

Technická univerzita v Liberci

fakulta strojní

katedra obrábění a montáže

Magisterský studijní program:

strojírenská technologie

Zaměření:

obrábění a montáž

Chladicí a mazací schopnost procesních kapalin při obrábění

Cooling and lubricating ability of process liquids in cutting

KOM - 1087

Petr Beneš

Vedoucí práce:

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc. - TUL

Konzultanti:

Ing. Jan Jehlička – PARAMO, a.s.

Prof. Ing. Jan Žižka, CSc. - TUL

Počet stran: 78

Počet příloh: 8

Počet obrázků: 20/2

Počet tabulek: 28/34

Počet grafů: 12/26

5.1.2009

Chladicí a mazací schopnost procesních kapalin při obrábění

ANOTACE:

V diplomové práci jsou hodnoceny různé druhy procesních kapalin a při provedených experimentech prakticky ověřeny jejich chladicí a mazací schopnosti. V rámci řešení byla navržena a odzkoušena zcela nová metoda měření chladicí schopnosti procesních kapalin.

Práce sjednocuje dostupné informace o správné odborné terminologii obecného rozdělení procesních kapalin.

Cooling and lubricating ability of process liquids in cutting

ANNOTATION:

The goal of this Thesis is evaluation of assorted types of process liquids in specified experiments and verifies their lubricant abilities in practice. Further, proposes and examines newly introduced method of cooling abilities of process liquids.

The Thesis also solves and unites available informations about correct technical terms of process liquids general diversification.

Klíčová slova: CHLAZENÍ, MAZÁNÍ, PROCESNÍ KAPALINA

Zpracovatel: TU, FS v Liberci, KOM

Dokončeno: 2009

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 78

Počet příloh: 8

Počet obrázků: 20/2

Počet tabulek: 28/34

Počet grafů: 12/26

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultantů.

V Liberci, 5.1.2009

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za cenné rady při řešení diplomové práce.

Dále děkuji panu Prof. Ing. Janovi Žižkovi, CSc. za cenné rady v průběhu řešení a panu Ladislavu Bučkovi za pomoc při měření v laboratoři Ústavu technologie ropy a petrochemie Fakulty technologie ochrany prostředí na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze.

Rád bych také poděkoval své rodině za velkou trpělivost a podporu po celou dobu mého dálkového studia na Vysoké škole.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultanty.

Datum: 5.1.2009

Podpis:

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMOBOLŮ	8
ÚVOD	11
1. TEORETICKÁ ČÁST	13
1.1 PROCESNÍ PROSTŘEDÍ	13
1.1.1 Plynné prostředí	13
Vzduch	13
Inertní plyn	14
Mlha	14
1.1.2 Kapalné prostředí	14
Vodou mísitelné procesní kapaliny	14
Vodou nemísitelné procesní kapaliny	17
1.1.3 Tuhá maziva	18
1.2 PŘÍSADY	18
1.2.1 Vysokotlaké přísady	19
1.2.2 Mazivostní přísady	19
1.3 VLIV PROCESNÍHO PROSTŘEDÍ	20
1.3.1 Účinky procesních kapalin	21
1.3.2 Mazací účinek	23
1.3.3 Chladicí účinek	24
1.3.4 Čistící účinek	24
1.3.5 Ochranný účinek	24
1.4 TRVALÁ A SYSTEMATICKÁ PÉČE O PROCESNÍ KAPALINY	26
Měření koncentrace	26
Stanovení hodnoty pH	27
1.5 METODY STROJNÍCH ZKOUŠEK	29
1.5.1 Metody měření	29
1.5.2 Přístroje simulující reálný třecí kontakt	30
2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
2.1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH PROCESNÍCH KAPALIN	32
2.1.1 Vodou mísitelné procesní kapaliny	32
Procesní kapalina PARAMO SK 220	33

Procesní kapalina PARAMO EOPS	34
Procesní kapalina PARAMO ERO-SB	35
Procesní kapalina PARAMO ERO-AW	36
2.1.2 Vodou nemísitelné procesní kapaliny	37
Procesní kapalina MOGUL N 100	38
Procesní kapalina PARAMO CUT 22	39
Procesní kapalina PARAMO CUT 25	40
Procesní kapalina PARAMO EPK-1	41
2.2 PRAKTICKÁ ČÁST EXPERIMENTU	42
2.2.1 Popis přístrojů a měřicích zařízení	43
2.3 METODIKA EXPERIMENTŮ	45
2.3.1 Příprava vzorků procesních kapalin	45
2.3.2 Nastavení pracovních podmínek pro provedení experimentů	46
Postup měření mazacích schopností PK na tribometru Reichert	46
Zpracování výsledků po měření na tribometru Reichert	48
Postup měření chladicích schopností PK na přístroji IVF SmartQuench	50
Zpracování výsledků po měření na přístroji IVF SmartQuench	51
2.3.3 Způsob měření	51
2.3.4 Druhy metod prováděných experimentů	53
3. HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VELIČIN	56
3.1 NAMĚŘENÉ HODNOTY	56
3.1.1 Statistické vyhodnocení souhrnu naměřených vlastností PK	70
4. ZÁVĚR	72
SEZNAM LITERATURY:	76
SEZNAM PŘÍLOH	78

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMOBOLŮ

<i>A</i>	[mm ²]	plocha eliptické otěrové stopy
<i>ASTM</i>	[-]	americká společnost pro zkoušení materiálu (<i>American Society for Testing Materials</i>)
<i>AW</i>	[-]	označení protiotěrových přísad (<i>Anti Wear</i>)
<i>BP</i>	[-]	brusný prstenec
<i>C</i>	[-]	chemická zkratka uhlíku
<i>ČKS</i>	[-]	čtyřkuličkový přístroj
<i>d</i>	[mm]	šířka eliptické plochy otěrové stopy
<i>dH</i>	[°N]	tvrdost vody v německých stupních
<i>DIN</i>	[-]	německá průmyslová norma (<i>Deutsche Industrie Norm</i>)
<i>EN</i>	[-]	evropské normy
<i>EP</i>	[-]	označení vysokotlakých přísad (<i>Extreme Pressure</i>)
<i>G</i>	[kg.m.s ⁻²]	tíhová hmotnost závaží
<i>HRC</i>	[-]	tvrdost kovů dle Rockwella
<i>Cl</i>	[-]	chemická značka chloru
<i>IP</i>	[-]	britská organizace petrolejářského průmyslu (<i>Institute of Petroleum</i>)
<i>ISO</i>	[-]	mezinárodní organizace pro standardizaci (<i>International Organization for Standardization</i>)
<i>kp</i>	[-]	kilopond
<i>KOH</i>	[-]	hydroxid draselný

KOM	[-]	katedra obrábění a montáže
ℓ	[mm]	délka eliptické plochy otěrové stopy
L	[m]	třecí dráha
lr	[mm]	vyhodnocovaná délka profilu
m_P	[g]	hmotnost brusného prstence
m_U	[mg]	úbytek hmotnosti testovacího válečku
m_V	[g]	hmotnost testovacího válečku
M	[kg]	hmotnost testovacího závaží
M_P	[g]	hmotnost vyhřívací pece
M_S	[g]	hmotnost měřicí sondy přístroje IVF SmartQuench
M_T	[g]	hmotnost transceiveru
MQL	[-]	minimální množství kapaliny (Minimum Quantity Liquid)
n	[ot.min ⁻¹]	otáčky brusného prstence
NM	[-]	měřítka změny zvuku (<i>Noise Metr</i>)
OR	[°C/s]	rychlost ochlazování
P	[-]	chemická zkratka fosforu
P_M	[W]	příkon motoru tribometru Reichert M2
P_P	[W]	příkon vyhřívací pece přístroje IVF SmartQuench
pH	[-]	záporný logaritmus koncentrace vodíkových iontů
PK	[-]	procesní kapalina
Ra	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti

Rt	[μm]	největší hloubka drsnosti
$RzDIN$	[μm]	střední hloubka drsnosti
S	[-]	chemická zkratka síry
t	[s]	čas experimentu
T_0	[$^{\circ}\text{C}$]	teplota (procesní kapaliny, zkušebního válečku) počáteční
T_6	[$^{\circ}\text{C}$]	teplota (procesní kapaliny, zkušebního válečku) koncová
T_S	[$^{\circ}\text{C}$]	teplota měřicí sondy přístroje IVF SmartQuench
T_V	[-]	testovací váleček
U	[V]	napětí motoru tribometru Reichert M2
$\dot{UMF}$	[kp/cm^2]	únosnost mazacího filmu
V	[ml]	množství zkušebního vzorku procesní kapaliny
v_o	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	obvodová rychlost brusného prstence
x	[%]	koncentrace procesní kapaliny
y	[μm]	okamžitá výchylka profilu v daném místě
Z_i	[mm]	vzdálenost mezi nejvyšším výstupkem a nejnižší prohlubní měřeného profilu
μ	[$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]	koefficient tření

ÚVOD

Výhody procesních kapalin, používaných v procesu třískového obrábění, mohou být sumarizovány takto: za pomoci chlazení se vysoce zintenzivňuje odvod tepla a tím značně zvyšuje životnost nástroje, což umožňuje použít vyšší řeznou rychlost. Vlivem mazání mezi nástrojem, třískou a obrobkem se značně redukuje opotřebení nástroje a zlepšuje se podstatně kvalita povrchu obrobků. Tok procesní kapaliny dále zajišťuje účinek čistící a vyplachovací, napomáhá odstraňovat třísky z místa řezu a také z pracovních ploch stroje a odnáší je do sběrných nádrží. V neposlední řadě by měly být uvedeny konzervační schopnosti procesních kapalin, kterých se často využívá nejen pro samotnou ochranu řady funkčních prvků strojů, ale i nástrojů a obrobků, které jsou procesní kapalinou mnohdy konzervovány mezioperačně a krátkodobě.

Výběr vhodné procesní kapaliny, otázky spojené s mazáním a chlazením bývají v průmyslové praxi bohužel velmi často odsunuty do pozadí zájmu. Přesto požadavky spojené s problematikou chladicího systému a systematické provozní péče o procesní kapaliny se stávají významnými nákladovými faktory procesu obrábění, proto je důležité se jimi zabývat.

Jeden ze směrů, kterému je v současnosti věnována značná pozornost, je obrábění bez použití procesních kapalin. Je však velmi obtížné přesně zjistit, kolik operací obrábění se v průmyslové praxi uskutečňuje bez použití procesních kapalin. Přesto není pochyb o tom, že obrábění s použitím procesních kapalin se používá mnohem častěji. Navíc se systémy způsobů chlazení za pomoci procesních kapalin neustále zdokonalují a vyvíjí převážně z důvodů zvyšování kvality obrobků a dále z důvodů i ekonomických a ekologických.

Cílem této diplomové práce je navrhnout a prakticky ověřit možnost měřit chladicí a mazací schopnost procesních kapalin. Pro zkoušení převážně mazacích schopností procesních kapalin byla vybrána metoda třecí dvojice, kterou prověřuje tribometr Reichert. Druhá navržená metoda prověřuje měření chladicích schopností procesních kapalin. Pro tuto zkoušku byla navržena a prakticky bude poprvé odzkoušena zcela nová metoda měření ochlazovací rychlosti procesních kapalin za pomoci přístroje IVF SmartQuench.

Dále diplomová práce sjednocuje správnou odbornou terminologii obecného rozdělení jednotlivých druhů procesních kapalin, problematiku týkající se jejich výběru a zásad správné údržby a podmínek provozování.

1. TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Procesní prostředí

Proces obrábění kovových i nekovových materiálů probíhá vždy v určitém procesním prostředí [16] viz tabulka č. 1. Přirozeným a nejběžnějším procesním prostředím je vzduch. Jako umělé procesní prostředí jsou obecně aplikovány plyny, mlhoviny a procesní kapaliny, které jsou využívány v nejširším měřítku, méně pak tuhá maziva.

Tab. 1 Obecné rozdělení typů procesního prostředí

Rozdělení procesního prostředí		
Skupina	Podskupina 1	Podskupina 2
Plynné	• Vzduch • Interní plyn • Mlha	
Kapalné	• Vodou mísitelné	• Minerální • Polosyntetické • Syntetické • Speciální
	• Vodou nemísitelné („Rezné oleje“)	• Rostlinné • Minerální • Syntetické • Koncentráty vysokotlakých přísad
Tuhá maziva		

1.1.1 Plynné prostředí

Vzduch

Vzduch představuje jedno z nejběžnějších a také nejrozšířenějších rezných prostředí, tzn., že se ve své podstatě jedná o běžné obráběcí operace prováděné „na sucho“. V některých případech je nástroj ofukován proudem stlačeného vzduchu (popřípadě i ochlazeného), který má za úkol nejen ochlazovat nástroj jako takový, ale jeho prvořadým úkolem je odstranění třísek z místa řezu.

Inertní plyn

Tento druh procesního prostředí se v praxi používá velice ojediněle. Na počátku sedmdesátých let probíhaly rozsáhlé pokusy s aplikací inertního plynu např. dusíku, jako procesního media. Inertní plyn, tedy v tomto případě dusík, byl přiváděn přímo k nástroji z tlakové nádoby. Při jeho expanzi docházelo k prudkému ochlazení místa řezu a v důsledku toho byl potlačován vliv oxidace. Z důvodu nutnosti speciální úpravy obráběcích strojů tato metoda prozatím nenašla širší uplatnění v průmyslu.

Mlha

S tímto způsobem aplikace procesního prostředí se setkáváme pod názvem *Systém MQL* (Minimum Quantity Liquid) [2]. Jednou z největších výhod je minimalizace spotřeby aplikované procesní kapaliny ve formě jemně rozptýlené směsi orientované přímo [21] do místa řezu. Tímto je zajištěno jak mazání, tak i částečné chlazení nástroje, čímž odpadá problém spojený s oběhem, úpravou, čištěním a následnou likvidací daného procesního media.

1.1.2 Kapalně prostředí

Vodou mísitelné procesní kapaliny

Jak již z názvu vyplývá, hlavní složkou tohoto druhu procesních kapalin je voda, která má nejlepší chladicí účinek. V závislosti na fyzikálně-chemickém složení může mít voda značně rozdílné chladicí účinky. Častou nevýhodou jsou její vlastnosti podporující korozi (důvodem jsou Cl^- ionty), dále obsahuje množství solí (zejména Ca^{2+} a Mg^{2+}), které mohou vytvářet v rozvodném systému a na stroji nerozpustné usazeniny, navíc neupravená voda je nositelem bakterií a dalších mikroorganismů. Mezi další zápory samotné vody patří její relativně malý smáčecí účinek (vysoké povrchové napětí).

Korozivní charakter vodou mísitelných procesních kapalin je možné vyjádřit hodnotou pH. Při hodnotě $\text{pH} = 7$ mluvíme o neutrálním roztoku, je-li hodnota pH vyšší pak, se jedná o roztok alkalický přičemž platí, že z dermatologického hlediska je maximální přípustná hodnota $\text{pH} = 9,5$. Je-li hodnota pH naopak nižší, pak mluvíme o kyselých roztocích. Alkalické roztoky snižují stupeň rizika vzniku koroze u železných

kovů, ale naopak zvyšují toto nebezpečí u neželezných kovů.

Minerální kapaliny

„Minerální“ kapaliny (mléčné) jsou svým charakterem zařazeny mezi koloidní, heterogenní [9], tedy nepravé roztoky dvou nebo více látek (viz obrázek č. 1) těžko mísitelných nebo nemísitelných. Olejová část je u těchto procesních kapalin ve formě drobných kapiček o velikosti 10^{-7} až 10^{-9} m rozdispergovaných ve vodě viz obrázek č. 2. Emulgátory jsou přísady měnící povrchové napětí vody nebo povrchové napětí oleje a zajišťující stabilní disperzní prostředí pro olej rozptýlený ve vodě (emulzi) [17].



Obr. 1 Obecné složení olejové emulze [3]

Polosyntetické kapaliny

Polosyntetické (semisyntetické) procesní kapaliny jsou ovlivněny hlavně vzájemným poměrem oleje a emulgátoru, které určují mazací, chladicí a vyplachovací schopnosti. Obecně se dá říci, že čím je obsah oleje vyšší, tím má procesní kapalina výraznější mazací účinek, chladicí a vyplachovací účinek je částečně potlačen. Naopak se snižujícím se obsahem oleje se výrazným způsobem zvyšuje chladicí a vyplachovací

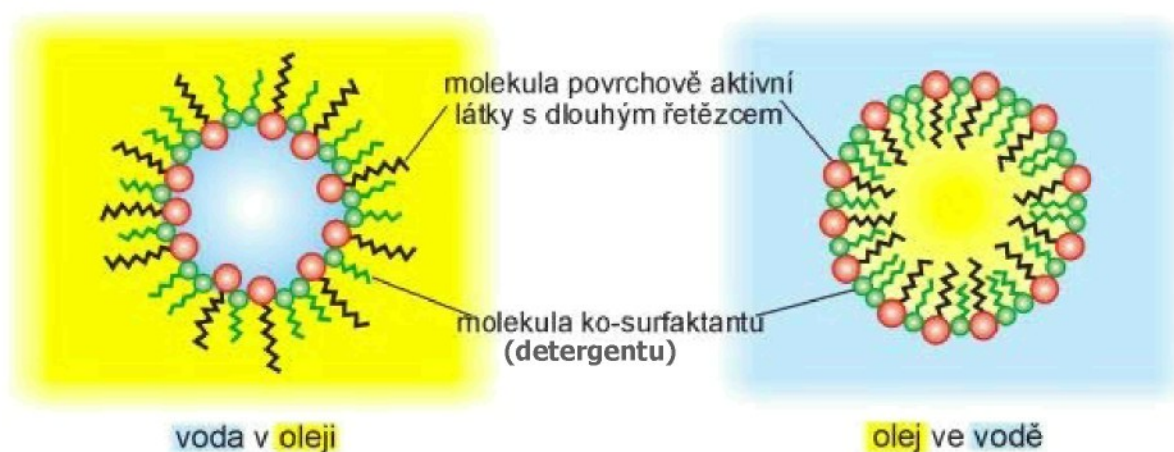
účinek a klesá účinek mazací. Procesní kapaliny s nižším obsahem emulgátoru vytvářejí s vodou hrubší procesní kapalinu „emulzi“. Koncentráty procesních kapalin s vyšším obsahem emulgátoru od 30 % do zhruba 70 % vytvářejí s vodou jemnější procesní kapalinu „emulzi“, vzhledově vykazující pouze určitou opalescenci danou rozptylem světla dopadajícího na koloidní - heterogenní roztok [17].

Syntetické kapaliny

Syntetické procesní kapaliny (vodné roztoky) jsou charakterizovány jako homogenní (pravé) roztoky vzájemně mísitelných látek. Na rozdíl od minerálních a polosyntetických procesních kapalin neobsahují olej [2], svým vzhledem nevykazují opalescenci jako polosyntetické procesní kapaliny, ale jsou transparentní (průhledné). Jejich výrazný chladicí a vyplachovací účinek nachází uplatnění zejména u operací broušení [17].

Speciální kapaliny

Speciální procesní kapaliny patří mezi produkty, jejichž vlastnosti jsou vždy přesně cíleny do určité specifické oblasti. Patří sem např. speciální přípravky, určené pro broušení skla nebo speciální operace obrábění.



Obr. 2 Rozptýlení vody v oleji a oleje ve vodě [9]

Vodou nemísitelné procesní kapaliny

Vodou nemísitelné procesní kapaliny jsou zejména produkty jinak nazývané „řezné oleje“ [1] s určením pro operace honování, lapování, superfiniš, frézování, vrtání a protahování atd., které se před použitím nemíchají s vodou. Výhody oproti procesním kapalinám, které se míchají s vodou spočívají v tom, že nabízejí delší životnost nástroje a lepší povrchovou úpravu pro obtížné operace prováděné nízkou řeznou silou. Údržba oleje je navíc mnohem méně komplikovaná a životnost oleje je podstatně delší. Při použití nechlorových procesních kapalin se nevyskytují žádné problémy s korozí, narušováním a rozleptáváním barvy a těsnících prvků. Znečištění (kontaminace) hydraulickými oleji a oleji pro kluzná vedení znamená menší problém, než s vodou mísitelnými produkty. Navíc únik a prosakování hydraulických olejů a jiných maziv se zvládá lépe, jsou-li použity kompatibilní (slučitelné) oleje. Nové technologie umožňují harmonizaci nebo přizpůsobení procesních kapalin („řezných“ olejů) s oleji např. hydraulickými, ložiskovými nebo převodovými na mazání strojů a tím významně přispívají ke snížení výrobních nákladů.

Hlavní nevýhodou ve srovnání s vodou mísitelnými procesními kapalinami je jejich nižší chladicí vlastnost. Je to případ zejména vyskytující se u operací s vysokými řeznými rychlostmi. Výjimkou je pouze vysokorychlostní broušení, kde vyšší mazivost oleje snižuje množství vyprodukovaného tepla. Další nevýhodou je vysoká hořlavost olejů, stejně tak jako velké riziko exploze olejové mlhy a výparů. Proto přísná ochranná opatření proti vzniku požáru a nebezpečí exploze jsou další velké nákladové faktory pro uživatele, se kterými musí počítat. Viskozita samotných olejů je vyšší, než u vodou mísitelných procesních kapalin, tím jsou dány jejich zbytečné ztráty při výnosu na třískách a obrobených součástkách. Nicméně, tato nevýhoda může být vykompenzována zvoleným účinným odolejováním (odstředěním) komponentů, brusného kalu a třísek.

Rostlinné oleje

Rostlinné oleje se skládají z esterů mastných kyselin a částečně i z volných mastných kyselin [1]. V porovnání s minerálními oleji mají lepší přirozenou mazací schopnost, která je dána vyšší smáčivostí (menším povrchovým napětím), jsou však také více náchylné ke stárnutí (oxidaci).

Minerální oleje

Minerální oleje jsou kapalné uhlovodíky vyrobené z ropy [2]. Mezi kladné vlastnosti patří poměrně dobrý mazací účinek a oxidační stálost. Poskytují dobrou ochranu proti korozi kovů a nepodléhají mikrobiálnímu rozkladu, jako tomu je u vodou mísitelných procesních kapalin. Nevýhodou je ale poněkud horší chladicí účinek.

Syntetické oleje

Syntetické oleje jsou koncipovány na bázi např. polyglykolů, polyalfaolefinů, syntetických esterů [10]. Jejich vlastnosti díky zvoleným základům převyšují minerální oleje v některých parametrech, jako jsou například vysoká životnost, vysoké body vzplanutí nebo tuhnutí, ekologická nezávadnost atd.

Koncentráty vysokotlakých přísad

Mazací vlastnosti procesních kapalin jsou v některých případech dodatečně upravovány vhodnými EP a AW přísadami [22], které zlepšují jejich některé vybrané parametry. Díky tomu mohou např. napomáhat minimalizovat tvorbu nárůstku a třecí poměry na čele a hřbetu nástroje.

1.1.3 Tuhá maziva

Poslední z uvedených skupin procesního prostředí je co do rozšíření pravděpodobně nejmenší. Zde jsou zahrnuty například různé pasty, které se používají při drobnějších zejména ručních operacích [23]. O použití tuhého maziva můžeme hovořit v jistém smyslu také v případě broušení, kdy je použit brusný kotouč nasycený (impregnovaný) chlorparafínem, sírou, boraxem, atd. [7].

1.2 Přísady

Přísady (aditiva) jsou chemické látky, které zlepšují některé vlastnosti olejů, plastických maziv a procesních kapalin. Druhy přísad a jejich množství se liší podle způsobu užití. Jsou to především sloučeniny s obsahem síry, fosforu a chlóru, ale i látky s obsahem brómu, fluóru a jódu, teluru, bóru nebo olova [19], [22]. Obsah přísad se pohybuje v rozsahu od 1 do 25 %. Druhy a množství přísad stanovují výrobci na základě

předepsaných výkonnostních norem a praktických zkoušek.

1.2.1 Vysokotlaké přísady

Vysokotlakými (EP) přísadami se rozumějí sloučeniny s jedním nebo více reakčními místy v molekule, v nichž jsou umístěny takové atomy nebo skupiny atomů, které při dosažení určité povrchové teploty reagují s kovovými plochami třecích dvojic. Protože tyto aktivní skupiny obsahují zásadně $-Cl$, $-S$ - nebo troj- nebo pětimocný P, vytváří se jejich reakcí s kovovým povrchem chloridová, sulfidová, fosfitová nebo fosfátová vrstva, která zabraňuje svaření a zadření kovových částí. Zvětšováním zatížení třecích ploch (vzrůstem povrchových tlaků) vzrůstá místní teplota, která podporuje reakční děje mezi aktivními atomy EP přísady a kovovými povrchy. Jakmile se vytvoří dostatečně silná vrstva reakčních zplodin, klesne teplota třecích míst [19]. Tím se rozklad přísady zastaví do té doby, dokud ochranná vrstva zabraňuje vzrůstu teploty nebo místnímu přehřátí na úroveň povrchové rozkladné teploty (vzrůst teploty může způsobit porušení nebo roztržení ochranné vrstvy, např. vlivem dalšího zvětšování tlaku). Povrchové teploty rozkladu různých EP přísad jsou odlišné, např. u běžných přísad s obsahem chloru až $300^{\circ}C$, s obsahem síry $600-800^{\circ}C$, s obsahem fosforu nad $800^{\circ}C$ [22]. Kombinací EP přísad s obsahem různých aktivních prvků, jakož i jejich použitím společně s přísadami mazivostními, je možno zajistit zmenšený oděr třecích ploch v širokém tlakovém a teplotním rozmezí viz obrázek č. 3.

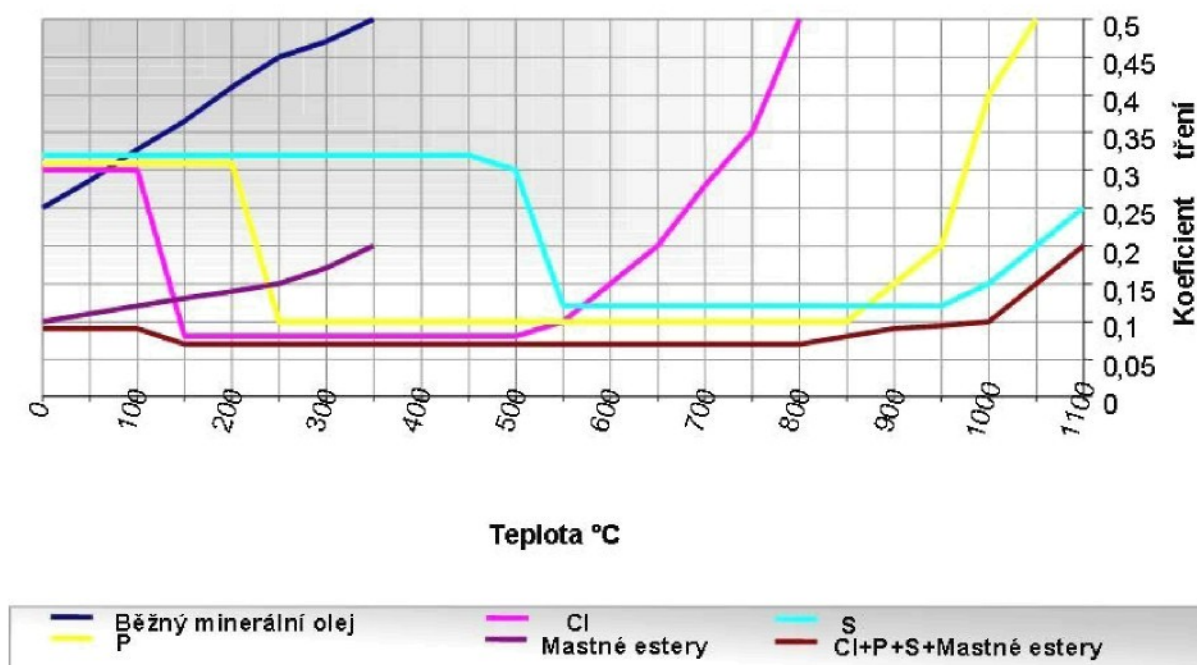
Při použití maziv a procesních kapalin bez těchto přísad by došlo k nadměrnému opotřebení třecích povrchů a k velkému vývinu třecího tepla, nebo dokonce k jejich poškození a tím ke zkrácení životnosti nebo narušení správné funkce např. nástroje, případně k havárii strojních částí atd.

1.2.2 Mazivostní přísady

Mazivostní (AW) přísady (modifikátory tření) jsou sloučeniny s dlouhým rovným uhlovodíkovým řetězcem s C_{10} a více, zajišťujícím jejich rozpustnost s polární skupinou na konci, která má dostatečnou adsorpční schopnost k třecímu povrchu a zmenšuje koeficient tření [20]. Nejmírnějšími přísadami tohoto typu jsou alkoholy $C_{10} - C_{18}$ a naopak velmi účinné jsou dlouhořetězcové karboxylové a jiné kyseliny a dále i vyšší amíny, fosfity, fosfáty a jiné deriváty.

Velmi častou složkou mazivostních přísad byl dříve např. „spermový“ olej. Jeho nedostatek si vynutil vytipování vhodné náhrady, např. v podobě esterů syntetických vosků získaných selekční hydrogenací sójového a lněného oleje, mastných kyselin na mastné alkoholy a esterifikací na estery. Spermovému oleji se složením podobá olej z jóboby, křoviny divoce rostoucí ve vyprahlých oblastech severní a střední Ameriky.

Každá z těchto sloučenin má své specifické účinky na změnu statického nebo dynamického součinitele tření. Jejich vhodnou kombinací nebo kombinací polárních skupin ve sloučenině lze získat směsnou přísadu, tzv. modifikátor tření, který má schopnost měnit třecí profil maziva, tj. křivku vyjadřující změnu součinitele tření od nulové smykové rychlosti (statický součinitel tření) k určité hodnotě smykové rychlosti (kinetický – dynamický – součinitel tření) [9], [12], [19].



Obr. 3 Přehled funkce přísad [3]

1.3 Vliv procesního prostředí

Účinky procesního prostředí na proces obrábění jsou komplexní. Často se však uvažuje pouze o snížení teploty nástroje a redukce tření na stykových plochách mezi

nástrojem, obrobkem a třískou. Dva základní účinky procesního prostředí, chladicí a mazací (viz obrázek č. 4) [1], však mají širší význam a ovlivňují mechaniku tvoření třísky, silové jevy na stykových plochách mezi nástrojem a obrobkem, třecí práci na těchto plochách, deformační práci při deformaci obráběného materiálu, tvorbu nárůstku, velikost minimální tloušťky odebírané vrstvy, zpevnění obrobeného povrchu, zbytková pnutí obrobeného povrchu apod. Kromě těchto dvou základních účinků se někdy uplatňují i další, tzv. účinek „řezací“ a účinek čistící [16].

1.3.1 Účinky procesních kapalin

Deformace obráběného materiálu je významným faktorem procesu obrábění. Probíhá v oblasti primární plastické deformace a oblasti sekundární plastické deformace, povrchové vrstvy plochy řezu při dělení obráběného materiálu. Vlivem těchto deformací nastávají druhotné děje mající spolu s uvedenými deformacemi bezprostřední vliv na kvalitativní a ekonomickou stránku obrábění [16].

Velikost a tvar oblastí primární plastické deformace ovlivňuje řada faktorů, těmi jsou především:

- vlastnosti obráběného materiálu;
- řezné podmínky;
- řezný nástroj;
- procesní prostředí, které ovlivňuje předchozí faktory, a to zejména vlastnosti obráběného materiálu, třecí poměry na nástroji, řezivost nástroje, tvorbu třísky apod.

Velikost oblastí primární plastické deformace ovlivňuje vlastní proces řezání. Při deformaci obráběného materiálu v oblasti tvoření třísky dochází v důsledku pohybu dislokací ke vzniku povrchových trhlin na vnější straně třísky, dále též ke vzniku trhlin uvnitř deformujícího se materiálu. Oba jevy se v průběhu plastické deformace propojují. Tím je umožněno vnikání procesního prostředí z vnější strany do deformujícího se materiálu. Pokud má procesní prostředí vhodné vlastnosti dochází k usnadnění vzájemného pohybu stěn trhlin, což značně usnadňuje deformační proces, zmenšuje se řezná síla. Pokud procesní kapalina obsahuje povrchově a chemicky aktivní látky, např. síru, fosfor, chlor, estery atd., které aktivně působí na smáčený povrch chemickým

účinkem, celý proces působení resp. vnikání procesní kapaliny do systému trhlin i jejich aktivního působení v trhlinách se usnadňuje [16]. Aktivní procesní kapaliny proto mohou napomáhat šíření trhlin a jejich vzájemnému propojování.

Bodový kontakt mezi nástrojem a obrobkem vzniká přednostně při nižších teplotách řezání, plošný kontakt vzniká pouze za vysokých teplot řezání, kdy dochází především v důsledku teploty k poklesu meze kluzu obráběného materiálu.

Procesní prostředí může vnikat při obrábění pouze do oblasti bodového kontaktu. V případě plošného kontaktu vždy existuje určitá část plochy s bodovým kontaktem. Do této části plochy s bodovým kontaktem procesní prostředí vniká a při vhodných vlastnostech tohoto prostředí se může oblast bodového kontaktu rozšířit na úkor kontaktu plošného. Tím je dále umožněno o něco větší působení procesních kapalin na kontaktních plochách.

Tvorba nárůstku je umožněna především kontaktem mezi nástrojem a obrobkem a adhezním spojením materiálu nástroje a obrobku. Procesní prostředí, které snadno vniká do oblasti omezeného kontaktu může pak svými vhodnými vlastnostmi [16] (vytvořením izolačních vrstev mezi nástrojem a obrobkem) tvorbu nárůstku ovlivnit.

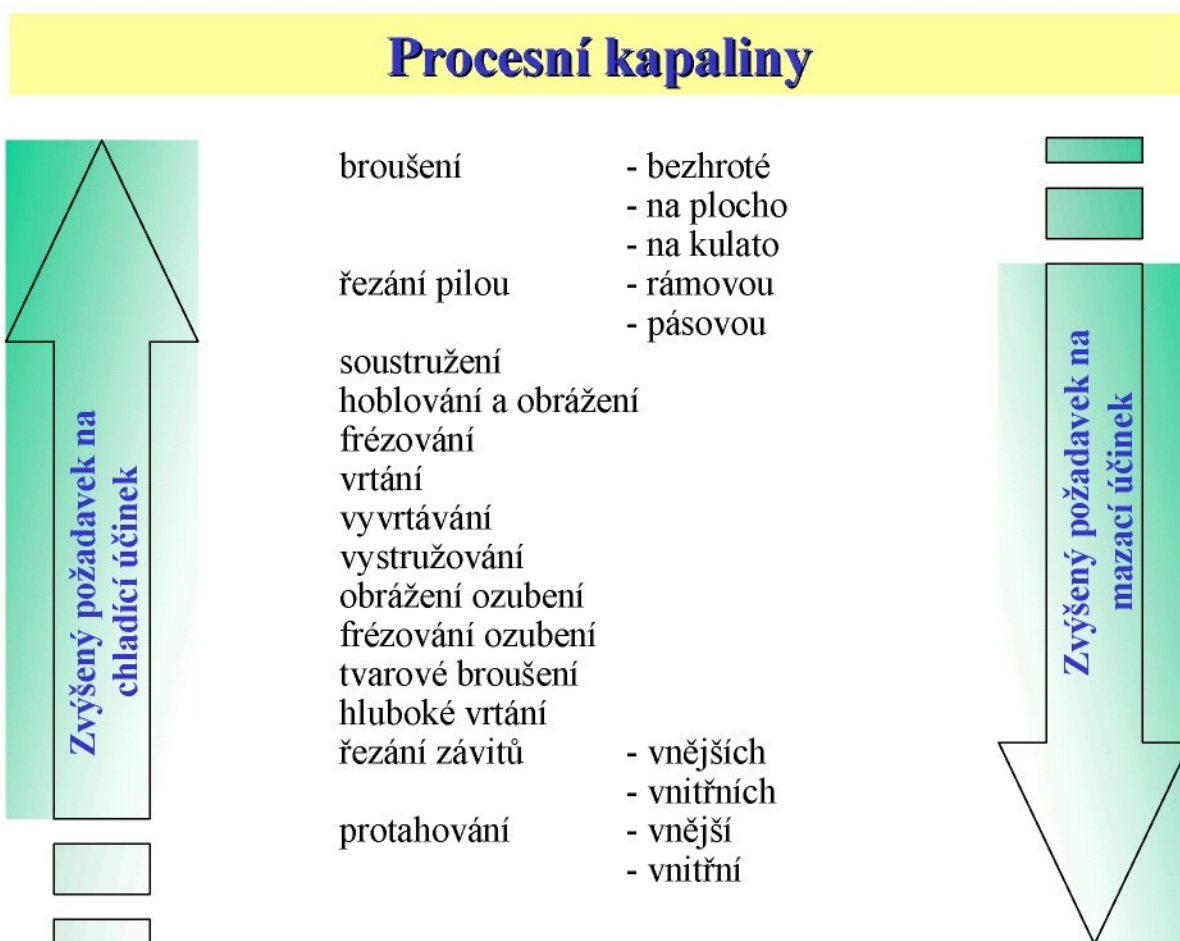
Poznamenejme, že každé procesní prostředí má kromě mazacího účinku též účinek chladicí. Vzhledem k tomu, že nárůstek se u daného materiálu obrobku vyskytuje v relativně přesném rozmezí teplot řezání cca 300 až 500°C [10], může chladicí účinek procesních kapalin tvorbu nárůstku potlačit, ale i podpořit. Je tedy pro daný případ obrábění nutné zvážit, při jaké teplotě řezání obrábění probíhá, abychom použitím procesní kapaliny s intenzivním chladicím účinkem tvorbu nárůstku nepodpořili.

Nárůstek je jevem při obrábění velmi nepříjemným. Jedná se buď o útvar stabilní, nebo nestabilní. Protože se nestabilní nárůstek při obrábění vyskytuje mnohem častěji než nárůstek stabilní (který do jisté míry působí příznivě na zmenšení opotřebení rezného nástroje) a také proto, že nejsme schopni předem určit jaký typ nárůstku se bude při obrábění vyskytovat, považujeme z praktického hlediska nárůstek za jev nežádoucí. Procesní kapaliny mohou při vytvoření určitých podmínek významným způsobem přispívat k potlačení, případně i k úplné eliminaci jeho tvorby.

1.3.2 Mazací účinek

V důsledku snížení tření na čele nástroje při použití procesní kapaliny s výrazným mazacím účinkem dochází ke snížení třecí složky [16] (koeficientu tření) řezné síly a ke zmenšení oblasti primární plastické deformace v místě řezu.

Nutnými předpoklady pro uplatnění mazacího účinku je možnost vniknutí procesní kapaliny a dostatečná pevnost mazacího filmu na čele i hřbetu nástroje. Mazací účinek procesní kapaliny se využívá především při obrábění nižšími řeznými rychlostmi, kdy lze teplotu zanedbat. Typickými představiteli procesních kapalin s mazacím účinkem jsou nemísitelné procesní kapaliny tzv. „řezné oleje“.



Obr. 4 Obecné doporučení pro výběr charakteru procesní kapaliny [17]

1.3.3 Chladicí účinek

Použitelnost řezného materiálu je omezena i určitou kritickou teplotou řezání, nad kterou dochází k prudkému zvýšení gradientu opotřebení nástroje [16]. Procesní kapalina snižuje teplotu řezání a tím i možnost překročení této kritické teploty. Chladicí účinek je z hlediska využití jednotlivých druhů materiálů kladný a závisí nejen na složení a vlastnostech procesní kapaliny, ale i na dalších stavových charakteristikách (množství, rychlosti a typu proudění, teplotě, místě aplikace apod.).

Procesní kapaliny s chladicím účinkem jsou vyžadovány hlavně při operacích s vysokými řeznými rychlostmi, tj. při operacích, kde se dosahuje vysokých teplot při řezání. Typickými představiteli procesních kapalin s výrazným chladicím účinkem jsou tzv. „emulzní kapaliny“.

1.3.4 Čistící účinek

Tok procesní kapaliny napomáhá odstraňovat třísky z místa řezu a také z pracovních ploch stroje a odnáší je do sběrných nádrží, kde jsou filtrovány a jinak zachycovány a oddělovány z vlastní procesní kapaliny [1].

1.3.5 Ochranný účinek

Vedle přímého účinku na řezný proces byl zformulován i požadavek na protikorozní ochranu obrobku i stroje. Každá navržená procesní kapalina musí z těchto důvodů plnit i funkci mezioperační konzervace.

Je samozřejmé, že žádná procesní kapalina nemůže splňovat všechny požadavky zároveň a v plné míře. Nezbytné však je, aby naplňovala určitý soubor požadavků, který bezpečně zajišťuje produktivitu daného procesu obrábění při daných kvalitativních ukazatelích [12]. Jedná se tedy o vymezení konkrétních priorit pro dané určité aplikační pole. Proto mluvíme buď o univerzálních a nebo speciálních procesních kapalinách, které se používají široce univerzální nebo naopak úzce u některých výrazně specifických operací třískového obrábění.

Multifunkční kapaliny

Jedním z problémů při použití procesních kapalin je jejich znečišťování cizími látkami. Hlavně jde o pronikání látek z mazacích okruhů stroje, hydraulických systémů, převodovek a kluzných vedení. Pronikání těchto látek do procesních kapalin způsobuje jejich znehodnocení z hlediska jejich účinku na proces obrábění, z hlediska snížení jejich trvanlivosti, z hlediska zvýšení nákladů na jejich údržbu a likvidaci i z hlediska zvýšení zdravotního rizika [22].

Možnost, jak řešit tuto problematiku, poskytují tzv. „multifunkční kapaliny“, které plní zároveň funkci procesních kapalin, olejů hydraulických, převodových a olejů pro mazání vodících ploch. Je ovšem velmi obtížné realizovat takový produkt, který by spojoval odlišné požadavky na procesní kapaliny, hydrauliku, převody a mazání vodících ploch.

Náhradu k tomuto řešení představují pouze procesní kapaliny vodou nemísitelné, které jsou koncipovány na stejné bázi. Jejich viskozita se však liší podle toho, zda jde o oleje hydraulické, převodové či pro oleje mazání vodících ploch [10], [15].

Od „ideální“ procesní kapaliny jsou očekávány další tzv. sekundární vlastnosti, jako lehká příprava, vysoká provozní stálost, nekorozivnost (vůči obrobku i stroji), nízká pěnivost, dobrá filtrovatelnost a sedimentační schopnost, dobré smáčecí, mycí a transportní vlastnosti, nelepivost zbytků, pasivita k nátěrům strojů a těsnicím materiálům, požární bezpečnost při skladování a provozování. Procesní kapalina nesmí být toxická nebo jinak zdravotně závadná, musí být lehce likvidovatelná a musí být nákladově a provozně ekonomická. Sloučit všechny tyto požadavky do jedné procesní kapaliny se dosud stoprocentně nikomu nepodařilo. Při volbě vhodné procesní kapaliny je proto nutné vždy zvážit, které požadavky jsou převažující a volit tu procesní kapalinu, která nejlépe vyhovuje jak technickým, tak i ekonomickým a ekotoxikologickým podmínkám pracoviště.

Aby se citované vlastnosti procesních kapalin mohly při jejich využívání v obráběcích technologiích plně rozvinout, je především na uživateli vytvořit a dodržovat celou řadu technologických, organizačních i personálních opatření.

1.4 Trvalá a systematická péče o procesní kapaliny

Je více než žádoucí, aby vlastnosti procesního prostředí umožňovaly splňovat i jiné technologické úkoly, které by umožnily snížení ekologické zátěže výrobního procesu. K těmto požadavkům patří, jak bylo již uvedeno výše, např. jednoduchá příprava, neagresivnost vůči nátěrům a vodicím plochám strojů, provozní stálost, dlouhodobá životnost, nízká pěnivost, dobrá sedimentační schopnost, dobrá filtrovatelnost, jednoduchá a spolehlivá kontrolovatelnost stavu (vybraných parametrů), neslučivost s jinými oleji a snadná likvidovatelnost (případně biologická odbouratelnost).

