplotě předlovy. Čím je teplota předlovy nižší, tím poměrný úbytek vykazuje menší hodnotu. Celkový úbytek vzorku představuje 34 - 38 % z původní hmotnosti. K dalším úbytkům hmotnosti dochází při teplotě blíže předlovením. Tento poměrný úbytek se pohybuje v rozsahu $0,500 - 0,501$, celkový úbytek hmotnosti vzorku představuje až 49 %.

Z výsledků sušení lze konstatovat, že při sušení, evap. líhání dochází v rozsahu $40 - 450^{\circ}\text{C}$ ke snížení hmotnosti vzorku vlivem dehydratace. Bylo zjištěno, že vysušené vzorky mají téměř poloviční hmotnost původní hmotnosti.

6.2 VÝHODNOSTI TEPLITNÍHO GRADIENTU VE VZORKU

Z měření, která byla prováděna při plynném ohřevu vzorku, se zjistilo, že u všech vzorků dochází od počátku sušení až do 16. minuty sušení k porušování proužků celého vzorku. Od této doby se začíná zvyšovat teplotní gradient povrchu a středu vzorku v důsledku průřezu povrchových vrstev vzorku.

Ve 30. - 32. minutě tvoří teplotní gradient 300 - 400°C, to závisí na teplotě v peci. V tomto čase dochází ale již k prohřívání vrstev ve středu vzorku a teplota ve středu vzorku začíná růst. Teplotní gradient středu a na povrchu vzorku se začíná zmenšovat. Teplota, při které se obě tyto teploty vyrovnávají / na povrchu a uvnitř vzorku / je 450°C. Pak teplota vzorku na povrchu začíná pomalu klesat a teplota středu vzorku se zvyšuje. V této době je již pec vypnuta, aby nepřesáhla teplotu 730°C, kdy dochází k rozkladu síranu vápenatého.

Měření, která byla prováděna prodléváním teploty v peci při 200, 300 a 500°C ukazují, že teplotní gradient ve středu vzorku a na povrchu se s rostoucí teplotou prodlévky zvyšuje. Na příklad při teplotě prodlévky 200°C je teplotní gradient při teplotě ve středu vzorku 80°C a ve 42. minutě malý, představuje teplotu 20°C. Od této doby se začíná teplotní gradient zvětšovat, neboť se prohřívají povrchové vrstvy vzorku. S rostoucí teplotou na povrchu i ve středu vzorku roste teplotní gradient, který má v 80. minutě 100°C. Ve 120. minutě dojde k vyrovnání obou teplot, které činí 190°C. Při teplotě prodlévání 500°C je teplotní gradient malý, při teplotě 100°C ve středu vzorku, která se dosáhne ve 30. minutě. Pak teplota vzorku rychle stoupá a teplotu 500°C dosáhne vzorek ve 29. minutě. Teplota ve středu vzorku stoupá pomaleji, což je způsobeno prohříváním středu vzorku, teplotu prodlévky dosáhne ve 34. minutě.

Z měření při prodlévání na teplotě v peci je zřejmé, že čím je teplota prodlévání nižší tím je čas sušení delší. Teplotní gradient ve středu a na povrchu vzorku je menší.

Na navrhovaném zařízení je třeba v budoucnu provést zajištění, tak aby teplota prodevy v peci byla co nejvíce konstantní. Při prodlévání na uvedených teplotách, teplota v peci kolísala. Na prodevě 500°C dosáhla tato teplota až 560°C .

7. Z Á V Ě R

Hlavní část této diplomové práce byla věnována literárnímu průzkumu a teoretickému rozboru sadaného úkolu a souborní forem se sádovými formovacími směry.

Bylo navrženo měřicí zařízení pro termogravimetrické měření a byla stanovena metodika měření. V praktické části byla provedena termogravimetrická měření válcových vzorků Ø 35 x 50 mm se sádovými formovacími směry, shrnuté v tabulkách i grafech v příloze.

Provedená měření jsou ověřovací, aby ukázala upravnost navrženého zařízení a vhodnost určení metodiky měření.

Pro ověření přesnosti navrženého skutečného zařízení byla provedena čtyři měření na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze na katedře silikátů, v laboratoři termické analýzy, na jejich termogravimetrickém zařízení. Z porovnání výsledků je vidět, že navržené zařízení nevykazuje rozdílné výsledky měření, které by ovlivnily další použití navrženého zařízení - termováh k dalšímu účelu při rozboru sádového procesu forem se sádovými formovacími směry, protože odchylky nepřesahují 10 %.

