

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro

Olgu Kubřovou

odbor technologie textilu, kůže, gumy a plastických hmot

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

Název tématu: Studie sušicího procesu na válcovém sušicím stroji Totex s nucenou cirkulací vzduchu.

Pokyny pro vypracování:

Proveďte proměření a zjistěte základní sušicí parametry dvoukolonového vertikálního válcového sušicího stroje Totex 4520.2, zejména povrchové teploty bubnů, průběh teplot sušených tkanin a parametry sušicího vzduchu. Stroj je v provozu n.p. Velveta Varnsdorf, závod 06/2 - Dolní Podluží.

Proveďte rozbor naměřených hodnot a odvoďte ze získaných údajů hlavní podmínky sušicího procesu, zejména součinitele přestupu tepla, pravděpodobný průběh sušicí křivky a průběh sycení sušicího vzduchu.

Zhodnoťte vliv optimální a nucené recirkulace vzduchu na účinnost daného typu sušicího zařízení.

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

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

V 61/1970 T

Rozsah grafických laboratorních prací:

Rozsah průvodní zprávy:

Seznam odborné literatury: Konstrukční podklady a prospektový materiál válcového sušicího stroje Totex 4520.2.

Zprávy o měření teplot tkanin na strojích pro tepelné zpracování, prováděných VŠST Liberec, katedrou přádelnictví a zušlechťování.

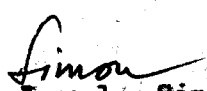
Studie a výpočet bubnového apretačního stroje na koberec procn.p. Bytex, Brno, vypracované katedrou přádelnictví a zušlechťování, VŠST v Liberci.


Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Kvapil

Konsultanti: Ing. Miroslav Kvapil

Datum zahájení diplomové práce: 20.10.1969

Datum odevzdání diplomové práce: 30.6.1970


Prof. Ing. Jaroslav Simon
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Jaroslav Simon
Děkan



v Liberci

dne

17.10.

1969

VŠST LIBEREC

Fakulta textilní
KPZ

Studie sušicího procesu
na válcovém sušicím stroji Totex
s nucenou cirkulací vzduchu.

Strana 1

Olga Kubrová

DIPLOMOVÁ PRÁCE

1970

Olga Kubrová

O b s a h .

Úvod	5
Teoretická část	4
Dvoukolonový vertikální válcový sušicí stroj Totex typ 4520.2	6
Technické parametry sušicího stroje	8
Schema válcové dvoukolonové sušárny Totex ..	9
Měření průběhu teplot tkaniny	11
Určování povrchové teploty bubny	12
Měření vlhkosti tkaniny	13
Měření parametrů vstupního a výstupního vzduchu	14
Výpočet průměrného součinitele přestupu tepla tkaniny a sušicího vzduchu	16
Výpočet součinitele přestupu tepla pro jednotlivé bubny sušárny	24
Průběh ohřevu a sycení sušicího vzduchu	32
Závěr	36
Seznam použité literatury	37
Seznam příloh	37
Děkovný list	38
Čestné prohlášení	39

Ú V O D .

Ve většině našich textilních závodů se používá k sušení mezi jednotlivými operacemi nebo před uskladněním upravených tkanin sušicí válcový stroj Totex 4520.2, vyrobený n.p. TOTEX, Chrastava.

Stroj je jedním z vývojové řady a je tedy neustále zdokonalován. Pro docílení lepšího sušicího efektu je nutno znát technologický proces sušení probíhající na stroji. V literatuře však nejsou pro více-válcové sušicí stroje uvedeny potřebné podklady pro výpočty a zhodnocení jejich účinnosti, zvláště součinitele přestupu tepla, průběh sušicí křivky a sycení vzduchu.

Dostala jsem tedy za úkol v diplomové práci provést studii tohoto stroje se zaměřením na technologický proces sušení a vypracovat alespoň z části teoretické podklady se širším uplatněním pro výpočty více-válcových sušicích strojů.

Teoretická část.

Při zkoumání sušicího procesu na sušicích strojích a výpočtech sušicího efektu nás zajímá zvláště součinitel přestupu tepla ze sušicího media nebo bubnu do sušeného materiálu.

V literatuře není tento problém ještě dostatečně prozkoumán a je proto nutno se touto otázkou zabývat.

Při vlastním výpočtu koeficientu přestupu tepla vycházíme z celkové bilance sušicího stroje, to znamená, že teplo předané bubnem se musí rovnat teplu spotřebovanému k ohřátí vstupující tkaniny, v ní obsažené vlhkosti, její odpaření, ohřev a sycení vzduchu.

U jednoduchých jednobubnových sušicích strojů s bubnem umístěným samostatně v zakrytovaném prostoru se dají lehce určit základní parametry jak sušeného materiálu, tak i sušicího media /vzduch/. Výpočet v tomto případě je daleko jednodušší než u víceválcového stroje.

Součinitel přestupu tepla určený experimentálně pro jednobubnový sušicí stroj je řádově v desítkách kcal/m² h °C. /Viz technická zpráva VŠST Liberec/

U víceválcového stroje je nutno pro určení průměrného součinitele přestupu tepla zavést určité zjednodušující podmínky.

Uvažujeme, že sušení probíhá naprosto beze ztrát, sálání volných ploch bubnů včetně čel se využívá k ohřevu vzduchu a tím zvýšení jeho sytící schopnosti.

Dále předpokládáme, že veškerý vzduch vstupující do sušárny se nasytí na konečnou vlhkost a je odveden ze sušárny, to znamená, že vzduch neuniká a množství vzduchu naměřené ve výdechu ventilátoru odpovídá celkovému množství, které prošlo sušárnou.

Předpokládáme, že vzduch se ohřívá na konečnou teplo-

tu pouze od volných nezakrytých ploch válců se zanedbáním ohřevu v bočnicích stroje.

Dvoukolonový vertikální válcový sušicí stroj Totex 4520.2.

Proměřovaný stroj je proveden jako dvoukolonový. Každá kolona je tvořena deseti válci. Válce jsou svařované elektrodou v ochranné atmosféře, plášť válců je z nerez oceli. Pro úsporu rozměrů sušárny byla čela válců vyrobena se dny vyklenutými dovnitř válců.

Uložení válců je v naklápěcích valivých ložiscích. Vytápění je provedeno sytou parou 3 atp. Proti poškození válců vnitřním přetlakem je vždy pro pět válců společný pojistňovací ventil. Proti poškození podtlakem je na každém válci instalován automatický podtlakový ventil.

Sušená tkanina je ke stroji dopravována ve formě velkonábalu, který obsahuje několik sešitých kusů podle tloušťky zboží.

Soustavou válečků, jejichž uspořádání umožňuje vedení tkaniny v co nejkratší vzdálenosti a tím maximální využití opásání válců, je tkanina vedena celou sušárnou. Tkanina je po povrchu válců vedena buď v jednom nebo více pruzích, podle šíře sušeného zboží, jednostranně pro vlasové tkaniny a jiné druhy tkanin, u kterých by se porušil vzhled lícové strany. U ostatních druhů je vedení oboustranné.

Tah ve tkanině je regulován jak centrálně tak i individuálně, což je umožněno speciální konstrukcí pohonu. Náhon válců je proveden pomocí třecích pneumaticky ovládaných spojek, u nichž lze plynule měnit přenášený kroutcí moment. Možnost individuální regulace umožňuje dosáhnout požadovaného vysrážení zboží.

Speciální konstrukce kompenzátoru mezi kolonami zaručuje, že nemůže nastat nežádoucí tah ve zboží, způsobený vlastní vahou kompenzačního válečku.

Významným doplňkem stroje je boční ofukování tkaniny, které zvyšuje sušicí efekt.

Rozvod sušicího prostředí je proveden tak, že z okolí sušárny je ventilátory nasáván vzduch do bočních skříní. Boční stěny rozvodných skříní, které procházejí těsně v blízkosti rovin obou čel válců sušárny, jsou opatřeny štěrbinovými výústěmi / o šíři $b = 12$ mm /, schematicky jsou vyznačeny na přiloženém schématu stroje. Vzduch z těchto štěrbin vystupuje podél pláště válců současně z obou stran, čímž se rozráží vrstva nasyceného vlhkého vzduchu.

Horní část stroje je zakrytována s nuceným odsáváním pro odvádění nasyceného vzduchu. Vnitřní kryty chrání tkaninu před znečištěním.

Technické parametry sušicího stroje.

Rychlost stroje: Je plynule regulovatelná v rozsahu
8 - 80 m/min. podle druhu sušené tkani-
ny. V případě zařazení stroje do linky
lze zvýšit rychlost až na 100 m/min.

Tlak v bubnu: Podle údajů výrobce 3 atp. V provozu se
však tohoto tlaku nedosahuje.