Hodnotíme-li spotřebu procesních kapalin, zcela evidentně figurují na prvním místě minerální a syntetické vodou mísitelné procesní kapaliny. A jsou to právě ony, kterým je nutno pro zabezpečení jejich dobré funkce věnovat neustálou péči.

Vodou mísitelné procesní kapaliny jsou svojí stavbou s převažujícím obsahem vody a v ní rozptýleného s vodou nemísitelného oleje velice citlivou koloidní soustavou, která nezbytně vyžaduje v oblasti údržby jistou pozornost. Během provozního využívání procesní kapaliny se mohou její vlastnosti neustále měnit v závislosti na době, způsobu provozování a intenzitě zatěžování. Je proto nutná kontrola stavu, která monitoruje nutnost úpravy a tím udržení potřebných užitečných vlastností procesní kapaliny. Preventivní úpravy jednoznačně snižují spotřebu na procesních kapalin, technologické náklady a v neposlední míře i náklady na jejich likvidaci [17].

Měření koncentrace

Měření koncentrace procesní kapaliny a její úprava se provádí provozně za pomoci refraktometru viz obrázek č. 5. Minimální doporučená provozní koncentrace 3 % je hodnotou koncentrace, při které jsou dále testovány její konzervační schopnosti a odolnost vůči přemnožení mikroorganismů. Maximální doporučená provozní koncentrace je 10 %. To je hodnota koncentrace, při které se provádějí testy kožní dráždivosti. Koncentrace vodou mísitelné procesní kapaliny během provozu roste odparem a proto je nutné ji pravidelně upravovat. A to jak z důvodů dermatologických, tak i z důvodů ekonomických [17].

U některých procesních kapalin je nutno při refraktometrickém měření násobit

naměřenou koncentraci opravným koeficientem [6], který je uveden u jednotlivých výrobků. Laboratorně lze koncentraci určit váhovým odpočtem odparku z procesní kapaliny provedeném v sušárně.



Obr. 5 Ruční refraktometr RCZ [6]

Stanovení hodnoty pH

Hodnota pH je důležitým kritériem, které určuje stav vodou mísitelné procesní kapaliny, její stabilitu a protikorozi vlastnosti [2]. Výrazný pokles pH procesní kapaliny signalizuje přemnožení mikroorganismů (bakterií) a částečnou ztrátu konzervačních vlastností. Při dlouhodobém poklesu hodnoty pH pod hranici 7 (neutrální prostředí) do oblasti kyselého prostředí dochází k postupnému rozkladu kapaliny obsahující olej. Naopak při hodnotě pH 9,5 se zpomaluje růst mikroorganismů. Příliš vysoké pH, ale způsobuje záněty dýchacích cest, kožní dráždivost a následné dermatózy u obsluh strojů, korozi barevných kovů a rozrušování nátěrů a těsnících prvků obráběcích strojů [17].

Nejjednodušší metodou pro zjištění hodnoty pH jsou tzv. indikační papírky viz obrázek č. 6 [14]. Údaje získané pomocí indikátorových pH papírků jsou vždy o cca 0,3 pH nižší než pH-metrem. Hodnotu pH je možno zjistit přesně pH metrem.



Obr. 6 Indikátorové papírky hodnoty pH [14]

Pro zachování standardních vlastností procesní kapaliny při obrábění je stanovena minimální provozní hodnota na pH 8 a maximální provozní hodnota s ohledem na zdravotní nezávadnost pH 9,5 měřena pH metrem [4].

Vodou nemísitelné procesní kapaliny jsou stálejší a jejich vnější projevy oxidačních změn nejsou tak výrazné jako u předchozí skupiny výrobků. Nejvíce jsou postihovány nečistotami a především vlhkostí, která urychluje jejich oxidaci, proto by obsah vody a mechanických nečistot neměl překročit hodnotu 2 %. Číslo kyselosti by nemělo být vyšší než 1,5 až 2 mg KOH/g v závislosti na obsahu vody. Voda představuje i nebezpečí z hlediska mikrobiálního napadení, které roste přestoupí-li její obsah 200 mg/l oleje [17].

Mechanické nečistoty lze účinně odstraňovat filtrací. S úspěchem lze taktéž použít tzv. dekantační nádrž (jedná se v podstatě o využití principu sedimentace). Výměna náplně vodou nemísitelné procesní kapaliny se provede vždy, je-li překročen některý z kvalitativních, hygienických nebo jiných limitních ukazatelů, nebo taktéž v pravidelných lhůtách doporučených výrobcem procesních kapalin [3].

1.5 Metody strojních zkoušek

1.5.1 Metody měření

Potřeba zkoušení některých vlastností u procesních kapalin se dnes již stalo běžnou praxí. S narůstajícími požadavky a vyššími technologiemi strojních celků a zařízení se tyto požadavky rozšiřují a vedle standardních metodik, které prověřují procesní kapaliny po jejich fyzikální a chemické stránce jsou kladeny požadavky i na prověřování hlediska užitných vlastností u provozních aplikací [1]. Ne vždy stačí zmíněné zkoušky vystihnout výkonová a viskozitní klasifikace, navíc u řady z nich, viz procesní kapaliny, to není ani možné. Důvodem je tedy ověřování mazacích vlastností (protioděrové, protizadírací) jak naformulovaných procesních kapalin, tak i procesních kapalin ve fázi samotného vývoje. Navíc je přáním některých firem u produktů jako jsou vodou nemísitelné kapaliny tyto hodnoty uvádět pro potřeby dalšího výběru pro dané výrobní linky, kde se většinou jedná o náplně filtračních systémů v objemu desítek tun, kde je změna spojená s vysokým rizikem změny kvality vyráběného produktu.

Závěry hodnocení maziv chemicko-fyzikálními metodami nám jen nepřímo ukazuje na jejich kvalitu z hlediska mazivosti, resp. únosnosti mazacího filmu. Mazivost obecně stoupá s vyšší viskozitou, ale tato závislost není pravidlem. Mazivost procesní kapaliny závisí především na jejím chemickém složení.

Většina testovacích strojních metod byla vyvinuta se záměrem co nejlépe simulovat podmínky reálného zatížení. Uvedené zkoušky se provádějí na více přístrojích dle metodik převážně simulujících třecí dvojici. Zde se posléze hodnotí řada parametrů např. kritéria průběhu záděru, zatěžující síla, zanechaná stopa na třecích plochách, opotřebení a váhový úbytek třecích ploch atd. Zkušební metodiky splňují řadu norem např. ASTM, DIN, IP atd. Pro uvedené testy jsou využívány různá měřicí zařízení (TRIBOMETRY) např. FALEX, Čtyřkuličkový stroj, Brugger test nebo Reichert test, TIMKEN, FZG a další.

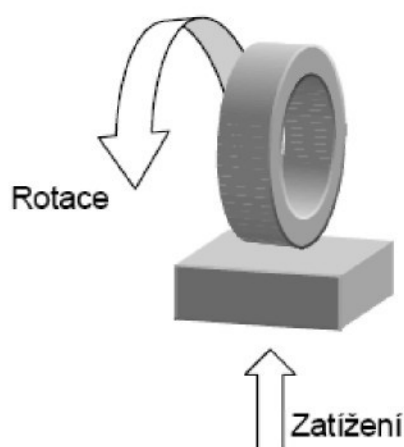
Uplatnění těchto zkoušek lze využít při výkonovém porovnávání procesních kapalin, jejich formulaci a volbě aditiv, optimalizaci jejich obsahu, testování základových olejů, sledování změn mazivosti v průběhu oxidačního namáhání (stárnutí) [9]. Oblast použití se nesoustřeďuje pouze na jednu skupinu, ale použití lze aplikovat na celé škále produktů, např. automobilové oleje motorové a převodové, převodové oleje průmyslové,

oleje pro kluzné vedení, hydraulické oleje, procesní kapaliny, plastická maziva atd.

1.5.2 Přístroje simulující reálný třecí kontakt

Timken load tester

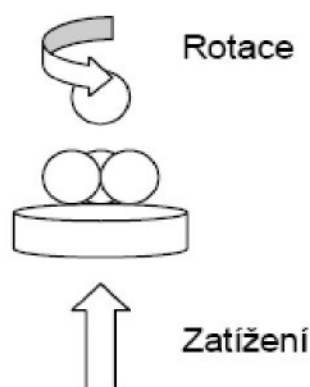
Timken load tester je přístroj simulující reálný třecí kontakt pomocí stacionárního kvádru přitlačovaného na rotující kroužek. Oba tyto elementy jsou vyrobeny z definovaného materiálu a mají definované rozměry. Jejich vzájemná poloha je znázorněna na obrázku č. 7. K vyhodnocení mazivosti zkoumané látky se používají postupy popsané v normách IP 240, 326; ASTM D 2782, D 2509; DIN 51434. Hodnocenými parametry jsou OK load (hodnota tlaku, při kterém ještě nedojde k pozorovatelnému poškození třecích elementů), Seizure load (hodnota tlaku, při kterém dojde ke svaření třecích elementů) a opotřebení třecích elementů, to se udává jako změna váhy třecích elementů, v průběhu testu [3], [24].



Obr. 7 Timken load tester [24]

Four ball tester

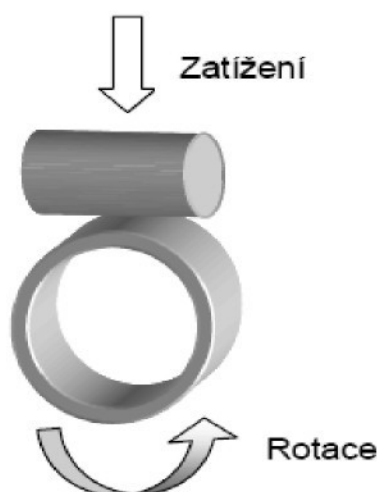
Four ball tester (ČKS) je přístroj simulující třecí kontakt mezi čtyřmi ocelovými kuličkami, z nichž tři jsou stacionární a jsou tlačeny k vrchní, rotující kuličce viz obrázek č. 8. K vyhodnocení mazivosti zkoumané látky se používají postupy popsané v normách IP 239; ASTM D 2783, D 4172, D 2596, D 2266, DIN 51350. Hodnocenými parametry jsou zatížení a čas nutný ke svaření kuliček, nebo opotřebení kuliček vzniklé v průběhu testu. K vyhodnocení se používá mikroskop [3], [24].



Obr. 8 Four ball tester [24]

Reichert tester

Hodnocení mazivosti probíhá dle norem firmy PETROTEST. Testovací zařízení se skládá z pevně ukotveného testovacího válečku z definovaného materiálu, např. (oceli, Al, Cu, mosazi), který je přitlačován pomocí pákového mechanismu na otáčející se brusný prstenec, vyrobený ze speciální legované oceli. Brusný prstenec je svou spodní třetinou ponořen do zkoušeného vzorku kapaliny [9]. Otáčením prstence se dostatečné množství kapaliny dostává do kontaktu s testovacím válečkem a brusným prstencem. Třecí kontakt je zobrazen na obrázku č. 9. Výsledkem testu je elipsovité plocha vytvořená na povrchu testovacího válečku a váhový úbytek na těle testovacího válečku a brusném prstenci [3], [24], [20].



Obr. 9 Reichert tester [20]

2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

2.1 Charakteristika použitých procesních kapalin

2.1.1 Vodou mísitelné procesní kapaliny

První skupinou, která byla vybrána pro zkoušení chladicích a mazacích vlastností procesních kapalin, byly zvoleny vodou mísitelné procesní kapaliny. V této skupině byly zastoupeny vybrané procesní kapaliny PARAMO SK 220, PARAMO EOPS, PARAMO ERO-SB a PARAMO ERO-AW viz obrázek č. 10. Na dalších stránkách 33-36 této diplomové práce jsou uvedeny parametry z technických informací a norem (technický popis, oblast použití a charakteristické parametry viz tabulka č. 2-5) pro vybrané vodou mísitelné procesní kapaliny.



Obr. 10 Vzorky vodou mísitelných procesních kapalin

Procesní kapalina PARAMO SK 220**Popis**

Syntetická procesní kapalina je směsí organických derivátů kyseliny borité, vhodných inhibitorů koroze a vody. Neobsahuje minerální olej a její biologická odbouratelnost je vyšší než 80 %. Svým složením se chová šetrně k životnímu prostředí a její provoz vede ke zlepšení pracovních podmínek a pracovního prostředí. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce č. 2 [18].

Oblast použití

Procesní kapalina PARAMO SK 220 se používá pro operace broušení vnějších válcových ploch mezi hroty, vnitřních válcových ploch, rovinných ploch, tvarových ploch a pro bezhroté broušení vnějších válcových ploch zapichovacím způsobem. Je vhodná pro broušení tepelně zpracovaných ocelí i ocelí tepelně nezpracovaných a těžkých slitin barevných kovů. Bez problémů zvládá i obráběcí operace, kdy se pracuje s nástroji s přesně definovanou geometrií, ale pouze při obrábění materiálů, které mají přirozenou mazivost (šedá a tvárná litina) [18].

Klasifikace

Procesní kapalina PARAMO SK 220 je zařazena dle normy ISO-L-MAG [18].

Tab. 2 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO SK 220 [18]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	1 088
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	3,5
Stálost emulze 48 h 5 % obj. ve vodě tvrdosti 3,58 mmol/l	hod.	vyhovuje
PH roztoku 5 % obj. v destilované vodě při 20 °C, inf.	stupeň	9,4
Bod tekutosti ve °C	°C	-21
Faktor pro ruční refraktometr	-	2

Procesní kapalina PARAMO EOPS**Popis**

Polosyntetickou procesní kapalinu tvoří syntetické přísady, 40 % nízkoaromatického ropného oleje, inhibitory koroze, přísady minimalizující pění a konzervační prostředky. Takto koncipovaná procesní kapalina umožňuje dosažení požadovaných vlastností, kterými se vyznačují obráběcí „mikroemulze“. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce č. 3 [18].

Oblast použití

Procesní kapalina PARAMO EOPS je určena pro operace obrábění prováděné jak na konvenčních obráběcích strojích, tak i na NC a CNC obráběcích centrech. Doporučená koncentrace 3 – 7 % dle podmínek obrábění vyhovuje pro třískové opracování širokého spektra ocelí, litin, neželezných kovů a slitin. Při koncentraci 7 % je výkonnost dostatečná i při složitých obráběcích operacích na materiálech se zhoršenou obrobiteľností. Operace broušení se doporučují provádět při koncentraci pohybující se na spodní hranici doporučené koncentrace a to 3 – 5 % [18].

Klasifikace

Procesní kapalina PARAMO EOPS je zařazena dle normy ISO-L-MAG [18].

Tab. 3 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO EOPS [18]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	981
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	40
Stálost emulze 48 h 5 % obj. v DIN vodě	hod.	vyhovuje
PH roztoku 5 % obj. v destilované vodě při 20 °C, inf.	stupeň	9,1
Bod tekutosti ve °C	°C	-18
Faktor pro ruční refraktometr	-	1

Procesní kapalina PARAMO ERO-SB**Popis**

Minerální procesní kapalina je tvořena vhodnými emulgátory, 80 % nízkoaromatického ropného oleje, inhibitory koroze, přísadami minimalizujícími pění a konzervačními prostředky. Takto koncipovaná procesní kapalina umožňuje dosažení takových vlastností, kterými se vyznačují mléčné emulze. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce č. 4 [18].

Oblast použití

Procesní kapalina PARAMO ERO-SB je určena pro obráběcí operace prováděné jak na konvenčních obráběcích strojích, tak i na NC a CNC obráběcích centrech. Doporučená koncentrace 3 – 7 % dle podmínek obrábění vyhovuje pro třískové opracování širokého spektra ocelí, litin, neželezných kovů a jejich slitin. Její vynikající užité vlastnosti nacházejí uplatnění zejména při obrábění lehkých slitin, ale i dalších materiálů se zhoršenou obrobitelností. Operace broušení se doporučuje provádět při koncentraci na spodní hranici koncentrace 3 %. Její vynikající mazací vlastnosti jsou využitelné i při operacích tváření plechů [18].

Klasifikace

Procesní kapalina PARAMO ERO-SB je zařazena dle normy ISO-L-MAG [18].

Tab. 4 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO ERO-SB [18]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	916
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	48
Stálost emulze 48 h 5 % obj. v DIN vodě	hod.	vyhovuje
PH roztoku 5 % obj. v destilované vodě při 20 °C, inf.	stupeň	9,4
Bod tekutosti ve °C	°C	-18
Faktor pro ruční refraktometr	-	1

Procesní kapalina PARAMO ERO-AW

Popis

Polosyntetickou procesní kapalinu tvoří vhodné emulgátory, nízko aromatický olej parafinického typu, inhibitory koroze, přísady proti pění, konzervační prostředky, EP a AW přísady. Takto koncipovaná procesní kapalina je novou generací kapalin, které umožňují dosáhnout optimálních výsledků při vytváření řezného prostředí. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce č. 5 [18].

Oblast použití

Procesní kapalina PARAMO ERO-AW se provozuje v koncentraci 4 % až 13 % a je určena pro většinu obráběcích operací a obráběné materiály. A to jak pro obrábění s přesně definovanou geometrií nástroje, tak i pro obrábění, kde geometrie nástroje není přesně definována. Při operacích vysokorychlostního obrábění a produktivního obrábění na NC a CNC strojích a linkách dosahuje vynikajících výsledků, a to jak u měkkých, tak i kalených ocelových dílů a ostatních kovových materiálů. Procesní kapalina se velice dobře chová při provozování v centrálních filtračních systémech obráběcích strojů [18].

Klasifikace

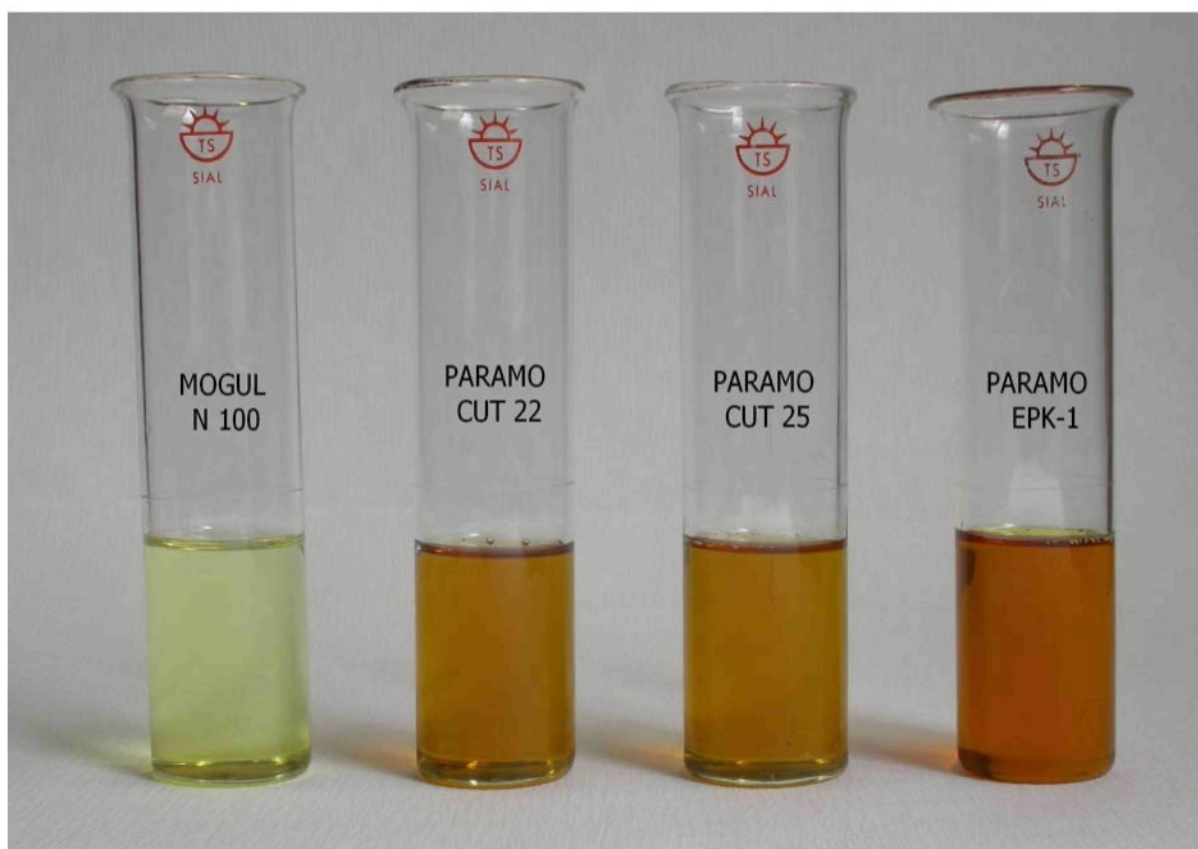
Procesní kapalina PARAMO ERO-AW je zařazena dle normy ISO-L-MAG [18].

Tab. 5 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO ERO-AW [18]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	984
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	74
Stálost emulze 48 h 5 % obj. v DIN vodě	hod.	vyhovuje
PH roztoku 5 % obj. v destilované vodě při 20 °C, inf.	stupeň	9,1
Bod tekutosti ve °C	°C	-15
Faktor pro ruční refraktometr	-	0,976

2.1.2 Vodou nemísitelné procesní kapaliny

Druhou skupinou, která byla vybrána pro zkoušení chladicích a mazacích schopností procesních kapalin, jsou vodou nemísitelné procesní kapaliny. V této skupině byly zastoupeny procesní kapaliny MOGUL N 100, PARAMO CUT 22, PARAMO CUT 25 a PARAMO EPK-1 viz obrázek č. 11. Na dalších stránkách 38-41 této diplomové práce jsou uvedeny parametry z technických informací a norem (technický popis, oblast použití a charakteristické parametry viz tabulka č. 6-9) pro vybrané vodou nemísitelné procesní kapaliny.



Obr. 11 Vzorky vodou nemísitelných procesních kapalin

Procesní kapalina MOGUL N 100**Popis**

Procesní kapalina MOGUL N 100 je základový olej s úzkým destilačním řezem, s nízkou odparností a s vyšším viskozitním indexem. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce č. 6 [18].

Oblast použití

Procesní kapalina MOGUL N 100 je vhodná do formulací motorových maziv, průmyslových maziv a procesních kapalin [18].

Klasifikace

Procesní kapalina MOGUL N 100 není zařazena dle normy ISO-L [18].

Tab. 6 Charakteristické parametry procesní kapaliny MOGUL N 100 [18]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	861
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	22
Bod vzplanutí ve °C	°C	204
Bod tekutosti ve °C	°C	-12
Obsah popela	%	-

Procesní kapalina PARAMO CUT 22**Popis**

Procesní kapalina PARAMO CUT 22 je ropný olej, který obsahuje přísady pro zlepšení řezného a mazacího účinku, snižuje tvorbu olejové mlhy a chrání stroje, nástroje a obrobky před korozí. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce č. 7 [18].

Oblast použití

Procesní kapalina PARAMO CUT 22 je určena pro operace třískového obrábění s přesně definovatelnou geometrií břitu nástroje (soustružení, frézování, vrtání). Vlastnosti procesní kapaliny PARAMO CUT 22 lze využít i při operacích prováděných s nástroji, kde není geometrie břitu přesně definována (broušení závitů a ozubení) [18].

Klasifikace

Procesní kapalina PARAMO CUT 22 je zařazena dle normy ISO-L-MHF [18].

Tab. 7 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO CUT 22 [18]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	880
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	22
Bod vzplanutí ve °C	°C	201
Bod tekutosti ve °C	°C	-27
Obsah popela	%	1,6

Procesní kapalina PARAMO CUT 25**Popis**

Procesní kapalina PARAMO CUT 25 je nízkoviskózní ropný olej s obsahem vysoce účinných EP přísad a dalších aktivních látek ke zvýšení řezného účinku a dalších zušlechťujících přísad. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce č. 8 [18].

Oblast použití

Procesní kapalina PARAMO CUT 25 se vyznačuje vysokým řezným účinkem a schopností pozitivně ovlivňovat třecí poměry v místě řezu. Zejména příznivě ovlivňuje řezné síly, tvorbu nárůstku, kvalitu, drsnost a rozměrovou přesnost obrobené plochy a trvanlivost bříty nástroje. Má velmi dobrou chemickou stálost i odolnost proti pění a poskytuje i dobrou ochranu proti korozi. Procesní kapalina PARAMO CUT 25 je určena pro náročné operace a pro obrábění těžko obrobitelných materiálů, kde nástroj pracuje v oblasti minimální třísky. Zejména je vhodná pro operace protahování, odvalovací frézování, obrážení, ševingování, vystružování, závitování, vrtání apod. Hodí se i pro systémy MQL (Minimum Quantity Liquid) - mazání mlhou [18].

Klasifikace

Procesní kapalina PARAMO CUT 25 je zařazena dle normy ISO-L-MHF [18].

Tab. 8 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO CUT 25 [18]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	892
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	25
Bod vzplanutí ve °C	°C	195
Bod tekutosti ve °C	°C	-42
Obsah popela	%	1,5

Procesní kapalina PARAMO EPK-1**Popis**

Procesní kapalina PARAMO EPK-1 je koncentrát přísady pro zvýšení řezného účinku řezných olejů, resp. ložiskových olejů. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce č. 9 [18].

Oblast použití

Procesní kapalina PARAMO EPK-1 je určena pro náročné obráběcí operace a při obrábění těžko obrobitelných materiálů. PARAMO EPK-1 se používá jako přísada do procesních kapalin řady PARAMO CUT, eventuálně do ložiskových olejů jakostních, pokud jsou používány jako procesní kapaliny. Doporučené koncentrace 2 až 10 % dle podmínek obrábění. PARAMO EPK-1 je možno používat i jako koncentrát na přimazávání, například při závitování apod. Procesní kapalina je vhodná i pro systémy MQL (Minimum Quantity Liquid) - mazání mlhou [18].

Klasifikace

Procesní kapalina PARAMO EPK-1 není zařazena dle normy ISO-L [18].

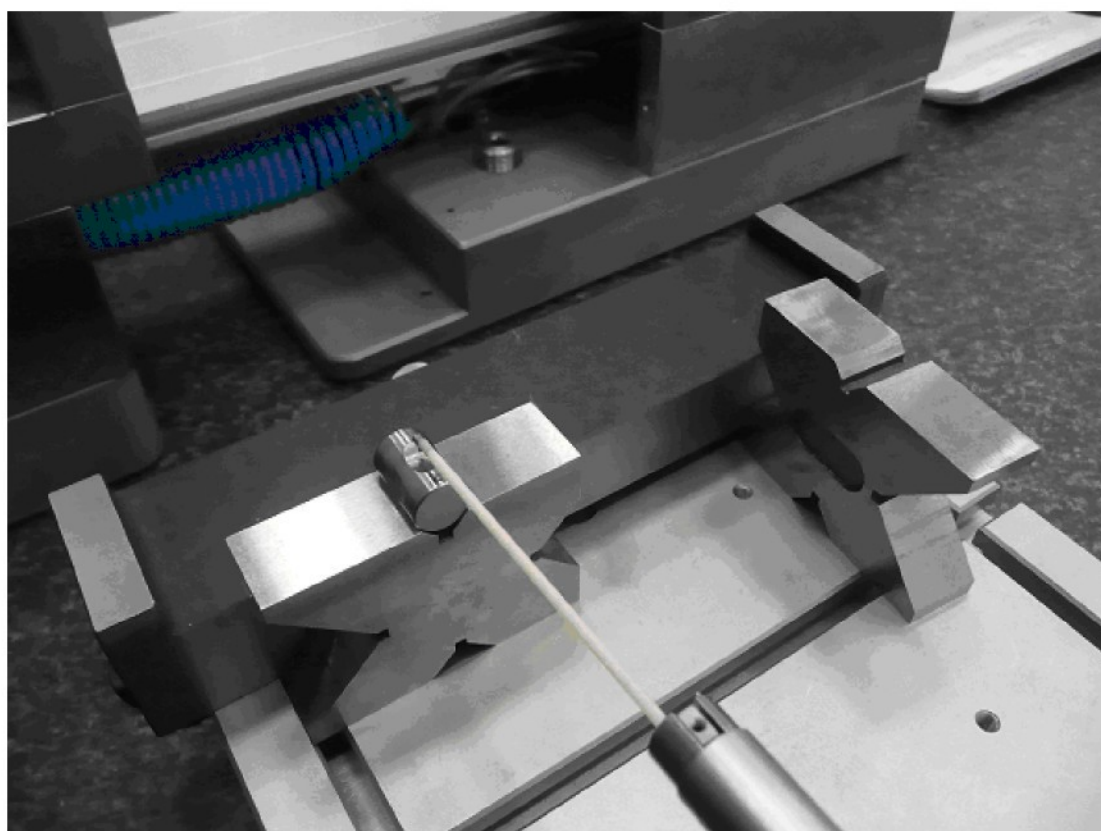
Tab. 9 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO EPK-1 [18]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	1 028
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	41
Bod vzplanutí ve °C	°C	140
Bod tekutosti ve °C	°C	-39
Obsah popela	%	1,2

2.2 Praktická část experimentu

Praktická část experimentu byla realizována na třech nezávislých pracovištích. Ve firmě PARAMO, a.s., Pardubice na pracovišti odboru vývoje paliv, asphaltů a speciálních maziv probíhala příprava jednotlivých vzorků procesních kapalin a měření chladicí schopnosti procesních kapalin na přístroji IVF SmartQuench od firmy IVF Industrial R&D Corporation. V laboratoři Ústavu technologie ropy a petrochemie Fakulty technologie ochrany prostředí na Vysoké škole chemicko-technologické v Praze se na tribometru Reichert M2 od firmy PETROTEST měřily mazací schopnosti procesních kapalin. Na třetím pracovišti, měrovém centru firmy Erwin Junker v závodě Holice v Čechách, probíhalo měření drsnosti povrchu u testovacích válečků na drsnoměru a profiloměru MarTalk od firmy Mahr (viz obrázek č. 12).

Všechny prováděné úkony při měření byly zcela v souladu s požadavky a pravidly bezpečnosti práce.



Obr. 12 Měření parametrů drsnosti plochy otěrové stopy u testovacích válečků pomocí profiloměru a drsnoměru MarTalk firmy Mahr

2.2.1 Popis přístrojů a měřicích zařízení

Tribometr Reichert

Hodnocení mazacích schopností procesních kapalin probíhalo na tribometru Reichert M2 dle norem firmy PETROTEST. Testovací zařízení se skládá z pevně ukotveného testovacího válečku z definovaného materiálu (např. speciální legované oceli ČSN 14 109 viz tabulka č. 10, popřípadě dalších materiálů jako je Al, Cu, mosaz), který je přitlačován pomocí pákového mechanismu na otáčející se brusný prstenec, vyrobený ze speciální legované oceli. Přístroj tribometr Reichert M2 od firmy PETROTEST je znázorněn na obrázku č. 13 [20].



Obr. 13 Tribometr Reichert M2 (přístroj firmy PETROTEST) [20]

Tab. 10 Označení materiálu třecí dvojice testovacího válečku a brusného prstence [20]

Značka oceli dle ČSN	Značka oceli dle EN nebo EN ISO	Obsah prvků [%]								
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Ni+Cu	P	S
14 109	100Cr6	0,9 - 1,1	0,3 - 0,5	0,15 - 0,35	1,3 - 1,65	Max. 0,3	Max. 0,25	Max. 0,5	Max. 0,027	Max. 0,03

IVF SmartQuench

Přístroj IVF SmartQuench je zařízení na stanovení ochlazovací schopnosti kapalných médií pro tepelné zpracování pracující v souladu dle standardů norem ISO 9950-1995 a ASTM D 6200-01. Z tvaru a průběhu ochlazovací křivky odečítáme maximální ochlazovací rychlost OR v $^{\circ}\text{C/s}$ a teplotu polohy maximální ochlazovací rychlosti. Obě tyto veličiny charakterizují změnu rychlosti v průběhu ochlazování pro danou kapalinu. Ochlazovací křivky a bloková schémata jsou zobrazovány na PC. Přístroj IVF SmartQuench od firmy IVF Industrial R&D Corporation je znázorněn na obrázku č. 14 [8].



LEGENDA:

Kompakte Datenerfassungseinheit:	Jednotka sběru dat
Drahtlose Datenübertragung:	Bezdrátový přenos dat
Leistungsfähige Software:	Programové prostředky

Obr. 14 Přístroj IVF SmartQuench (přístroj firmy IVF Industrial R&D Corporation) [8]

2.3 Metodika experimentů

2.3.1 Příprava vzorků procesních kapalin

Jak již bylo napsáno v kapitole 1.4, důležitým kritériem experimentu je správná příprava procesní kapaliny.

Nejprve bylo nutno připravit vzorky vodou mísitelných procesních kapalin. Pro samotnou přípravu byla použita voda z řady, která měla tvrdost (dH) 16 °N a teplotu 20°C.

Kontrola požadované koncentrace vodou mísitelných procesních kapalin byla stanovena za pomoci ručního refraktometru OPTECH typ RCZ O-32 % od firmy Fisher Scientific. Měření za pomoci tohoto měřicího přístroje probíhalo následovně. Přední stranu refraktometru nasměrujeme na silný zdroj světla a okulár zaostříme tak, aby stupnice byla dobře viditelná. Odklopíme víčko hranolu, kápneme na něj kapky měřeného vzorku procesní kapaliny. Zavřeme víčko a lehce přimáčkeme k optickému hranolu, pak odečteme hodnotu refrakce na stupnici v okuláru [6]. Tento údaj musíme přepočítat dle příslušného faktoru pro refraktometr, který je u vodou mísitelné procesní kapaliny uveden výrobcem v charakteristických parametrech příslušné dokumentace. Koncentrace pro připravené vodou mísitelné procesní kapaliny PARAMO SK 220, PARAMO EOPS, PARAMO ERO-SB a PARAMO ERO-AW byla zvolena na hodnotě 5 %. Tato koncentrace je nejrozšířenější pro širokou oblast třískového obrábění většiny obráběných materiálů.

Kontrola hodnoty pH u vzorků procesních kapalin byla stanovena pomocí pH indikátorových papírků od firmy MERCK s rozsahem pH 6,5 – 10,0. Měření za pomoci těchto indikátorových papírků probíhalo následovně. Indikátorový pH papírek ponoříme na dobu 1 s jeho spodní polovinou s vyznačeným proužkem do zkoušeného vzorku vodou mísitelné procesní kapaliny. Po jeho vyjmutí se položí na bílou nenasákavou podložku a zbarvení indikačního proužku porovnáme se srovnávací stupnicí na krabici pH indikátorových papírků [14]. Hodnota pH byla u jednotlivých vzorků vodou mísitelných procesních kapalin PARAMO SK 220, PARAMO EOPS, PARAMO ERO-SB a PARAMO ERO-AW naměřena v rozmezí 9 – 9,3. Tato hodnota pH je ideální pro provozování vodou mísitelných procesních kapalin [4].

Vzorky druhé skupiny vodou nemísitelných procesních kapalin MOGUL N 100, PARAMO CUT 22, PARAMO CUT 25 a PARAMO EPK-1 byly připraveny v potřebném množství pro jednotlivé experimenty. Pro zkoušku na tribometru Reichert v množství 25 ml a pro zkoušku na přístroji IVF SmartQuench v množství 1 l.

2.3.2 Nastavení pracovních podmínek pro provedení experimentů

Před započítím samotných experimentů bylo nutné připravit jednotlivé přístroje a podmínky měření.

Postup měření mazacích schopností PK na tribometru Reichert

První měření pro ověření mazacích schopností procesních kapalin proběhlo na zařízení tribometru Reichert.

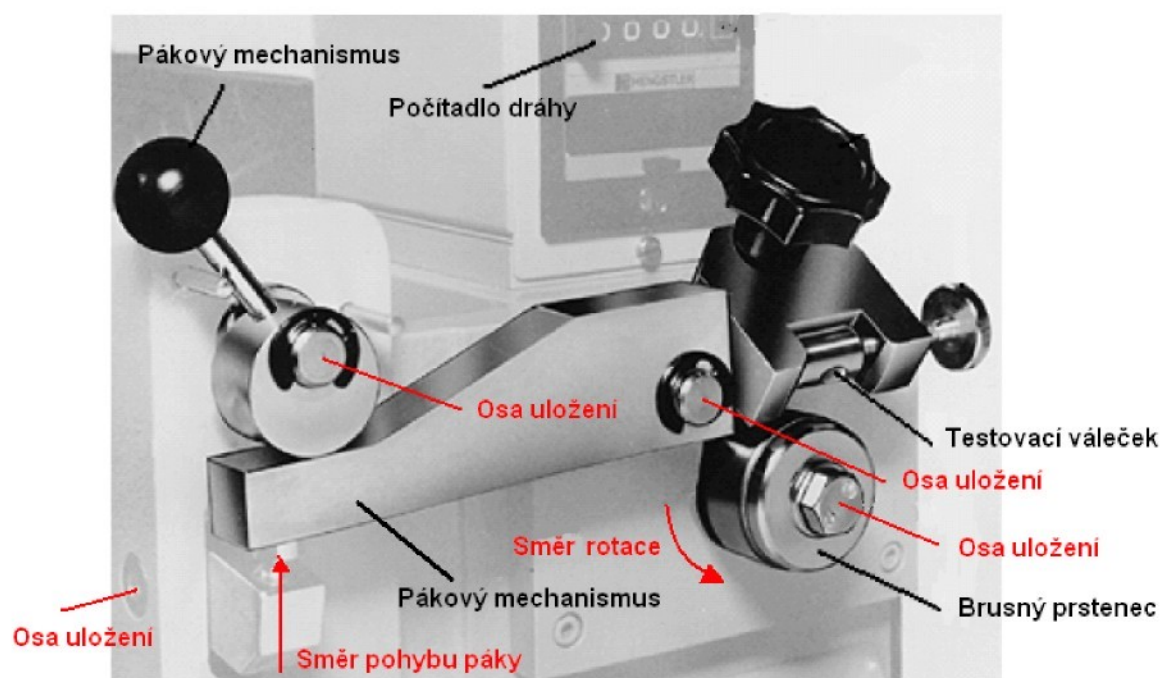
Pro samotné měření bylo nutné provést několik úprav. Z důvodu zabezpečení sledování teploty byl nainstalován laboratorní stojánek na který byla připevněna ponorná měřicí sonda digitálního teploměru TESTO tak, aby po nalití zkušebního vzorku byla ponořena do procesní kapaliny ve zkušební nádobce viz obrázek č. 15. Druhá dotyková sonda byla připravena pro snímání teploty T_0 a T_ϕ na testovacím válečku.



Obr. 15 Příprava ponorné sondy pro měření teploty

Pro odečet časových úseků při stanovení teploty procesních kapalin byly připraveny stopky času. Na měření úbytků hmotnosti testovacího válečku byla připravena laboratorní analytická váha METTLER TOLEDO.

Do nádoby pod brusný prstenec bylo nalito cca 25 ml zkoušené látky o teplotě 20°C. Na takto připravenou nádobku bylo připevněno chlazení za pomoci gumových hadiček napojených na vodovodní řad a laboratorní výlevku. Testovací váleček byl upnut šroubem k oboustranné páce přenášející zatížení do třecího kontaktu. Bylo vynulováno počítadlo metrů na přístroji, zapnut motor a po 10 metrech napočítaných na počítadle (prodleva je nutná k nanesení zkoušené látky na třecí kontakt) byly uvedeny pákovým mechanismem na převodovém soustrojí oba třecí elementy v kontakt viz obrázek č. 16. Po uběhnutí 110 m na počítadle byly oddáleny oba elementy a teprve poté vypnut motor. Předepsaná délka testu je 100 m dráhy otáčejícího se brusného prstence. Bylo pozorováno, že v průběhu testu se měnil zvuk, takzvaný Noise Metr (NM), provázející namáhání testovacího válečku. K nejvýraznější změně (poklesu hlučnosti) došlo ve chvíli utvoření mazacího filmu mezi testovacím válečkem a brusným prstencem.



Obr. 16 Schéma tribometru Reichert M2 [20]

Zpracování výsledků po měření na tribometru Reichert

Výsledkem experimentu je elipsovité plocha, která se vytvoří na povrchu testovacího válečku díky kontaktu s rotujícím brusným prstencem a úbytek hmotnosti obou segmentů. Z vypočtené plochy elipsy a ze zatížení přeneseného pákovým mechanismem na kontaktní bod se vypočte únosnost mazacího filmu procesní kapaliny. Pomocí strojírenské lupy se vyhodnotí délka ℓ a šířka d elipsy na povrchu testovacího válečku a dle vzorce $A = 0,785 \cdot \ell \cdot d$ [mm²] se spočítá plocha otěru A [9]. Únosnost mazacího filmu se spočítá podle vzorce $\dot{U}MF = 2000 \cdot G/A$ [kp/cm²]. Hmotnost G odpovídá zvolenému závaží v kp (1000g $\cong$ 1kp, poznamenejme, že právě tento přepočet je poněkud problematický). Úbytek hmotnosti m_U se hodnotí rozdílem hmotnosti testovacího válečku před zkouškou a po skončení zkoušky, kdy se testovací váleček nejprve před zvážením omyje v roztoku technického lihu a osuší [20].

S jedním testovacím válečkem lze provést přibližně 4 měření. Nová plocha pro další měření se dosáhne otočením testovacího válečku o 90°. Každý test se provádí do uplynutí 60 s, kdy je dosaženo konstantní hodnoty elipsovité otěrové rýhy. Po každé sérii měření je třeba vyměnit měřený vzorek za nový a důkladně odstranit produkty abraze z měřicí nádoby promytím (technickým lihem).

S jedním brusným prstencem lze provést přibližně 40 měření. Ačkoliv již po prvním měření povrch brusného prstence výrazně změní svoji hrubost, neznamená to, že již není více použitelný. Brusný prstenec se mění ve chvíli, kdy se tvar plochy otěrové stopy výrazně změní od tvaru elipsovitého. Při měření vodou nemísitelných procesních kapalin, která obsahují aditiva zlepšující mazivostní vlastnosti (komerční aditivované oleje), nebo olejů s obsahem povrchově aktivních látek, je třeba použít brusný prstenec k tomu určený. Obsažená aditiva mohou utvořit s povrchem kovu tak pevnou vazbu, že daný brusný prstenec je dále nepoužitelný pro další měření [20].

Měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti povrchu otěrové stopy na testovacích válečcích bylo provedeno za pomoci měrového střediska Mahr. Sestava obsahovala stacionární drsnoměr MarTalk, servomotor PZK, elektrickou jednotku a osobní PC systém s operačním systémem MarSurf XR 20. Výstupy měly grafickou i textovou podobu. Měření přístroje

bylo nastaveno podle profilové metody, se kterou se počítají 2D profily [11] podle mezinárodních standardů. Drsnoměr firmy Mahr je znázorněn na obrázku č. 17. Měření každé procesní kapaliny se uskutečnilo čtyřikrát na jednom testovacím válečku na třech místech obroušeného povrchu elipsy.



Obr. 17 Profiloměr a drsnoměr MarTalk firmy Mahr [11]

Pro vyhodnocení parametrů drsnosti povrchu byly vybrány parametry R_a , R_{zDIN} a R_t . Hodnota R_a je střední aritmetická drsnost povrchu. Norma DIN EN ISO 4287 ji definuje jako aritmetický střed absolutních odchylek filtrovaného profilu drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky l_r [5].

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |z(y)| dx \quad [\mu m]$$

Hodnota R_{zDIN} je střední hloubky drsnosti povrchu. Norma DIN 4768 ji definuje jako aritmetický průměr hodnot Z_i naměřených na pěti stejně velkých základních délkách filtrovaného profilu [5].

$$R_{zDIN} = \frac{1}{5} (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) \quad [\mu m]$$

Hodnota R_t je největší hloubka drsnosti povrchu. Norma DIN 4762 ji definuje

jako svislý odstup mezi nejvyšším a nejhlubším bodem filtrovaného profilu drsnosti uvnitř vyhodnocované délky [5].

Postup měření chladicích schopností PK na přístroji IVF SmartQuench

Další měření pro ověření chladicích schopností procesních kapalin proběhlo na přístroji IVF SmartQuench od IVF Industrial R&D Corporation.

