

strojn^í a textiln^í
Vysoká škola: v. Liberci..... Fakulta: strojn^í
Katedra: materiálu a strojírenské..... Školní rok: 1985/86
metalurgie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Romana H Á J K O V Á
obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Hodnocení plastických a elastických vlastností
jádrových směsí
.....
.....

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení s výrobou jader, vlastnostmi, složením a metodami hodnocení jádrových směsí.
2. Seznámení se zkoušením pevnostních vlastností jádrových směsí se zvláštním zaměřením na zkoušení za vyšších teplot.
3. Návrh metodiky a potřebného měřicího zařízení pro ohybovou zkoušku s přesným měřením deformace včetně metodiky vyhodnocování.
4. Ověřovací měření a vyhodnocení ohybového modulu na vybraných směsích.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení navržené zkoušky a jejího zavedení mezi kontrolní metody jádrových směsí, návrh dalšího postupu.

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

V180/265


Rozsah grafických prací: tabulky, grafy, schemata
Rozsah průvodní zprávy: asi 50 stran textu
Seznam odborné literatury:

- /1/ VETIŠKA, A.: Teoretické základy slévárenské technologie. SNTL Praha, 1972.
- /2/ PÍŠEK, F., PLEŠINGER, A.: Slévárenství I. SNTL Praha, 1974
- /3/ RUSÍN, K.: Měření jakosti formovacích hmot. Skripta VUT Brno.
- /4/ Články z časopisů Giesserei, Aluminium.

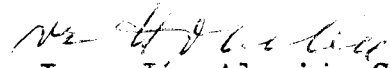
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Zdeněk Holubec, CSc
Konzultant : Vladimír Janský - LIAZ n.p. Liberec

Datum zadání diplomové práce: 9.9.1985
Termín odevzdání diplomové práce: 23.5.1986

L.S.


Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc

.....
Vedoucí katedry


Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc

.....
Děkan

V Liberci dne 3.9. 1985

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

Strojírenská technologie

zaměření

Strojírenská metalurgie
Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

HODNOCENÍ PLASTICKÝCH A ELASTICKÝCH VLASTNOSTÍ
JÁDROVÝCH SMĚSÍ

číslo DP KMM-171
Romana H á j k o v á

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Zdeněk Holubec, CSc
VŠST Liberec

Konzultant: s. Vladimír Jánský

Rozsah práce a příloh

Počet stran:	70
Počet tabulek:	17
Počet obrázků:	16
Počet příloh:	5
Počet výkresů:	-

20. května 1986

"Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury."

V Liberci dne 20. května 1986

Romana H á j k o v á

Romana Hájková

O B S A H

1. ÚVOD	6
2. SLÉVÁRENSKÁ JÁDRA, JEJICH VÝROBA A VLASTNOSTI	8
2.1 Charakteristika, funkce a namáhání slévárenských jader	8
2.2 Požadavky na vlastnosti jader	9
2.3 Metody výroby jader a používané jádrové směsi	11
2.4 Metody hodnocení vlastností jádrových směsí	14
3. CHARAKTERISTIKA CHOVÁNÍ JÁDROVÝCH SMĚSÍ PŘI VYSOKÝCH TEPLOTÁCH	17
3.1 Přehled a charakteristika základních vlastností jádrových směsí	17
3.2 Rozbor podmínek vzniku a existence pružně-plastických vlastností směsí	19
3.3 Diagram "trhlina-deformace"	23
3.4 Postupy a veličiny, které ovlivňují pružně-plastické vlastnosti	26
4. NÁVRH METODIKY A MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ PRUŽNĚ-PLASTICKÝCH VLASTNOSTÍ JÁDROVÝCH SMĚSÍ	32
4.1 Úprava ohybové zkoušky jádrových směsí	32
4.1.1 Rozbor ohybové zkoušky	32
4.1.2 Úprava zkušebního vzorku	34
4.1.3 Výroba vzorků	34
4.2 Sestava měřícího zařízení	37
4.3 Metodika vyhodnocování naměřených veličin	40
5. OVĚŘOVACÍ MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ PRUŽNĚ- PLASTICKÝCH VLASTNOSTÍ VYBRANÝCH SMĚSÍ	43
5.1 Přehled zkoušených jádrových směsí	43
5.2 Podmínky zkoušek	45
5.3 Dosažené výsledky zkoušek a vyhodnocení pružně-plastických vlastností	47
5.4 Dílčí závěry z provedených měření	48

6. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NAVRŽENÉ ZKOUŠKY PRUŽNĚ-PLASTICKÝCH VLASTNOSTÍ JÁDROVÝCH SMĚSÍ	62
6.1 Zhodnocení metodiky měření a vyhodnocování	62
6.2 Zhodnocení měřicího zařízení a návrh úprav	64
6.3 Doporučení pro zavedení zkoušky při hodnocení jádrových směsí	65
7. ZÁVĚR	67
8. SEZNAM LITERATURY	69
9. SEZNAM PŘÍLOH	70

Seznam použitých zkratek a symbolů

pevnost v ohybu	$\tilde{\sigma}_o$ /MPa/
teplota ohřevu	T_o /°C/
teplota vytvrzování	T_v /°C/
doba ohřevu	t_o /s/
doba vytvrzování	t_v /s/
doba zatěžování	t /s/
zatěžovací síla	F /N/
průhyb vzorku	y /mm/
ohybový modul	E_o /MPa/
rozměrová konstanta	C /mm ⁻¹ /
průřezový modul	W_o /mm ³ /
maximální ohybový moment	M_{omax} /Nmm/
Yongův modul pružnosti	J /mm ⁴ /
výška vzorku	h /mm/
šířka vzorku	b /mm/
délka vzorku	L /mm/
vzdálenost podpor	e /mm/
obvod kruhu	O_k /mm/
obvod elipsy	O_e /mm/
poloměr kružnice elipsy	r /mm/
poloměr velké kružnice	R /mm/

1. ÚVOD

Uspokojování rostoucích potřeb národního hospodářství i obyvatelstva a zvyšování efektivity je stále nejaktuálnější otázkou a nejdůležitějším úkolem hospodářské a sociální politiky Komunistické strany Československa. Toto uspokojování a plnění úkolů je rozhodujícím způsobem určováno rozvojem průmyslové výroby. V tomto smyslu také hovoří závěry XVII.sjezdu KSČ v Hlavním směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986 až 1990.

Strojírenská výroba jako nositelka technického rozvoje ve všech odvětvích národního hospodářství a hlavního exportního odvětví se má v souhrnu s elektrotechnickou zvýšit o 30 %. Z toho těžký průmysl, který zahrnuje i slévárenskou výrobu, se má zvýšit o 21 až 27 %.

Tento neustálý rozvoj musí zajistit množství potřeb odlitek s vysokými užitnými vlastnostmi vyráběné ve velkých seriích. K tomu musí být přizpůsobeny také dílčí úkoly a operace slévárenské technologie. Důležitou roli v rozvoji této technologie hraje spolupráce jednotlivých průmyslových podniků s oblastmi vědy a techniky. Příkladem je dlouholetá spolupráce závodu n.p. LIAZ-slévárny v Liberci v Ostašově s katedrou materiálů a strojírenské metalurgie VŠST v Liberci.

Rozšíření umělých pryskyřic jako pojiva bylo příčinou, proč se v Ostašovské slévárně neustále narůstá výroba jader ze směsi s pojivy na bázi umělých pryskyřic, a to jak skořepinových, vyráběných metodou C, tak vyráběných metodou HB. Směsi s těmito pojivy se vytvrzují teplem a svých požadovaných vlastností, především pevnosti, nabývají po tomto vytvrzení. S tím souvisí i specifické problémy s vlastnostmi těchto směsí a jejich chování při ohřevu taveninou při odlévání odlitek.

V praxi se ukázalo, že při ohřevu taveninou kovem dochází prostřednictvím současného mechanického a tepelného namáhání

k určitým deformacím jader ve formě - tudíž, že jádra vykazují pružně - plastické vlastnosti i po vytvrzení, a to při opětovném ohřevu.

V otázce pružně plastických vlastností je zahrnuto chování jádrových směsí při vysokých teplotách, jejich náchylnost ke vzniku deformací či trhlin a prasklin, na druhé straně dále příčiny vzniku a existence deformací a trhlin, jak se uplatňují, v jaké míře a jakého jsou druhu. V neposlední míře i to, jakým způsobem je možné je ovlivnit.

Touto otázkou se poprvé zabýval asi před 10 lety Boenish a své rozborů publikoval v časopise Gisserei. Tyto poznatky byly využity při rozpracování uvedené problematiky na katedře materiálů a strojírenské metalurgie VŠST v rámci fakultního úkolu a na základě požadavku slévárny LIAZ Liberec.

V Československu tato problematika zatím jinde řešena nebyla, a tím dále větší důvod, aby se této problematice věnovalo více pozornosti a byla zkoumána a řešena ve všech slévárenských podnicích. Vždyť zárukou výroby kvalitních odlitků jsou právě formy a jádra požadovaných kvalit, která dobře odolávají současnému mechanickému a tepelnému namáhání při odlévání taveniny. To znamená, aby jádra nebyla na jedné straně deformována a nebo na druhé straně, aby neměla sklon ke vzniku trhlin a nepraskala - tedy aby jádra vykazovala optimální pružně plastické vlastnosti.

Dílčím příspěvkem k rozpracování této problematiky, prozkoumání pružně-plastických vlastností a současně i faktorů, které je ovlivňují, je i moje diplomová práce na téma: Pružně plastické vlastnosti jádrových směsí.

2. Slévárenská jádra, jejich výroba a vlastnosti

2.1 Charakteristika, funkce a namáhání slévárenských jader

Jádra jsou části formy obklopené úplně nebo z části vlitým kovem. Vyrábějí se převážně mimo formu jaderníku, z jádrových formovacích směsí a po zaformování se zpravidla suší nebo chemicky vytvrzují. Jádra z vazných směsí (s jílovými pojivy) jsou po zhotovení tak soudržná, že drží pohromadě a dají se hned do sušících pecí přenášet bez jakýchkoliv zvláštních opatření. Větší jádra z těchto formovacích směsí se ztužují výztuhami (armaturami). Jádra z nevazných směsí nabývají soudržnosti teprve vysušením nebo chemickým vytvrzením, a proto se musí přenášet na zvláštních podložkách. Jádra se vyrábějí jednodílná nebo vícedílná. Jednotlivé díly se do sebe vzájemně skládají nebo sestavují ve zvláštním přípravku. Jádra, která nelze předem sestavovat v celky, musí se postupně vkládat do formy a zachytit ve vzájemné poloze známkami a podpěrkami.

Jádra, která tvoří dutinu v odlitku a jsou úplně oblita kovem, se nazývají jádra pravá, jádra nepravá nejsou úplně oblita kovem, tvoří obvykle část stěny formy a zhotovují se kvůli dobrému zapěchování a vytahování modelu z formy. Každé jádro musí být dostatečně prodyšné. U většiny jader nepostačí vlastní prodyšnost formovacího materiálu, a proto je nutno zhotovit v jádru odvodušňovací kanálky.

Slévárenské formy a jádra jsou při výrobě odlitků, t.j. při odlévání taveniny, při jejím tuhnutí a při ochlazení již ztuhlého odlitku namáhány složitým namáháním, jež se rozčleňuje:

1. mechanické namáhání
2. tepelné namáhání
3. chemické namáhání

Mechanicky je jádro namáháno hydrostatickým tlakem kovu, který závisí na výšce hladiny taveniny nad místem jádra, na němž tlak zjišťujeme. Dále na měrné hmotnosti taveniny. Tlak na oblévané jádro se zvětšuje úměrně s výškou hladiny ve vtokové jamce. Při plnění formy taveninou nastává tření proudící taveniny, jímž je jádro namáháno na otěr.

Chemicky je jádro namáháno několikerým způsobem:

- vlivem chemických přeměn jádrové směsi nebo jejich složek, působení vysoké teploty, kterou jádro dosáhne při naplnění taveninou
- roztavením některých komponent v jádrové směsi a potom jejími chemickými reakcemi s dalšími složkami směsi
- chemickým působením kysličníku nebo jiných látek, vnesených do jádra litým kovem
- přímou chemickou reakcí mezi jádrem a litým kovem.

Převažujícím jevem je tepelné ovlivnění určité vrstvy jádra ve směru od rozhraní tavenina - jádro. Zejména u pravých jader se tento jev projevuje velmi výrazně. Po naplnění dutiny formy taveninou je mezi taveninou a jádrem teplotní rozdíl, který způsobuje přechod tepla z odlitku do formy a jádra. Jádro se ohřívá, odlitek ochlazuje. Dosažená vysoká teplota ohřevu příslušné vrstvy má vliv na mechanické vlastnosti směsi a vytváří parametry pro průběh různých fyzikálně-chemických dějů, jak ve vrstvě směsi, tak na rozhraní s odlitkem.

2.2 Požadavky na vlastnosti jader

Se zřetelem k namáhání jader a k technologickým podmínkám musí jádra splňovat určité vlastnosti, které jsou zárukou dobrých odlitků.

Pevnost (vaznost) jádra musí být taková, aby se její tvar a rozměry neměnily v době plnění taveninou, v době tuhnutí odlitku a také ještě určitou dobu při chladnutí

odlitku, než litý materiál získal dostatečnou pevnost k udržení tvaru odlitku. Pevnost jádra však nesmí být velká v údobí, kdy se odlitek smršťuje, aby odporem jádra proti smršťování nevzniklo napětí a trhliny v odlitku. To docílíme použitím jádrových směsí s přísadami, které se působením žáru z tuhnoícího odlitku rozkládají, spalují nebo ztrácejí pevnost, takže se jádro po ztuhnutí odlitku rozpadne nebo pozbude značné části pevnosti a neodporuje smršťování odlitku. Tato schopnost se nazývá rozpadavost. Jádro musí mít při odlévání kovů do formy a při jeho tuhnutí dostatečnou pevnost za vysokých teplot, musí být žuruvzdorná a chemicky odolná vůči odlévané slitině.

Hmoty, ze kterých se jádra vyrábí, musí mít vlastnosti, které umožňují zhotovit z nich jádra obvyklými technologickými způsoby. Jádrová směs musí mít tyto vlastnosti:

- plastičnost, t.j. schopnost jádrové směsi přijmout působením vnější síly tvar podle modelu
- poddajnost, t.j. schopnost jádrové směsi umožnit smršťování odlitku při jeho chladnutí ve formě
- tekutost jádrové směsi je její schopnost vyplňovat formu nebo jádro i v jiných směrech než je působení síly
- trvanlivost - je schopnost jádrové směsi podržet si své vlastnosti i po vícenásobném použití
- jádro musí odolávat vadám z napětí (zálupy, výronky) i penetraci kovu (zapečeniny)
- ostřívo musí být snadnou cestou regenerovatelné (např. suchou cestou) a kvalitní regenerát použitelný ve vysoké koncentraci do nové jádrové směsi
- opadní písek nemá obsahovat škodliviny ohrožující jeho kvalitu
- dobrá skladovatelnost jader (minimální ztráta pevnosti a růst otěru při skladování i za ztížených klimatických podmínek, umožňující výrobu jader na sklad)
- vytvrzování jader musí umožňovat použití vysokého stupně automatizace.

Z fyzikálně-tepelných vlastností jsou významné - tepelná jímavost jádra, t.j. množství tepla, které může jádro pohltit. Tepelná vodivost má vliv na rychlost odvádění tepla z odlitku do jádra.

2.3 Metody výroby jader a používané jádrové směsi

Ve slévárenské technologii se používá mnoho způsobů výroby jader. Některé z nich patří ke starším způsobům a upouští se od nich. A naopak se nacházejí nové a modernější způsoby, které nacházejí stále větší uplatnění ve slévárenství.

Jádra se vyrábějí formováním

- a) v jaderníku
- b) přímo ve formě
- c) za použití kombinace jaderníku a šablon
- d) šablonováním
- e) na přírodní model

Výroba jader v jaderníku se dělí na ruční a strojní pēchování. Při použití formovacích strojů na jádra se používaly dříve tyto způsoby pēchování:

- a) ruční pēchování na vytlačovacích strojích
- b) pēchování nekonečným šroubem
- c) lisováním
- d) střásáním

Moderní způsoby používají ještě dnes lisování a střásání, ale především se zaměřují na použití pēchovací síly stlačeného vzduchu při:

- a) foukání jader
- b) střelování jader

U všech těchto druhů výroby jader je jádro vytaženo z jaderníku v syrovém stavu a přenášeno do sušících komor. Jak při vytahování, tak i při přenášení je jádro deformováno.

Aby nedocházelo k deformaci jádra, používá se zvláštních způsobů výroby jader, kde vytvrzování probíhá přímo v jaderníku po dobu několika sekund. K těmto metodám patří:

- a) metoda chemicky tvrzených směsí s vodním sklem CT
- b) jádra ze samotvrdnoucích směsí pojených vodním sklem
- c) jádra ze samotvrdnoucích směsí pojených pryskyřicemi a oleji
- d) skořepinová jádra vyráběná metodou C
- e) jádra vyráběná metodou horkého jaderníku - HB
- f) jádra vyráběná metodou studených jaderníků - CB

Ve slévárně Ostašov se vyrábějí jádra různými metodami, metoda chemicky tvrzených směsí pojených vodním sklem CT, metoda skořepinových jader C, metoda horkých jaderníků HB.

Principem metody Croning C je nasypání směsi ostřiva a umělé pryskyřice na kovový model nebo do kovového jaderníku, který je ohřátý asi na 280°C . Tato směs se ponechá asi po dobu 8 až 20 sekund na teplé ploše jaderníku nebo kovového modelu. Během této doby se nataví umělá pryskyřice ve směsi v určité vrstvě a vytvoří souvislou plasticou pokrývku v tloušťce 5 až 12 mm. Ostatní část se odstraní z jaderníku obklopením. Potom se pokrývka - skořepina nechá vytvrdit při určité teplotě, která je daná druhem a jakostí pryskyřice. Teplota vytvrzení je kolem 450°C , kdy teplota desky dosáhne asi 280°C . Doba vytvrzování je asi 1 až 3 minuty. Po vytvrzení vyjmeme z jaderníku skořepinové jádro. Při této metodě se spotřebuje malé množství formovacích směsí, dosáhne poměrně rozměrově přesných odlitků, lepší hladkosti povrchu, a tím se zmenší přídatky na obrábění a zvýší se výkonnost mechanických a montážních dílen. Používají se poměrně jednoduchá zařízení pro výrobu forem a jader a jádra se vyrábí složitých tvarů, různé velikosti, zejména s hlubokými a úzkými tvary.

To jsou vše výhody této metody. Má však i svoje nevýhody, zejména omezenou použitelnost z hlediska hmotnosti a rozměrnosti.

Další metodou je metoda chemicky tvrzených směsí CT. Forma nebo jádro se mírně upěchuje ze směsi obsahující vodní sklo. Po zaformování se přes jádro nebo formu nechá proudit oxid uhličitý, který způsobí okamžité ztvrdnutí vodního skla. Formy se odlévají na syrovo. Způsob, kterým se oxid uhličitý podílí na ztvrdování forem a jader, je velmi důležitý technicky i hospodářsky. CO_2 je poměrně velmi drahý, a proto jeho spotřeba má často rozhodující vliv na hospodárnost této metody. Skutečná spotřeba CO_2 ve většině sléváren se pohybuje asi okolo 3 až 5 % vztaženo na hmotnost směsi. Metoda CT je jednou z nejuniverzálnější slévárenských metod. Její nevýhodou je, že formy a jádra se po odlití nesnadno vytloukají.

Metoda horkých jaderníků se vyvinula od metody C. Od této metody se liší tím, že se zde používá pojiv, které vyžadují důkladně upěchovat formovací směs a ohřev formy nebo jádra ze všech stran v úplně uzavřeném jaderníku. Jaderník, ohřátý na určitou teplotu, se naplní formovací směsí, která obsahuje pojivo rychle tvrdnoucí za tepla. Ve styku s horkým jaderníkem směs tvrdne v určité tloušťce, různé podle druhu pojiva, teploty jaderníku a doby ponechání jádra v jaderníku. Z jaderníku se vytáhne již hotové jádro.

Pro skořepinové formování - metodou C a HB se používají samovolně tvrdnoucí směsi s organickými pojivy. K těmto pojivům patří:

- a) fenolformaldehydové pryskyřice
- b) fenolfuranové pryskyřice
- c) furfurylalkoholové pryskyřice
- d) samovolně tvrdnoucí oleje

Jestliže použijeme jádrovou směs s pryskyřičnými pojivy, klademe na ně následující požadavky: dostatečné velkou tekutost směsi, vysokou rychlost vytvrzování, absolutní tuhost jader při vyjímání z jaderníku, slabou reaktivnost pojiv ve styku s kovem, nízkou plynatost pojiva, minimální navlhavost jader. Dále je nutná dobrá rozpadavost jader po odlití bez vzniku vnitřního pnutí, zdravotní nezávadnost a větší ekonomická výhodnost. Nejviskoznější směsi jsou fenolformaldehydové. Vytvrzování pryskyřičných pojiv probíhá rychleji než dříve používaných olejů. Plynatost je závislá na typu pryskyřice, katalyzátoru, rozpadavost probíhá ve většině případů rychleji než u jader pojených olejovými pojivy. Specifické vlastnosti má pryskyřičná směs obalovaná. Je dokonale sypká a tekutá a splňuje předpoklady výroby přesných skořepinových forem a jader.

Metoda chemicky tvrzených směsí CT používá jádrovou směs pojenou organickým pojivem - vodním sklem. Vodní sklo je koloidní roztok alkalických křemičitanů. Vytvrzování probíhá zavedením plynného CO_2 do směsi křemenného písku a vodního sklad. Základní CT směs se kombinuje s přísadami, které řeší různé specifické vlastnosti směsi.

2.4 Metody hodnocení vlastností jádrových směsí

Formy a jádra vyráběná z pískových formovacích směsí vyžadují pečlivou znalost vlastností základních surovin, t.j. ostřiva, pojiva a přísad, znalost jejich vzájemného působení při přípravě i zpracování, znalost vzájemného působení forem a jader při styku s kovem. Kontrolujeme proto jednak výchozí stav materiálů, jednak působení formy na výrobek - t.j. odlitek.

Zařízení pro zkoušky jádrových směsí je určeno množstvím a stupněm složitosti jader, které se ve slévárně vyrábějí.

U upravovaných směsí se sleduje homogenita jejich fyzikálních vlastností (pravidelnost rozdělení pojiva) a životnost, což je doba, po kterou si směs zachovává potřebné technologické vlastnosti. K vlastnostem důležitým pro formování patří:

- tekutost - schopnost pohybu směsi ve směru kolmém k působením vnější síly
- spěchovanotelnost - schopnost pohybu směsi ve směru působení pěchovací síly
- formovatelnost - míra pro schopnost směsi téci a pěchovat se v celé hmotě
- lepivost směsi na jaderník

Před litím se hodnotí tyto vlastnosti: mechanická pevnost forem a jader, tvrdost forem, otěr, drobivost - ke kterým dochází u směsí s nedostatkem pevností povrchových vrstev. Dále je to navlhavost a rozměrová přesnost.

Při lití se hodnotí: mechanická pevnost, prodyšnost, která umožňuje odchod plynů z formovací směsi, plynatost - množství plynů vyvíjených směsí při lití a rychlost jejich vývoje, objemové změny při lití, odolnost proti deformacím, průměrná pórovitost formy nebo jádra - je výslednicí zrnitosti písku a objemové hmotnosti. Odolnost proti erozi litým kovem a zkroutivost.

Po lití se hodnotí zvláště rozpadavost - souvisí s druhem pojiva a stupněm upěchování.

Jako informativní hodnoty slouží tyto údaje: maximální pevnost, optimální doba vytvrzení, optimální teplota vytvrzení a další hodnoty.

K běžným technologickým zkouškám patří tedy zkouška prodyšnosti po vysušení, zkouška pevnosti v tahu, v ohybu - ty se měří pro každou technologii a způsob výroby jader,

dále jsou to zkoušky pevnosti a deformace za vysokých teplot, otěruvzdornost a tepelný šok.

Příprava zkušebních směsí:

Složení směsi: normalizované ostřivo 100 hm.dílů
pojivo definované jakosti.... 2,5 hm.dílů
katalyzátor definované jakosti 5-25 % na hm.pojiva

Příprava směsi:

Směs pro zkoušky se připravuje ve vhodném mísiči o dávce nejméně 3 kg. Nejprve se mísí písek s katalyzátorem, potom se přidá pojivo a znovu se mísí. Pojivo se navažuje do prohlubně písku promíchaného s katalyzátorem tak, aby neulpělo na částech mísiče. Směs musí být před vlastním zkoušením uložena déle jak 2 hodiny po míchání. Směs se uchovává v uzavřené nádobě při teplotě 20°C.

