



TECHNICKÝ ZÁZNAM

č. SVÚSS 93-05107

Experimentální vyšetření funkčních charakteristik
stojatého ohříváče vody Glazer Js 40x1340
při vyhřívání parou

DT

66.045.1
534.24
532.5

SVÚSS si vyhrazuje k této zprávě veškerá
autorská práva.

Autor:

Ing. Stanislav Stýblo, CSc.
Ing. Leopold Struhár

Vedoucí odboru:

Ing. Vojtěch Hlavačka, DrSc.

Zástupce ředitele:

Ing. Petr Štulc

Ředitel ústavu:

Ing. Milan Šatra, CSc.

Číslo úkolu:

25.6.6623

Číslo zakázky:

14.0/HS10067/92-25

Počet stran:

17

Pořadové číslo výtisku:

Obr. a diag.:

Tabulky:

29

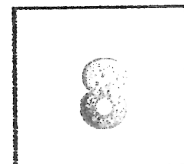
Fotokopie:

Výkresy:

Přílohy:

Vydáno:

září 1993



Výtah

Na základě experimentálního vyšetření funkčních charakteristik stojatého parního ohřivače vody Glazer Js 40*1340 při vyhřívání nízkotlakou parou jsou stanoveny jeho výkonové charakteristiky v závislosti na výšce zaplavení vnitřního povrchu trubiček kondenzátem. Z výsledků měření jsou dále odvozeny a korelovány základní hodnoty termokinetických součinitelů v oblasti kondenzace páry. Dále jsou stanoveny základní ukazatele pro hodnocení kvality těchto výrobků.

Obsah

Seznam značek a indexů.....	3
Seznam tabulek.....	5
1.0 Úvod.....	6
2.0 Základní charakteristiky zkušebních vzorků.....	7
3.0 Zkušební zařízení a metodika vyhodnocení zkoušek.....	7
3.1 Zkušební zařízení.....	7
3.2 Metodika vyhodnocení zkoušek.....	8
3.2.1 Metodika vyhodnocení tepelnětechnických charakteristik.....	8
3.2.2 Metodika vyhodnocení odporových charakteristik.....	12
4.0 Výsledky zkoušek a jejich zhodnocení.....	13
4.1 Tepelnětechnické charakteristiky zkušebních vzorků....	14
4.1.1 Tepelnětechnické charakteristiky zkušebního vzorku při vyhřívání nízkotlakou parou.....	14
4.1.2 Tepelnětechnické charakteristiky zkušebního vzorku při vyhřívání vodou.....	15
4.2 Odporové charakteristiky zkušebních vzorků.....	15
5.0 Základní kritéria pro hodnocení zkušebních vzorků při vyhřívání parou.....	16
6.0 Závěr.....	16
7.0 Literatura.....	17

Seznam značek a indexů

Značky

Značka	Význam	Jednotka
A	plocha průřezu	m^2
a	součinitel tepelné vodivosti	$m^2 s^{-1}$
c_p	měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku	$J kg^{-1} K^{-1}$
c_{vk}	měrná tepelná kapacita dvoufázové směsi v zóně kondenzace	$J kg^{-1} K^{-1}$
D	součinitel difuze	$m^2 s^{-1}$
d	průměr	m
d_h	hydraulický průměr	m
H	výška	m
i''	entalpie páry na mezi sytosti	$J kg^{-1}$
i'	entalpie kondenzátu	$J kg^{-1}$
k	součinitel prostupu tepla	$W m^{-2} K^{-1}$
l	výparné teplo	$J kg^{-1}$
L	délka	m
M	hmotnost	kg
\dot{M}	hmotnostní průtok	$kg s^{-1}$
N	počet	-
Nu	Nusseltovo kritérium	-
O	omočený obvod	m
p	tlak	Pa
Pr	Prandtlovo kritérium	-
\dot{Q}	tepelný výkon, tepelný tok	W
R	plynová konstanta	$J kg^{-1} K^{-1}$
Re	Reynoldsovo kritérium	-
S	plocha povrchu	m^2
t, T	teplota	$^{\circ}C, K$
V	objem	m^3
\dot{V}	objemový průtok	$m^3 s^{-1}$
\dot{W}	tepelná kapacita hmotnostního toku	$W K^{-1}$
w	rychlost	$m s^{-1}$
α	součinitel přestupu tepla	$W m^{-2} K^{-1}$
δ	tloušťka	m
Δ	rozdíl veličin	-

κ	součinitel	-
η	účinnost	-
f	součinitel místních ztrát	-
f	součinitel třecích ztrát	-
ρ	hustota	kg m ⁻³

Indexy

Index	Význam
A	vzduch
C	celkový
e	týká se veličiny vně trubek
i	týká se veličiny uvnitř trubek
K	týká se kondenzátu
KO	konvekční
LOK	lokální ztráta
m	střední
max	maximální
min	minimální
O	oběhová voda
R	týká se řad trubek
ST	stěna
T	týká se trubek
TR	třecí
u	užitková voda
V	pára
W	voda
1	vstupní
2	výstupní

Seznam tabulek

- 93-05107.1 Schéma uspořádání stojatého parního ohřivače vody Glazer Js 40*1340
- .2 Charakteristické údaje pro stojatý parní ohřivač vody Glazer Js 40*1340
- .3 Schéma zkušebního zařízení pro stojatý parní ohřivač vody Glazer Js 40*1340
- .4 Schéma nepřímé soustavy s teplotním prostředníkem
- .5 Termická účinnost protiproudého výměníku tepla
- .6 Určující průběhy teplot pracovních látek při zkouškách parního a vodního ohřivače Glazer Js 40*1340
- .7 Výběr naměřených a odvozených údajů pro stanovení výkonových a termokinetických charakteristik v zóně kondenzace
- .8 Vliv výšky zaplavení parního ohřivače kondenzátem na jeho tepelný výkon
- .9 Vliv objemového průtoku studené vody na tepelný výkon nepřímé soustavy
- .10 Vliv výšky zaplavení parního ohřivače kondenzátem na hodnoty termokinetických součinitelů v zóně kondenzace
- .11 Vliv tlaku páry a výšky zaplavení parního ohřivače kondenzátem na hodnoty termokinetických součinitelů
- .12 Vliv objemového průtoku a teploty vody na přestup tepla v mezitrubkovém prostoru ohřivače vody Glazer Js 40*1340
- .13 Korelace odvozených konvekčních součinitelů přestupu tepla v zóně kondenzace
- .14 Vliv výšky zaplavení parního ohřivače kondenzátem na střední rychlost proudění
- .15 Odporové charakteristiky ohřivače Glazer Js 40*1340 při průtoku vody trubkami
- .16 Odporové charakteristiky ohřivače Glazer Js 40*1340 při průtoku vody mezitrubkovým prostorem
- .17 Hodnoty základních ukazatelů pro hodnocení parních ohřivačů vody
- .18 Trubkový parní ohřivač vody pro ústřední vytápění
- .19 Porovnání trubkových a deskových výměníků z hlediska objemové tepelné prostupnosti
- .20 Porovnání trubkových a deskových výměníků z hlediska hmotnostní tepelné prostupnosti

1.0 Úvod

Třetí etapa řešení úkolu navazuje na zprávy [1] a [2], které shrnují výsledky první a druhé etapy práce SVÚSS. První etapa řešení úkolu byla zaměřena na rozbor výsledků měření funkčních charakteristik stojatého parního ohříváče vody Glazer Js 40*1340 při vyhřívání nízkotlakou a středotlakou parou provedených v SZÚ Brno [3] a na předběžné určení funkčních charakteristik uvedených ohříváčů při vyhřívání teplou a horkou vodou. Druhá etapa se týkala

- výstavby zkušebního zařízení pro měření výkonových a odporových charakteristik ohříváčů Glazer Js 40*1340 při vyhřívání teplou a horkou vodou,
- provedení základních ověřovacích zkoušek,
- odvození základních termokinetických a odporových součinitelů,
- stanovení výkonových a odporových charakteristik ohříváčů při jmenovitých parametrech ohřevu topné a užitkové vody,
- určení základních ukazatelů pro hodnocení těchto výrobků.

Třetí etapa řešení úkolu zahrnuje úpravu zkušebního zařízení pro zkoušky stojatého ohříváče Glazer Js 40*1340 při ohřevu vody nízkotlakou a středotlakou parou. Hlavním cílem zkoušek bylo experimentálně ověřit vliv výšky zaplavení ohříváče kondenzátem na jeho tepelnětechnické charakteristiky. Tyto údaje nebyly v závěrečném protokolu SZÚ Brno [3] uvedeny, přestože mají zásadní význam pro stanovení základních termokinetických součinitelů v oblasti kondenzace. Rozbor výsledků měření v SZÚ Brno v [1] naznačuje, že intenzita kondenzace páry ve vertikálních trubkách zaplavených částečně kondenzátem neodpovídá intenzitě kondenzace čistých par, nýbrž intenzitě parciální kondenzace par za přítomnosti inertních plynů. Je ostatně známo na základě dlouhodobých provozních zkušeností s parními ohříváči a kondenzátory, že k zajištění jejich dokonalé funkce je nezbytné průběžně odvádět ze spodní sběrné komory určité množství páry a zbavit se tak uvolňovaných inertních plynů. Z uvedených důvodů je cílem této etapy výzkumu prokázat přítomnost inertních plynů v trubkách při totální kondenzaci páry.

2.0 Základní charakteristiky zkušebních vzorků

Ohřivače vody firmy Glazer jsou vyráběny na rozdíl od ostatních tuzemských výrobků z měděných trubiček velmi malého průměru i tloušťky stěn. Rozměr trubiček u zkušebního vzorku je 3×0.5 mm. Kromě toho uvažuje výrobce výhledově vyzkoušet trubičky 4×0.5 mm a 2×0.5 mm. Zvládnutí této výroby umožňuje dosáhnout výrazného zmenšení objemu a hmotnosti ohřivačů v porovnání se současně dodávanými výrobky.

Celkové uspořádání ohřivače vody firmy Glazer je zřejmé z tab. 1. K napojení ohřivače do parního i vodního okruhu slouží otočné ploché ocelové příruby Js 40 Jt 6. umístěné jednak na plášťové trubce (parní okruh), jednak na nátrubcích, připevněných k plášťové trubce z boku na obou jejích koncích, jak je patrné z obr.1 na tab. 1. Měděné trubičky jsou uspořádány do svazku, jehož konfiguraci udává obr. 2 na tab. 1. Svazek trubek opatřený na obou koncích trubkovnicemi z poměrně tenkého měděného plechu je vsunut do plášťové trubky. Spoj trubiček s trubkovnicí a trubkovnice s plášťovou trubkou zajišťuje stříbrná pájka. Charakteristické rozměry ohřivače jsou shrnuty na tab. 2.

Nové výrobky se s výhodou uplatňují např. ve výměníkových stanicích při vodním či parním ohřevu vody pro ústřední vytápění rodinných a činžovních domů i k ohřevu užitkové vody. Přispívají ke snižování investičních nákladů, protože snižují požadavky na zastavěný objem. Kromě malého půdorysu vynikají i malou stavební výškou, takže nevyžadují speciální zdvihací stroje.

3.0 Zkušební zařízení a metodika vyhodnocení zkoušek

3.1 Zkušební zařízení

Úpravy zkušebního zařízení pro zkoušky stojatých ohřivačů vody Glazer Js 40*1340 při vyhřívání parou vycházely ze schéma vypracovaného v [1] a uvedeného na tab. 3. Přívod páry byl však opatřen elektrickým přehřivačem. I v tomto případě sestává zkušební zařízení z nepřímé soustavy, ve které probíhají současně měření na dvou zkušebních vzorcích.

Parní ohříváč vyhříváný nízkotlakou či středotlakou parou slouží k ohřevu oběhové vody, která je vedena do druhého zkušební vzorku, kde ohřívá studenou vodu ze sítě (ohřev užitkové vody).

Z tab. 3 je dále patrné umístění měřicích čidel, která slouží ke zjišťování objemových průtoků pracovních látek, k měření jejich vstupních a výstupních teplot a k měření statického tlaku ve vstupech a výstupech pracovních látek u jednotlivých ohříváčů. Měření určujících veličin zajišťují turbinové průtokoměry (u oběhové vody a studené vody) a kalibrovaná nádoba se stopkami (u kondenzátu), termočlánky NiCr-Ni umístěné v jímkách naplněných petrolejem, a odběry statických tlaků s trubicovými a j. manometry. Pomocí trubicového manometru je měřena i výška kondenzátu v ohříváči. Okruh oběhové vody je vybaven vlastním čerpadlem a lze jej natlačit vzduchem z tlakové lahve. Okruh studené vody je otevřený. Je napojen ze zásobní nádrže umístěné u stropu zkušebny. Nádrž je vybavena přepadem. Okruhy lze plnit užitkovou vodou z hydrantu přes napouštěcí ventily.

3.2 Metodika vyhodnocení zkoušek

Metodika vyhodnocení zkoušek je zaměřena k odvození tepelnotechnických a odporových charakteristik zkušebních vzorků.

3.2.1 Metodika vyhodnocení tepelnotechnických charakteristik

Tepelný výkon zkušební vzorku při vyhřívání parou stanovíme na straně páry z objemového průtoku páry pomocí vztahu

$$\dot{Q}'_v = \dot{V}_v \rho_{v1} [l + c_{pv}(t_{v1} - t''_v) + c_{pk}(t_{k1} - t_{k2})] , \quad (1)$$

kde je

\dot{V}_v objemový průtok páry,

ρ_{v1} hustota páry,

l výparné teplo při středním tlaku v ohříváči,

c_{pv} měrná tepelná kapacita páry při střední teplotě přehřátí,

t_{v1} vstupní teplota páry,

t''_v teplota syté páry při vstupním tlaku,

c_{PK} měrná tepelná kapacita kondenzátu při střední teplotě podchlazení,

t_K teplota kondenzátu,

resp. z objemového průtoku kondenzátu

$$\dot{Q}'_v = \dot{V}_K \rho_K (i''_v - c_{PK} t_K) , \quad (2)$$

kde je

\dot{V}_K objemový průtok kondenzátu,

ρ_K hustota kondenzátu,

i''_v entalpie páry,

c_{PK} měrná tepelná kapacita kondenzátu při jeho výstupní teplotě.

Tepelný výkon zkušební vzorku na straně ohřívání resp. ochlazování vody určíme z jejího objemového průtoku a z ohřátí resp. ochlazení

$$\dot{Q}'_w = \dot{V}_w \rho_w c_{PW} (t_{w1} - t_{w2}) , \quad (3)$$

kde je

\dot{V}_w objemový průtok vody,

ρ_w hustota vody,

c_{PW} měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě,

t_{w1} , t_{w2} vstupní resp. výstupní teplota vody.

Po vyhodnocení výkonových charakteristik kontrolujeme tepelné bilance u jednotlivých zkušebních vzorků i vzájemné údaje mezi nimi, neboť vzhledem k nepatrným ztrátám propojovacího potrubí oběhové vody mají být shodné. Na závěr tohoto kroku hodnotíme závislost výkonové charakteristiky parního ohříváče na výšce zaplavení trubek kondenzátem.

Protože výstupní teplota kondenzátu dosahuje u parního ohříváče ve všech případech vstupní teplotu oběhové vody, vycházíme při vyhodnocení termokinetických součinitelů (význam označení viz tab. 4) z dílčích termických účinností

$$\eta_{ov} = \frac{\Delta t_{ov}}{\Delta t_{o1}} ,$$

jejichž hodnoty jsou < 0.1 a spadají tudíž do oblasti hodnot

$$\eta = f \left(\frac{\dot{W}'_o}{\dot{W}'_v}; \frac{k_v S_v}{\dot{W}'_v} \right)$$

nezávislých téměř na poměru

$$\frac{\dot{W}'_o}{\dot{W}'_v},$$

přičemž parametr

$$\frac{k_v S_v}{\dot{W}'_v} \approx \eta_{ov},$$

viz tab. 5. Veličina $\dot{W}' = \dot{V} \rho c_p$ značí tepelnou kapacitu toku pracovní látky. U kondenzující páry je podle [1]

$$c_v = \frac{i''_{tv1} - i'_K}{t_{v1} - t_K}.$$

Z parametru

$$\frac{k_v S_v}{\dot{W}'_v}$$

odvodíme dále střední hodnotu součinitele prostupu tepla pro oblast kondenzace k_v , a to za předpokladu, že zanedbáme na základě výsledků z [1] vliv oblasti, ve které dochází k podchlazení kondenzátu ($k_K \ll k_v$). Z takto odvozených hodnot součinitelů prostupu tepla k_v lze dále nepřímou metodou určit hodnoty celkových součinitelů přestupu uvnitř trubek α_v v oblasti kondenzace, neboť hodnoty součinitelů přestupu tepla v mezitrubkovém prostoru je možné pro dané parametry vypočítat s dostatečnou přesností z kritériální rovnice odvozené v [2]. Dále předpokládáme, že odvozený součinitel odpovídá celkovému součiniteli přestupu tepla při parciální kondenzaci páry, tj. při kondenzaci za přítomnosti inertních plynů. Podle [4] je definován výrazem

$$\alpha_v = \alpha_{ko} \left[1 + \frac{\left(\frac{D_v}{a_{av}} \right)^{2/3} \kappa_{lv} \left(\frac{p''_v}{T_{vAm}} - \frac{p_{vST}}{T_{ST}} \right)}{R_v \rho_{av} c_{pav} (T_{av} - T_{ST})} \right], \quad (4)$$

kde je

α_{ko} součinitel přestupu tepla při konvekci páry vztažený na střední rychlost proudu,

$$D_v = \frac{2.193}{p} \left(\frac{T_{vAm}}{273.1} \right)^{1.81} \quad \text{součinitel difuze vodní páry,}$$

a_{av} součinitel teplotní vodivosti páry s obsahem

vzduchu,

$$\kappa = \frac{p}{p - p_{ST}} \quad \text{součinitel, který respektuje přívod páry k povrchu kondenzace příčným konvektivním tokem,}$$

l_v výparné teplo,

R_v plynová konstanta vodní páry,

ρ_{VA} hustota vodní páry s obsahem vzduchu,

c_{pAV} měrná tepelná kapacita vodní páry s obsahem vzduchu,

p_v parciální tlak vzorku páry,

p_{vST} parciální tlak vodní páry na povrchu kondenzátu, resp. na stěně při zanedbání tepelného odporu kondenzátu,

T_{AV} teplota syté vodní páry,

T_{ST} teplota stěny.