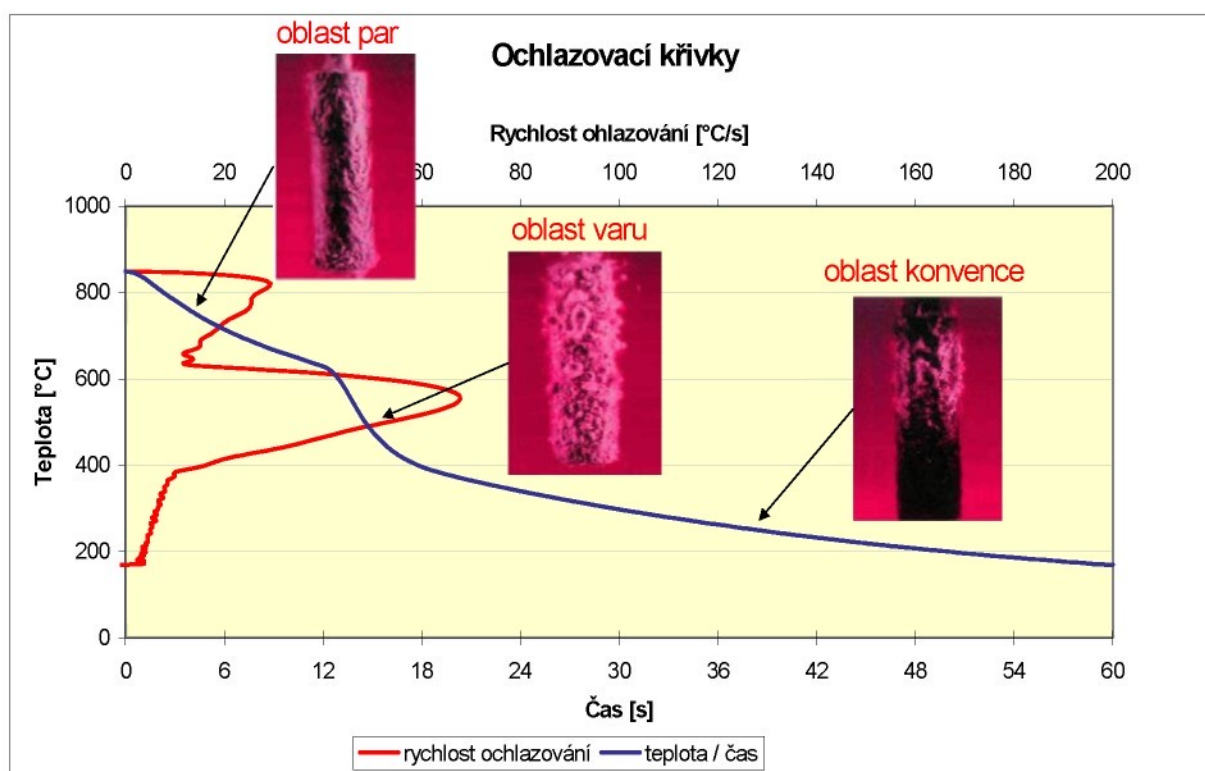
Rovnoměrnost ochlazování v kapalině závisí zejména na rozdílech rychlosti ochlazování během jednotlivých fází viz obrázek č. 18. Ideální průběh ochlazování má krátkou oblast parního polštáře. Parní polštář se rychle porušuje a následně nastává intenzivní oblast ochlazování varem kapaliny. Oxidace u minerálních olejů redukuje stabilitu parní fáze a zvyšuje maximální ochlazovací rychlost [8]. Použitá sestava obsahovala ocelovou měřicí sondu Inconel 600 ($\varnothing 12,5 \times 400$ mm) s rukojetí, přenosnou temperační pec pro ohřev měřicí sondy, nerezovou nádobu o obsahu 1 l na vzorek se stojánkem na měřicí sondu, transceiver pro bezdrátový přenos data a PC s programem IVF SmartQuench verze 2.2 pro vyhodnocování měřených ochlazovacích rychlostí kapalných médií.

Do nerezové nádoby byl připraven 1 l vzorku zkoušené procesní kapaliny o teplotě 20°C. Do pece pro ohřev byla zasunuta měřicí sonda Inconel a zde byla ponechána do okamžiku než na displeji transceiveru (vysílače) připevněného na horní části sondy nebyla hodnota teploty 850°C. Poté byla měřicí sonda vyjmuta z ohřívací pece a přenesena do stojánu nerezové nádoby, kde byla ponořena do připraveného vzorku procesní kapaliny. Následně nastalo prudké ochlazování měřicí sondy za pomoci procesní kapaliny. Měřicí sonda byla v kapalině ponechána po dobu 60 s, kdy přenosný transceiver upevněný nad držadlem sondy zaznamenával průběh ochlazování zahřátého těla ponořené sondy. Po uplynutí 60 s byla sonda z procesní kapaliny vyjmuta a transceiver byl odšroubován. Data zaznamenaná v transceiver byla načtena do PC za pomoci programu IVF SmartQuench verze 2.2.

Po každém měření bylo třeba vylít odzkoušenou procesní kapalinu a nerezovou nádobku a měřicí sondy před nalitím nové procesní kapaliny vždy důkladně omýt a očistit za pomoci technického benzínu a buničiny. Po každém měření bylo vždy nutné počkat na pokles teploty nádoby na vzorek procesní kapaliny a to na 20°C.

Zpracování výsledků po měření na přístroji IVF SmartQuench

Výsledkem experimentu je záznam průběhu ochlazování. Jedná se o průběh poklesu teploty v čase a maximální dosaženou ochlazovací rychlost procesní kapaliny [8]. Výsledné křivky, které dokumentují průběhu ochlazování a ochlazovací rychlosti jsou znázorněny na obrázku č. 18.



Obr. 18 Tři fáze průběhu ochlazování v kapalném médiu [8]

2.3.3 Způsob měření

Měření probíhalo ve dvou etapách. První etapa představovala měření vodou mísitelných procesních kapalin: PARAMO SK 220, PARAMO EOPS, PARAMO ER-SB a PARAMO ERO-AW. Druhá etapa představovala měření vodou nemísitelných procesních kapalin: MOGUL N 100, PARAMO CUT 22, PARAMO CUT 25 a PARAMO EPK-1.

Použité procesní kapaliny:

č. 1	syntetická kapalina	PARAMO SK 220,
č. 2	polosyntetická kapalina	PARAMO EOPS,
č. 3	minerální kapalina	PARAMO ERO-SB,
č. 4	polosyntetická kapalina	PARAMO ERO-AW,
č. 5	základový olej	MOGUL N 100,
č. 6	řezný olej	PARAMO CUT 22,
č. 7	řezný olej	PARAMO CUT 25,
č. 8	soubor vysokotlakých přísad	PARAMO EPK-1.

Použité měřicí přístroje při experimentech:

- tribometr Reichert M2 od firmy PETROTEST,
- ruční refraktometr OPTECH typ RCZ od firmy Fisher Scientific,
- digitální teploměr TESTO typ 922, 2-kanálový teploměr (rozsah -50 až 350°C),
 - + vpichová a ponorná sonda typu K do 1000°C,
 - + dotyková sonda typu K do 1000°C,
- laboratorní analytická váha METTLER TOLEDO AG 245 (citlivost 0,1/0,01 [mg]),
- stopky KS 301,
- strojírenská lupa,
- drsnoměr MarTalk MAHR,
 - + posuvová jednotka DriveUnit.PGK 120,
 - + snímač MFW-250:1 (#1804) – 7 %,
- přístroj IVF SmartQuench od firmy IVF Industrial R&D Corporation,
 - + sonda Inconel typ K 600 (Ø12,5 x 400 mm),
 - + programem IVF SmartQuench verze 2.2.

Obecný postup měření experimentů:

- příprava měřicích přístrojů před vlastním měřením a podmínek měření,
- praktická část měření,
- zpracování naměřených hodnot do tabulek a grafů.

2.3.4 Druhy metod prováděných experimentů

Experimenty se soustředily na prověření dvou základních vlastností procesních kapalin, které byly tématem této diplomové práce:

- zkouška mazací schopnosti procesních kapalin,
- zkouška chladicí schopnosti procesních kapalin.

Přehled měřených parametrů, které byly hodnoceny při jednotlivých experimentech jsou uvedeny v tabulce č. 11.

Tab. 11 Měřené parametry při experimentech

Měřené parametry	symboly	jednotky
Teplota	T	[°C]
Úbytek hmotnosti	m_U	[mg]
Plocha otěrové stopy	A	[mm ²]
Únosnost mazacího filmu	$\dot{UMF}$	[kp/cm ²]
Střední aritmetická hodnota drsnosti	Ra	[μm]
Největší hloubka drsnosti	Rt	[μm]
Maximální výška profilu	Rz_{DIN}	[μm]
Čas experimentu	t	[s]
Ochlazovací rychlost	OR	[°C/s]

Pro názornost je přiložen protokol měření procesní kapalina PARAMO SK 220. První stránka protokolu měření č. 1a znázorňuje podmínky experimentu na tribometru Reichert M2, kde byly sledovány převážně mazací schopnosti procesní kapaliny. Druhá stránka protokolu měření č. 1b znázorňuje podmínky experimentu na přístroji IVF SmartQuench, kde byly sledovány pouze chladicí schopnosti procesní kapaliny. Protokoly měření všech vybraných procesních kapalin jsou doloženy v přílohách č. 1-8 této diplomové práce.

Tab. 12 Podmínky měření mazacích schopností PK na přístroji Reichert M2

Měření č. 1a

Přístroj : tribometr REICHERT M2 (výrobce fa. PETROTEST).

Pracoviště : laboratoř Ústavu technologie ropy a petrofemie Fakulty technologie ochrany životního prostředí na VŠCHT v Praze.

Přístroj Reichert M2			
Čas experimentu	t	60	[s]
Otáčky brusného prstence	n	860	[ot.min ⁻¹]
Příkon motoru	P_M	0,55	[kW]
Napětí motoru	U	380	[V]
Třecí dráha	L	100	[m]
Hmotnost testovacího závaží	M	1,5	[kg]
Obvodová rychlost b. prstence	v_o	1,83	[m.s ⁻¹]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO SK 220	-
Koncentrace PK	x	5	[%]
Množství vzorku PK	V	25	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_o	20	[°C]
Testovací váleček			
Materiál testovacího válečku	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	60±2	HRC
Rozměry test. válečku (d x l)	-	12 x 18	[mm]
Hmotnost testovacího válečku	m_v	15,79161	[g]
Brusný prstenec			
Materiál brusného prstence	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	58-63	HRC
Rozměry BP (D x d x s)	-	35 x 30 x 16	[mm]
Hmotnost brusného prstence	m_P	30,72495	[g]

Tab. 13 Podmínky měření chladicích schopností PK na přístroji IVF SmartQuench

Měření č. 1b

Přístroj : IVF SmartQuench (výrobce fa. IVF Industrial R&D Corporation).

Pracoviště : laboratoř odboru vývoje paliv, asfaltů a speciálních maziv firmy PARAMO, a.s., Pardubice.

Přístroj IVF SmartQuench			
Čas experimentu	t	60	[s]
Teplota měřicí sondy	T_S	850	[°C]
Rozměry měřicí sondy (d x l)	-	400 x 12,5	[mm]
Hmotnost měřicí sondy	M_S	240	[g]
Rozměry transceiveru	-	107 x 52 x 26	[mm]
Hmotnost transceiveru	M_T	70	[g]
Příkon vyhřívací pece	P_P	600	[W]
Rozměry vyhřívací pece	-	200 x 280 x 250	[mm]
Hmotnost vyhřívací pece	M_P	5400	[g]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO SK 220	-
Koncentrace PK	x	5	[%]
Množství vzorku PK	V	1000	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_0	20	[°C]

3. HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VELIČIN

Naměřené hodnoty experimentů byly zpracovány a vyhodnocovány za pomoci tabulkového procesoru EXCEL. Z jednotlivých měření byly odečteny hodnoty znázorňující konkrétní velikost rozdílů u použitých procesních kapalin. Hodnoty byly následně zaznamenány do tabulek za pomoci kterých byly sestrojeny příslušné grafy. Ukázky tabulek a grafů z měření na následujících stranách znázorňují výsledky procesní kapaliny PARAMO SK 220 při jednotlivých experimentech viz tabulka č. 14, 15, 16, 17, 18 a 19 a Graf č. 1, 2 a 3. Záznamy všech měření vybraných procesních kapalin jsou uvedeny v přílohách č. 1-8 této diplomové práce a jsou samostatně očíslovány podle příslušných příloh.

3.1 Naměřené hodnoty

Jak již bylo uvedeno v metodice experimentu viz kapitola 2.3.4, měření probíhalo ve dvou etapách. První etapa se soustředila na měření mazacích schopností procesních kapalin. Naopak druhá etapa se soustředila na měření chladicích schopností procesních kapalin. Souhrnné porovnání procesních kapalin z hlediska naměřených hodnot je uvedeno v následujících tabulkách č. 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 a grafech č. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.

Na obrázku č. 19 je zobrazena plocha otěrové stopy u testovacích válečků na přístroji Reichert M2 u procesních kapalin č. 1 PARAMO SK 220, č. 2 PARAMO EOPS, č. 3 PARAMO ERO-SB a č. 4 PARAMO ERO-AW. Na obrázku č. 20 je zobrazena plocha otěrové stopy na povrchu testovacích válečků na přístroji Reichert M2 u procesních kapalin č. 5 MOGUL N 100, č. 6 PARAMO CUT 22, č. 7 PARAMO CUT 25 a č. 8 PARAMO EPK-1.

Je patrné, že velikost plochy otěrové stopy je u některých testovacích válečků značně rozdílná. V případě procesní kapaliny č. 5 MOGUL N 100 je navíc patrný barevný náběh na horním okraji elipsy plochy otěrové stopy, což svědčí o náběhu vysokých teplot během samotné zkoušky.



Obr. 19 Plocha otěrové stopy u testovacích válečků na přístroji Reichert M2



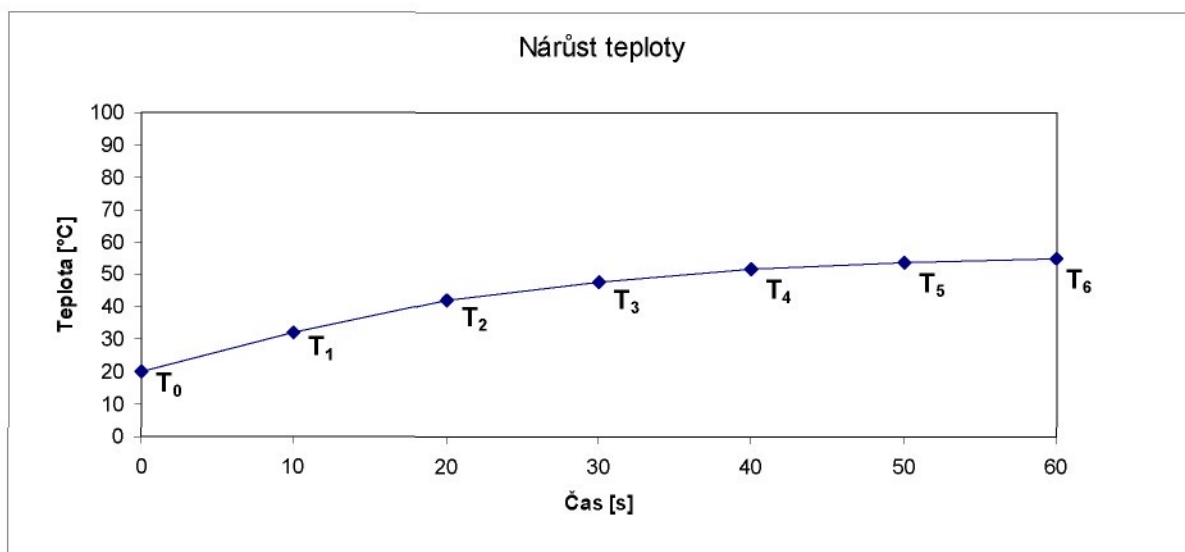
Obr. 20 Plocha otěrové stopy u testovacích válečků na přístroji Reichert M2

Tab. 14 *Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO SK 220 na přístroji Reichert M2*

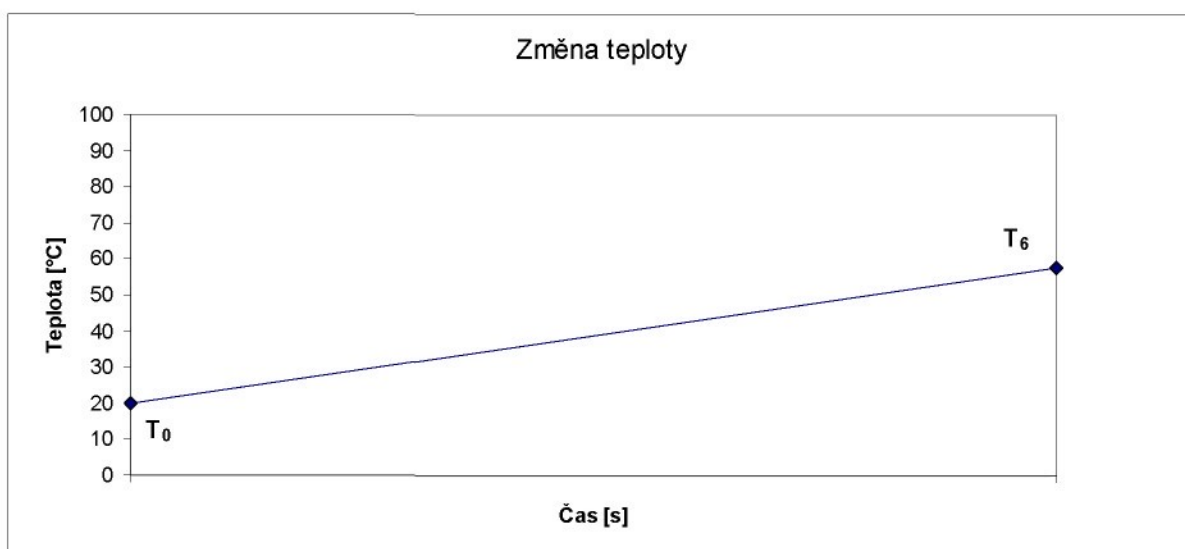
Měřicí přístroj: Digitální teploměr TESTO 922 (2-kanálový)																			
Příslušenství: Vpichová a ponorná sonda typu K do 1000 °C																			
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Pořadí n	Teplota procesní kapaliny [°C]										Ø Nárůst teploty [°C]					
				T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	Nárůst teploty [°C]								
												Čas [s]							
												t ₀	t ₁₀		t ₂₀	t ₃₀	t ₄₀	t ₅₀	t ₆₀
1	PARAMO SK 220	5	I.	20,00	33,00	43,50	48,50	53,00	55,00	56,00	36,00	35,00 ± 1,77							
		5	II.	20,00	31,00	40,00	45,50	49,50	51,00	52,00	32,00								
		5	III.	20,00	32,50	42,50	49,00	53,00	55,00	56,50	36,50								
		5	IV.	20,00	32,00	42,00	48,00	51,50	54,00	55,50	35,50								
		-	Ø	20,00	32,13	42,00	47,75	51,75	53,75	55,00	-								

Tab. 15 *Změna teploty test. válečku při zk. PK PARAMO SK 220 na přístroji Reichert M2*

Měřicí přístroj :		Digitální teploměr TESTO 922 (2-kanálový)					
Příslušenství :		Dotyková sonda typu K do 1000°C					
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Pořadí n	Teplota testovacího válečku [°C]			
				T_0	T_6	Změna teploty [°C]	Ø Změna teploty [°C]
1	PARAMO SK 220	5	I.	20,00	58,00	38,00	37,75 ± 1,79
		5	II.	20,00	55,00	35,00	
		5	III.	20,00	60,00	40,00	
		5	IV.	20,00	58,00	38,00	
		-	Ø	20,00	57,75	-	



Graf 1 Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO SK 220 na přístroji Reichert M2



Graf 2 Změna teploty testovacího válečku při zkoušce procesní kap. PARAMO SK 200 na přístroji Reichert M2

Tab. 16 Úbytek hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj: Laboratorní analytická váha METTLER TOLEDO AG 245				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Pořadí n	Úbytek hmotnosti m_U [mg]	Ø Úbytek hmotnosti m_U [mg]
1	PARAMO SK 220	I.	48,40	43,63 ± 3,11
		II.	43,30	
		III.	43,10	
		IV.	39,70	

Tab. 17 Plocha otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj: Strojnická lupa							
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Pořadí n	Délka stopy otěru l [mm]	Šířka stopy otěru d [mm]	Plocha otěru A [mm ²]	Ø Plocha otěru A [mm ²]
1	PARAMO SK 220	5	I.	7,9	4,7	29,15	27,45 ± 1,05
		5	II.	7,7	4,5	27,20	
		5	III.	7,7	4,5	27,20	
		5	IV.	7,6	4,4	26,25	
		-	Ø	7,7	4,5	-	

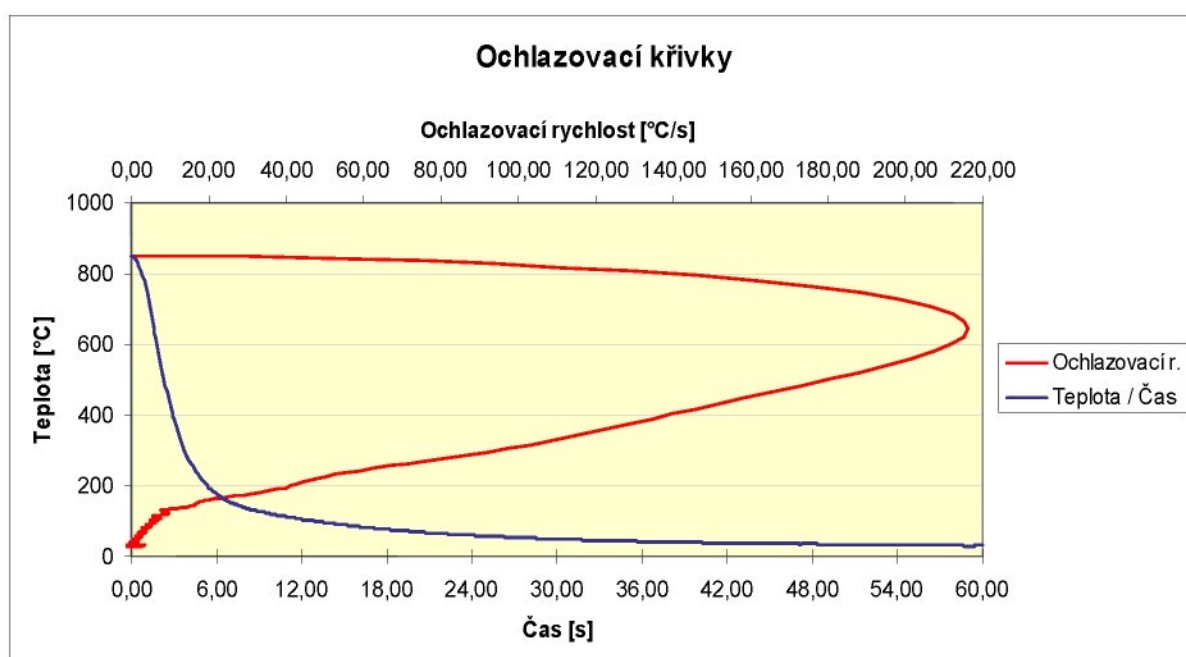
Tab. 18 Únosnost mazacího filmu procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Výpočet: $\dot{U}MF = (2000 \cdot G)/A$ [kp/cm ²]						
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Konstanta	Tíhová hmotnost závaží G [kp]	Ø Plocha otěru A [mm ²]	Únosnost mazacího filmu $\dot{U}MF$ [kp/cm ²]
1	PARAMO SK 220	5	2000	1,5	27,45	109,29

Tab. 19 Parametry drsnosti plochy otěrové stopy testovacího válečku u procesní kapaliny PARAMO SK 220 na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj :				MarTalk (Mahr)				
Příslušenství :				Posuvová jednotka DriveUnit.PGK 120				
Snímač				MFW-250:1 (#1804) - 7%				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Parametry Ra, Rz DIN, Rt	Měření	Pořadí n				Ø Hodnota Ra, Rz DIN, Rt
				I.	II.	III.	IV.	
1	PARAMO SK 220	Ra [µm]	1	0,634	0,778	0,345	0,713	0,600 ± 0,159
			2	0,635	0,781	0,344	0,602	
			3	0,635	0,785	0,346	0,598	
			Ø	0,635	0,781	0,345	0,637	
		Rz DIN [µm]	1	4,089	5,290	2,601	4,711	4,042 ± 0,969
			2	4,096	5,366	2,621	3,804	
			3	4,090	5,395	2,624	3,812	
			Ø	4,092	5,350	2,615	4,109	
		Rt [µm]	1	5,368	7,412	3,643	8,517	5,888 ± 1,500
			2	5,367	7,462	3,689	6,282	
			3	5,366	7,522	3,689	6,336	
			Ø	5,367	7,465	3,674	7,045	

Během experimentů bylo provedeno sedm dílčích měření, při kterých byly hodnoceny jednotlivé vybrané veličiny. Prvním měřením bylo sledování nárůstu teploty procesní kapaliny během experimentu na tribometru Reichert M2. Nejlepší dosažený výsledek byl nejnižší nárůst teploty procesní kapaliny po dobu zkoušky. Druhým měřením bylo vyhodnocení změny teploty testovacího válečku na konci zkoušky. Nejlepší výsledek byla nejnižší změna teploty testovacího válečku. V pořadí třetím měřením bylo zaznamenání úbytku hmotnosti testovacího válečku. Nejlepším výsledkem bylo dosažení nejnižšího váhového úbytku na testovacím válečku. Čtvrtým měřením bylo měření plochy otěrové stopy na testovacím válečku. Nejlepším výsledkem bylo dosažení nejmenší plochy otěrové stopy. Páté měření vycházelo z hodnoty plochy otěrové stopy, která se dosadila do vzorce a vypočítala se únosnost mazacího filmu procesní kapaliny. Nejlepším výsledkem bylo naopak dosažení nejvyšší spočtené číselné hodnoty. Šestým měřením bylo sledování drsnosti povrchu za pomoci parametrů střední aritmetické hodnoty drsnosti R_a , střední hloubky drsnosti R_z DIN a největší hloubky drsnosti R_t . Nejpriznivější výsledek byl v nejnižších hodnotách veličin R_a , R_z DIN a R_t . Posledním sedmým měřením bylo měření průběhu ochlazování měřicí sondy ICONEL pomocí procesní kapaliny a stanovení maximální ochlazovací rychlosti procesní kapaliny na přístroji IVF SmartQuench. Nejlepším výsledkem bylo dosažení nejvyšší ochlazovací rychlosti.



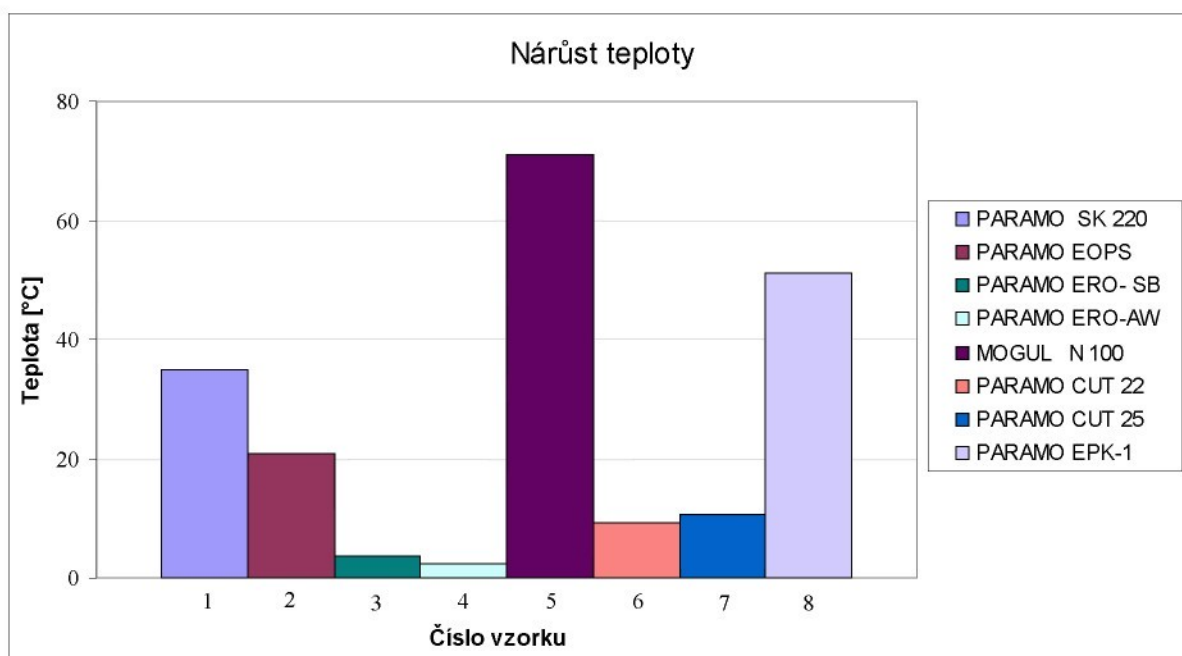
Graf 3 Ochlazovací křivky PK PARAMO SK 220 na přístroji IVF SmartQuench [8]

Měření nárůstu teploty procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Při experimentu na tribometru Reichert M2 byla jedna z měřených veličin teplota. Měřena byla teplota PK na začátku zkoušky, v průběhu a na konci. Kromě průběhu teploty byl důležitý i její nárůst viz tabulka č. 20 a *Graf č. 4*. Při vyhodnocování této veličiny se procesní kapaliny umístily v tomto pořadí: nejnižší nárůstu teploty u PARAMO ERO-AW, PARAMO ERO-SB, PARAMO CUT 22, PARAMO CUT 25, PARAMO EOPS, PARAMO SK 220, PARAMO EPK-1 a u MOGUL N 100 nejvyšší nárůst teploty.

Tab. 20 Nárůst teploty procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Číslo vzorku	Procesní kapalina	Teplota PK [°C]		Nárůst teploty [°C]
		T_0	T_6	
1	PARAMO SK 220	20,00	55,00	35,00
2	PARAMO EOPS	20,00	40,75	20,75
3	PARAMO ERO-SB	20,00	23,75	3,75
4	PARAMO ERO-AW	20,00	22,38	2,38
5	MOGUL N 100	20,00	91,13	71,13
6	PARAMO CUT 22	20,00	29,25	9,25
7	PARAMO CUT 25	20,00	30,75	10,75
8	PARAMO EPK-1	20,00	71,25	51,25



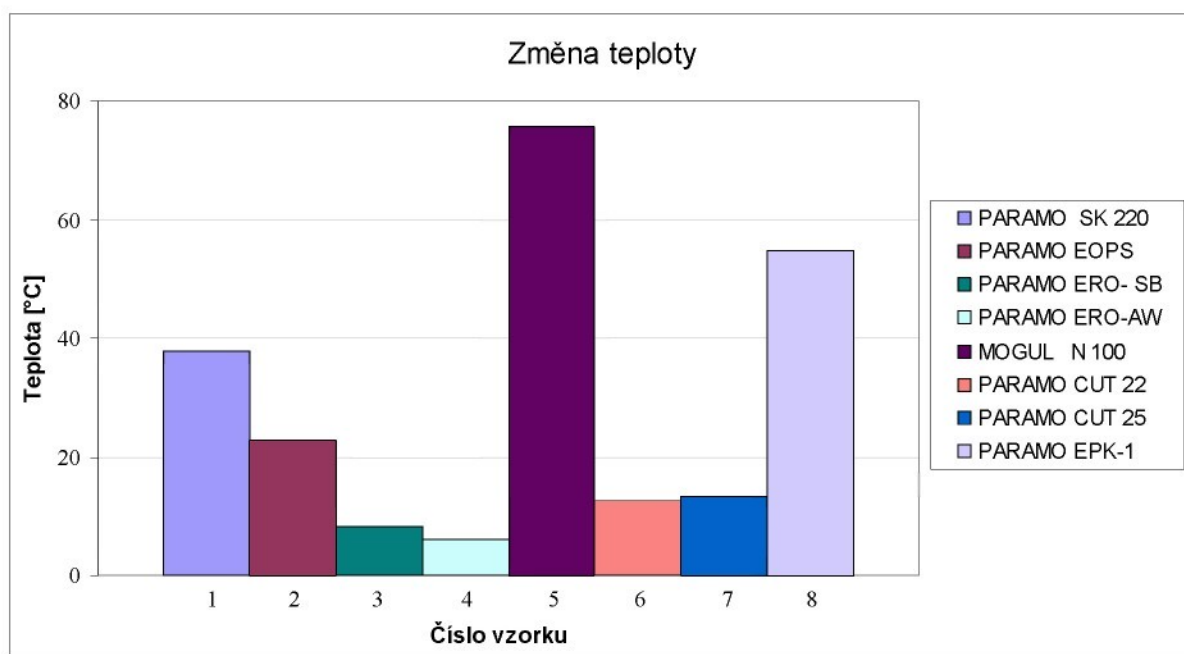
Graf 4 Nárůst teploty procesních kapalin na přístroji Reichert M2

Měření změny teploty testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Další měření bylo soustředěno na měření teploty testovacího válečku na začátku a konci zkoušky. Kritériem hodnocen byl teplotní nárůst na testovacím válečku v závislosti na druhu procesní kapaliny viz tabulka č. 21 a Graf č. 5. Při vyhodnocování této veličiny se PK umístily v následujícím pořadí: nejmenší změna teploty u PARAMO ERO-AW, PARAMO ERO-SB, PARAMO CUT 22, PARAMO CUT 25, PARAMO EOPS, PARAMO SK 220, PARAMO EPK-1 a u MOGUL N 100 největší změna teploty.

Tab. 21 Změna teploty testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Číslo vzorku	Procesní kapalina	Teplota T_v [°C]		Změna teploty [°C]
		T_0	T_6	
1	PARAMO SK 220	20,00	57,75	37,75
2	PARAMO EOPS	20,00	42,88	22,88
3	PARAMO ERO-SB	20,00	28,25	8,25
4	PARAMO ERO-AW	20,00	26,00	6,00
5	MOGUL N 100	20,00	95,63	75,63
6	PARAMO CUT 22	20,00	32,50	12,50
7	PARAMO CUT 25	20,00	33,25	13,25
8	PARAMO EPK-1	20,00	74,88	54,88



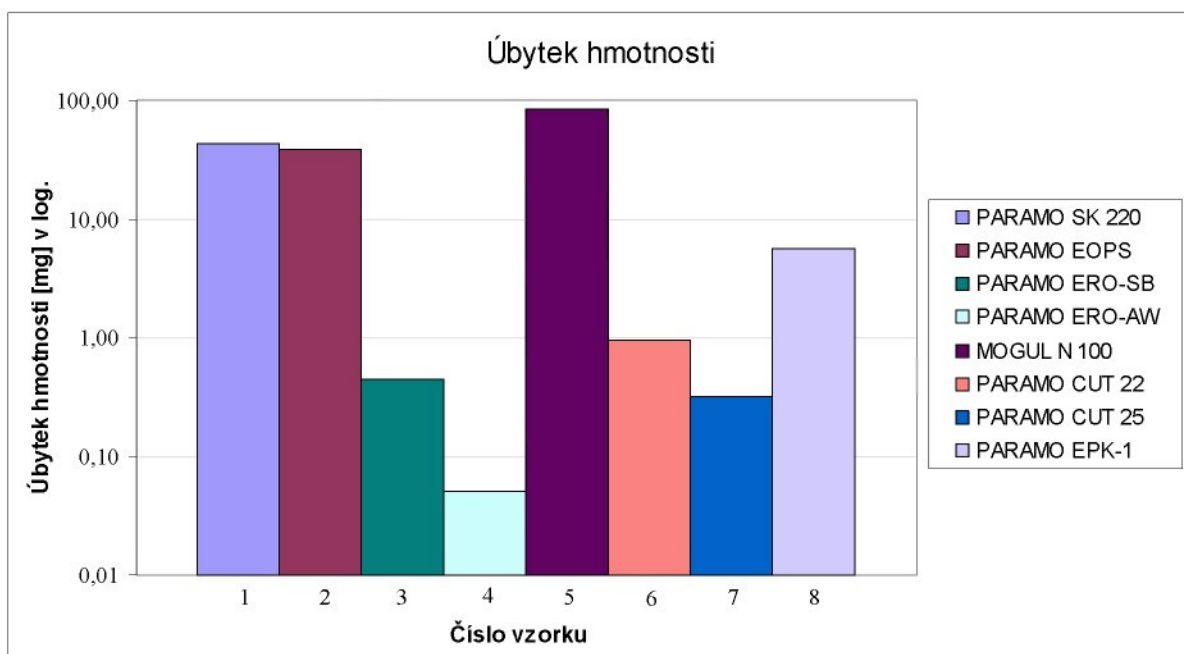
Graf 5 Změna teploty testovacího válečku při zkoušce PK na přístroji Reichert M2

Měření úbytku hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Na tribometru Reichert M2 byl další měřenou veličinou při experimentu úbytek hmotnosti m_U testovacího válečku viz tabulka č. 22 a *Graf č. 6*. Procesní kapaliny se po vyhodnocení umístily v tomto pořadí: nejmenší úbytek hmotnosti u PARAMO ERO-AW, PARAMO CUT 25, PARAMO ERO-SB, PARAMO CUT 22, PARAMO EPK-1, PARAMO EOPS, PARAMO SK 220 a u MOGUL N 100 největší úbytek hmotnosti.

Tab. 22 Úbytek hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Číslo vzorku	Procesní kapalina	Úbytek hmotnosti m_U [mg]
1	PARAMO SK 220	43,63
2	PARAMO EOPS	38,78
3	PARAMO ERO-SB	0,45
4	PARAMO ERO-AW	0,05
5	MOGUL N 100	85,28
6	PARAMO CUT 22	0,95
7	PARAMO CUT 25	0,32
8	PARAMO EPK-1	5,60



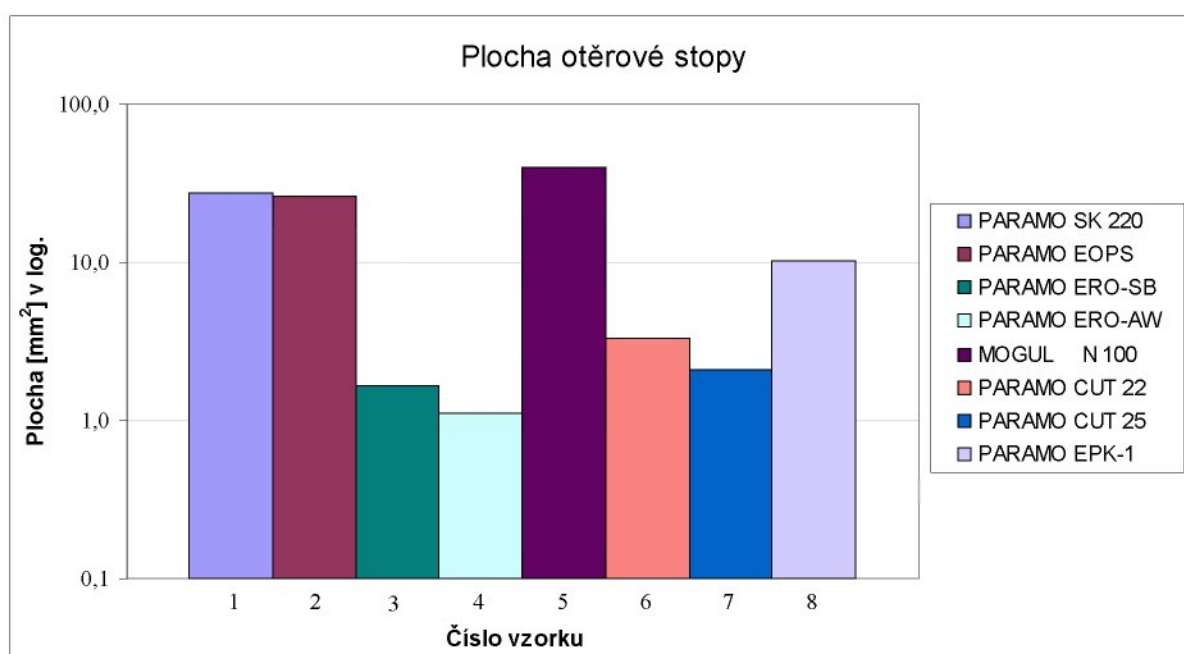
Graf 6 Úbytek hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Měření plochy otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Měření plochy otěrové stopy A bylo provedeno na testovacím válečku na konci zkoušky za pomoci strojírenské lupy. Hodnoty z měření byly seřazeny v tabulce č. 23 a Grafu č. 7. Při vyhodnocování této veličiny se procesní kapaliny umístily v tomto pořadí: nejmenší plocha otěrové stopy u PARAMO ERO-AW, PARAMO ERO-SB, PARAMO CUT 25, PARAMO CUT 22, PARAMO EPK-1, PARAMO EOPS, PARAMO SK 220 a u MOGUL N 100 největší plocha otěrové stopy.

Tab. 23 Plocha otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Číslo vzorku	Procesní kapalina	l [mm]	d [mm]	A [mm ²]
1	PARAMO SK 220	7,7	4,5	27,45
2	PARAMO EOPS	7,5	4,5	26,15
3	PARAMO ERO-SB	1,9	1,1	1,64
4	PARAMO ERO-AW	1,5	1,0	1,12
5	MOGUL N 100	9,5	5,3	39,50
6	PARAMO CUT 22	2,7	1,5	3,32
7	PARAMO CUT 25	2,2	1,2	2,10
8	PARAMO EPK-1	4,7	2,8	10,22



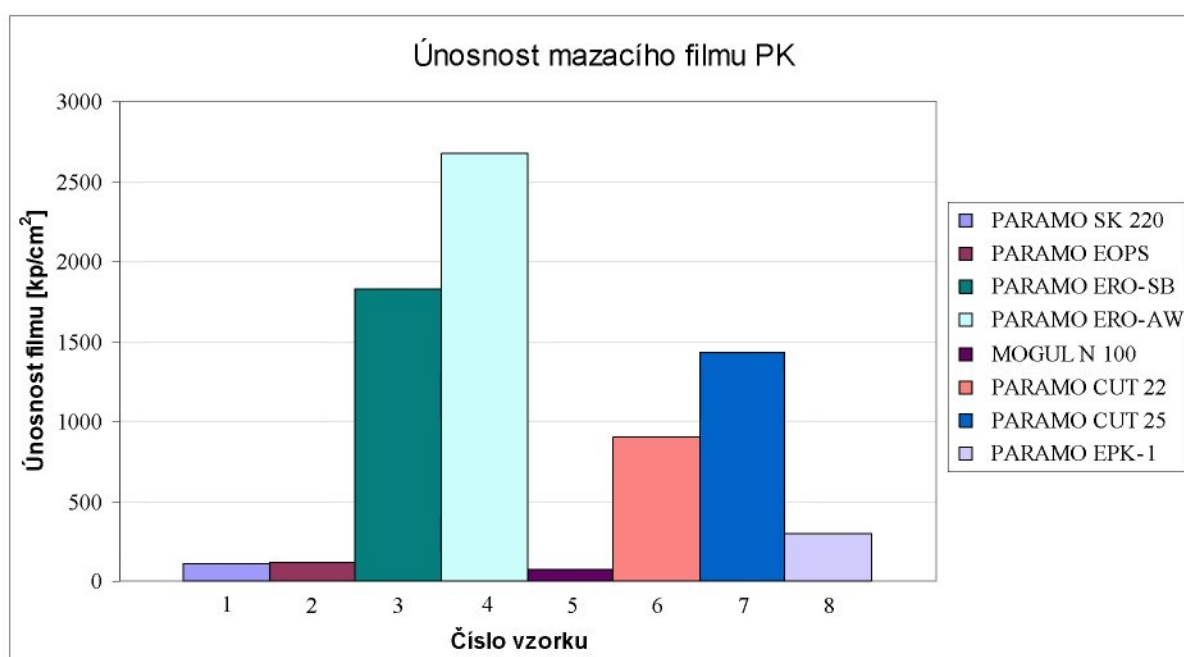
Graf 7 Plocha otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Měření únosnosti mazacího filmu procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Měření únosnosti mazacího $\dot{U}MF$ filmu procesní kapaliny bylo vypočteno dle vzorce $\dot{U}MF = (2000 \cdot G)/A$ [kp/cm²]. Vypočtené hodnoty jsou v tabulce č. 24 a zobrazeny v *Grafu* č. 8. Při vyhodnocování této veličiny se PK umístily v tomto pořadí: největší únosnost mazacího filmu u PARAMO ERO-AW, PARAMO ERO-SB, PARAMO CUT 25, PARAMO CUT 22, PARAMO EPK-1, PARAMO EOPS, PARAMO SK 220 a u MOGUL N 100 nejmenší únosnost mazacího filmu.