Zkouškový rozbor práce, vzhledem k tomu, že se jedná o první informativní měření na navržené zařízení, nebyl proveden.

Je mou milou povinností poděkovat vedoucím diplo-
mové práce Doc. Ing. Zdeňku Holubcevi, CSc. z Vysoké školy
strojní a textilní v Liberci, katedry materiálu a strojíren-
ské metalurgie za jeho dohlížení, odborné vedení a cenné
přípomínky při řešení závěrečné práce.

Děkovat děkuji i své konsultantce Prof. chem. Janě Kal-
hánkové z Vysoké školy strojní a textilní v Liberci, katedry
materiálu a strojírenské metalurgie za vedení diplomové prá-
ce v oblasti teoretické i experimentální.

Soutěsně děkuji Dr. A. Blažkovi, DrSc, vedoucímu labora-
toře termické analýzy Vysoké školy chemické-technologické
v Praze, který mi umožnil použít jejich zařízení a provést
potřebná měření a Ing. Kinstově z této školy, která mě velmi
laskavě seznámila s jejich přístrojem a způsobem měření.

Mám dle patří všem, kteří mi jakoukoliv pomocí nani-
li řešení mé diplomové práce.

Iva Kovač

Prohlášení

Souhlasím, aby moje diplomová práce byla podle směrnice uveřejněná v Pokynech a informacích č. 1/1975, se kterou jsem byl seznámen, zapůjčena nebo předána za účelem využívání jejího obsahu. Jsem si vědom, že práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám disponovat.

Souhlasím, aby po pěti letech byla diplomová práce vrácena na uvedenou adresu, nebo v případě nedoručitelnosti skartována.

Iva Nova

Jméno a příjmení Iva Nova podpis

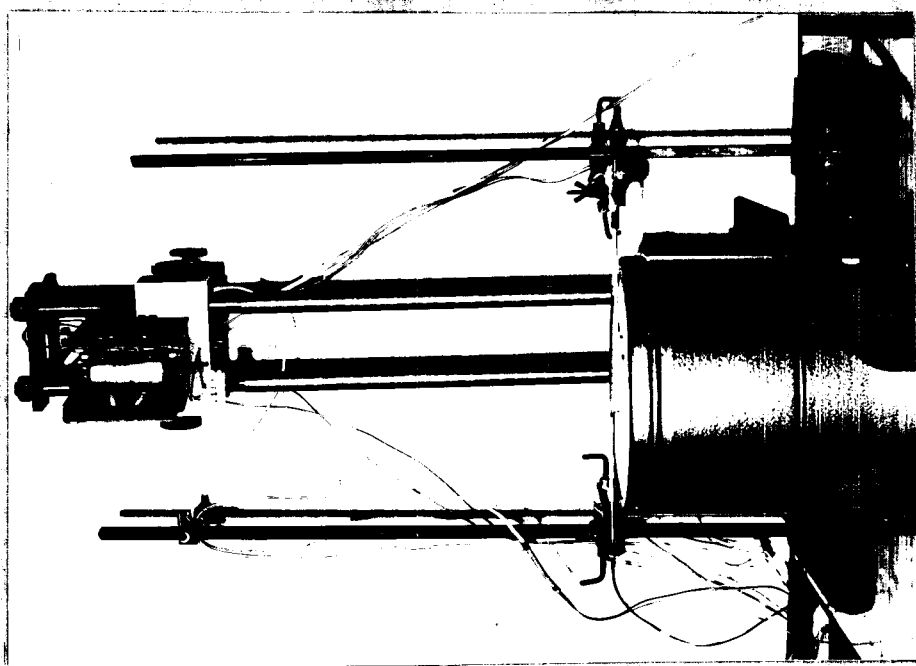
Adresa stálého bydliště ŽEROUN " 26601

Kungmannova 1610

Adresa podniku, ve kterém budete pracovat (pokud víte)