Teplotu stěny určíme obecně ze vztahu

$$t_{ST} = \frac{t_f + \frac{\alpha_c S_c}{\alpha_f S_f} t_c}{1 + \frac{\alpha_c S_c}{\alpha_f S_f}} \quad (5)$$

Druhý člen v hranaté závorce určuje zvýšení součinitele přestupu tepla α_c vlivem kondenzace. Lze odvodit, že jeho hodnota vzrůstá velmi rychle se zvyšující se teplotou a s ubývajícím obsahem inertního plynu a se zmenšujícím se rozdílem teplot mezi parovzdušnou směsí a stěnou v oblasti kondenzace.

Pomocí rovnice (4) odvodíme pro jednotlivé zkoušky hodnoty součinitelů α_{KO} a po převodu do kritériálního tvaru odečteme ze známé závislosti

$$Nu_{AV} Pr_{AV}^{-0.43} = f(Re_{AV})$$

odpovídající hodnotu Re_{AV} a určíme střední rychlost proudění parovzdušné směsi v oblasti kondenzace. Na závěr určíme a zhodnotíme závislost

$$\frac{W_{AVm}}{W_1}$$

na výšce zaplavení trubek zkušebního ohříváče kondenzátem.

Při vyhodnocení termokinetických součinitelů u ohřivače užitkové studené vody se řídíme postupem uvedeným v [2].

3.2.2 Metodika vyhodnocení odporových charakteristik

Odporové charakteristiky při průtoku pracovních látek určujeme z rozdílů statických tlaků měřených v přívodním a odváděcím potrubí. Při umístění statických odběrů jsou respektovány podmínky předepsané příslušnými normami ČSN.

Při analýze odporových charakteristik zaměřených k odvození ztrátových součinitelů vycházíme pak z předpokladu, že celková tlaková ztráta při průtoku vody sestává z třecí ztráty a ze ztrát vyvolaných místními odpory

$$\Delta p_{WC} = \Delta p_{WTR} + \sum \Delta p_{WLOK} . \quad (6)$$

Třecí ztráty jsou definovány známým vztahem

$$\Delta p_{WTR} = \xi_w \frac{w^2}{2} \frac{L}{d_n} \rho_w , \quad (7)$$

kde je

$\xi_w = f(Re)$ součinitel třecích ztrát,

L délka trubek (průtočného kanálu),

d_n hydraulický průměr.

Z rozdílu celkové a třecí ztráty stanovíme sumu tlakových ztrát způsobených místními odpory a dále určíme celkový součinitel místních ztrát

$$\Delta p_{WLOK} = \xi_w^* \frac{w_{min}^2}{2} \rho_w , \quad (8)$$

kde je

ξ_w^* celkový součinitel místních ztrát, který respektuje součet ztrát změnou směru proudění pracovní látky a změnou průtočných průřezů ve vstupní a výstupní zóně mezitrubkového prostoru,

w_{min} rychlost proudění vody v minimálním průtočném průřezu.

4.0 Výsledky zkoušek a jejich zhodnocení

Výsledky zkoušek provedených na obou zkušebních vzorcích při vyhřívání parou a teplou vodou jsou shrnuty do tab. 6 až 17.

Tab. 6 znázorňuje závislosti naměřených průběhů teplot pracovních látek na vstupech a výstupech z jednotlivých zkušebních vzorků při nulovém přetlaku páry při různé výšce zaplavení parního ohříváče kondenzátem i při změně intenzity objemového průtoku studené vody. Objemový průtok oběhové vody se měnil jen nepatrně a lze jej považovat za konstantní.

Na tab. 7 je pro větší názornost uveden přehled vybraných výsledků měření včetně odvozených výkonových a termokinetických charakteristik.

Z tab. 8 je patrný vliv výšky zaplavení parního ohříváče kondenzátem na jeho tepelný výkon.

Tab. 9 znázorňuje vliv změny objemového průtoku studené vody na tepelný výkon soustavy.

Tab. 10 charakterizuje vliv výšky zaplavení parního ohříváče kondenzátem na výsledné hodnoty odvozených součinitelů prostupu tepla a odvozených součinitelů přestupu tepla při kondenzaci páry uvnitř trubek.

Tab. 11 umožňuje porovnání výsledných součinitelů prostupu tepla.

Tab. 12 udává vliv objemového průtoku a teploty vody na přestup tepla v mezitrubkovém prostoru ohříváče Glazer JS 40*1340.

Tab. 13 se týká korelace odvozených konvekčních součinitelů přestupu tepla na straně kondenzující páry při respektování přítomnosti inertních plynů.

Z tab. 14 jsou zřejmé odporové charakteristiky zkušebních vzorků při průtoku vody trubkami.

Tab. 15 charakterizuje odporové charakteristiky zkušebních vzorků při průtoku vody mezitrubkovým prostorem.

4.1 Tepelnětechnické charakteristiky zkušebních vzorků

4.1.1 Tepelnětechnické charakteristiky zkušebního vzorku při vyhřívání nízkotlakou parou

Průběhy teplot a objemových průtoků pracovních látek na tab. 6 dokládají, že při měření výkonových charakteristik zkušebních vzorků byly zajištěny teplotně i průtokově ustálené stavy prakticky u všech pracovních látek až na vstupní teplotu páry, jejíž přehřátí se pohybovalo v rozmezí od 0.2 do 31.8°C. Protože přehřátí páry ovlivňuje výsledný tepelný tok jen nepatrně, nemá kolísání vstupní teploty páry negativní vliv.

Z přehledu vybraných tepelnětechnických charakteristik na tab. 6 lze usoudit, že při měření výkonových charakteristik zkušebních vzorků bylo dosaženo požadované přesnosti. Koncepce nepřímé soustavy se dvěma zkušebními vzorky stejné velikosti se i v tomto případě plně osvědčila, neboť poskytla podklady nejen při ohřevu vody nízkotlakou parou, ale i další podklady při ohřevu studené vody teplou vodou. Z praktického hlediska je významné zjištění, že stojaté ohříváče vody Glazer Js 40*1340 při vyhřívání parou fungují i při nulovém přetlaku, což nebylo při zkouškách v SZÚ Brno ověřeno.

Tab. 8 vede k dalšímu důležitému zjištění, ze kterého vyplývá, že vliv zaplavení zkušebního vzorku kondenzátem na jeho tepelný výkon je nevýrazný a nejednoznačný. K obdobným závěrům dospíváme i při sledování objemového průtoku studené vody na výkon nepřímé chladicí soustavy na tab. 9. Za této situace bylo nutno přikročit k hlubší analýze výsledků měření na základě odvození a rozboru termokinetických součinitelů v ohříváči vody vyhříváném parou (tab. 7) podle metodiky uvedené v kap. 3.2.1.

Závislosti odvozených součinitelů prostupu tepla a součinitelů přestupu tepla na straně kondenzující páry vykazují na výšce zaplavení ohříváče kondenzátem převážně vzestupnou tendenci, jejich korelaci bylo však možno zvládnout jen za předpokladu, že byla respektována přítomnost inertních plynů (tj. vzduchu) uvnitř trubek. Jde v podstatě o známý jev, se

kterým se vždy u teplosměnných zařízení s parním ohřevem setkáváme. U většiny ohřivačů je však možné se průběžně zabývat uvolněných inertních plynů během dlouhodobého provozu odpouštěním směsi páry a plynu ve spodní části ohřivače anebo pomocí vývěv. Pokud provozovatel toto opatření nezajistí, dostane se do velmi nevýhodné provozní charakteristiky zařízení, protože dojde k náhradě kondenzace čisté páry kondenzací parciální, která se vyznačuje difuzními pochody v mezni vrstvě, závislými na konvekci binární směsi. Kromě difuzních pochodů má v oblasti vyšších spádů parciálních tlaků významnou roli i příčný konvektivní tok směsi k povrchu kondenzátu, který je vyvoláván difuzí inertního plynu od povrchu kondenzace a který přispívá k intenzifikaci přenosu hmoty [4]. Jelikož řešení problémů parciální kondenzace páry je založeno na analogii mezi přenosem tepla a přenosem hmoty, můžeme z výsledných hodnot součinitelů přestupu tepla v trubkách stojatého parního ohřivače vody odvodit základní konvekční součinitele přestupu tepla α_k a pomocí kritériálních závislostí na tab. 6 předběžně určit odpovídající střední rychlost průtoku binární směsi v úseku kondenzace. Výsledné údaje jsou pak porovnány se vstupní rychlostí proudění páry na tab. 14. Výsledky jsou reálné.

4.1.2 Tepelnětechnické charakteristiky zkušebního vzorku při vyhřívání vodou

Výkonové charakteristiky ohřivače užitkové vody a odvozené charakteristiky termokinetických součinitelů potvrdily jednoznačně závěry práce [2].

4.2 Odporové charakteristiky zkušebních vzorků

Z tab. 9 je zřejmé, že odporové charakteristiky zkušebních vzorků při průtoku vody trubkami jsou poněkud vyšší než bylo předpokládáno v [1], přičemž odchylky nejsou u obou ohřivačů stejné. Při kontrole světlosti trubiček bylo také zjištěno, že při pájení spojů s trubkovnicemi a spojů trubkovnic s vnějším pláštěm dochází k deformacím průřezu trubiček, takže bylo nutno přikročit k jejich kalibraci.

Z tab. 10 vyplývá, že na straně mezitrubkového prostoru

byly u zkušebních vzorků naměřeny poněkud nižší tlakové ztráty než v SZÚ Brno u parního ohříváče vody [2]. V tomto případě byly však u obou zkušebních vzorků zjištěny prakticky stejné charakteristiky.

5.0 Základní kritéria pro hodnocení zkušebních vzorků při vyhřívání parou

Hodnoty základních ukazatelů [2. kap. 5.1] pro vybrané trubkové varianty ohříváčů topné vody pro ústřední vytápění budov (tab. 18) jsou shrnuty na tab. 17. Z uvedených údajů je zřejmý příznivý vliv zmenšování průměru trubek na kompaktnost ohříváčů i dalších ukazatelů.

Na závěr je nutné provést vzájemné porovnání ohříváčů vody Glazer s deskovými ohříváči vody, které doznaly v současné době poměrně značného rozšíření. Hodnoty jejich základních ukazatelů jsou shrnuty na tab. 19 a 20. Z porovnání s deskovými ohříváči vody vyplývá, že ohříváče Glazer jsou z hlediska objemového a hmotnostního kritéria činné plochy výhodnější než deskové ohříváče.

6.0 Závěr

Práce se zabývá experimentálním vyšetřením a zhodnocením funkčních charakteristik stojatých parních ohříváčů vody Glazer při vyhřívání nízkotlakou a středotlakou parou.

Vybudované zkušební zařízení umožnilo současné měření funkčních charakteristik na dvou zkušebních vzorcích, přičemž jeden byl vyhříván parou a druhý teplou vodou. Zkoušky parního ohříváče byly zaměřeny na sledování vlivu výšky zaplavení trubiček kondenzátem na výkon a termokinetické charakteristiky zóny kondenzace. Zkoušky prováděné na druhém zkušebním vzorku mají význam převážně z hlediska doplnění podkladů pro nepřímou soustavu.

Výsledky zkoušek prokázaly, že

- při měření výkonových charakteristik zkušebních vzorků bylo dosaženo požadované přesnosti,
- stojaté parní ohříváče fungují i při nulovém přetlaku páry,

- zaplavení zkušebního vzorku kondenzátem nemá výrazný a jednoznačný vliv na jeho tepelný výkon (tab. 8),
- prostup tepla v zóně kondenzace vzrůstá se stoupající výškou zaplavení zkušebního vzorku. Tento parametr nepostačuje však ke korelaci dosažených výsledků (tab. 9),
- odvozené hodnoty součinitelů přestupu tepla v zóně kondenzace neodpovídají ani řádově údajům vypočteným pro dané parametry a danou konfiguraci teplosměnné plochy ze vztahů doporučovaných v odborné literatuře pro čistou páru.

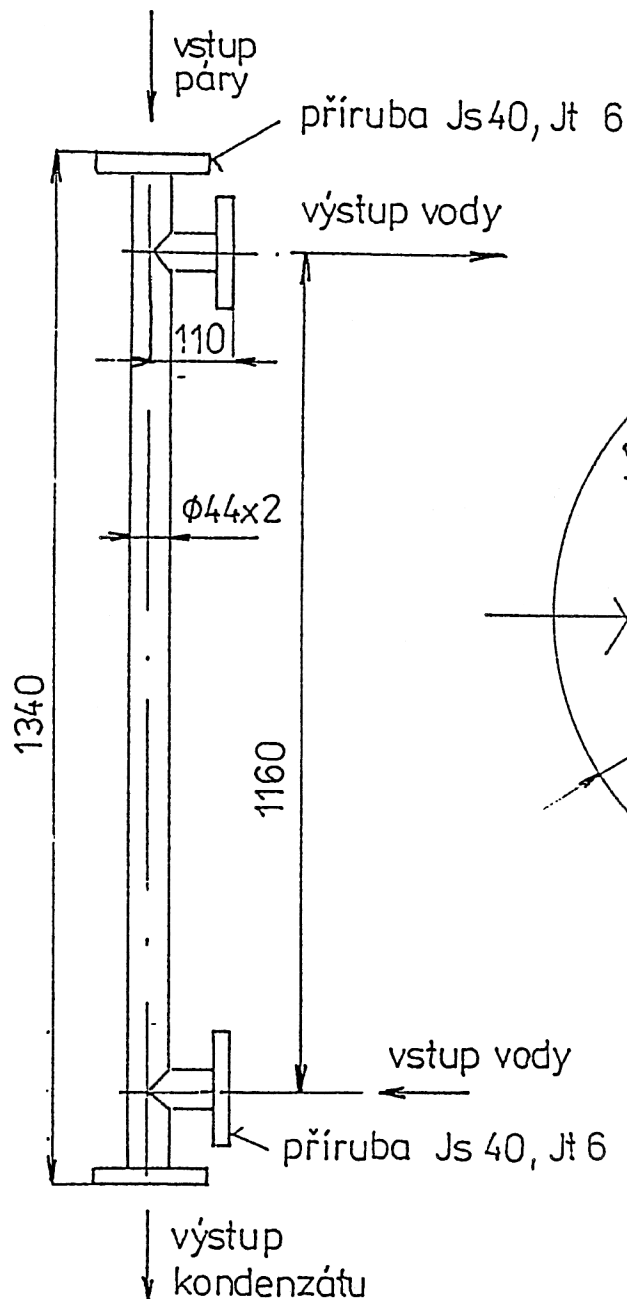
Korelaci odvozených údajů (tab. 13) lze dosáhnout jen za předpokladu, že respektujeme přítomnost inertních plynů v trubkách (konkrétně vzduchu),

- odvození hodnoty součinitelů přestupu tepla při průtoku vody trubkami a mezitrubkovým prostorem odpovídají údajům podle kritériální rovnice doporučené v [2],
- odporové charakteristiky zkušebních vzorků při průtoku vody trubkami a mezitrubkovým prostorem odpovídají rovněž výsledkům uvedeným v [2].