Délka stroje : 3 900 mm

Délka jedné kolony : 1 500 mm

Prostor mezi kolonami : 900 mm

Výška stroje včetně odsávání : 5 500 mm

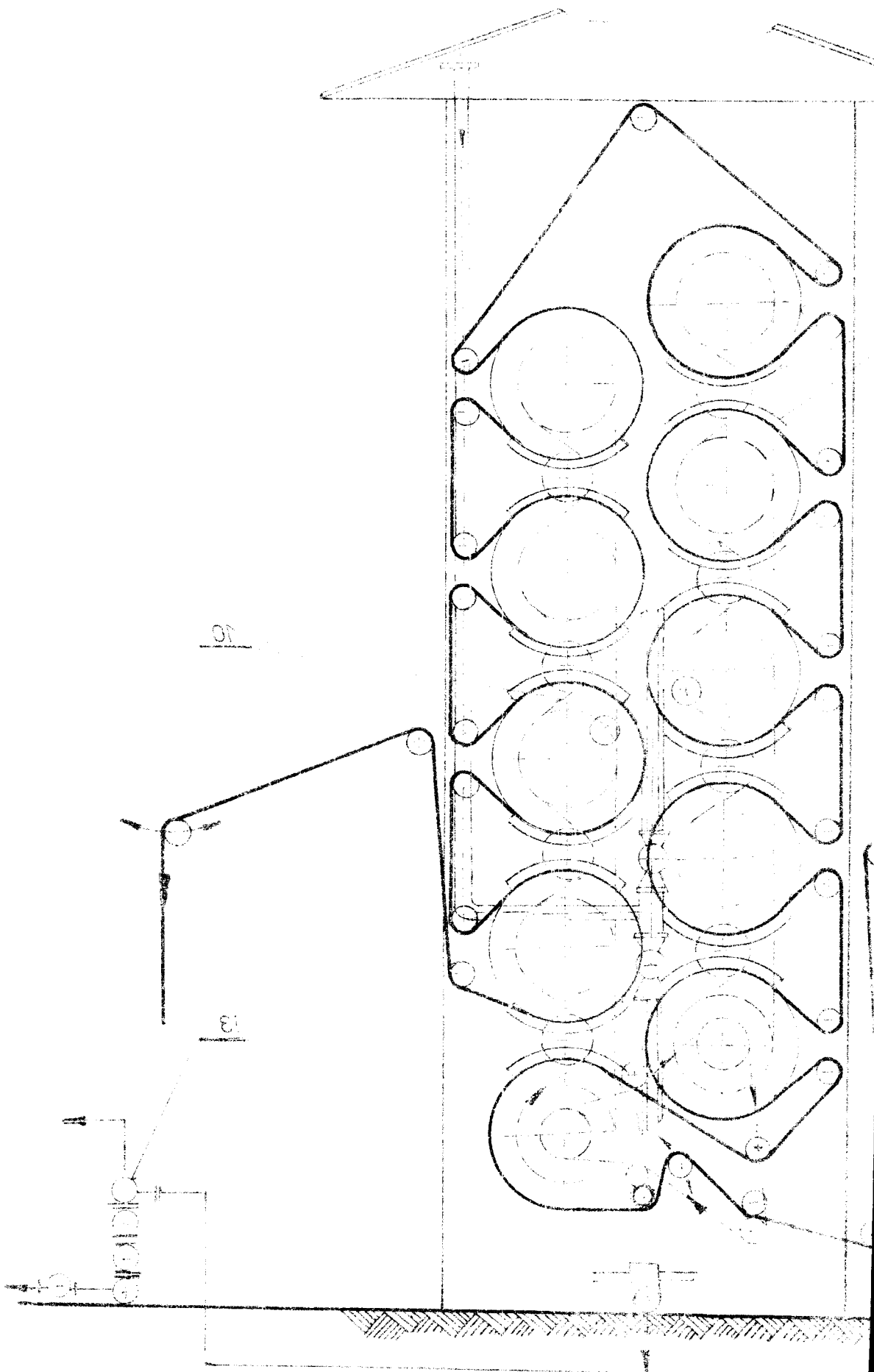
Šířka stroje : 2 200 mm

Průměr bubnu : 570 mm

Délka bubnu : 2 200 mm

Schema válcové dvoukolonové bubnové sušárny
n.p. TOTEX typ 4520.2 /popis/.

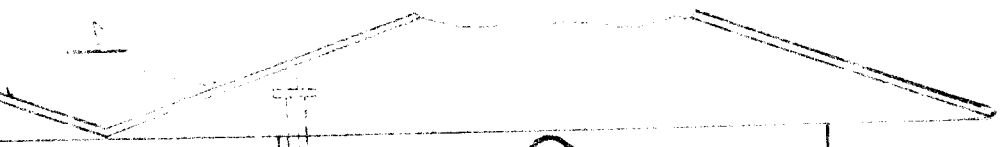
- 1 kryt pro odsávání vlhkého vzduchu ze sušárny
- 2 válec sušárny
- 3 štěrby pro ofukování válců vzduchem
- 4 rozvod páry
- 5 parní ventily
- 6 odvaděč kondensátu
- 7 kondenzační potrubí
- 8 přívod páry do válců
- 9 odvod kondensátu z válců
- 10 společný náhon válců teflonovým řemenem
- 11 kompensátor
- 12 ovládací panel
- 13 chladič kondensátu



10

13





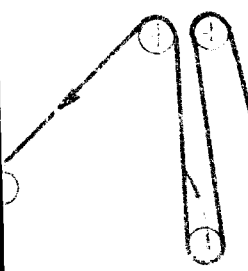
5

3

4

2

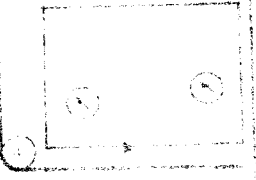
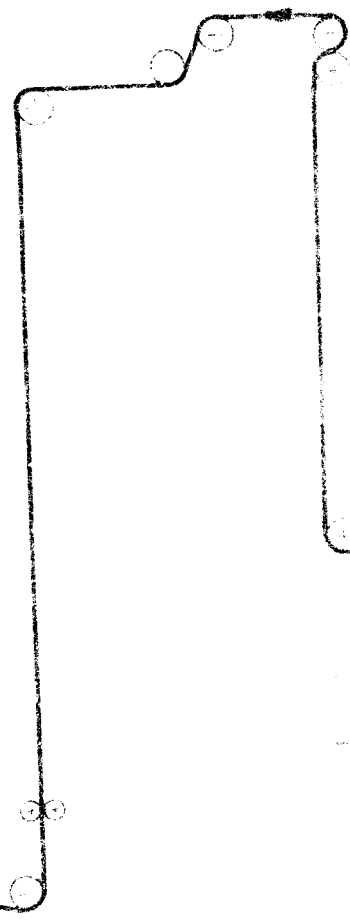
1



7

6

4



5



Měření průběhu teplot tkaniny.

Měření teploty na jednotlivých bubnech bylo prováděno čidlem - termočlánkem, který procházel sušicím strojem spolu s tkaninou.

Při měření teploty termočlánkem se využívá poznatku, že v uzavřeném okruhu vytvořeném dvěma různými kovy, vzniká mezi spoji, které mají různou teplotu, termoelektrické napětí.

V mezích technického měření lze předpokládat, že velikost vznikajícího termoelektrického napětí je přímo úměrná rozdílu teplot mezi místem měřeným a srovnávacím.

K výrobě termočlánků se používá s výhodou těchto kovů : mědi, železa, niklu, konstantanu a jejich vzájemných kombinací.

Námi použité měřidlo bylo zhotoveno jako dvoulinka Cu-Ko, z drátků o průměru 0,4 mm vlepených mezi dvě skleněné stupy o šířce 30 mm, jež sloužily jako izolace proti nežádoucím vlivům teploty.

Délka měřidla je 189,5 m, vnitřní odpor 740 Ω .

Měřidlo bylo připojeno na kompenzační měřicí přístroj zaznamenávající nám průběhové křivky teplot. Pro rozsah přístroje 2 mV byl před něj připojen dělicí odpor 300 Ω .

Hodnoty teplot na jednotlivých bubnech byly z křivky průběhu teplot odečítány pomocí cejchovní křivky termočlánku, která byla určena experimentálně v laboratoři.

Teplý konec měřidla byl přišit uprostřed tkaniny. Pro křivku grafu č. 1 bylo měřidlo přišito na líci tkaniny. Křivka nám tedy určuje průběhy teplot tkaniny na bubnech, proto jí bylo použito k dalším výpočtům.

U grafu č. 2 byl konec měřidla přišit na rubu tkaniny, to znamená, že se čidlo dotýkalo přímo bubně.

S vlastním měřením bylo započato až po smočení a odmačknutí přiváděné tkaniny před vlastním vstupem do sušicího stroje, aby nebylo měření ovlivněno dlouhou drahou vstupní pasáže. Smočení a odmačk se provádí pro docílení rovnoměrného rozložení vlhkosti v celé šíři tkaniny a tím i stejnoměrnějšího sušení.

Konstantní teplota studeného srovnávacího konce - spoje termočlánku zaručovalo jeho ponoření do termosky s tajejícím ledem. Bylo tak dosaženo stabilní konstantní teploty 0°C.