s á d r y

Pomínky přípravy a sušení vzor	01 - 1	Měření 11 - 02 - 1	Měření 11 - 03 - 1
Vodní součinitel	1	1	1
Čas tuhnutí vzorku / min	15	15	14
Čas vyjmutí vzorku z formy	30	30	30
Čas přípravy sádrové kaše	2	2	2
Čas sušení v peci / min	82	62	124
Hmotnost vzorku před sušením	72	73	74
Hmotnost vzorku po sušení	36	37	37
Sádrový "koláč" / mm / x	153	160 x 155	153 x 157
Teplota v laboratoři / °C	26	24	25
Teplota používané vody / °C	18	18	18
Termoelektrický článok ve v- Ko		Cu - Ko	Cu - Ko
Termoelektrický článok v pa- Ko		Fe - Ko	Fe - Ko
Úbytek hmotnosti vysušením	6	37	37



Obr. č. 7 Upínací část

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ Harnáček, J.:
Stavební hmoty I
SNTL Praha 1954
- /2/ Lhotský, B.:
Zubní hmoty
SNTL Praha 1947
- /3/ Kolektiv:
Studium výroby odlitků litých do
sádrových forem
Závěrečná zpráva státního úkolu
P 15 - 124 - 008 - 21/1
KTM Liberec 1973
- /4/ Vetiška, A.:
a kol.
Teoretické základy slévárenské
technologie
SNTL Praha 1974
- /5/ Metals Handbook:
Forging and Casting, Eight Edition
American Society for Metals,
USA 1977
- /6/ Pilař, A.:
a kol.
Chemické inženýrství III
SNTL Praha 1972
- /7/ Rechier, M.:
Fonderie 274 Janvier 1969
LES LIATS MINERAUX
LES Plâtres (2^e partie)
DP - ST 886/73 VŠST Liberec
- /8/ Vrbík, J.:
Slévárenství II
SNTL Praha 1975
- /9/ Píšek, F.:
a kol.
DP - ST 1338/78 VŠST Liberec
- /10/ Boháč, A.:
Způsob přípravy propustných forem
pro výrobu přesných odlitků
Krakov - Polsko
- /11/ Lusniak - Lech, L.:
Termická analýza
SNTL Praha 1972
- /12/ Blažek, A.:
Základy fyzikální chemie
ACADEMIA Praha 1977
- /13/ Brdička, R.:
Dvořák, J.:
DP - ST - 1196/76 VŠST Liberec
- /14/ Hart, M.:
Sušení v chemickém průmyslu
SNTL Praha 1967
- /15/ Valchář, J.:
a kol.
Novodobé způsoby lití kovů
SNTL Praha 1967
- /16/ Dešková, J.:
Krupp, V.:
Základní výzkum silikátů
SNTL Praha 1957
- /17/ Barta, R.:

/18/ Šatava, V.:

Úvod do fyzikální chemie
silikátů
SNTL Praha 1965

9. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 3.

- 1 Kalibrační křivka Cu - Ke
- 2 Kalibrační křivka Fe - Ke
- 3 Tabulka měření I - 01 - 1
- 4 Tabulka měření I - 02 - 08
- 5 Tabulka měření I - 03 - 06
- 6 Tabulka měření I - 04 - 06
- 7 Tabulka měření II - 01 - 1
- 8 Tabulka měření II - 02 - 1
- 9 Tabulka měření II - 03 - 1
- 10 Graf $T = f(t)$ $\frac{M}{M_0} = f(t)$ měření I - 01 - 1
- 11 Graf $T = f(t)$ $\frac{M}{M_0} = f(t)$ měření I - 02 - 08
- 12 Graf $T = f(t)$ $\frac{M}{M_0} = f(t)$ měření I - 03 - 06
- 13 Graf $T = f(t)$ $\frac{M}{M_0} = f(t)$ měření I - 04 - 06
- 14 Graf $T = f(t)$ $\frac{M}{M_0} = f(t)$ měření II - 01 - 1
- 15 Graf $T = f(t)$ $\frac{M}{M_0} = f(t)$ měření II - 02 - 1
- 16 Graf $T = f(t)$ $\frac{M}{M_0} = f(t)$ měření II - 03 - 1
- 17 Graf $\frac{M}{M_0} = f(T)$ měření I - 01 - 1
- 18 Graf $\frac{M}{M_0} = f(T)$ měření I - 02 - 08
- 19 Graf $\frac{M}{M_0} = f(T)$ měření I - 03 - 06
- 20 Graf $\frac{M}{M_0} = f(T)$ měření I - 04 - 06
- 21 Graf $\frac{M}{M_0} = f(T)$ měření II - 01 - 1
- 22 Graf $\frac{M}{M_0} = f(T)$ měření II - 02 - 1
- 23 Graf $\frac{M}{M_0} = f(T)$ měření II - 03 - 1
- 24 Graf $\frac{M}{M_0} = f(T)$ Průběh alabastrové sítě
- 25 Graf DTA vlnitá Garpsin a alabastrová sítě 6 x 12 mm
- 26 Graf DTA vlnitá průřeková sítě a průřekový Garpsin