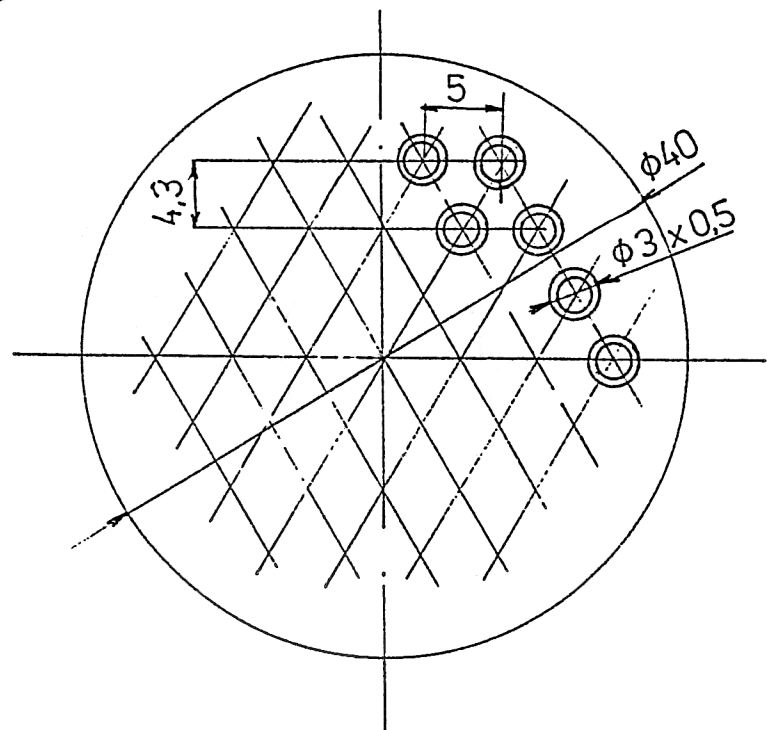
7.0 Literatura

- [1] Stýblo S.: Struhár L.: Předběžné určení termokinetických a odporových charakteristik a návrh metodiky zkoušek stojatého ohříváče vody. Zpráva SVÚSS 93-05101, 1993
- [2] Stýblo S.: Struhár L.: Experimentální vyšetření funkčních charakteristik stojatého ohříváče vody Glazer Js 40*1340 při vyhřívání vodou. Zpráva SVÚSS 93-05106, 1993
- [3] Prokop M.: Výměník stojatý parní. Závěrečný protokol o zkoušce č. 97-2006, SZÚ Brno, 1992
- [4] Stýblo S.: Sdílení tepla a přenos hmoty při kondenzaci páry ze směsi s plynem. Kandidátská disertační práce, 1962