Určování povrchové teploty bubnů.

Povrchová teplota každého bubnu v koloně byla zjišťována termočlánkem Fe-Ko.

Teplý konec termočlánku byl upraven pro plošný styk s pláštěm bubnu přiletováním malé tenké měděné destičky, která nám zaručovala dobrou vodivost tepla a povrchu bubnu. Destička byla svrchu překryta proužkem plsti, pomocí kterého jsme ji přitlačovali rukou k povrchu bubnu.

Teploty bubnu jsme odčítali přímo u stroje na měřícím přístroji / mV metru /, který byl ocejchován přímo ve stupních Celsia.

Měření vlhkosti tkaniny.

Měření vlhkosti jsem prováděla váhovou metdou a to tak, že jsem odebírala vzorky před vstupem tkaniny do sušárny a po usušení za sušicím strojem na vozíku.

Odebrané vzorky jsem uložila každý zvlášť do igelitového sáčku, aby si zachovaly svou hodnotu vlhkosti až do zvážení v laboratoři.

Vzorky jsem sušila v laboratorní sušárně až do úplného vysušení, to znamená, že již nebyl zjištěn rozdíl v hodnotách dvou po sobě následujících váženích.

Z rozdílu vah vlhkého a vysušeného materiálu jsem určila vlhkost obsaženou v tkanině.

w_0 vstupní vlhkost

w_n výstupní vlhkost

$$w = \frac{G_{tk\ v} - G_s}{G_s} \cdot 100$$

w_0 96,5 %

w_n 4,7 %

Měření parametrů vstupního a výstupního vzduchu.

Vstupní vzduch :

Teplota byla měřena rtuťovým teploměrem na několika místech sušárny.

Teplota vstupního vzduchu : 20°C.

K zjištění vlhkosti vzduchu bylo použito Assmanova aspiračního psychrometru. Z rozdílu naměřených teplot suchého a vlhkého teploměru byla určena vlhkost vzduchu podle diagramu.

Měření bylo prováděno na několika místech v prostoru sušárny i mimo ni v provozovně.

Hodnoty viz tabulka :

místo měření	vlhký teploměr [°C]	suchý teploměr [°C]	poměrná vlhkost φ [%]
mezi strojem	19,2	23,5	65
před strojem	19,5	24	65
mimo stroj	19	23,3	65
u podlahy	20,5	23,5	75
mimo stroj 2m	19,4	24,6	60

Průměrná vlhkost vstupního vzduchu

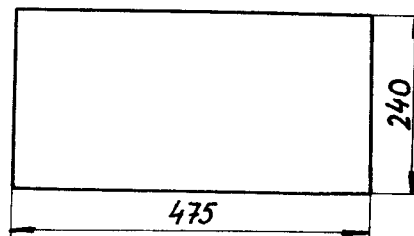
$\varphi = 66 \%$

Výstupní vzduch :

Výstupní parametry byly zjišťovány stejnými měřicími přístroji jako u vstupního vzduchu.

Měření bylo prováděno ve výdechu odstředivého středotlakového ventilátoru, který je umístěn na střeše provozovny.

Údaje o ventilátoru : Typ SVT 630
Norma : oběžné kolo
Poloha : 4
 ϕ oběžného kola : 600 mm

Tvar výdechu :Základní parametry :

Teplota výstupního vzduchu : 55°C
Vlhkost výstupního vzduchu : 47 %
Rychlost výstupního vzduchu : 19 m/sec

Rychlost výstupního vzduchu byla měřena miskovým aerometrem a odčítána přímo na stupnici přístroje.

Výpočet průměrného součinitele přestupu tepla tkaniny
a sušicího vzduchu.

Použité značky :

g	.... váha běžného metru tkaniny	.... g/m
g_m	.... váha čtverečního metru tkaniny	.... g/m ²
δ	.... šíře tkaniny	.... m
w_o	.... vstupní vlhkost tkaniny %
w_n	.... výstupní vlhkost tkaniny %
c_{tk}	.... specifické teplo tkaniny	.... kcal/kg °C
c_v	.... specifické teplo vody	.... kcal/kg °C
t_o	.... vstupní teplota tkaniny	.... °C
t_n	.... výstupní teplota tkaniny	.... °C
v	.... rychlost stroje	.... m/min
L_b	.... délka bubnu	.... m
D	.... průměr bubnu	.... m
t_{b1}	.... teplota bubnů I. kolony	.... °C
t_{b2}	.... teplota bubnů II. kolony	.... °C
G_{tk}	.... váha tkaniny	.... kg/hod
G_{v1}	.... váha obsažené vlhkosti	.... kg/hod
G_{v2}	.... váha výstupní vlhkosti	.... kg/hod
L_{vz}	.... množství vzduchu	.... kg/hod
Q_{tk}	.... ohřátí tkaniny	.... kcal/hod
Q_v	.... ohřátí vlhkosti	.... kcal/hod
Q_{vz}	.... ohřátí vzduchu	.... kcal/hod
t_1	.... teplota vstupního vzduchu	.... °C

t_2	.... maximální teplota vzduchu	.... °C
t_3	.... teplota výstupního vzduchu	.... °C
v_3	.... výstupní rychlost vzduchu	.... m/hod
F_3	.... plocha výdechu	.... m ²
i_1	.... tepelný obsah přiváděného vzduchu	.... kcal/kg
i_2	.... tepelný obsah vzduchu o teplotě t_2	.... kcal/kg
i_3	.... tepelný obsah výstupního vzduchu	.... kcal/kg
φ_1	.... relativní vlhkost vstupního vzduchu %
φ_3	.... relativní vlhkost výstupního vzduchu %
t_{s1}	.... střední teplota vzduchu	.... °C
t_{s2}	.... střední teplota tkaniny	.... °C
t_{bM}	.... maximální teplota bubny	.... °C
F_c	.... celková plocha bubny	.... m ²
F_1	.... celková plocha pro ohřev vzduchu	.... m ²
F_2	.... celková účinná plocha pro ohřev tkaniny	.... m ²
α_{v2}	.... součinitel přestupu tepla pro vzduch	.... kcal/m ² h °C
α	.... průměrný součinitel přestupu tepla pro tkaninu	.... kcal/m ² h °C

Hodnoty pro celkový výpočet :

$$g = 280 \text{ g/m} = 0,28 \text{ kg/m}$$

$$g_m = 400 \text{ g/m}^2 = 0,4 \text{ kg/m}^2$$

$$\delta = 700 \text{ mm} = 0,7 \text{ m}$$

$$w_o = 96,5 \%$$

$$w_n = 4,7 \%$$

$$c_{tk} = 0,32 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$c_v = 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$t_o = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_n = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$v = 11,3 \text{ m/min} = 678 \text{ m/hod}$$

$$L_b = 2\,200 \text{ mm} = 2,2 \text{ m}$$

$$D = 570 \text{ mm} = 0,57 \text{ m}$$

$$t_{b1} = 95,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{b2} = 99,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$v_3 = 19 \text{ m/sec} = 68\,400 \text{ m/hod}$$

$$F_3 = 0,114 \text{ m}^2$$

$$i_1 = 10,4 \text{ kcal/kg}$$

$$i_3 = 44,8 \text{ kcal/kg}$$

Pro výpočet průměrného součinitele přestupu tepla tkaniny a sušicího vzduchu si sušárnu nahradíme jedním velkým válcem, jehož plocha odpovídá ploše všech bubnů sušárny včetně čel.

$$F_c = 20 \left(D \cdot L_b + 2 \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$F_c = 20 \left(0,57 \cdot 2,2 + \frac{\pi \cdot 0,57^2}{2} \right) = 89,4 \text{ m}$$

Při vlastním výpočtu vycházíme z celkové tepelné bilance sušárny. Teplo předané bubny se musí rovnat teplu potřebnému k ohřevu tkaniny, v ní obsažené vlhkosti, odpaření přebytečné vody a ohřevu vzduchu. Toto teplo zjistíme z rozdílu tepelného obsahu látky vstupující a vystupující.