Příloha 3.

- 27 Graf $\sigma = f(t)$ Garamin vzorek Ø 6 x 12 mm
- 28 Graf $\sigma = f(t)$ pyritová sádra alabastrová, Garamin
- 29 Graf $\sigma = f(t)$ alabastrová sádra vzorek Ø 6 x 12 mm
- 30 Kalibrační síla sádry - VŠET $\sigma = \sigma_V$

PŘÍLOHA

Tabelární a grafické zpracování naměřených hodnot
termogravimetrických měření sedimentárních formací

10

1000000

1000000
1000000
1000000

10

10

10

10

10

10

100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

↑
0,5
 $\frac{m}{m}x$
/1/

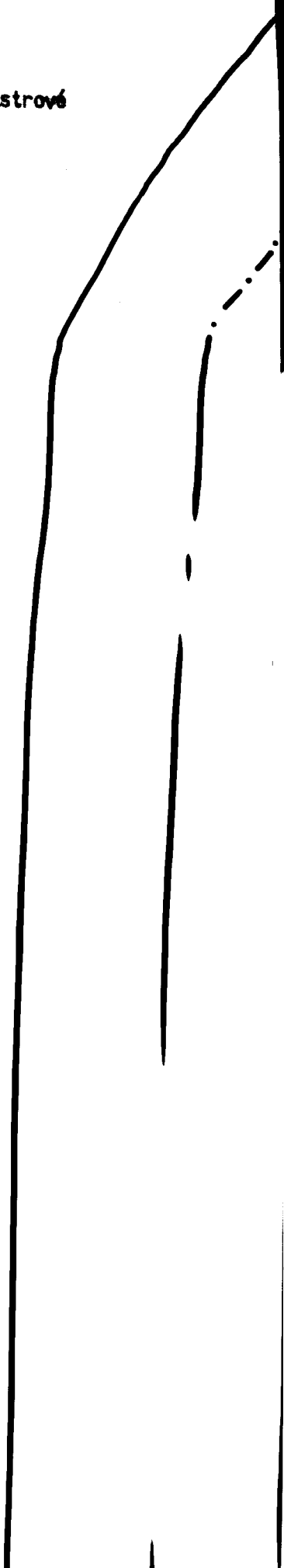
↑
T
600
°C

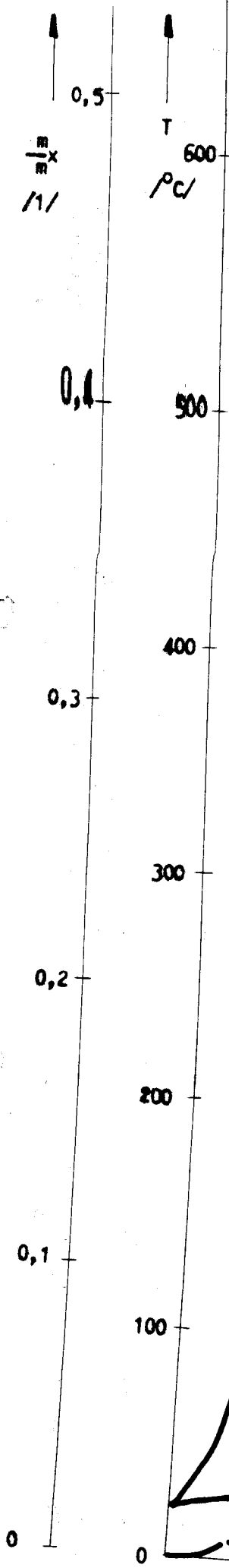
Závislost teploty při sušení vzorku z alabastrové
sádky na čase: $T = f(t)$