Příprava zkušebních vzorků:

Zkušební ohybová tělíska se připravují v předem vyhřátém jaderníku a to tak, že se směs vnáší do jaderníku pomocí laboratorní foukačky. Zkušební ohybové tělísko má čtvercový průřez 5,0 cm². Délka tělíska je 170 mm. Oba konce tělíska jsou zkoseny ve směru kolmo na dělicí rovinu jaderníku, a to do nepohyblivé části jaderníku o úhlu 15° a do pohyblivé části jaderníku v úhlu 5°.

3. Charakteristika chování jádrových směsí při vysokých teplotách

3.1 Přehled a charakteristické údaje základních vlastností při vysokých teplotách

Odolnost formovacích a jádrových směsí a z nich vyrobených forem a jader proti složitému namáhání nelze v plné míře vyjádřit zkouškami vlastností směsí při pokojové teplotě - za studena, které se systematicky provádějí ve slévárenských laboratořích. Z výroby jader s použitím skořepinové metody C je známo, že při dobrých pevnostech za studena u obalované směsí přesto dochází k výskytu vad. K těmto vadám patří:

- tloušťka skořepinové formy
- příliš nízká pevnost skořepinové formy
- opadávání
- zlomení skořepinové formy při vyhození a vyjímání
- zakřivení skořepinové formy při vyhazování a vyjímání
- zatékání skořepiny do modelové desky
- zborcení skořepinové formy
- trhlina ve skořepinové formě při lepení
- špatná rozpadavost skořepinové formy a jádra
- trhliny ve skořepinové formě při lití
- kvalita povrchu odlitku
- vývin plynu při odlévání
- vytváření lamel
- deformační chyba

Musí tedy existovat řada vlivů, které více než vlastnosti za studena ovlivňují vlastnosti za vyšších teplot. Proto vlastnosti za horka a vyšších teplota mají větší význam než vlastnosti za studena.

Přehled a charakteristika základních vlastností při vysokých teplotách, jejich sledování, rozborů příčin vzniku vad odlitku, umožňují vyčlenit vady způsobené nedostatečnými vlastnostmi i chováním slévárenských forem a jader v průběhu celého pochodu výroby odlitku.

Na základě toho lze pak podrobněji formulovat požadavky na vlastnosti směsí, dojít v praxi k optimálním vlastnostem.

Jeden z takových rozborů provedli Boenish a Berndt pro směs s pojivý na bázi umělých pryskyřic, především pro výrobu skořepinových forem a jader. Uvádějí rozdělení vlastností na:

1) vlastnosti za studena (při pokojové teplotě):

- sypná váha
- tekutost
- pevnost v ohybu za studena
- otěr jádra
- průhyb za studena

2) vlastnosti za tepla (30 až 400°C):

- pevnost v ohybu za tepla
- průhyb za tepla
- sklon k opadávání
- rychlost vytvrzování
- doba tepelného šoku
- pevnost vtahu za tepla
- bod tání
- tvoření lamel

3) vlastnosti při vysokých teplotách (800 až 1600°C):

- ztráta žíháním
- délková dilatace
- plynatost
- odolnost při tepelném šoku
- degradace formovací látky

4) vlastnosti při odlévání taveniny:

- drsnost povrchu
- sklon k vytvoření výronků
- licí teplota
- sklon k deformaci

- sklon k vytvoření trhlin
- rozpadavost

Zkoušení většiny těchto vlastností vyžaduje použití speciálních měřících přístrojů, z nichž některé jsou ve výrobním programu firem Georg Fischer a Buderus. Největší pozornost se věnuje měření těchto vlastností:

- 1) měření plynatosti jádrových směsí, která ovlivňuje výskyt plynových dutin a bublin na povrchu a uvnitř odlitku
- 2) měření dilatačních vlastností formovacích a jádrových směsí, které ovlivňují rozměrovou a tvarovou přesnost odlitků
- 3) měření praskavosti forem a jader při rychlém ohřevu (při tepelném šoku), která ovlivňuje rozměrovou a tvarovou přesnost odlitku a jakost povrchu
- 4) měření elasticko-plastických vlastností forem a jader při mechanickém namáhání, které ovlivňují rozměrovou a tvarovou přesnost odlitku.

Některé z těchto zkoušek je možné provádět v teplotním intervalu od pokojové teploty až po teplotu lití taveniny. Většina zkoušek však vyžaduje teplotu vyšší než 300°C a to je třeba respektovat při úpravách a v návrzích metodiky měření a sestavování měřícího zařízení.

3.2 Rozbor podmínek vzniku a existence pružně-plastických vlastností jádrových směsí

Rozbor chování pojivových systémů na bázi umělcých pryskyřic, praktické poznatky a zkušenosti ukazují, že toto pojivo po vytvrzení nedosahuje absolutně vytvrzeného stavu. Pryskyřičné pojivo prochází během své výroby a zpracování řadou ohřívacích period:

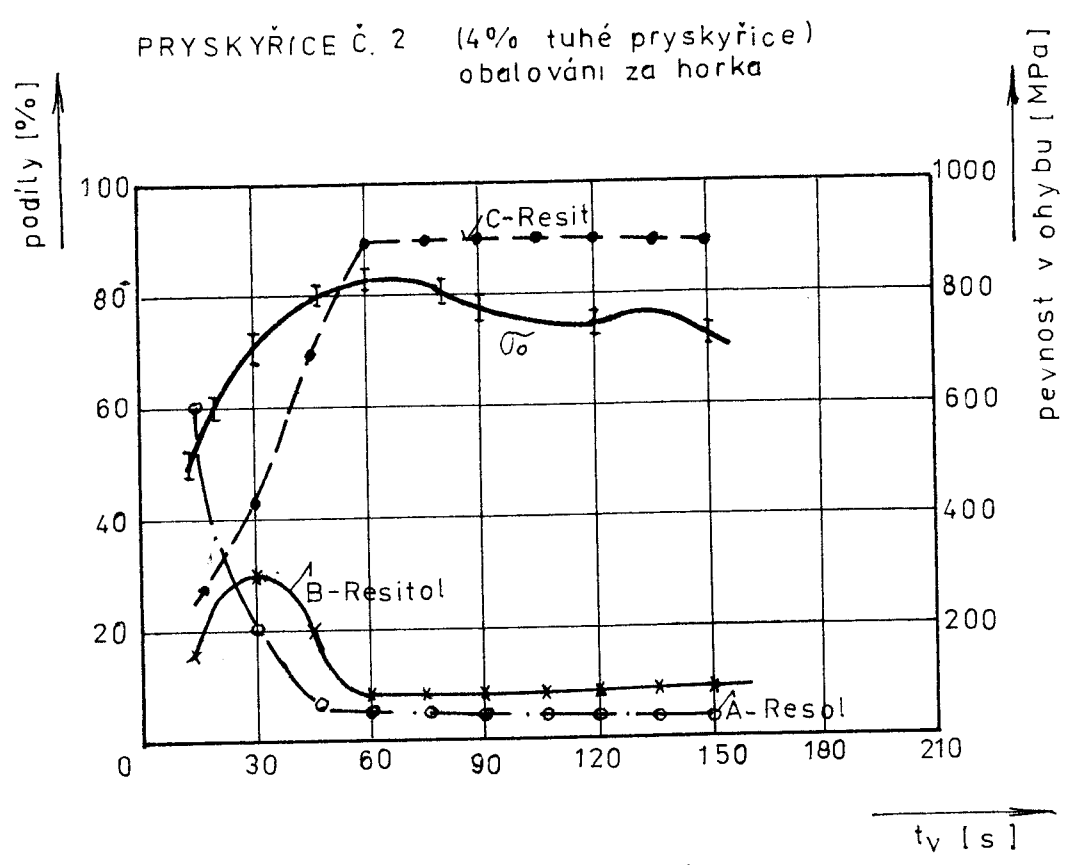
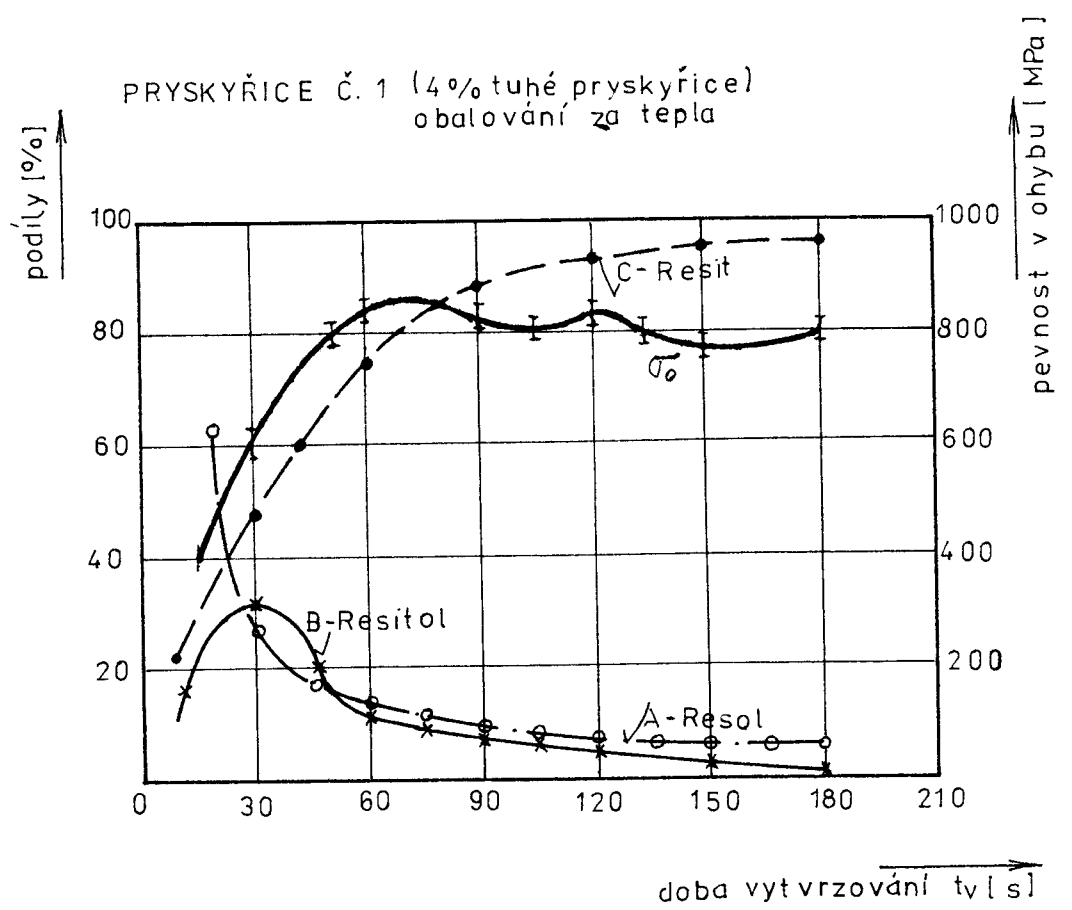
- kondenzace
- obalování
- výroba skořepinových forem a jader
- odlévání

Při opětovném ohřevu dochází u pojiva k novému změknutí. V průběhu procesu vytvrzování prochází pryskyřice různými stavy - A-resol, B-resitol až na C-resit, ve kterém má být v rozpouštědlech nerozpustná, nemá bobtnat a nemá už za horka měknout. Podle pokusů není stavu C-resit dosahováno úplně, ale 10 % pryskyřice zůstává asi ve stavu A-resol a B-resitol, jež jsou roztavitelné při opětovném ohřevu po vychladnutí na pokojovou teplotu. Přetváření modifikací pryskyřice během vytvrzování je znázorněno na obrázku (1). K tomuto opětovnému změknutí pryskyřice dochází nezávisle na typu pryskyřice, u všech typů pryskyřic. Měknutí pryskyřičného pojiva má za následek zvýšení podílu plastické deformace na úkor pružné při mechanickém namáhání, které by mohlo mít pro vlastnosti s ohledem na trhliny a deformace největší vliv. Měknutí probíhá téměř u všech zkoumaných pryskyřic podobně a odlišuje se pouze výškou vytvářeného maxima průhybu při maximálním čase ohřevu 180 s. Schematicky je tento pochod znázorněn na obrázku (2).

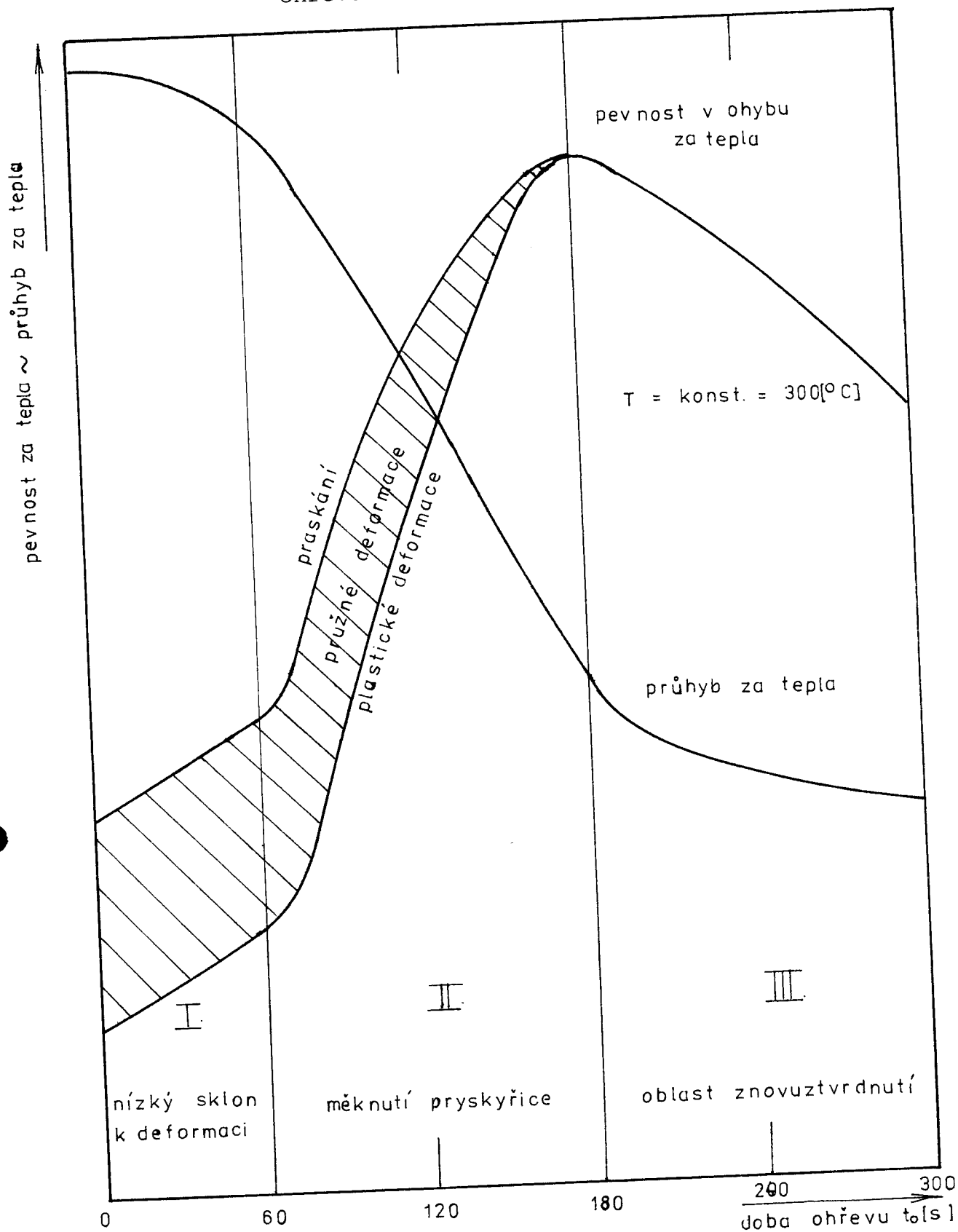
Pryskyřice má při pokojové teplotě, kdy doba ohřevu je 0 s, určitou, celkovou deformační hodnotu - lomovou deformaci. Tato deformace se skládá s podílu plastické a elastické deformace. Jestliže se zkušební těleso tepelně namáhá (mění se teploty ohřevu a doby ohřevu) a zároveň i mechanicky zatěžuje, potom klesá jeho pevnost v ohybu za tepla a zvyšuje se jeho sklon k deformaci. Podíl elastické deformace klesá k maximální hodnotě celkové deformace asi při 180 s - v době ohřevu až na 0 %. Kromě toho se plasticita za projevu zpevnování následkem praskání opět snižuje. Průběh deformovatelnosti se vyznačuje třemi oblastmi (viz obr. 2).

Při odlévání skořepin a jader probíhají tyto fáze rovněž, i když v rychlejším sledu. Změknutí pryskyřice může vést k trhlinám a rozpínání a to zvláště u volně odlévaných

Obrázek (1): Přetváření modifikací pryskyřice během vytvrzování



Obrázek (2): Diagram měknutí pryskyřice. Pokles pevnosti v ohybu za tepla a nárůst deformace s dobou ohřevu



skořepinových forem. Opětné zpevnění popraskáním by mohlo nepříznivě ovlivnit rozpad, a proto by mělo být co nejmenší. Změkčovací fáze pryskyřice určuje hranice používání skořepinových forem. Podle tohoto postupu bude možno odlévat větší odlitky, až se podaří změknutí a deformovatelnost udržet v mezích.

Z hlediska vzniku trhlin je považováno změknutí pryskyřice za příznivý jev. Trhliny, vyvolané dilatací křemene mohou být kompenzovány měknutím pojiva nebo jiné přísady. Například skořepinové formy z písku spojeného s vodním sklem měknou při vyšších teplotách (asi 800°C), zatímco při nižších teplotách jsou mimořádně křehké a náchylné ke vzniku trhlin. To je důvod, proč směsi pojené vodním sklem nenašly použití ve výrobě s využitím skořepinových forem. Určité omezené měknutí pojiva v průběhu dilatačních změn písku je přímým předpokladem právě toho, aby se pojivový systém na bázi fenolových pryskyřic pro postup se skořepinovými formami hodil.

Úkolem je tedy vybrat a vyvinout takové pryskyřice, které se při ohřívání optimálně chovají. Rozhodující roli v tomto výběru hrají molární poměr formaldehydu k fenolu, stupeň kondenzace a množství přidaného hexamethyltetraminu.

3.3 Diagram "trhlina - deformace"

Fáze měknutí pojivového systému je příznivým jevem z hlediska snížení vzniku trhlin a prasklin forem a jader. V tom důsledku je účelné se tímto jevem dále zabývat a zahrnout jej mezi charakteristiky pojivového systému.

Potřebné kvantitativní údaje o pružně-plastických vlastnostech jádrových směsí lze získat při ohybové zkoušce za tepla. S využitím hodnot meze pevnosti v ohybu σ_0 při lomu, naměřených při této zkoušce a k ní příslušející

velikosti průhybu y , se dá vypočítat ohybový modul E_0 .

$$E_0 = C \frac{\sigma_0}{y} \quad [\text{MPa}]$$

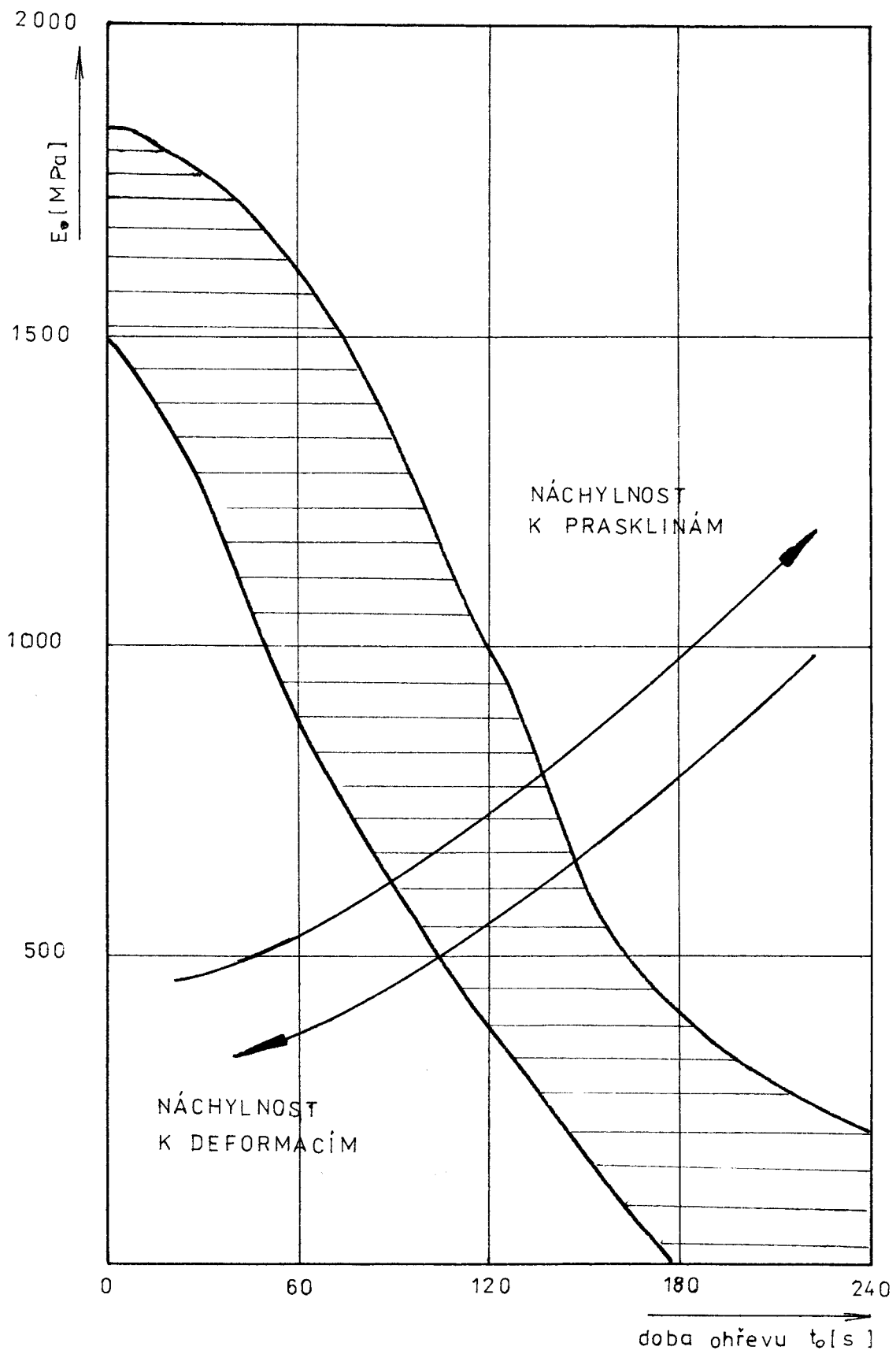
Tento ohybový modul je měřítkem tepelné stability obalovaných směsí. Ve vzorci písmeno C značí konstantu, která je závislá na rozměrech zkušebního vzorku a vzdálenosti podpor. Výpočet modulu i konstanty je proveden v jedné z následujících kapitol.

Při zvolených podmínkách ohřevu se provádí ohybová zkouška, a tím se získávají charakteristické křivky ohybového modulu, které vyjadřují vlastnosti pryskyřice během ohřevu. K posouzení deformace vytvrzené formovací hmoty vlivem měknutí při opětovném ohřevu a k posouzení vzniku trhlin při křehkém stavu pryskyřice, byl vytvořen diagram "trhlina - deformace", znázorněný na obr. (3), který představuje změnu modulu v ohybu se stoupajícími dobami ohřevu.

Pryskyřičné pojivo vykazuje při tepelném zatížení malý pokles pevnosti v ohybu za tepla a současně i nízké hodnoty průhybu, a tak může být považováno za termicky stabilní. Není to stav žádoucí, protože se zde objevuje zvýšená křehkost, která může vést ke vzniku trhlin ve formovacích látkách. Existuje oblast, kde nebezpečí vzniku trhlin a deformace jsou vůči sobě v rovnováze, a právě tato oblast připouští výrobu zdravých odlitek. Oblast byla ověřena praktickými pokusy a je považována za jistou. Na obrázku (3) je tato oblast šrafována. Představuje tedy oblast průběhu křivek pryskyřic s vhodnými vlastnostmi. Průběhy křivek nad šrafovanou oblastí znamenají vzrůstající nebezpečí vzniku trhlin a pod ní zvýšené nebezpečí vzniku deformace.

Podle diagramu "trhlina - deformace" je tak možné hodnotit typy pryskyřic, posuzovat vhodnost obalovaných směsí pro výrobu odlitek odléváním do skořepinové formy a umožnit tak výrobcům pryskyřic záměrně měnit jejich vlastnosti.

Obrázek (3): Diagram "trhlina - deformace"



3.4 Postupy a veličiny, které ovlivňují pružně-plastické vlastnosti

Výklad průběhu křivky ohybového modulu je možný na základě předběžných výsledků a mnoha příkladů z praxe. Průběh křivky ohybového modulu je ovlivněn různými veličinami.