Hodinová množství :

$$G_{tk} = g_m \cdot v \cdot 2\dot{s} \quad (\text{sušeny dvě tkaniny})$$

$$G_{tk} = 0,4 \cdot 678 \cdot 1,4 = 379 \text{ kg/hod}$$

$$G_{v1} = G_{tk} \cdot w_0$$

$$G_{v1} = 379 \cdot 0,965 = 366 \text{ kg/hod}$$

$$G_{v2} = G_{tk} \cdot w_n$$

$$G_{v2} = 379 \cdot 0,047 = 17,6 \text{ kg/hod}$$

$$L_{vz} = F_3 \cdot v_3 \cdot \mu$$

$$L_{vz} = 0,114 \cdot 68\,400 \cdot 1,078 = 8\,400 \text{ kg/hod}$$

Tepelný obsah látky vstupující :

$$Q_{tk} = G_{tk} \cdot c_{tk} \cdot t_0$$

$$Q_{tk} = 376 \cdot 0,32 \cdot 24 = 2\,910 \text{ kcal/hod}$$

$$Q_{v1} = G_{v1} \cdot c_v \cdot t_0$$

$$Q_{v1} = 366 \cdot 1 \cdot 24 = 8\,760 \text{ kcal/hod}$$

$$Q_{vz} = L_{vz} \cdot i_1$$

$$Q_{vz} = 8\,400 \cdot 10,4 = \underline{87\,000 \text{ kcal/hod}}$$

celkem 98 670 kcal/hod

Tepelný obsah látky vystupující :

$$Q_{tk} = G_{tk} \cdot c_{tk} \cdot t_n$$

$$= 379 \cdot 0,32 \cdot 55 = 6\,650 \text{ kcal/hod}$$

$$Q_{v2} = G_{v2} \cdot c_v \cdot t_n$$

$$= 17,6 \cdot 1 \cdot 55 = 970 \text{ kcal/hod}$$

$$Q_{vz} = L_{vz} \cdot i_3$$

$$= 8\,400 \cdot 44,8 = \underline{380\,000 \text{ kcal/hod}}$$

$$387\,620 \text{ kcal/hod}$$

Teplo dodané bubny sušárny během procesu sušení :

$$\Delta Q = 387\,620 - 98\,670 = 288\,950 \text{ kcal/hod}$$

Teplo ΔQ se využije pro :

1) ohřev vzduchu :

Tohoto předpokladu využijeme k výpočtu součinitele přestupu tepla sušicího vzduchu.

Při výpočtu uvažujeme, že část vzduchu se v sušárně ohřeje na maximální teplotu 80°C . Toto množství ohřátého vzduchu se mísí se vstupním vzduchem na konečné množství o výstupních parametrech.

Hodnoty pro výpočet :

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 80^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 55^\circ\text{C}$$

$$\varphi_1 = 66\%$$

$$\varphi_3 = 47\%$$

$$i_1 = 10,4 \text{ kcal/kg}$$

$$i_2 = 27 \text{ kcal/kg}$$

$$i_3 = 44,8 \text{ kcal/kg}$$

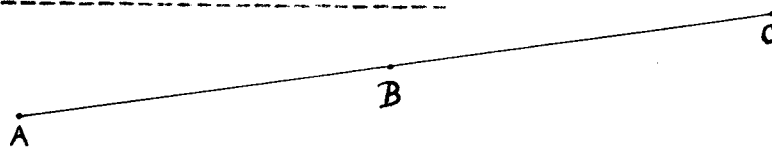
$$F_1 = F_c - F_2 \\ = 89,4 - 40,6 = 48,8 \text{ m}^2$$

$$t_{sl} = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{bM} = \frac{1}{2} (t_{b1} + t_{b2}) = 97,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Množství vzduchu, které se podle předpou ohřeje na maximální teplotu 80°C , vypočteme na základě pravidla o míšení z $i - x$ diagramu :

Schematické znázornění.



- bod A vzduch o vstupních parametrech
 bod B vzduch o výstupních parametrech
 bod C vzduch o parametrech t_3 ,

$$\frac{L_{20}}{L_{30}} = \frac{BC}{AB} = \frac{20,5}{24,8}$$

$$L_{20} = L_c - L_{30}$$

$$L_{30} = \frac{20,5 \cdot 8\,400}{20,5 + 24,8} = 3\,800 \text{ kg/hod}$$

Při výpočtu tepla potřebného k ohřevu množství vzduchu L_{30} , vycházíme z předpokladu jeho suchého ohřevu.

Množství tepla potřebné k ohřevu vzduchu :

$$Q_{vz} = L_{30} (i_2 - i_1) \\ = 3\,800 (27 - 10,4) = 63\,000 \text{ kcal/hod}$$

Součinitel přestupu tepla pro vzduch určíme z rovnosti tepla dodaného bubnem a potřebného k ohřevu vzduchu.

Množství tepla dodané bubnem :

$$Q_b = F_1 \alpha_z (t_{bM} - t_{s1})$$

Součinitel přestupu :

$$\alpha_z = \frac{Q_b}{F_1 (t_{bM} - t_{s1})} \quad Q_b = Q_{vz}$$

$$= \frac{63\,000}{48,8 (97,5 - 50)} = 27 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

Tento vypočtený součinitel přestupu tepla použijeme i pro další výpočty ohřevu vzduchu na jednotlivých bubnech při sestrojování křivky sycení a ohřevu sušicího vzduchu.

2, ohřev tkaniny :

Za předpokladu, že teplo předané bubnem během procesu sušení ΔQ , se rozdělí na teplo k ohřevu vzduchu a tkaniny, vypočteme průměrný součinitel přestupu tepla pro tkaninu.

Hodnoty pro výpočet :

$$Q = 288\,950 \text{ kcal/hod}$$

$$Q_{vz} = 63\,000 \text{ kcal/hod}$$

$$t_{bM} = 97,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Střední teplota t_{s2} tkaniny určíme planimetrováním plochy pod křivkou ohřevu tkaniny (graf č.1) .

$$t_{s2} = 71,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Celková účinná plocha k ohřevu tkaniny F_2 je rovna součtu účinných ploch jednotlivých bubnů (dílejší hodnoty jednotlivých účinných ploch viz "Tabulka vypočtených hodnot") .

$$F_2 = 40,6 \text{ m}^2$$

Množství tepla dodané bubnem :

$$Q_b = F_2 \alpha (t_{bM} - t_{s2})$$

Průměrný součinitel přestupu :

$$\alpha = \frac{Q_b}{F_2 \cdot (t_{bM} - t_{s2})} \quad Q_b = 4Q - Q_{vz}$$

$$\alpha = \frac{288\,950 - 63\,000}{40,6 \cdot (97,5 - 71,4)} = 213 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

Vypočet součinitele přestupu tepla pro jednotlivé
bubny sušárny.

Použité značky :

t_b	.... teplota bubnu	.... °C
t_o	.... vstupní teplota tkaniny na jednotlivých bubnech	.... °C
t_m	.... maximální teplota tkaniny na bubnu	.... °C
t_1	.... rozdíl vstupní a maximální teploty tkaniny	.... °C
t_s	.... střední teplota tkaniny	.... °C
t_2	.... teplota ochlazení tkaniny mezi bubny	.... °C
O_{tk}	.... opásání bubnu	.... m
F_{tk}	.... účinná plocha bubnu	.... m ²
α_u	.... součinitel přestupu tepla tkaniny	.... kcal/m ² h °C
Q_b	.... teplo předané účinnou plo- chou bubnu	.... kcal/hod
Q_{tk}	.... teplo k ohřevu tkaniny	.... kcal/hod
Q_v	.... teplo k ohřevu vlhkosti	.... kcal/hod
Q	.... teplo k odpaření vlhkosti	.... kcal/hod
r	.... výparné teplo vody	.... kcal/kg
c_v	.... specifické teplo vody	.... kcal/kg °C
w_c	.... konečná vlhkost tkaniny za bubnem %

Součinitel přestupu tepla pro jednotlivé bubny bude mít různou hodnotu, neboť je ovlivněn množstvím vlhkosti, která je obsažena ve tkanině.

Předpokládáme, že součinitel přestupu tepla klesá s ubývající vlhkostí. Vzájemná závislost těchto veličin je patrna z grafu.

Hlavní parametry :

$$c_{tk} = 0,32 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$w_0 = 96,5 \%$$

$$G_{tk} = 379 \text{ kg/hod}$$

$$G_v = 366 \text{ kg/hod}$$

$$r = 540 \text{ kcal/kg}$$

Ostatní parametry viz "Tabulka vypočtených hodnot".

Při vlastním výpočtu jsem si zvolila hodnotu součinitele přestupu tepla pro první bubnu I. kolony.

$$320 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

Z předpokladu, že teplo předané bubnem se využije k ohřátí tkaniny, v ní obsažené vlhkosti, odpaření části vody, jsem si určila úbytek vlhkosti na prvním bubnu.