Závislost úbytku hmotnosti vzorku na čase:
 $\frac{m}{m}x = f(t)$

0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0

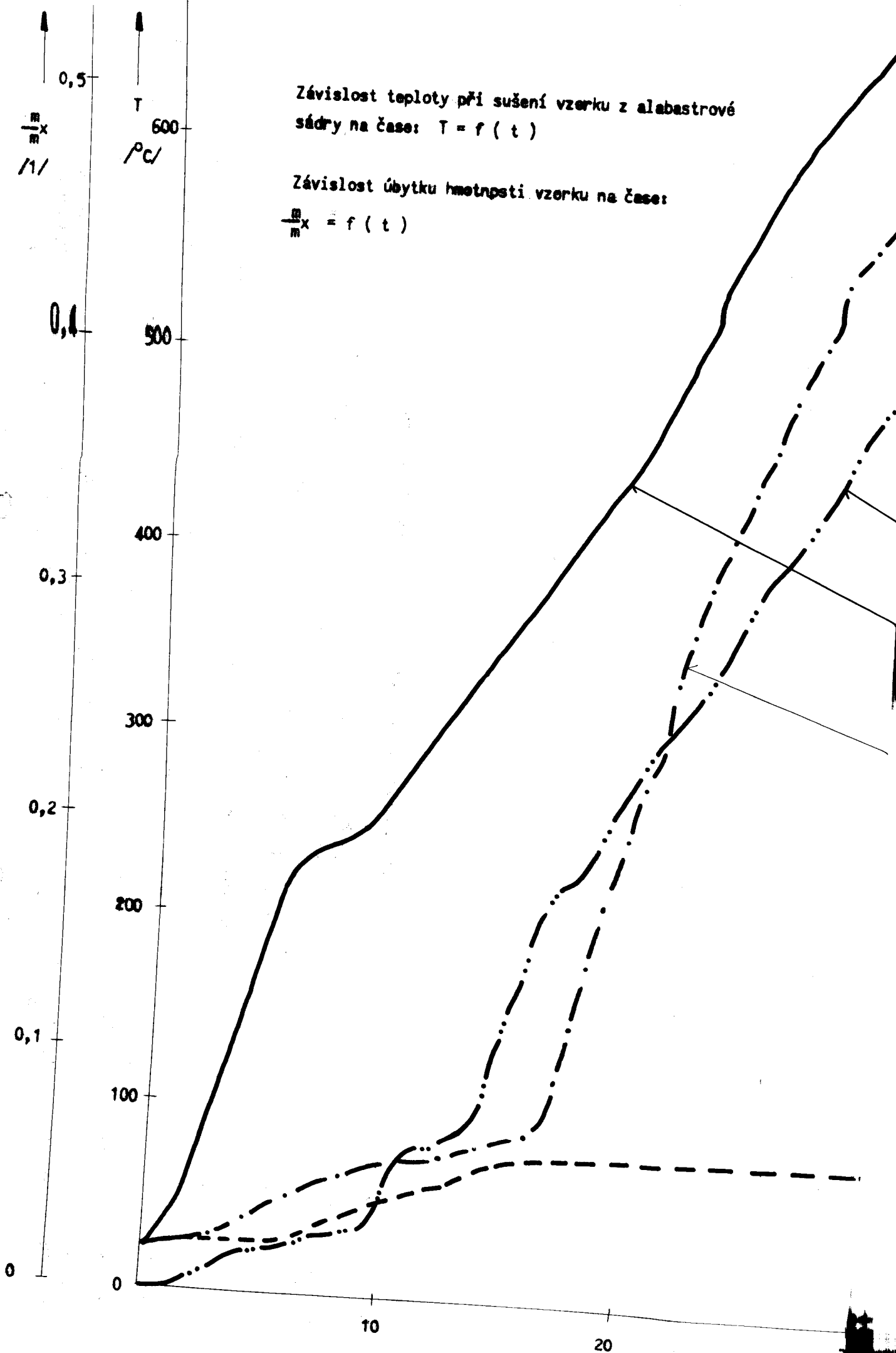
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0





Závislost teploty při sušení vzorku z alabastrové
sádky na čase: $T = f(t)$

Závislost úbytku hmotnosti vzorku na čase:
 $\frac{m-x}{m} = f(t)$



Měření: 1 - 02 - 08

0,50

↑

$\frac{m}{m_0}$

0,40

0,30

0,20

0,10

0

600

↑

T

ρ_c

500

400

300

200

100

0

Závislost tep

sádry na čas

Závislost úby

$\frac{m}{m_0} = f(t)$

.....