Hlavním ovlivňujícím faktorem je složení pryskyřice - obr. (4) a vliv jejich modifikátorů na čas tepelného šoku. Podle obrázku ovlivňuje modifikace základní pryskyřice přírodní pryskyřicí tak, že se sníží sklon k vytváření trhlin. Mezi další ovlivňující veličiny vlastností za tepla, a tím ovlivňující charakteristiky ohybového modulu patří:

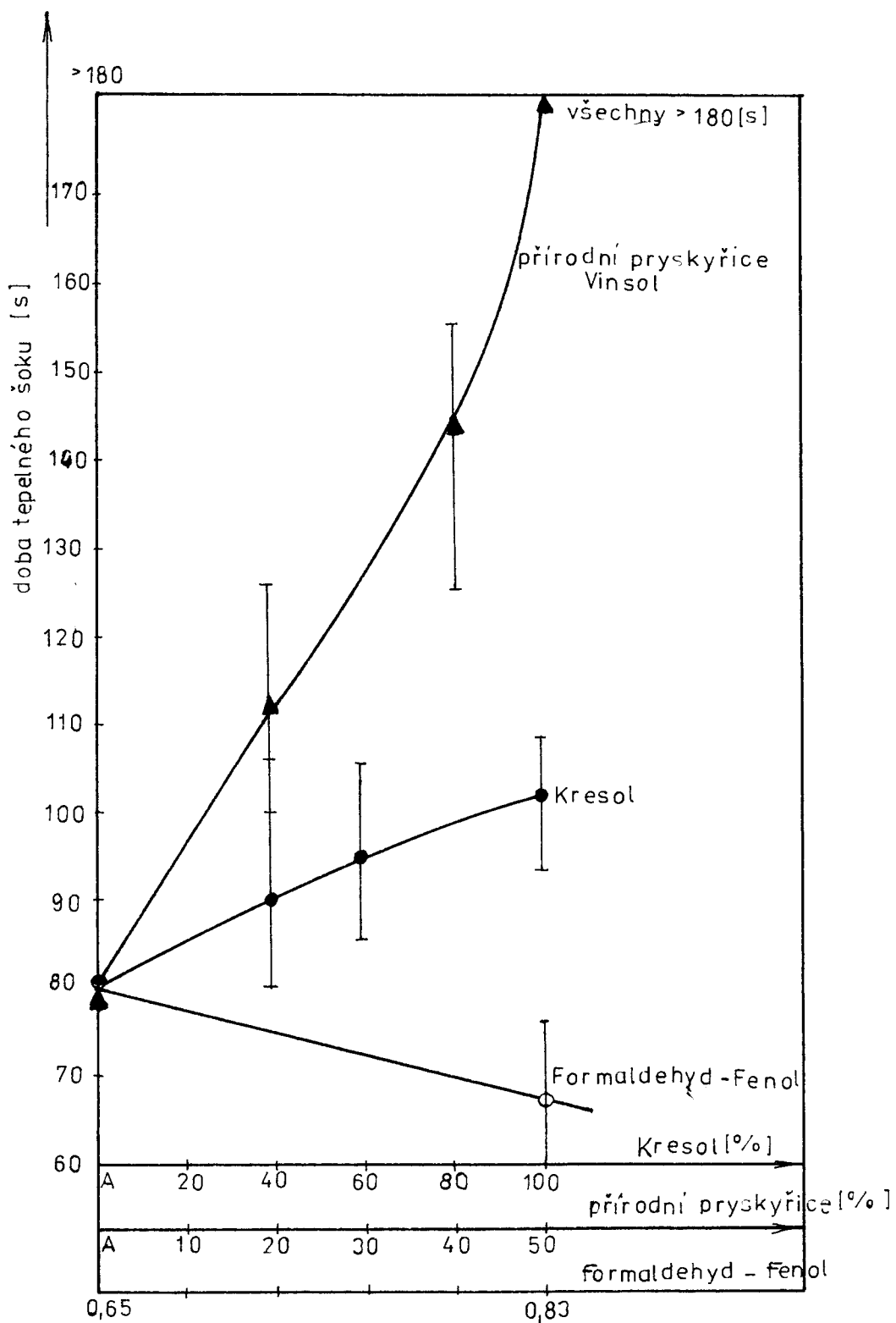
- typ mísiče a doba mísení
- teplota obalování /°C/ 130,150,170,190
- přídavek hexamethyltetraminu /%/ 6,12,18
- přídavek mazadla a okamžik přidání /%/ 0,12 až 0,17 až 0,22
- obsah pryskyřice /%/ 1,2,3,4
- zrnitost písku
- doba vytvrzování /s/ 60,120,180,240
- termické zatížení tyče ke zkoušení v proudové komoře změnou doby ohřívání /s/ 30,60,120,180,240
- modifikační přísady /přírodní pryskyřice Vinsol, Kresol, formaldehyd/

Vlivy některých veličin jsou znázorněny na obrázcích (5) až (9).

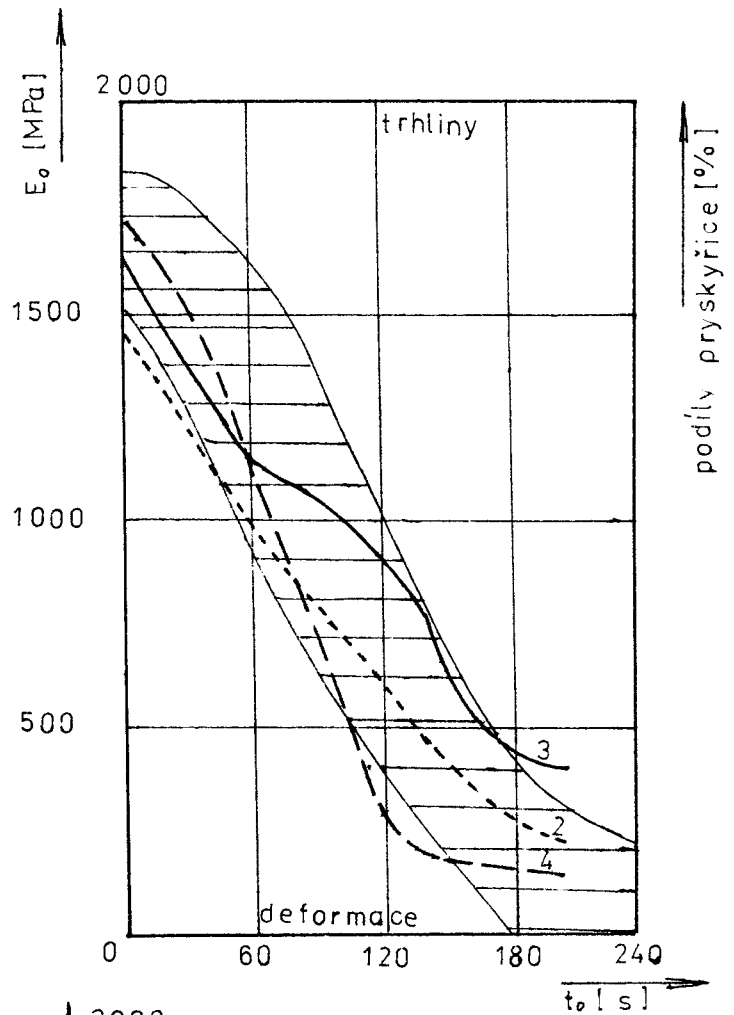
Obrázek (5) ukazuje vliv obsahu pryskyřice na sklon k vytváření trhlin a deformací. S obsahem pryskyřice roste při pokojové teplotě modul v ohybu a snižuje se sklon ke vzniku trhlin. U vysoce praskavých pryskyřic může zesílit i deformace.

Z obrázku (6) vyplývá, že chudý písek s obsahem 4 % pryskyřic má sklon ke křehkosti za studena, kdežto křemenná moučka vede k deformacím, protože pro velký povrch je podíl pryskyřice příliš malý.

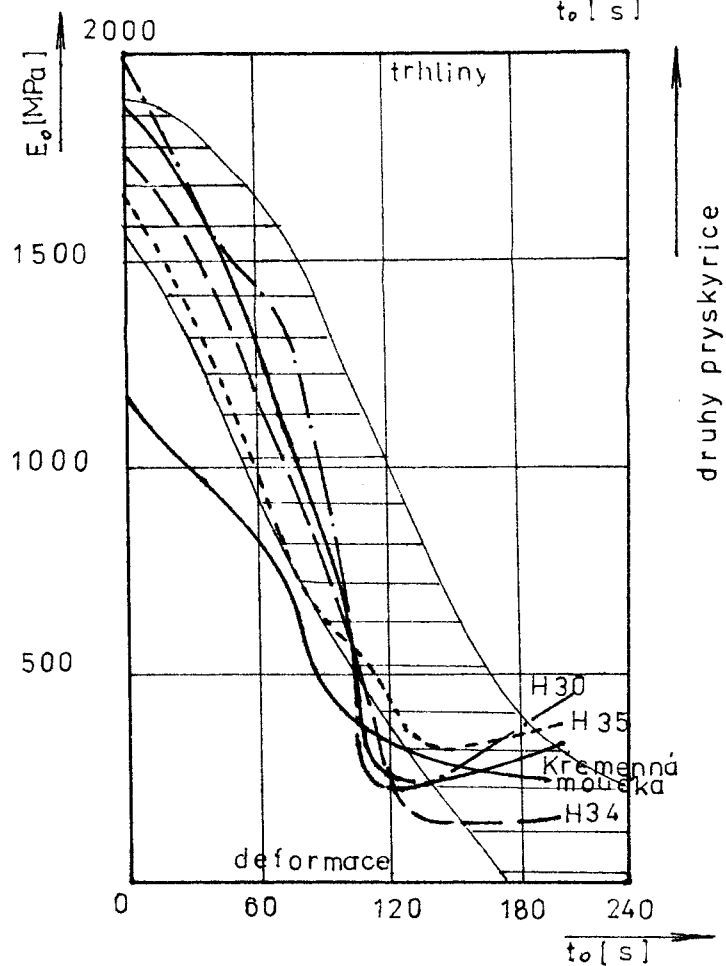
Obrázek (4): Vliv modifikátoru pryskyřice na čas tepelného šoku



Obrázek (5): Vliv podílu pryskyřice v písku na sklon k deformacím a trhlinám



Obrázek (6): Vliv jemnosti zrna na sklon ke vzniku trhlin a deformací



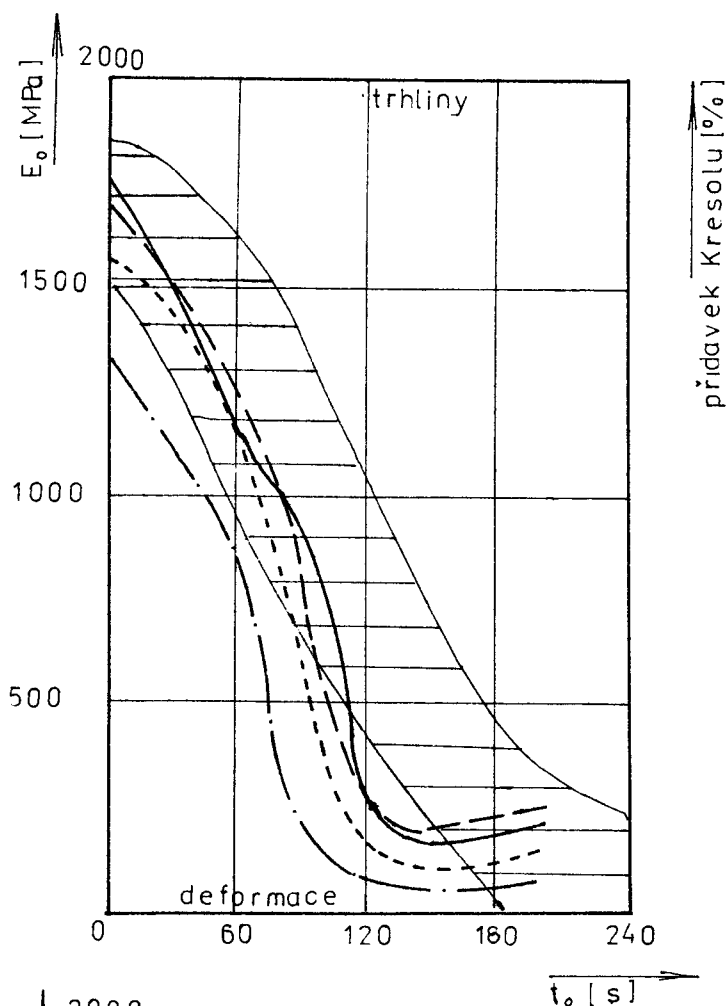
Obrázek (7) ukazuje vliv modifikace k resolem, přírodní pryskyřicí (Vinsolem) a vliv podílu formaldehydu na sklon k trhlinám a deformacím. Kresol ovlivňuje vlastnosti při pokojové teplotě a při ohřevu 180 s, kdežto přírodní pryskyřice ovlivňuje vlastnosti pouze za tepla a to více než kresol.

Z obrázku (8), který ukazuje vliv obsahu hexamethyltetraminu a stárnutí pryskyřice, vyvstává otázka, zda se mohou používat vystárlé pryskyřice s malým obsahem bodlin u ocelových dílců.

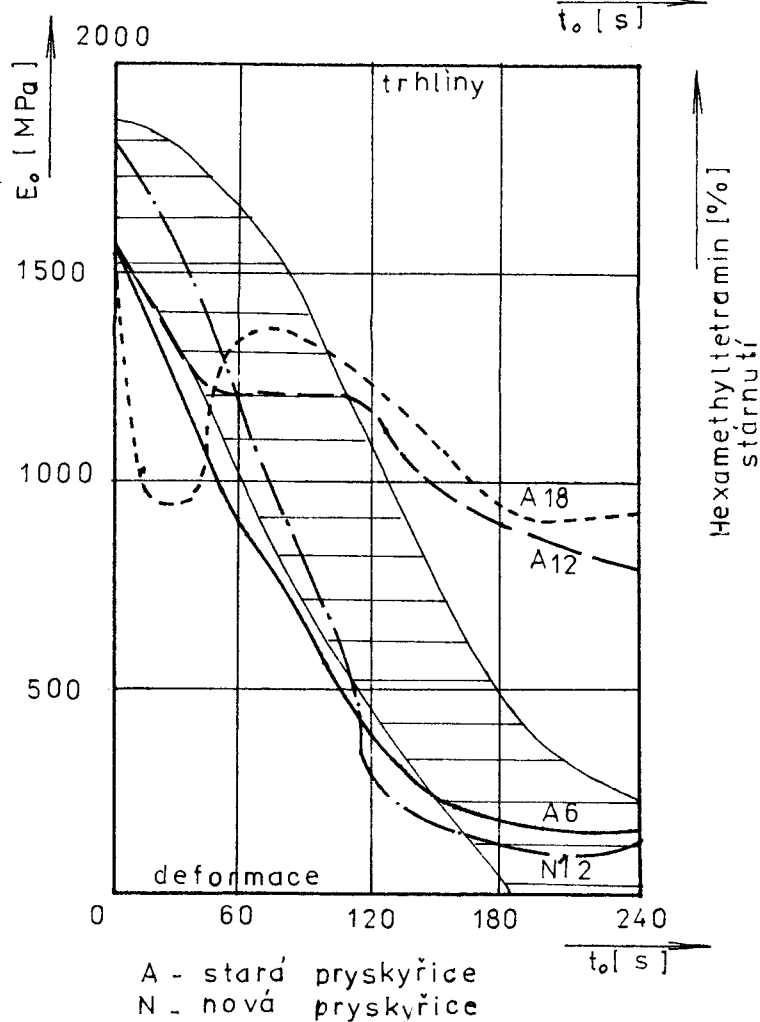
Obrázek (9) ukazuje vliv stupně vytvrzení. Správné vytvrzení jádrových směsí je dobrým opatřením proti trhlinám. U jader, kterým nehrozí nebezpečí deformací je doporučováno "nedotvrzování".

Z uvedeného stručného rozboru problematiky pružně-plastických vlastností jádrových směsí vyplývá potřeba jejich sledování a vyhodnocování pro různé případy složení a případy směsí. K tomu je však potřeba navrhnout vhodnou metodiku vyhodnocování.

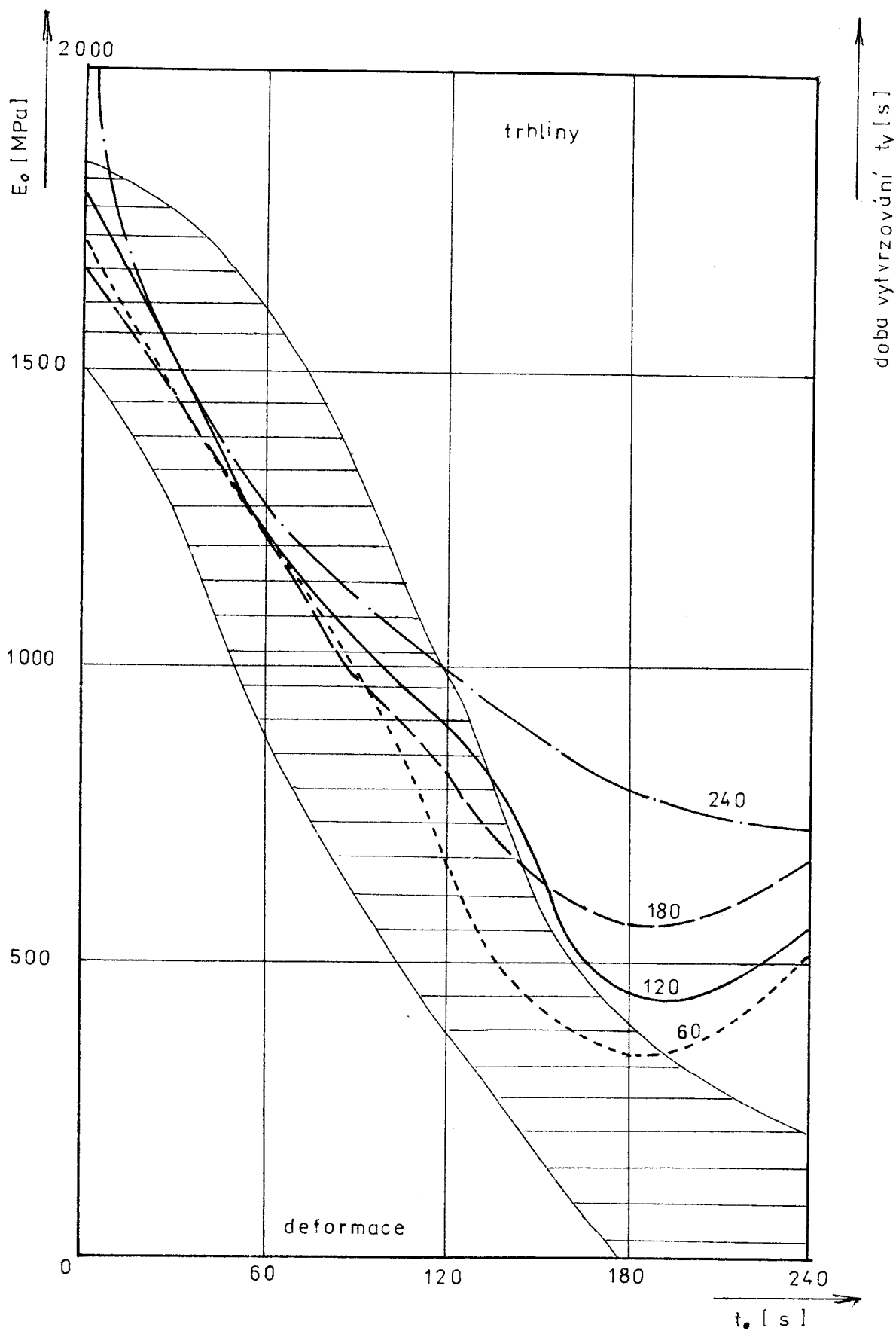
Obrázek (7): Vliv modifikace kresolem, přírodní pryskyřicí a vliv formaldehydu na vznik trhlin a deformací



Obrázek (8): Vliv obsahu hexamethyltetraminu a stárnutí pryskyřice na sklon k trhlinám a deformacím



Obrázek (9): Vliv stupně vytvrzení jádra na sklon k vytváření trhlin a deformací



4. Návrh metodiky a měřícího zařízení pro měření pružně-plastických vlastností jádrových směsí

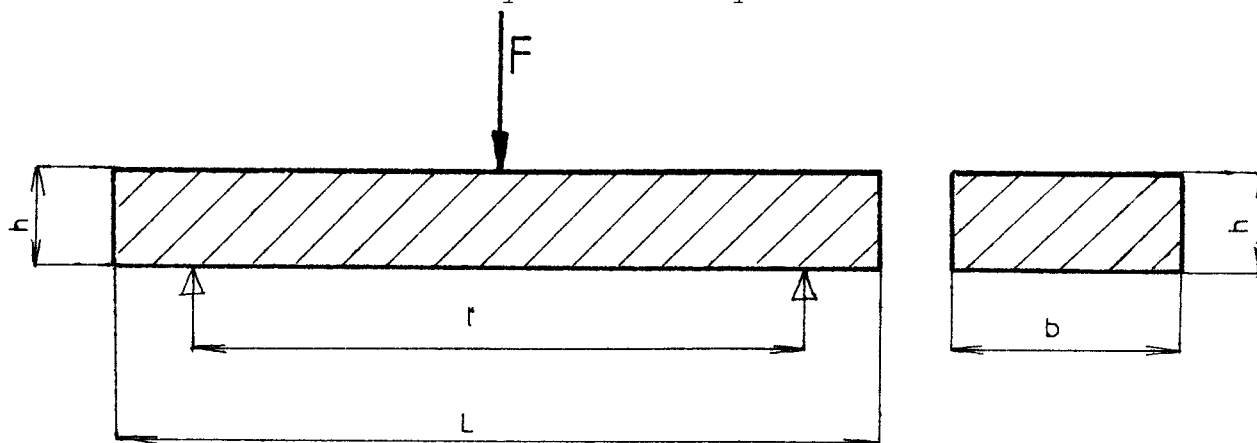
4.1 Úprava ohybové zkoušky jádrových směsí

4.1.1 Rozbor ohybové zkoušky

Nejčastější případy zatěžování části formy, které vedou k lomu, jsou zatížení v ohybu za tepla. Jedná se o síly, které se vyskytnou po nerovnoměrném vyjmutí skořepiny vyhazováků a přenášejí se na skořepinu, nebo o tepelné napětí, která jsou vytvářena rozdíly teplot ve stěně skořepiny. Při překročení maximální pevnosti v ohybu vedou k lomu. Proto zjišťování pevnosti v ohybu za tepla je zvláště důležité.

Na základě dosud uvedených poznatků a požadavků, které vyplývají z potřeb slévárny LIAZ Liberec, byla na KMN vypracována základní koncepce měření pružně-plastických vlastností jádrových směsí. Koncepce je založena na využití ohybové zkoušky za tepla, měření průhybu vzorku a na provádění této zkoušky při různých podmínkách. Pevnost se zjišťuje zatěžováním tělíska a je dána zatížením, při kterém nastává jeho porušení.

Schema ohybové zkoušky:



Pevnost v ohybu je dána vztahem $\sigma_0 = \frac{M_{0max}}{W_0}$ [Nm/mm] (1)

kde W_0 = průřezový modul $W_0 = \frac{b l^2}{6}$ [mm³] (2)

M_{0max} = maximální ohybový moment, který se získá ze vztahu

$$M_{0max} = \frac{F l}{4}$$
 [Nm/mm] (3)

Velikost průhybu vzorku je dána vztahem: $y = \frac{F l^3}{48 E_0 J}$ [mm] (4)

kde F = zatížení, kterým se vzorek ohýbá [N]

E_0 = ohybový modul [MPa]

J = Yongův modul pružnosti, získaný ze vztahu

$$J = \frac{b h^3}{12}$$
 [mm⁴] (5)

Ze vztahu (4) vyjádříme $E_0 = \frac{F l^3}{48 y J}$ [MPa]

do kterého za J dosadíme vztah (5) a dostaneme:

$$E_0 = \frac{F l^3}{48 \cdot \frac{1}{12} b h^3 y} = \frac{F l^3}{4 b h^3 y} = \frac{l^3}{4 b h^3} \cdot \frac{F}{y}$$
 [MPa]

podíl $\frac{l^3}{4 b h^3} = C$, kde C značí rozměrovou konstantu (tedy závislou na rozměrech vzorku a vzdálenosti podpor).

Výsledný vztah:

$$E_0 = C \cdot \frac{F}{y}$$
 [MPa]

Při zvolených ohřívacích podmínkách dostáváme dle výpočtu pro E_0 křivky ohybového modulu, které vypovídají o chování pryskyřice v průběhu ohřívání.

4.1.2 Úprava zkušební vzorku

Pro ohybovou zkoušku se používají normalizované tyčinky o rozměrech 22,4 x 22,4 x 170 mm. Tato tyčinka se vyrobí v předem vyhřátém jaderníku a směs, ze které se tyčinka vyrábí se vhání do jaderníku pomocí laboratorní foukačky. Oba konce tyčinky jsou zkoseny ve směru kolmo na dělicí rovinu jaderníku, a to do nepohyblivé části jaderníku o úhel 15° a do pohyblivé části jaderníku o úhel 5° .