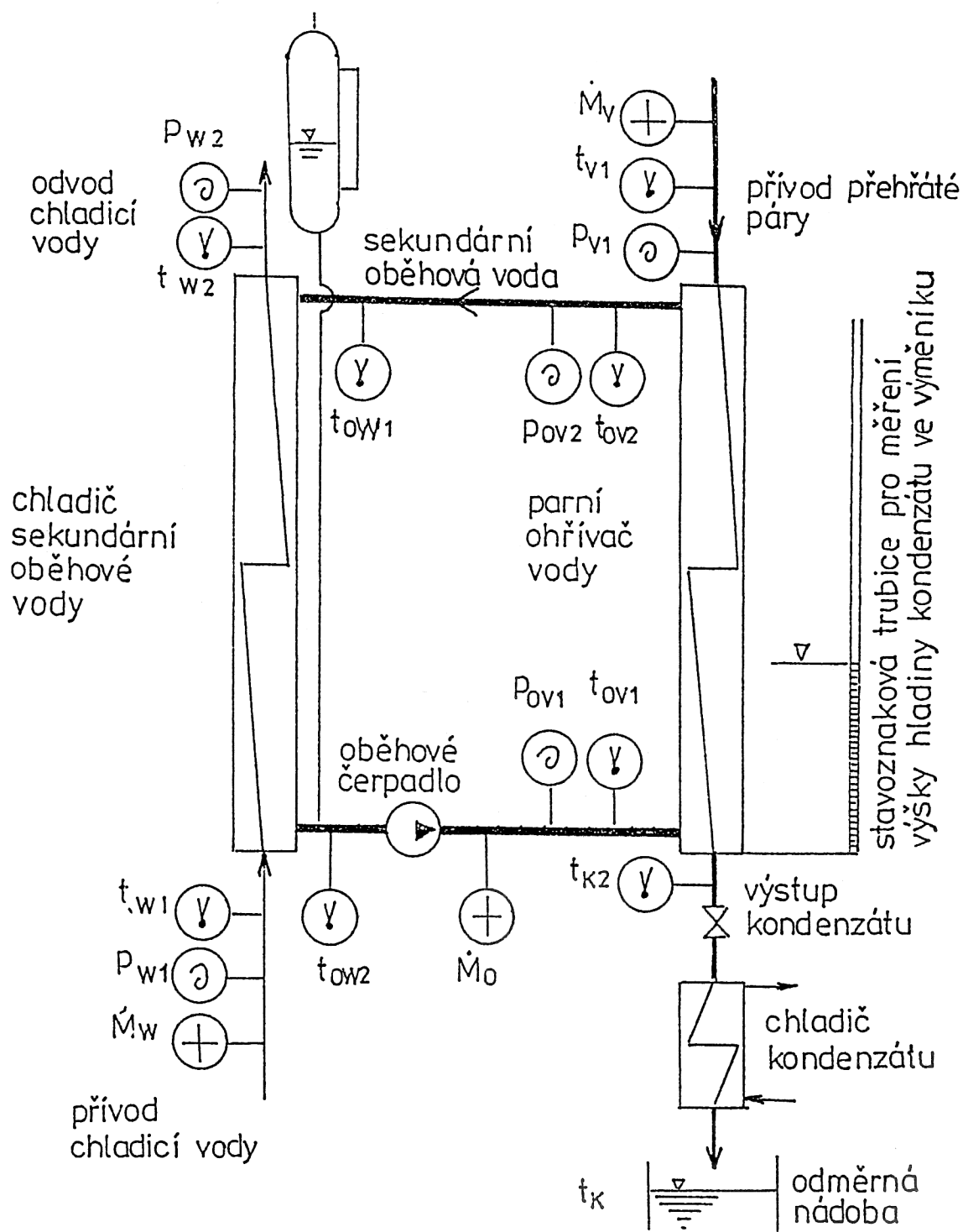
Obr. 1 Schéma výměníku

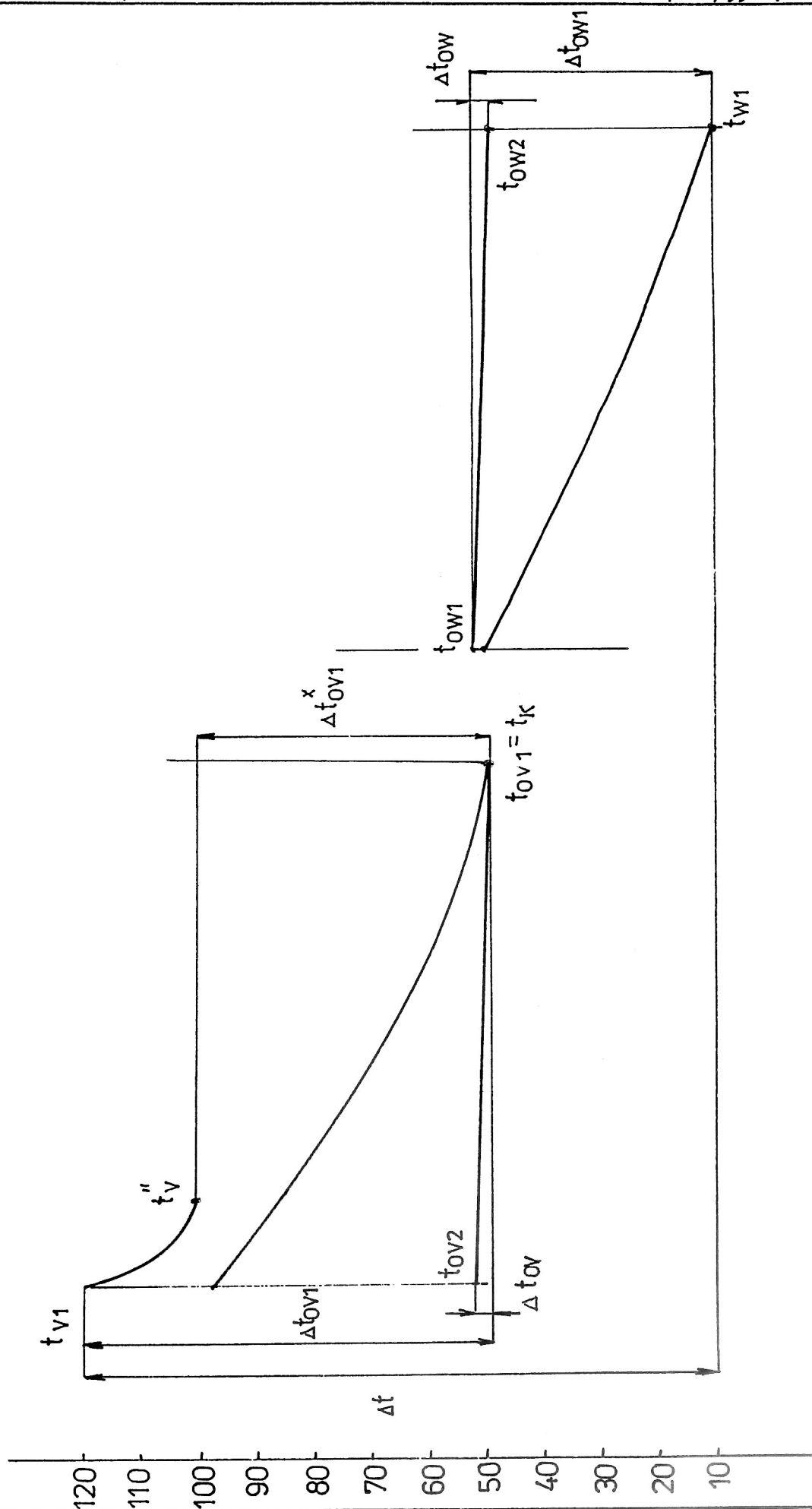


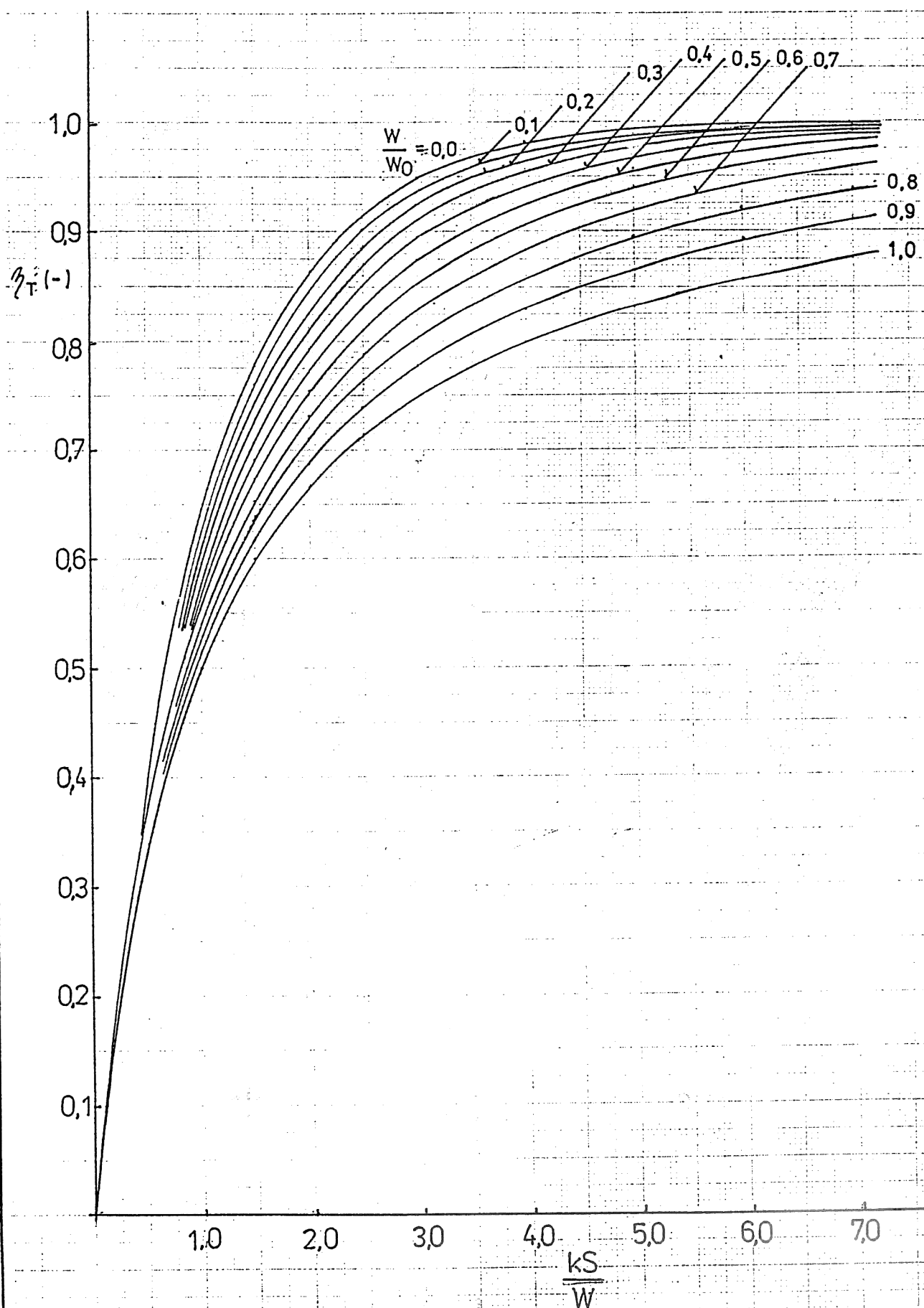
Obr. 2 Uspořádání trubek
ve svázku

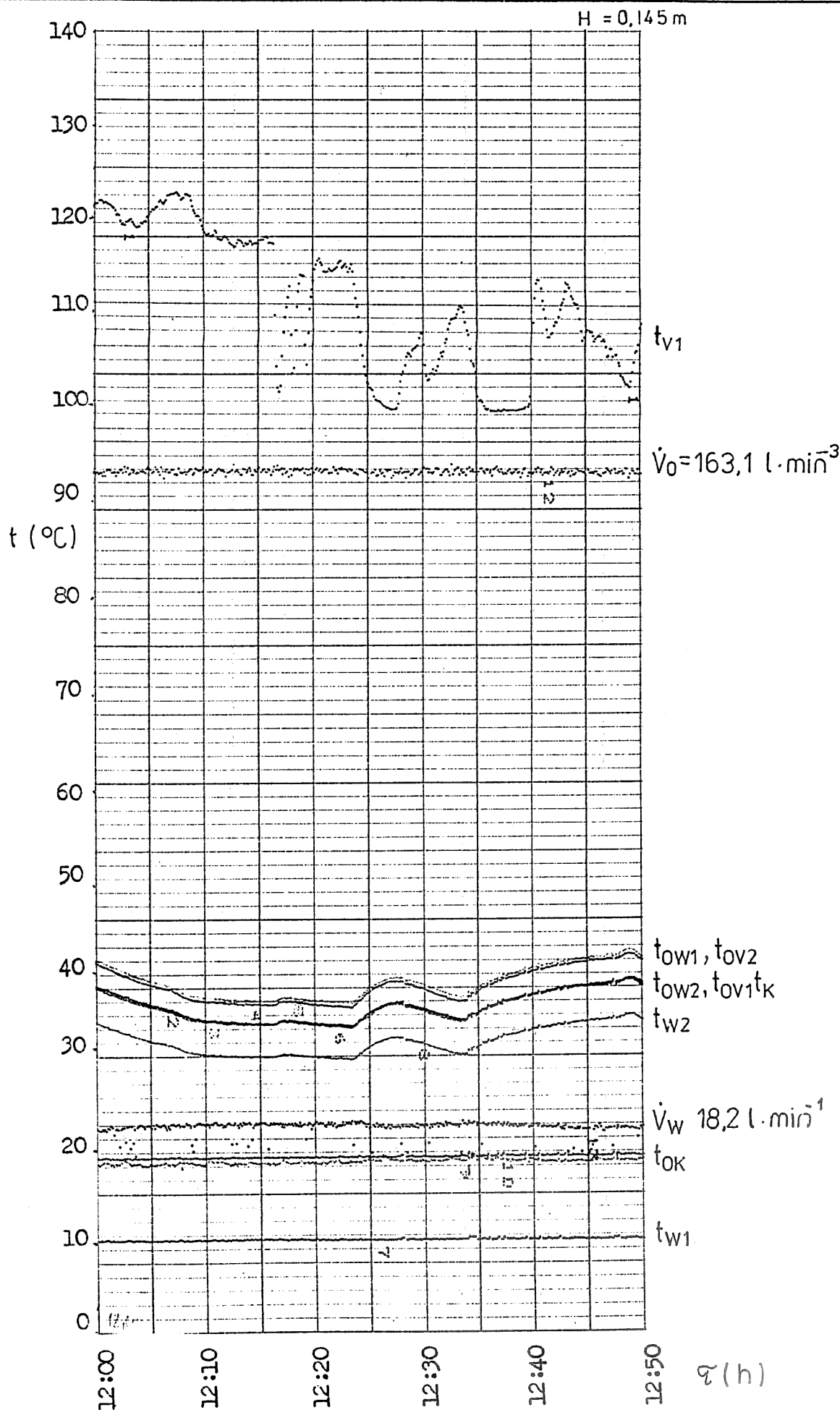


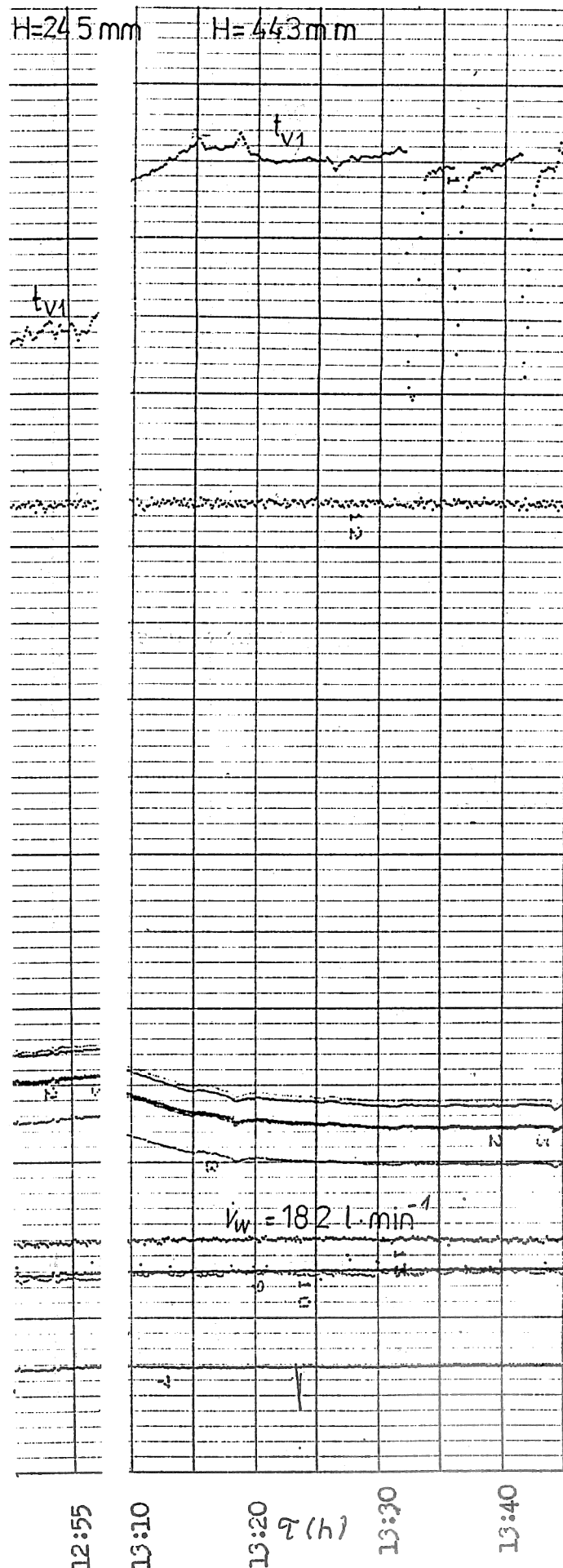
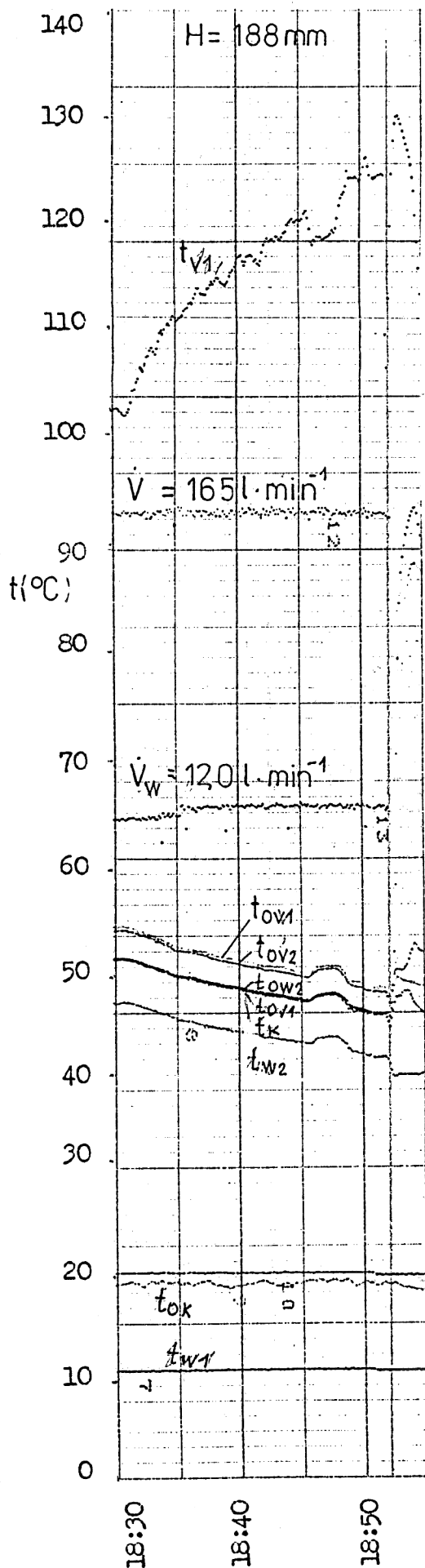
Strana	Veličina	Označení	Jednotka	Hodnota
V	Teplosměnná plocha	S_i	m^2	0,299
n	Rozměr trubek	$d_T \times \delta_T$	mm	3x0,5
i	Délka trubek	L_{TC}	m	1,30
t	Činná délka trubek	L_T	m	1,285
ř	Počet trubek	N_T	—	37
n	Počet řad trubek	N_R	—	7
i	Rozteč řad trubek	s_R	—	4,3
	Rozteč trubek	s_T	—	5,0
	Průtočný průřez	A_i	m^2	$1,162 \cdot 10^{-4}$
	Hydraulický průměr	d_{hi}	m	0,002
V	Rozměr pláště	D	mm	44x2
n	Teplosměnná plocha	S_e	m^2	0,448
ě	Průtočný průřez	A_e	m^2	$9,951 \cdot 10^{-4}$
j	Poměr ploch	S_e/S_i	—	1,5
š	Poměr průřezů	A_e/A_i	—	8,653
i	Hydraulický průměr	d_{he}	m	0,00839