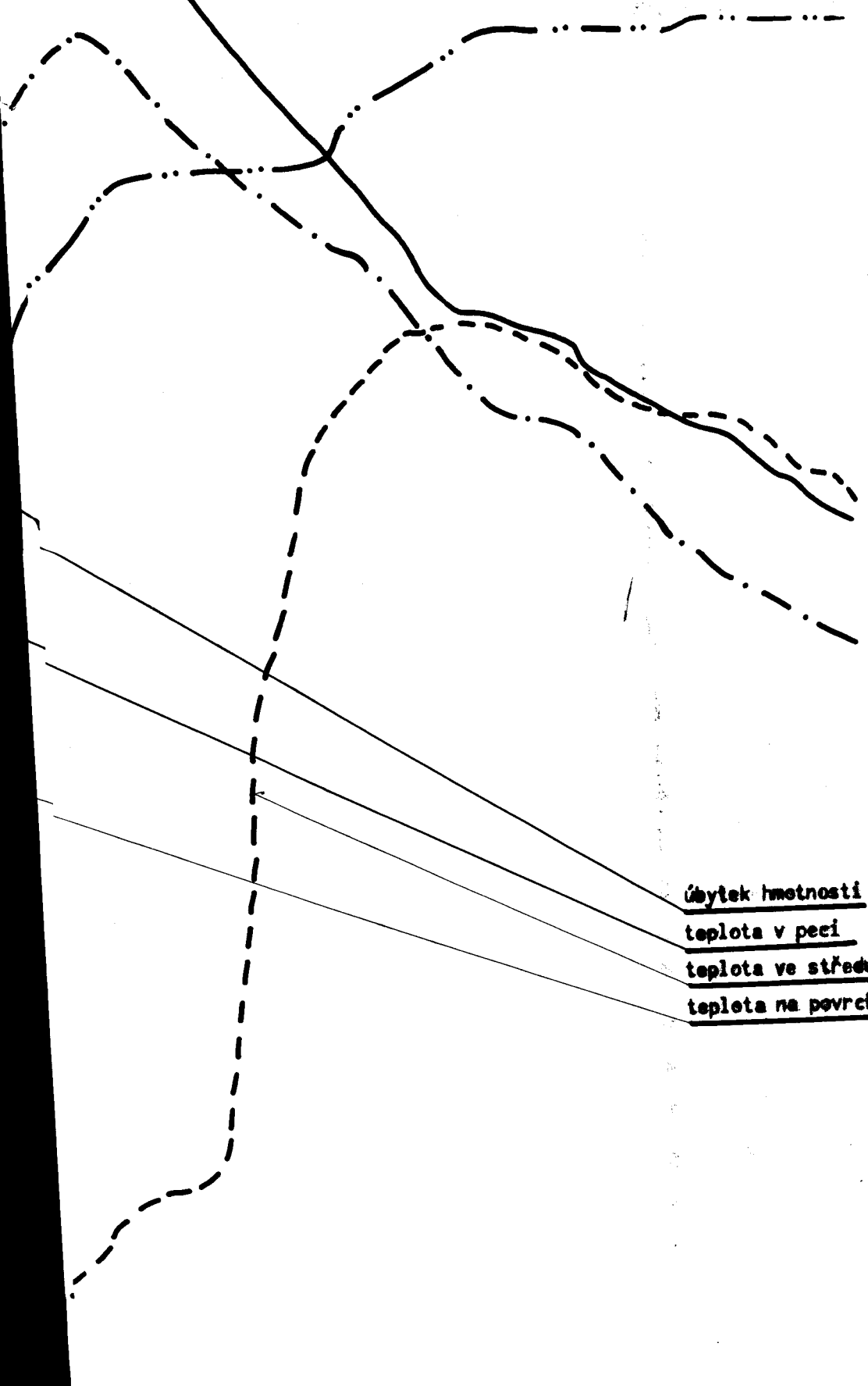
úbytek hmotnost

teplota v peci

teplota ve středu vzorku

teplota na povrchu vzorku