V předběžných pokusech bylo zjištěno, že normalizovaná tyčinka neposkytuje reprodukovatelné hodnoty průhybu za tepla. Teplota tyče a její doba ochlazování ovlivní značně výsledky a nedá se tímto průřezem tyče zjistit průhyb při zatížení. Podle Boenische a Berndta byla zvolena plochá tyč o rozměrech 300 x 30 x 8 mm, ale tuto nelze v našich slévárnách vyrobit, protože neexistují jaderníky, které by vyhovovaly požadovaným rozměrům vzorku.

Proto byla pro tuto zkoušku zvolena upravená plochá tyč o rozměrech 22,4 x 8 x 170 mm a zkoušena při vzdálenosti podpor 150 mm.

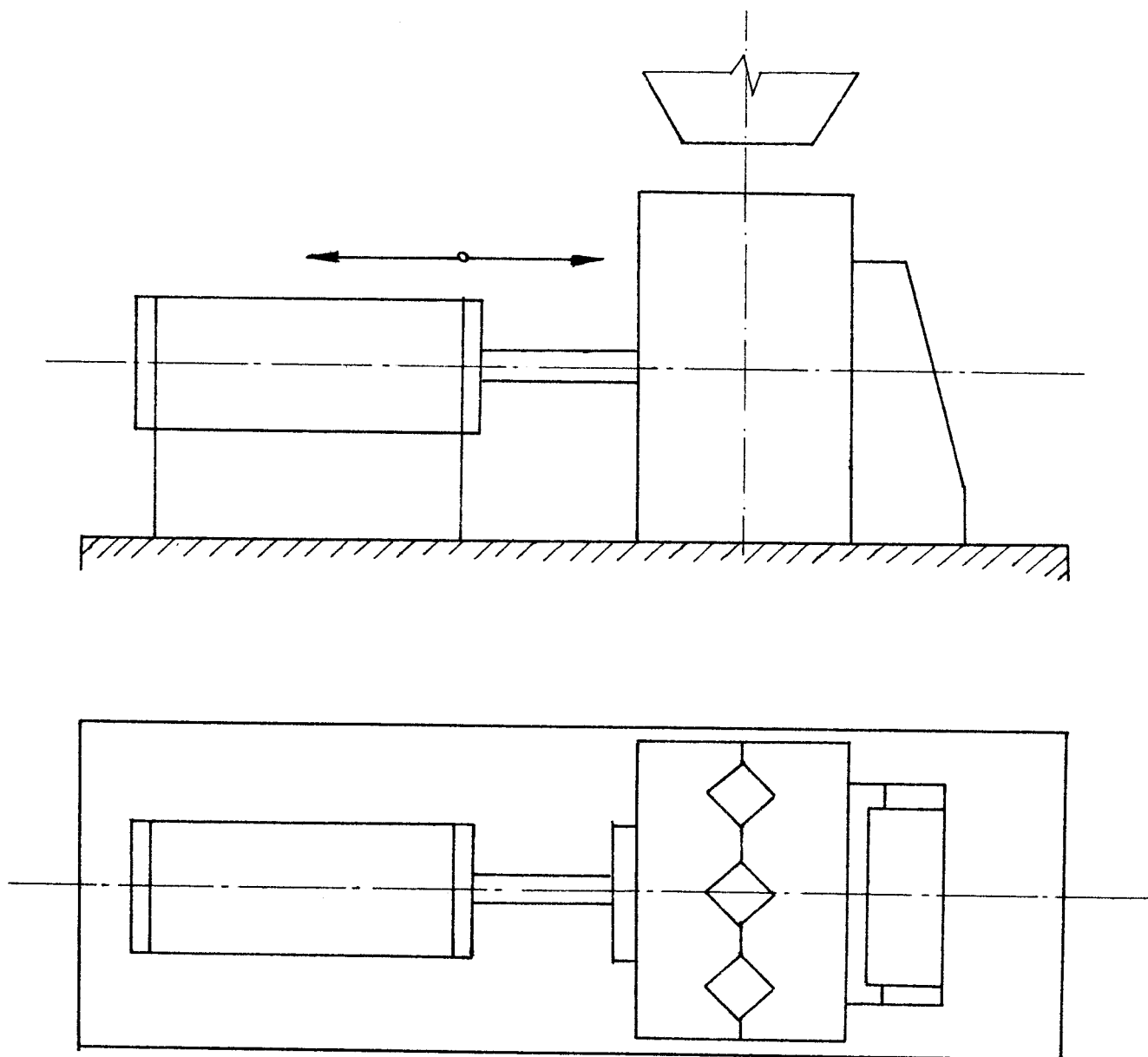
4.1.3 Výroba vzorků

Všechny zkušební vzorky potřebné k ověřovacímu měření byly vyrobeny ve školní slévárně VŠST v Liberci.

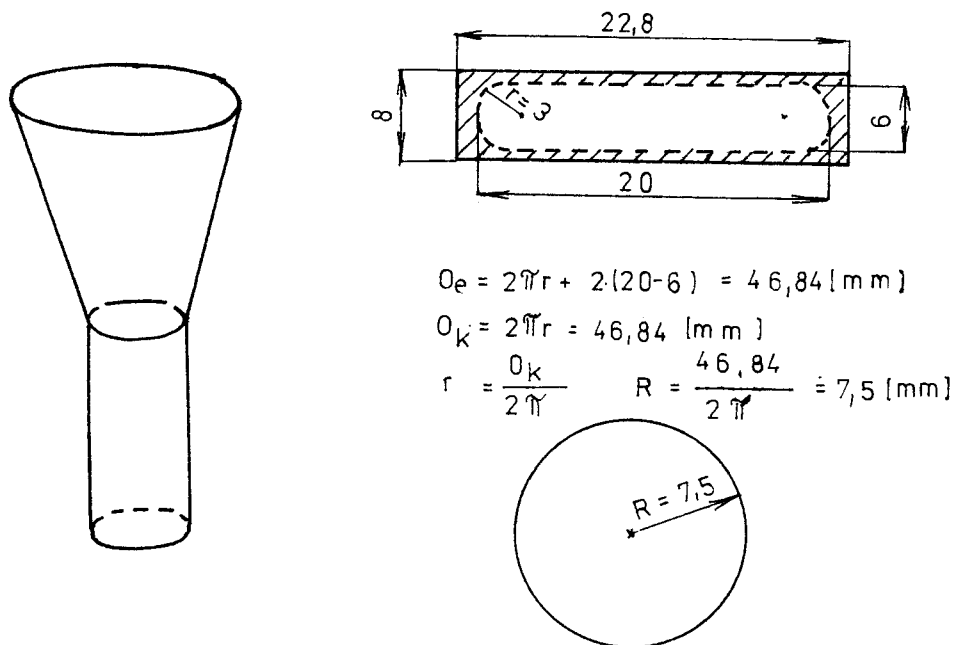
Ploché tyčinky se připravovaly na zařízení, které se skládá:

- z elektricky vytápěného jaderníku pro 3 ohybová tělíška, přičemž byl využit jen jeden jaderníček pro výrobu jedné tyčinky. Tento jaderníček byl opatřen ocelovou vložkou o rozměrech 170x22,4x14,4 mm, aby bylo možno vyrábět vzorky potřebných rozměrů. Do zářezu ocelové vložky bylo vloženo 12 plochých permanentních magnetů, aby tato dobře držela na stěně jaderníčku. Jaderník je schematicky na obr.(10).

Obrázek (10): Schema zařízení pro výrobu normalizovaných tyčinek



- ze zařízení pro regulaci teploty jaderníku - termočlánek.
- z měřicího zařízení pro měření vytvrzovací teploty
- z kovové násypky pro sypání jádrové směsi do jaderníku - ta byla použita místo laboratorní foukačky, která nebyla k dispozici a pomocí níž se směs jinak fouká či vstřeluje do jaderníku. Kovová násypka byla vyrobena pro obsah jádrové směsi asi 1 kg a otevřené kruhové dno násypky bylo zploštěno tak, aby rozměrově zapadlo do prostoru jaderníčku. Předběžný výpočet poloměru kruhové násypky, která byla zploštěna i s náčrtem je níže uveden.



Vzorky byly vyráběny při pěti vytvrzovacích teplotách a to: 200, 225, 250, 275 a 300°C.

Teploty vytvrzování byly nastavovány na měřicím zařízení pro vytvrzovací teplotu. Doba vytvrzování byla 180 s. V pravidelných intervalech při výrobě vzorků byl jaderník vystříkáván silikonovým olejem, aby po rozevření jaderníku se zkušební tyčinky dobře odlepovaly od jeho stěn.

4.2 Sestava měřícího zařízení

Pro realizaci ohybové zkoušky bylo sestaveno zařízení, jehož částí jsou:

- přístroj pro měření pevnosti formovacích směsí v ohybu doplněný o měření průhybu
- ohřívací zařízení
- automatický zapisovací aparát

Ve standartním přístroji pro měření pevnosti v ohybu podle obrázku (11) byl zkoušený vzorek uložen na podložce se vzdálenosti podpor 150 mm a zatěžován silou. Zatěžování bylo prováděno pomocí ruční kliky spojené s pístem a pístnicí (\emptyset 15 x 18,5).

Pro ohřev vzorku bylo použito odporové pícky s měřením teploty. Ve vnitřním prostoru pícky byl na spodní vyzdívku položen plech o tloušťce 2 mm a azbestová podložka o tloušťce 5 mm. Teprve na tuto vrstvu se pokládal vzorek určený k ohřátí a to proto, aby se ze spodní strany nepálil, a tak se neporušovala homogenita složení jádrové směsi. Pícka je na obrázku (12).

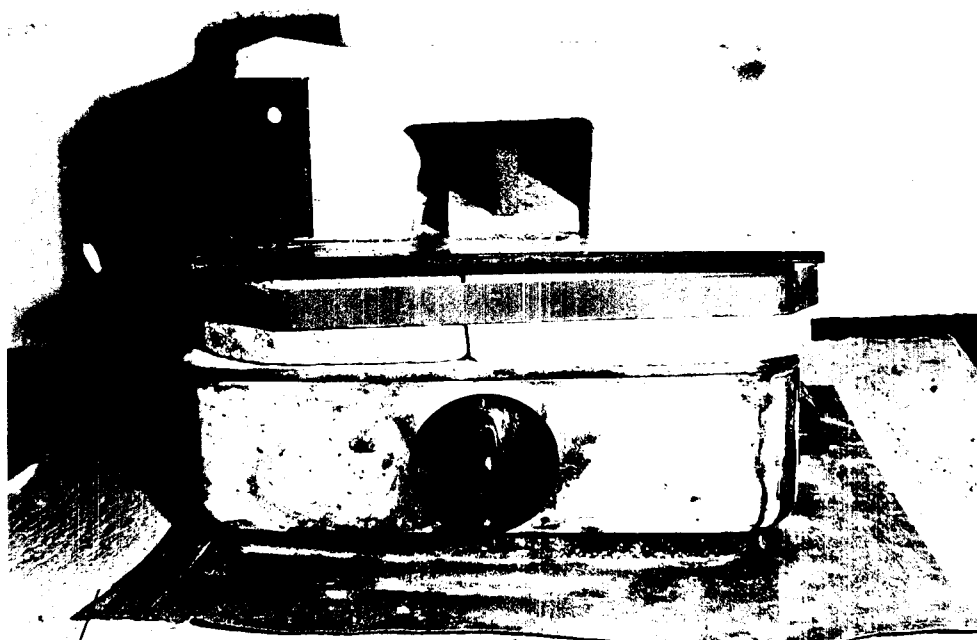
Automatické zapisovací zařízení se skládá:

- 1) ze samočinné registrace zatěžovací síly F - obrázek (13)
 - 2) ze samočinné registrace průhybu vzorků y - obrázek (14)
- V obou případech bylo využito indukčních snímačů a registrace obou veličin na zapisovači. Záznamy zátěžné síly F a průhybu vzorku y byly převedeny pomocí kalibračních křivek na konkrétní hodnoty. Kalibrační křivky byly získávány cejchováním obou přístrojů přes pružinu (\emptyset 2,5/25-66). Aby bylo možné přečíst i velikost průhybu v absolutních hodnotách, bylo nutné ke standartnímu přístroji pro měření pevnosti v ohybu připojit indikátorové hodinky a pomocí nich provést odcejchování snímače průhybu vzorků. Poznámka: podložka, na kterou byl položen zkušební vzorek byla uchycena šroubem dle obrázku v příloze (1).

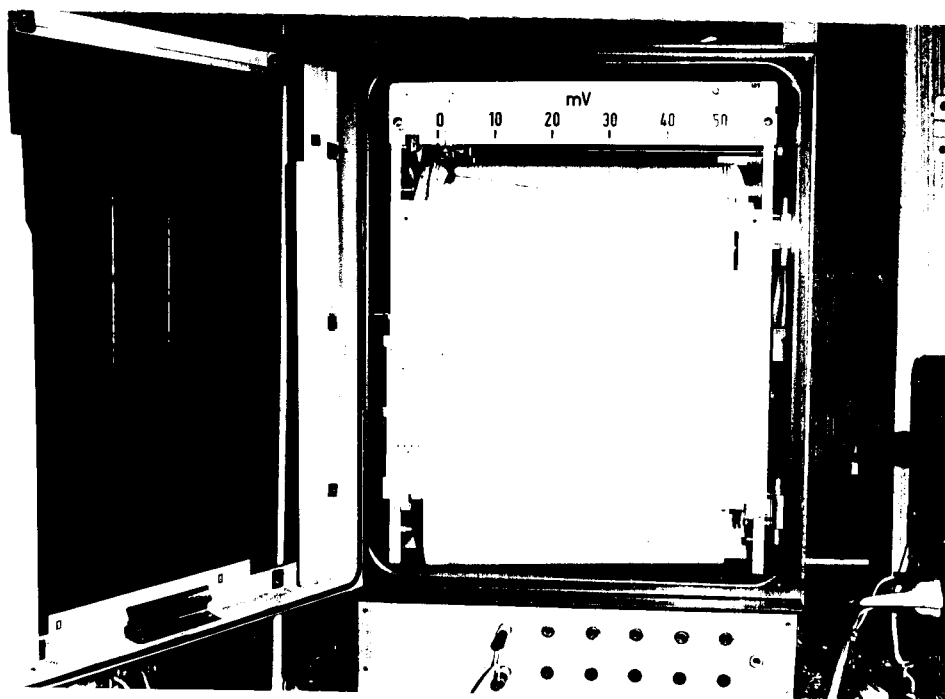
Obrázek (11): přístroj pro měření pevnosti v ohybu



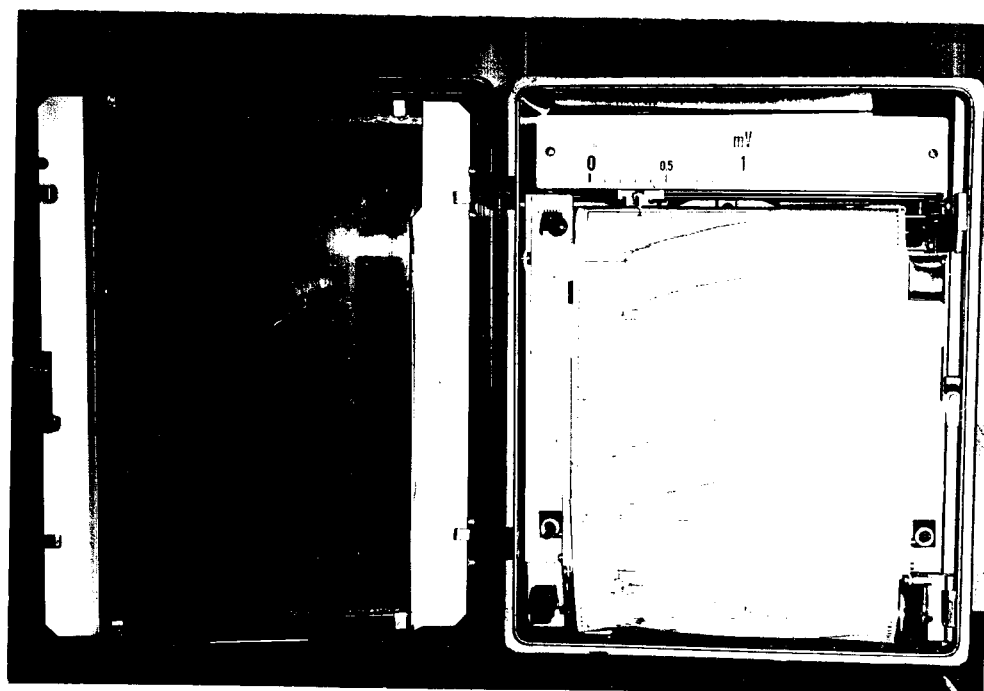
Obrázek (12): odporová pícka s měřením teploty



Obrázek (13): indukční snímač v zápisu zatěžovací síly F



Obrázek (14): indukční snímač k zápisu průhybu vzorků y



4.3 Metodika vyhodnocování naměřených veličin

Charakteristiku pružně-plastických vlastností jádrových směsí je možné vyjádřit ohybovým modulem E_o . Pro ohybový modul platí vztah:

$$E_o = C \cdot \frac{F}{y} \quad [\text{MPa}]$$

F = zátěžná síla, kterou působíme na vzorek

y = průhyb vzorku při zatížení

C = konstanta, která závisí na rozměrech vzorku a vzdálenosti podpor

Výpočet rozměrové konstanty pro dané rozměry zkušebního vzorku:

$$l = 150 \text{ mm} = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$b = 22,4 \text{ mm} = 2,24 \text{ cm} = 0,0224 \text{ m}$$

$$h = 8 \text{ mm} = 0,8 \text{ cm} = 0,008 \text{ m}$$

$$h^3 = 512 \text{ mm}^3 = 5,12 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^3 = 5,12 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$a) \quad C = \frac{l^3}{4 b h^3} = \frac{150^3}{4 \cdot 22,4 \cdot 8^3} = \frac{3,375 \cdot 10^6}{4 \cdot 22,4 \cdot 5,12 \cdot 10^2} = 73,57 \text{ [m m}^{-1}]$$

$$b) \quad C = \frac{l^3}{4 b h^3} = \frac{15^3}{4 \cdot 2,24 \cdot 0,8^3} = \frac{3,375 \cdot 10^3}{4 \cdot 2,24 \cdot 5,12 \cdot 10^{-1}} = 735,7 \text{ [cm m}^{-1}]$$

$$c) \quad C = \frac{l^3}{4 b h^3} = \frac{0,15^3}{4 \cdot 0,0224 \cdot 0,008^3} = 73570 = 7,357 \cdot 10^4 \text{ [m}^{-1}]$$

Na základě vypočítané hodnoty rozměrové konstanty se vypočítá ohybový modul v okamžiku přelomení tyče:

$$F = F_{\text{max}} \text{ [N]}$$

$$y = y_{\text{max}} \text{ [mm]}$$

$$E_o = C \cdot \frac{F_{\text{max}}}{y_{\text{max}}} = 7,357 \cdot 10^4 \cdot \frac{F_{\text{max}}}{y_{\text{max}}} = 7,357 \cdot 10^7 \cdot \frac{F_{\text{max}}}{y_{\text{max}}} \text{ [Nm}^{-2} = \text{Pa}]$$

E_o vyjádřený v /MPa/ je možno převést na E_o vyjádřený v /tN cm²/:

$$\frac{\text{t N}}{\text{cm}^2} = \frac{10^3 \text{ MN}}{10^4 \text{ m}^2} = \frac{\text{MN}}{10^{-1} \text{ m}^2} = 10 \cdot \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} = 10 \text{ [MPa]}$$

Zátěžná síla F a průhyb vzorku y byly snímány indukčními snímači. Pomocí zapisovačů byly získány průběhy těchto veličin během doby zatěžování. Z křivek zátěžné síly F a průhybu vzorku y v závislosti na čase získaných pomocí zapisovačů byly odečítány velikosti F a y a zaznamenávány do tabulek. Odečítání hodnot velikosti síly F a průhybu y se provádělo pomocí měřítka zhotoveného s využitím kalibračních křivek, které byly získány před vlastním měřením. Pro každý případ, který byl prováděn za jiných podmínek měření - to znamená jiná

- vytvrzovací teplota (T_v)
- teplota ohřevu (T_o)
- doba ohřevu (t_o)

se zkouška opakovala třikrát, tedy pro stejné podmínky byly vyzkoušeny 3 ploché tyčinky. Ze tří naměřených hodnot se vypočítaly průměrné hodnoty síly F a průhybu y a nakonec i průměrné hodnoty ohybového modulu E_o .

Průměrné hodnoty všech sledovaných veličin byly vynášeny do grafů:

- grafy závislosti síly F na průhybu y (příloha 2)
- grafy závislosti ohybového modulu E_o na teplotě ohřevu T_o (příloha 3)

Z celého souboru měření při odlišných podmínkách bylo vybráno dílčí měření pro stejnou vytvrzovací teplotu $T_v = 225$ °C, ale odlišné teploty ohřevu vzorku. V tomto případě přímo z naměřených hodnot získaných z křivek průběhu F a y se odečítaly hodnoty po intervalech 2 s (2 s odpovídá 2 mm na zapisovacím papíru).

Vše je patrné z přílohy (4).

Všechny hodnoty síly F , průhybu y a ohybového modulu E_o byly vynášeny do grafů:

- závislosti průhybu y na síle F
- závislosti ohybového modulu E_o na síle F . (Příloha 5).

Hodnoty z grafů byly porovnávány v souvislosti s diagramem "trhlina - deformace" a diagramem vlivu vytvrzovací teploty a vytvrzovací doby na ohybový modul.

Z těchto vzájemných souvislostí byly stanoveny optimální podmínky teploty ohřevu a doby ohřevu při různých vytvrzovacích teplotách a při použití odlišných jádrových směsí.

5. Ověřovací měření a vyhodnocení pružně-plastických vlastností vybraných směsí

5.1 Přehled zkoušených jádrových směsí

Croningovou metodou se vyrábí tenké formy nebo převážně dutá jádra ze suché dokonale sypké směsi, která je dokonale tekutá a foukatelná, a tak je možné vyrábět nejsložitější tvary forem a jader, aniž by bylo třeba použít vysokých tlaků při foukání a náročného odvodušnění jaderníku. U této metody používáme dva typy základních směsí. Je to:

- a) formovací směs s práškovou pryskyřicí
- b) obalovaná směs

Pro ověřovací měření pružně-plastických vlastností jádrových směsí byla použita obalovaná směs připravovaná ve slévárně n.p. LIAZ Liberec v Ostašově. Směs se používá na jádra složitých tvarů, je suchá, dobře vyplňuje dutiny jaderníku. Směs se vhání vstřelováním pod tlakem do uzavřeného jaderníku, kde se vytvrzuje. Větší jádra se vytvrzují 3 minuty, menší asi 1 minutu. Jádra z obalované směsi jsou skořepinová, vytvrzená je pouze povrchová vrstva (3-8 mm) dle velikosti jádra a jeho použití. Směs na odlitcích nezůstává, povrch odlitků je hladký. Vnitřek jader zůstává syrový a po odlití se jádra rozpadají, písek je znehodnocen a nedá se dále použít.

U obalované směsi je pískové zrno obaleno tenkým, pevně ulpínajícím filmem pryskyřice. Obalování se děje dvěma způsoby:

- obalování za tepla nebo za studena
- obalování za horka

Obalování za tepla se provádí tím způsobem, že se suchý písek smíchá s přísadami v mísiči a po promíchání těchto složek se přidá lihový roztok fenolformaldehydové pryskyřice. Pryskyřice obalí písková zrna. Příměsi se vetřou do pryskyřičného filmu. Do mísiče se vhání ohřáté médium, které urychluje odpařování lihu. Rozpadlé hroudy směsi se rozmělní a prosejí na vibračním sítu.

Obalování za horka se liší tím, že do mísiče se vsadí již předeřtý písek o teplotě asi 130 - 150°C, který svým tepelným účinkem roztaví přidanou pryskyřici a vytvoří se pryskyřiční film. Není tedy třeba žádného rozpouštědla, a tím se sníží náklady na přípravu obalené směsi. Písek se předeřtívá mimo mísič ve vhodném zařízení, ve kterém během krátké doby dosáhne teploty 150 až 200°C.

Základní složkou obalované směsi je ostřivo - křemenný písek EŠ 27 bez prachových podílů, s minimálním množstvím vyplavitelných látek pod 0,6 %. Se vzrůstajícím množstvím vyplavitelných látek totiž klesá pevnost směsi, sypná hmotnost se snižuje jen mírně a snižuje se tak tendence k praskání skořepin při lití. Písek by měl být suchý, obsah vlhkosti by neměl překročit 0,2 %.

Jako pojiva se používá fenolformaldehydové pryskyřice ve formě lihového roztoku novolaku Fernal F 1170 A. Tato pryskyřice obsahuje asi 30 % lihu.