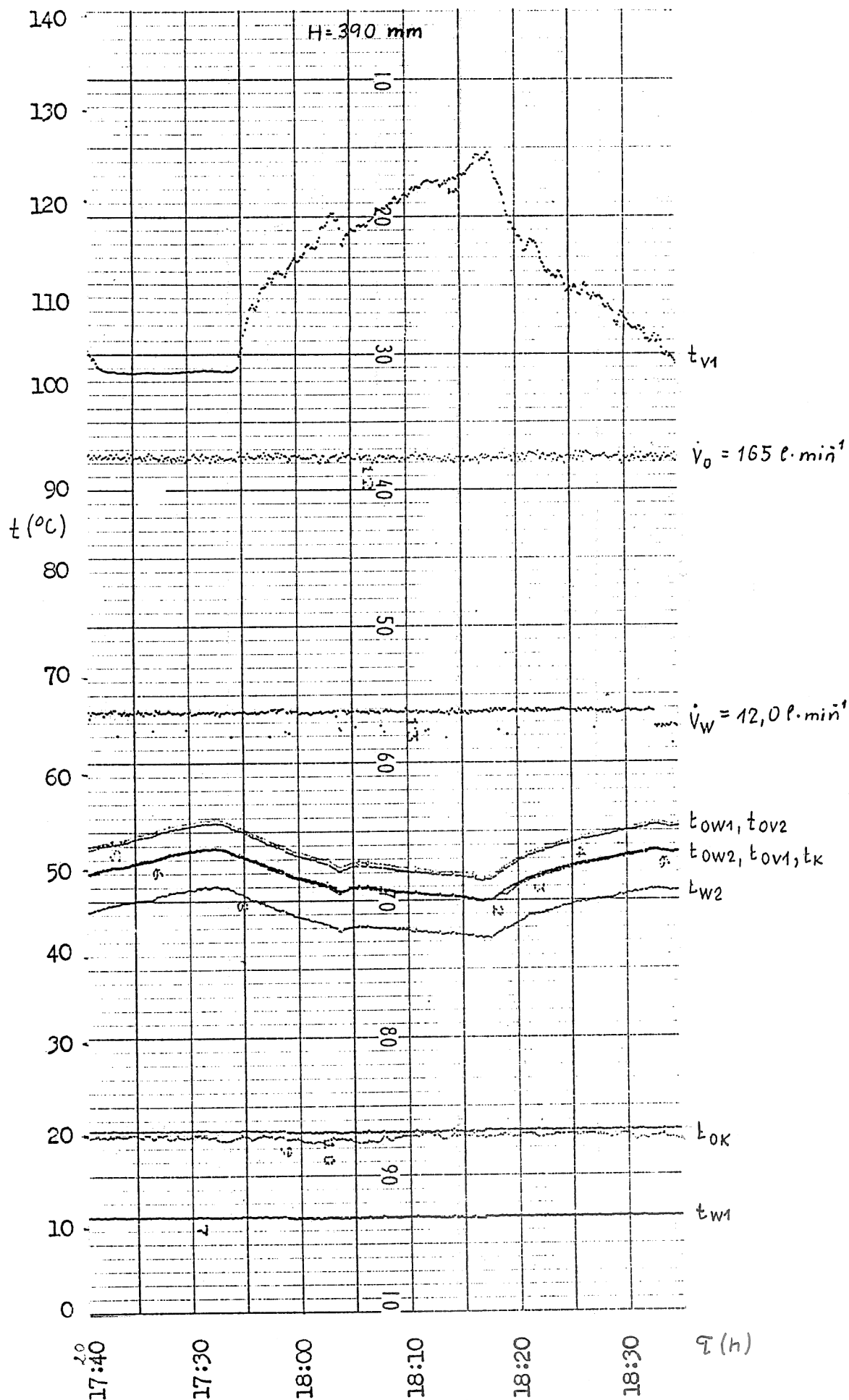


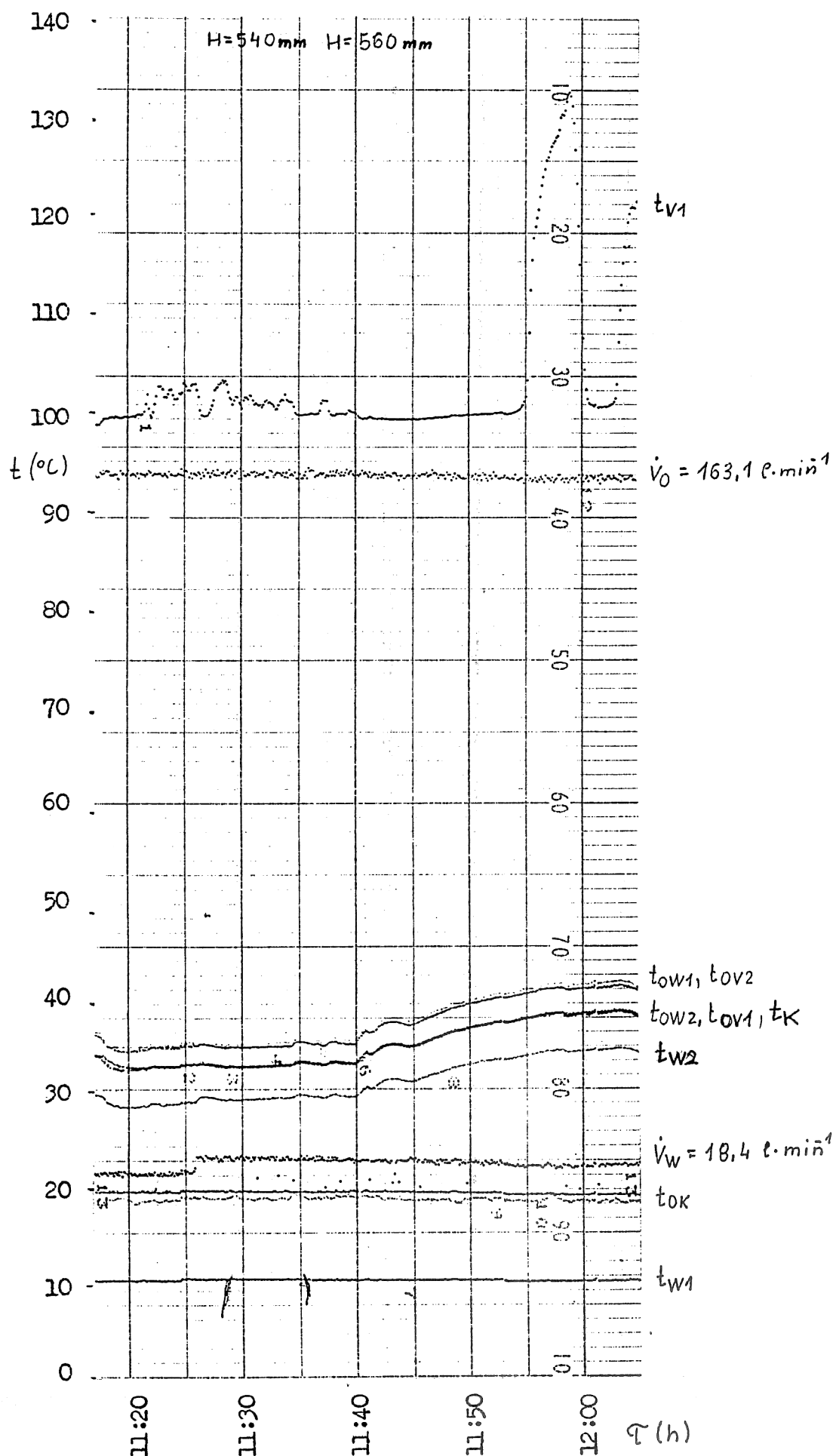


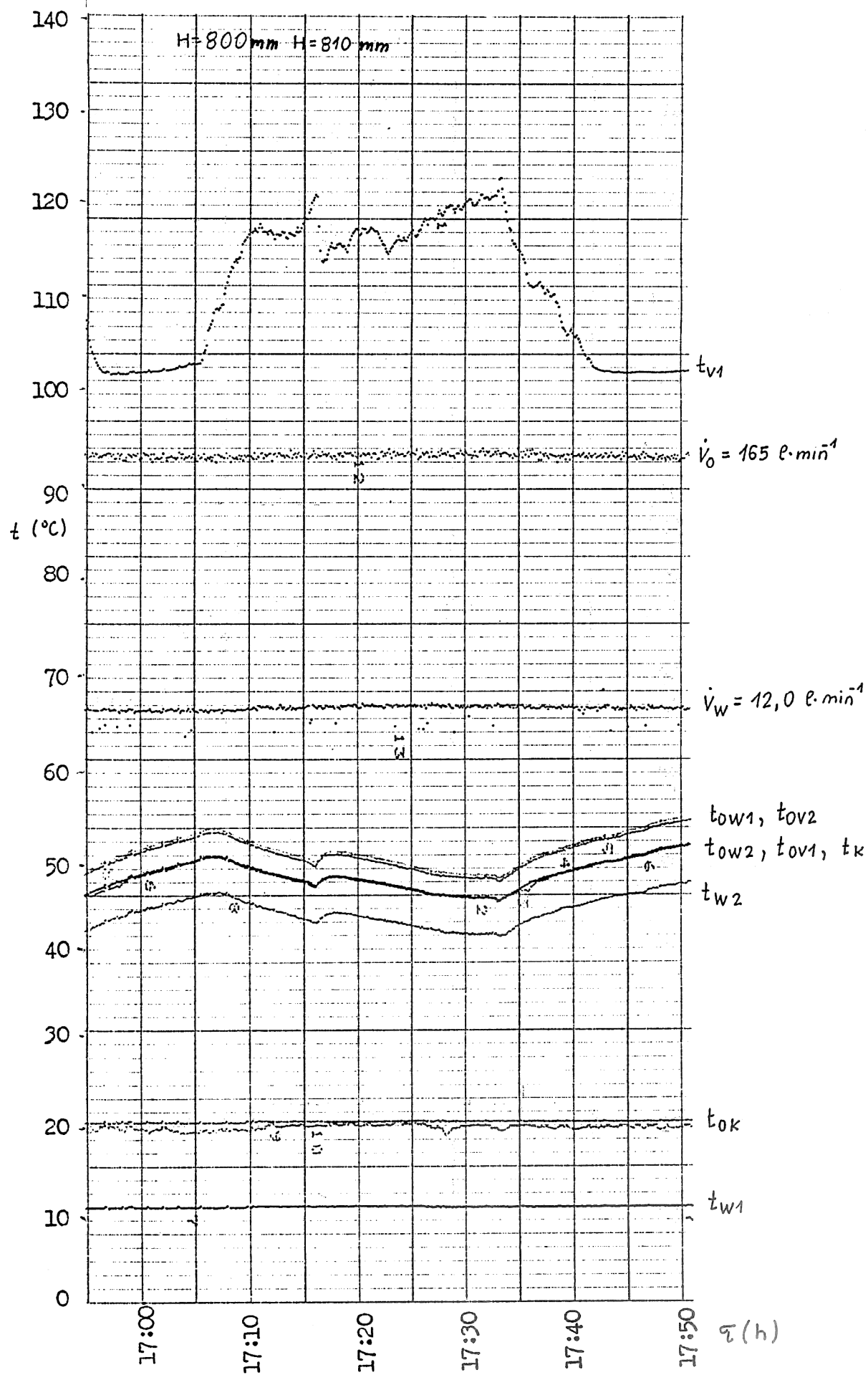


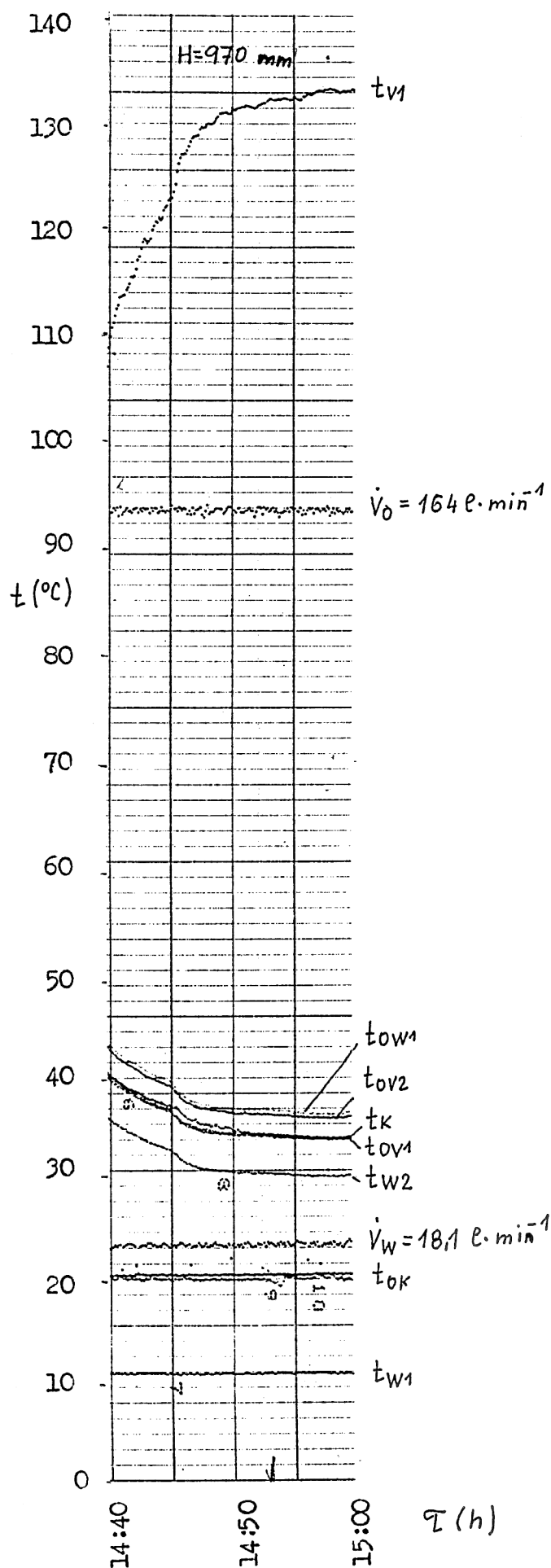


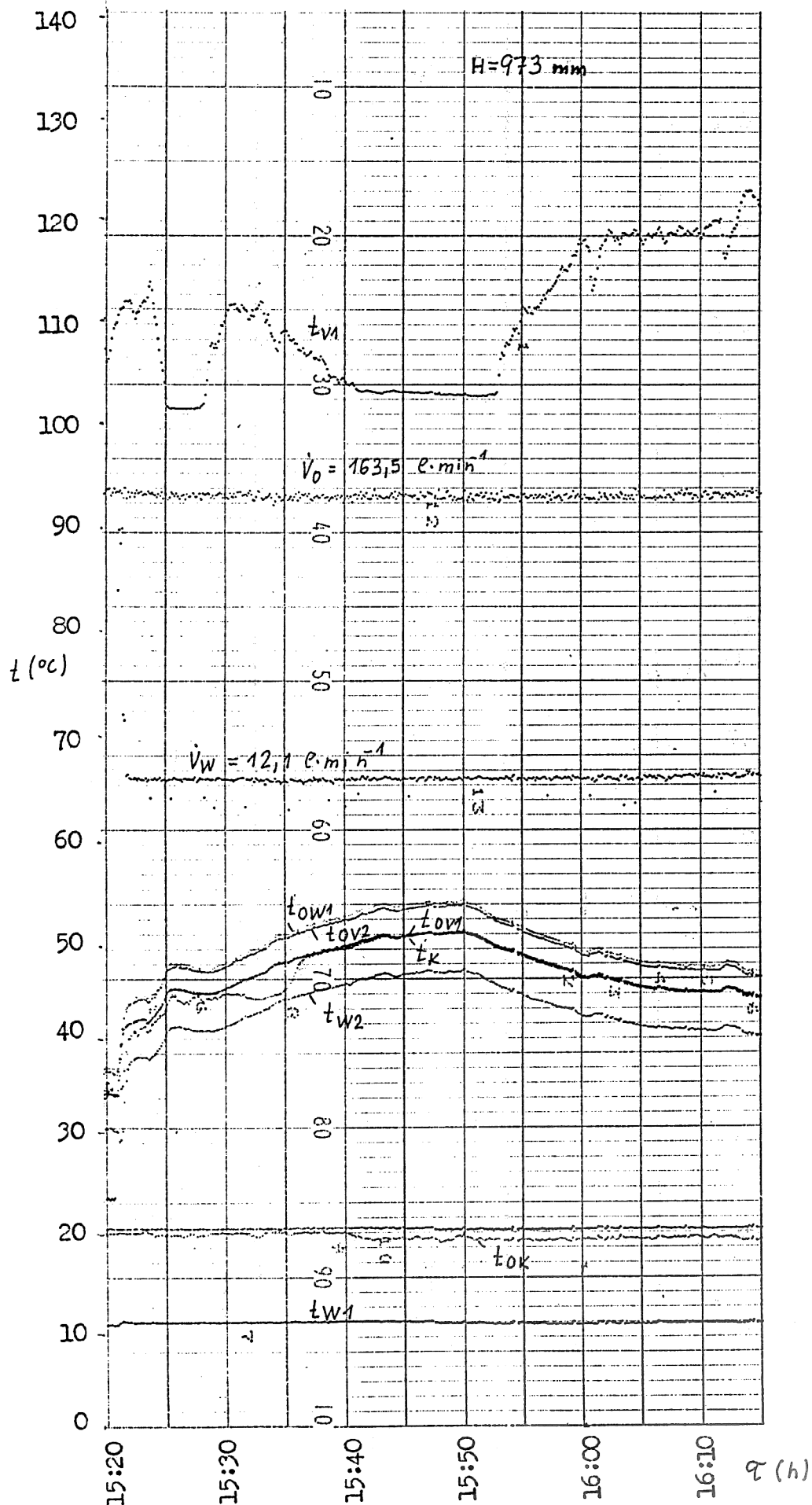


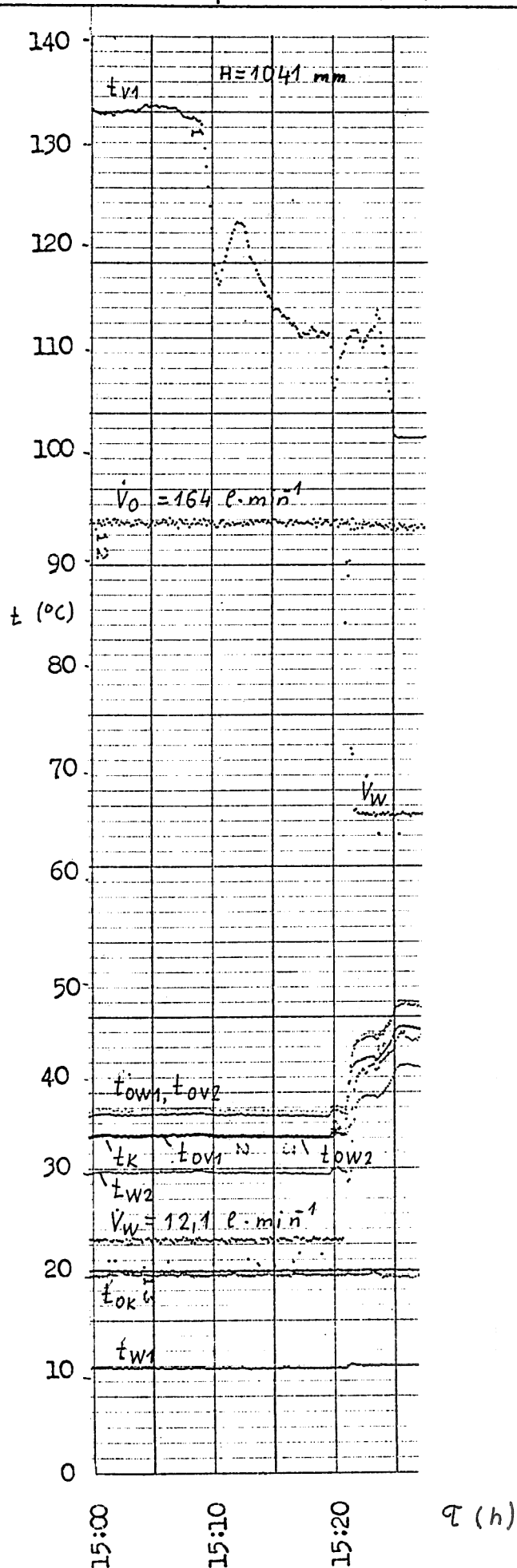






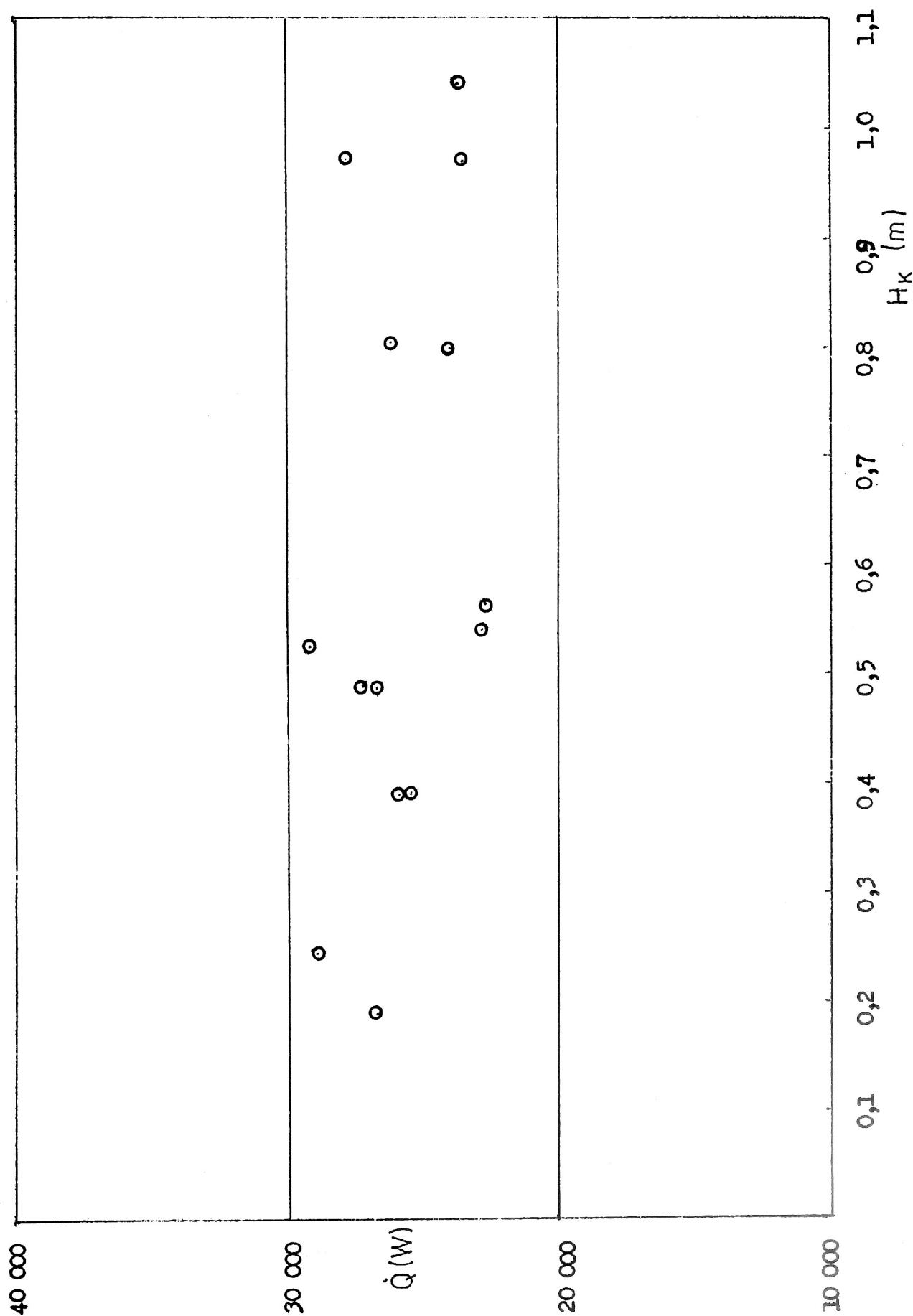


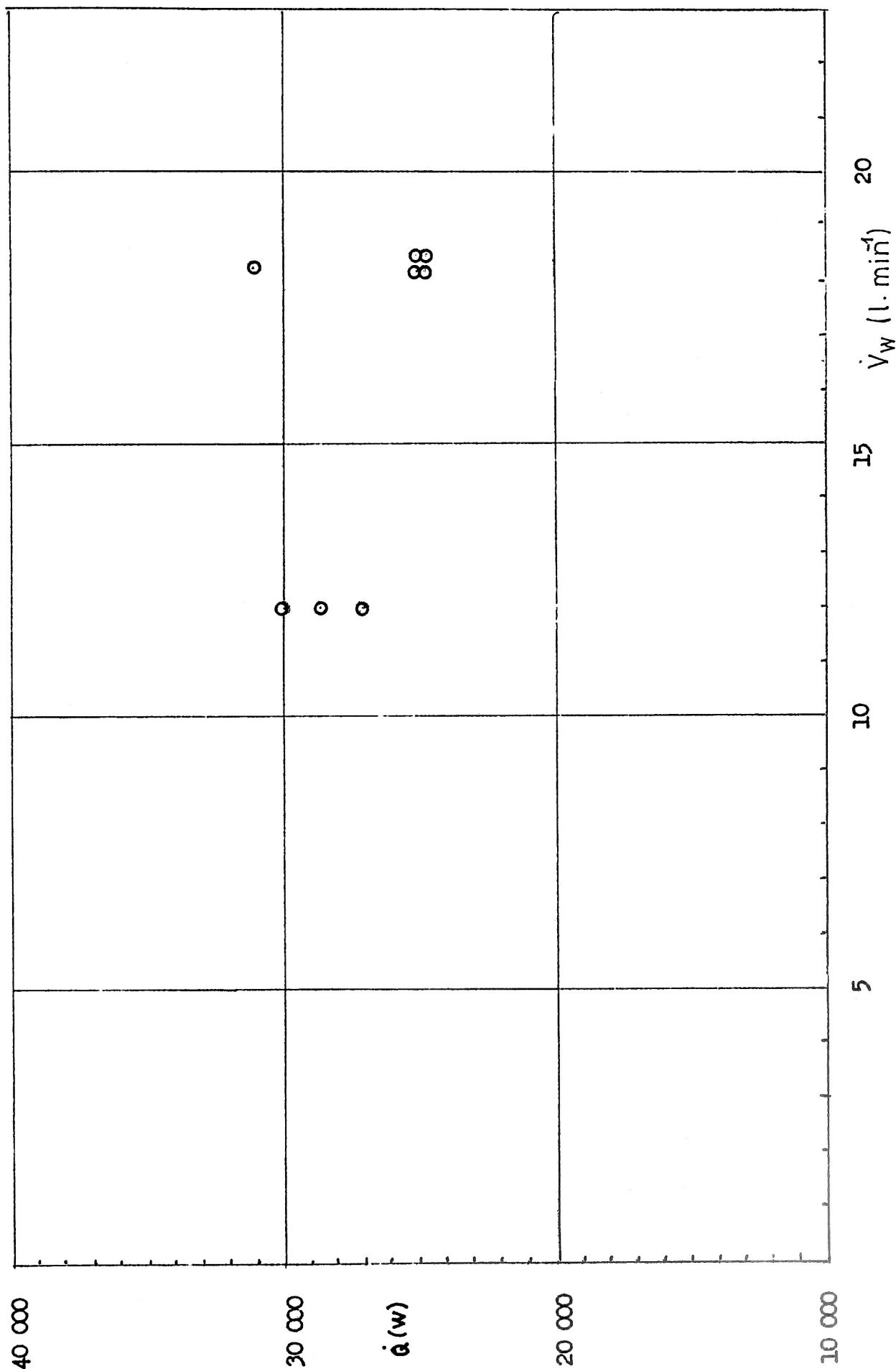




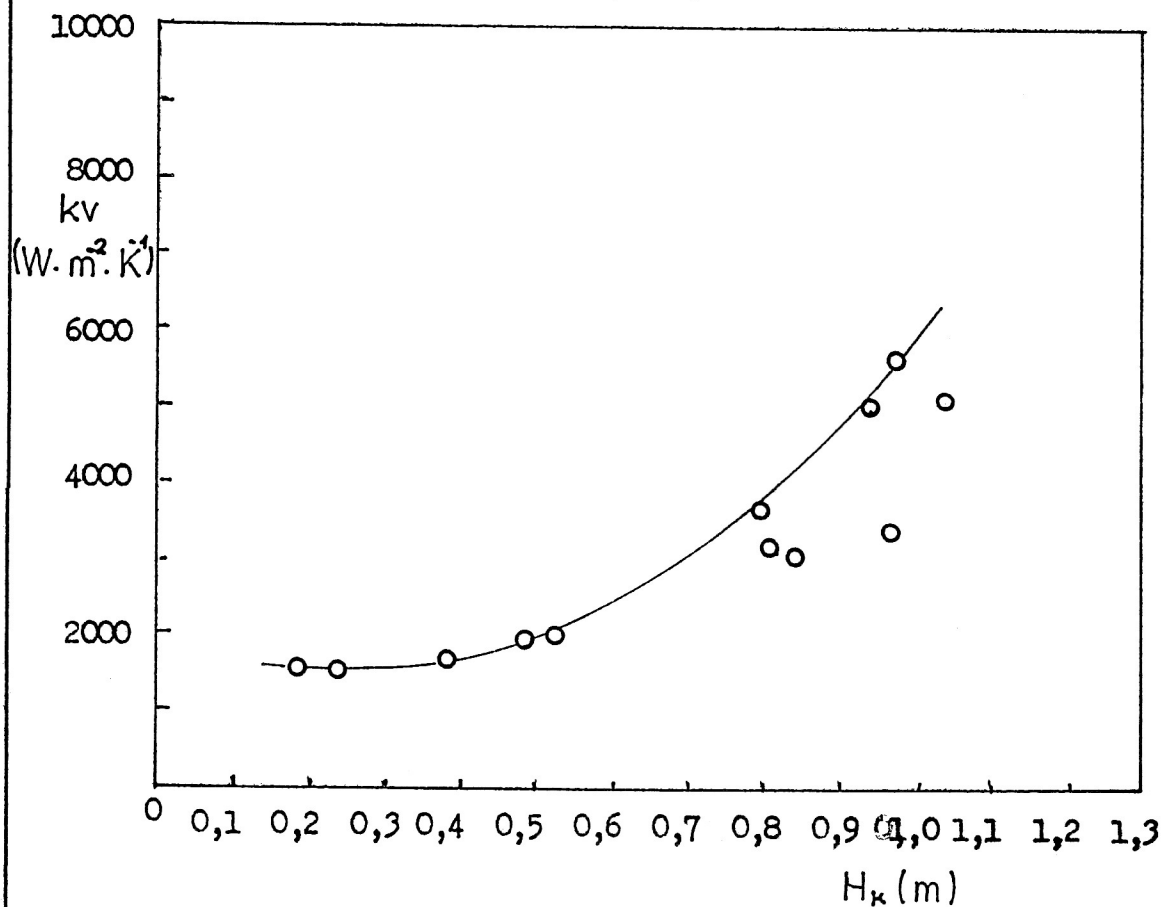
STATNI VÝZKUMNÝ ÚSTAV PRO STAVBU STROJŮ		Výběr naměřených a odvozených údajů pro stanovení výkonových a termokinetických charakteristik v zóně kondenzace										93-05107.7 a	
												DATUM XII/93	KRESLIL
21.12.93	Jednotka	18:42	12:52	18:05	17:21	14:25	11:23	11:31	16:58	17:08	14:59	15:48	15:13
H_K	(m)	0.188	0.245	117.0	116.5	107.3	103.0	100.2	102.0	113.6	131.8	103.1	117.9
P_{V1}	(Pa)	96637											
t_{V1}	(°C)	113.1	109.6	47.8	47.8	39.9	33.7	34.0	47.0	50.1	34.5	50.9	34.5
t_K	(°C)	49.4	39.4	47.8	47.8	39.9	33.7	34.0	47.0	50.1	34.5	50.9	34.5
\dot{M}_K	(kg.s ⁻¹)	0.01066	0.011386	0.01014	0.010016	0.01154	0.00898	0.00898	0.00970	0.01058	0.00905	0.01129	0.00925
\dot{M}_{W0}	(kg.s ⁻¹)	2.719	2.697	11.98	12.02	2.669	2.697	2.681	2.730	2.709	2.715	2.689	2.713
V_{WS}	(l.min ⁻¹)	12.09	18.25	47.80	47.83	39.80	33.70	34.11	47.41	50.25	34.45	51.12	34.57
t_{OV1}	(°C)	49.41	39.37	50.11	50.15	42.48	35.73	36.20	49.76	52.75	36.50	53.74	36.62
t_{OV2}	(°C)	51.86	42.03	50.36	50.40	42.81	36.02	36.49	50.00	53.02	36.81	54.00	36.94
t_{OW1}	(°C)	52.12	42.32	47.76	47.79	39.78	33.61	34.07	47.47	50.21	34.42	51.11	34.52
t_{OW2}	(°C)	49.36	39.34	11.10	11.12	10.92	10.75	10.82	11.17	11.17	10.92	11.42	10.88
t_{W1}	(°C)	11.09	10.81	43.61	43.72	35.73	30.12	30.53	43.40	46.13	30.75	47.03	30.80
t_{W2}	(°C)	49.19	35.36	19.73	20.51	20.22	19.60	19.51	20.36	20.29	20.36	19.71	20.27
t_{OK}	(°C)	20.03	19.89										
t_V''	(°C)	98.75											
i''	(J.kg ⁻¹)	2666.6.10 ³											
\dot{Q}_{WK}	(J.kg.K ⁻¹)	4178	4175	4177	4177	4175	4175.5	4175.5	4177	4178	4175.5	4178.5	4175.5
\dot{Q}_{VP}	(W)	305.9	247.0	370.1	342.0	197.3	76.3	26.0	63.0	102.6	598.2	98.2	359.2
\dot{Q}_V	(W)	26225.8	28488.9	25014.7	24708.8	28850.2	22682.4	22667.4	23961.7	25999.4	22829.0	27704.7	23333.5
\dot{Q}_{VC}	(W)	26531.7	28735.9	25384.8	25050.8	29047.5	22758.7	22693.4	24024.7	26102.0	23427.2	27802.9	23692.7
t_{WM}	(°C)	28.14	23.08	27.35	27.42	23.32	20.42	20.67	27.28	28.65	20.83	29.22	21.09
ρ_{WM}	(kg.m ⁻³)	996	997	996	996	997	997.5	997.5	996	996	997.5	995.5	997
\dot{Q}_{WM}	(J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	4176	4177	4176	4176	4177	4177	4177	4176	4176	4177	4177	4176
W_{W1}	(W.K ⁻¹)	838.5	1267	830.8	833.2	1268.2	1280.1	1280.7	834.6	837.6	1259.1	838.8	1268.8
Δt_W	(°C)	34.1	24.55	32.51	32.59	24.81	19.37	19.71	32.23	34.96	19.83	35.61	19.92
\dot{Q}_W	(W)	28592.8	31105.8	27012.4	27157.1	31464.5	24795.3	25243.2	26900.2	29282.9	24965.8	29841.8	25115.9
$\dot{Q}_{W-0_{VC}}$	(W)	2061.1	2369.9	1627.6	2106.3	2417	2036.6	2549.8	2875.5	3080	1538.6	2038.9	1423.2
$\dot{Q}_{W-0_{VC}}/\dot{Q}_{WC}$	(%)	7.8	8.25	6.4	8.4	8.3	8.95	10.2	11.9	12.18	6.56	7.33	6.00
t_{OVM}	(°C)	50.6	40.7	48.9	49.0	41.14	39.7	55.16	48.6	51.5	35.5	52.43	35.6
ρ_{OVM}	(kg.m ⁻³)	988	992	988	988	992	992	986	989	987	994	987	994

Veličina	Jednotka	21.12.93												STATNI VÝZKUMNÝ ÚSTAV PRO STAVBU STROJŮ												Výběr naměřených a odvozených údajů pro stanovení výkonových a termokinetických charakteristik v zóně kondenzace				73-05107.7b	