Teplo dodané prvním bubnem :

$$\begin{aligned} Q_b &= F_{tk} \alpha_u (t_{b1} - t_s) \\ &= 1,68 \cdot 320 \cdot 52,4 = 28\,200 \text{ kcal/hod} \end{aligned}$$

Teplo k ohřevu tkaniny :

$$\begin{aligned} Q_{tk} &= G_{tk} \cdot c_{tk} \cdot t_1 \\ &= 379 \cdot 0,32 \cdot 37 = 4\,480 \text{ kcal/hod} \end{aligned}$$

Teplo k ohřevu vlhkosti :

$$Q_v = G_v \cdot c_v \cdot t_1$$

$$= 366 \cdot 1 \cdot 37 = 13\,550 \text{ kcal/hod}$$

Teplo k odpaření vlhkosti :

$$Q = Q_b - (Q_{tk} + Q_v)$$

$$= 28\,200 - 18\,030 = 10\,170 \text{ kcal/hod}$$

Pokles vlhkosti na prvním bubnu :

$$G_v = \frac{Q}{r}$$

$$= \frac{10\,170}{540} = 18,8 \text{ kg/hod}$$

$$w_1 = \frac{18,8}{3,79} = 4,95 \%$$

Ochlazením tkaniny ve vzdušné pasáži za sušicím bubnem se uvolní teplo z tkaniny, které se využije k dalšímu odpaření vlhkosti.

$$-Q_{tk} = G_{tk} \cdot c_{tk} \cdot t_2$$

$$= 379 \cdot 0,32 \cdot 2 = 242 \text{ kcal/hod}$$

$$-Q_v = G_{tk} (w_c - w) \cdot c_v \cdot t_2$$

$$= 379 (96,5 - 4,95) \cdot 1 \cdot 2 = 695 \text{ kcal/hod}$$

Celkové uvolněné teplo :

$$-Q = 937 \text{ kcal/hod}$$

Pokles vlhkosti ochlazením :

$$-w_1 = \frac{-Q}{r} \frac{1}{3,79}$$

$$= \frac{937}{540 \cdot 3,79} = 0,55 \%$$

Konečná vlhkost za prvním bubnem :

$$w_c = w_0 - \Delta w_c \quad \Delta w_c = w_1 + (-w_1)$$

$$= 96,5 - 5,5 = 91 \%$$

Stejný postup výpočtu jsem opakovala pro každý buben sušárny. Výsledné hodnoty viz "Tabulka vypočtených hodnot".

Zároveň s výpočty pro jednotlivé bubny jsem sestavovala graf průběhu součinitele přestupu tepla a konečné vlhkosti.

Provedla jsem několik výpočtů pro celou sušárnu, až se hodnota průměrného součinitele přestupu tepla určená ze součtu součinitelů pro jednotlivé bubny rovnala hodnotě určené početně pro celou sušárnu.

Součinitel přestupu tepla pro první tři bubny jsem uvažovala stejný, neboť tkanina zde má ještě značnou vlhkost, k jejímuž odpaření a ohřevu musí bubny předat značné množství tepla.

Součinitel přestupu tepla dále klesá a na posledních bubnech sušárny II. kolony má téměř stejnou hodnotu, grafické znázornění se zde blíží přímce. Tento průběh lze odůvodnit tím, že na posledních čtyřech bubnech už dochází pouze k ohřevu tkaniny, jak je vidět z průběhu teplot tkaniny na grafu č.l. Mezi bubny už nedochází vlivem odpařování vlhkosti k ochlazení tkaniny, je tedy sušení už téměř ukončeno.

Tabulka vypočtených hodnot.

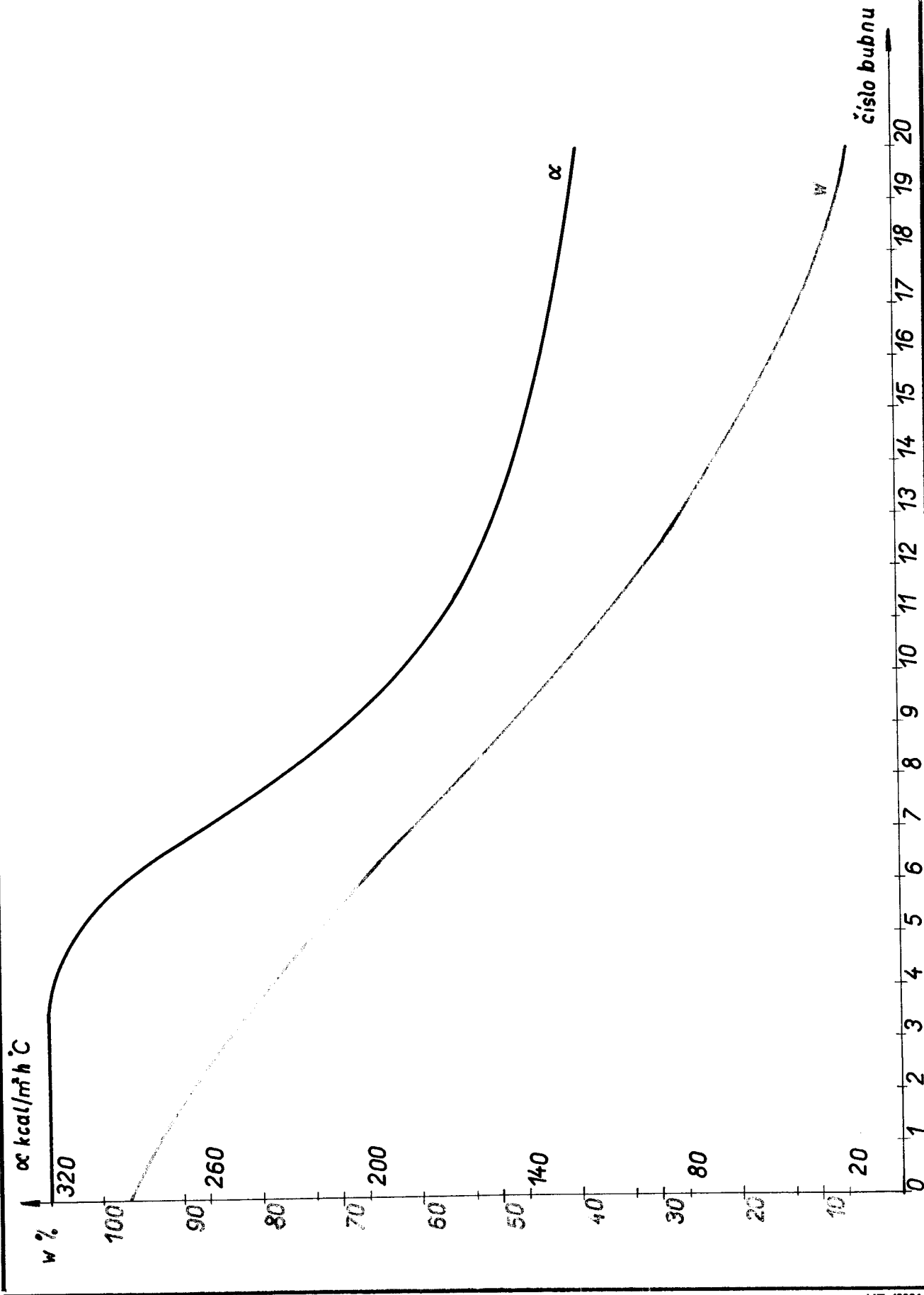
Číslo bubny	$t_b [^{\circ}\text{C}]$	$t_o [^{\circ}\text{C}]$	$t_m [^{\circ}\text{C}]$	$t_l [^{\circ}\text{C}]$	$t_s [^{\circ}\text{C}]$	$t_b - t_s [^{\circ}\text{C}]$	$t_2 [^{\circ}\text{C}]$
1.	95,4	24	61	37	43	52,4	2
2.	95,4	59	81	22	70	25,4	8
3.	95,4	73	90	17	81	14,4	16
4.	95,4	74	91	17	82	13,4	17
5.	95,4	74	80	6	77	18,4	7
6.	95,4	73	83	10	78	17,4	19
7.	95,4	64	73	9	68	27,4	4
8.	95,4	69	73	4	71	24,4	4
9.	95,4	69	70	1	69	26,4	5
10.	95,4	65	66	1	65	30,4	21
11.	99,5	44	59	15	52	47,5	1
12.	99,5	58	70	12	64	35,5	3
13.	99,5	67	75	8	71	28,5	5
14.	99,5	70	77	7	74	25,5	5
15.	99,5	72	77	5	75	24,5	1
16.	99,5	76	79	3	77	22,5	9
17.	99,5	70	73	3	72	27,5	
18.	99,5	73	78	5	75	24,5	
19.	99,5	78	82	4	80	19,5	
20.	99,5	82	85	3	84	15,5	

Tabulka vypočtených hodnot (pokračování).

Číslo bubnu	O_{tk} [m]	F_{tk} [m ²]	α_u	Q_b [kcal/h]	Q_{tk} [kcal/h]	Q_v [kcal/h]	Q [kcal/h]	$-Q_{tk}$ [kcal/h]	$-Q_v$ [kcal/h]
1.	1,2	1,68	320	28 200	4 480	13 550	10 170	242	695
2.	1,5	2,1	320	17 050	2 660	7 580	6 810	970	2 650
3.	1,5	2,1	320	9 600	2 060	5 530	2 010	1 940	5 150
4.	1,5	2,1	315	8 800	2 060	5 200	1 540	2 060	5 120
5.	1,5	2,1	310	11 950	726	1 730	9 494	847	1 890
6.	1,5	2,1	290	10 580	1 210	2 660	6 710	2 300	4 800
7.	1,5	2,1	260	14 950	1 089	2 220	11 641	484	875
8.	1,5	2,1	230	11 700	484	850	10 366	484	800
9.	1,5	2,1	210	11 600	484	780	10 336	605	860
10.	1,3	1,8	190	10 400	121	173	10 106	2 540	3 215
11.	1,2	1,68	170	13 530	1 815	2 160	9 555	121	126
12.	1,5	2,1	160	11 900	1 450	1 500	8 950	363	378
13.	1,5	2,1	150	8 900	968	860	7 072	605	470
14.	1,5	2,1	145	7 700	847	647	6 206	605	404
15.	1,5	2,1	140	7 200	605	396	6 199	121	69
16.	1,5	2,1	135	6 320	363	202	5 755	1 089	1 599
17.	1,5	2,1	130	7 500	363	161	7 076		
18.	1,5	2,1	125	6 410	605	225	5 580		
19.	1,5	2,1	120	4 900	484	121	4 294		
20.	1,3	1,8	120	3 300	363	68	2 869		

Tabulka vypočtených hodnot (pokračování) .