Poslední složkou jádrové směsi jsou přísady. K přísadám patří katalyzátor K 822 a kyselina salicylová. Katalyzátor K 822 obsahuje:

- 8 dílů hexamethyltetraminu
- 2 díly stearanu vápenatého, který slouží jako mazadlo pro zvýšení dělicího účinku
- 2 díly siloxidu, který se přidává pro zkrácení délky toku pryskyřice

Obalovaná směs je připravovaná v těchto hmotnostních dávkách:

křemenný písek Š 27	250 kg	939,4 kg/t směsi
katalyzátor K 822	1,6 kg	6,0 kg/t směsi
kyselina salicylová	0,5 kg	2 kg/t směsi
Fernal F 1170 A	14 kg	52,6 kg/t směsi
		<hr/>
		1000 kg

Doba mísení je 8 až 11 minut, je stanovena v závislosti na teplotě ostřiva, kvalitě Fernalu. K mísení se používá mísič MK-2.

Obalová směs připravená dle výše uvedeného popisu byla použita pro ověřovací měření. Bylo použito dvou směsí o různé pevnosti:

1. směs: pevnost za studena - 1600 až 1800 MPa
vytavitelné látky - 3,86 %
2. směs: pevnost za studena 2000 až 2200 MPa
vytavitelné látky - 3,49 %

Před provedením zkoušek pevnosti v ohybu těchto dvou směsí, bylo provedeno první ověřovací měření na jádrové směsi o pevnosti za studena 1400 až 1500 MPa.

5.2 Podmínky zkoušek

Skořepinová jádra nemají vždy takovou kvalitu, jakou od nich vyžaduje výroba přesných a zdravých odlitků a jakou se snaží dosáhnout i sami výrobci těchto jader. Některá jádra mají větší sklon ke vzniku trhlin, praskají, jiná naopak podléhají deformacím. Aby bylo možné stanovit optimální podmínky pro výrobu dobrých jader, která nepodléhají ani vzniku trhlin ani deformacím, je třeba prozkoumat všechny faktory, které ovlivňují pružně-plastické vlastnosti jádrových směsí.

Ověřovací zkoušky byly prováděny při změně těchto ovlivňujících veličin:

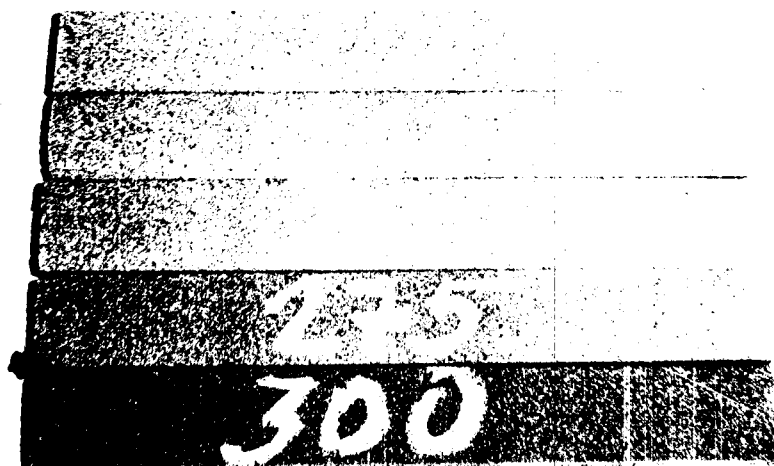
1. vytvrzovací teplota T_v
2. teplota ohřevu T_o
3. doba ohřevu t_o

1. Vytvrzovací teplota se měnila již při samotné výrobě zkušebních vzorků v elektricky vytápěném jaderníku. Teplota vytvrzení byla nastavena na měřícím zařízení vytvrzovací teploty, a tak regulovaná i na jaderníku.

Doba vytvrzování byla 3 minuty.

Teploty vytvrzení byly stanoveny: 200, 225, 250, 275, 300°C
Tělíska vytvrzená při teplotě 200°C byla světle žlutá
a se stoupající teplotou tmavla, až při teplotě 300°C
byla tělíska čokoládově hnědá. Je to patrné z obrázku
(15).

Obrázek (15) barevné odstínování vzorků získaných
při různých vytvrzovacích teplotách



2. První serie vzorků byla zkoušena za studena pro oba druhy směsí. To znamená při pokojové teplotě 20°C. Druhá serie vzorků byla zkoušena na ohyb až po ohřátí na určitou teplotu. Teploty ohřevu byly stanoveny: 100, 200, 300°C.

Při teplotě ohřevu 300°C docházelo zvláště u vzorků vytvrzovaných při vyšších teplotách k pálení spodní strany ploché tyčinky, přesto, že byly na dno pícky vloženy plechová a azbestová vložka.

Tím také mohly být způsobeny nepřesnosti v měření. Příčinou nepřesností při měření byla i určitá ztráta tepla a pokles teploty vzorku během doby, kdy byl vzorek vyjmut z pícky až do počátku zatěžování.

3. Vliv na průběh zátěžné síly F , průhybu vzorků y má také délka času, po který byl vzorek ohříván na určité teplotě. Doby ohřevu vzorku byly zvoleny: 60 a 180 s.

5.3 Dosažené výsledky zkoušek a vyhodnocení pružně-plastických vlastností

Během původního ověřovacího měření a obou vlastních měření pro dvě konkrétní směsi byly veškeré získané hodnoty zátěžné síly F , průhybu vzorku y a ohybového modulu E_0 zaznamenávány do připravených tabulek.

První ověřovací měření mělo ukázat, zda se získané reprodukovatelné hodnoty síly F a průhybu y a z nich vypočítaný modul E_0 bude řádově odpovídat teoretickým rozborům. To znamená, zda se získanými hodnotami E_0 lze dostat do oblasti optimálních pružně-plastických vlastností jádrových směsí, zda je možné tímto způsobem provádět další měření.

Z průměrných hodnot síly F , průhybu y a vypočítaného ohybového modulu E_0 byly sestrojeny grafy závislosti F na y , E_0 na T_0 (viz příloha 3). Grafy byly sestrojeny pro podmínky měření:

1. směs č. 1 - $t_0 = 60$ s, $t_v = 180$ s
 $T_0 = 20, 100, 200, 300^\circ\text{C}$
 $T_v = 200, 250, 300^\circ\text{C}$
2. směs č. 1 - $t_0 = 180$ s, $t_v = 180$ s
 $T_0 = 20, 100, 200, 300^\circ\text{C}$
 $T_v = 200, 250, 300^\circ\text{C}$
3. směs č. 2 - $t_0 = 60$ s, $t_v = 180$ s
 $T_0 = 20, 100, 200, 300^\circ\text{C}$
 $T_v = 200, 250, 300^\circ\text{C}$

$$4. \text{ směs č. 2} - t_o = 180 \text{ s}, t_o = 180 \text{ s}$$

$$T_o = 20, 100, 200, 300^\circ\text{C}$$

$$T_v = 200, 250, 300^\circ\text{C}$$

Hodnoty ohybového modulu z uvedených grafů byly porovnávány s diagramem "trhlina-deformace" a s diagramem vlivu vytvrzovací teploty a doby na ohybový modul. Na základě tohoto srovnání je možné dojít k dílčím závěrům z provedených měření v daných podmínkách (T_o , t_o , T_v).

5.4 Dílčí závěry z provedených měření

Pro názorné porovnání dosažených výsledků měření s teoretickými rozbory a ukazateli je uveden ještě jednou diagram "trhlina - deformace" s vyšrafovanou oblastí pro průběhy charakteristik pryskyřic s vhodnými vlastnostmi. V tomto diagramu jsou charakteristickými body vyznačeny vypočítané průměrné hodnoty ohybového modulu při teplotě ohřevu 300°C .

Nejdříve se provede porovnání obou směsí zároveň pro tyto podmínky:

$$t_v = \text{konstanta} = 180 \text{ s a } t_o = 60 \text{ s}$$

Z porovnání je patrné, že pro vytvrzovací dobu 180 s a dobu ohřevu 60 s leží optimální ohybový modul v oblasti asi kolem 1250 MPa. Pro dobu ohřevu 60 s je tato oblast poněkud rozsáhlejší a to od 1000 do 1500 MPa. Neoptimálnější ohybový modul je asi 1200 až 1300 MPa. Ze získaných grafů závislosti ohybového modulu na teplotě ohřevu pro jednotlivé vytvrzovací teploty, se vyberou ty hodnoty ohybového modulu, které spadají do šrafované oblasti a z nich se určí optimální podmínky.

Pro směs s nižší pevností (směs č. 1) platí:

pro vytvrzovací teplotu 250°C by byla optimální teplota ohřevu asi 150 až 250°C

pro vytvrzovací teplotu 300°C by byla optimální teplota ohřevu asi 100 až 200°C

pro vytvrzovací teplotu 200°C by byla optimální teplota ohřevu asi 200 až 220°C .

Pro směs s vyšší pevností (směs č. 2) platí:

pro vytvrzovací teplotu 250°C by byla optimální teplota ohřevu asi 210 až 230°C

pro vytvrzovací teplotu 300°C by byla optimální teplota ohřevu asi 220 až 240°C

pro vytvrzovací teplotu 200°C by byla optimální teplota ohřevu do 100°C .

Tyto výsledky ukazují, že pro krátkou dobu ohřevu vyhovují směsím s menší pevností vytvrzovací teploty okolo 270°C při teplotě ohřevu nejlépe $100, 150^{\circ}\text{C}$. Při vyšších teplotách ohřevu modulu začíná klesat výrazněji, jádrové směsi nabývají sklon ke vzniku deformací. Směsím s vyšší pevností vyhovuje pro vytvrzovací teplotu okolo 270°C vyšší teplota ohřevu a to pouze v úzkém rozsahu 220 nebo 230°C , protože dále modul velmi prudce klesá a projevují se deformace.

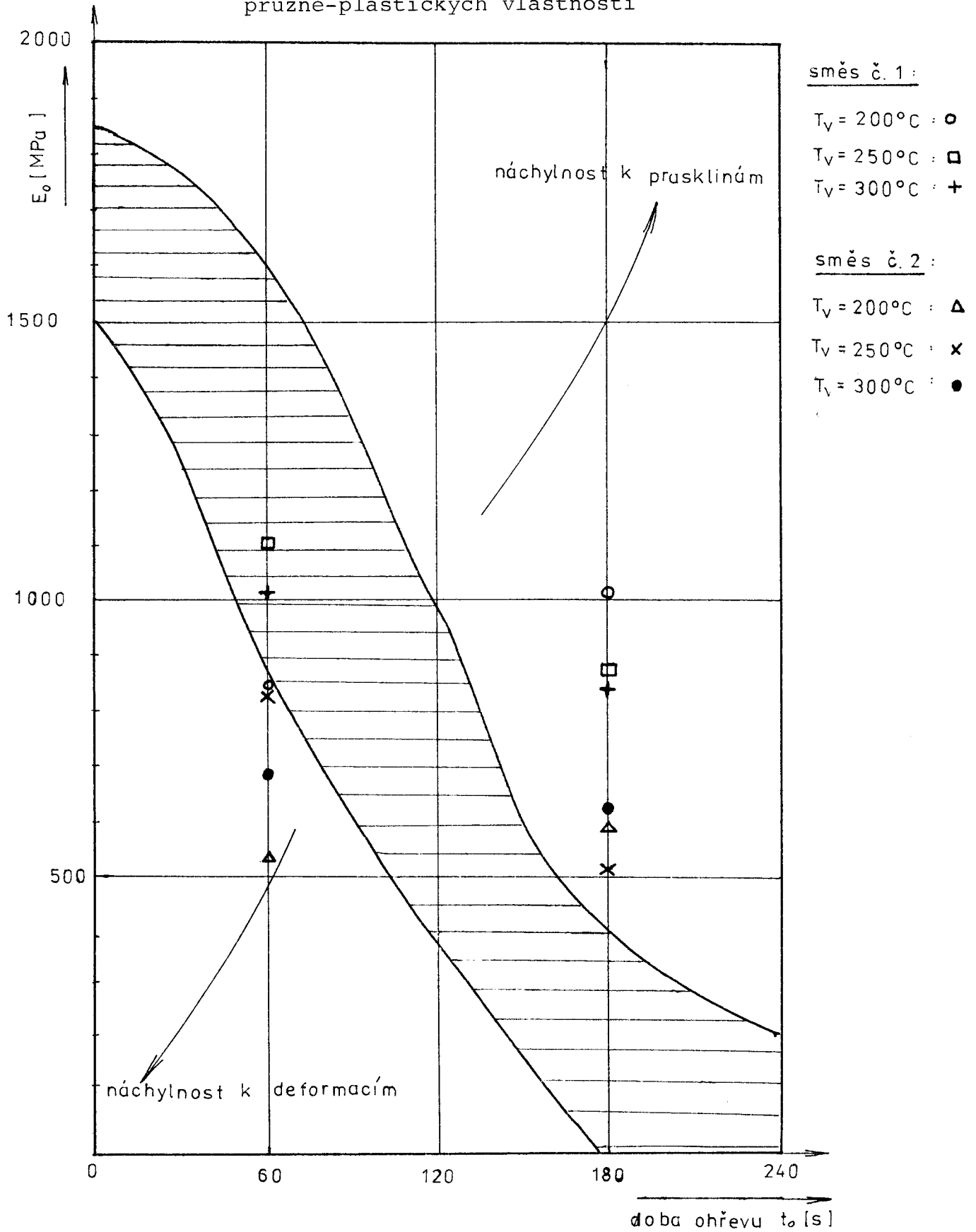
Kdyby byla použita vytvrzovací teplota 200°C , bylo by nutné směsi krátce ohřát, a to méně pevnější směsi asi na teplotu 220°C , dále již roste prudce sklon k deformacím. Pro pevnější směsi je možný ohřev maximálně do teploty 200°C . Za touto teplotou mají směsi největší sklon k vytváření deformací. Proto není vhodné používat vytvrzovací teplotu nižší než je 200°C .

Jiné výsledky se dosáhnou, a tedy jinak se směsi chovají, jestliže se použije dlouhodobých ohřevů. Provede se porovnání pro tyto podmínky:

$$t_v = \text{konstanta} = 180 \text{ s}, t_o = 180 \text{ s}$$

Z porovnání grafů je vidět, že optimální ohybový modul bude ležet v oblasti od 100 do 350 MPa. Ohybový modul je tak nízký, že do této oblasti nespádají přímo téměř žádné získané hodnoty modulu. Kdyby bylo použito vytvrzovací teploty okolo 280°C , potom by bylo třeba dlouhodobě ohřívát na poměrně vysoké teploty nad 300°C , u pevnějších směsí by stačila teplota ohřevu nižší než u méně pevnějších směsí. Kdyby se použil dlouhodobý ohřev na teplotách nižších než je 300°C , jádra by měla prudký sklon ke vzniku trhlin a prasklin.

Obrázek (16): Porovnání vypočítaných modulů ohybu při teplotě ohřevu 300°C s teoretickou oblastí optimálních pružně-plastických vlastností



Teplota vytvrzení 200°C nevyhovuje, protože při vytvrzení jader touto teplotou by jádra praskala, a to tím více, čím méně pevná by byla jádrová směs. Vzhledem k velkému sklonu vzniku trhlin a prasklin není vhodný dlouhodobý ohřev.

Poznámka: srovnání vypočítaných modulů při teplotě ohřevu 300°C s teoretickou oblastí optimálních pružně-plastických vlastností je patrné z obrázku (16).

Tabulka č. 1

$$t_0 = 60[s]$$

$T_0 = 100[^\circ\text{C}]$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200[^\circ\text{C}]$	1-1	9,4	0,45	1528,6	
	1-2	10,8	0,49	1638,3	
	1-3	8,7	0,45	1422,6	1529,7
$T_V = 225[^\circ\text{C}]$	2-1	10,2	0,47	1603,5	
	2-2	10,7	0,51	1558,8	
	2-3	9,7	0,52	1372,4	1511,5
$T_V = 250[^\circ\text{C}]$	3-1	10,8	0,42	1878,4	
	3-2	9,8	0,34	2139,4	
	3-3	10,3	0,45	1683,9	1900,6
$T_V = 275[^\circ\text{C}]$	4-1	10,4	0,49	1561,5	
	4-2	10,4	0,46	1577,6	
	4-3	11,2	0,59	1403,7	1514,3
$T_V = 300[^\circ\text{C}]$	5-1	8,0	0,23	2604,3	
	5-2	10,4	0,49	1555,1	
	5-3	8,6	0,28	2259,7	2139,7

Tabulka č. 2

$T_0 = 200[^\circ\text{C}]$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200[^\circ\text{C}]$	1-1	10,9	0,53	1521,7	
	1-2	5,9	0,33	1319,3	
	1-3	7,7	0,45	1699,5	1513,5
$T_V = 225[^\circ\text{C}]$	2-1	8,4	0,31	2026,2	
	2-2	10,2	0,52	1437,6	
	2-3	11,8	0,55	1569,9	1705,9
$T_V = 250[^\circ\text{C}]$	3-1	11,6	0,56	1537,7	
	3-2	10,4	0,55	1381,1	
	3-3	8,0	0,4	1486,3	1468,4
$T_V = 275[^\circ\text{C}]$	4-1	9,0	0,36	1865,2	
	4-2	10,3	0,55	1387,9	
	4-3	10,1	0,55	1351,1	1534,7
$T_V = 300[^\circ\text{C}]$	5-1	10,7	0,53	1490,9	
	5-2	8,7	0,44	1464,7	
	5-3	10,1	0,52	1442,8	1466,1

Tabulka č. 3

$T_0 = 300[^\circ\text{C}]$	č. m.	F [N]	γ [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200[^\circ\text{C}]$	1-1	10,3	0,55	1372,8	
	1-2	9,4	0,6	1172,1	
	1-3	10,2	0,41	1830,3	1458,4
$T_V = 225[^\circ\text{C}]$	2-1	8,4	0,78	794,3	
	2-2	8,9	1,18	554,9	
	2-3	11,3	1,02	815,1	721,4
$T_V = 250[^\circ\text{C}]$	3-1	8,3	0,37	1650,5	
	3-2	10,3	0,41	1834,8	
	3-3	9,8	0,56	1299,1	1594,7
$T_V = 275[^\circ\text{C}]$	4-1	9,5	0,6	1164,9	
	4-2	10,2	0,49	1547,3	
	4-3	8,3	0,56	1090,4	1267,5
$T_V = 300[^\circ\text{C}]$	5-1	7,8	0,07	8197,8	
	5-2	10,2	0,54	1400,1	
	5-3	9,8	0,5	1441,9	1420,9

Tabulka č. 4

$t_0 = 60 [s]$

ZA STUDENA	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200 [^{\circ}C]$	1-1	11,3	0,44	1889,4	1802,3
	1-2	10,6	0,42	1856,8	
	1-3	11,4	0,51	1660,8	
$T_V = 225 [^{\circ}C]$	2-1	11,4	0,54	1553,1	1575,1
	2-2	9,4	0,48	1431,8	
	2-3	11,0	0,47	1740,4	
$T_V = 250 [^{\circ}C]$	3-1	10,4	0,48	1594,0	1415,3
	3-2	9,9	0,58	1262,1	
	3-3	10,2	0,54	1389,6	
$T_V = 275 [^{\circ}C]$	4-1	11,2	0,57	1445,6	1468,7
	4-2	10,5	0,50	1538,8	
	4-3	10,3	0,53	1421,7	
$T_V = 300 [^{\circ}C]$	5-1	8,9	0,51	1283,9	1314,5
	5-2	9,0	0,46	1455,2	
	5-3	9,25	0,57	1204,5	

Tabulka č. 5

$T_0 = 100 [^{\circ}C]$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200 [^{\circ}C]$	1-1	8,3	0,46	1321,7	1455,4
	1-2	10,3	0,51	1493,3	
	1-3	9,7	0,46	1551,4	
$T_V = 225 [^{\circ}C]$	2-1	9,8	0,58	1253,9	1249,7
	2-2	9,4	0,55	1257,4	
	2-3	10,6	0,63	1237,8	
$T_V = 250 [^{\circ}C]$	3-1	10,2	0,55	1376,9	1344,8
	3-2	9,9	0,54	1348,8	
	3-3	9,25	0,52	1308,7	
$T_V = 275 [^{\circ}C]$	4-1	9,25	0,55	1272,0	1245,1
	4-2	11,0	0,65	1254,7	
	4-3	9,2	0,56	1208,7	
$T_V = 300 [^{\circ}C]$	5-1	7,9	0,51	1150,9	1212,3
	5-2	8,7	0,49	1298,7	
	5-3	10,7	0,66	1187,2	

Tabulka č. 6

$T_0 = 200[^\circ\text{C}]$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200[^\circ\text{C}]$	1-1	12,1	0,62	1435,8	1307,8
	1-2	10,2	0,64	1172,5	
	1-3	10,1	0,57	1315,2	
$T_V = 225[^\circ\text{C}]$	2-1	13,3	0,69	1423,1	1296,5
	2-2	8,9	0,52	1259,2	
	2-3	9,6	0,59	1207,3	
$T_V = 250[^\circ\text{C}]$	3-1	9,8	0,59	1211,7	1253,7
	3-2	10,4	0,58	1319,2	
	3-3	10,2	0,61	1230,2	
$T_V = 275[^\circ\text{C}]$	4-1	11,0	0,59	1360,1	1316,7
	4-2	10,3	0,57	1322,9	
	4-3	9,3	0,54	1267,1	
$T_V = 300[^\circ\text{C}]$	5-1	9,2	0,67	1017,8	1087,1
	5-2	10,4	0,66	1159,3	
	5-3	8,4	0,57	1084,2	

Tabulka č. 7

$T_0 = 300[^\circ\text{C}]$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200[^\circ\text{C}]$	1-1	9,9	0,83	877,5	742,5
	1-2	11,8	1,18	735,7	
	1-3	9,6	1,15	614,2	
$T_V = 225[^\circ\text{C}]$	2-1	10,2	0,73	1027,9	779,1
	2-2	10,6	1,14	684,1	
	2-3	10,2	1,20	625,4	
$T_V = 250[^\circ\text{C}]$	3-1	9,1	0,64	1046,1	1101,4
	3-2	10,6	0,62	1257,8	
	3-3	9,1	0,67	999,2	
$T_V = 275[^\circ\text{C}]$	4-1	9,4	0,76	909,9	991,4
	4-2	9,7	0,70	1019,5	
	4-3	9,8	0,69	1044,9	
$T_V = 300[^\circ\text{C}]$	5-1	9,8	0,73	987,7	1012,1
	5-2	8,1	0,66	902,9	
	5-3	9,5	0,61	1145,8	

Tabulka č. 8

$$t_0 = 180 [s]$$

$T_0 = 100 [^{\circ}C]$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200 [^{\circ}C]$	1 - 1	14,0	0,62	1661,3	1527,4
	1 - 2	10,8	0,61	1313,3	
	1 - 3	11,8	0,54	1607,6	
$T_V = 225 [^{\circ}C]$	2 - 1	9,9	0,50	1456,7	1423,9
	2 - 2	10,2	0,54	1389,7	
	2 - 3	12,4	0,64	1425,4	
$T_V = 250 [^{\circ}C]$	3 - 1	9,6	0,53	1332,6	1322,6
	3 - 2	9,8	0,49	1486,6	
	3 - 3	8,9	0,57	1148,7	
$T_V = 275 [^{\circ}C]$	4 - 1	10,4	0,68	1125,2	1197,4
	4 - 2	9,2	0,57	1187,5	
	4 - 3	10,0	0,58	1279,5	
$T_V = 300 [^{\circ}C]$	5 - 1	8,8	0,59	1100,4	1144,1
	5 - 2	9,2	0,62	1100,6	
	5 - 3	8,2	0,49	1231,2	

Tabulka č. 9

$T_0 = 200 [^{\circ}C]$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200 [^{\circ}C]$	1 - 1	9,4	0,58	1192,3	1192,8
	1 - 2	11,5	0,78	1091,7	
	1 - 3	10,9	0,65	1243,3	
$T_V = 225 [^{\circ}C]$	2 - 1	10,3	0,78	973,0	964,3
	2 - 2	9,4	0,71	974,0	
	2 - 3	9,9	0,77	945,9	
$T_V = 250 [^{\circ}C]$	3 - 1	12,0	0,76	1161,6	1105,1
	3 - 2	11,0	0,69	1172,9	
	3 - 3	8,6	0,65	980,9	
$T_V = 275 [^{\circ}C]$	4 - 1	8,9	0,74	884,8	1079,5
	4 - 2	10,9	0,73	1106,1	
	4 - 3	11,7	0,69	1247,5	
$T_V = 300 [^{\circ}C]$	5 - 1	8,5	0,63	992,6	981,8
	5 - 2	8,9	0,62	1056,1	
	5 - 3	7,8	0,64	896,6	