		18:42	12:52	18:05	17:21	14:25	11:23	11:31	16:58	17:08	14:59	15:48	15:13	DATUM XII/93	KRESLIL																
C _{ovm}	(J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	4178	4175	4177	4177	4175	4175	4178	4178	4175	4178	4175	15:13																		
W _{ov}	(W.K ⁻¹)	11360	11260	11361	11320	11143	11260	11204	11406	11335	11324	11327	4175																		
Q _{ov}	(W)	27832	29951	26245	26148	29863	22850	23360	26804	23237	29401	23899	11324																		
q _{ov} -q _{oc} /q _{vc}	(%)	-4.9	-4.2	-3.36	-4.38	-2.81	-0.435	-2.94	-11.56	0.80	-5.9	0.87	29401																		
Δt _{ov}	(°C)	2.45	2.66	2.31	2.31	2.68	2.03	2.085	2.35	2.05	2.62	2.05	0.80																		
Δt _{v1}	(°C)	47.59	49.2	49.6	47.83	57.6	63.7	63.29	49.99	2.05	46.16	2.05	2.62																		
η _{ov}	(-)	0.05148	0.04695	0.04657	0.04846	0.04653	0.03187	0.033022	0.04701	0.0532	0.05418	0.03263	0.0532																		
S	(m ²)	0.3835	0.3626	0.31203	0.2772	0.2639	0.2597	0.25102	0.1691	0.1656	0.1088	0.08716	0.1656																		
k _v	(W.m ⁻² .K ⁻¹)	1528	1474.1	1699	1990	2007	1397	14975	3164.8	3644.9	5669.1	4240	3644.9																		
α _{ov}	(W.m ⁻² .K ⁻¹)	1717.6	1663.6	1995.8	2351.8	2375.3	1566.2	1693.5	4123.7	5073	10091	8996.3	5073																		
α _{vc}	(W.m ⁻² .K ⁻¹)	54.3	45.16	53.2	54.2	47.2	44.0	58.3	57.78	61.8	67.82	54.24	61.8																		
t _{ST}	(°C)	73.72	67.97	73.06	71.40	69.24	67.20	76.18	75.07	78.2	81.72	73.72	78.2																		
t _{AVm}	(°C)	15223	9662	14434	15190	10722	9100	18407	17962	21641	28561	15000	21641																		
P _{VST}	(Pa)	42792	36634	41990	42758	37917	35934	45055	45441	48742	54367	42363	48742																		
P _{Vvm}	(Pa)	0.5367	0.4007	0.5183	0.5359	0.4330	0.3959	0.5921	0.6021	0.6947	0.8895	0.5620	0.6947																		
x _m	(-)	1309.4	1269.6	1304.5	1310.9	1270.3	1254.2	1331.0	1330.6	1364.4	1421.4	1307.5	1364.4																		
C _{AVm}	(J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	0.7508	0.78697	0.75524	0.7560	0.7791	0.7917	0.7373	0.7360	0.71934	0.6917	0.73245	0.71934																		
λ _{AVm}	(kg.m ⁻³)	0.02708	0.025422	0.02698	0.02702	0.02638	0.02531	0.02747	0.02748	0.02855	0.02732	0.02702	0.02855																		
Q _{AVm}	(m ² .s ⁻¹).10 ⁵	2.754	2.544	2.738	2.726	2.665	2.549	2.799	2.807	2.909	2.779	2.747	2.909																		
D	(m ² .s ⁻¹).10 ⁵	3.646	3.548	3.646	3.614	3.572	3.590	3.703	3.684	3.744	3.813	3.6587	3.744																		
L	(m ² .s ⁻¹).10 ⁻⁶	2.392	2.420	2.395	2.392	2.415	2.425	2.380	2.380	2.370	2.310	2.392	2.370																		
α _{vc}	(-)	37.4	31.9	36.2	36.9	34.24	30.17	29.1	40.3	44.1	31.7	34.5	44.1																		
α _{vk}	(W.m ⁻² .K ⁻¹)	45.9	52.15	55.13	63.7	69.37	51.9	58.1	102.3	115.0	195.2	236.4	115.0																		
NU _{VK}	(-)	3.31	4.103	4.005	4.715	5.2593	4.10	4.23	37.445	8.056	14.28	17.50	8.056																		
NU _{VK} Pr ^{-0.4,3}	(-)	3.856	4.783	4.669	5.496	6.131	4.80	4.93	8.679	9.391	16.65	20.40	9.391																		
Re	(-)	2300	2600	2600	2800	3000	2750	2850	3600	3700	5300	6500	3700																		
W _{AVm}	(m.s ⁻¹)	31.85	36.0	36.0	38.70	41.55	38.0	39.44	49.824	52.592	73.3	89.96	52.592																		
W _{V1}	(m.s ⁻¹)	155.3	166.1	147.9	146.1	160.3	131.0	131.0	141.5	154.3	164.7	134.9	154.3																		
W _{AVm} W _{V1}	(-)	0.205	0.217	0.243	0.264	0.258	0.290	0.300	0.352	0.341	0.445	0.667	0.341																		