Číslo bubny	$F_{vz} [m^2]$	α_{vz} [kcal/m ² h °C]	Q_{vz} [kcal/h]	Δw_c [%]	w_c [%]	Δx_c [kg/kg]	Δi [kcal/kg]
1.	2,76	27	4 230	5,5	91	0,01395	1,02
2.	2,34	27	3 640	5,1	85,9	0,01855	0,85
3.	2,34	27	3 640	4,46	80,44	0,02255	0,85
4.	2,34	27	3 640	4,24	76,2	0,02641	0,85
5.	2,34	27	3 640	5,98	70,22	0,03181	0,85
6.	2,34	27	3 640	6,74	63,48	0,03787	0,85
7.	2,34	27	3 640	6,36	57,12	0,04362	0,85
8.	2,34	27	3 640	5,66	51,46	0,04872	0,85
9.	2,34	27	3 640	5,86	45,6	0,05402	0,85
10.	2,62	27	4 120	7,76	37,82	0,06102	0,985
11.	2,76	27	4 390	4,82	33,0	0,01333	1,05
12.	2,34	27	3 800	4,68	28,32	0,01756	0,91
13.	2,34	27	3 800	3,92	24,4	0,02076	0,91
14.	2,34	27	3 800	3,55	20,85	0,02396	0,91
15.	2,34	27	3 800	3,05	17,8	0,02668	0,91
16.	2,34	27	3 800	3,64	14,16	0,02996	0,91
17.	2,34	27	3 800	3,45	10,71	0,03306	0,91
18.	2,34	27	3 800	2,71	8,0	0,03550	0,91
19.	2,34	27	3 800	2,0	6,0	0,03730	0,91
20.	2,62	27	4 250	1,3	4,7	0,03847	1,01



Průběh ohřevu a sycení sušicího vzduchu.

Použité značky :

F_{vz}	účinná plocha bubna pro ohřev vzduchu	.... m ²
α_{vz}	součinitel přestupu tepla pro vzduch	.... kcal/m ² h °C
Q_{vz}	teplo předané bubnem	.... kcal/hod
t_b	teplota bubna	.... °C
t_s	střední teplota vzduchu	.... °C
Δ^w_c	úbytek vlhkosti tkaniny za bubnem %
Δx_c	přírůstek vlhkosti vzduchu za bubnem	.... kg/kg
Δi	přírůstek tepelného obsahu vzduchu	.... kcal/kg
t_1	vstupní teplota vzduchu	.... °C
t_3	výstupní teplota vzduchu	.... °C
i_1	tepelný obsah vstupního vzduchu	.... kcal/kg
x_1	vlhkost vstupního vzduchu	.... kg/kg

Hodnoty pro výpočet :

$$x_1 = 0,0092 \text{ kg/kg}$$

$$t_s = \frac{1}{2} (t_1 + t_3)$$

$$= \frac{1}{2} (20 + 55) = 37,5 \text{ °C}$$

Ostatní hodnoty pro výpočet viz " Tabulka vypočtených hodnot."

Při vlastním výpočtu jsem si rozdělila sušárnu na dva samostatné celky - sušárny, to znamená, že jsem uvažovala každou kolonu zvlášť.

Předpokládala jsem, že v každé koloně cirkuluje polovišné množství z celkového vzduchu, t.j. 4 200 kg za hodinu. Toto množství prostupuje celou kolonou, na každém bubnu se ohřívá, tím zvyšuje svůj tepelný obsah a sytí se na určitou hodnotu vlhkosti.

K ohřevu vzduchu se využije volné plochy každého bubna včetně čel. Pro výpočet ohřevu vzduchu si musíme určit množství tepla, které nám předá každý buben sušárny.

Teplo předané vzduchu prvním bubnem :

$$\begin{aligned} Q_{VZ} &= F_{VZ} \alpha_{VZ} (t_b - t_s) \\ &= 2,76 \cdot 27 \cdot 95,4 \cdot 37,5 = 4\,230 \text{ kcal/hod} \end{aligned}$$

Vypočtené hodnoty pro další bubny po dosazení do obecného vzorce pro množství předaného tepla jsou uvedeny v "Tabulce vypočtených hodnot".

K výpočtu bylo použito součinitele přestupu tepla, který byl určen již dříve při celkovém výpočtu.

Ohřevem na bubnu se zvýšil tepelný obsah každého kilogramu vstupního vzduchu o Δi .

Zvýšení tepelného obsahu vzduchu na prvním bubnu :

$$\begin{aligned} \Delta i &= \frac{Q_{VZ}}{4\,200} \\ &= \frac{4\,230}{4\,200} = 1,02 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

Zároveň s ohřevem se každý kilogram vzduchu sytil vlhkostí odpařenou z tkaniny na každém bubnu.

Zvýšení vlhkosti vzduchu za prvním bubnem :

$$x = \frac{G_{tk} \cdot \Delta w_c}{4 \cdot 200}$$

$$= \frac{379 \cdot 0,055}{4 \cdot 200} = 0,00475 \text{ kg/kg}$$

Konečná vlhkost vzduchu za prvním bubnem :

$$\Delta x_c = x_1 + x$$

$$= 0,0092 + 0,00475 = \underline{\underline{0,01395 \text{ kg/kg}}}$$

Stejný postup jsem opakovala pro každý buben sušárny. Výsledné hodnoty byly použity k sestrojení "grafu průběhu sycení a ohřevu vzduchu" (viz příloha).

Při sestrovování grafu jsem nejdříve uvažovala suchý ohřev vzduchu na tepelný obsah i s následujícím sycením na hodnotu vlhkosti Δx_c .

Graf jsem sestrojovala buben po bubnu pro každou kolonu zvlášť. Získala jsem tak dva pilové diagramy.

Výsledný stav výstupního vzduchu ze sušárny jsem určila jako střed spojnice koncových bodů diagramu pro každou kolonu. Výsledný stav určený graficky odpovídá stavu vzduchu, který jsme určili z parametrů měřených na výstupu ze sušárny.

Při sestrovování grafu jsem vynášela hodnoty pro jednotlivé bubny tak, jak šly při měření průběhu teplot tkaniny a výpočtech za sebou a ne, jak jsou uspořádány v sušárně. Mohla jsem takto postupovat proto, že v sušárně dochází k cirkulaci vzduchu, který je nasáván z okolí a vháněn na každý buben, takže se ruší vliv proudění vzduchu z vně sušárny.

Vynesení hodnot do grafu se daný problém stal přehlednějším a lze názorně sledovat průběh sycení vzduchu na jednotlivých bubnech.

Vliv optimální a nucené recirkulace vzduchu.

Pro určení vlivu optimální a nucené recirkulace vzduchu by byla nutná celá řada složitých experimentálních měření.

Bylo by nutno měřit každý buben zvlášť pro standartní tkaninu, to znamená o stejné vlhkosti a váze. Pro různé rychlosti zboží i vzduchu sledovat úbytek vlhkosti tkaniny za každým bubnem.

Tento postup lze však dosti těžko za provozních podmínek uplatnit, protože stroj nelze zastavit. Zastavením by se měnily neustále podmínky měření a válce nejsou za provozu dobře přístupné.

Z těchto důvodů jsem neprovedla hodnocení vlivu optimální a nucené recirkulace vzduchu.

Z á v ě r .

Studie, která je obsahem diplomové práce, má dát částečné podklady pro výpočty vícebubnových sušicích strojů z hlediska technologie procesu sušení.

Při výpočtech jsem zjistila, že součinitel přestupu tepla pro vícebubnové stroje není pro všechny bubny sušárny stejný. Klesá s ubývající vlhkostí vlivem poklesu kondenzační složky sušení, která má největší součinitel přestupu tepla vzhledem ke konvekčnímu a kondukčnímu sušení.

Pro rozsáhlejší studii a přesnější určení součinitele přestupu tepla by byla potřeba řada složitých měření. Bylo by třeba použít více měřicích přístrojů, aby bylo možno měřit na několika místech stroje bez jeho zastavení. Zamezit alespoň na krátkou dobu přístup vnějšího vzduchu mimo přísávané množství, aby bylo možno určit přesné množství cirkulujícího vzduchu.

Určit přesné množství vzduchu, které je foukáno štěrbinami na jednotlivé bubny.