Tabulka č. 10

$T_0 = 300[^\circ\text{C}]$	č. m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	$\overline{E_0}$ [MPa]
$T_V = 200[^\circ\text{C}]$	1 - 1	10,2	0,71	1056,9	1013,6
	1 - 2	12,9	0,81	1171,7	
	1 - 3	11,7	1,06	812,1	
$T_V = 225[^\circ\text{C}]$	2 - 1	9,8	1,18	611,0	634,9
	2 - 2	8,8	1,17	550,2	
	2 - 3	9,4	0,93	743,6	
$T_V = 250[^\circ\text{C}]$	3 - 1	7,7	0,83	686,7	775,5
	3 - 2	8,5	1,05	955,6	
	3 - 3	9,3	1,0	684,2	
$T_V = 275[^\circ\text{C}]$	4 - 1	11,1	0,82	995,9	1004,0
	4 - 2	9,6	0,67	1054,1	
	4 - 3	10,2	0,78	962,1	
$T_V = 300[^\circ\text{C}]$	5 - 1	8,4	0,82	753,6	757,5
	5 - 2	8,3	0,78	783,2	
	5 - 3	7,3	0,73	735,7	

Tabulka č. 11

$t_0 = 60 [s]$

$T_{\text{studená}}$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200 [^{\circ}\text{C}]$	1 - 1	15,5	1,16	983,1	1370,6
	1 - 2	14,6	0,72	1491,8	
	1 - 3	13,4	0,60	1636,9	
$T_V = 225 [^{\circ}\text{C}]$	2 - 1	12,5	0,61	1520,0	1481,8
	2 - 2	13,5	0,75	1324,3	
	2 - 3	14,8	0,68	1601,2	
$T_V = 250 [^{\circ}\text{C}]$	3 - 1	14,1	0,65	1595,9	1671,8
	3 - 2	13,9	0,59	1748,1	
	3 - 3	14,2	0,63	1671,5	
$T_V = 275 [^{\circ}\text{C}]$	4 - 1	15,5	0,67	1701,9	1841,4
	4 - 2	16,8	0,71	1753,2	
	4 - 3	15,8	0,56	2069,2	
$T_V = 300 [^{\circ}\text{C}]$	5 - 1	14,4	0,68	1569,5	1652,9
	5 - 2	15,3	0,65	1745,2	
	5 - 3	14,8	0,66	1644,2	

Tabulka č. 12

$T_p = 100 [^{\circ}\text{C}]$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200 [^{\circ}\text{C}]$	1 - 1	15,3	0,71	1580,2	1475,5
	1 - 2	13,1	0,67	1438,5	
	1 - 3	13,3	0,70	1407,9	
$T_V = 225 [^{\circ}\text{C}]$	2 - 1	13,7	0,64	1569,1	1411,5
	2 - 2	13,6	0,74	1352,1	
	2 - 3	13,3	0,75	1313,4	
$T_V = 250 [^{\circ}\text{C}]$	3 - 1	13,6	0,66	1515,9	1686,9
	3 - 2	13,7	0,55	1832,6	
	3 - 3	13,5	0,58	1712,4	
$T_V = 275 [^{\circ}\text{C}]$	4 - 1	15,5	0,64	1781,8	1806,8
	4 - 2	14,6	0,56	1918,1	
	4 - 3	14,5	0,62	1720,6	
$T_V = 300 [^{\circ}\text{C}]$	5 - 1	12,3	0,52	1749,9	1793,8
	5 - 2	13,5	0,58	1712,4	
	5 - 3	12,7	0,49	1918,9	

Tabulka č. 13

$T_0 = 200[^\circ\text{C}]$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200 [^\circ\text{C}]$	1 - 1	11,8	0,61	1434,9	1493,7
	1 - 2	14,0	0,68	1514,7	
	1 - 3	11,5	0,55	1531,6	
$T_V = 225[^\circ\text{C}]$	2 - 1	12,0	0,74	1201,1	1284,4
	2 - 2	12,8	0,68	1384,9	
	2 - 3	11,8	0,69	1267,3	
$T_V = 250[^\circ\text{C}]$	3 - 1	13,7	0,66	1538,8	1475,3
	3 - 2	13,4	0,66	1493,7	
	3 - 3	14,3	0,76	1393,5	
$T_V = 275[^\circ\text{C}]$	4 - 1	13,7	0,61	1665,9	1571,2
	4 - 2	13,8	0,64	1586,4	
	4 - 3	14,5	0,73	1461,3	
$T_V = 300[^\circ\text{C}]$	5 - 1	14,8	0,64	1728,3	1586,5
	5 - 2	14,3	0,69	1530,5	
	5 - 3	12,8	0,63	1500,8	

Tabulka č. 14

$T_0 = 300[^\circ\text{C}]$	č.m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200[^\circ\text{C}]$	1 - 1	7,8	1,20	478,2	535,8
	1 - 2	7,9	1,05	553,5	
	1 - 3	7,2	0,92	575,8	
$T_V = 225[^\circ\text{C}]$	2 - 1	8,75	1,16	554,9	557,9
	2 - 2	8,25	0,99	613,1	
	2 - 3	7,7	1,12	505,8	
$T_V = 250[^\circ\text{C}]$	3 - 1	7,6	0,78	716,8	736,3
	3 - 2	8,7	1,0	640,1	
	3 - 3	8,0	0,69	852,9	
$T_V = 275[^\circ\text{C}]$	4 - 1	9,4	0,65	1058,3	932,5
	4 - 2	7,8	0,61	934,7	
	4 - 3	7,6	0,69	804,5	
$T_V = 300[^\circ\text{C}]$	5 - 1	8,7	0,98	653,2	697,6
	5 - 2	8,4	1,15	537,4	
	5 - 3	8,4	0,69	902,2	

Tabulka č. 15

 $t_0 = 180 [s]$

$T_0 = 100 [^{\circ}C]$	č. m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200 [^{\circ}C]$	1 - 1	13,7	0,59	1722,9	1587,5
	1 - 2	13,0	0,59	1621,0	
	1 - 3	13,4	0,70	1418,5	
$T_V = 225 [^{\circ}C]$	2 - 1	13,3	0,59	1652,2	1598,4
	2 - 2	14,5	0,75	1422,4	
	2 - 3	14,9	0,64	1720,5	
$T_V = 250 [^{\circ}C]$	3 - 1	11,0	0,55	1484,9	1335,6
	3 - 2	15,0	1,0	1103,6	
	3 - 3	13,4	0,70	1418,5	
$T_V = 275 [^{\circ}C]$	4 - 1	15,4	0,69	1642,0	1507,8
	4 - 2	15,9	0,72	1624,7	
	4 - 3	16,4	0,96	1256,8	
$T_V = 300 [^{\circ}C]$	5 - 1	14,7	0,69	1546,6	1397,1
	5 - 2	14,7	0,93	1162,9	
	5 - 3	14,1	0,70	1481,9	

Tabulka č. 16

$T_0 = 200 [^{\circ}C]$	č. m.	F [N]	y [mm]	E_0 [MPa]	\bar{E}_0 [MPa]
$T_V = 200 [^{\circ}C]$	1 - 1	9,5	0,64	1109,4	1043,3
	1 - 2	9,7	0,71	1005,1	
	1 - 3	9,8	0,83	1015,5	
$T_V = 225 [^{\circ}C]$	2 - 1	9,4	0,85	813,6	765,1
	2 - 2	8,8	0,7	924,9	
	2 - 3	8,3	1,09	556,8	
$T_V = 250 [^{\circ}C]$	3 - 1	8,9	0,75	873,0	755,1
	3 - 2	8,3	0,80	758,7	
	3 - 3	9,3	1,08	633,5	
$T_V = 275 [^{\circ}C]$	4 - 1	9,7	0,87	820,3	746,0
	4 - 2	10,2	1,03	728,6	
	4 - 3	8,9	0,95	689,2	
$T_V = 300 [^{\circ}C]$	5 - 1	8,2	0,67	900,4	811,5
	5 - 2	8,25	0,74	825,8	
	5 - 3	6,5	0,67	708,3	

Tabulka č. 17

$T_0 = 300 [^{\circ}C]$	č. m.	$F [N]$	$y [mm]$	$E_e [MPa]$	$\bar{E}_e [MPa]$
$T_V = 200 [^{\circ}C]$	1-1	8,3	0,79	772,9	600,9
	1-2	8,9	1,25	523,8	
	1-3	8,3	1,20	505,8	
$T_V = 225 [^{\circ}C]$	2-1	7,3	1,3	429,7	496,5
	2-2	7,3	0,91	590,2	
	2-3	7,9	1,23	469,5	
$T_V^g = 250 [^{\circ}C]$	3-1	9,2	1,26	537,2	502,1
	3-2	8,6	1,16	545,4	
	3-3	7,6	1,32	423,6	
$T_V = 275 [^{\circ}C]$	4-1	8,4	0,80	767,9	640,6
	4-2	7,9	0,97	599,2	
	4-3	9,2	1,22	554,8	
$T_V = 300 [^{\circ}C]$	5-1	6,8	0,70	714,5	619,6
	5-2	8,8	1,15	562,9	
	5-3	7,9	1,0	581,2	

6. Technicko-ekonomické zhodnocení navržené zkoušky pružně-plastických vlastností jádrových směsí

6.1 Zhodnocení metodiky měření a vyhodnocování

V této práci byla teoreticky rozebrána otázka pružně-plastických vlastností a na základě těchto rozborů navržena metodika měření a vyhodnocování těchto vlastností.

Pro posuzování pružně-plastických vlastností směsí byla využita opravená a doplněná zkouška pevnosti v ohybu na vzorcích ze směsí. Úpravy a doplnění ohybové zkoušky, první ověřovací měření i vlastní vyhodnocování naměřených výsledků přinesly nové poznatky a zkušenosti, které lze shrnout do dílčích závěrů.

1. Pro měření byl navržen zkušební vzorek ve tvaru ploché tyčinky o rozměrech 170 x 22,4 x 8 mm, protože standartní zkušební tělísko o rozměrech 22,4 x 170 mm neposkytuje reprodukovatelné hodnoty.

Pro nový zkušební vzorek byla vypočítána rozměrová konstanta C , která je potřebná pro výpočet ohybového modulu E_0 podle vztahu:

$$E_0 = C \frac{F}{y} \text{ [MPa]}$$

Rozměrová konstanta C závisí na rozměrech vzorku a vzdálenosti podpor.

$$C = \frac{l^3}{4 b h^3} = 73,57 \text{ [mm}^3\text{]}$$

Nové zkušební vzorky byly vyráběny v elektricky vytápeném jaderníku. Aby bylo dosaženo požadovaných rozměrů, byla do jaderníčku připevněna ocelová vložka pomocí permanentních magnetů.

2. Měření bylo prováděno při konstantní době vytvrzování a při obměnách těchto veličin:
 - a) teplota vytvrzování
 - b) teplota ohřevu
 - c) doba ohřevu

- a) Vytvrzování vzorků se děje při samotné výrobě ve vytápěném jaderníku. Byly zvoleny vytvrzovací teploty: 200, 225, 250, 270 a 300°C. Pro další návrhy měření by bylo možné počet teplot snížit na 200, 250 a 300°C.
 - b) Ohybová zkouška byla provedena za studena a při teplotách ohřevu 100, 200 a 300°C. Volba těchto teplot byla vyhovující, ale bylo by možné provést zkušební měření i za vyšších teplot a zjistit tak průběhy pružně-plastických vlastností u jader, která jsou značně tepelně namáhána při vlastním použití.
 - c) Doby ohřevu byly zvoleny 60 a 180 s - tedy ve větším rozsahu, aby byly jasně viditelné změny v chování jádrových směsí. Také tato volba byla vyhovující, i když 60 s je velmi krátká doba k tomu, aby se vzorek stačil ohřát rovnoměrně v celém objemu na potřebnou teplotu. Bylo by vhodné stanovit i časy 120 a 240 s.
3. Zkušební vzorky byly vyrobeny ze dvou druhů obalových směsí, které se lišily svou pevností. Složení směsí bylo stejné, jakož i způsob přípravy těchto směsí. Směsi se lišily pouze množstvím přidaného pojiva. Rozdíl mezi pevnostmi směsí nebyl dostatečně velký. Pro příští měření by bylo výhodnější volit směsi tak, aby rozdíl jejich pevností byl co největší, a tím zajistit prokazatelnější změny v průběhu měření.
 4. Vlastní vyhodnocování ověřovacích měření by bylo možné rozdělit do tří částí.

První část tvoří záznamy průběhů zátěžné síly F a průhybu vzorku y získané na automatickém zapisovači. Tyto záznamy byly zpracovány a roztrženy podle změných podmínek měření. Měřítkem zhotoveného pomocí kalibračních křivek byly odečteny konkrétní hodnoty

F a γ a zapsány do tabulek.

Druhou část tvoří výpočet ohybového modulu E_0 podle již výše uvedeného vztahu. Pro všechny hodnoty F a γ byl vypočítaný modul zprůměrován pro stejné podmínky měření a všechny hodnoty byly vyneseny do grafů závislostí F na γ , E_0 na F, E_0 na T_0 .

Poslední část obsahuje porovnání získaných grafů s teoretickými rozbory, v literatuře uvedenými diagramy a s praktickými zkušenostmi. Ve vzájemné souvislosti jsou uvedeny konečné výsledky a závěry vyplývající z nich.

Lze tedy konstatovat, že navržená metodika měření je použitelná a umožňuje získat potřebné veličiny charakterizující pružně-plastické vlastnosti směsí. Tyto veličiny pak lze dále zpracovávat.

6.2 Zhodnocení měřícího zařízení a návrhy na úpravu

Měřící zařízení, jak již bylo výše uvedeno, se skládá z přístroje pro měření pevnosti jádrových směsí v ohybu, ohřívacího zařízení a zapisovacího zařízení.

Přístroj pro měření pevnosti v ohybu byl doplněn o měření průhybu. Umožňuje tedy snímat vedle zátěžné síly F i průhyb γ . Zatěžování vzorků bylo prováděno ručně, což způsobovalo nerovnoměrnost při zatěžování, a proto by bylo vhodné nahradit toto ruční zatěžování automatickým, které by zajišťovalo pomalý rovnoměrný chod pístu. To bude třeba řešit při další úpravě.

K ohřívání vzorků byla použita odporová píčka s měřením teploty. Přesto, že v ní byla ohřátá všechna potřebná tělíška na danou teplotu, teplota se musela neustále sledovat a regulovat. Zvláště teplota ohřevu 300°C . Tato

teplota byla obtížně dosahována a klesala okamžitě při vložení chladného vzorku do vnitřního prostoru vytopené pícky. Docházelo také ke spálení spodní strany vzorku, ačkoliv byl zajištěn nepřímý styk vzorku s vyzdívkou. Nevýhoda tohoto zařízení byla také v tom, že vzorek během doby, která začínala jeho vyjmutím z pícky a končila okamžikem zatěžování - tedy dotykem pístu na vzorku, vzorek odevzal okolí část svého tepla a jeho teplota klesala na neznámou hodnotu. V tomto důsledku jsou možné nepřesnosti v měření. Proto by další úprava měřícího zařízení spočívala v instalaci ohřívací pícky přímo na měřící zařízení. Bylo by to možné vyřešit obklopením ploché tyčinky elektrickou topnou spirálou, která by ohřívala chladný vzorek po jejím vložení do ohřívací komory. Tak by se předešlo i spálení jádrové směsi na jedné straně. Teplota ohřevu může být libovolně zvolena a termostaticky regulována i na vyšší teplotu než je 300°C , přičemž doba, po kterou setrvá vzorek v komoře může být měněna.

Zapisovací aparát se skládá ze samočinné registrace síly F a průhybu y . K snímání obou veličin bylo využito indukčních snímačů a dvou zapisovačů pomocí nichž byly získávány průběhy veličin v potřebném rozsahu. Pomocí zhotovených měřítek byly získány konkrétní hodnoty F a y . Tomuto pracovnímu způsobu snímání a vyhodnocování je možné předejít použitím X-Y zapisovače, který snímá současně obě veličiny najednou a průběhy křivek jsou zaznamenávány do souřadnicového systému F - y na milimetrový papír.

6.3 Doporučení pro zavedení zkoušky při hodnocení jádrových směsí

V současné době neustále roste spotřeba odlitků s vysokými užitnými vlastnostmi. Aby odlitky byly kvalitní, musí také formy a jádra mít požadovanou kvalitu a být tak zárukou výroby zdravotních odlitků. Z toho důvodu je třeba stále podrobněji se zabývat problematikou jádrových směsí,

jejich vlastnostmi, zvláště vlastnostmi za vyšších teplot při současném tepelném a mechanickém namáhání. K takovým vlastnostem patří pružně-plastické charakterizovány ohybovým modulem. Ten lze získat a z něj možné odvozovat optimální podmínky pro výrobu jader na základě právě uvedené navržené metodiky zkoušení jádrových směsí při různých kombinacích celé řady faktorů, které ovlivňují pružně-plastické vlastnosti. Z uvedeného ověřovacího měření pro obalové směsi lišící se pevností, je patrný pouze vliv vytvrzovací teploty, teploty a doby ohřevu zkušebních vzorků. I když při ověřovacích měřeních byly měněny zatím základní ovlivňující veličiny, a to ne zcela vyčerpávajícím způsobem, přesto je možné konstatovat, že touto metodikou by bylo vhodné dále zkoumat i ostatní veličiny, které ovlivňují pružně-plastické vlastnosti. Nejde pouze o veličiny uplatňující se při vlastní výrobě jader, ale i o změny ve složení směsi a způsobu jejich přípravy, které jsou důležitými ukazateli chování jádrových směsí. U obalové směsi je možné různě kombinovat tyto faktory, týkající se složení směsi:

- přídavek katalyzátoru K 822 a okamžik přidání
- obsah pryskyřice
- modifikační přísady k základní pryskyřici

ale také zrnitost písku, typ mísiče a doba mísení, teplota obalování (130, 150, 170 a 190°C).

Vedle obalové směsi se používá nejen v Ostašově, ale i v ostatních slévárnách v Československu velké množství jiných jádrových směsí a způsoby výroby jader. S těmito skutečnostmi se mění i ta, že existuje celá řada podobných či odlišných faktorů, které na pružně-plastické vlastnosti působí.

To však neznamená, že tyto odlišnosti vyžadují i jinou metodiku pro hodnocení jádrových směsí. Naopak, metodu lze doporučit všem slévárenským podnikům, které ji mohou podle svých potřeb a možností rozšířit, upravit a zlepšit.

7. ZÁVĚR

Problematika pružně-plastických vlastností není zatím v Československu aktuální otázkou, kterou se slévárenská technologie zabývá a kterou řeší. V jiných státech sice již někteří autoři provedli podrobnější rozборы, které vedly k určitým řešením, jak zajistit výrobu kvalitních forem a jader, avšak v našem státě tato problematika rozpracována dosud nebyla.

Úkolem mé diplomové práce bylo prostudovat dosud známé teoretické poznatky o pružně-plastických vlastnostech jádrových směsí, charakterizovaných ohybovým modulem E_0 . Provést rozборы chování jádrových směsí za vyšších teplot při současném mechanickém a tepelném namáhání. Zkoumat příčiny vzniku deformací, trhlin a prasklin, v té souvislosti sledovat podmínky, při kterých je výskyt těchto vad minimální, a tedy jádra vykazují optimální pružně-plastické vlastnosti. Dále jakým způsobem a do jaké míry je možné tyto vlastnosti ovlivnit. Všechny teoretické rozборы a poznatky vedly k hlavnímu cíli mé práce, kterým bylo navržení a ověření metodiky měření pružně-plastických vlastností jádrových směsí a způsobu vyhodnocování naměřených hodnot.

Hlavní výsledky a přínosy práce lze shrnout do těchto bodů:

1. Byl zpracován přehled dostupných literárních poznatků o rozbořech a řešení dané problematiky v některých zahraničních slévárnách.
2. Byla navržena a ověřena metodika měření pružně-plastických vlastností jádrových směsí s využitím úpravy zkoušky pevnosti v ohybu včetně metodiky vyhodnocování výsledků.
3. Bylo navrženo a realizováno - v podmínkách tuzemských slévárenských laboratoří unikátní měřicí zařízení, které umožňuje měření směsí dle navržené metodiky.

4. Byla provedena ověřovací měření pružně-plastických vlastností a stanoveny velikosti ohybového modulu E_0 pro vybrané jádrové směsi. Dosažené výsledky se velmi dobře shodují s údaji získanými v literatuře.
5. Dosažené výsledky byly vyneseny do grafů a porovnány s teoretickými diagramy. Na základě tohoto porovnání byly učiněny dílčí optimální volby podmínek výroby jader.

Daná problematika tím není samozřejmě zcela vyřešena. Další práce, které budou navazovat je účelné zaměřit dvěma směry:

1. Dopracovat návrh a realizaci měřícího zařízení pro zjednodušení postupu zkoušky i vlastního vyhodnocování, např. dořešení způsobu automatického zatěžování, použití X-Y zapisovače pro registraci síly a průhybu, dořešení způsobu ohřevu vzorků a j.
2. Realizovat a vyhodnotit soustavná měření různých druhů jádrových směsí při současném vyhodnocování dilatačních vlastností a sklonu k praskání vzorků z těchto směsí.

Závěrem bych chtěla uvést, že práce vznikla v převážné míře v laboratořích katedry materiálů a strojírenské metalurgie za významného přispění pracovníků závodu 04 n.p. LIAZ Liberec, jak pokud se týká poskytnutí poznatků o zkoušených směsích, tak i o materiálním zabezpečení ověřovacích zkoušek.

Za tuto účinnou pomoc bych jim chtěla poděkovat, zvláště s. Vladimíru Jánskému. Moje poděkování též patří za obětavou pomoc a ochotu mi vždy poradit v teoretické a praktické části s. Doc. Ing. Zdeňkovi Holubcovi, CSc, s. Skrbkovi, s. Vorlovi a všem ostatním pracovníkům katedry materiálů a strojírenské metalurgie.