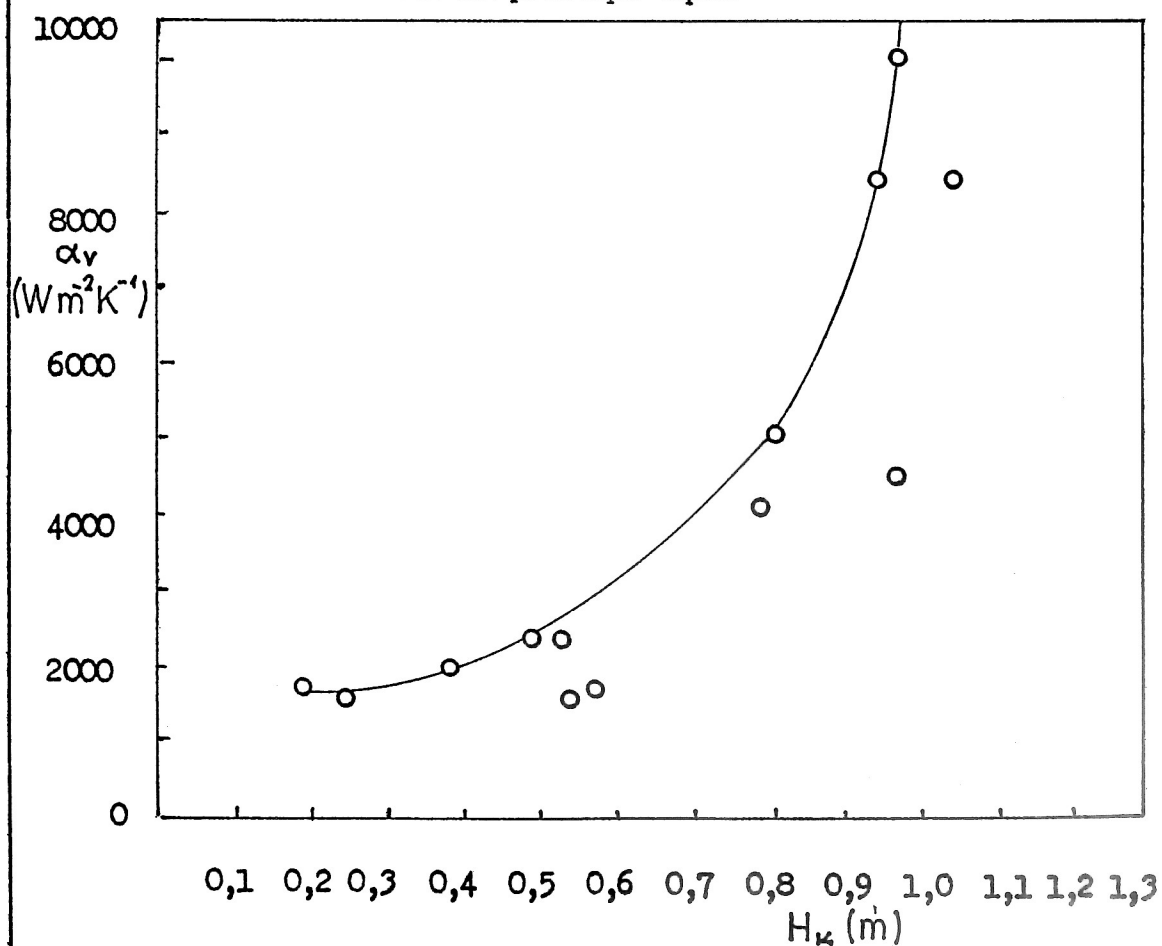


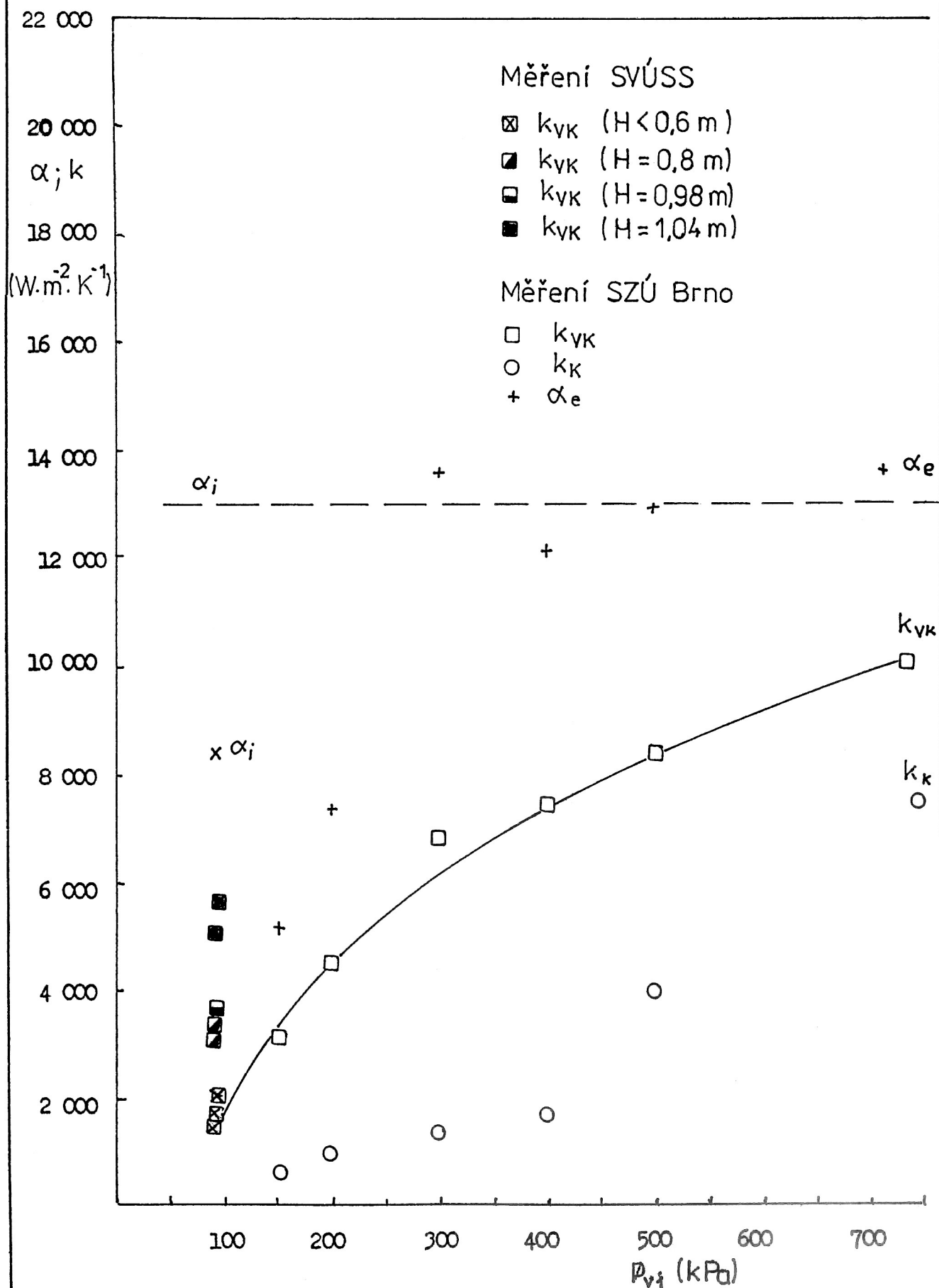


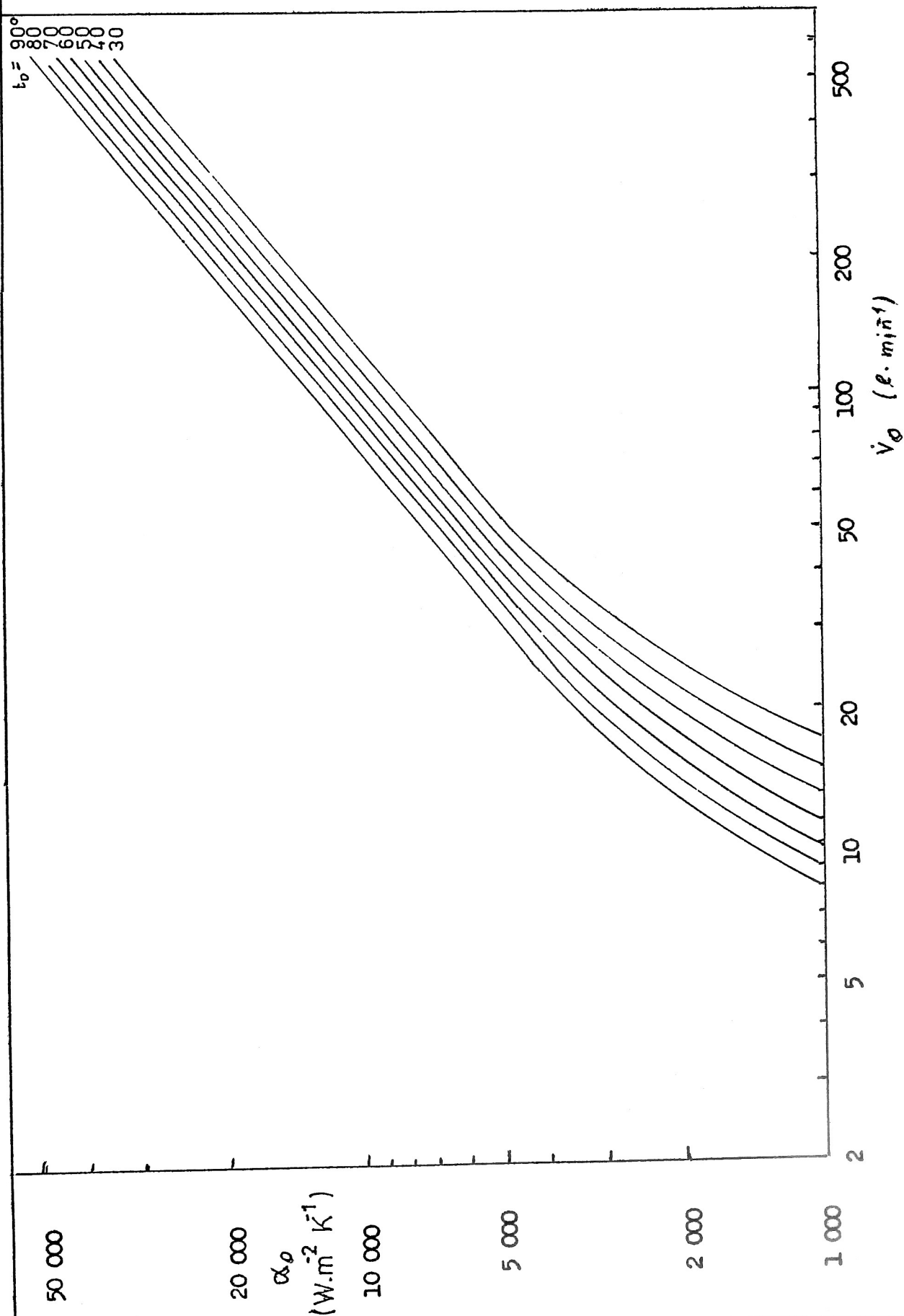
obr. 1 Součinitel prostupu tepla

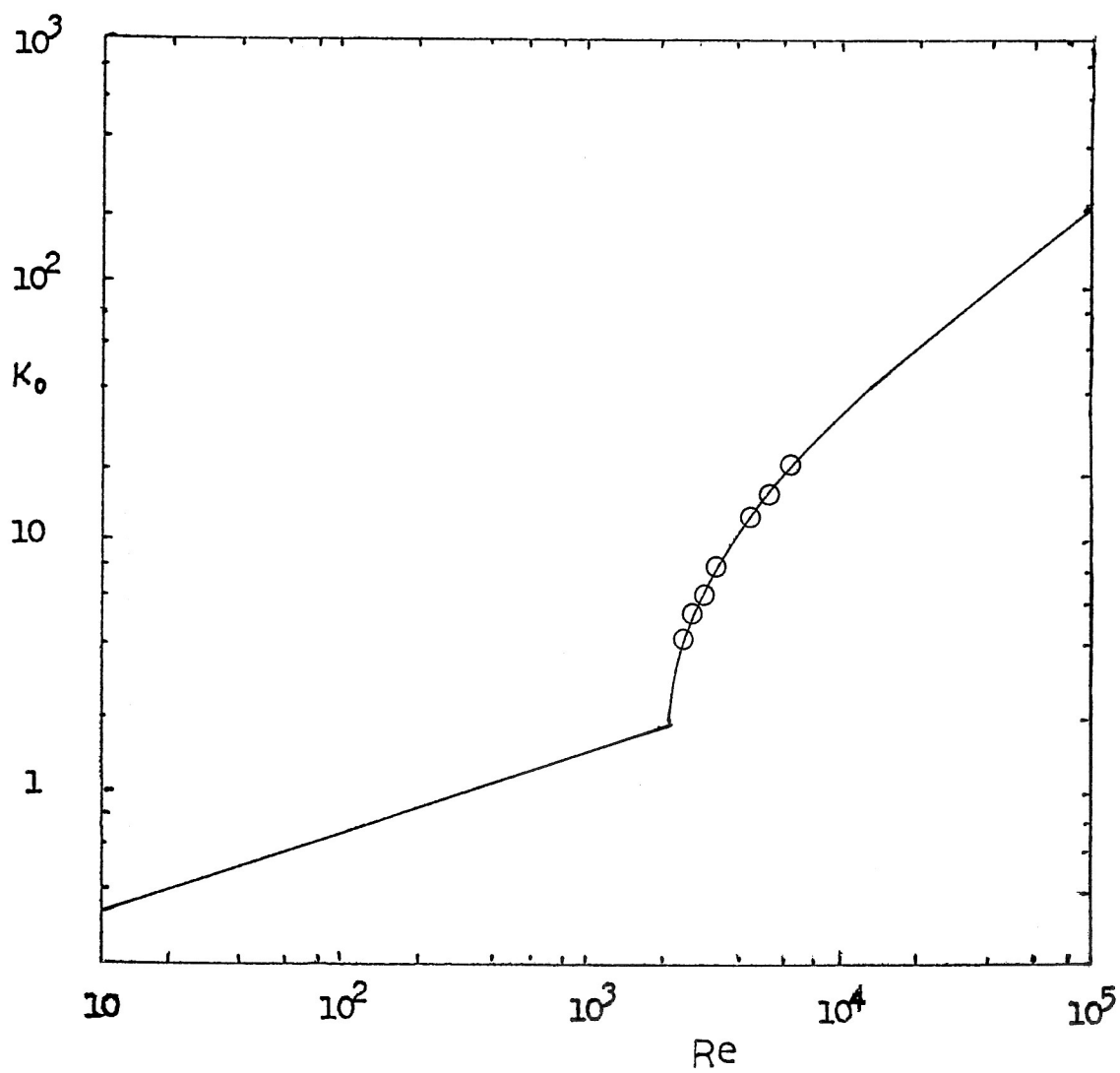


obr. 2 Součinitel přestupu tepla







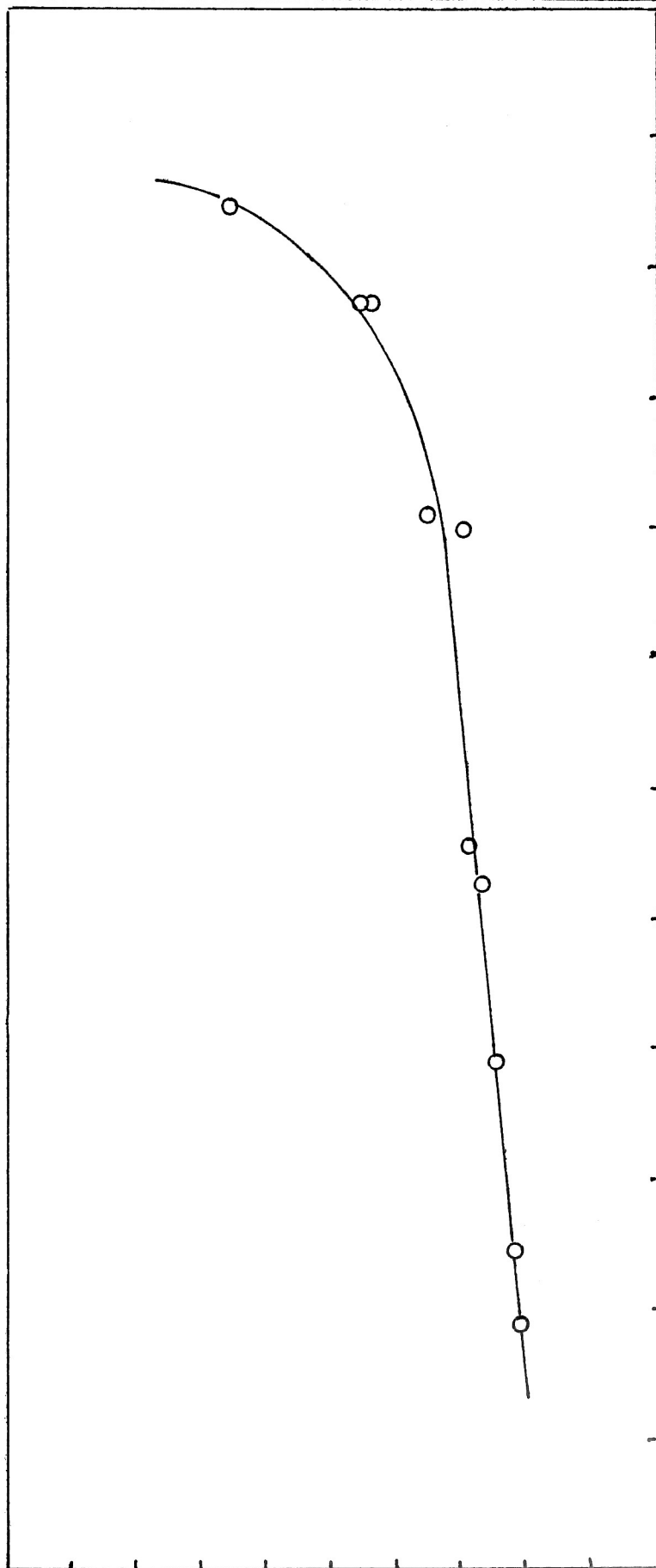


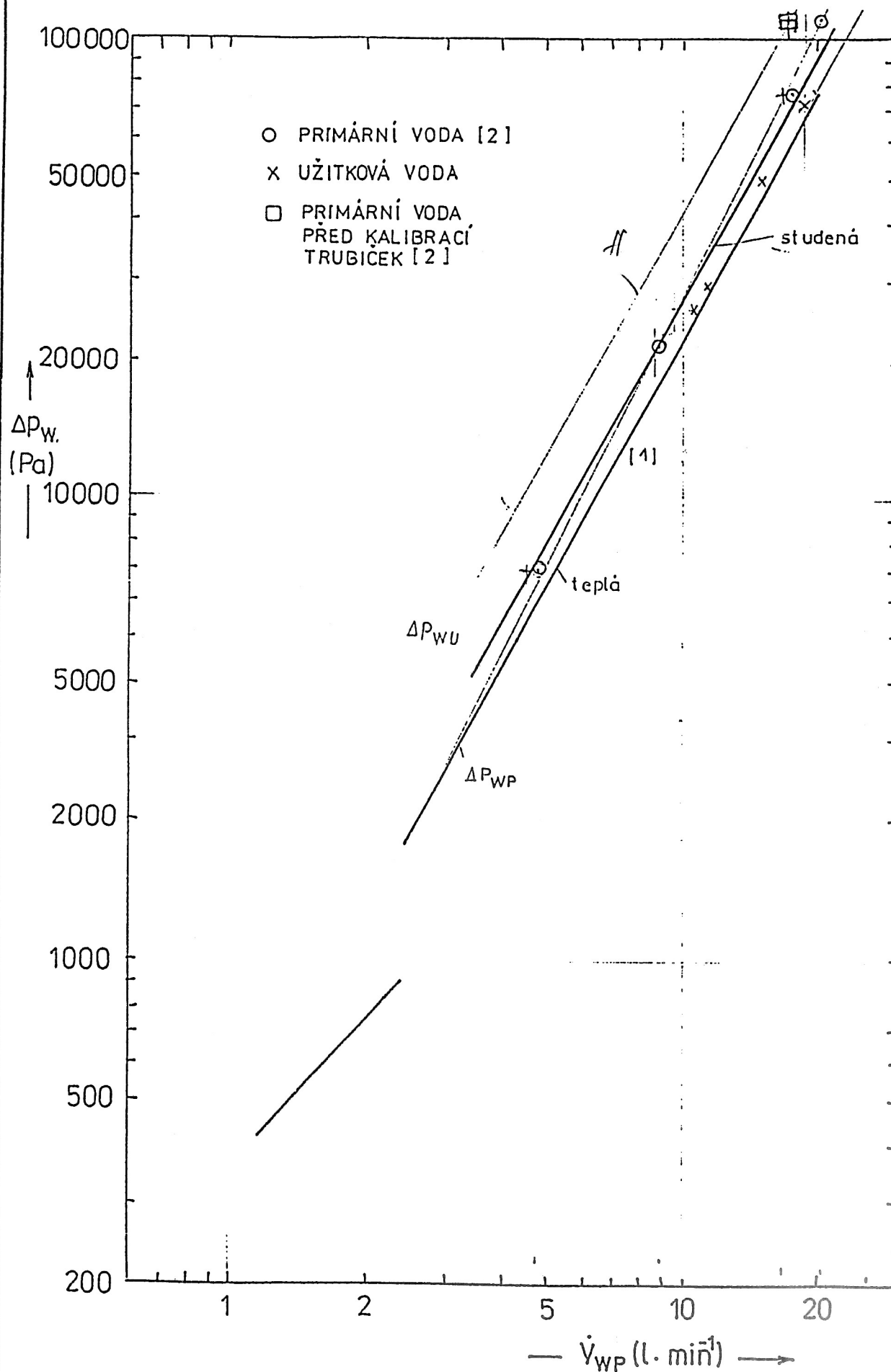
$\frac{W_{AV} m}{W_{V1}}$

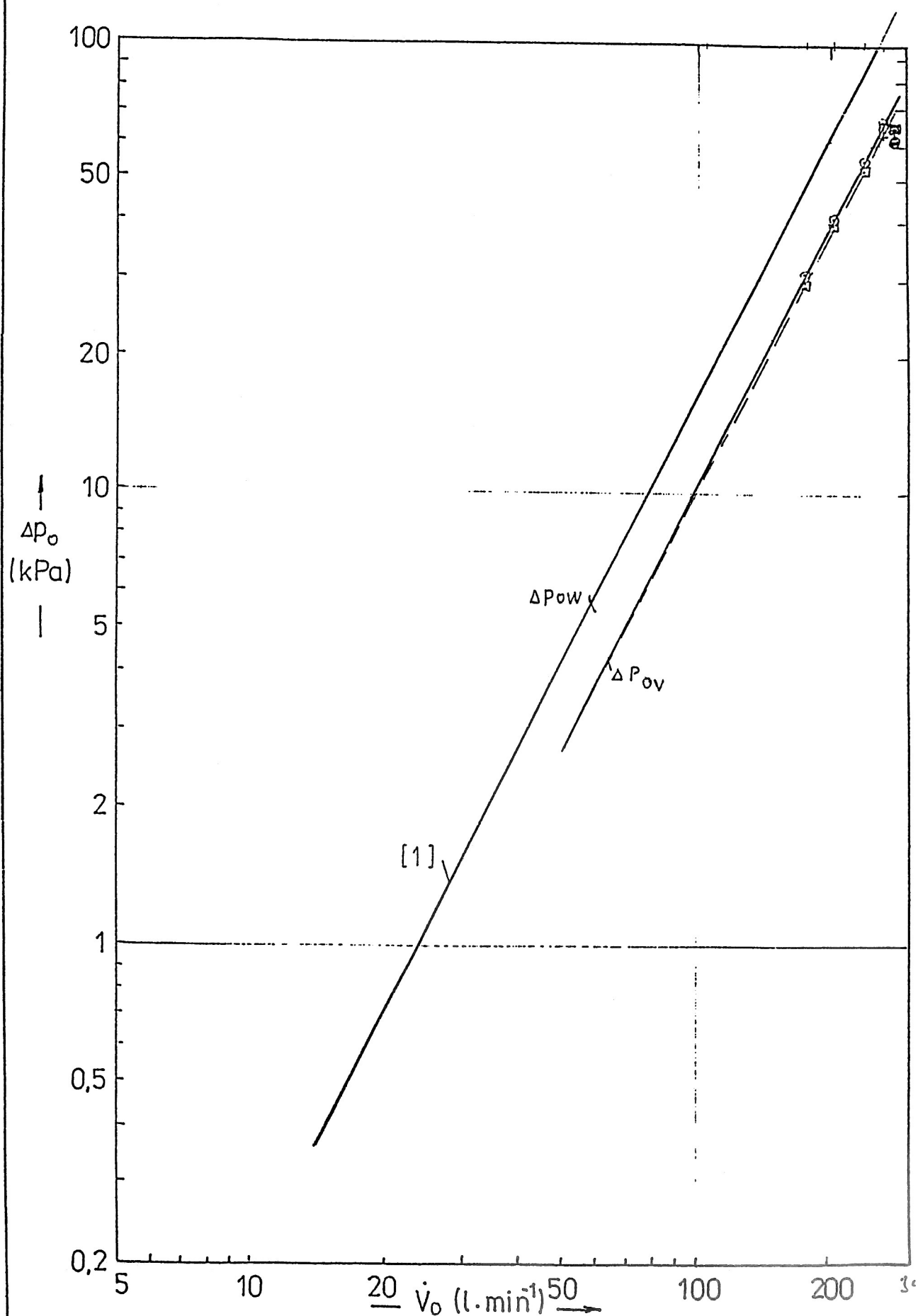
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0

$H_k (m)$

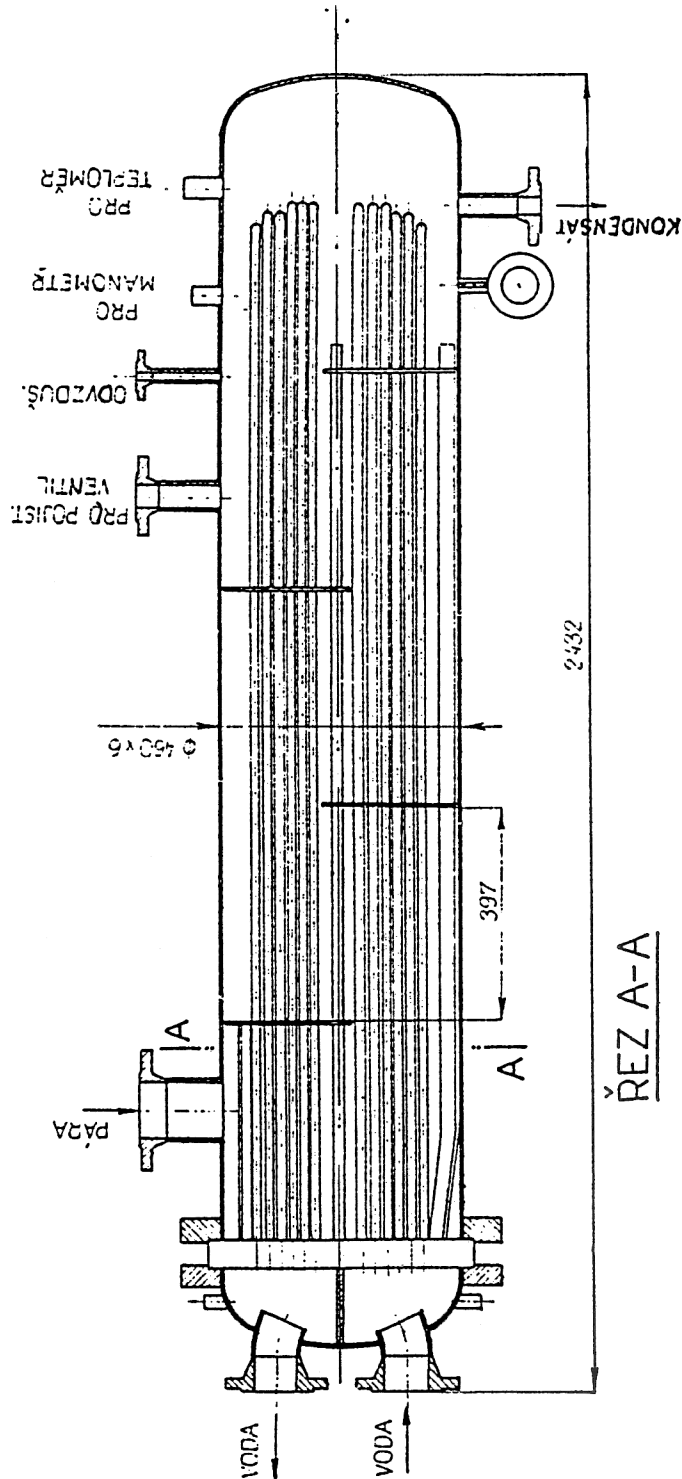
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0 1,1



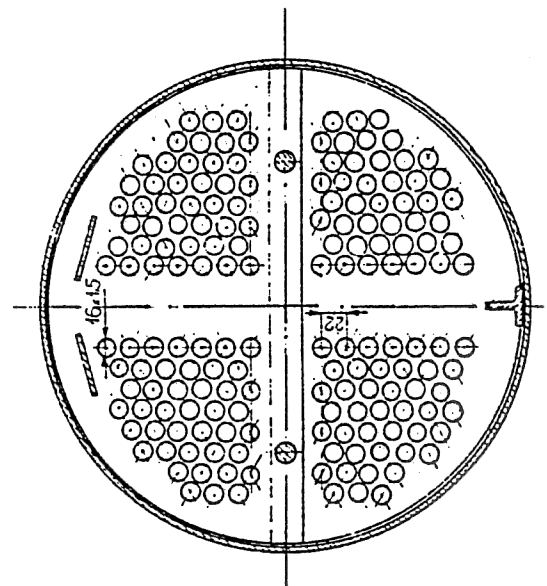




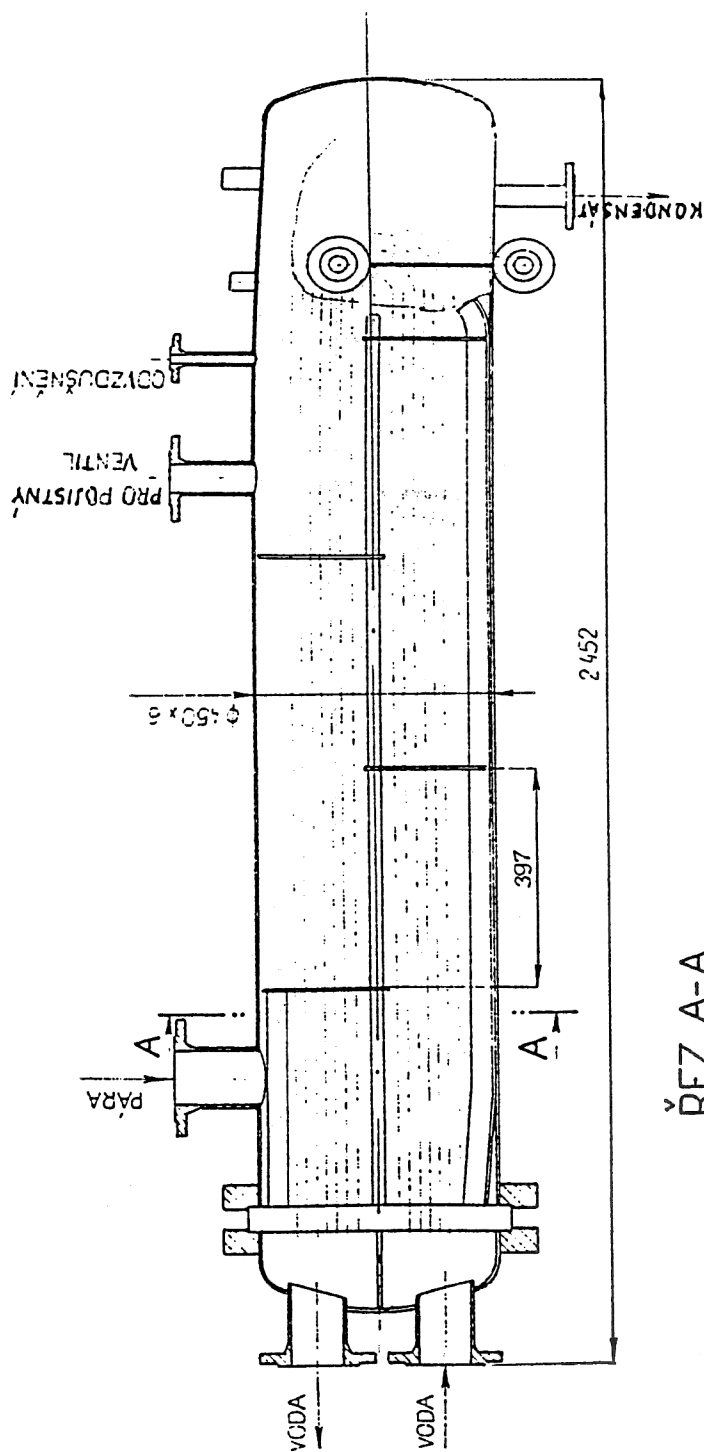
pára-voda Glazer Js 40x1340	(kPa)	50 100 200 300 400 730	3x0.5	1300	-	-	0.448	1.50	0.00163	0.00807	1.77	9.7	1006	1202	256.7	51.0	4648 5806 8076 7857 8455 10503	1193.2 1511.0 2073.2 2017.0 2170.4 2696.0	241 305 418 407 437 544	1098 1331 1909 1057 1938 2483	200 254 348 333 384 453