Tab. 24 Únosnost mazacího filmu PK na přístroji Reichert M2

Číslo vzorku	Procesní kapalina	G [kp]	ϕA [mm ²]	$\dot{U}MF$ [kp/cm ²]
1	PARAMO SK 220	1,5	27,45	109,29
2	PARAMO EOPS	1,5	26,15	114,72
3	PARAMO ERO-SB	1,5	1,64	1829,27
4	PARAMO ERO-AW	1,5	1,12	2678,57
5	MOGUL N 100	1,5	39,50	75,95
6	PARAMO CUT 22	1,5	3,32	903,61
7	PARAMO CUT 25	1,5	2,10	1428,57
8	PARAMO EPK-1	1,5	10,22	293,54



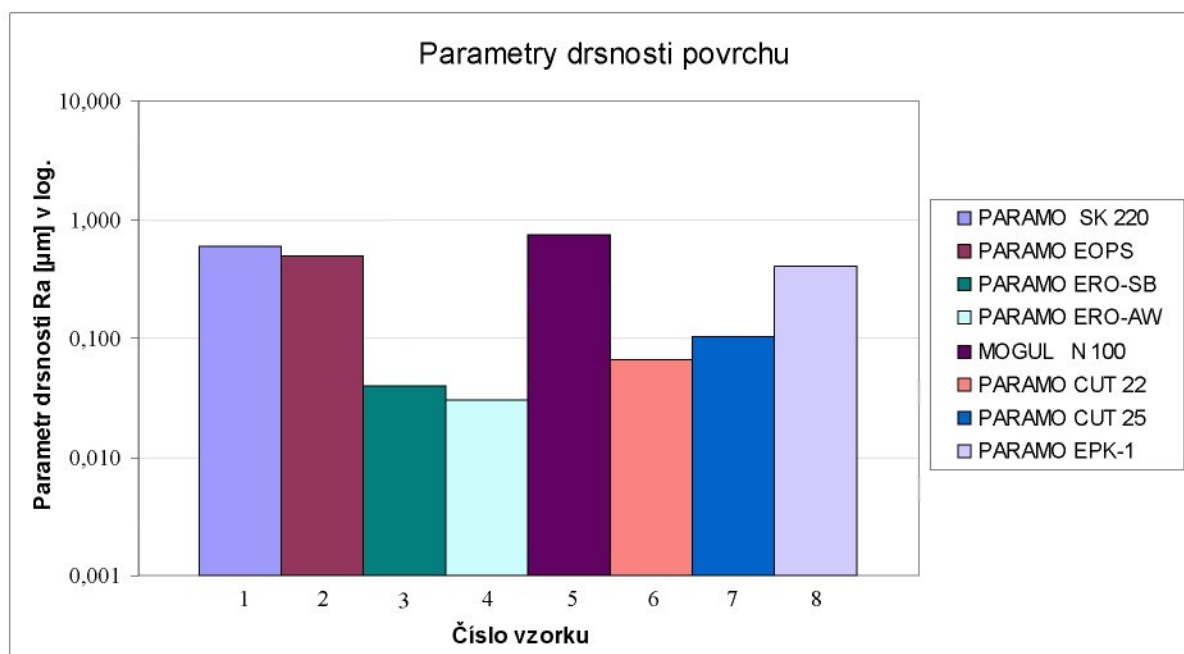
Graf 8 Únosnost mazacího filmu procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Měření parametrů drsnosti plochy otěrové stopy testovacích válečků

Při porovnání parametrů drsnosti plochy otěrové stopy testovacích válečků byly hodnoceny: střední aritmetická hodnota drsnosti R_a , střední hloubka drsnosti R_z DIN a největší hloubka drsnosti R_t viz tabulka č. 25 a Graf č. 9. Při vyhodnocování těchto veličin se PK umístily v tomto pořadí: nejnižších hodnot drsnosti u PARAMO ERO-AW, PARAMO ERO-SB, PARAMO CUT 22, PARAMO CUT 25, PARAMO EPK-1, PARAMO EOPS, PARAMO SK 220 a u MOGUL N 100 nejvyšších hodnot drsnosti.

Tab. 25 Parametry drsnosti plochy otěrové stopy testovacího válečku

Číslo vzorku	Procesní kapalina	R_a [μm]	R_z DIN [μm]	R_t [μm]
1	PARAMO SK 220	0,600	4,042	5,888
2	PARAMO EOPS	0,491	3,704	5,499
3	PARAMO ERO-SB	0,039	0,285	0,490
4	PARAMO ERO-AW	0,030	0,205	0,309
5	MOGUL N 100	0,745	4,647	6,390
6	PARAMO CUT 22	0,066	0,413	0,552
7	PARAMO CUT 25	0,102	0,720	2,242
8	PARAMO EPK-1	0,409	2,259	3,420



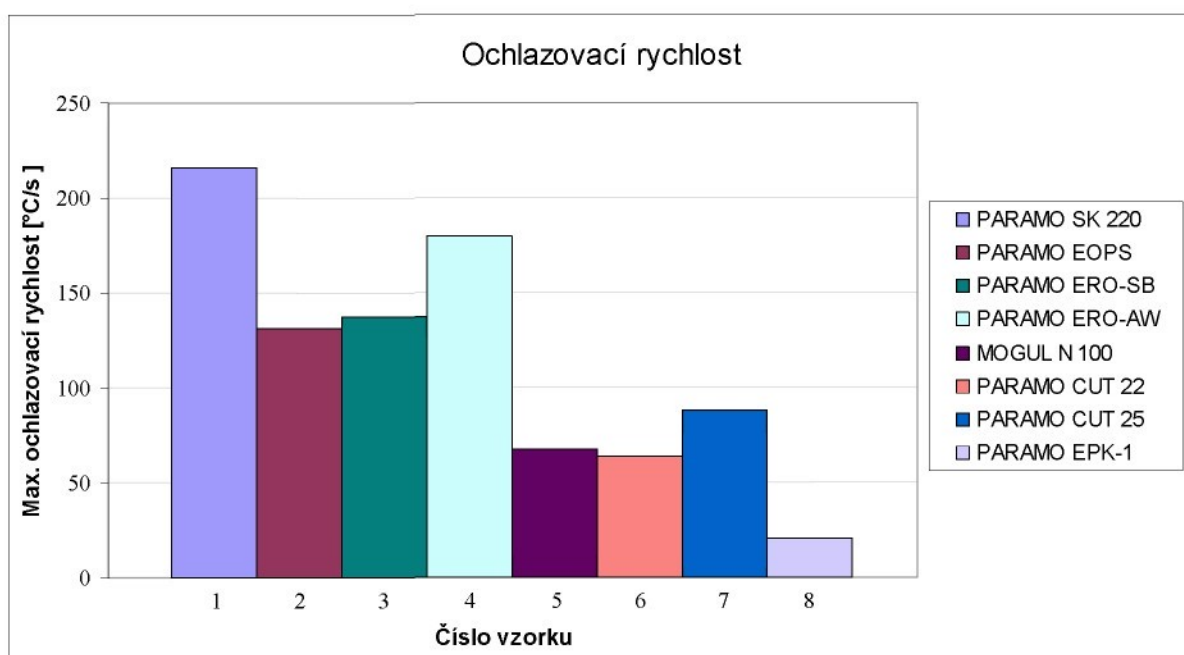
Graf 9 Parametry drsnosti plochy otěrové stopy testovacího válečku

Měření ochlazovací schopnosti PK na přístroji IVF SmartQuench

Ochlazovací rychlost *OR* procesní kapaliny byla měřena za pomoci přístroje IVF SmartQuench. Naměřené parametry jsou uvedeny v tabulce č. 26 a *Grafu č. 10*. Při vyhodnocení této veličiny se procesní kapaliny umístily v následujícím pořadí: nejvyšší ochlazovací rychlosti u PARAMO SK 220, PARAMO ERO-AW, PARAMO ERO-SB, PARAMO EOPS, PARAMO CUT 25, MOGUL N 100, PARAMO CUT 22 a u PARAMO EPK-1 nejnižší ochlazovací rychlosti.

Tab. 26 Ochlazovací rychlost PK na přístroji IVF SmartQuench

Číslo vzorku	Procesní kapalina	Teplota PK [°C]		Max. OR [°C/s]
		T_0	T_6	
1	PARAMO SK 220	20,00	32,60	216,20
2	PARAMO EOPS	20,00	33,95	130,87
3	PARAMO ERO-SB	20,00	34,49	136,93
4	PARAMO ERO-AW	20,00	31,23	179,61
5	MOGUL N 100	20,00	169,27	67,79
6	PARAMO CUT 22	20,00	148,20	63,53
7	PARAMO CUT 25	20,00	124,19	87,77
8	PARAMO EPK-1	20,00	469,13	20,83



Graf 10 Ochlazovací rychlost procesní kapaliny na přístroji IVF SmartQuench

Celkové hodnocení procesních kapalin

Celkové hodnocení procesních kapalin bylo provedeno statistickou metodou za pomoci aritmetického průměru. Naměřeným veličinám jednotlivých měření byla přiřazena stejná váha výsledku. Přehled dosažených číselných hodnot u sedmi měřených veličin, pořadí úspěšnosti hodnocení jednotlivých experimentů i celkové souhrnné hodnocení 1-8 je uvedeno v tabulce č. 27 a č. 28. Procesní kapaliny se umístily při celkovém vyhodnocení všech měřených veličin v následujícím pořadí: PARAMO ERO-AW, PARAMO ERO-SB, PARAMO CUT 25, PARAMO CUT 22, PARAMO EOPS, PARAMO SK 220, PARAMO EPK-1 a MOGUL N 100.

Tab. 27 Souhrn naměřených veličin na přístroji Reichert M2 a IVF SmartQuench

Číslo vzorku	Procesní kapalina	Nárůst teploty PK [°C]	Změna teploty T_v [°C]	Úbytek hmotnosti m_u [mg]	A [mm ²]	ÚMF [kp/cm ²]	Ra [μm]	Max. OR [°C/s]
1	PARAMO SK 220	35,00	37,75	43,63	27,45	109,29	0,600	216,20
2	PARAMO EOPS	20,75	22,88	38,78	26,15	114,72	0,491	130,87
3	PARAMO ERO-SB	3,75	8,25	0,45	1,64	1829,27	0,039	136,93
4	PARAMO ERO-AW	2,38	6,00	0,05	1,12	2678,57	0,030	179,61
5	MOGUL N 100	71,13	75,63	85,28	39,50	75,95	0,745	67,79
6	PARAMO CUT 22	9,25	12,50	0,95	3,32	903,61	0,066	63,53
7	PARAMO CUT 25	10,75	13,25	0,32	2,10	1428,57	0,102	87,77
8	PARAMO EPK-1	51,25	54,88	5,60	10,22	293,54	0,409	20,83

Tab. 28 Souhrn hodnocení veličin na přístroji Reichert M2 a IVF SmartQuench

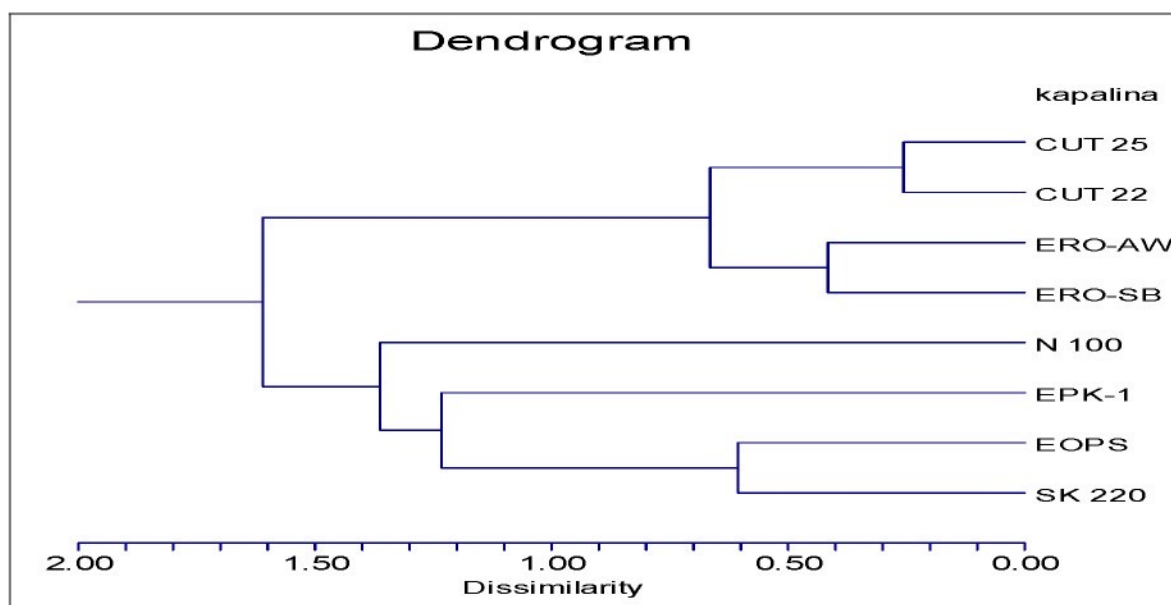
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Pořadí procesních kapalin při experimentech							Celkové pořadí PK
		Nárůst teploty PK [°C]	Změna teploty T_v [°C]	Úbytek hmot. m_u [mg]	A [mm ²]	ÚMF [kp/cm ²]	Ra [μm]	Max. OR [°C/s]	
1	PARAMO SK 220	6	6	7	7	7	7	1	6
2	PARAMO EOPS	5	5	6	6	6	6	4	5
3	PARAMO ERO-SB	2	2	3	2	2	2	3	2
4	PARAMO ERO-AW	1	1	1	1	1	1	2	1
5	MOGUL N 100	8	8	8	8	8	8	6	8
6	PARAMO CUT 22	3	3	4	4	4	3	7	4
7	PARAMO CUT 25	4	4	2	3	3	4	5	3
8	PARAMO EPK-1	7	7	5	5	5	5	8	7

3.1.1 Statistické vyhodnocení souhrnu naměřených vlastností PK

Pro kontrolu celkových výsledků experimentů chladicích a mazacích schopností procesních kapalin. Ověření významnosti výsledků provedených sedmi měření (nárůstu teploty procesní kapaliny, změny teploty testovacího válečku, úbytku hmotnosti m_U , plochy otěrové stopy A , únosnosti mazacího filmu $\dot{U}_{MF}$, parametrů drsnosti povrchu Ra a maximální ochlazovací rychlosti OR) bylo podrobena statistické metodě vyhodnocení. Pro tento účel byla použita statistická shluková analýza a korespondenční analýza [13].

Shluková analýza

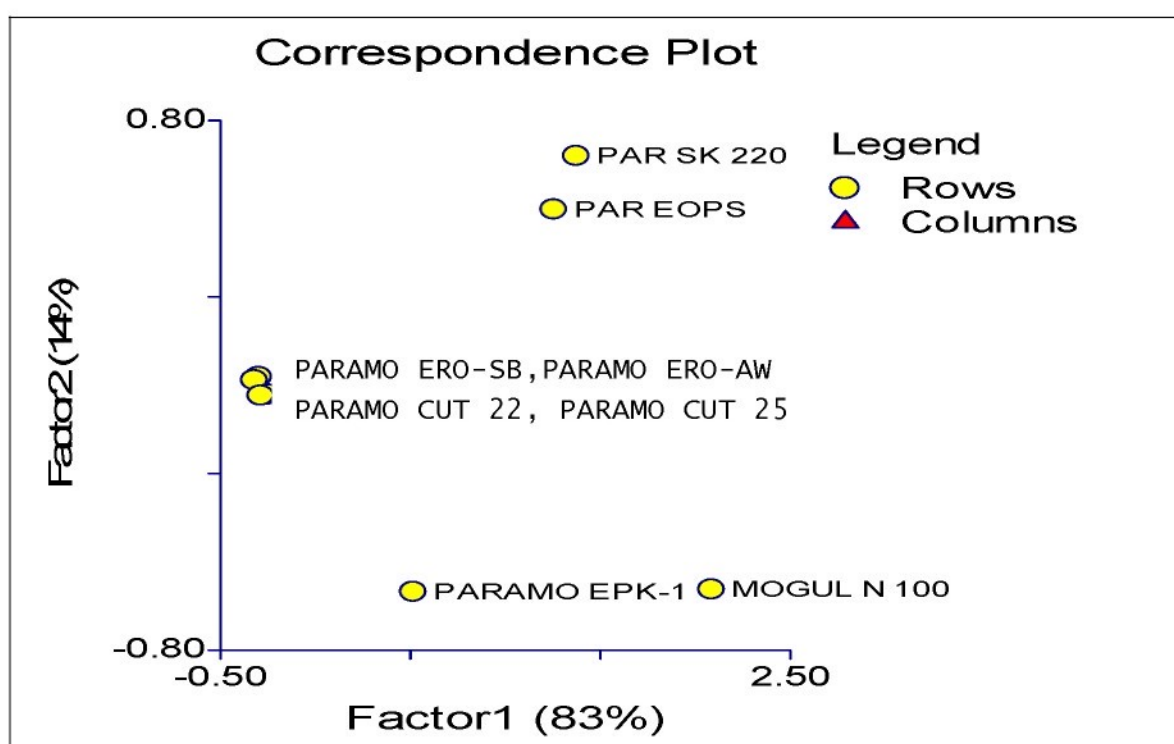
Princip shlukové analýzy spočívá v tom, že nejprve byly vypočteny vzdálenosti mezi všemi objekty v n -rozměrném prostoru. Dále byly jednotlivé objekty spojeny podle zadaného klíče (metody shlukování) až zůstal pouze jeden shluk obsahující všechny objekty. Grafickým zobrazením viz Graf č. 11 shlukové analýzy je tzv. dendrogram, který má na y-ové ose jednotlivé objekty a na ose x tzv. nepodobnost (dissimilarity). Čím kratší jsou úsečky na ose x pro jednotlivé dvojice objektů, tím jsou si objekty podobnější a naopak čím delší tím méně podobné [13]. Výsledek shlukové analýzy potvrzuje výsledky experimentů ze kterého vyplývá, že procesní kapaliny PARAMO ERO-AW, PARAMO ERO-SB, PARAMO CUT 22 a PARAMO CUT 25 mají hodnoty výsledků u jednotlivých měření veličin podobné a tudíž zde platí i jistá zaměnitelnost.



Graf 11 Zobrazení shlukové analýzy výsledků experimentů procesních kapalin na tribometru REICHERT M2 a přístroji IVF SmartQuench [13]

Korespondenční analýza CA

Korespondenční analýza je grafická metoda k zobrazení skryté vnitřní závislosti, asociace v tabulce četností zvané kontingenční tabulka, která obsahuje n-řádkových kategorií (vlastnosti procesních kapalin) a m-sloupcových kategorií (druh procesní kapaliny). Zobrazovacím diagramem CA analýzy je „subjektivní mapa“. Řádkové profily, které jsou těsně u sebe, indikují řádky, s podobnými profily (objekty = procesní kapaliny jsou si podobné jako celek) [13]. Blízké sloupcové profily ukazují na korelaci mezi měřenými vlastnostmi.



Graf 12 Diagram zobrazení CA analýzy výsledků experimentů procesních kapalin na tribometru REICHERT M2 a přístroji IVF SmartQuench [13]

Graf č. 12 vyjadřuje skryté vnitřní závislosti procesních kapalin. Řádkové profily zobrazuje tři výrazné shluky procesní kapalin: shluk č. 1 PARAMO SK 220 a PARAMO EOPS; shluk č. 2 PARAMO ERO-SB, PARAMO ERO-AW, PARAMO CUT22 a PARAMO 25; shluk č. 3 PARAMO EPK-1 a MOGUL N 100.

Procesní kapaliny ve shluku č. 2 v Grafu č. 12 jsou velmi blízko sebe, tj. jsou si z komplexního hlediska velmi podobné, tedy prakticky zaměnitelné.

4. ZÁVĚR

Diplomové práce navrhuje a prakticky ověřuje zkušební metodiky pro hodnocení vlivu chladicí a mazací schopnosti procesních kapalin. Experimentálně stanovené veličiny prokázaly potenciální možnost jejich dalšího využití při navrhování a zkoušení procesních kapalin. Výsledky provedených experimentů jsou doloženy v přílohách č. 1-8 diplomové práce.

Diplomová práce popisuje odbornou terminologii obecného rozdělení procesních kapalin. Podrobně charakterizuje návod výběru, správné přípravy a zásad provozování procesních kapalin.

Za účelem realizace experimentů byla provedena rešerše odborné literatury a dostupných informací, týkajících se tématu a problematiky procesních kapalin. Na základě vyhledaných poznatků byl navržen postup měření vybraných veličin.

Pro jednotlivé experimenty zmíněného vlivu chladicí a mazací schopnosti procesních kapalin na technologii procesu obrábění bylo vybráno a připraveno osm druhů procesních kapalin. Zároveň bylo při výběru zohledněno, aby jednotlivé procesní kapaliny dostatečně reprezentovaly jednotlivé charakteristické skupiny procesních kapalin (vodou mísitelné procesní kapaliny, vodou nemísitelné procesní kapaliny, minerální, polosyntetické, syntetické procesní kapaliny, neaditivované, aditivované středně i vysoce).

Hlavním kritériem pro porovnávání procesních kapalin pak byly tyto veličiny:

- nárůst teploty procesní kapaliny v průběhu experimentu na přístroji Reichert,
- změna teploty testovacího válečku při experimentu na přístroji Reichert,
- hmotnostní úbytek m_U testovacího válečků na přístroji Reichert,
- plocha otěrové stopy A na testovacím válečku na přístroji Reichert,
- únosnost mazacího filmu $\dot{UMF}$ procesní kapaliny na přístroji Reichert,
- parametry drsnosti plochy otěrové stopy Ra , $RzDIN$ a Rt testovacího válečku na přístroji Reichert,
- průběh ochlazování procesní kapalinou na přístroji IVF SmartQuench,
- maximální ochlazovací rychlost OR procesní kapaliny na přístroji IVF SmartQuench.

V první fázi experimentu byl zkoumán vliv převážně mazacích schopností vybraných procesních kapalin na zvolená kritéria. Pro potřeby tohoto měření byl použit přístroj Reichert M2 od firmy PETROTEST.

Při druhé fázi experimentu byla použita zcela nová metoda, která byla navržena za účelem sledování a měření vlivu pouze chladicích schopností vybraných procesních kapalin. Měření prokázalo, že navržená metoda je správná a lze ji využívat pro měření ochlazovací rychlosti kapalných médií, mezi které se řadí i procesní kapaliny. Právě toto měření, které umožnilo sledovat a porovnávat chladicí schopnost jednotlivých procesních kapalin doplnilo předepsané zkušební metodiky na testování procesních kapalin při jejich navrhování a provozním ověřování. Pro potřeby tohoto měření byl použit přístroj IVF SmartQuench od firmy IVF Industrial R&D Corporation.

Po vyhodnocení měření a zpracování dílčích výsledků se v této etapě došlo k následujícím závěrům.

Procesní kapalina PARAMO ERO-AW je zástupce nově vyvíjených vodou mísitelných procesních kapalin. Na základě dosažených výsledků mezi zvolenými procesními kapalinami se prokázala jako nejvýkonnější, jelikož bylo dosaženo nejpříznivějších parametrů při jednotlivých experimentech. V celkovém hodnocení ji patří první místo. Při experimentu bylo dosaženo nejnižšího nárůstu teploty procesní kapaliny 2,38 [°C] a nejnižší změny teploty na testovacím válečku 6,00 [°C]. Úbytek hmotnosti testovacího válečku byl 0,05 [mg] a ve dvou případech nebyl dokonce měřitelný ani na pátém desetinném místě za pomoci analytické laboratorní váhy. Plocha otěrové stopy 1,12 [mm²] na testovacím válečku byla také velice malá. Únosnost mazacího filmu procesní kapaliny 2678,57 [kp/cm²] byla nejvyšší dosaženou hodnotou v porovnání s ostatními procesními kapalinami. Naměřené parametry drsnosti povrchu ukázaly dosažení nejkvalitnějšího povrchu a tedy nejnižších hodnot Ra 0,030 [μm], RzDIN 0,205 [μm] a Rt 0,309 [μm]. Maximální dosažená ochlazovací rychlost procesní kapaliny 179,61 [°C/s] byla druhým nejlepším naměřeným výsledkem.

Velice podobných výsledků bylo dosaženo v případě procesní kapaliny PARAMO ERO-SB, která se umístila v celkovém hodnocení na druhém místě. Průběh jednotlivých měření byl podobný jako u procesní kapaliny PARAMO ERO-AW, ale s poněkud nižšími dosaženými hodnotami.

Další důležitou skupinou jsou procesní kapaliny PARAMO CUT 25 a PARAMO CUT 22 s výsledky, ve kterých byly velice vyrovnané. Rozdíly mezi hodnocenými procesními kapalinami PARAMO ERO-AW, PARAMO ERO-SB, PARAMO CUT 22, PARAMO CUT 25 nejsou tak velké jako v případě dalších procesních kapalin, proto se v celkovém hodnocení umístily na třetím místě PARAMO CUT 25 a čtvrtém místě PARAMO CUT 22. Při hodnocení v jednotlivých parametrech se jejich výsledky střídaly a celkově byly velice dobré. Nicméně se u nich projevuje spíše vyšší mazací, ale nižší chladicí schopnost. Na základě porovnání výsledků za pomoci statistických metod proto můžeme prohlásit, že u této skupiny čtyř procesních kapalin je možná jistá zaměnitelnost při výběru pro operace třískového obrábění vzhledem k podobným výsledkům.

Vyrovnanou skupinou, co se týče výsledků, byly další dvě procesní kapaliny PARAMO EOPS a PARAMO SK 220. Celkově se umístily v hodnocení na pátém a šestém místě. Dosažené výsledky si byly navzájem velice podobné. Nejhůře dopadly při hodnocení parametrů drsnosti povrchu testovacího válečku. Překvapivě nejlepšího dosaženého výsledku při měření maximální ochlazovací rychlosti 216,20 [°C/s] bylo dosaženo v případě procesní kapaliny PARAMO SK 220. Mazací vlastnosti byly ale natolik špatné, že je nedokázal vyvážit ani výborný chladicí účinek.

Procesní kapalina PARAMO EPK-1 je vlastně 100% soubor vysokotlakých přísad. Na základě výsledků experimentů se ukázalo, že samotná přísada musí mít hlavně správně zvolený a účinný nosič. To znamená například základový olej nebo jinou vhodně zvolenou látku, se kterou je schopna vytvořit funkční celek. Navíc je přísada nejúčinnější pouze v určité oblasti dozace, jinak ztrácí svoji výhodu a vliv obsažených účinných aktivních látek je prakticky nevýznamný. Při měření parametrů drsnosti povrchu, úbytku hmotnosti testovacího válečku, plochy otěrové stopy a únosnosti mazacího filmu dosáhla procesní kapalina PARAMO EPK-1 pouze průměrných výsledků a celkově se umístila na sedmém místě. Ochlazovací rychlost bohužel z důvodu nízkého bodu vzplanutí a vysoké tenze par byla zcela nevyhovující. Při zkoušce se navíc vzorek vznál a samovolně hořel po celou dobu experimentu na přístroji IVF SmartQuench.

Celkově nejhorších výsledků a osmé pozice bylo dosaženo v případě procesní kapaliny MOGUL N 100. Tato procesní kapalina je v podstatě čistý základový olej a byla

do experimentů vybrána pouze pro porovnání s aditivovanými procesními kapalinami. Jak je z provedených hodnocení veličin patrné, tato procesní kapalina značně zaostávala ve všech měřených parametrech, kde dosáhla: nejvyššího nárůstu teploty procesní kapaliny 71,13 [°C], největší změny teploty na testovacím válečku 75,63 [°C], největšího úbytek hmotnosti testovacího válečku 85,28 [mg], největší plochy otěrové stopy 39,50 [mm²], nejmenší únosnosti mazacího filmu procesní kapaliny 75,55 [kp/cm²], nejhorších parametrů drsnosti povrchu Ra 0,745 [μm], RzDIN 4,647 [μm] a Rt 6,390 [μm], v případě porovnání s nejlepší procesní kapalinou se jednalo o rozdíly v řádech. Dostačující byla pouze její ochlazovací schopnost 67,79 [°C/s] na přístroji IVF SmartQuench, kde se umístila na šestém místě. V případě této procesní kapaliny se potvrdila nezastupitelnost samotné aditivace přísadami pro dosažení požadovaných vyvážených výsledků procesní kapaliny.

Výsledky této diplomové práce potvrdily, že chladicí a mazací účinky procesních kapalin jsou měřitelné a dají se objektivně zjišťovat. Dále výsledky prokázaly, na základě příloh diplomové práce č. 1-8, že mezi jednotlivými druhy procesních kapalin, vybraných pro experimenty, jsou velké rozdíly. Z důvodů jejich lepšího pochopení by bylo vhodné v dalších zkouškách pokračovat a některé veličiny podrobněji analyzovat.

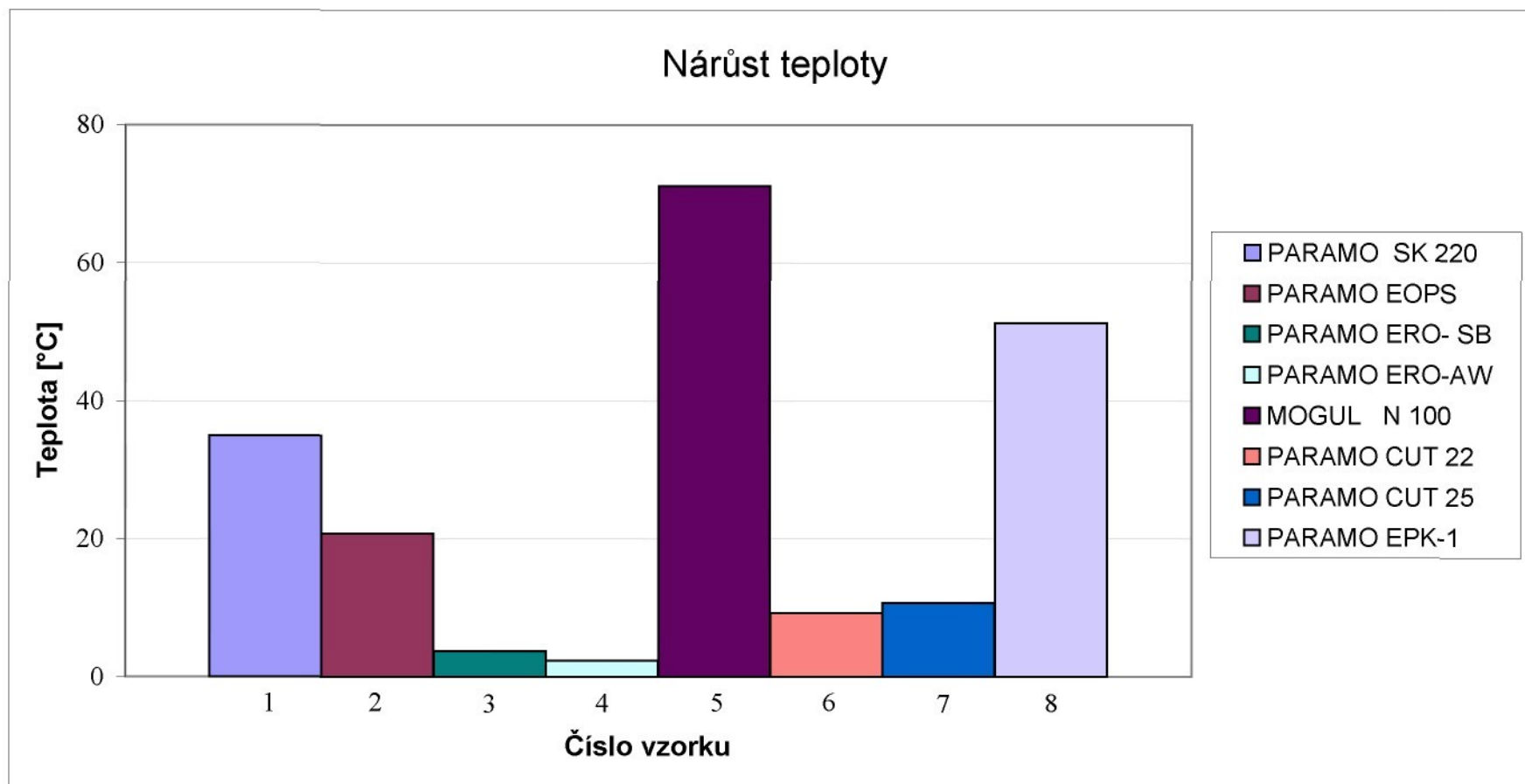
SEZNAM LITERATURY:

- [1] BUMBÁLEK, B., OŠTÁDAL, B., ŠAFR, E. *Řezné kapaliny*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1963. 136 s. ISBN -.
- [2] BARTŮŠEK, T. *Účinky procesní kapaliny na technologii broušení a kvality obrobených součástí. [Diplomová práce]*. Liberec, TU Liberec, 2008. 67 s.
- [3] BENEŠ, P. *Prezentace procesních kapalin*. PARAMO a. s. Pardubice, 2008 34 s.
- [4] ČSN 65 6299. Emulgační oleje a maziva - Stanovení pH emulze. květen 2008. Praha: Český normalizační institut.
- [5] EMS, Teplice: Přístroje pro přesná měření. 2004. 22 s.
- [6] FISHER SCIENTIFIC, Pardubice: Návod k ručnímu refraktometru OPTECH typ RCZ 32%. [B.r.]. 2 s.
- [7] GAZDA, J., aj. *Teorie obrábění*. 1. vyd. Liberec: VŠST Liberec, 1993. 123 s. ISBN - 80-7083-110-3.
- [8] IVF INDUSTRIAL R&D CORPORATION, Molndal: User's Manual: ivf smart quench. 2004. 58 s.
- [9] KÁŇA, J. *Nanočástice jako ekologické Mazivostní přísady. [Diplomová práce]*. Praha, VŠCHT Praha, 2007. 60 s.
- [10] MÁDL, J. Vliv řezných kapalin na obráběcí proces a metodika jejich testování. *REOTRIB 2000*. Velké Losiny, 2000. 8 s.
- [11] MAHR GmbH., Göttingen, MARSURF XR 20 MARWIN, PC-BASED STATIONARY SURFACE MEASURING STATIONS. [B.r.]. 31 s.
- [12] MANG, T., DRESEL, W. *Lubricants and Lubrication*. FUCHS: Nordrach, 2009. 759 s.

-
- [13] MELOUN, M., MILITKÝ, J., HILL, M. Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech. 1.vyd. Praha: ACADEMIA, 2005. 449 s. ISBN – 80-200-1335-0.
- [14] MERCK spol. s r. o., Říčany-Jažlovice: pH indicator strips. [B.r.]. 1 s.
- [15] NÁHLOVSKÝ, C., RICHTER, O. *Mazání obráběcích strojů*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1960. 114 s. ISBN -.
- [16] NOVÁK, P. *Návrh metodiky hodnocení procesních kapalin při osových operacích obrábění. [Disertační práce]*. Praha, ČVUT Praha, 2005. 142 s.
- [17] PARAMO, a. s., Pardubice: Příručka pro ošetřování emulzních obráběcích kapalin. 2008. 13 s.
- [18] PARAMO, a. s., Pardubice: Technické informace výrobků. [B.r.]. 8 s.
- [19] PARAMO, a. s., Pardubice: Vysokotlaké a mazivostní přísady. [B.r.]. 3 s.
- [20] PETROTEST, Dahlewitz: FRICTION AND WEAR TESTER REICHERT. [B.r.]. 28 s.
- [21] ŠAFR, E. *Tribotechnika*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1963. 222 s. ISBN -.
- [22] ŠTĚPINA, V., VESELÝ, V. *Maziva a speciální oleje*. 1.vyd. Bratislava: SNTL vydavateľstvo Slovenskej akademie vied, 1980. 696 s. ISBN -.
- [23] ŠTĚPINA, V., VESELÝ, V. *Maziva v tribologii*. VEDA: Bratislava, 1985. 229 s. ISBN – 71-059-85.
- [24] VŠCHT Praha: Materiály k třecím zkouškám maziv. [B.r.]. 12 s.

SEZNAM PŘÍLOH

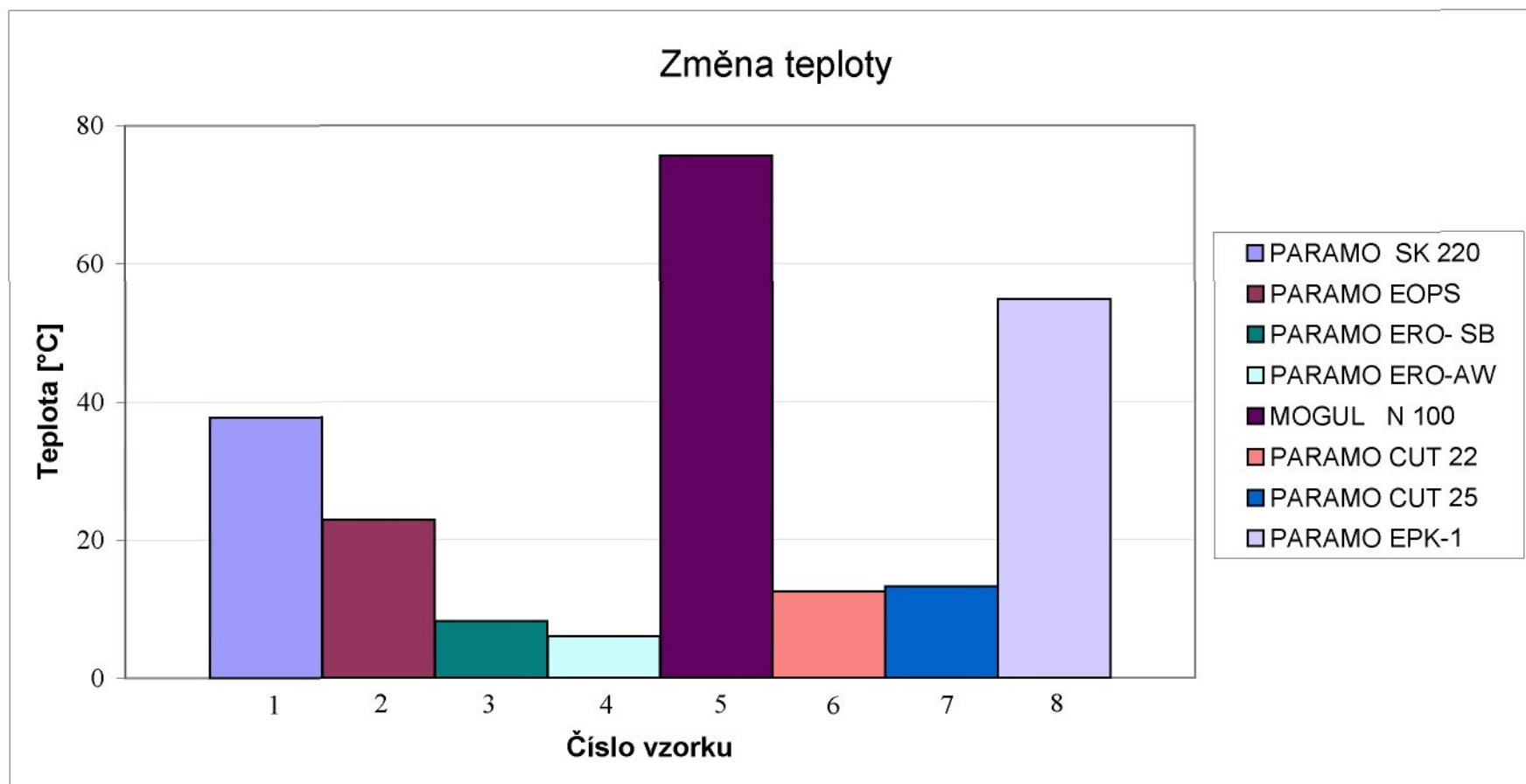
Příloha 1.....	(stran 16)
Podmínky měření experimentů na přístroji Reichert a přístroji IVF SmartQuench	
Příloha 2.....	(stran 4)
Měření nárůstu teploty procesní kapaliny při experimentu na přístroji Reichert	
Příloha 3.....	(stran 4)
Měření změny teploty testovacího válečku při experimentu na přístroji Reichert	
Příloha 4.....	(stran 2)
Měření úbytku hmotnosti testovacího válečku při experimentu na přístroji Reichert	
Příloha 5.....	(stran 2)
Měření plochy otěrové stopy na T_v při experimentu na přístroji Reichert	
Příloha 6.....	(stran 1)
Měření únosnosti mazacího filmu PK při experimentu na přístroji Reichert	
Příloha 7.....	(stran 40)
Měření parametrů drsnosti R_a , R_{zDIN} a R_t na ploše otěrové stopy T_v	
Příloha 8.....	(stran 14)
Měření ochlazovací rychlosti procesní kapaliny na přístroji IVF SmartQuench	



Graf 4 Nárůst teploty procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Tab. 20 Nárůst teploty procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

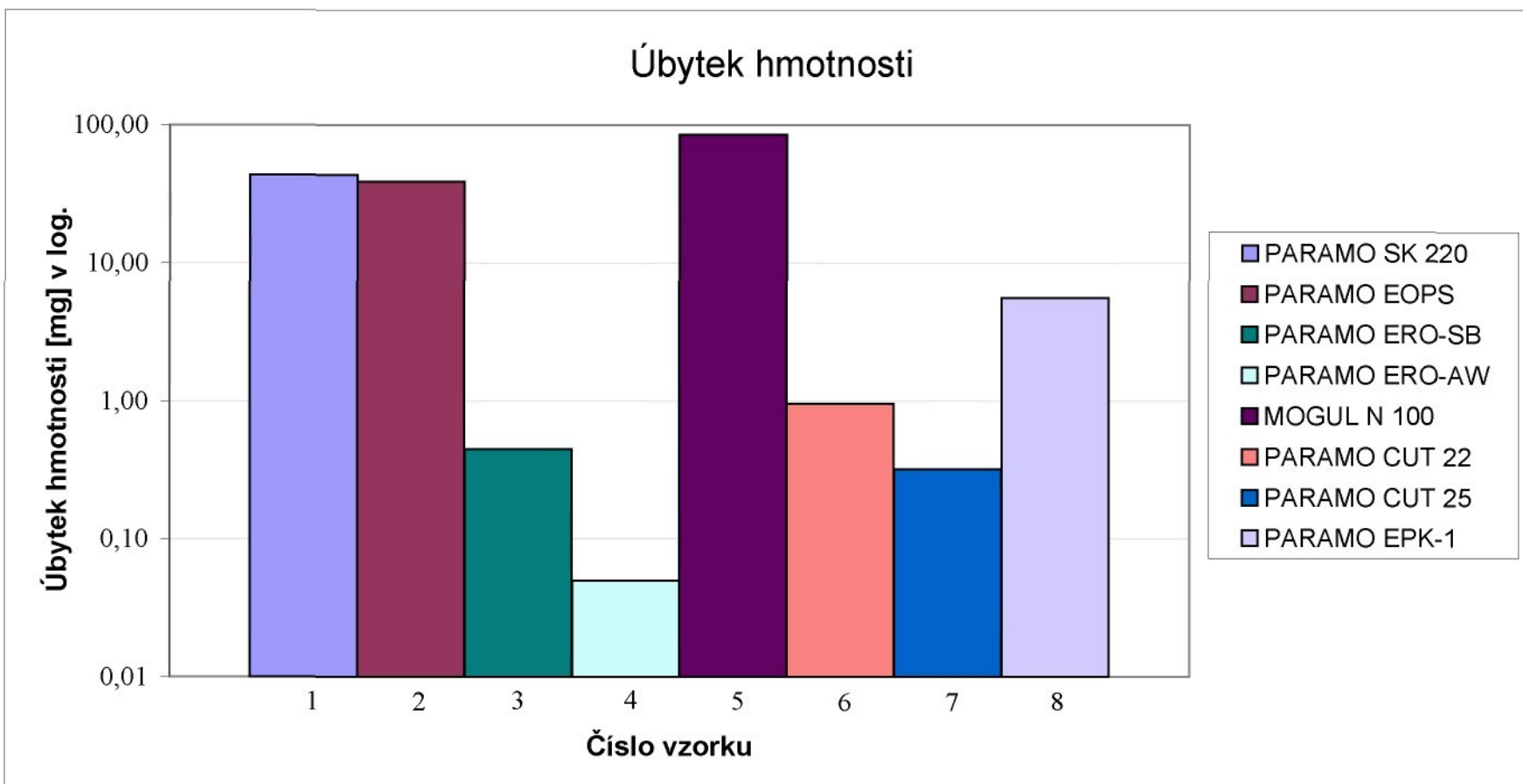
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Teplota PK [°C]		Nárůst teploty [°C]
		T_0	T_6	
1	PARAMO SK 220	20,00	55,00	35,00
2	PARAMO EOPS	20,00	40,75	20,75
3	PARAMO ERO-SB	20,00	23,75	3,75
4	PARAMO ERO-AW	20,00	22,38	2,38
5	MOGUL N 100	20,00	91,13	71,13
6	PARAMO CUT 22	20,00	29,25	9,25
7	PARAMO CUT 25	20,00	30,75	10,75
8	PARAMO EPK-1	20,00	71,25	51,25