Gejzka Romana

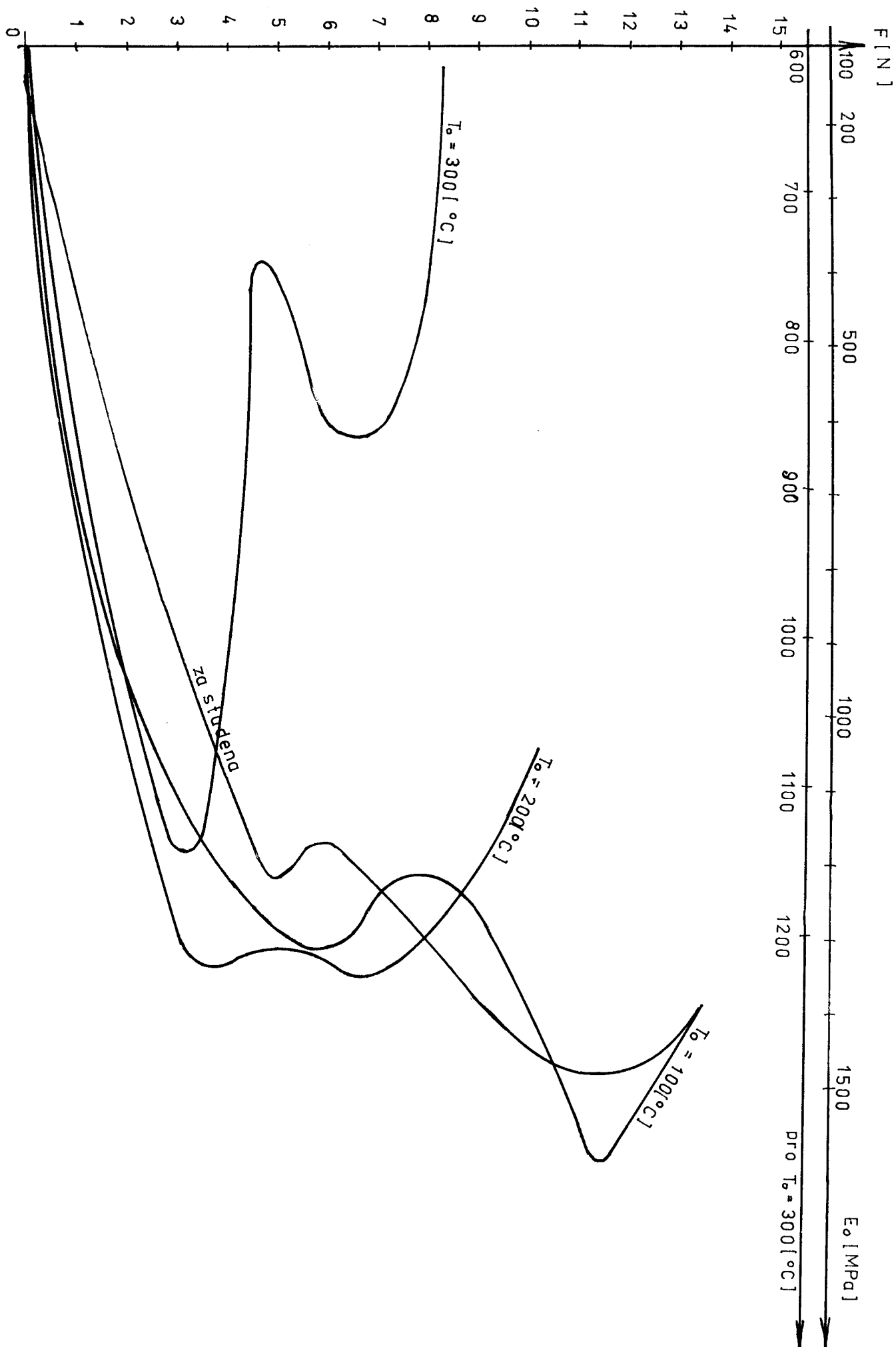
8. Seznam literatury

1. PETRŽELA, L.: Slévárenské formovací látky
SNTL, Praha 1955
2. RUSÍN, K.: Disperzní formovací materiály
(skripta VUT Brno)
SNTL Praha 1980
3. VETIŠKA, A.: Teoretické základy slévárenské
technologie
SNTL Praha, 1972
4. PÍŠEK, F., PLEŠINGER, A.: Slévárenství I.
SNTL Praha 1974
Slévárenství II.
SNTL Praha 1975
5. RUSÍN, K.: Měření jakosti formovacích hmot
(skripta VUT Brno)
SNTL Praha 1973
6. MACÁŠEK, I., RUSÍN, K., VETIŠKA, A.: Slévárenství II.
(učebnice 4. roč. SPŠ slévárenských)
SNTL Praha 1981
7. BOENISCH, D., BERNDT, H.: Das Ri -Verformungs-Diagramm
für harzumhüllte Sande
Giesserei 60 (1973), č.5 str.105-111
8. Doc.Ing.HOLUBEC, Z., CSc: Měření vybraných vlastností
jádrových směsí při vysokých
teplotách
(zpráva VŠST)
Liberec 1985
9. BARTOŠ, J. a kol.: Strojnické tabulky
SNTL Praha 1980

9. Seznam příloh

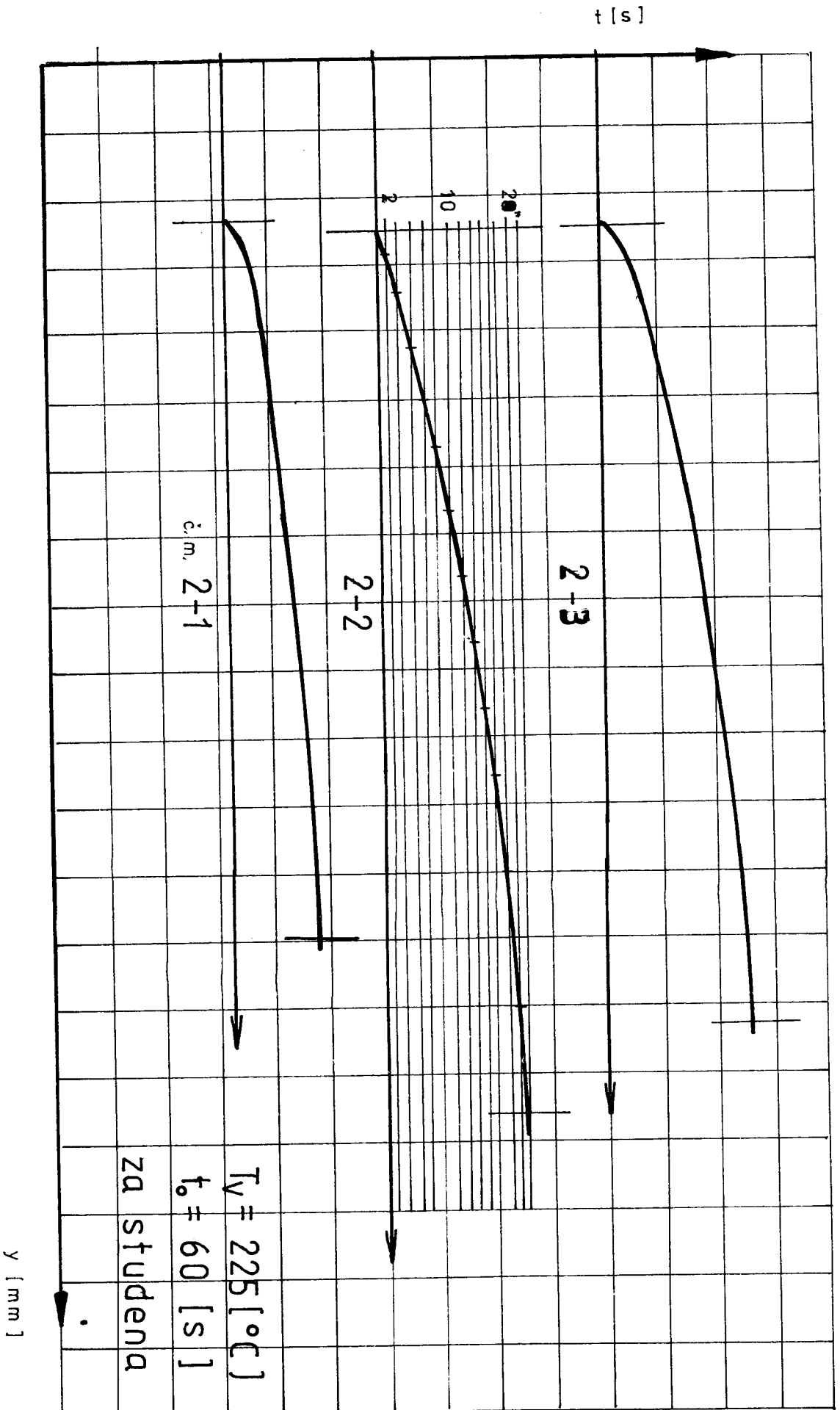
1. Znázornění upnutí podložky se zkušebním vzorkem ke standardnímu přístroji pro ohybovou zkoušku.
2. Grafy závislosti zátěžné síly na průhybu vzorku.
3. Grafy závislosti zátěžné síly na průhybu vzorku a ohybového modulu na teplotě ohřevu.
4. Zápisy indukčních snímačů zátěžné síly a průhybu vzorku v závislosti na čase.
5. Grafy závislosti ohybového modulu na zátěžné síle.

GRAFY ZÁVISLOSTI MODULU V OHYBU NA ZÁTĚŽNÉ SÍLE



ZÁPIS INDUKČNÍHO SNÍMAČE PRŮHYBU VZORKU V ZÁVISLOSTI NA ČASE

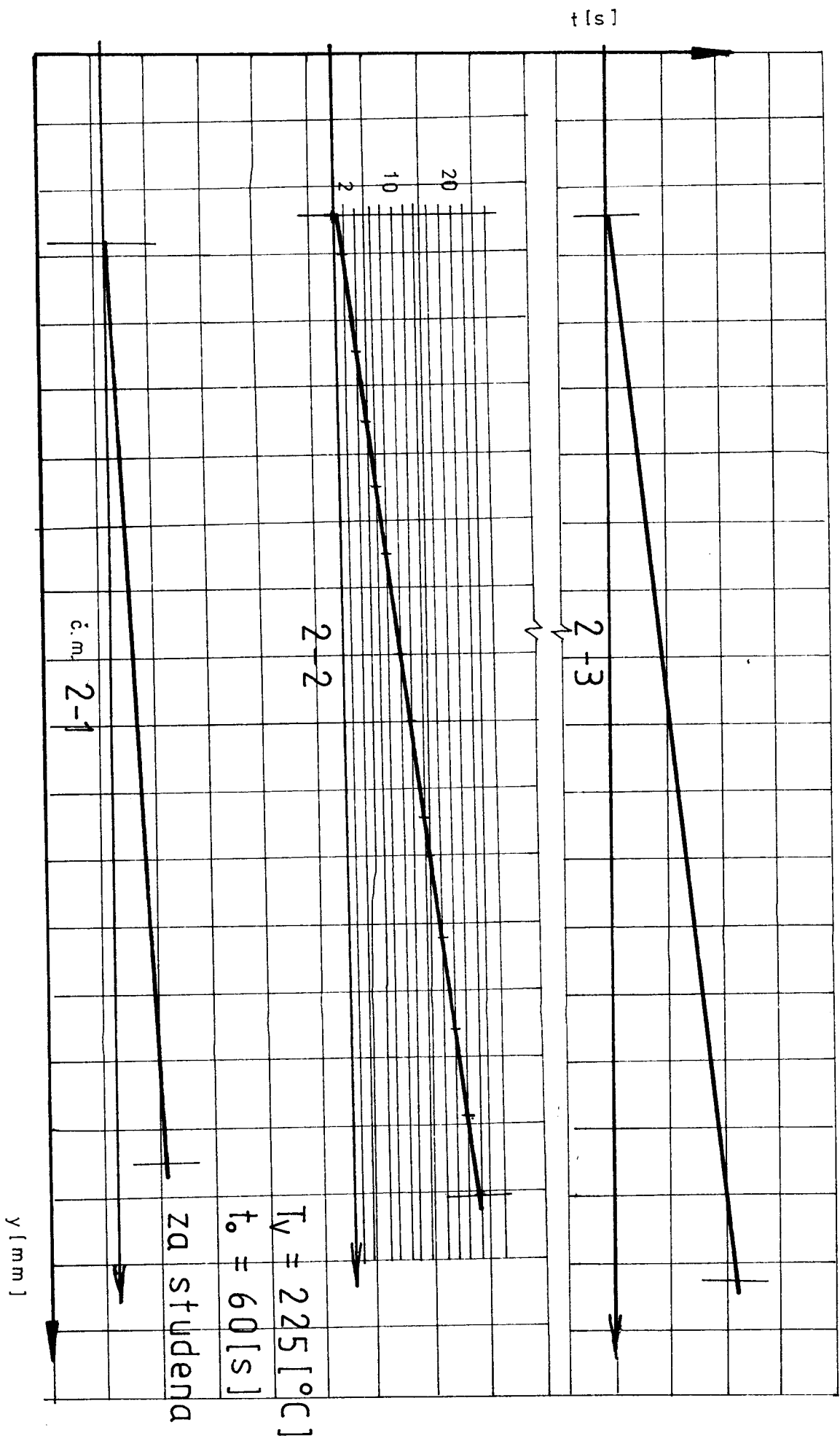
PŘÍLOHA 4



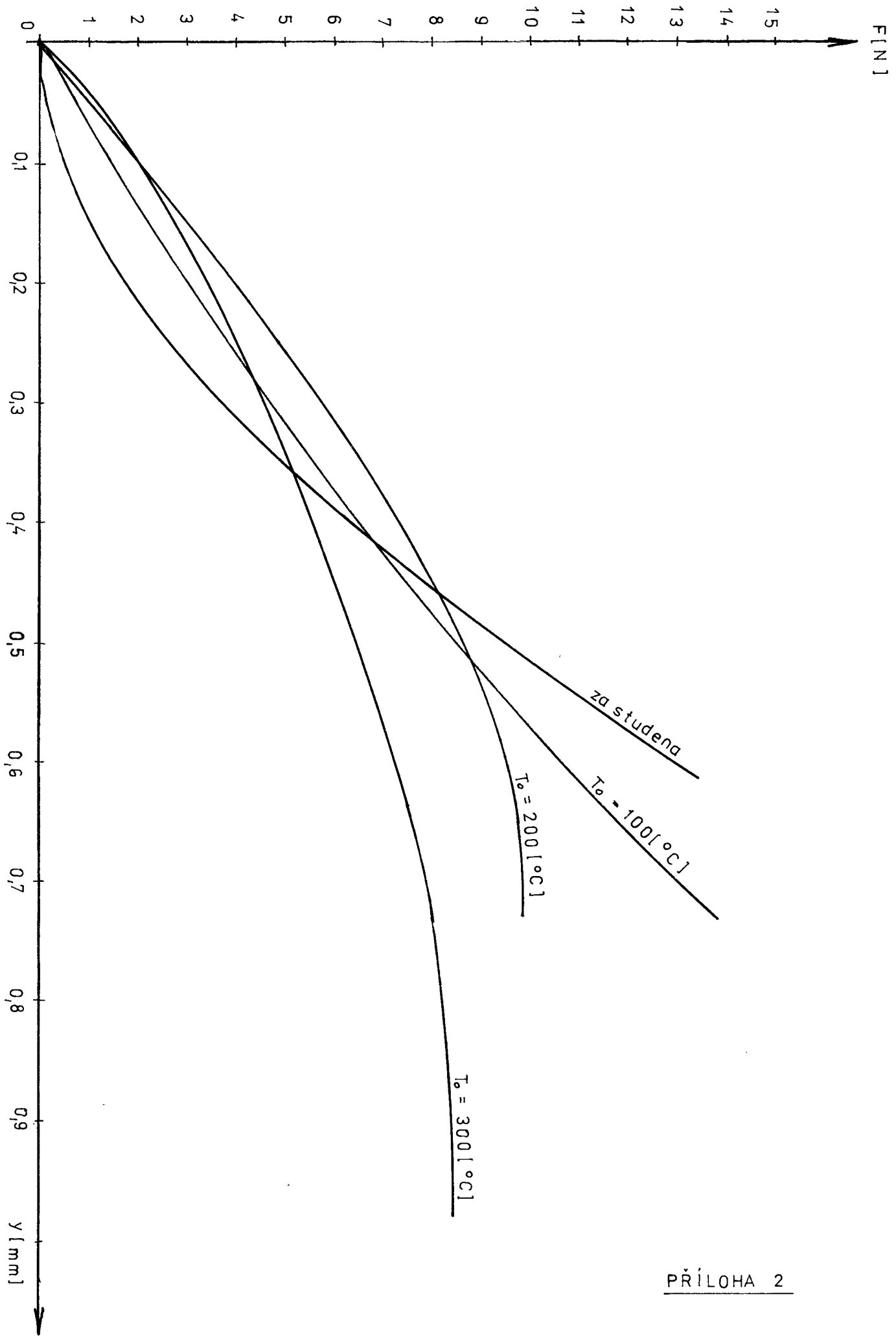
$T_v = 225 [^{\circ}\text{C}]$
 $t_0 = 60 [\text{s}]$
zadržena za studena

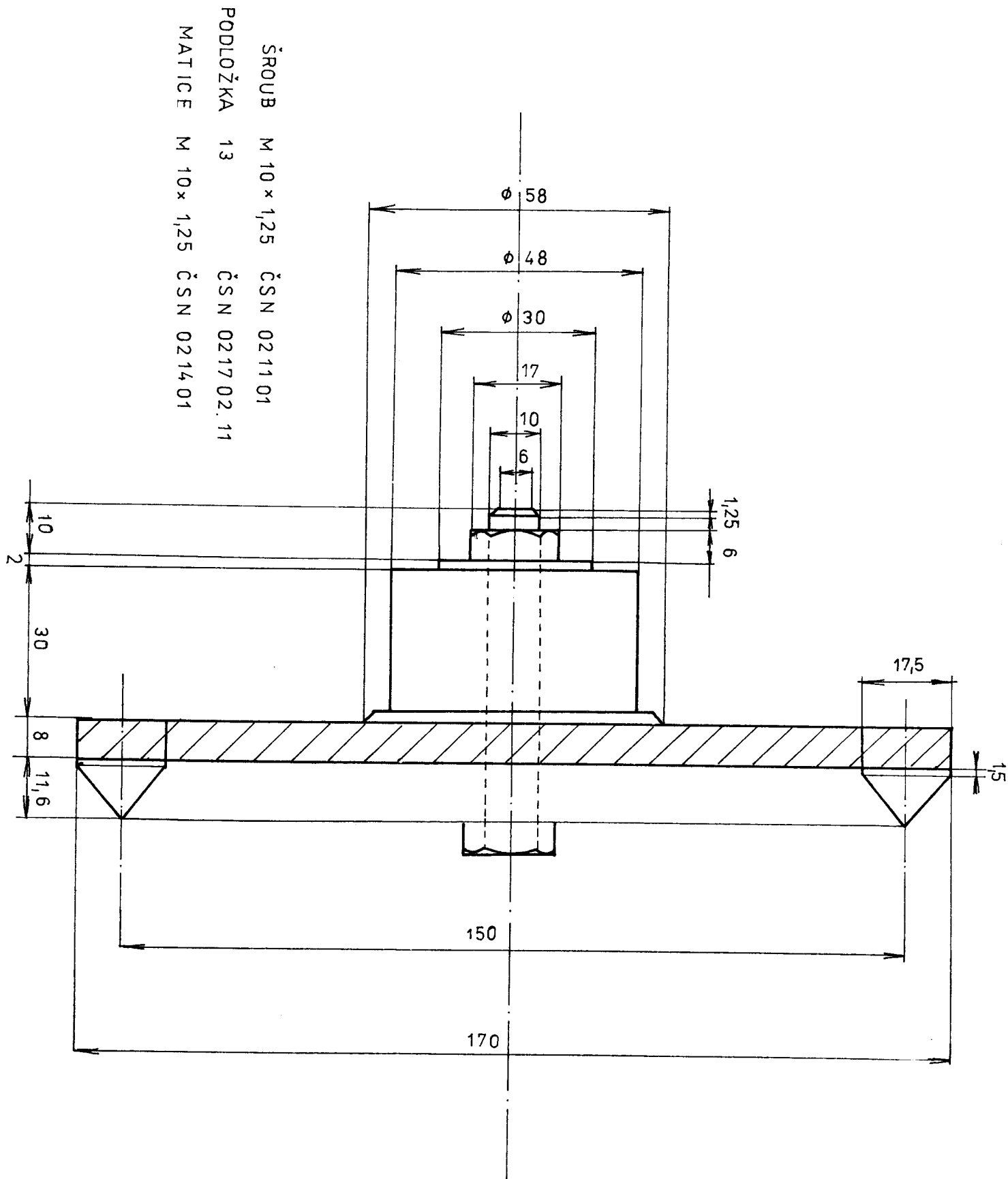
y [mm]

ZÁPIS INDUKČNÍHO SNÍMAČE ZATĚŽOVACÍ SILY V ZÁVISLOSTI NA ČASE

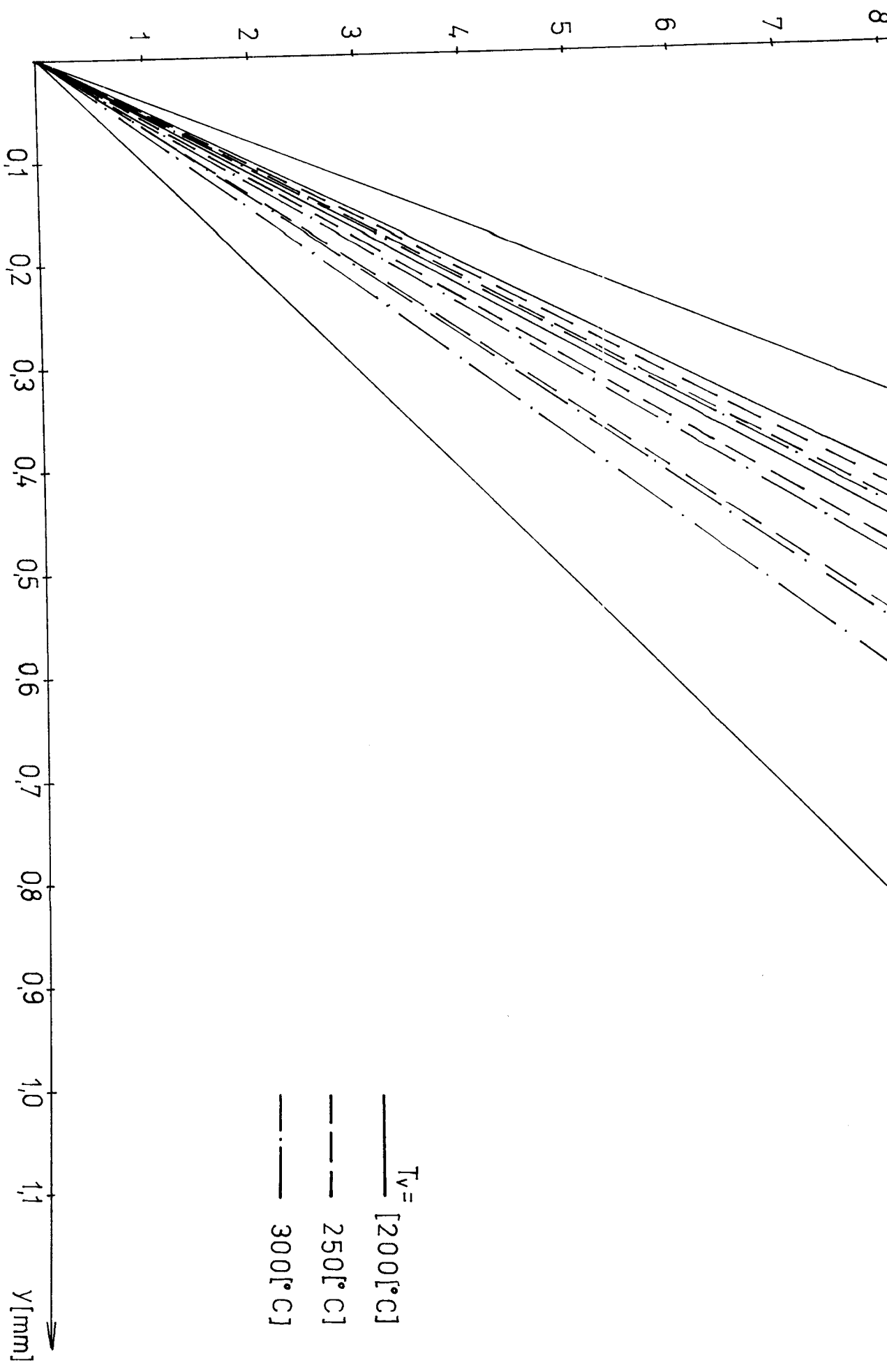


GRAFY ZÁVISLOSTI ZÁTĚŽNÉ SÍLY NA PRŮHYBU VZORKU





PŘÍLOHA 1 : Znárodnění upnutí podložky se zkušebním vzorkem
 ke standardnímu přístroji pro ohybovou zkoušku



příloha 3

F[N]

9 10 11 12

E_0 [MPa]

2000

1500

1000

500

20

100

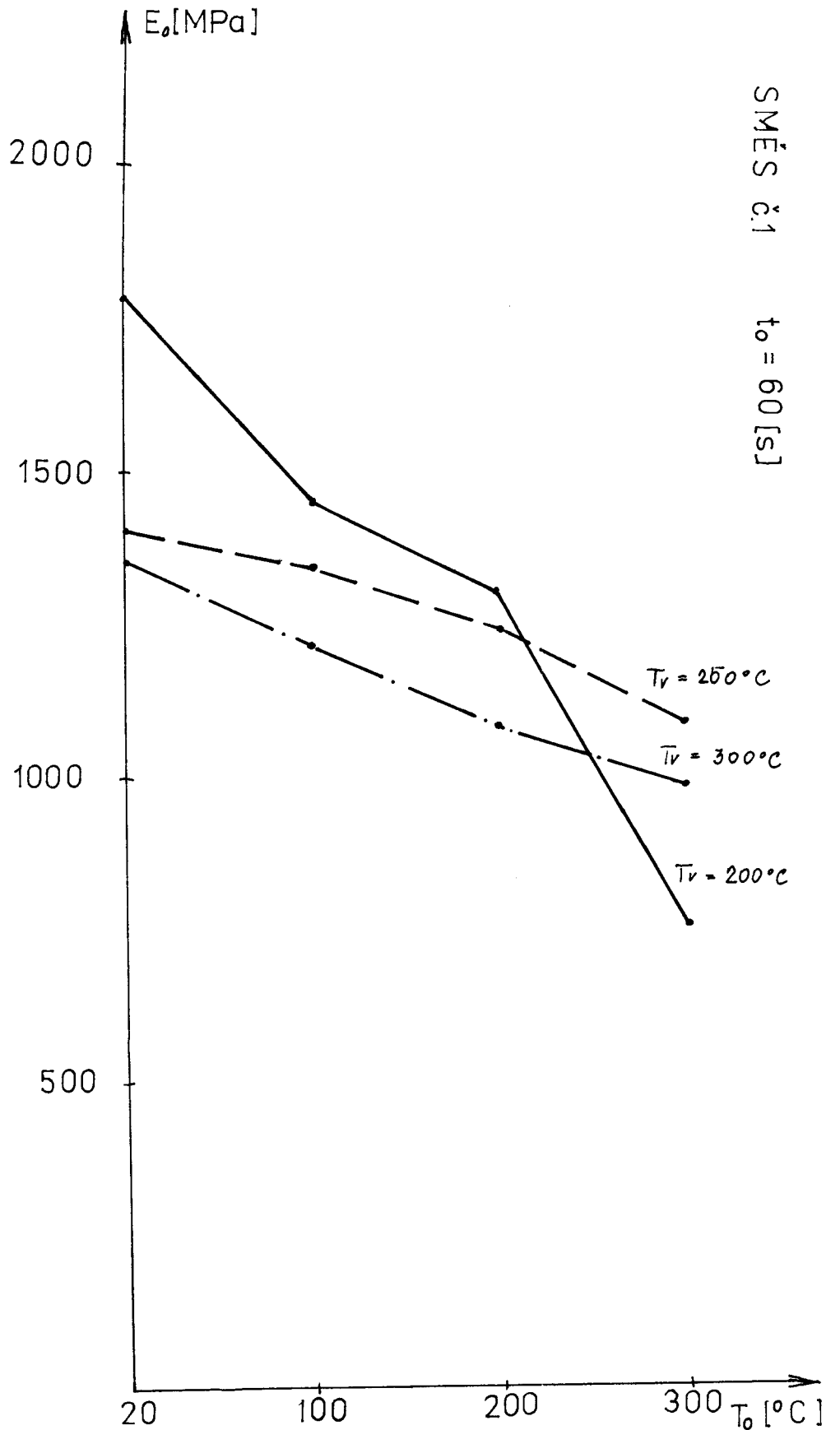
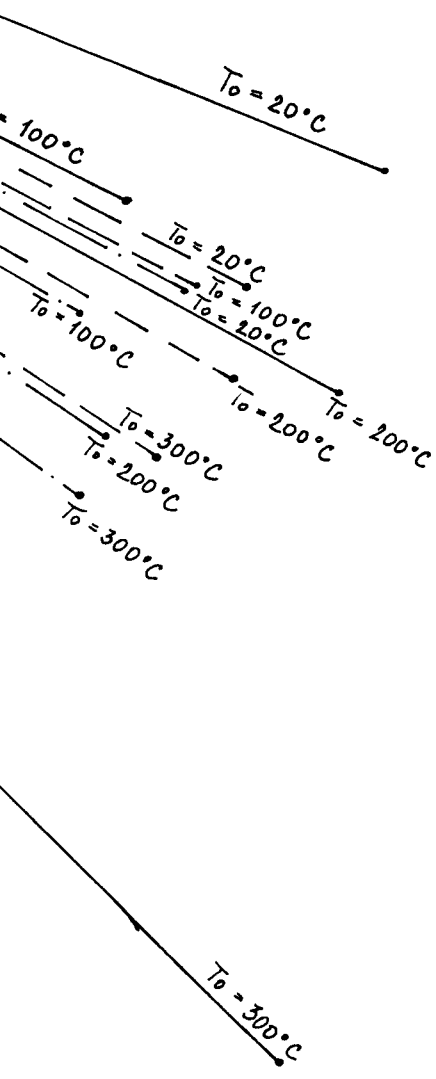
200