pára-voda 1 tahy tab. 18a	(kPa)	50 100 150	16x1.5	3780	-	-	15.93	1.23	0.315	0.415	317	718	1006	1730	50.6	38.4	2000 3400 4000	101.2 172.0 202.4	77 131 154	101 171 201	44 76 89
pára-voda 2 tahy tab. 18b	(kPa)	40 60 80	16x1.5	3570	-	-	17.45	1.23	0.301	0.402	334	731	1110	1818	58.0	43.4	2200 3000 3800	127.6 174.0 220.4	96 130 165	115 157 199	53 72 91



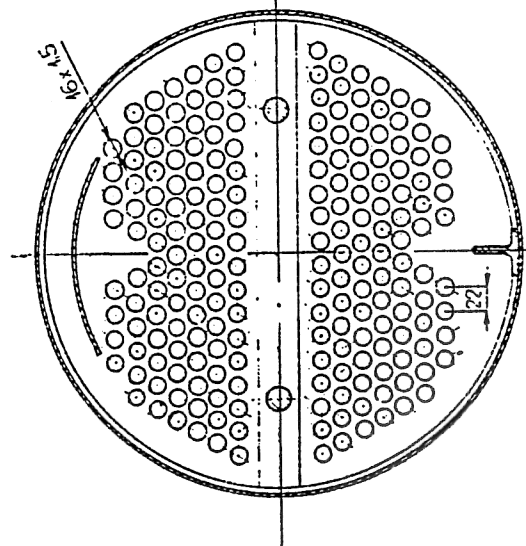
ŘEZ A-A



průměr trubek	$d_p \times s$	16x1,5	mm
počet vlniček	n	86	
střední délka vlniček	L	3,614	m
roztěč trubek	L	0,022	m
počet tahů vody	z	4	
průtočný průřez uvnitř trubek	f_i	0,0051075	m ²
přestupní plocha vnější	S_a	15,93	m ²
ponořená délka trubek uvnitř	L/d _i	290,88	
průměrný počet řad trubek pod sebou		21	



ŘEZ A-A



průměr trubek	$\phi_{0 \times 5}$	mm
počet vlásníček	n	m
střední délka vlásníček	z	m
rozeč trubek	f_k	m ²
počet tuhů vody	S_0	m ²
průtočný průřez uvnitř trubek	L/D_0	m ²
přestupní plocha vnější		
poměrná délka uvnitř trubek		
průměrný počet řad trubek pod sebou		

*) počítáno svisle