Měření: I - 01 - 1



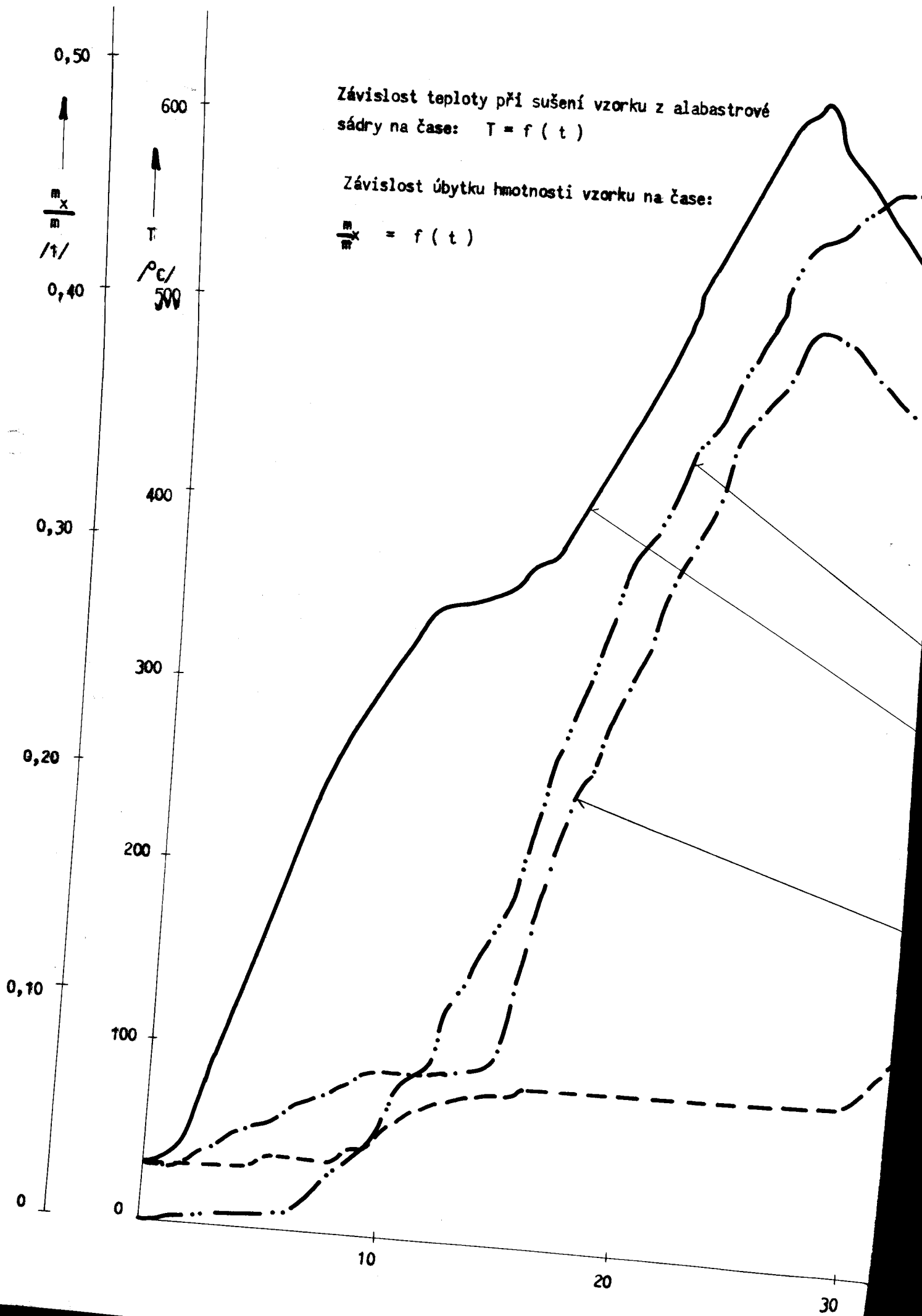
úbytek hmotnosti
teplota v peci
teplota ve středu vzorku
teplota na povrchu vzorku