Graf 5 Změna teploty testovacího válečku při zkoušce procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Tab. 21 Změna teploty testovacího válečku při zkoušce PK na přístroji Reichert M2

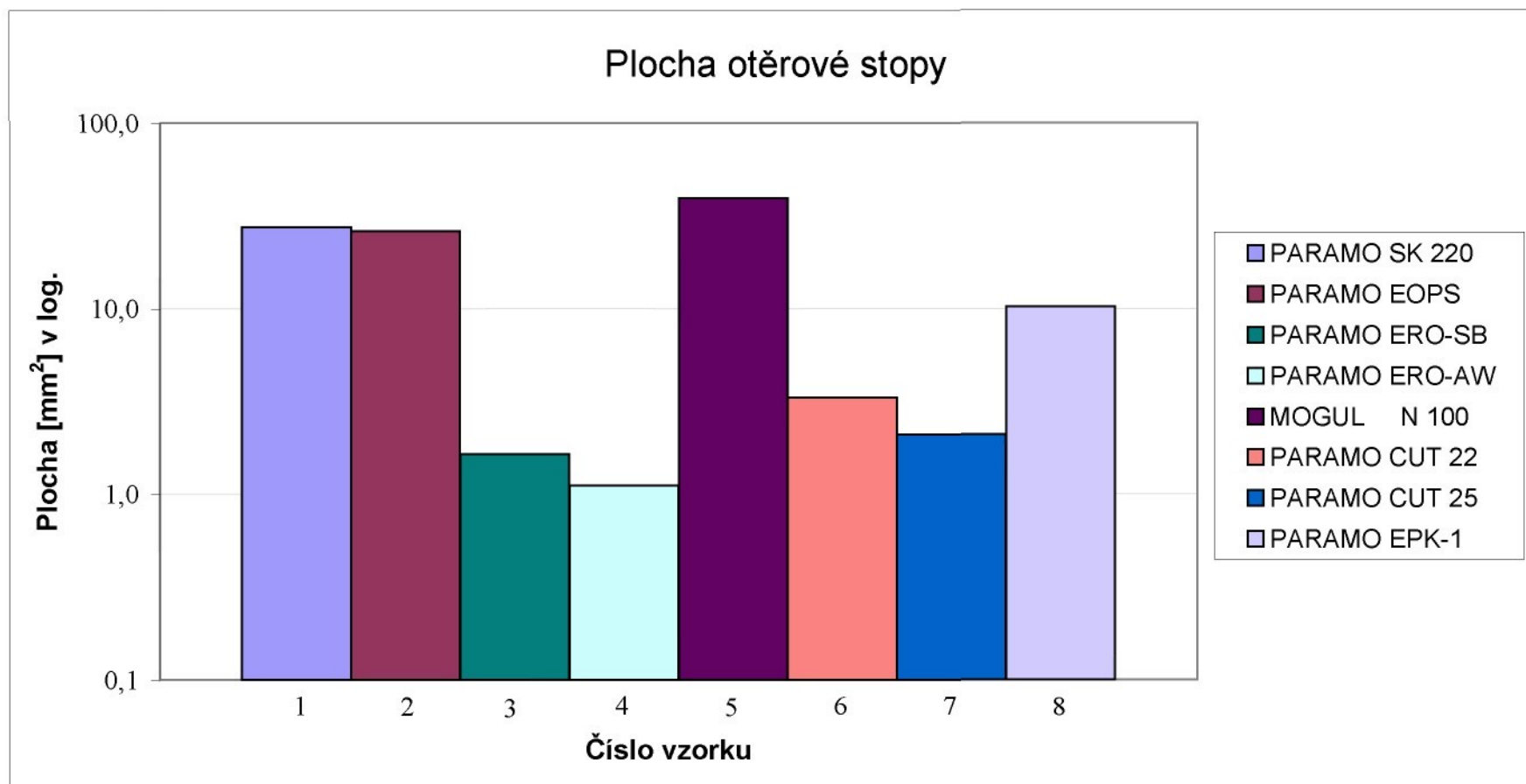
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Teplota T_v [°C]		Změna teploty [°C]
		T_0	T_6	
1	PARAMO SK 220	20,00	57,75	37,75
2	PARAMO EOPS	20,00	42,88	22,88
3	PARAMO ERO-SB	20,00	28,25	8,25
4	PARAMO ERO-AW	20,00	26,00	6,00
5	MOGUL N 100	20,00	95,63	75,63
6	PARAMO CUT 22	20,00	32,50	12,50
7	PARAMO CUT 25	20,00	33,25	13,25
8	PARAMO EPK-1	20,00	74,88	54,88



Graf 6 Úbytek hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Tab. 22 Úbytek hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

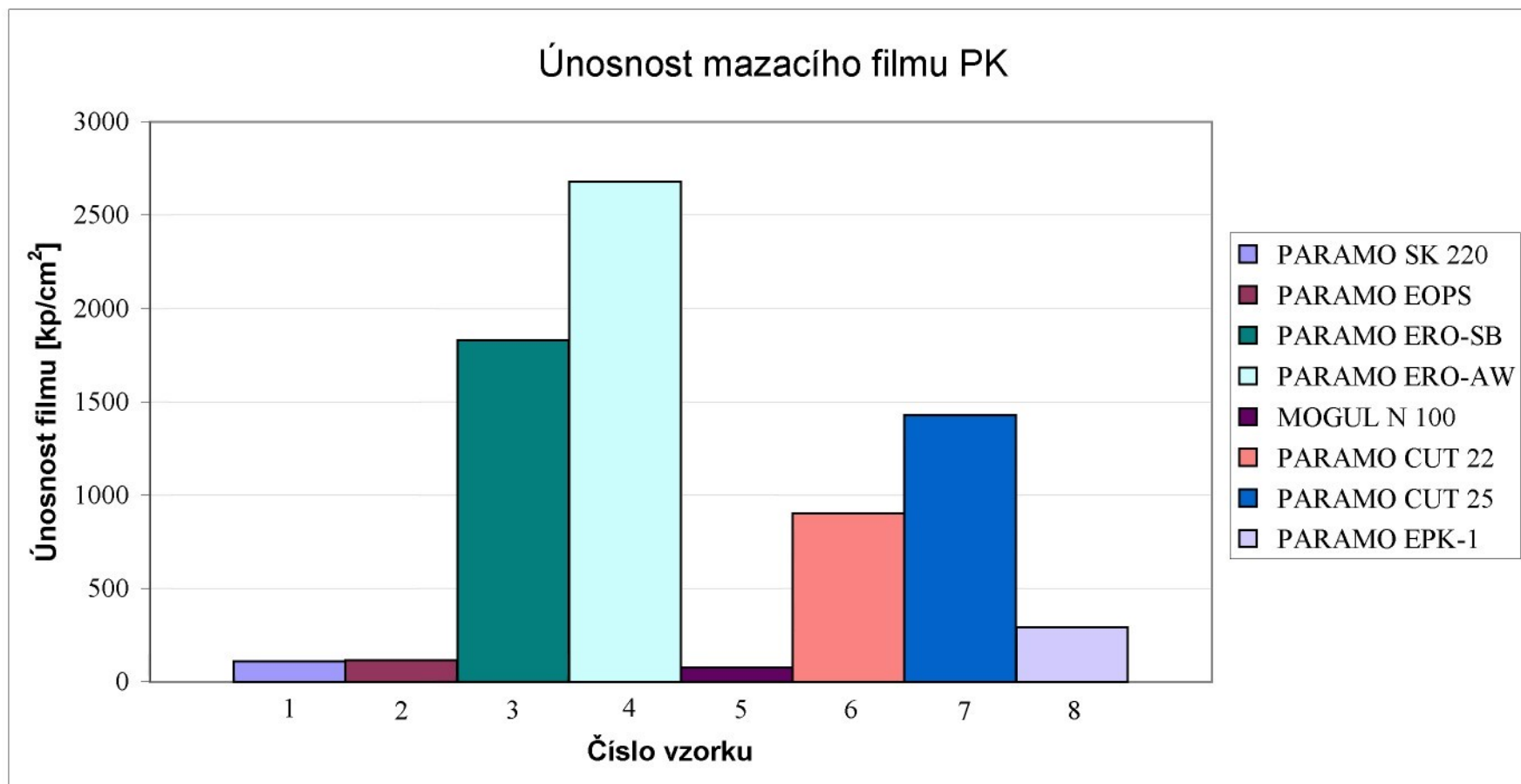
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Úbytek hmotnosti m_U [mg]
1	PARAMO SK 220	43,63
2	PARAMO EOPS	38,78
3	PARAMO ERO-SB	0,45
4	PARAMO ERO-AW	0,05
5	MOGUL N 100	85,28
6	PARAMO CUT 22	0,95
7	PARAMO CUT 25	0,32
8	PARAMO EPK-1	5,60



Graf 7 Plocha otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Tab. 23 Plocha otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

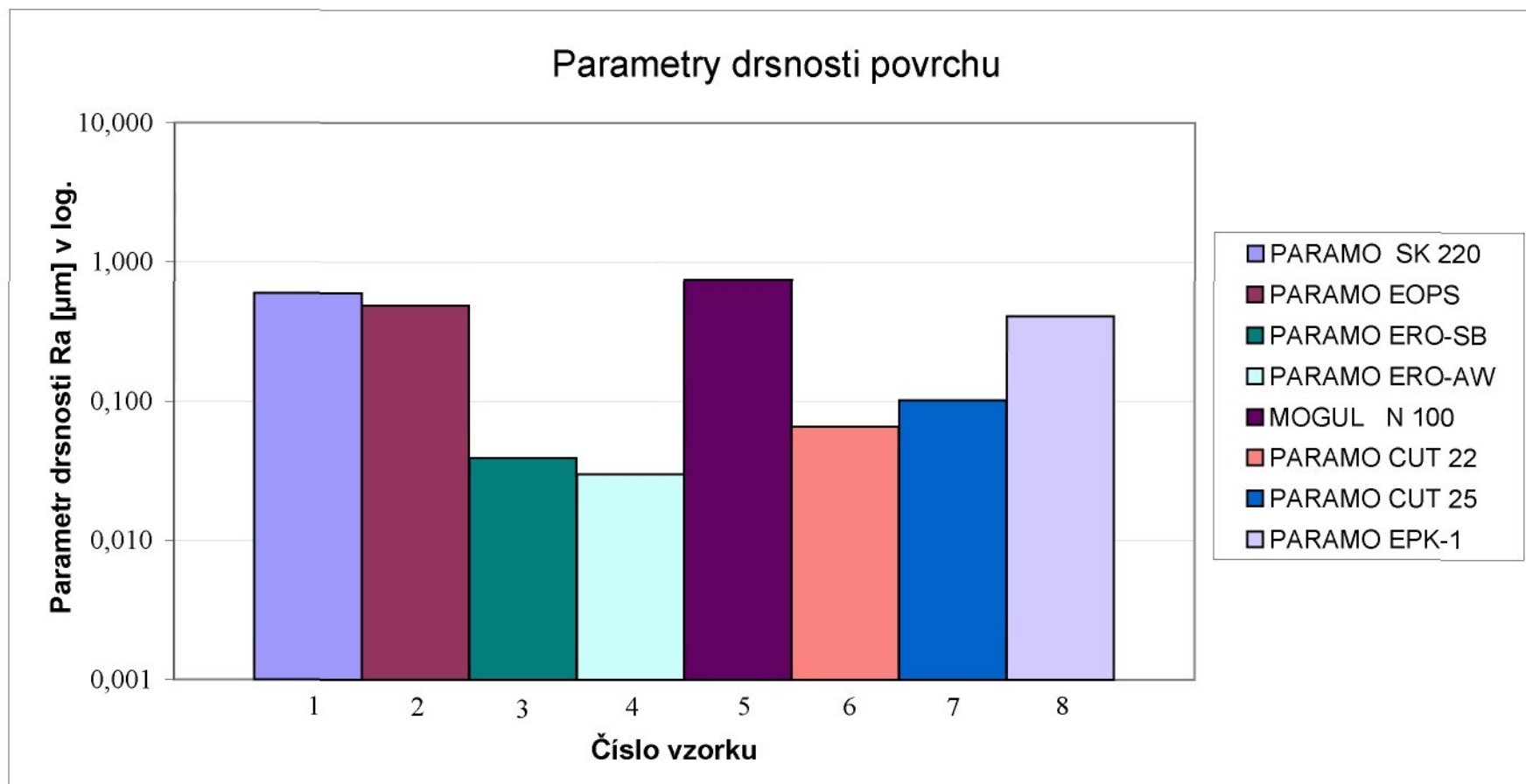
Číslo vzorku	Procesní kapalina	ℓ [mm]	d [mm]	A [mm ²]
1	PARAMO SK 220	7,7	4,5	27,45
2	PARAMO EOPS	7,5	4,5	26,15
3	PARAMO ERO-SB	1,9	1,1	1,64
4	PARAMO ERO-AW	1,5	1,0	1,12
5	MOGUL N 100	9,5	5,3	39,50
6	PARAMO CUT 22	2,7	1,5	3,32
7	PARAMO CUT 25	2,2	1,2	2,10
8	PARAMO EPK-1	4,7	2,8	10,22



Graf 8 Únosnost mazacího filmu procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Tab. 24 Únosnost mazacího filmu PK na přístroji Reichert M2

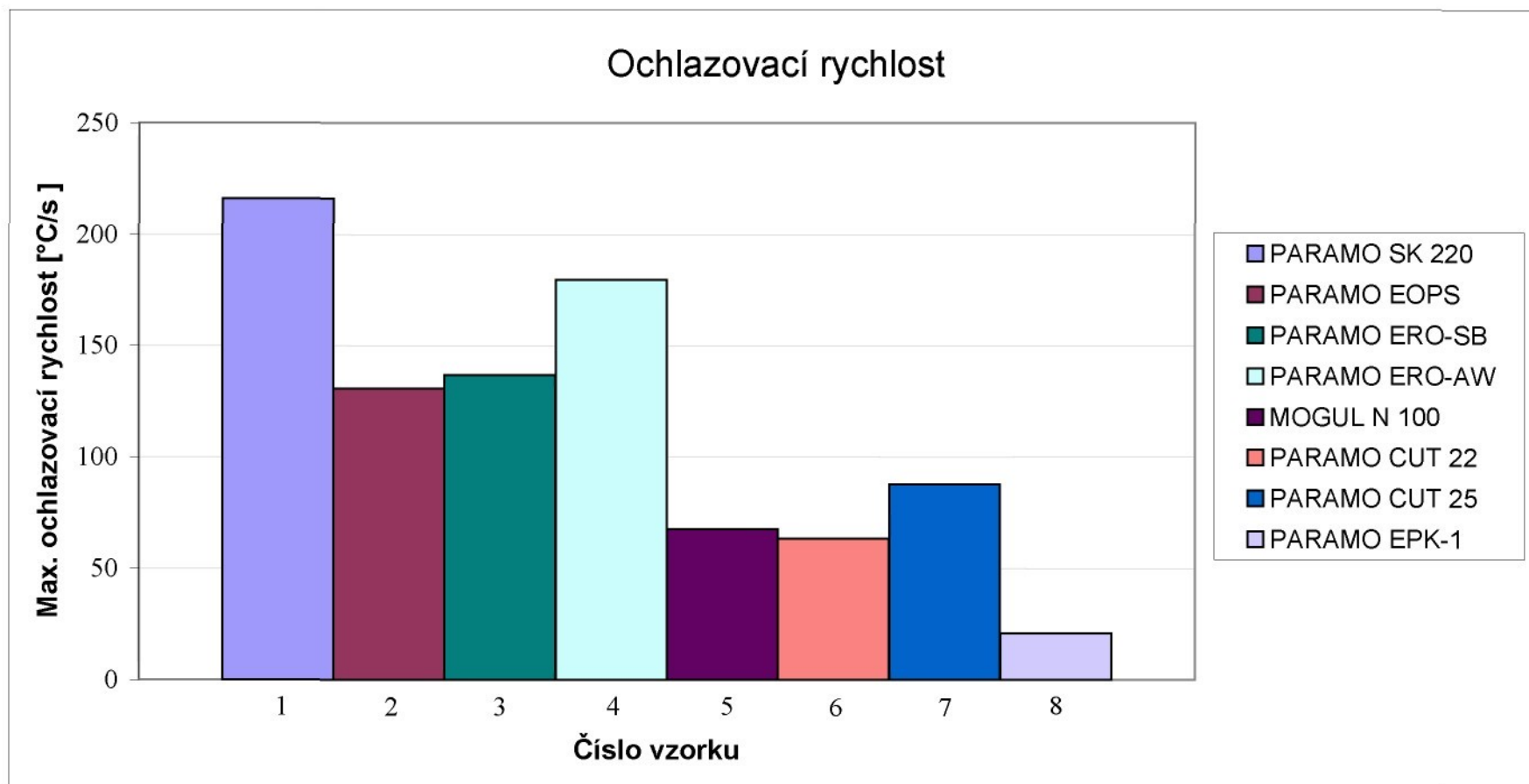
Číslo vzorku	Procesní kapalina	G [kp]	ø A [mm ²]	ÚMF [kp/cm ²]
1	PARAMO SK 220	1,5	27,45	109,29
2	PARAMO EOPS	1,5	26,15	114,72
3	PARAMO ERO-SB	1,5	1,64	1829,27
4	PARAMO ERO-AW	1,5	1,12	2678,57
5	MOGUL N 100	1,5	39,50	75,95
6	PARAMO CUT 22	1,5	3,32	903,61
7	PARAMO CUT 25	1,5	2,10	1428,57
8	PARAMO EPK-1	1,5	10,22	293,54



Graf 9 Parametry drsnosti plochy otěrové stopy testovacího válečku

Tab. 25 Parametry drsnosti plochy otěrové stopy testovacího válečku

Číslo vzorku	Procesní kapalina	<i>Ra</i> [μm]	<i>Rz DIN</i> [μm]	<i>Rt</i> [μm]
1	PARAMO SK 220	0,600	4,042	5,888
2	PARAMO EOPS	0,491	3,704	5,499
3	PARAMO ERO-SB	0,039	0,285	0,490
4	PARAMO ERO-AW	0,030	0,205	0,309
5	MOGUL N 100	0,745	4,647	6,390
6	PARAMO CUT 22	0,066	0,413	0,552
7	PARAMO CUT 25	0,102	0,720	2,242
8	PARAMO EPK-1	0,409	2,259	3,420



Graf 10 Ochlazovací rychlost procesních kapalin na IVF SmartQuench

Tab. 26 Ochlazovací rychlost procesní kapaliny na přístroji IVF SmartQuench

Číslo vzorku	Procesní kapalina	Teplota PK [°C]		Max. OR [°C/s]
		T_0	T_6	
1	PARAMO SK 220	20,00	32,60	216,20
2	PARAMO EOPS	20,00	33,95	130,87
3	PARAMO ERO-SB	20,00	34,49	136,93
4	PARAMO ERO-AW	20,00	31,23	179,61
5	MOGUL N 100	20,00	169,27	67,79
6	PARAMO CUT 22	20,00	148,20	63,53
7	PARAMO CUT 25	20,00	124,19	87,77
8	PARAMO EPK-1	20,00	469,13	20,83

Tab. 27 Souhrn naměřených veličin procesních kapalin na přístroji Reichert M2 a IVF SmartQuench

Číslo vzorku	Procesní kapalina	Nárůst teploty PK [°C]	Změna teploty T_V [°C]	Úbytek hmotnosti m_U [mg]	A [mm ²]	ÚMF [kp/cm ²]	Ra [μm]	Max. OR [°C/s]
1	PARAMO SK 220	35,00	37,75	43,63	27,45	109,29	0,600	216,20
2	PARAMO EOPS	20,75	22,88	38,78	26,15	114,72	0,491	130,87
3	PARAMO ERO-SB	3,75	8,25	0,45	1,64	1829,27	0,039	136,93
4	PARAMO ERO-AW	2,38	6,00	0,05	1,12	2678,57	0,030	179,61
5	MOGUL N 100	71,13	75,63	85,28	39,50	75,95	0,745	67,79
6	PARAMO CUT 22	9,25	12,50	0,95	3,32	903,61	0,066	63,53
7	PARAMO CUT 25	10,75	13,25	0,32	2,10	1428,57	0,102	87,77
8	PARAMO EPK-1	51,25	54,88	5,60	10,22	293,54	0,409	20,83

Tab. 28 Souhrn hodnocení veličin procesních kapalin na přístroji Reichert M2 a IVF SmartQuench

Číslo vzorku	Procesní kapalina	Pořadí procesních kapalin při experimentech							Celkové pořadí PK
		Nárůst teploty PK [°C]	Změna teploty T_v [°C]	Úbytek hmot. m_U [mg]	A [mm ²]	ÚMF [kp/cm ²]	Ra [μm]	Max. OR [°C/s]	
1	PARAMO SK 220	6	6	7	7	7	7	1	6
2	PARAMO EOPS	5	5	6	6	6	6	4	5
3	PARAMO ERO-SB	2	2	3	2	2	2	3	2
4	PARAMO ERO-AW	1	1	1	1	1	1	2	1
5	MOGUL N 100	8	8	8	8	8	8	6	8
6	PARAMO CUT 22	3	3	4	4	4	3	7	4
7	PARAMO CUT 25	4	4	2	3	3	4	5	3
8	PARAMO EPK-1	7	7	5	5	5	5	8	7

Tab. 1.1 Podmínky měření mazacích schopností PK na přístroji Reichert M2

Měření č. 1a

Přístroj : tribometr REICHERT M2 (výrobce fa. PETROTEST).

Pracoviště : laboratoř Ústavu technologie ropy a petrofemie Fakulty technologie ochrany životního prostředí na VŠCHT v Praze.

Přístroj Reichert M2			
Čas experimentu	t	60	[s]
Otáčky brusného prstence	n	860	[ot.min ⁻¹]
Příkon motoru	P_M	0,55	[kW]
Napětí motoru	U	380	[V]
Třecí dráha	L	100	[m]
Hmotnost testovacího závaží	M	1,5	[kg]
Obvodová rychlost b. prstence	v_O	1,83	[m.s ⁻¹]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO SK 220	-
Koncentrace PK	x	5	[%]
Množství vzorku PK	V	25	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_O	20	[°C]
Testovací váleček			
Materiál testovacího válečku	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	60±2	HRC
Rozměry test. válečku (d x ℓ)	-	12 x 18	[mm]
Hmotnost testovacího válečku	m_V	15,79161	[g]
Brusný prstenec			
Materiál brusného prstence	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	58-63	HRC
Rozměry BP (D x d x s)	-	35 x 30 x 16	[mm]
Hmotnost brusného prstence	m_P	30,72495	[g]

Tab. 1.2 Podmínky měření mazacích schopností PK na přístroji Reichert M2

Měření č. 2a

Přístroj : tribometr REICHERT M2 (výrobce fa. PETROTEST).

Pracoviště : laboratoř Ústavu technologie ropy a petrofemie Fakulty technologie ochrany životního prostředí na VŠCHT v Praze.

Přístroj Reichert M2			
Čas experimentu	t	60	[s]
Otáčky brusného prstence	n	860	[ot.min ⁻¹]
Příkon motoru	P_M	0,55	[kW]
Napětí motoru	U	380	[V]
Třecí dráha	L	100	[m]
Hmotnost testovacího závaží	M	1,5	[kg]
Obvodová rychlost b. prstence	v_O	1,83	[m.s ⁻¹]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO EOPS	-
Koncentrace PK	x	5	[%]
Množství vzorku PK	V	25	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_O	20	[°C]
Testovací váleček			
Materiál testovacího válečku	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	60±2	HRC
Rozměry test. válečku (d x ℓ)	-	12 x 18	[mm]
Hmotnost testovacího válečku	m_V	15,79014	[g]
Brusný prstenec			
Materiál brusného prstence	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	58-63	HRC
Rozměry BP (D x d x s)	-	35 x 30 x 16	[mm]
Hmotnost brusného prstence	m_P	30,72495	[g]

Tab. 1.3 Podmínky měření mazacích schopností PK na přístroji Reichert M2

Měření č. 3a

Přístroj : tribometr REICHERT M2 (výrobce fa. PETROTEST).

Pracoviště : laboratoř Ústavu technologie ropy a petrofemie Fakulty technologie ochrany životního prostředí na VŠCHT v Praze.

Přístroj Reichert M2			
Čas experimentu	t	60	[s]
Otáčky brusného prstence	n	860	[ot.min ⁻¹]
Příkon motoru	P_M	0,55	[kW]
Napětí motoru	U	380	[V]
Třecí dráha	L	100	[m]
Hmotnost testovacího závaží	M	1,5	[kg]
Obvodová rychlost b. prstence	v_O	1,83	[m.s ⁻¹]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO ERO-SB	-
Koncentrace PK	x	5	[%]
Množství vzorku PK	V	25	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_O	20	[°C]
Testovací váleček			
Materiál testovacího válečku	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	60±2	HRC
Rozměry test. válečku (d x ℓ)	-	12 x 18	[mm]
Hmotnost testovacího válečku	m_V	15,78897	[g]
Brusný prstenec			
Materiál brusného prstence	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	58-63	HRC
Rozměry BP (D x d x s)	-	35 x 30 x 16	[mm]
Hmotnost brusného prstence	m_P	30,72495	[g]

Tab. 1.4 Podmínky měření mazacích schopností PK na přístroji Reichert M2

Měření č. 4a

Přístroj : tribometr REICHERT M2 (výrobce fa. PETROTEST).

Pracoviště : laboratoř Ústavu technologie ropy a petrofemie Fakulty technologie ochrany životního prostředí na VŠCHT v Praze.

Přístroj Reichert M2			
Čas experimentu	t	60	[s]
Otáčky brusného prstence	n	860	[ot.min ⁻¹]
Příkon motoru	P_M	0,55	[kW]
Napětí motoru	U	380	[V]
Třecí dráha	L	100	[m]
Hmotnost testovacího závaží	M	1,5	[kg]
Obvodová rychlost b. prstence	v_O	1,83	[m.s ⁻¹]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO ERO-AW	-
Koncentrace PK	x	5	[%]
Množství vzorku PK	V	25	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_O	20	[°C]
Testovací váleček			
Materiál testovacího válečku	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	60±2	HRC
Rozměry test. válečku (d x ℓ)	-	12 x 18	[mm]
Hmotnost testovacího válečku	m_V	15,79478	[g]
Brusný prstenec			
Materiál brusného prstence	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	58-63	HRC
Rozměry BP (D x d x s)	-	35 x 30 x 16	[mm]
Hmotnost brusného prstence	m_P	30,72495	[g]

Tab. 1.5 Podmínky měření mazacích schopností PK na přístroji Reichert M2

Měření č. 5a

Přístroj : tribometr REICHERT M2 (výrobce fa. PETROTEST).

Pracoviště : laboratoř Ústavu technologie ropy a petrofemie Fakulty technologie ochrany životního prostředí na VŠCHT v Praze.

Přístroj Reichert M2			
Čas experimentu	t	60	[s]
Otáčky brusného prstence	n	860	[ot.min ⁻¹]
Příkon motoru	P_M	0,55	[kW]
Napětí motoru	U	380	[V]
Třecí dráha	L	100	[m]
Hmotnost testovacího závaží	M	1,5	[kg]
Obvodová rychlost b. prstence	v_O	1,83	[m.s ⁻¹]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	MOGUL N 100	-
Koncentrace PK	x	-	[%]
Množství vzorku PK	V	25	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_O	20	[°C]
Testovací váleček			
Materiál testovacího válečku	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	60±2	HRC
Rozměry test. válečku (d x ℓ)	-	12 x 18	[mm]
Hmotnost testovacího válečku	m_V	15,79601	[g]
Brusný prstenec			
Materiál brusného prstence	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	58-63	HRC
Rozměry BP (D x d x s)	-	35 x 30 x 16	[mm]
Hmotnost brusného prstence	m_P	30,86992	[g]

Tab. 1.6 Podmínky měření mazacích schopností PK na přístroji Reichert M2

Měření č. 6a

Přístroj : tribometr REICHERT M2 (výrobce fa. PETROTEST).

Pracoviště : laboratoř Ústavu technologie ropy a petrofemie Fakulty technologie ochrany životního prostředí na VŠCHT v Praze.

Přístroj Reichert M2			
Čas experimentu	t	60	[s]
Otáčky brusného prstence	n	860	[ot.min ⁻¹]
Příkon motoru	P_M	0,55	[kW]
Napětí motoru	U	380	[V]
Třecí dráha	L	100	[m]
Hmotnost testovacího závaží	M	1,5	[kg]
Obvodová rychlost b. prstence	v_O	1,83	[m.s ⁻¹]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO CUT 22	-
Koncentrace PK	x	-	[%]
Množství vzorku PK	V	25	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_O	20	[°C]
Testovací váleček			
Materiál testovacího válečku	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	60±2	HRC
Rozměry test. válečku (d x ℓ)	-	12 x 18	[mm]
Hmotnost testovacího válečku	m_V	15,79342	[g]
Brusný prstenec			
Materiál brusného prstence	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	58-63	HRC
Rozměry BP (D x d x s)	-	35 x 30 x 16	[mm]
Hmotnost brusného prstence	m_P	30,86992	[g]

Tab. 1.7 Podmínky měření mazacích schopností PK na přístroji Reichert M2

Měření č. 7a

Přístroj : tribometr REICHERT M2 (výrobce fa. PETROTEST).

Pracoviště : laboratoř Ústavu technologie ropy a petrofemie Fakulty technologie ochrany životního prostředí na VŠCHT v Praze.

Přístroj Reichert M2			
Čas experimentu	t	60	[s]
Otáčky brusného prstence	n	860	[ot.min ⁻¹]
Příkon motoru	P_M	0,55	[kW]
Napětí motoru	U	380	[V]
Třecí dráha	L	100	[m]
Hmotnost testovacího závaží	M	1,5	[kg]
Obvodová rychlost b. prstence	v_O	1,83	[m.s ⁻¹]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO CUT 25	-
Koncentrace PK	x	-	[%]
Množství vzorku PK	V	25	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_O	20	[°C]
Testovací váleček			
Materiál testovacího válečku	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	60±2	HRC
Rozměry test. válečku (d x ℓ)	-	12 x 18	[mm]
Hmotnost testovacího válečku	m_V	15,77694	[g]
Brusný prstenec			
Materiál brusného prstence	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	58-63	HRC
Rozměry BP (D x d x s)	-	35 x 30 x 16	[mm]
Hmotnost brusného prstence	m_P	30,86992	[g]

Tab. 1.8 Podmínky měření mazacích schopností PK na přístroji Reichert M2

Měření č. 8a

Přístroj : tribometr REICHERT M2 (výrobce fa. PETROTEST).

Pracoviště : laboratoř Ústavu technologie ropy a petrofemie Fakulty technologie ochrany životního prostředí na VŠCHT v Praze.

Přístroj Reichert M2			
Čas experimentu	t	60	[s]
Otáčky brusného prstence	n	860	[ot.min ⁻¹]
Příkon motoru	P_M	0,55	[kW]
Napětí motoru	U	380	[V]
Třecí dráha	L	100	[m]
Hmotnost testovacího závaží	M	1,5	[kg]
Obvodová rychlost b. prstence	v_O	1,83	[m.s ⁻¹]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO EPK-1	-
Koncentrace PK	x	-	[%]
Množství vzorku PK	V	25	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_O	20	[°C]
Testovací váleček			
Materiál testovacího válečku	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	60±2	HRC
Rozměry test. válečku (d x ℓ)	-	12 x 18	[mm]
Hmotnost testovacího válečku	m_V	15,77367	[g]
Brusný prstenec			
Materiál brusného prstence	EN (ČSN)	100Cr6 (14 109)	-
Tepelně zpracováno	-	58-63	HRC
Rozměry BP (D x d x s)	-	35 x 30 x 16	[mm]
Hmotnost brusného prstence	m_P	30,86992	[g]

Tab. 1.9 Podmínky měření chladicích schopností PK na přístroji IVF SmartQuench

Měření č. 1b

Přístroj : IVF SmartQuench (výrobce fa. IVF Industrial R&D Corporation).

Pracoviště : laboratoř odboru vývoje paliv, asfaltů a speciálních maziv firmy PARAMO, a.s., Pardubice.

Přístroj IVF SmartQuench			
Čas experimentu	t	60	[s]
Teplota měřicí sondy	T_S	850	[°C]
Rozměry měřicí sondy (d x ℓ)	-	400 x 12,5	[mm]
Hmotnost měřicí sondy	M_S	240	[g]
Rozměry transceiveru	-	107 x 52 x 26	[mm]
Hmotnost transceiveru	M_T	70	[g]
Příkon vyhřívací pece	P_P	600	[W]
Rozměry vyhřívací pece	-	200 x 280 x 250	[mm]
Hmotnost vyhřívací pece	M_P	5400	[g]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO SK 220	-
Koncentrace PK	x	5	[%]
Množství vzorku PK	V	1000	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_0	20	[°C]

Tab. 1.10 Podmínky měření chladících schopností PK na přístroji IVF SmartQuench

Měření č. 2b

Přístroj : IVF SmartQuench (výrobce fa. IVF Industrial R&D Corporation).

Pracoviště : laboratoř odboru vývoje paliv, asfaltů a speciálních maziv firmy PARAMO, a.s., Pardubice.

Přístroj IVF SmartQuench			
Čas experimentu	t	60	[s]
Teplota měřicí sondy	T_S	850	[°C]
Rozměry měřicí sondy (d x ℓ)	-	400 x 12,5	[mm]
Hmotnost měřicí sondy	M_S	240	[g]
Rozměry transceiveru	-	107 x 52 x 26	[mm]
Hmotnost transceiveru	M_T	70	[g]
Příkon vyhřívací pece	P_P	600	[W]
Rozměry vyhřívací pece	-	200 x 280 x 250	[mm]
Hmotnost vyhřívací pece	M_P	5400	[g]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO EOPS	-
Koncentrace PK	x	5	[%]
Množství vzorku PK	V	1000	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_0	20	[°C]

Tab. 1.11 Podmínky měření chladicích schopností PK na přístroji IVF SmartQuench

Měření č. 3b

Přístroj : IVF SmartQuench (výrobce fa. IVF Industrial R&D Corporation).

Pracoviště : laboratoř odboru vývoje paliv, asfaltů a speciálních maziv firmy PARAMO, a.s., Pardubice.

Přístroj IVF SmartQuench			
Čas experimentu	t	60	[s]
Teplota měřicí sondy	T_S	850	[°C]
Rozměry měřicí sondy (d x ℓ)	-	400 x 12,5	[mm]
Hmotnost měřicí sondy	M_S	240	[g]
Rozměry transceiveru	-	107 x 52 x 26	[mm]
Hmotnost transceiveru	M_T	70	[g]
Příkon vyhřívací pece	P_P	600	[W]
Rozměry vyhřívací pece	-	200 x 280 x 250	[mm]
Hmotnost vyhřívací pece	M_P	5400	[g]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO ERO-SB	-
Koncentrace PK	x	5	[%]
Množství vzorku PK	V	1000	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_0	20	[°C]

Tab. 1.12 Podmínky měření chladících schopností PK na přístroji IVF SmartQuench

Měření č. 4b

Přístroj : IVF SmartQuench (výrobce fa. IVF Industrial R&D Corporation).

Pracoviště : laboratoř odboru vývoje paliv, asfaltů a speciálních maziv firmy PARAMO, a.s., Pardubice.

Přístroj IVF SmartQuench			
Čas experimentu	t	60	[s]
Teplota měřicí sondy	T_S	850	[°C]
Rozměry měřicí sondy (d x ℓ)	-	400 x 12,5	[mm]
Hmotnost měřicí sondy	M_S	240	[g]
Rozměry transceiveru	-	107 x 52 x 26	[mm]
Hmotnost transceiveru	M_T	70	[g]
Příkon vyhřívací pece	P_P	600	[W]
Rozměry vyhřívací pece	-	200 x 280 x 250	[mm]
Hmotnost vyhřívací pece	M_P	5400	[g]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO ERO-AW	-
Koncentrace PK	x	5	[%]
Množství vzorku PK	V	1000	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_0	20	[°C]

Tab. 1.13 Podmínky měření chladicích schopností PK na přístroji IVF SmartQuench

Měření č. 5b

Přístroj : IVF SmartQuench (výrobce fa. IVF Industrial R&D Corporation).

Pracoviště : laboratoř odboru vývoje paliv, asfaltů a speciálních maziv firmy PARAMO, a.s., Pardubice.

Přístroj IVF SmartQuench			
Čas experimentu	t	60	[s]
Teplota měřicí sondy	T_S	850	[°C]
Rozměry měřicí sondy (d x ℓ)	-	400 x 12,5	[mm]
Hmotnost měřicí sondy	M_S	240	[g]
Rozměry transceiveru	-	107 x 52 x 26	[mm]
Hmotnost transceiveru	M_T	70	[g]
Příkon vyhřívací pece	P_P	600	[W]
Rozměry vyhřívací pece	-	200 x 280 x 250	[mm]
Hmotnost vyhřívací pece	M_P	5400	[g]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	MOGUL N 100	-
Koncentrace PK	x	-	[%]
Množství vzorku PK	V	1000	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_0	20	[°C]

Tab. 1.14 Podmínky měření chladících schopností PK na přístroji IVF SmartQuench

Měření č. 6b

Přístroj : IVF SmartQuench (výrobce fa. IVF Industrial R&D Corporation).

Pracoviště : laboratoř odboru vývoje paliv, asfaltů a speciálních maziv firmy PARAMO, a.s., Pardubice.

Přístroj IVF SmartQuench			
Čas experimentu	t	60	[s]
Teplota měřicí sondy	T_S	850	[°C]
Rozměry měřicí sondy (d x ℓ)	-	400 x 12,5	[mm]
Hmotnost měřicí sondy	M_S	240	[g]
Rozměry transceiveru	-	107 x 52 x 26	[mm]
Hmotnost transceiveru	M_T	70	[g]
Příkon vyhřívací pece	P_P	600	[W]
Rozměry vyhřívací pece	-	200 x 280 x 250	[mm]
Hmotnost vyhřívací pece	M_P	5400	[g]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO CUT 22	-
Koncentrace PK	x	-	[%]
Množství vzorku PK	V	1000	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_0	20	[°C]

Tab. 1.15 Podmínky měření chladících schopností PK na přístroji IVF SmartQuench

Měření č. 7b

Přístroj : IVF SmartQuench (výrobce fa. IVF Industrial R&D Corporation).

Pracoviště : laboratoř odboru vývoje paliv, asfaltů a speciálních maziv firmy PARAMO, a.s., Pardubice.

Přístroj IVF SmartQuench			
Čas experimentu	t	60	[s]
Teplota měřicí sondy	T_S	850	[°C]
Rozměry měřicí sondy (d x ℓ)	-	400 x 12,5	[mm]
Hmotnost měřicí sondy	M_S	240	[g]
Rozměry transceiveru	-	107 x 52 x 26	[mm]
Hmotnost transceiveru	M_T	70	[g]
Příkon vyhřívací pece	P_P	600	[W]
Rozměry vyhřívací pece	-	200 x 280 x 250	[mm]
Hmotnost vyhřívací pece	M_P	5400	[g]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO CUT 25	-
Koncentrace PK	x	-	[%]
Množství vzorku PK	V	1000	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_0	20	[°C]

Tab. 1.16 Podmínky měření chladicích schopností PK na přístroji IVF SmartQuench

Měření č. 8b

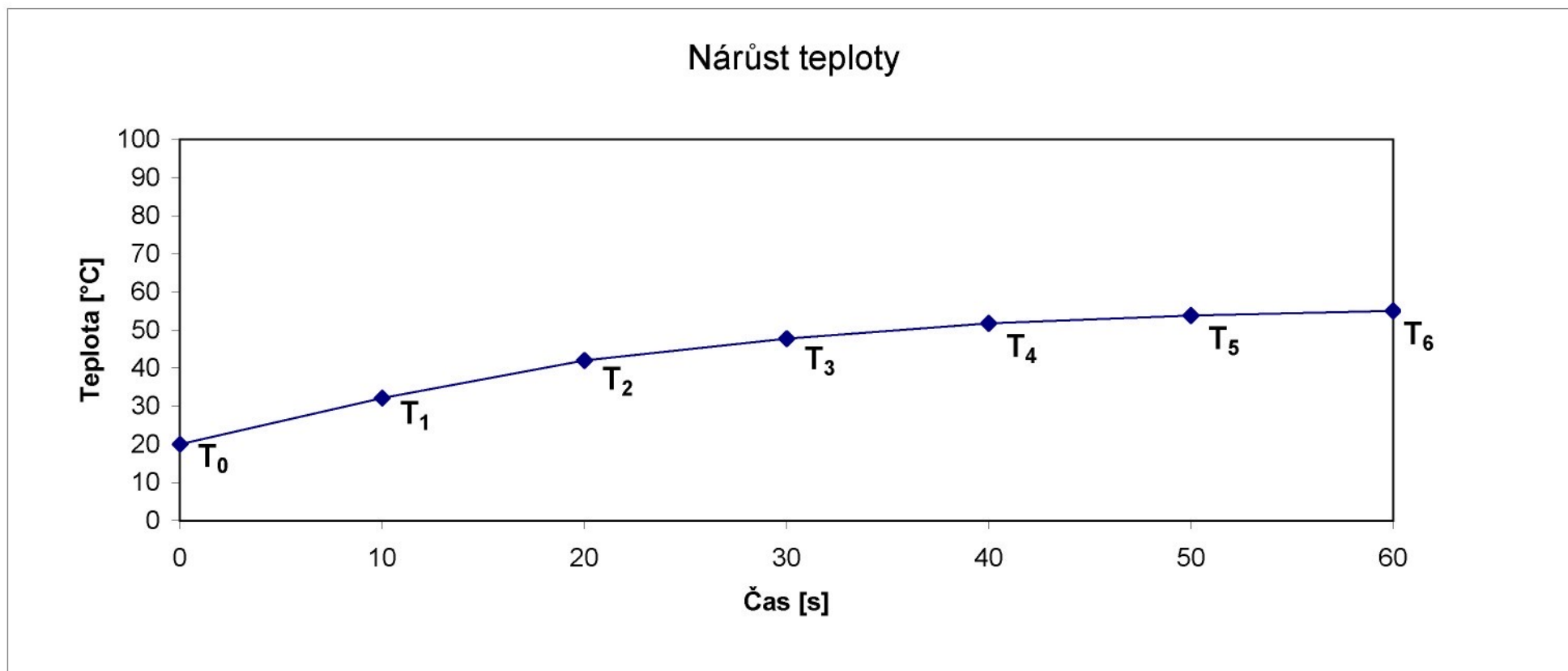
Přístroj : IVF SmartQuench (výrobce fa. IVF Industrial R&D Corporation).