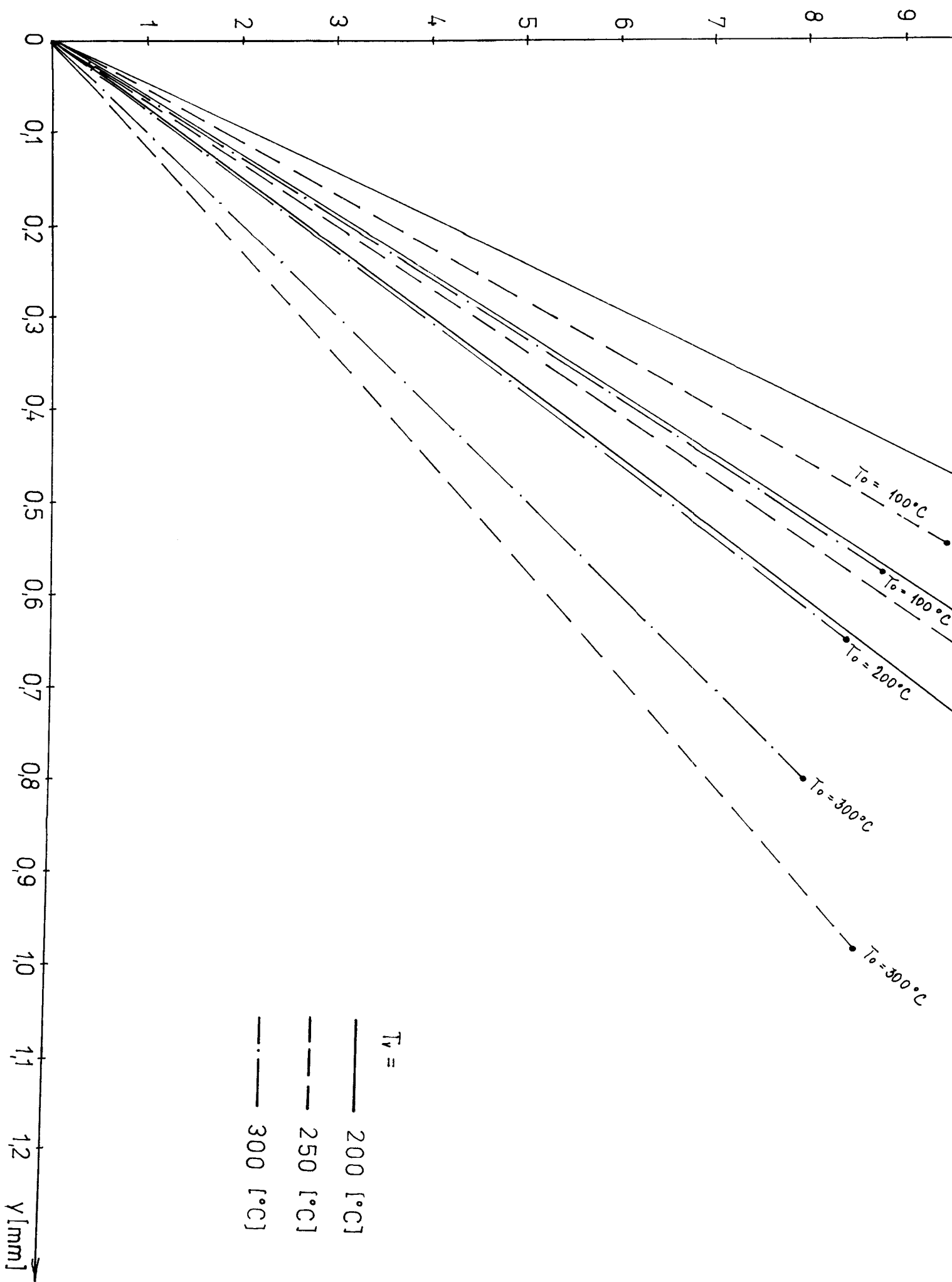
300

T_0 [°C]

SMĚS č.1

$t_0 = 60$ [s]



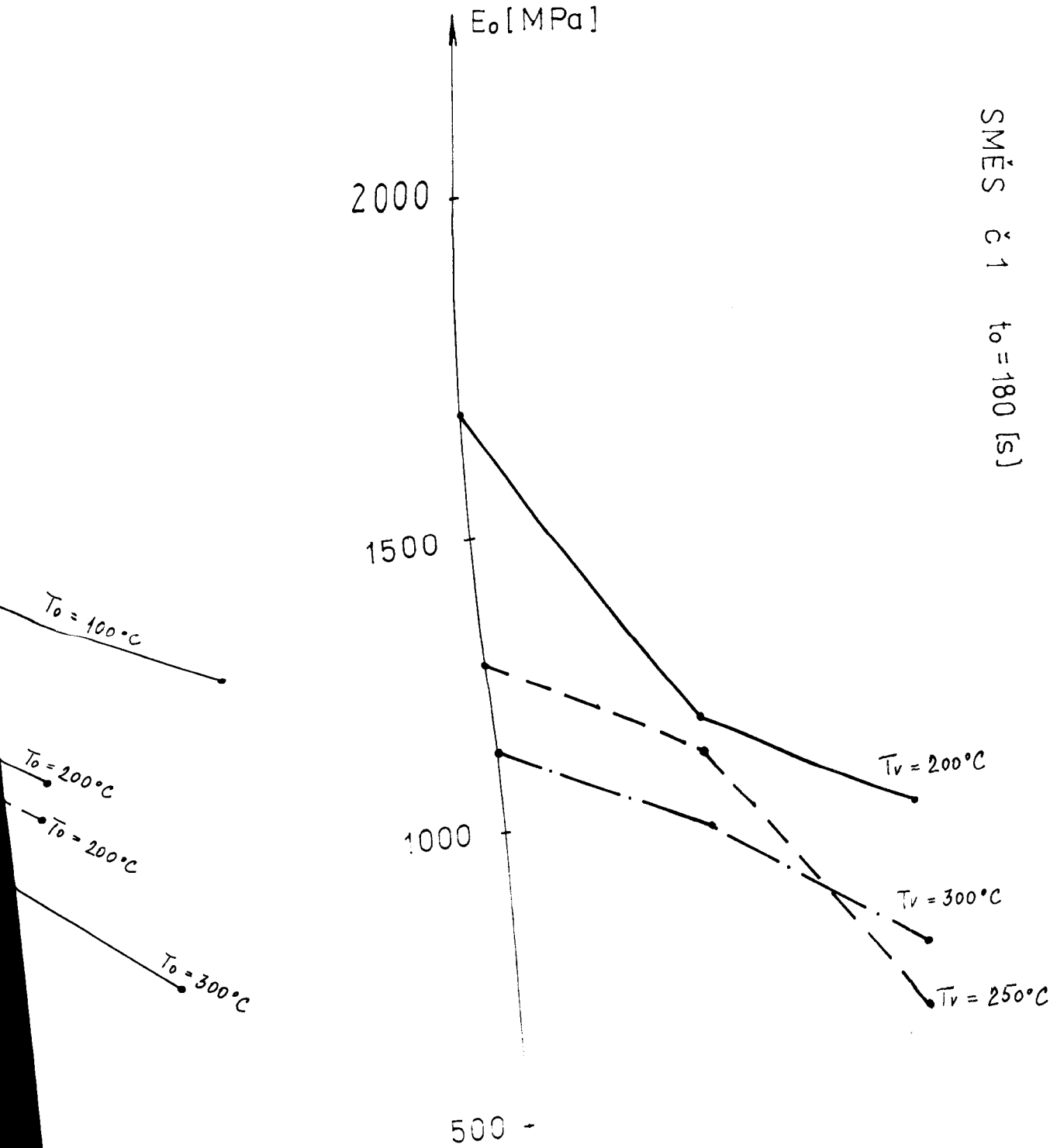


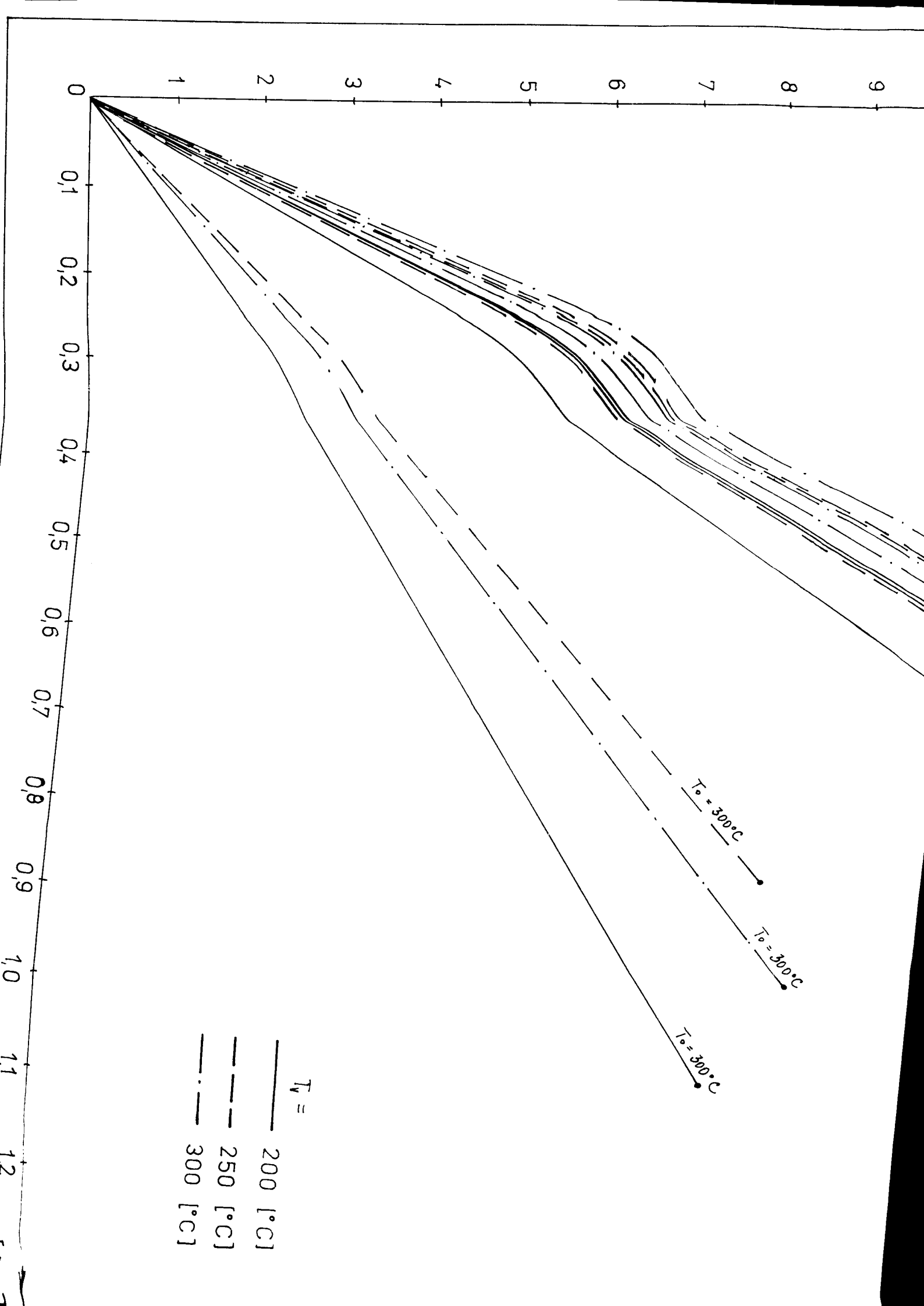
příloha 3

11
12
F [N]

E_0 [MPa]

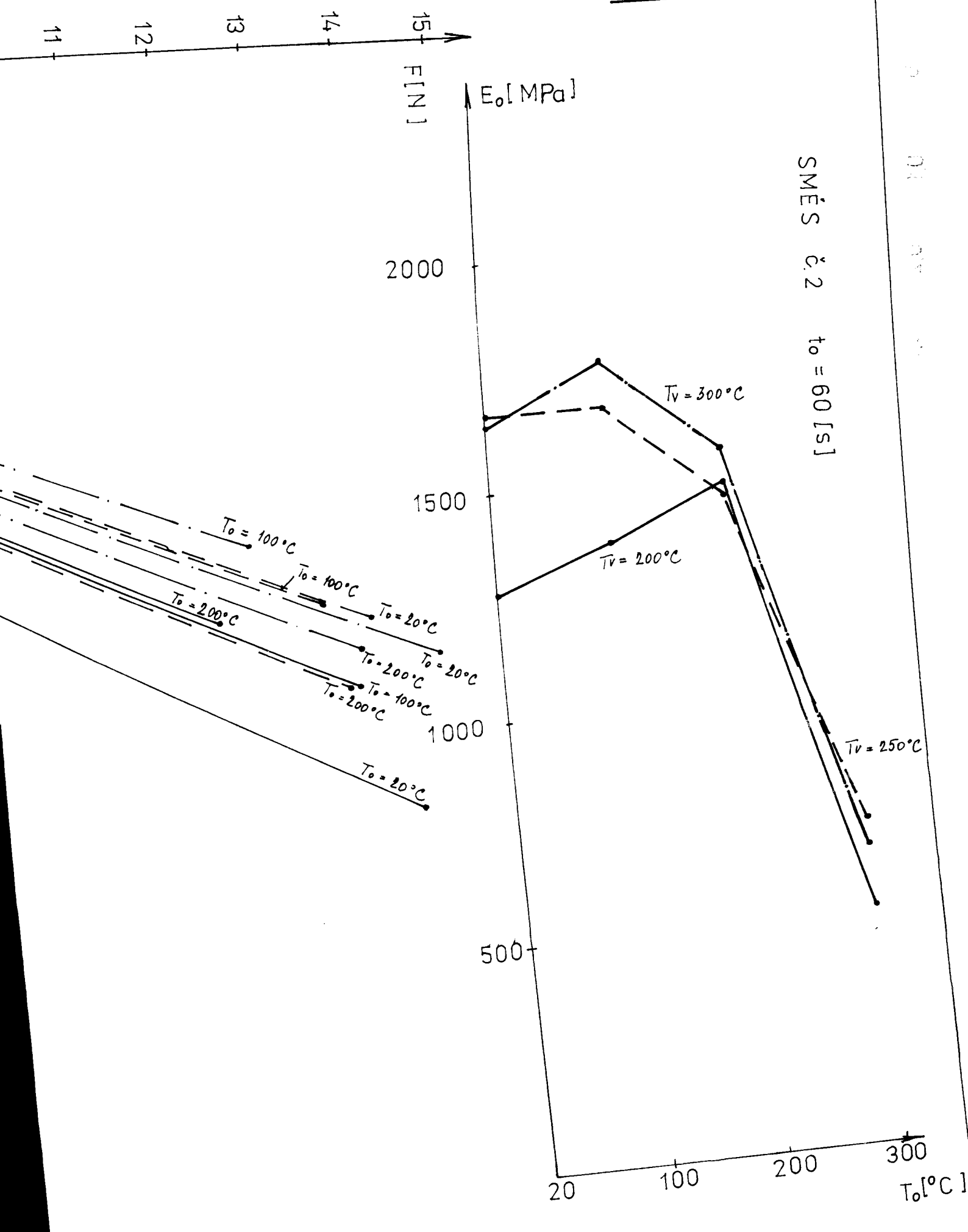
SMĚS č 1 $t_0 = 180$ [s]

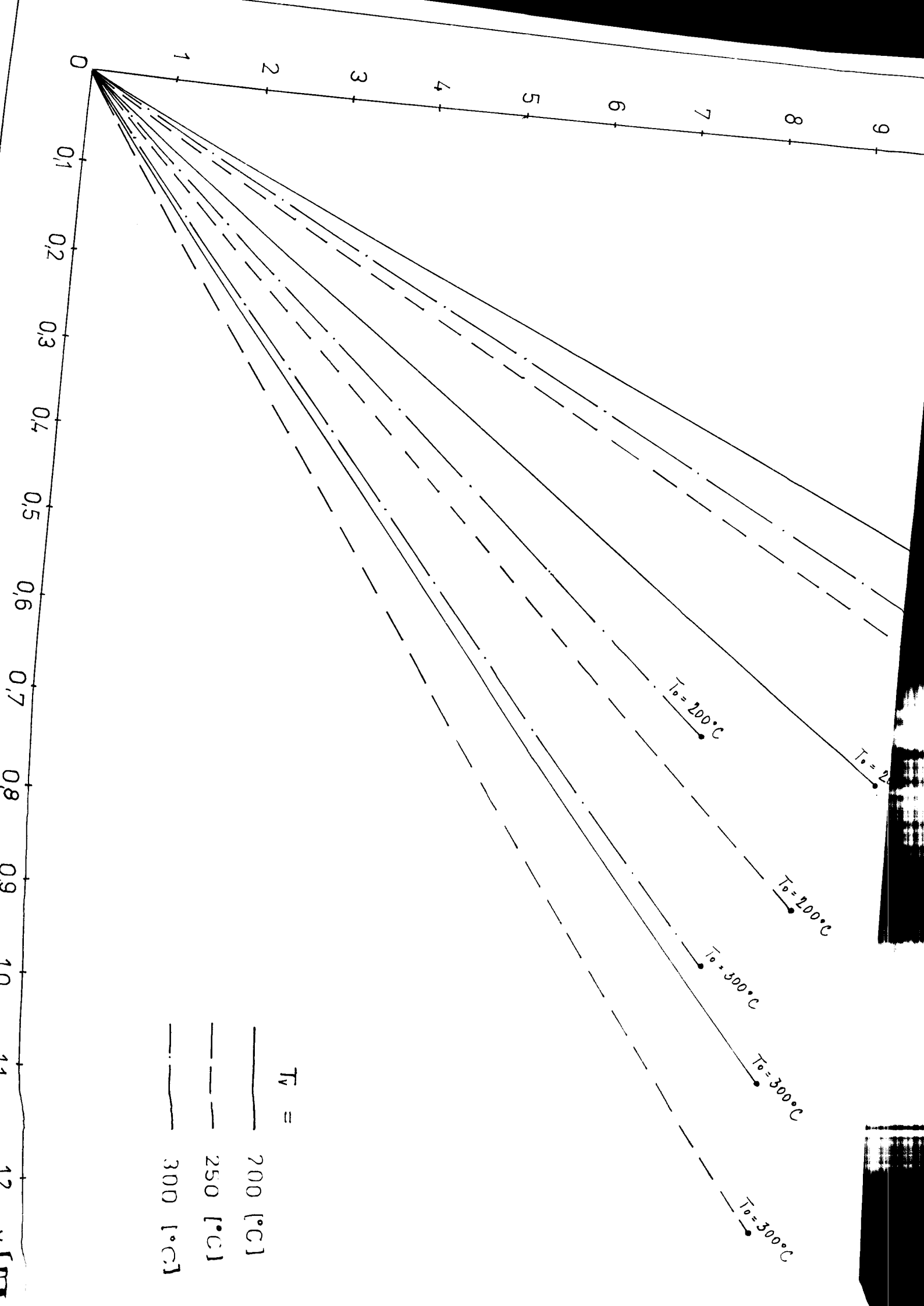




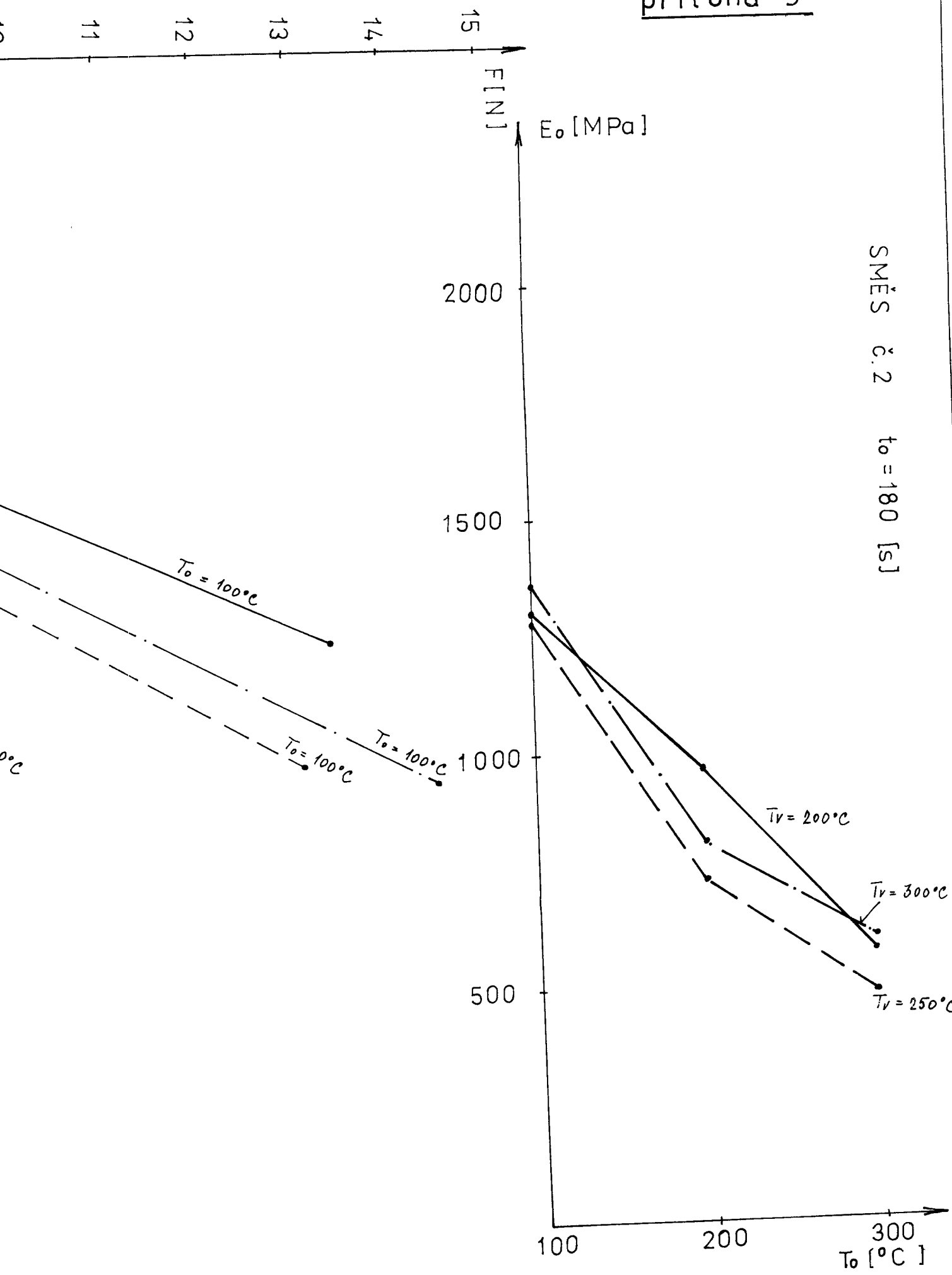
příloha 3

SMĚS č. 2 $t_0 = 60$ [s]





příloha 3



SMĚS č. 2 $t_0 = 180$ [s]