Určit přesně ochlazení povrchu bubnu po průchodu tkaniny, to znamená měřit přesně jeho teplota před vstupem tkaniny a po skončení jejího ohřevu.

Pro nedostatek měřicích přístrojů i obtížnost těchto měření v provozu, jsem uvedená měření nemohla provést. Provedla jsem tedy jen nástin možného postupu práce při zjišťování důležitých parametrů sušicího stroje.

Seznam použité literatury :

Haber Josef :	Strojní sušení
Kutateladze S.S. :	Příručka sdílení tepla
Kalčík Josef :	Technická termodynamika
Sýkora Karel :	Sdílení tepla
Sýkora Karel :	Technická měření ve strojnictví
Teyssler Vladimír :	Technická měření ve strojnictví

Konstrukční podklady a prospektový materiál
válcového sušicího stroje Totex 4520.2.

Zprávy o měření teplot tkanin na strojích
pro tepelné zpracování, prováděných VŠST,
Liberec, katedrou průdelnictví a zušlechťování.

Studie a výpočet bubnového apretačního stroje
na koberec pro n.p. Bytex, Brno, vypracované
katedrou průdelnictví a zušlechťování, VŠST
v Liberci.

Příloha č. 1, 2:	Grafický průběh teplot tkanin na víceválcovém sušicím stroji
------------------	--

Seznam příloh :

Cejchovní křivka termošláňka Cu-Ko pro dě-
líč 300 Ω .

Graf průběhu sycení sušicího vzduchu.

Děkovný list.

Chtěla bych tímto poděkovat

s. ing. M. Kvapilovi,

který mi umožnil se seznámit s problémy mé diplomové
práce, poskytnutím informací a odborné literatury,

V Liberci dne 30.6.1970.

Olga Kubrová

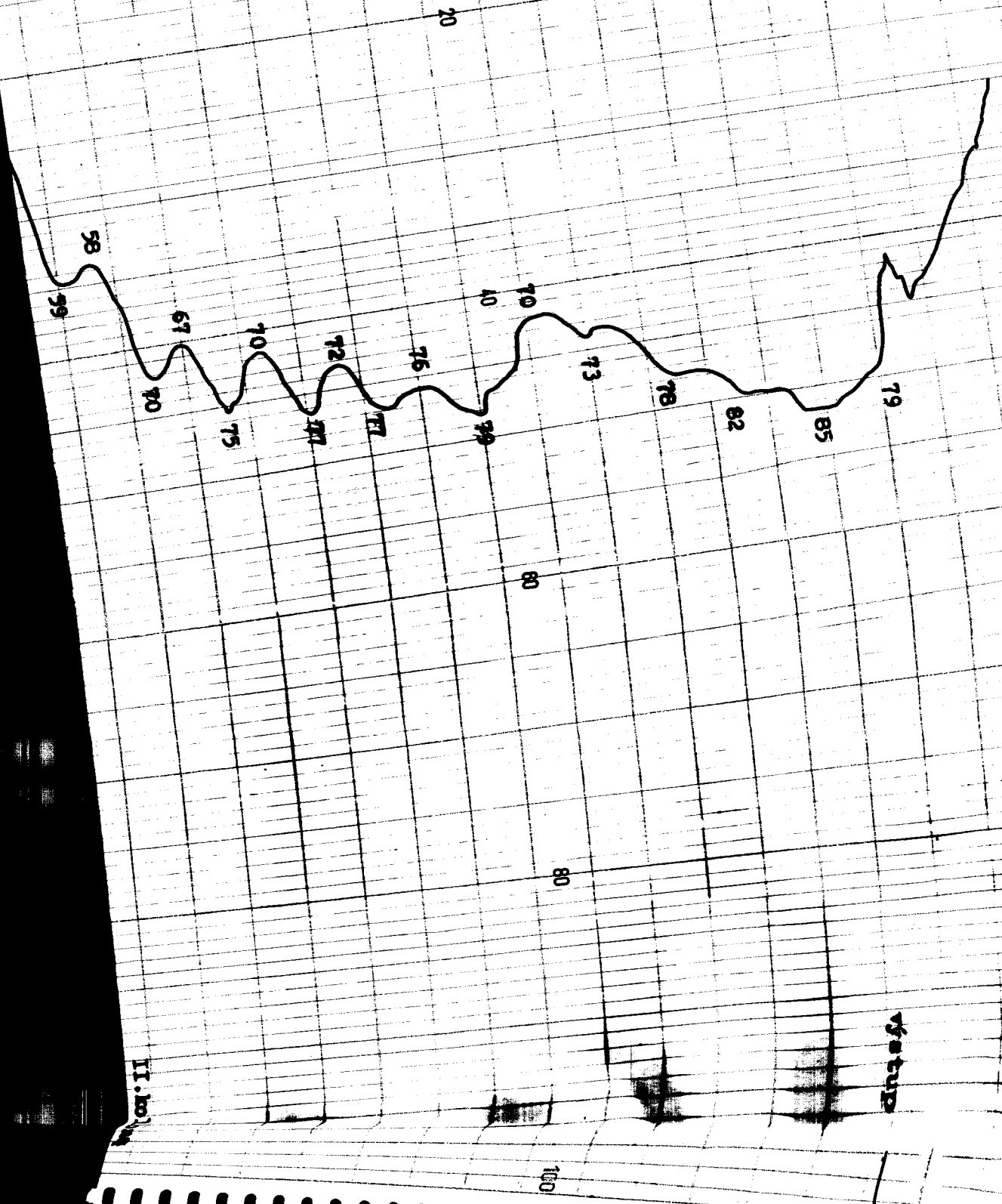
Čestné prohlášení .

Prohlašuji tímto, že jsem vypracovala
diplomovou práci samostatně a jen s použi-
tím uvedené literatury.

V Liberci dne 30.6.1970.

Olga Kubrová

odvrácená strana od bubnu)



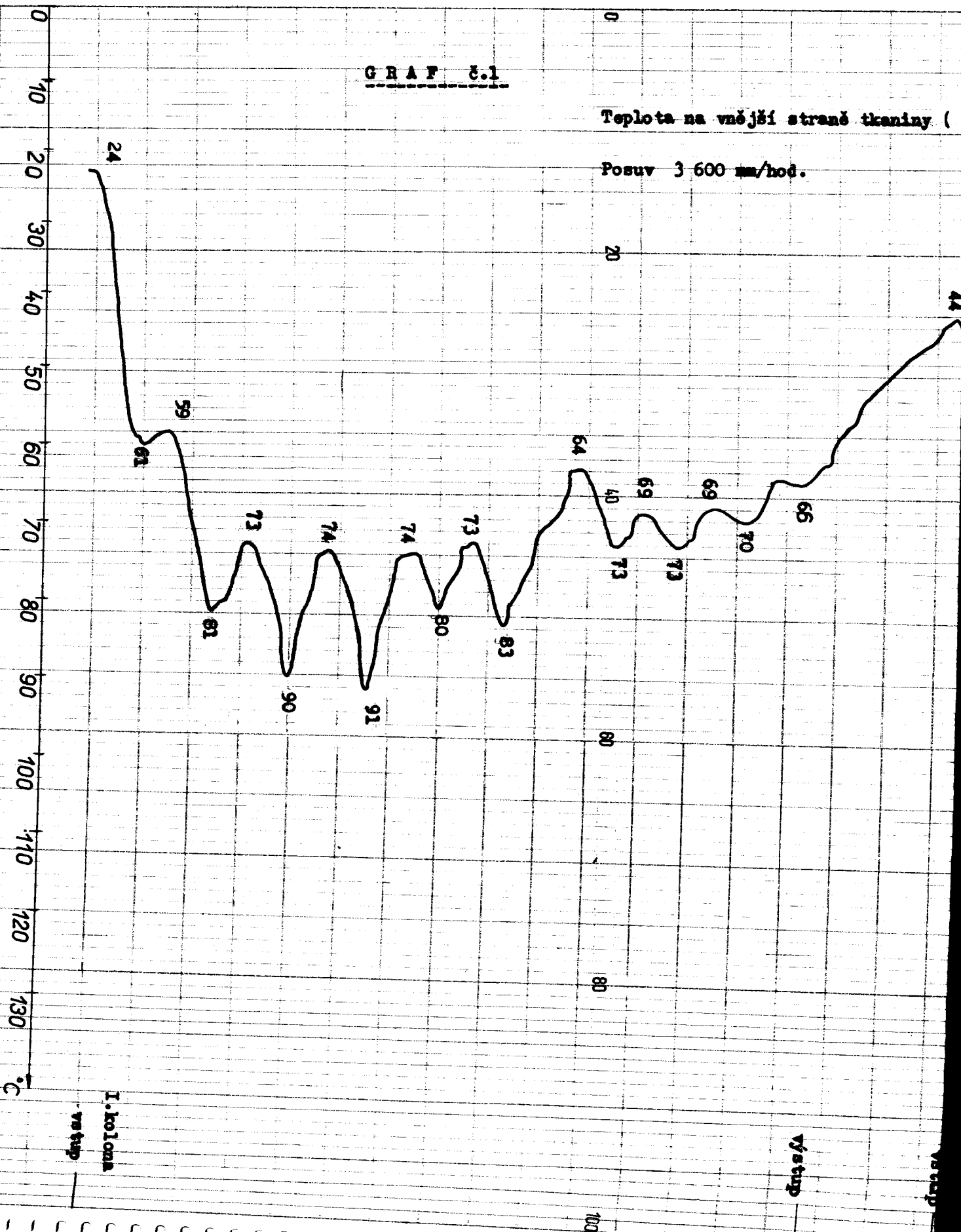
II. 100

výstup

GRAF č.1

Teplota na vnější straně tkaniny (

Posuv 3 600 mm/hod.