Pracoviště : laboratoř odboru vývoje paliv, asfaltů a speciálních maziv firmy PARAMO, a.s., Pardubice.

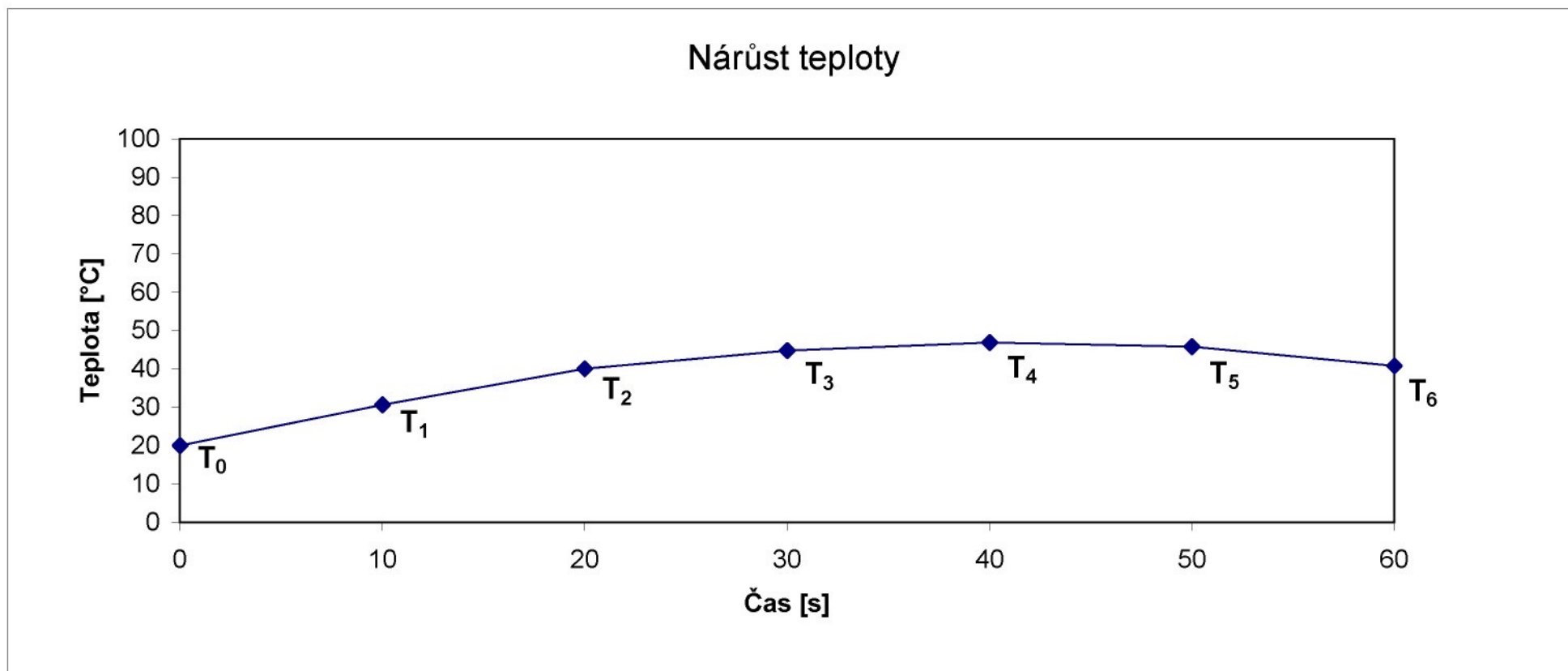
Přístroj IVF SmartQuench			
Čas experimentu	t	60	[s]
Teplota měřicí sondy	T_S	850	[°C]
Rozměry měřicí sondy (d x ℓ)	-	400 x 12,5	[mm]
Hmotnost měřicí sondy	M_S	240	[g]
Rozměry transceiveru	-	107 x 52 x 26	[mm]
Hmotnost transceiveru	M_T	70	[g]
Příkon vyhřívací pece	P_P	600	[W]
Rozměry vyhřívací pece	-	200 x 280 x 250	[mm]
Hmotnost vyhřívací pece	M_P	5400	[g]
Procesní kapalina			
Označení procesní kapaliny	PK	PARAMO EPK-1	-
Koncentrace PK	x	-	[%]
Množství vzorku PK	V	1000	[ml]
Teplota procesní kapaliny	T_0	20	[°C]

Tab. 2.1 Nárůst teploty procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

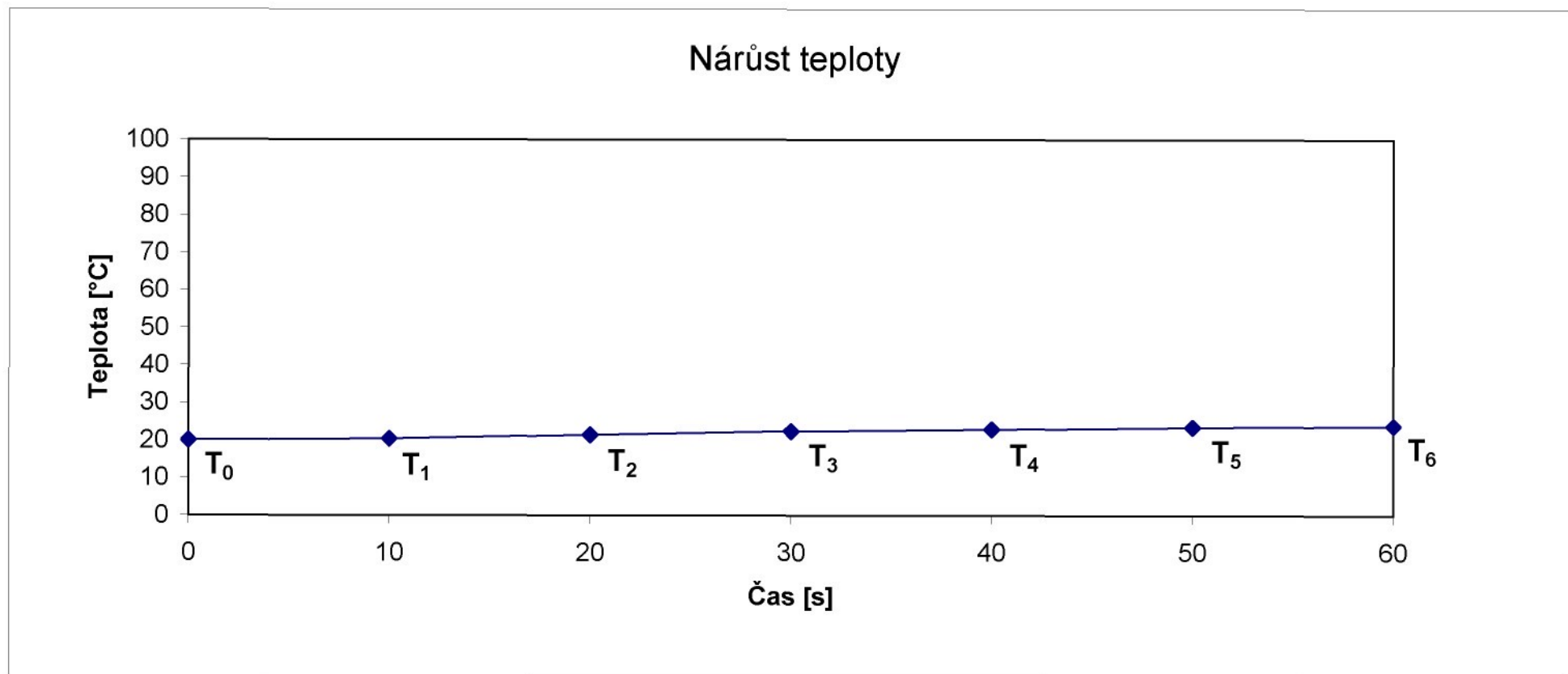
Měřicí přístroj: Digitální teploměr TESTO 922 (2-kanálový)													
Příslušenství: Vpichová a ponorná sonda typu K do 1000°C													
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Pořadí n	Teplota procesní kapaliny [°C]								Nárůst teploty [°C]	Ø Nárůst teploty [°C]
				T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6			
				Čas [s]									
				t_0	t_{10}	t_{20}	t_{30}	t_{40}	t_{50}	t_{60}			
1	PARAMO SK 220	5	I.	20,00	33,00	43,50	48,50	53,00	55,00	56,00	36,00	35,00 ± 1,77	
		5	II.	20,00	31,00	40,00	45,50	49,50	51,00	52,00	32,00		
		5	III.	20,00	32,50	42,50	49,00	53,00	55,00	56,50	36,50		
		5	IV.	20,00	32,00	42,00	48,00	51,50	54,00	55,50	35,50		
		-	Ø	20,00	32,13	42,00	47,75	51,75	53,75	55,00	-		
2	PARAMO EOPS	5	I.	20,00	30,00	40,00	45,00	47,50	45,50	40,50	20,50	20,75 ± 1,44	
		5	II.	20,00	30,50	40,00	44,00	45,00	43,00	38,50	18,50		
		5	III.	20,00	31,00	40,50	45,50	48,00	47,00	42,00	22,00		
		5	IV.	20,00	31,00	39,50	44,50	47,00	47,50	42,00	22,00		
		-	Ø	20,00	30,63	40,00	44,75	46,88	45,75	40,75	-		
3	PARAMO ERO- SB	5	I.	20,00	21,00	22,50	23,00	24,00	24,50	25,00	5,00	3,75 ± 0,75	
		5	II.	20,00	20,00	21,00	22,00	22,50	23,00	23,50	3,50		
		5	III.	20,00	20,00	21,00	22,00	22,50	23,00	23,00	3,00		
		5	IV.	20,00	20,50	21,00	22,50	22,50	23,00	23,50	3,50		
		-	Ø	20,00	20,38	21,38	22,38	22,88	23,38	23,75	-		
4	PARAMO ERO-AW	5	I.	20,00	20,00	21,00	21,50	22,00	22,50	22,50	2,50	2,38 ± 0,22	
		5	II.	20,00	20,00	21,00	21,50	22,00	22,50	22,50	2,50		
		5	III.	20,00	20,00	21,00	21,50	22,00	22,50	22,50	2,50		
		5	IV.	20,00	20,00	20,50	21,00	21,50	22,00	22,00	2,00		
		-	Ø	20,00	20,00	20,88	21,38	21,88	22,38	22,38	-		



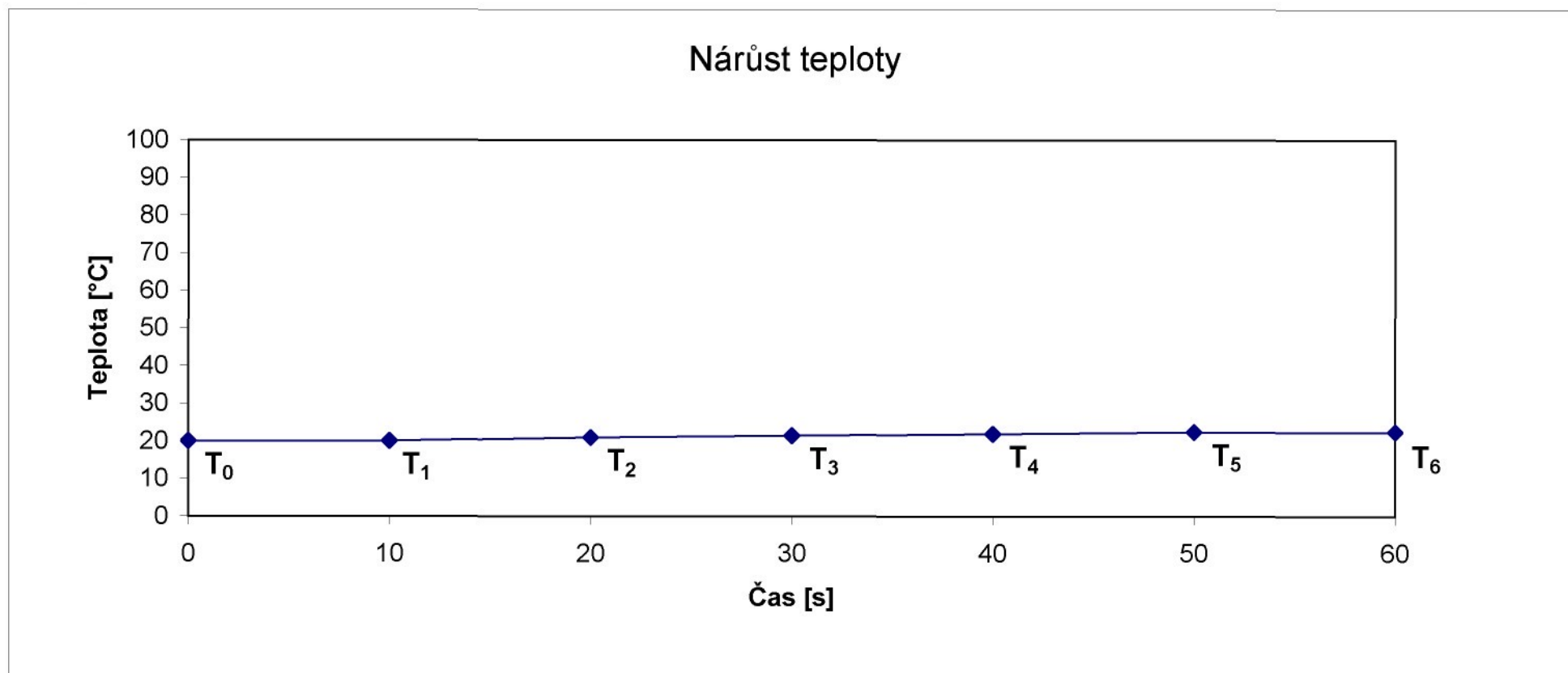
Graf 2.1.1 Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO SK 220 na přístroji Reichert M2



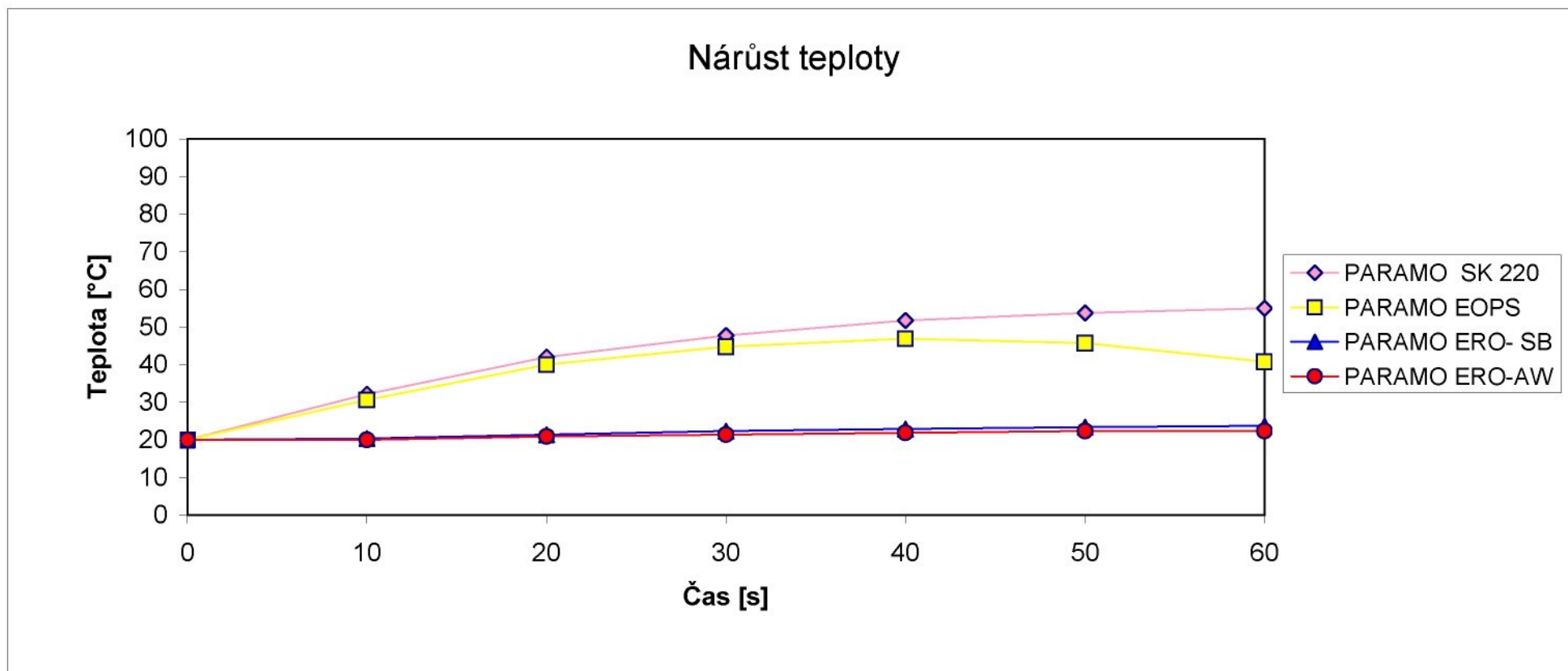
Graf 2.1.2 Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO EOPS na přístroji Reichert M2



Graf 2.1.3 Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO ERO-SB na přístroji Reichert M2



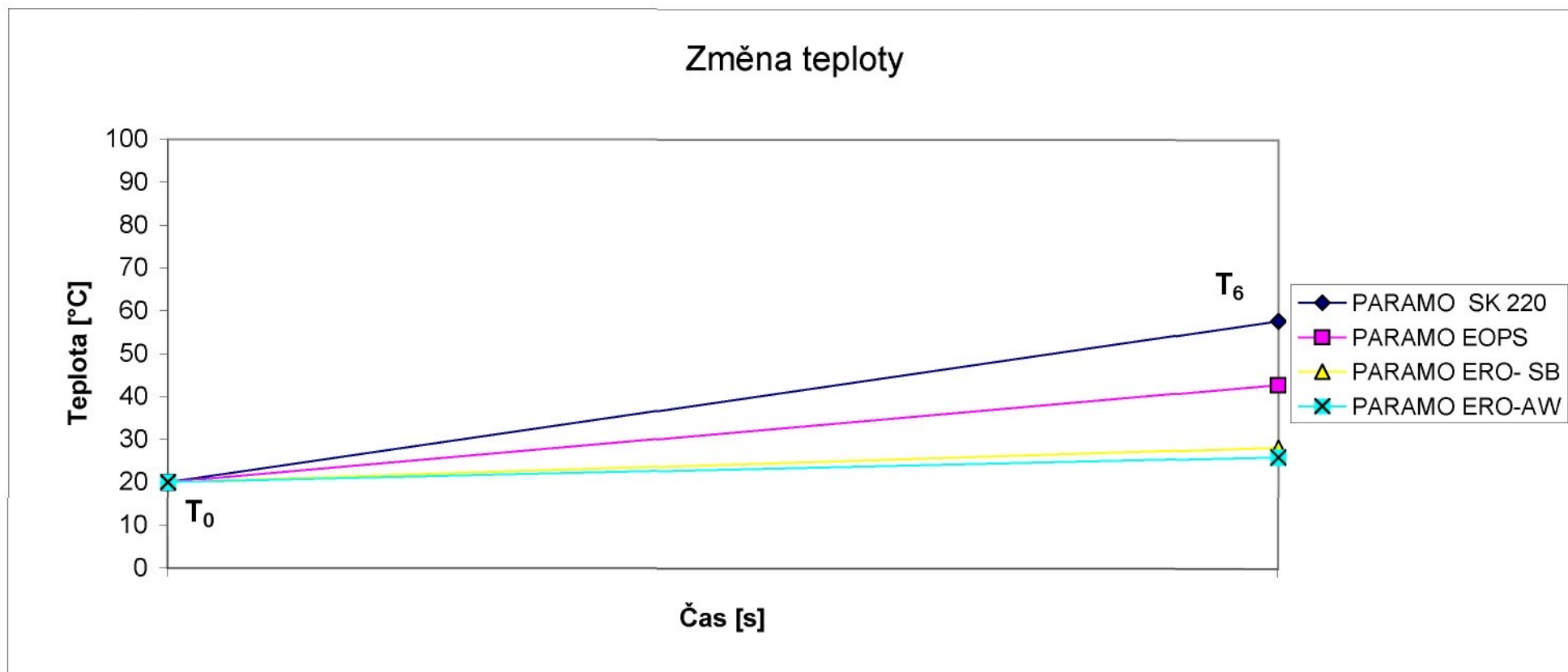
Graf 2.1.4 Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO ERO-AW na přístroji Reichert M2



Graf 2.1 Souhrn nárůstu teplot procesních kapalin na přístroji Reichert M2

Tab. 3.1 Změna teploty testovacího válečku při zkoušce PK na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj : Digitální teploměr TESTO 922 (2-kanálový)							
Příslušenství : Dotyková sonda typu K do 1000°C							
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Pořadí n	Teplota testovacího válečku [°C]			
				T_0	T_6	Změna teploty [°C]	$\bar{\Delta T}$
1	PARAMO SK 220	5	I.	20,00	58,00	38,00	37,75 ± 1,79
		5	II.	20,00	55,00	35,00	
		5	III.	20,00	60,00	40,00	
		5	IV.	20,00	58,00	38,00	
		-	Ø	20,00	57,75	-	
2	PARAMO EOPS	5	I.	20,00	42,50	22,50	22,88 ± 1,56
		5	II.	20,00	40,50	20,50	
		5	III.	20,00	44,50	24,50	
		5	IV.	20,00	44,00	24,00	
		-	Ø	20,00	42,88	-	
3	PARAMO ERO- SB	5	I.	20,00	29,50	9,50	8,25 ± 0,83
		5	II.	20,00	28,50	8,50	
		5	III.	20,00	27,50	7,50	
		5	IV.	20,00	27,50	7,50	
		-	Ø	20,00	28,25	-	
4	PARAMO ERO-AW	5	I.	20,00	26,00	6,00	6,00 ± 0,00
		5	II.	20,00	26,00	6,00	
		5	III.	20,00	26,00	6,00	
		5	IV.	20,00	26,00	6,00	
		-	Ø	20,00	26,00	-	



Graf 3.1 Souhrn změn teplot testovacích válečků při zkoušce procesních kapalin na přístroji Reichert M2

Měření č. 1

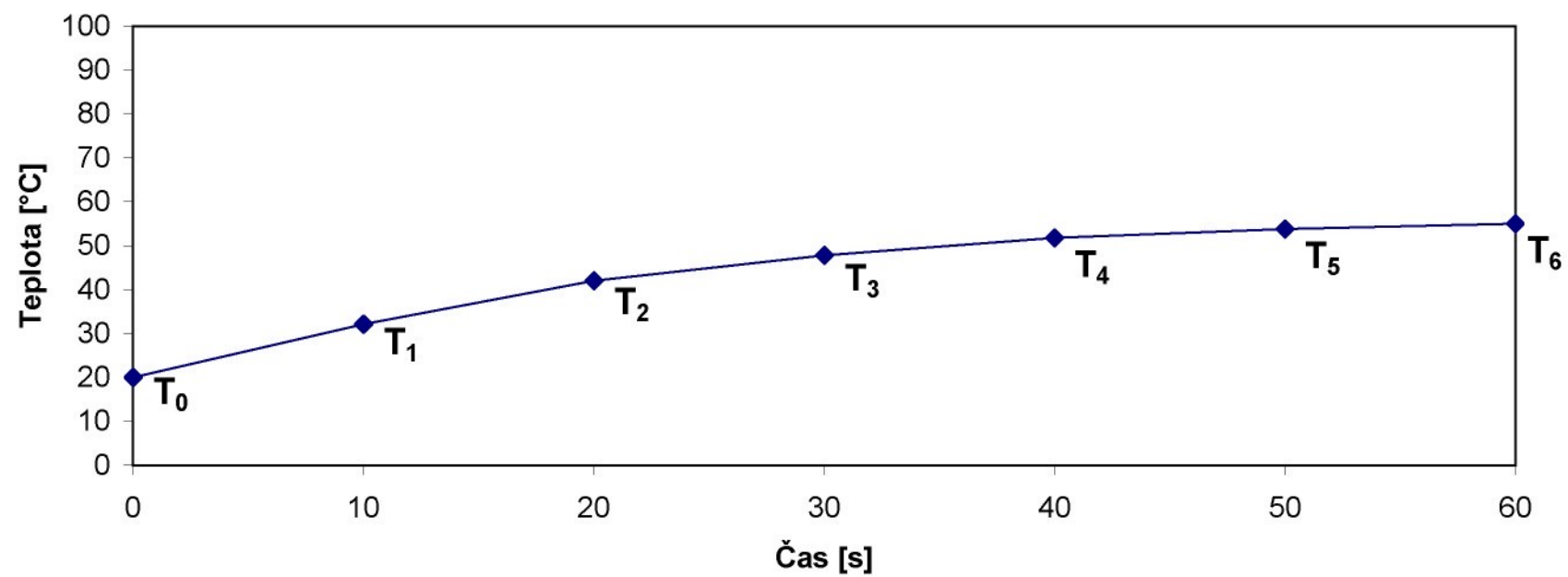
Tab. 14 Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO SK 220 na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj: Digitální teploměr TESTO 922 (2-kanálový)													
Příslušenství: Vpichová a ponorná sonda typu K do 1000°C													
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Pořadí n	Teplota procesní kapaliny [°C]								Nárůst teploty [°C]	Ø Nárůst teploty [°C]
				T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6			
				Čas [s]									
				t_0	t_{10}	t_{20}	t_{30}	t_{40}	t_{50}	t_{60}			
1	PARAMO SK 220	5	I.	20,00	33,00	43,50	48,50	53,00	55,00	56,00	36,00	35,00 ± 1,77	
		5	II.	20,00	31,00	40,00	45,50	49,50	51,00	52,00	32,00		
		5	III.	20,00	32,50	42,50	49,00	53,00	55,00	56,50	36,50		
		5	IV.	20,00	32,00	42,00	48,00	51,50	54,00	55,50	35,50		
		-	Ø	20,00	32,13	42,00	47,75	51,75	53,75	55,00	-		

Tab. 15 Změna teploty test. válečku při zk. PK PARAMO SK 220 na přístroji Reichert M2

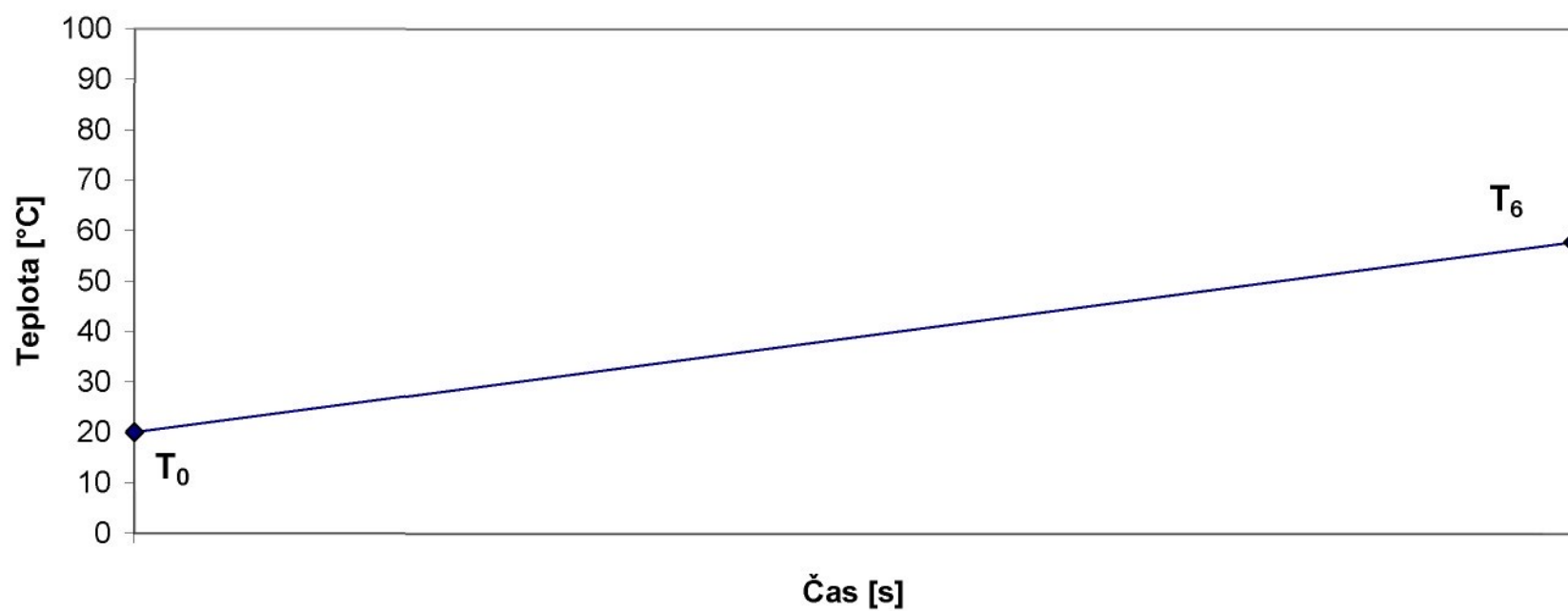
Měřicí přístroj : Digitální teploměr TESTO 922 (2-kanálový)							
Příslušenství : Dotyková sonda typu K do 1000°C							
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Pořadí n	Teplota testovacího válečku [°C]			
				T_0	T_6	Změna teploty [°C]	Ø Změna teploty [°C]
1	PARAMO SK 220	5	I.	20,00	58,00	38,00	37,75 ± 1,79
		5	II.	20,00	55,00	35,00	
		5	III.	20,00	60,00	40,00	
		5	IV.	20,00	58,00	38,00	
		-	Ø	20,00	57,75	-	

Nárůst teploty



Graf 2 Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO SK 220 na přístroji Reichert M2

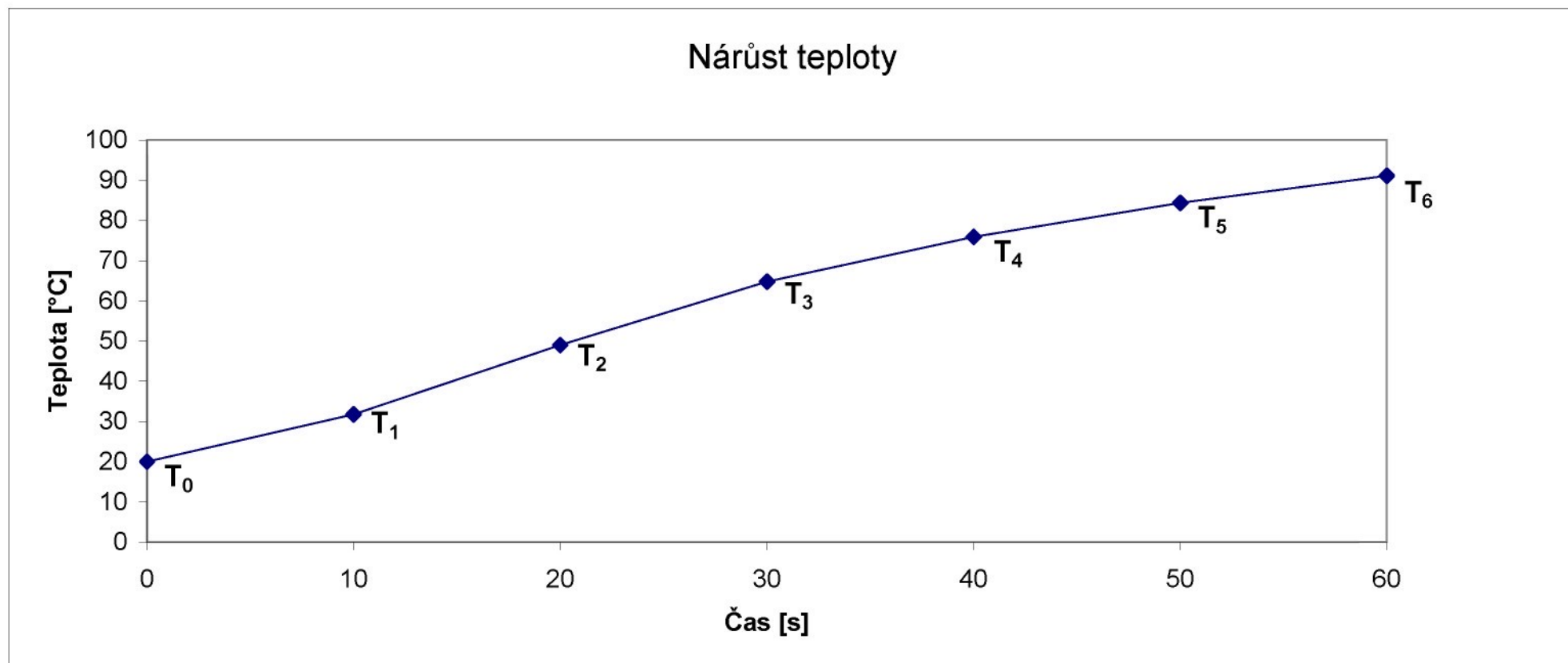
Změna teploty



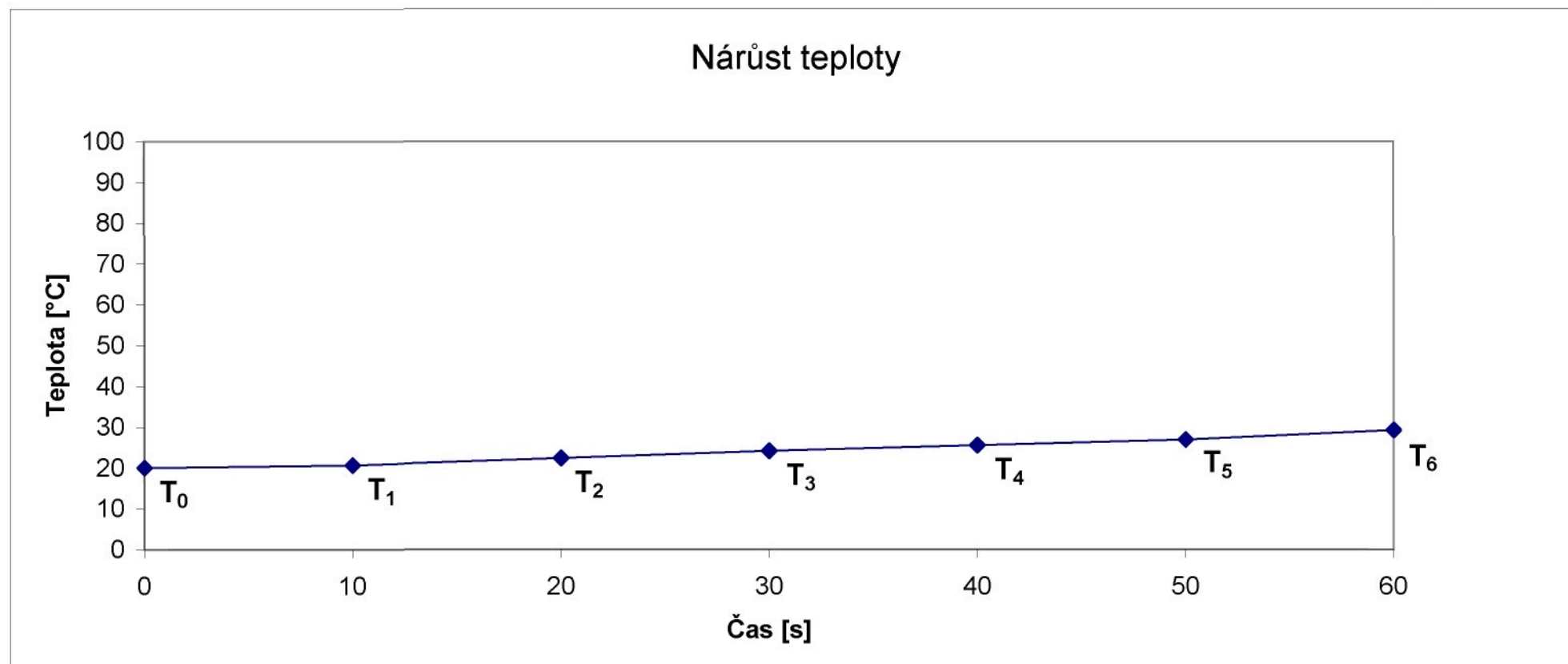
Graf 3 Změna teploty testovacího válečku při zkoušce procesní kapaliny PARAMO SK 200 na přístroji Reichert M2

Tab. 2.2 Nárůst teploty procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

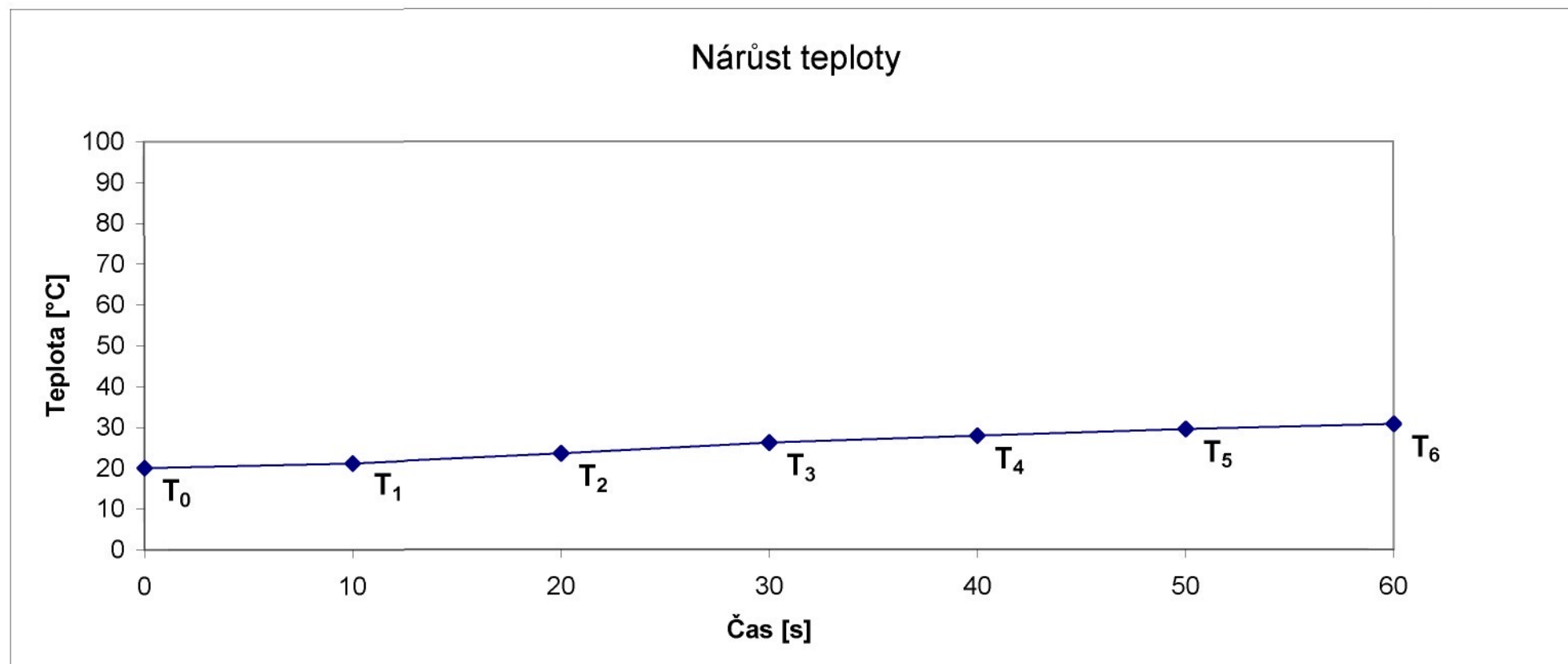
Měřicí přístroj : Digitální teploměr TESTO 922 (2-kanálový)												
Příslušenství : Vpichová a ponorná sonda typu K do 1000°C												
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Pořadí n	Teplota procesní kapaliny [°C]								Nárůst teploty [°C]	Ø Nárůst teploty [°C]
			T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6			
			Čas [s]									
			t_0	t_{10}	t_{20}	t_{30}	t_{40}	t_{50}	t_{60}			
5	MOGUL N 100	I.	20,00	32,00	48,00	64,00	73,00	83,00	91,00	71,00	71,13 ± 1,43	
		II.	20,00	33,00	50,00	66,00	77,50	85,50	93,50	73,50		
		III.	20,00	34,00	51,00	66,00	77,00	85,00	90,00	70,00		
		IV.	20,00	28,00	47,00	63,00	76,00	84,00	90,00	70,00		
		Ø	20,00	31,75	49,00	64,75	75,88	84,38	91,13	-		
6	PARAMO CUT 22	I.	20,00	21,00	24,00	26,00	27,00	28,00	30,00	10,00	9,25 ± 0,83	
		II.	20,00	20,00	21,00	23,00	25,00	26,00	29,00	9,00		
		III.	20,00	20,50	21,00	22,50	23,00	25,00	28,00	8,00		
		IV.	20,00	21,00	23,50	25,00	27,00	28,50	30,00	10,00		
		Ø	20,00	20,63	22,38	24,13	25,50	26,88	29,25	-		
7	PARAMO CUT 25	I.	20,00	23,00	25,50	27,50	29,50	31,00	32,00	12,00	10,75 ± 0,75	
		II.	20,00	21,00	23,50	26,00	27,50	29,50	30,50	10,50		
		III.	20,00	20,50	22,50	25,50	27,50	28,50	30,00	10,00		
		IV.	20,00	20,00	22,50	25,50	27,00	29,00	30,50	10,50		
		Ø	20,00	21,13	23,50	26,13	27,88	29,50	30,75	-		
8	PARAMO EPK-1	I.	20,00	22,00	34,00	44,50	54,00	63,50	69,50	49,50	51,25 ± 1,60	
		II.	20,00	23,00	34,50	45,50	55,50	64,00	70,00	50,00		
		III.	20,00	23,00	35,50	47,00	57,50	65,50	72,00	52,00		
		IV.	20,00	24,50	36,50	48,00	58,00	67,00	73,50	53,50		
		Ø	20,00	23,13	35,13	46,25	56,25	65,00	71,25	-		



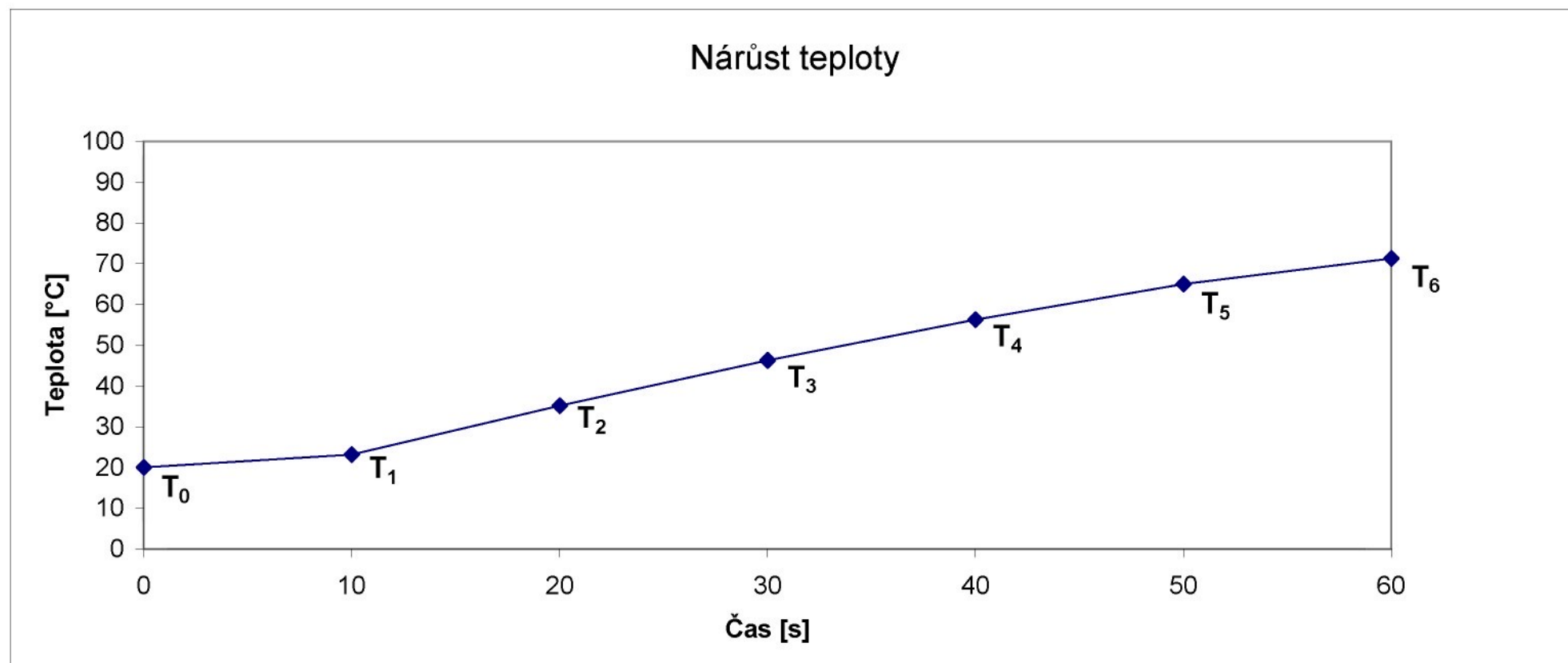
Graf 2.2.5 Nárůst teploty procesní kapaliny MOGUL N 100 na přístroji Reichert M2