40

50

t / min/

60



Příloha č. 11

Měření: 1 - 02 - 08



úbytek hmotnost

teplota v peci

teplota ve středu vzorku

teplota na povrchu vzorku

40

50

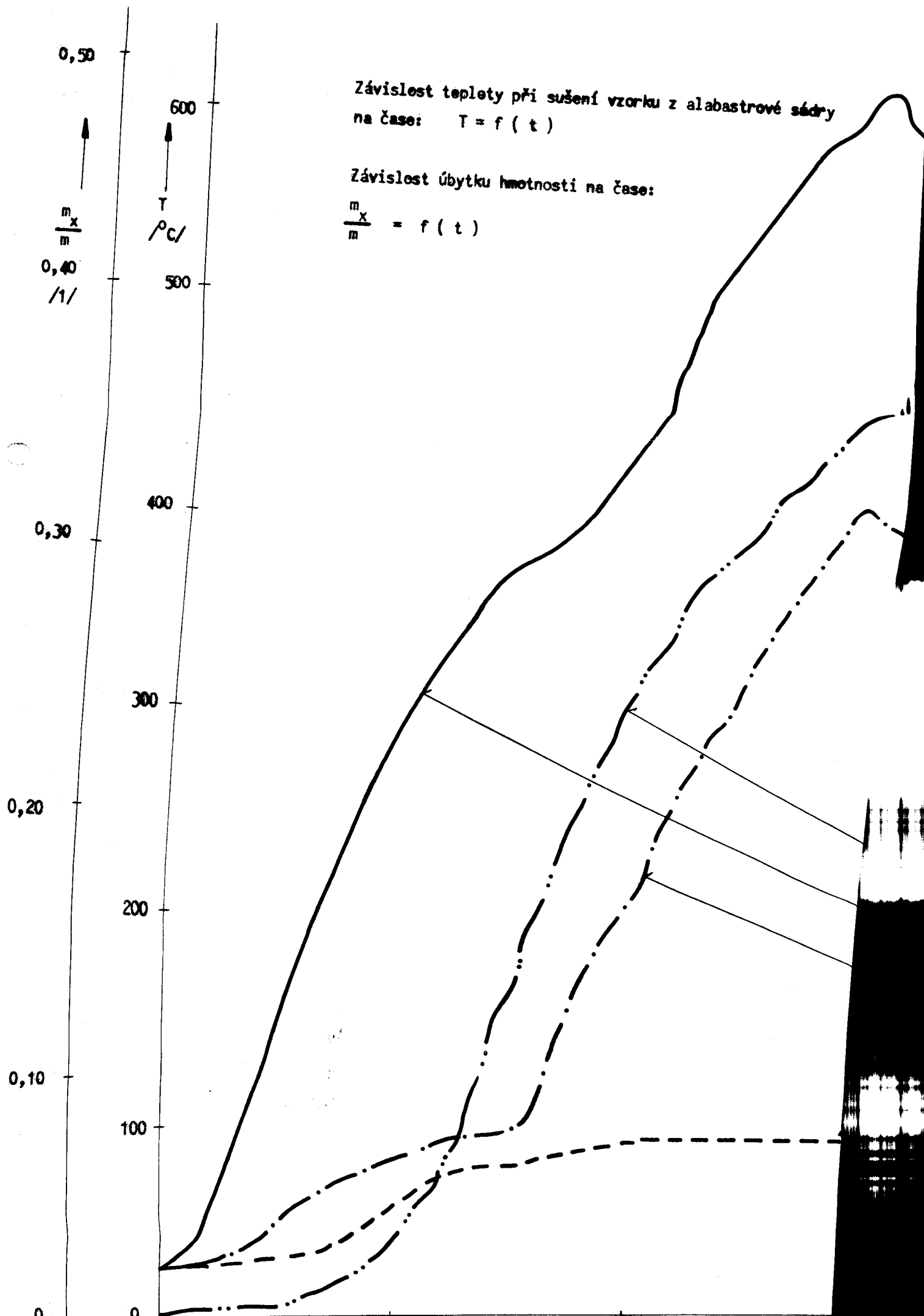
60

t / min /

Závislost teploty při sušení vzorku z alabastrové sádky
na čase: $T = f(t)$

Závislost úbytku hmotnosti na čase:

$$\frac{m_x}{m} = f(t)$$



Příloha č. 12
Měření: 1 - 03 - 06



Příloha č. 12

Měření: 1 - 03 - 06



0,50

600

Závislost teploty při sušení
sedy na čase