I. kolona
vrstev

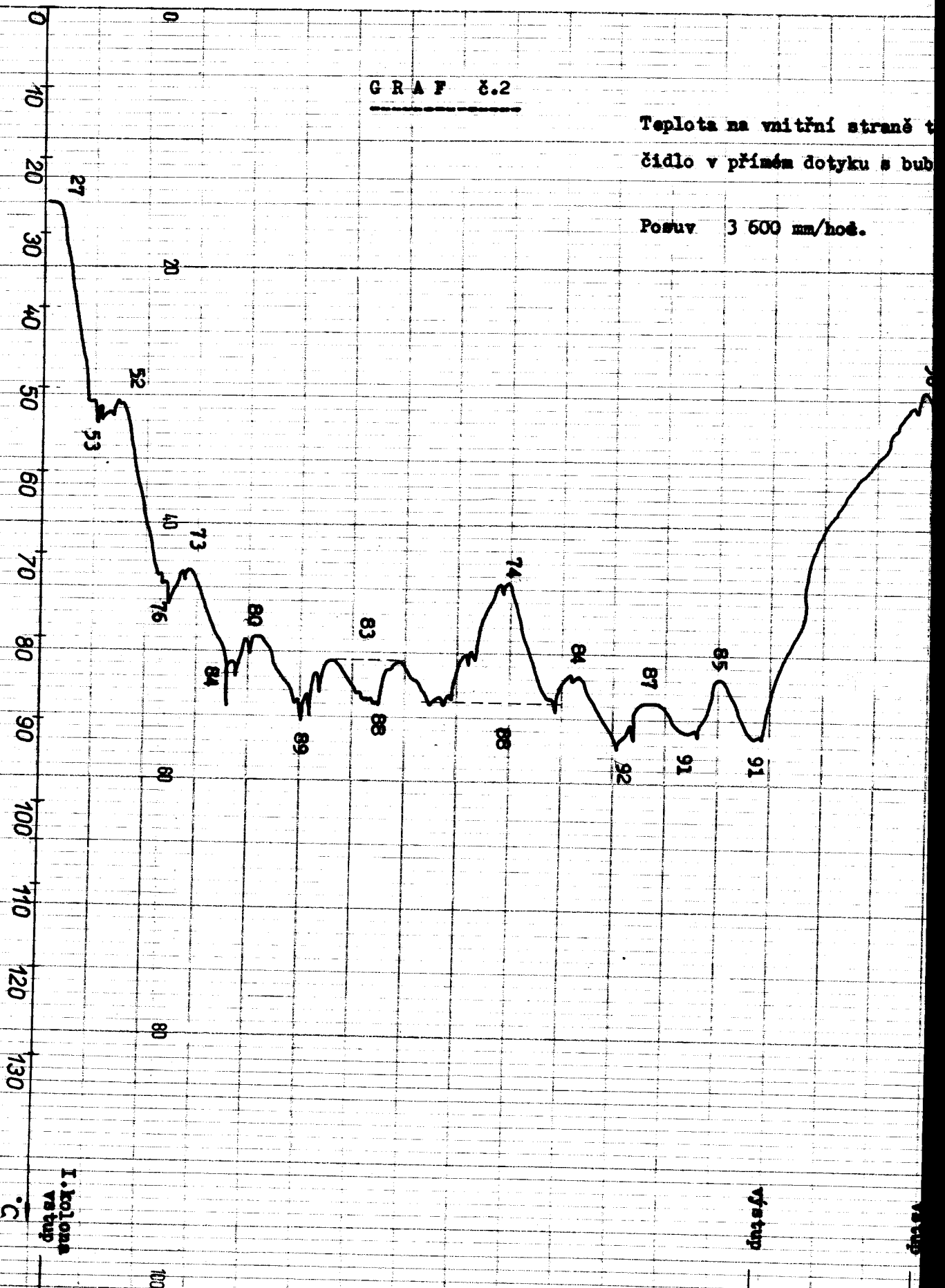
Výstup

Výstup

GRAF č.2

Teplota na vnitřní straně t
čidlo v přímém dotyku s bub

Posuv 3 600 mm/hoř.

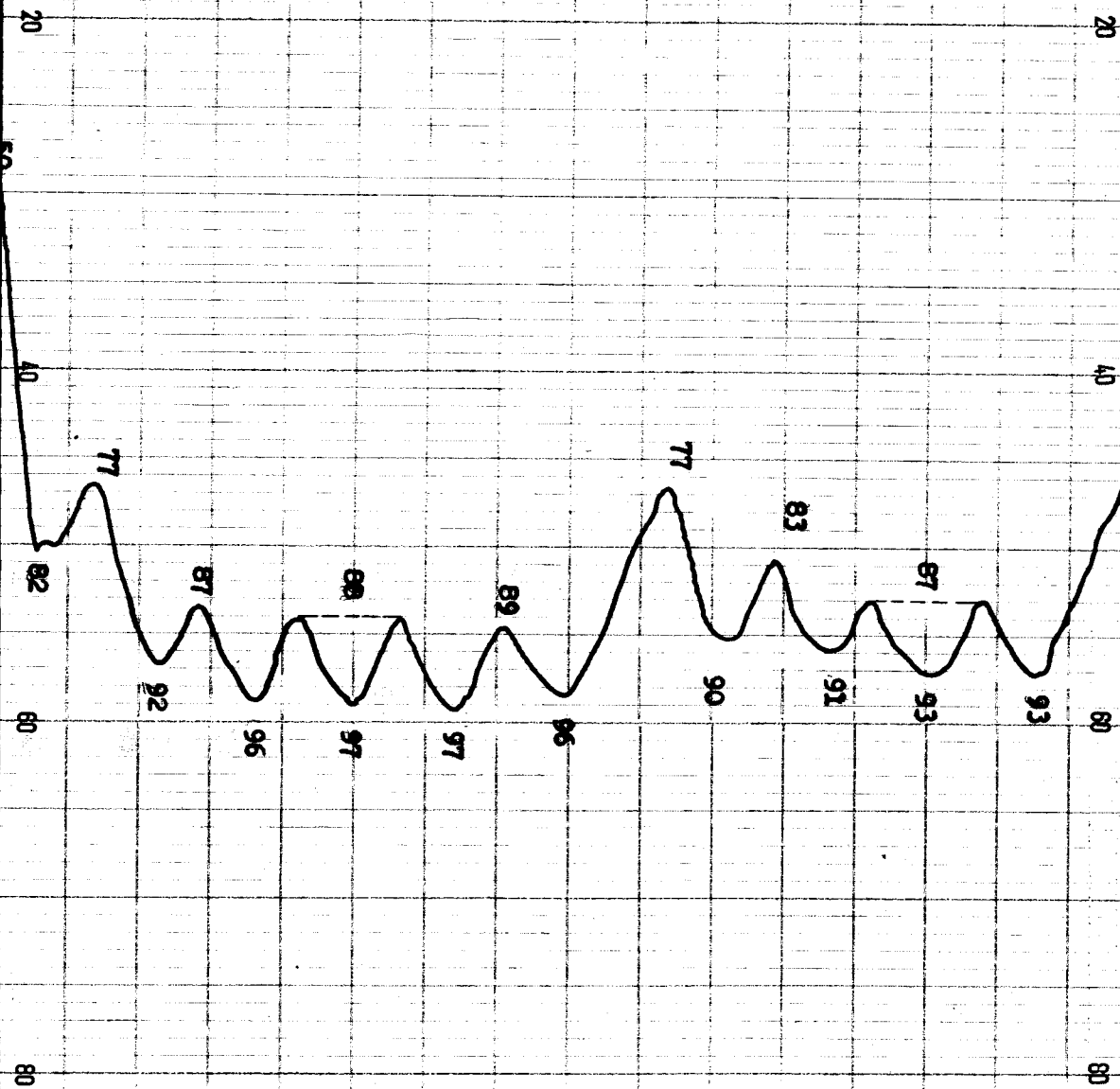


I. Kojlona
vs bub
°C

výstup

kaniny

ny



II. kolona 100

Výstup

100

CEJCHOVNÍ KŘIVKA TERMOČLÁNKU Cv-Kp
PRO DĚLIČ 300 Ω

délka měřidla 189,5 m

vnitřní odpor 740 Ω