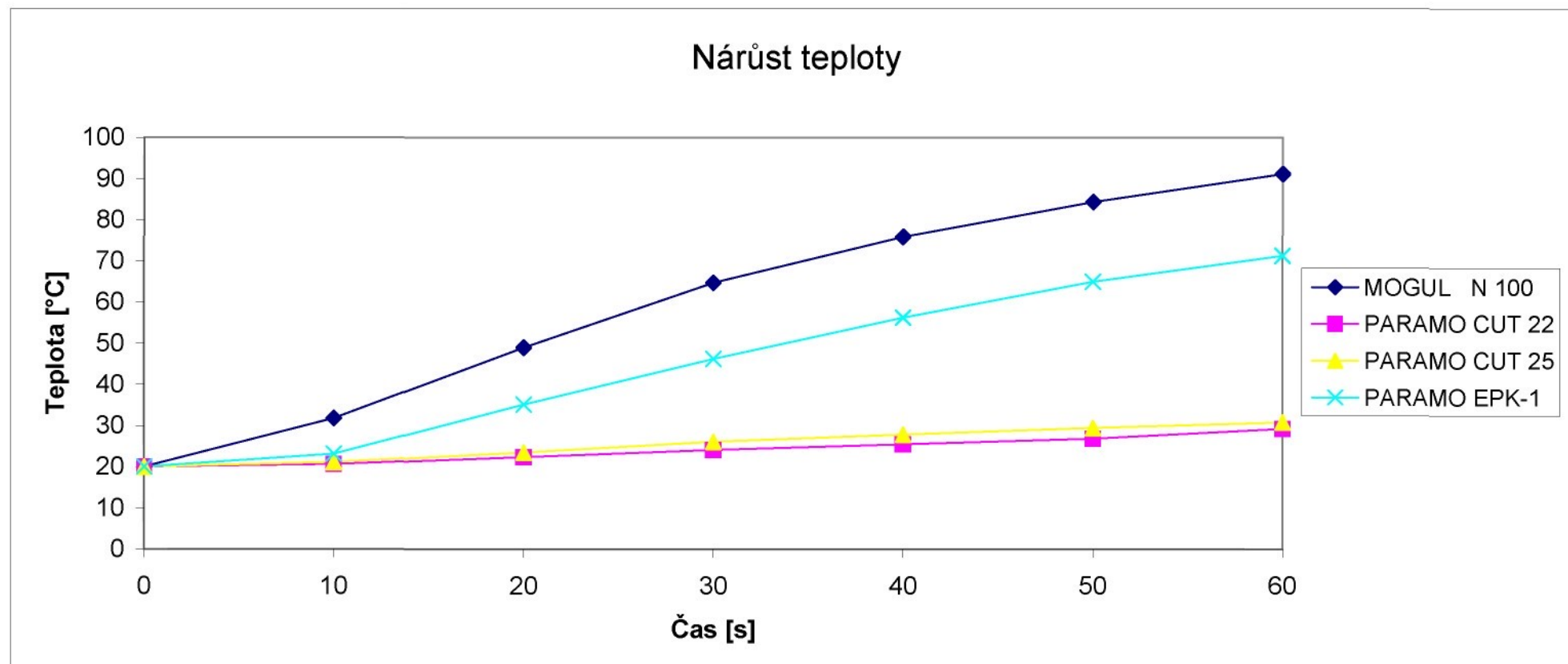
Graf 2.2.6 Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO CUT 22 na přístroji Reichert M2



Graf 2.2.7 Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO CUT 25 na přístroji Reichert M2



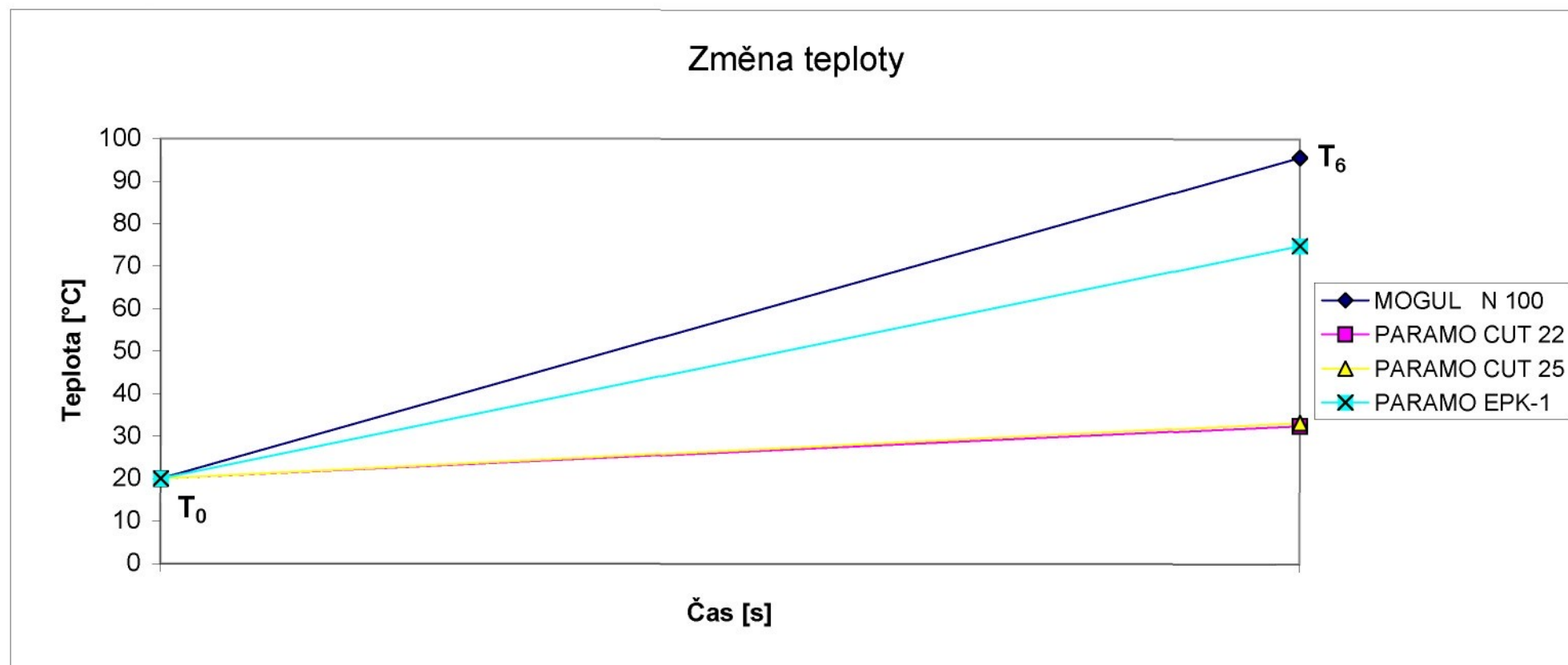
Graf 2.2.8 Nárůst teploty procesní kapaliny PARAMO EPK-1 na přístroji Reichert M2



Graf 2.2 Souhrn nárůstu teplot procesních kapalin na přístroji Reichert M2

Tab. 3.2 Změna teploty test. válečku při zk. PK na přístroji Reichert M2

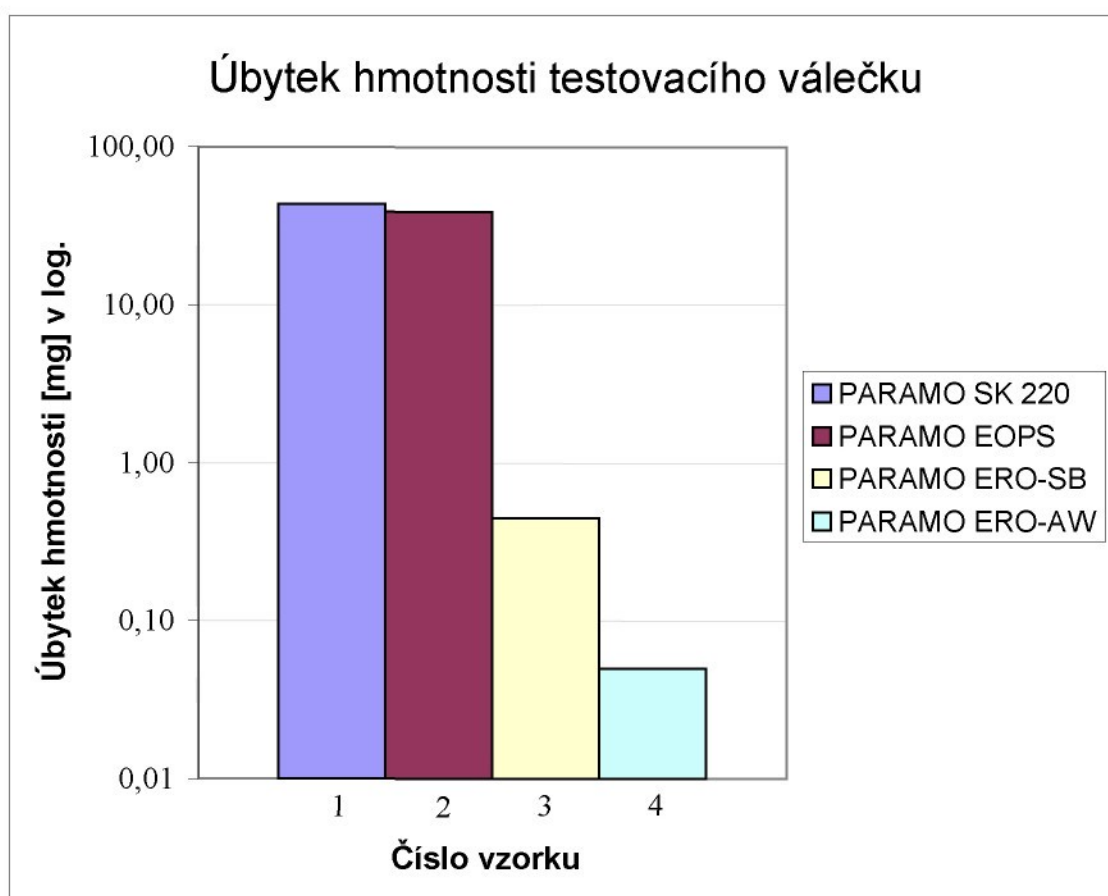
Měřicí přístroj : Digitální teploměr TESTO 922 (2-kanálový)						
Příslušenství : Dotyková sonda typu K do 1000°C						
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Pořadí n	Teplota testovacího válečku [°C]			
			T_0	T_6	Změna teploty [°C]	Ø Změna teploty [°C]
5	MOGUL N 100	I.	20,00	94,50	74,50	75,63 ± 1,39
		II.	20,00	95,00	75,00	
		III.	20,00	98,00	78,00	
		IV.	20,00	95,00	75,00	
		Ø	20,00	95,63	-	
6	PARAMO CUT 22	I.	20,00	33,00	13,00	12,50 ± 0,79
		II.	20,00	32,00	12,00	
		III.	20,00	31,50	11,50	
		IV.	20,00	33,50	13,50	
		Ø	20,00	32,50	-	
7	PARAMO CUT 25	I.	20,00	34,50	14,50	13,25 ± 0,75
		II.	20,00	33,00	13,00	
		III.	20,00	33,00	13,00	
		IV.	20,00	32,50	12,50	
		Ø	20,00	33,25	-	
8	PARAMO EPK-1	I.	20,00	73,00	53,00	54,88 ± 1,52
		II.	20,00	74,00	54,00	
		III.	20,00	75,50	55,50	
		IV.	20,00	77,00	57,00	
		Ø	20,00	74,88	-	



Graf 3.2 Souhrn změn teplot testovacích válečků při zkoušce procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Tab. 4.1 Úbytek hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

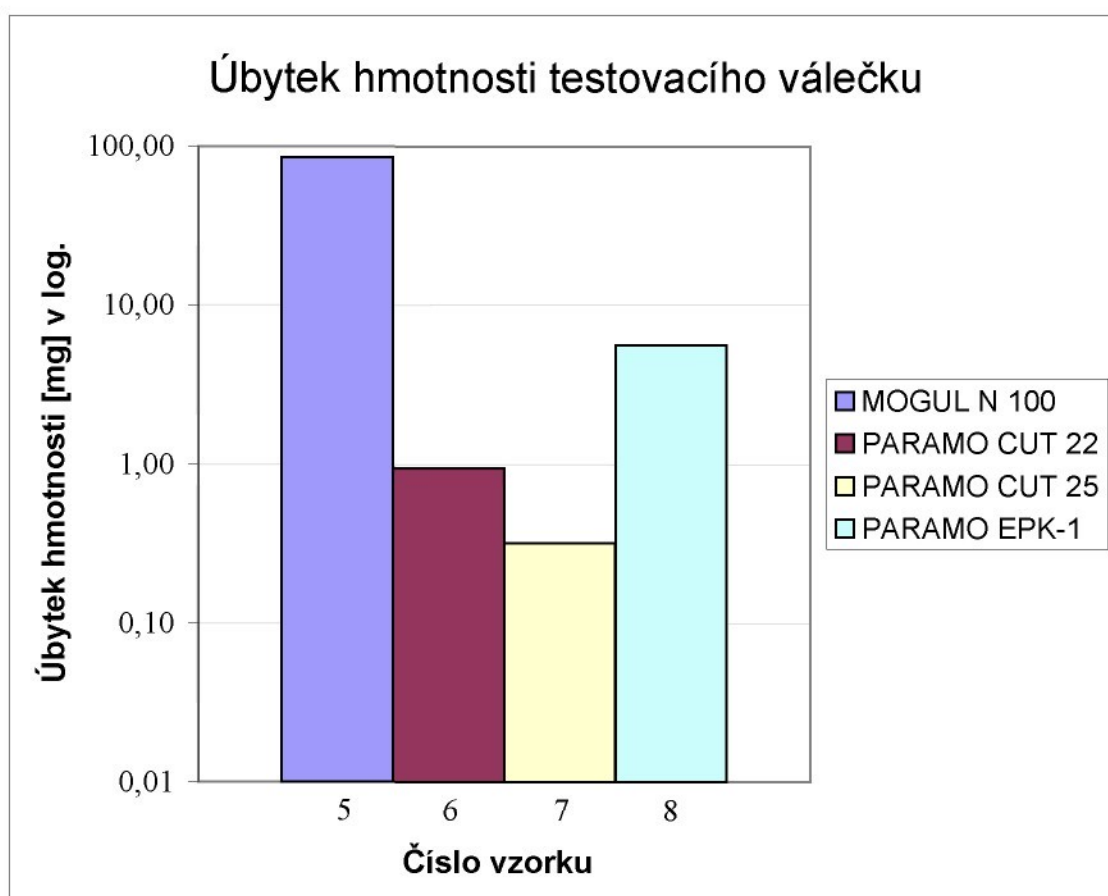
Měřicí přístroj: Laboratorní analytická váha METTLER TOLEDO AG 245				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Pořadí n	Úbytek hmotnosti m_U [mg]	σ Úbytek hmotnosti m_U [mg]
1	PARAMO SK 220	I.	48,40	43,63 ± 3,11
		II.	43,30	
		III.	43,10	
		IV.	39,70	
2	PARAMO EOPS	I.	36,80	38,78 ± 3,75
		II.	35,40	
		III.	37,80	
		IV.	45,10	
3	PARAMO ERO-SB	I.	0,70	0,45 ± 0,15
		II.	0,40	
		III.	0,40	
		IV.	0,30	
4	PARAMO ERO-AW	I.	0,00	0,05 ± 0,05
		II.	0,10	
		III.	0,00	
		IV.	0,10	



Graf 4.1 Úbytek hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Tab. 4.2 Úbytek hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj: Laboratorní analytická váha METTLER TOLEDO AG 245				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Pořadí n	Úbytek hmotnosti m_U [mg]	σ Úbytek hmotnosti m_U [mg]
5	MOGUL N 100	I.	88,70	85,28 ± 2,10
		II.	84,60	
		III.	83,00	
		IV.	84,80	
6	PARAMO CUT 22	I.	1,00	0,95 ± 0,09
		II.	1,00	
		III.	0,80	
		IV.	1,00	
7	PARAMO CUT 25	I.	0,50	0,32 ± 0,19
		II.	0,00	
		III.	0,38	
		IV.	0,40	
8	PARAMO EPK-1	I.	6,20	5,60 ± 1,54
		II.	7,70	
		III.	5,00	
		IV.	3,50	



Graf 4.2 Úbytek hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

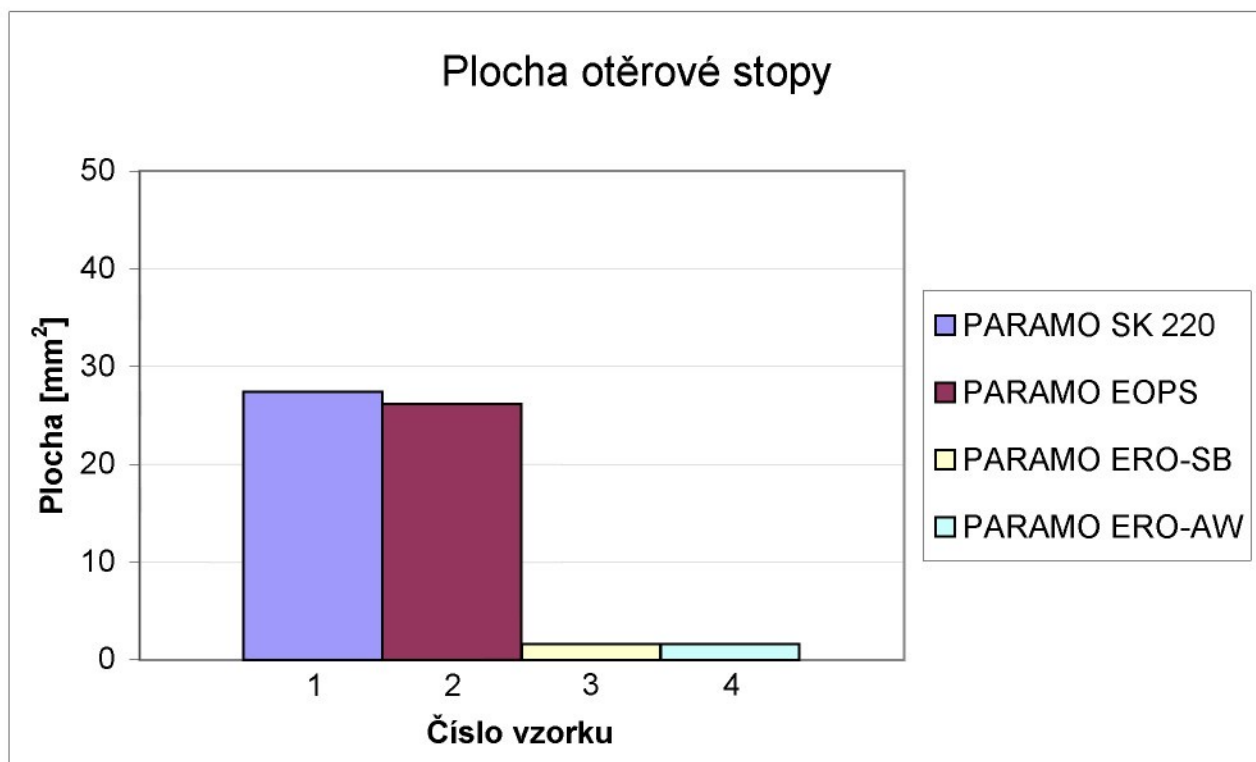
Měření č. 1

Tab. 16 Úbytek hmotnosti testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj: Laboratorní analytická váha METTLER TOLEDO AG 245				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Pořadí n	Úbytek hmotnosti m_U [mg]	ø Úbytek hmotnosti m_U [mg]
1	PARAMO SK 220	I.	48,40	43,63 ± 3,11
		II.	43,30	
		III.	43,10	
		IV.	39,70	

Tab. 5.1 Plocha otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj: Strojnická lupa							
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Pořadí n	Délka stopy otěru ℓ [mm]	Šířka stopy otěru d [mm]	Plocha otěru A [mm ²]	$\bar{A}$ Plocha otěru A [mm ²]
1	PARAMO SK 220	5	I.	7,9	4,7	29,15	27,45 $\pm 1,05$
		5	II.	7,7	4,5	27,20	
		5	III.	7,7	4,5	27,20	
		5	IV.	7,6	4,4	26,25	
		-	Ø	7,7	4,5	-	
2	PARAMO EOPS	5	I.	7,4	4,3	24,98	26,15 $\pm 1,32$
		5	II.	7,4	4,3	24,98	
		5	III.	7,5	4,5	26,49	
		5	IV.	7,8	4,6	28,17	
		-	Ø	7,5	4,4	-	
3	PARAMO ERO-SB	5	I.	2,0	1,2	1,88	1,64 $\pm 0,17$
		5	II.	1,8	1,0	1,41	
		5	III.	1,9	1,1	1,64	
		5	IV.	1,9	1,1	1,64	
		-	Ø	1,9	1,1	-	
4	PARAMO ERO-AW	5	I.	1,5	0,9	1,06	1,12 $\pm 0,10$
		5	II.	1,5	1,0	1,18	
		5	III.	1,4	0,9	0,99	
		5	IV.	1,6	1,0	1,26	
		-	Ø	1,5	1,0	-	



Graf 5.1 Plocha otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

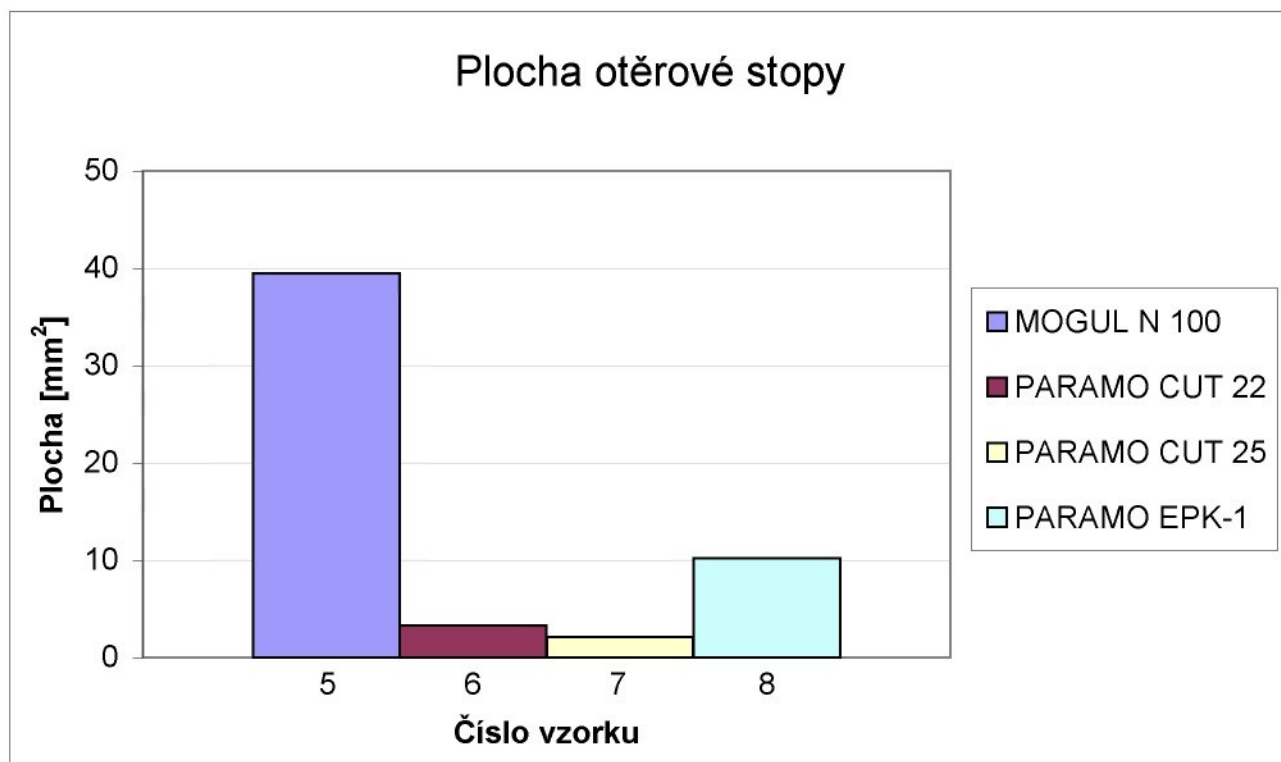
Měření č. 1

Tab. 17 Plocha otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj: Strojnická lupa							
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Pořadí n	Délka stopy otěru ℓ [mm]	Šířka stopy otěru d [mm]	Plocha otěru A [mm ²]	Ø Plocha otěru A [mm ²]
1	PARAMO SK 220	5	I.	7,9	4,7	29,15	27,45 ± 1,05
		5	II.	7,7	4,5	27,20	
		5	III.	7,7	4,5	27,20	
		5	IV.	7,6	4,4	26,25	
		-	Ø	7,7	4,5	-	

Tab. 5.2 Plocha otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

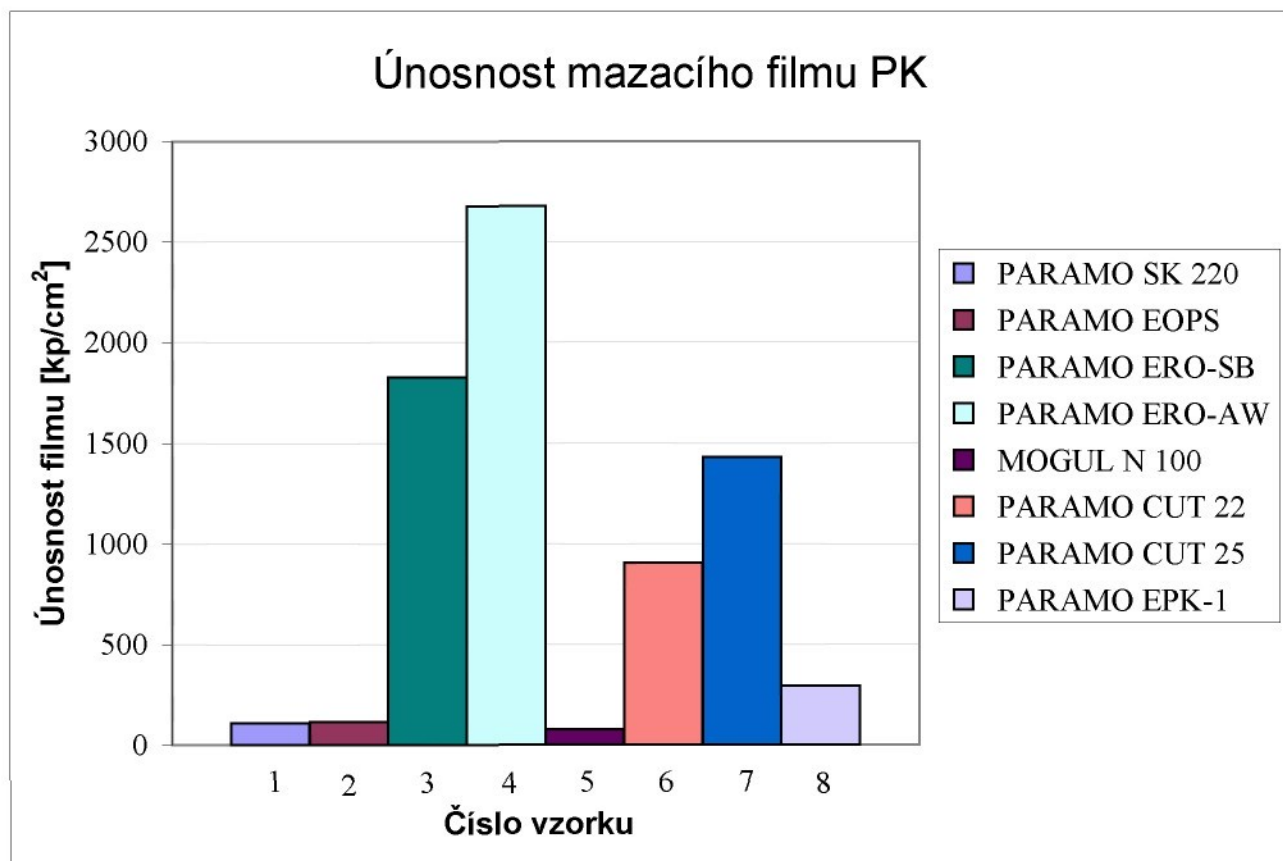
Měřicí přístroj: Strojnická lupa						
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Pořadí n	Délka stopy otěru ℓ [mm]	Šířka stopy otěru d [mm]	Plocha otěru A [mm ²]	Ø Plocha otěru A [mm ²]
5	MOGUL N 100	I.	9,5	5,4	40,27	39,50 ± 0,47
		II.	9,5	5,3	39,52	
		III.	9,4	5,3	39,11	
		IV.	9,4	5,3	39,11	
		Ø	9,5	5,3	-	
6	PARAMO CUT 22	I.	3,3	1,9	4,92	3,32 ± 0,94
		II.	2,6	1,5	3,06	
		III.	2,5	1,3	2,55	
		IV.	2,5	1,4	2,75	
		Ø	2,7	1,5	-	
7	PARAMO CUT 25	I.	2,2	1,2	2,07	2,10 ± 0,16
		II.	2,2	1,1	1,90	
		III.	2,3	1,3	2,35	
		IV.	2,2	1,2	2,07	
		Ø	2,2	1,2	-	
8	PARAMO EPK-1	I.	5,0	2,8	10,99	10,22 ± 0,95
		II.	4,9	2,9	11,15	
		III.	4,7	2,7	9,96	
		IV.	4,3	2,6	8,78	
		Ø	4,7	2,8	-	



Graf 5.2 Plocha otěrové stopy u testovacího válečku na přístroji Reichert M2

Tab. 6.1 Únosnost mazacího filmu procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Výpočet: $\dot{U}MF = (2000 \cdot G) / A \text{ [kp/cm}^2\text{]}$						
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Konstanta	Tíhová hmotnost závaží G [kp]	Ø Plocha otěru A [mm ²]	Únosnost mazacího filmu $\dot{U}MF$ [kp/cm ²]
1	PARAMO SK 220	5	2000	1,5	27,45	109,29
2	PARAMO EOPS	5	2000	1,5	26,15	114,72
3	PARAMO ERO-SB	5	2000	1,5	1,64	1829,27
4	PARAMO ERO-AW	5	2000	1,5	1,12	2678,57
5	MOGUL N 100	-	2000	1,5	39,50	75,95
6	PARAMO CUT 22	-	2000	1,5	3,32	903,61
7	PARAMO CUT 25	-	2000	1,5	2,10	1428,57
8	PARAMO EPK-1	-	2000	1,5	10,22	293,54



Graf 6.1 Únosnost mazacího filmu procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Tab. 18 Únosnost mazacího filmu procesní kapaliny na přístroji Reichert M2

Výpočet: $\dot{U}MF = (2000 \cdot G) / A \text{ [kp/cm}^2\text{]}$						
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Konstanta	Tíhová hmotnost závaží G [kp]	Ø Plocha otěru A [mm ²]	Únosnost mazacího filmu $\dot{U}MF$ [kp/cm ²]
1	PARAMO SK 220	5	2000	1,5	27,45	109,29

Tab. 7.1 Parametry drsnosti otěrové plochy u PK PARAMO SK 220 na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj :				MarTalk (Mahr)				
Příslušenství :				Posuvová jednotka				
Snímač				DriveUnit.PGK 120				
				MFW-250:1 (#1804) - 7%				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Parametry <i>Ra,Rz DIN, Rt</i>	Měření	Pořadí n				Ø Hodnota <i>Ra,Rz DIN, Rt</i>
				I.	II.	III.	IV.	
1	PARAMO SK 220	<i>Ra [μm]</i>	1	0,634	0,778	0,345	0,713	0,600 ± 0,159
			2	0,635	0,781	0,344	0,602	
			3	0,635	0,785	0,346	0,598	
			Ø	0,635	0,781	0,345	0,637	
		<i>Rz DIN [μm]</i>	1	4,089	5,290	2,601	4,711	4,042 ± 0,969
			2	4,096	5,366	2,621	3,804	
			3	4,090	5,395	2,624	3,812	
			Ø	4,092	5,350	2,615	4,109	
		<i>Rt [μm]</i>	1	5,368	7,412	3,643	8,517	5,888 ± 1,500
			2	5,367	7,462	3,689	6,282	
			3	5,366	7,522	3,689	6,336	
			Ø	5,367	7,465	3,674	7,045	

Tab. 7.2 Parametry drsnosti otěrové plochy u PK PARAMO EOPS na přístroji Reichert M2

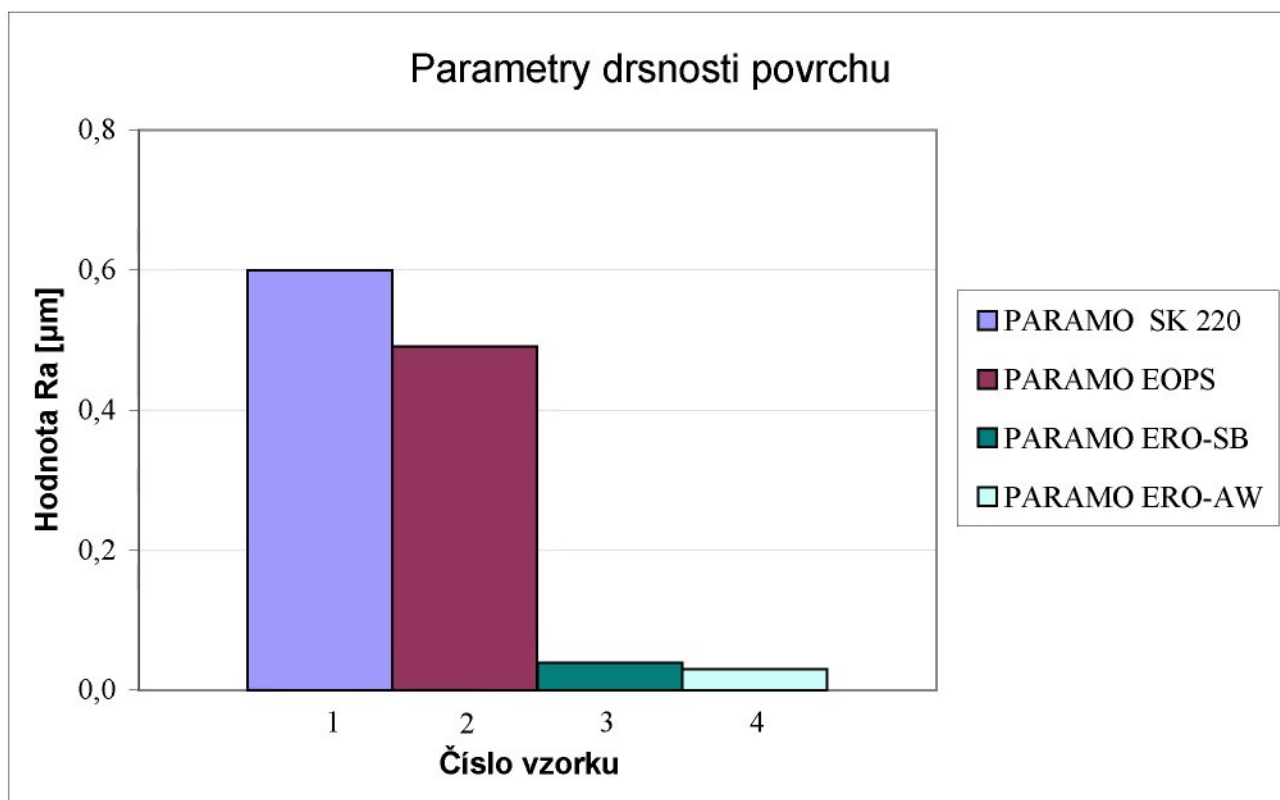
Měřicí přístroj :				MarTalk (Mahr)				
Příslušenství :				Posuvová jednotka				
Snímač				DriveUnit.PGK 120				
				MFW-250:1 (#1804) - 7%				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Parametry <i>Ra,Rz DIN, Rt</i>	Měření	Pořadí n				Ø Hodnota <i>Ra,Rz DIN, Rt</i>
				I.	II.	III.	IV.	
2	PARAMO EOPS	<i>Ra [μm]</i>	1	0,428	0,459	0,546	0,529	0,491 ± 0,048
			2	0,433	0,459	0,545	0,528	
			3	0,432	0,458	0,545	0,529	
			Ø	0,431	0,459	0,545	0,529	
		<i>Rz DIN [μm]</i>	1	3,688	2,989	3,950	4,240	3,704 ± 0,450
			2	3,694	2,996	3,949	4,190	
			3	3,703	2,992	3,853	4,207	
			Ø	3,695	2,993	3,917	4,212	
		<i>Rt [μm]</i>	1	4,457	6,150	5,320	6,014	5,499 ± 0,661
			2	4,512	6,190	5,309	6,024	
			3	4,531	6,172	5,312	6,004	
			Ø	4,500	6,170	5,313	6,014	

Tab. 7.3 Parametry drsnosti otěrové plochy u PK PARAMO ERO-SB na přístroji Reichert M2

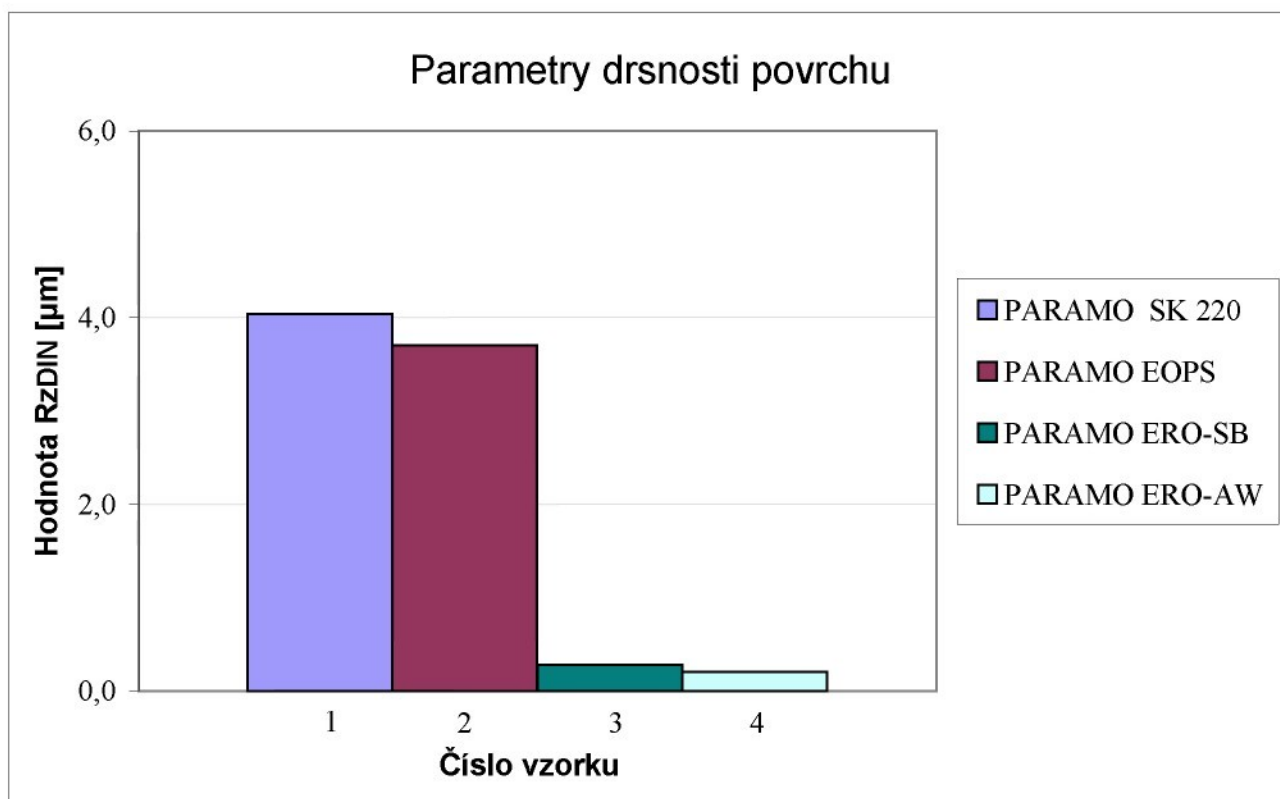
Měřicí přístroj :		MarTalk (Mahr)						
Příslušenství :		Posuvová jednotka		DriveUnit.PGK 120				
		Snímač		MFW-250:1 (#1804) - 7%				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Parametry $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$	Měření	Pořadí n				Ø Hodnota $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$
				I.	II.	III.	IV.	
3	PARAMO ERO-SB	$R_a [\mu\text{m}]$	1	0,030	0,025	0,078	0,025	0,039 $\pm 0,022$
			2	0,030	0,024	0,076	0,024	
			3	0,028	0,027	0,077	0,027	
			Ø	0,029	0,025	0,077	0,026	
		$R_z \text{ DIN} [\mu\text{m}]$	1	0,204	0,147	0,631	0,165	0,285 $\pm 0,202$
			2	0,200	0,136	0,660	0,159	
			3	0,203	0,148	0,609	0,165	
			Ø	0,202	0,143	0,633	0,163	
		$R_t [\mu\text{m}]$	1	0,442	0,190	1,048	0,292	0,490 $\pm 0,332$
			2	0,413	0,170	1,069	0,297	
			3	0,478	0,177	1,005	0,296	
			Ø	0,444	0,179	1,041	0,295	

Tab. 7.4 Parametry drsnosti otěrové plochy u PK PARAMO ERO-AW na přístroji Reichert M2

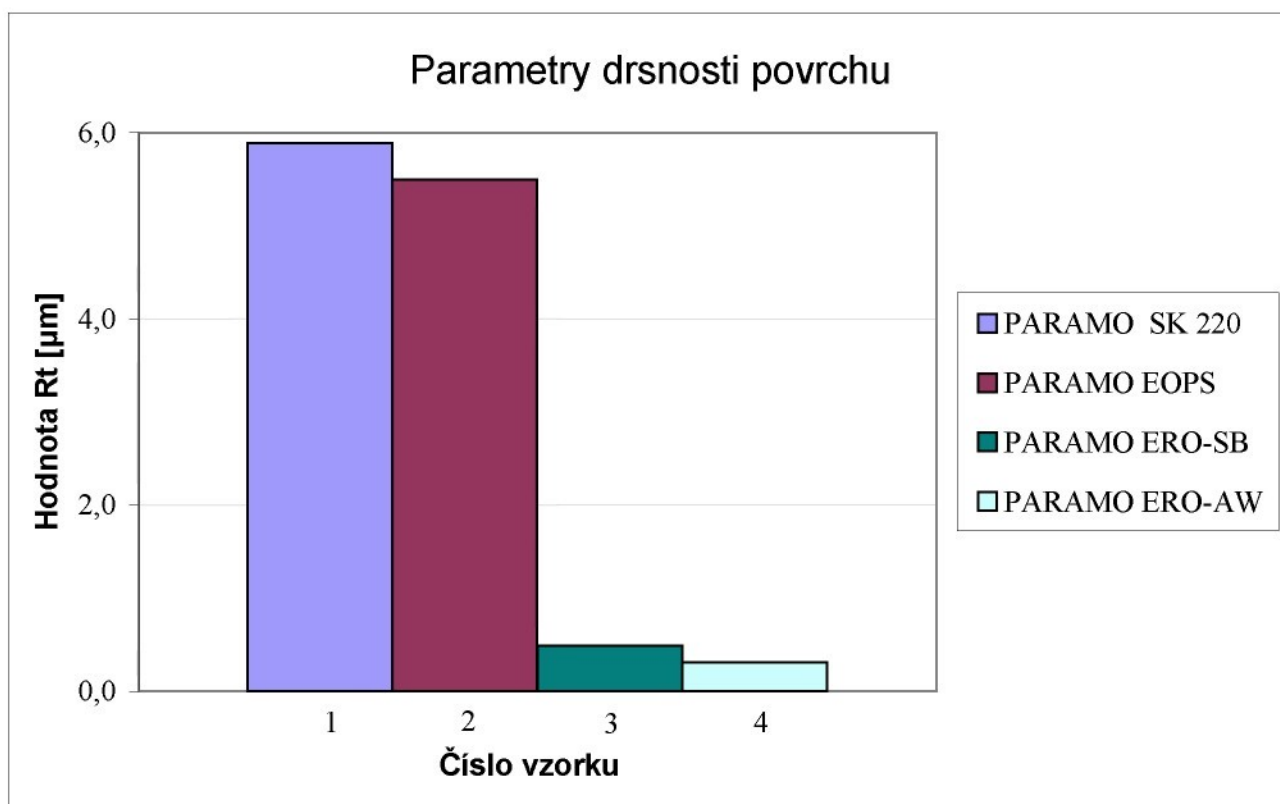
Měřicí přístroj :		MarTalk (Mahr)						
Příslušenství :		Posuvová jednotka		DriveUnit.PGK 120				
		Snímač		MFW-250:1 (#1804) - 7%				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Parametry $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$	Měření	Pořadí n				Ø Hodnota $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$
				I.	II.	III.	IV.	
4	PARAMO ERO-AW	$R_a [\mu\text{m}]$	1	0,031	0,027	0,033	0,028	0,030 $\pm 0,002$
			2	0,032	0,027	0,034	0,027	
			3	0,030	0,029	0,033	0,030	
			Ø	0,031	0,028	0,033	0,028	
		$R_z \text{ DIN} [\mu\text{m}]$	1	0,200	0,165	0,279	0,203	0,205 $\pm 0,038$
			2	0,190	0,162	0,272	0,206	
			3	0,188	0,160	0,244	0,187	
			Ø	0,193	0,162	0,265	0,198	
		$R_t [\mu\text{m}]$	1	0,287	0,192	0,405	0,417	0,309 $\pm 0,083$
			2	0,268	0,199	0,352	0,415	
			3	0,263	0,182	0,358	0,367	
			Ø	0,273	0,191	0,372	0,399	



Graf 7.1 Parametry drsnosti Ra otěrové plochy u PK na přístroji Reichert M2



Graf 7.2 Parametry drsnosti Rz DIN otěrové plochy u PK na přístroji Reichert M2



Graf 7.3 Parametry drsnosti R_t otěrové plochy u PK na přístroji Reichert M2

Tab. 7.5 Parametry drsnosti otěrové plochy u PK MOGUL N 100 na přístroji Reichert M2

Měřicí přístroj : MarTalk (Mahr)								
Příslušenství : Posuvová jednotka DriveUnit.PGK 120								
Snímač MFW-250:1 (#1804) - 7%								
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Parametry $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$	Měření	Pořadí n				Ø Hodnota $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$
				I.	II.	III.	IV.	
5	MOGUL N 100	$R_a [\mu\text{m}]$	1	0,660	0,821	0,619	0,873	0,745 $\pm 0,108$
			2	0,659	0,826	0,619	0,880	
			3	0,660	0,828	0,619	0,881	
			Ø	0,660	0,825	0,619	0,878	
		$R_z \text{ DIN} [\mu\text{m}]$	1	4,266	5,071	3,958	5,286	4,647 $\pm 0,554$
			2	4,229	5,111	3,971	5,291	
			3	4,223	5,112	3,982	5,268	
			Ø	4,239	5,098	3,970	5,281	
		$R_t [\mu\text{m}]$	1	5,828	7,744	5,487	6,456	6,390 $\pm 0,893$
			2	5,733	7,841	5,524	6,502	
			3	5,771	7,839	5,482	6,473	
			Ø	5,777	7,808	5,498	6,477	

Tab. 7.6 Parametry drsnosti otěrové plochy u PK PARAMO CUT 22 na přístroji Reichert M2

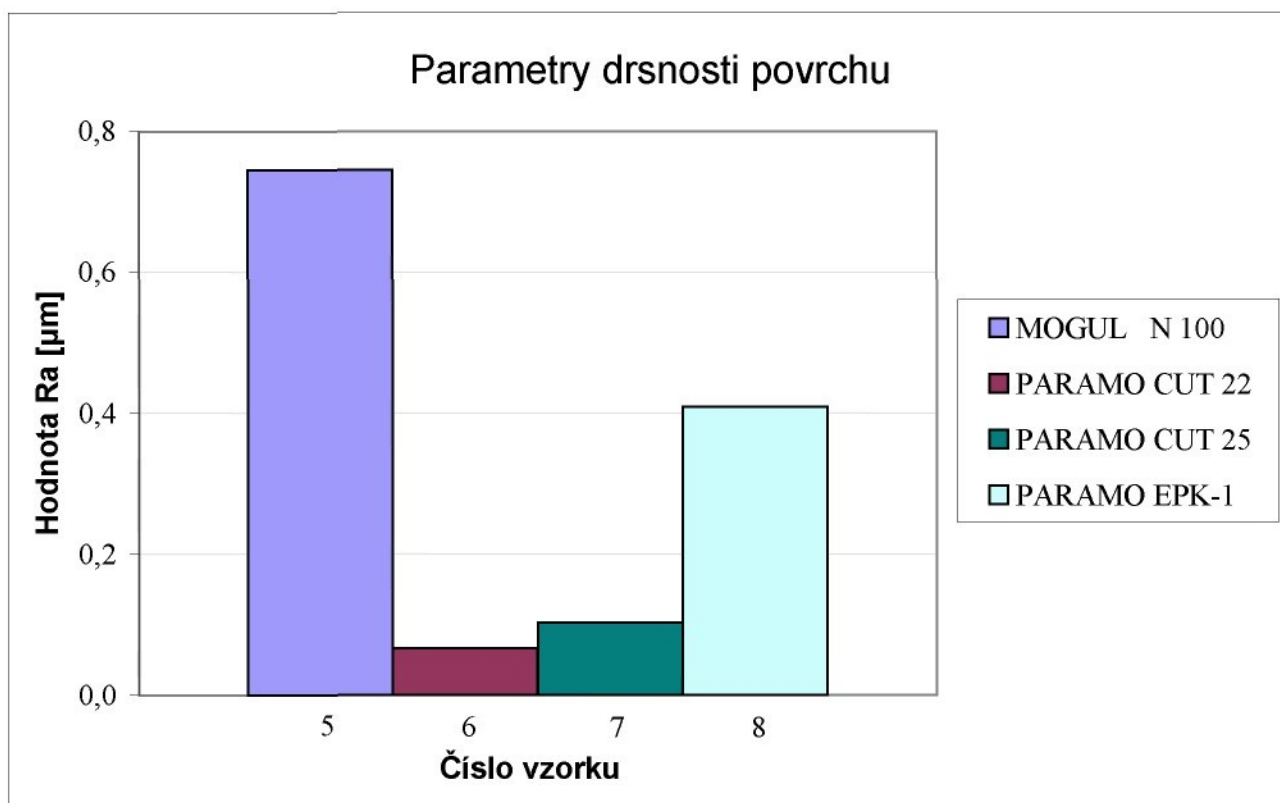
Měřicí přístroj : MarTalk (Mahr)								
Příslušenství : Posuvová jednotka DriveUnit.PGK 120								
Snímač MFW-250:1 (#1804) - 7%								
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Parametry $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$	Měření	Pořadí n				Ø Hodnota $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$
				I.	II.	III.	IV.	
6	PARAMO CUT 22	$R_a [\mu\text{m}]$	1	0,058	0,084	0,062	0,064	0,066 $\pm 0,011$
			2	0,056	0,084	0,061	0,062	
			3	0,056	0,084	0,062	0,064	
			Ø	0,056	0,084	0,062	0,063	
		$R_z \text{ DIN} [\mu\text{m}]$	1	0,438	0,436	0,370	0,428	0,413 $\pm 0,029$
			2	0,432	0,440	0,357	0,423	
			3	0,427	0,428	0,366	0,411	
			Ø	0,432	0,435	0,364	0,421	
		$R_t [\mu\text{m}]$	1	0,632	0,525	0,473	0,614	0,552 $\pm 0,058$
			2	0,581	0,541	0,458	0,621	
			3	0,590	0,504	0,484	0,602	
			Ø	0,601	0,523	0,472	0,613	

Tab. 7.7 Parametry drsnosti otěrové plochy u PK PARAMO CUT 25 na přístroji Reichert M2

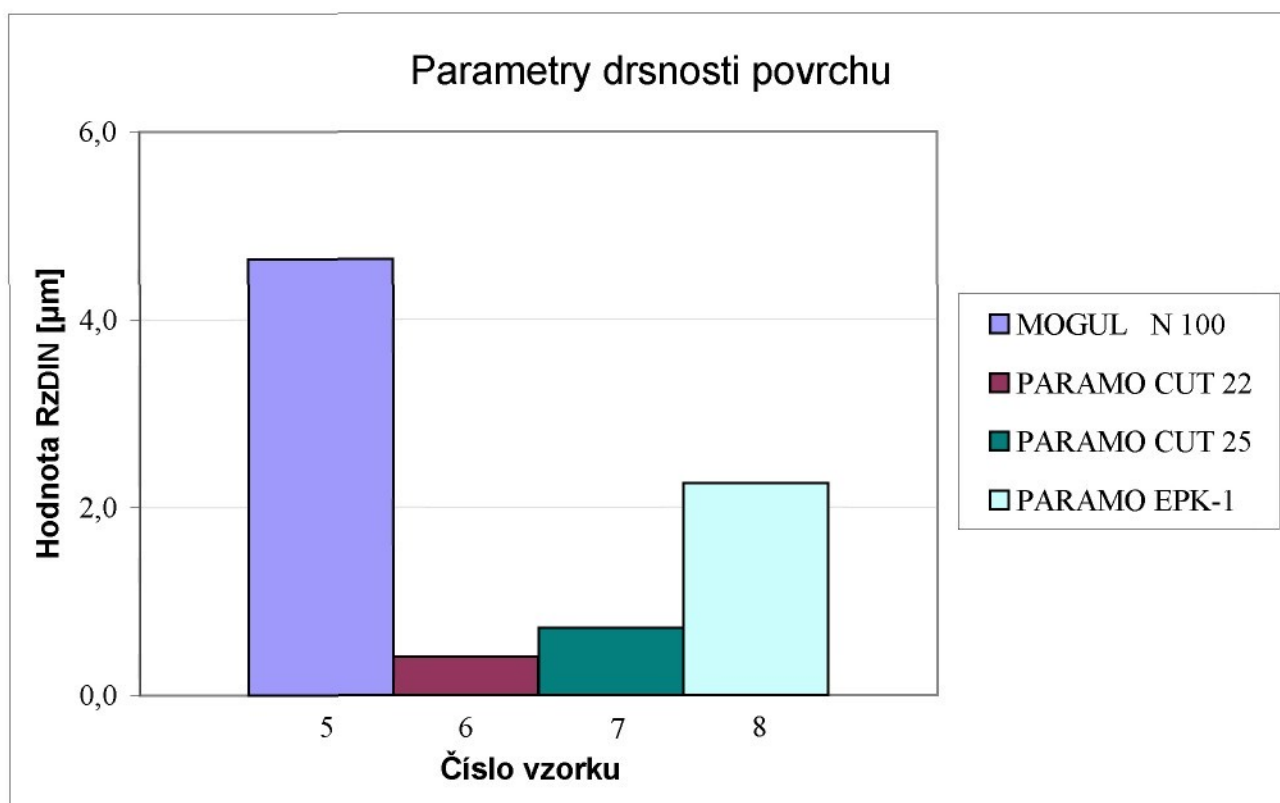
Měřicí přístroj :		MarTalk (Mahr)						
Příslušenství :		Posuvová jednotka		DriveUnit.PGK 120				
		Snímač		MFW-250:1 (#1804) - 7%				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Parametry $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$	Měření	Pořadí n				Ø Hodnota $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$
				I.	II.	III.	IV.	
7	PARAMO CUT 25	$R_a [\mu\text{m}]$	1	0,060	0,088	0,075	0,189	0,102 ± 0,050
			2	0,059	0,088	0,075	0,186	
			3	0,059	0,088	0,075	0,185	
			Ø	0,059	0,088	0,075	0,187	
		$R_z \text{ DIN} [\mu\text{m}]$	1	0,316	0,624	0,407	1,509	0,720 ± 0,480
			2	0,315	0,629	0,411	1,544	
			3	0,309	0,648	0,403	1,528	
			Ø	0,313	0,634	0,407	1,527	
		$R_t [\mu\text{m}]$	1	0,474	1,537	1,015	5,976	2,242 ± 2,125
			2	0,472	1,556	1,026	5,928	
			3	0,480	1,593	0,972	5,882	
			Ø	0,476	1,562	1,004	5,928	

Tab. 7.8 Parametry drsnosti otěrové plochy u PK PARAMO EPK-1 na přístroji Reichert M2

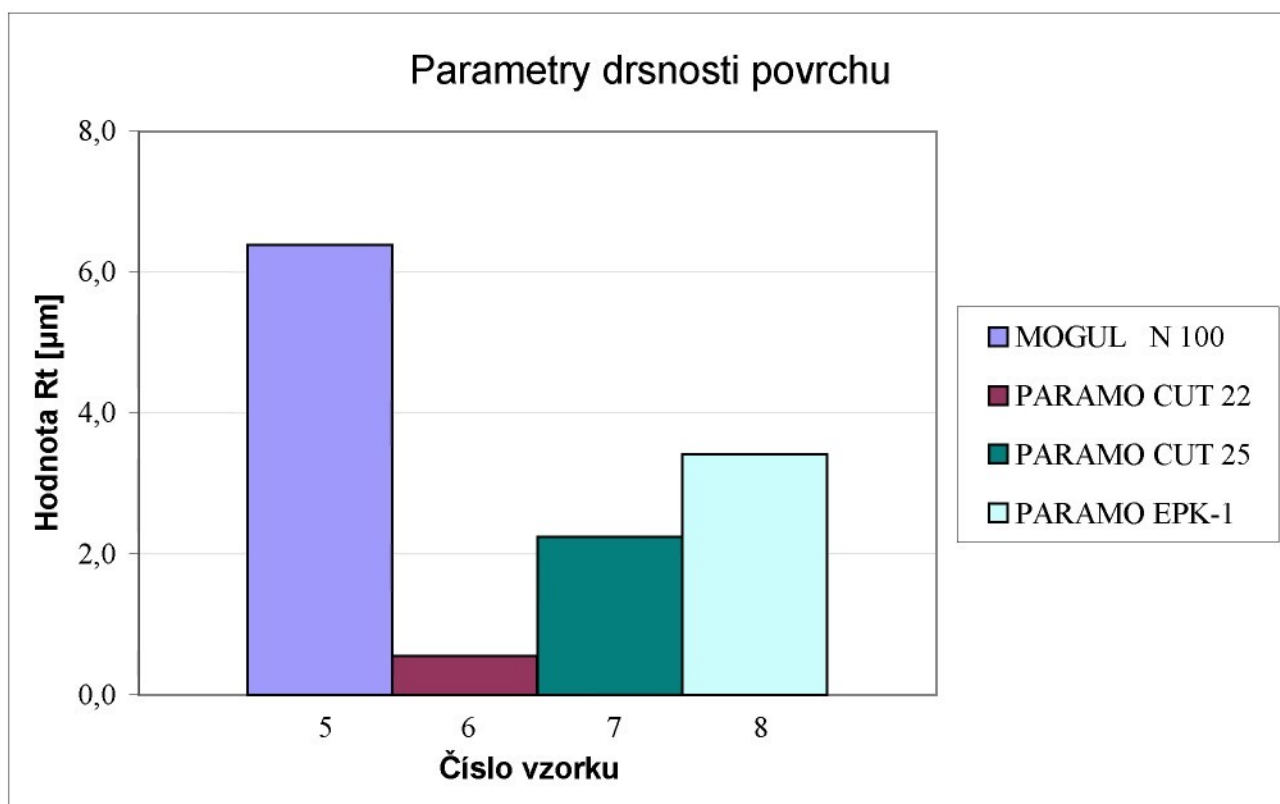
Měřicí přístroj :		MarTalk (Mahr)						
Příslušenství :		Posuvová jednotka		DriveUnit.PGK 120				
		Snímač		MFW-250:1 (#1804) - 7%				
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Parametry $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$	Měření	Pořadí n				Ø Hodnota $R_a, R_z \text{ DIN}, R_t$
				I.	II.	III.	IV.	
8	PARAMO EPK-1	$R_a [\mu\text{m}]$	1	0,384	0,470	0,421	0,363	0,409 ± 0,040
			2	0,383	0,466	0,422	0,364	
			3	0,382	0,467	0,421	0,366	
			Ø	0,383	0,468	0,421	0,364	
		$R_z \text{ DIN} [\mu\text{m}]$	1	1,919	2,571	2,475	2,057	2,259 ± 0,272
			2	1,920	2,585	2,474	2,079	
			3	1,898	2,565	2,462	2,100	
			Ø	1,912	2,574	2,470	2,079	
		$R_t [\mu\text{m}]$	1	3,468	3,963	3,427	2,809	3,420 ± 0,426
			2	3,465	3,987	3,455	2,792	
			3	3,461	4,002	3,462	2,750	
			Ø	3,464	3,984	3,448	2,784	



Graf 7.4 Parametry drsnosti R_a otěrové plochy u PK na přístroji Reichert M2

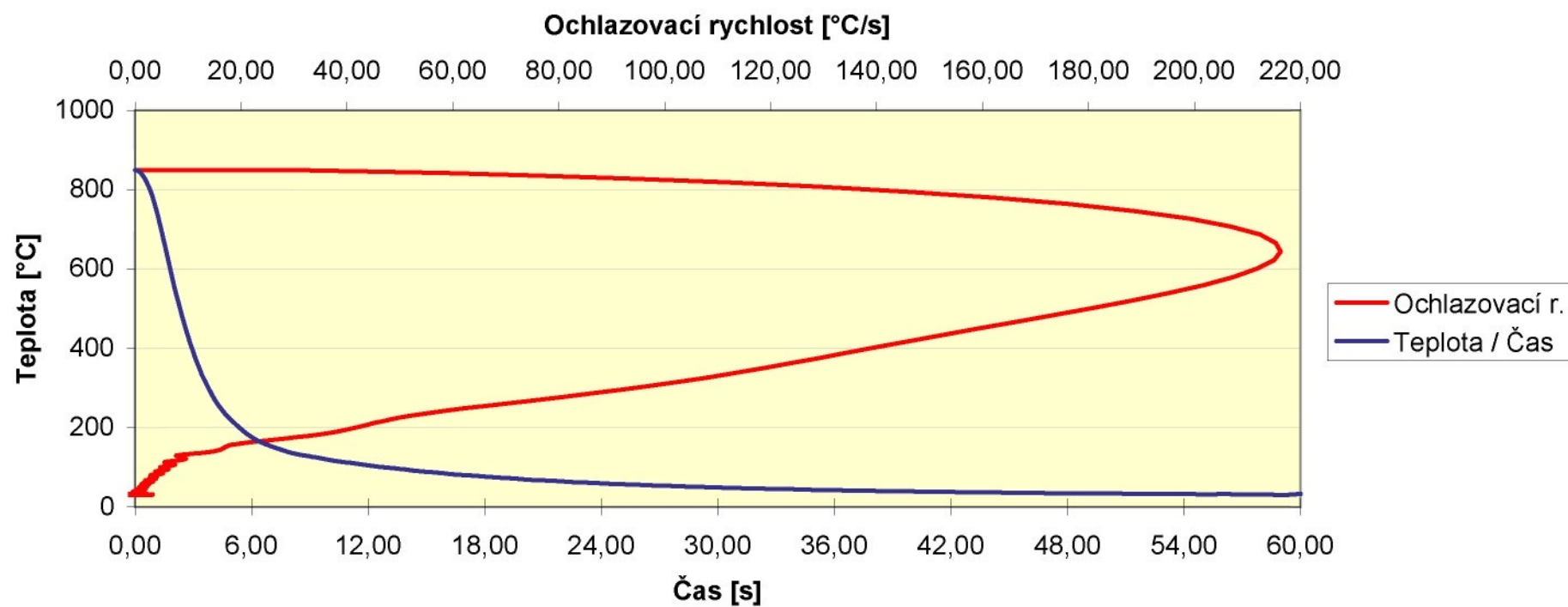


Graf 7.5 Parametry drsnosti R_z DIN otěrové plochy u PK na přístroji Reichert M2

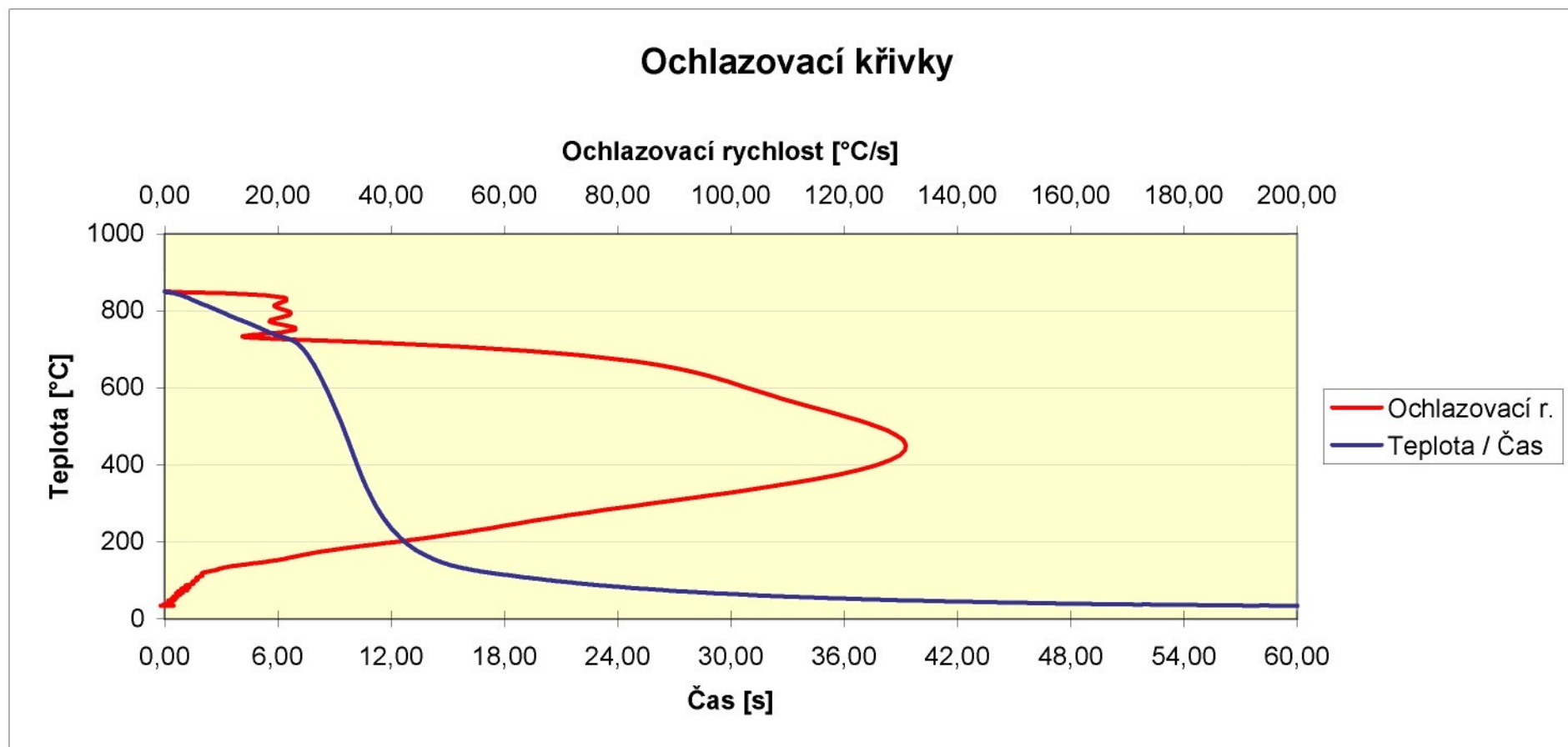


Graf 7.6 Parametry drsnosti Rt otěrové plochy u PK na přístroji Reichert M2

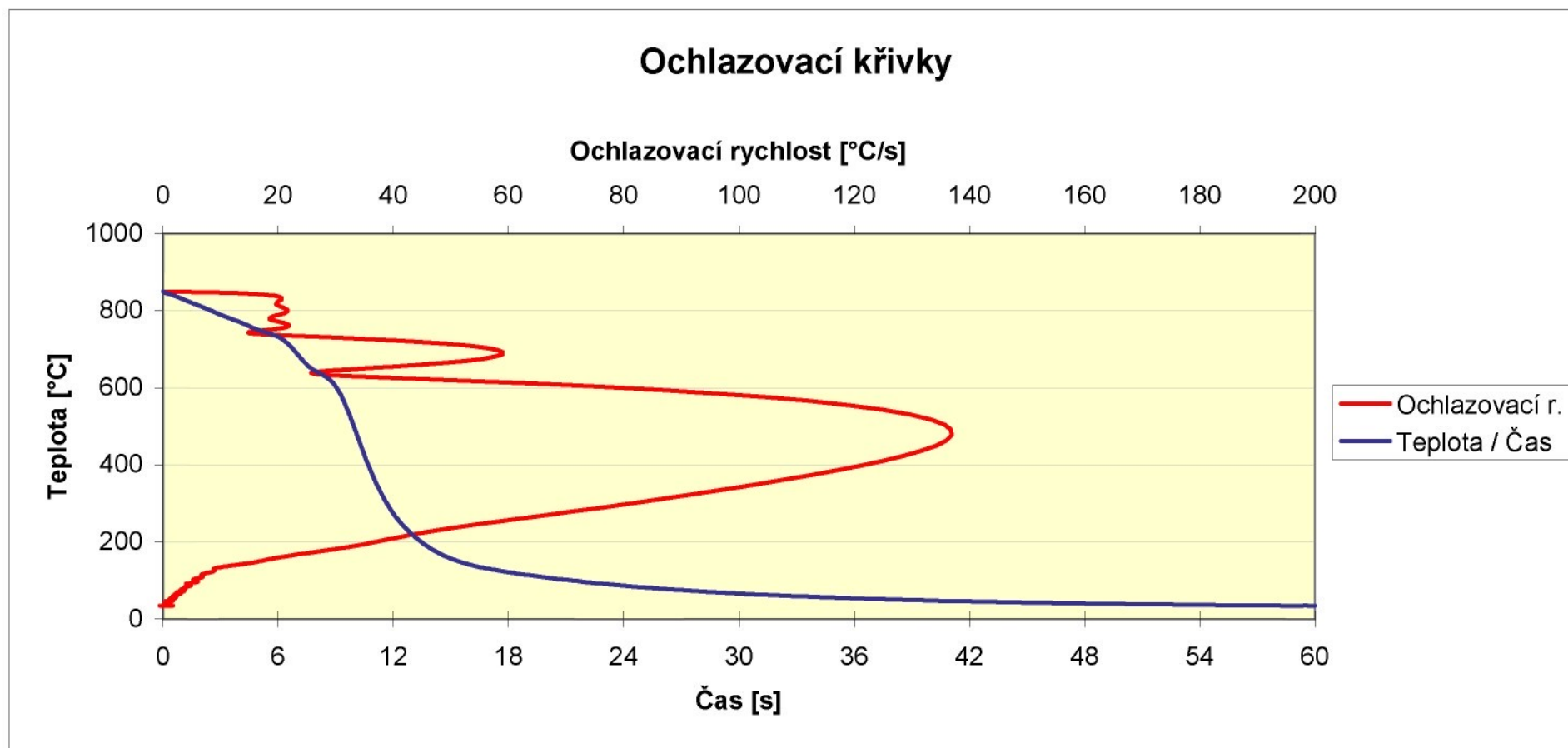
Ochlazovací křivky



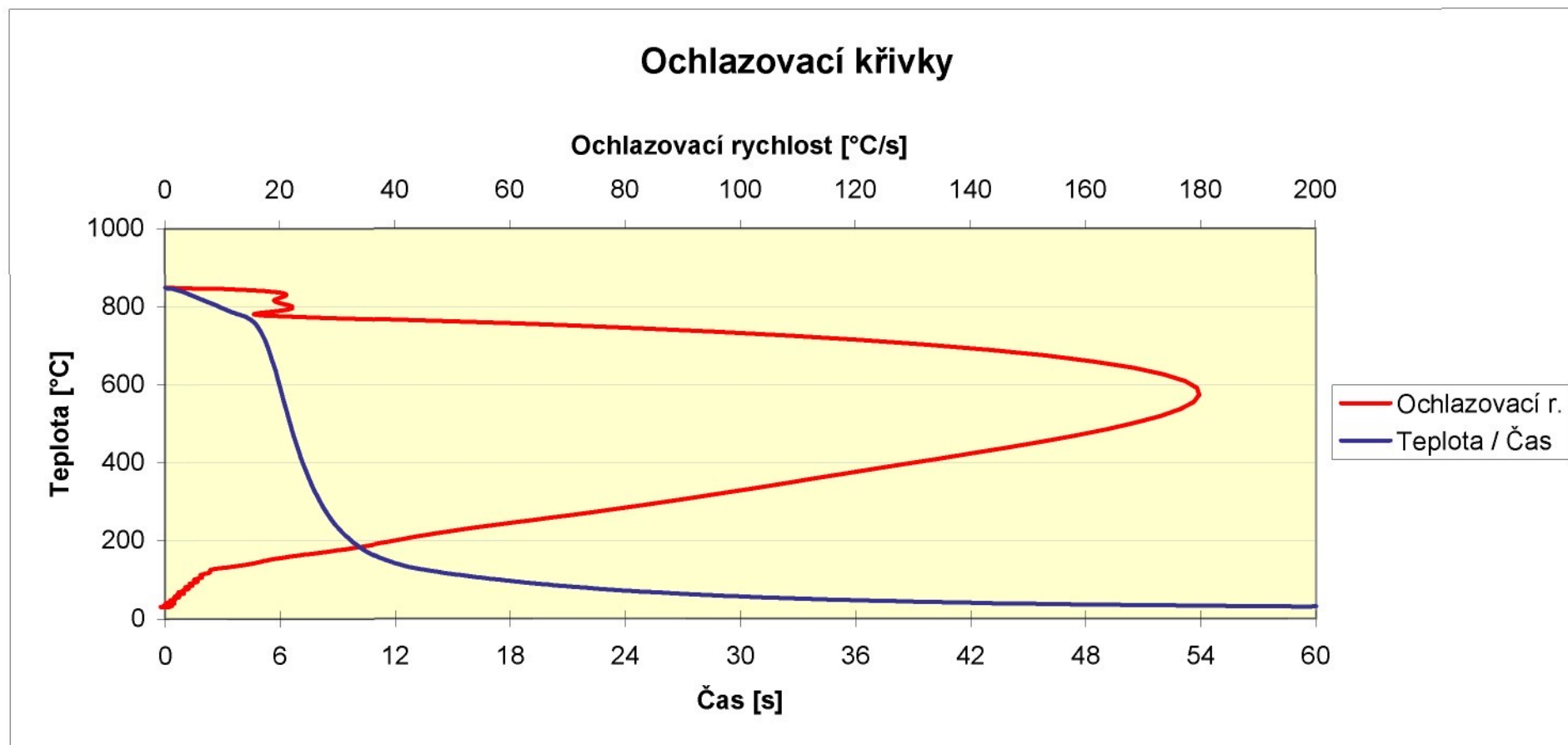
Graf 8.4.1 Ochlazovací křivky procesní kapaliny PARAMO SK 220 na přístroji IVF SmartQuench



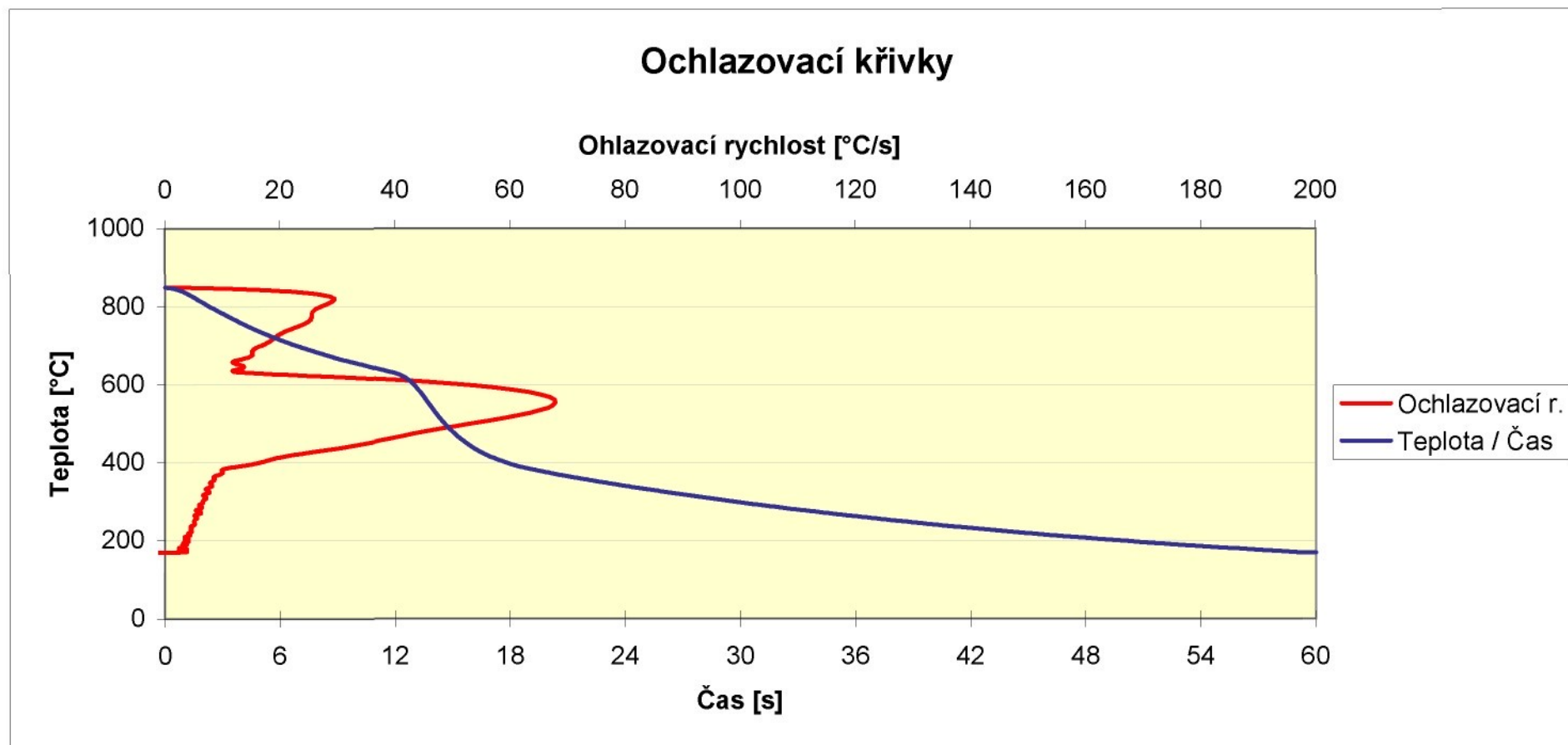
Graf 8.4.2 Ochlazovací křivky procesní kapaliny PARAMO EOPS na přístroji IVF SmartQuench



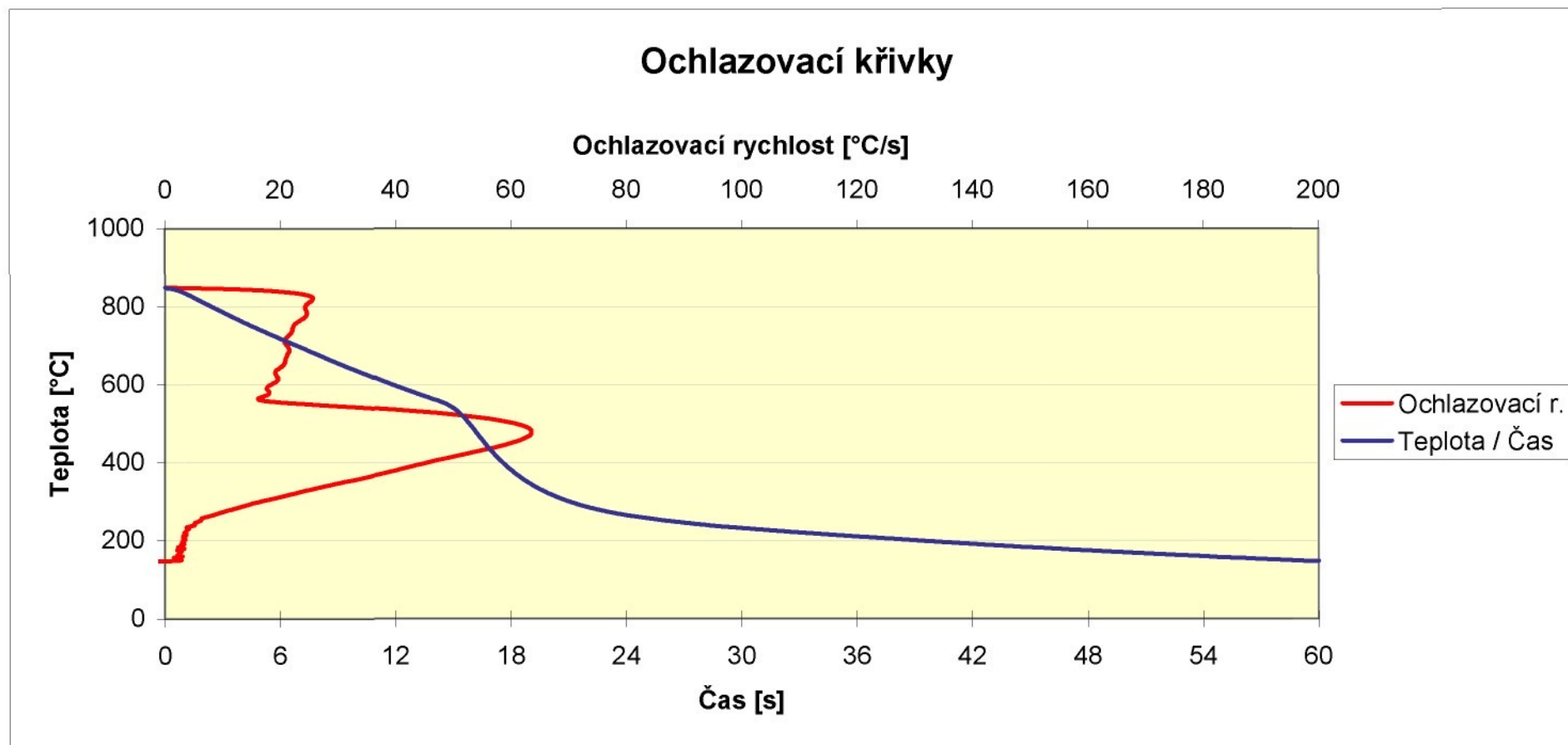
Graf 8.4.3 Ochlazovací křivky procesní kapaliny PARAMO ERO-SB na přístroji IVF SmartQuench



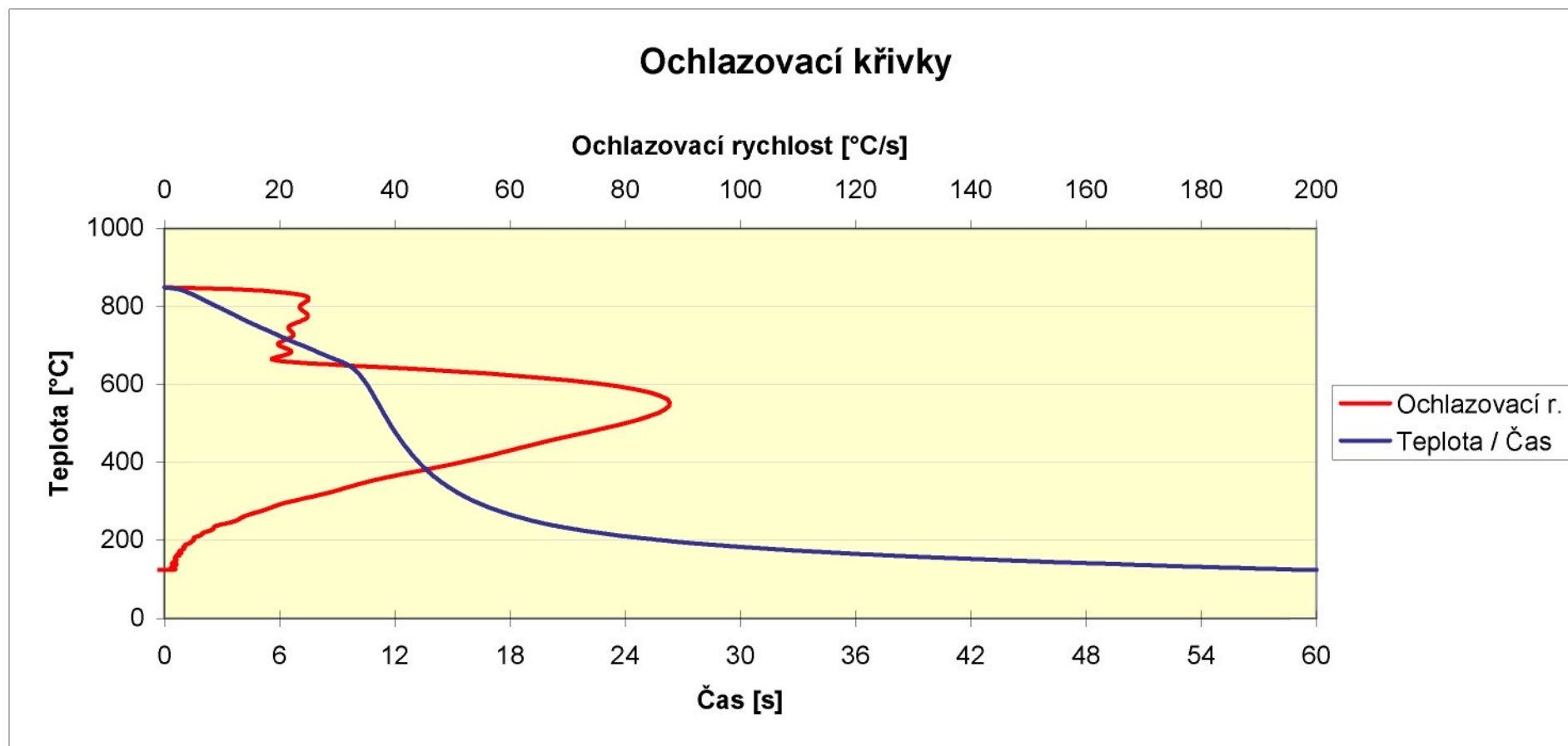
Graf 8.4.4 Ochlazovací křivky procesní kapaliny PARAMO ERO-AW na přístroji IVF SmartQuench



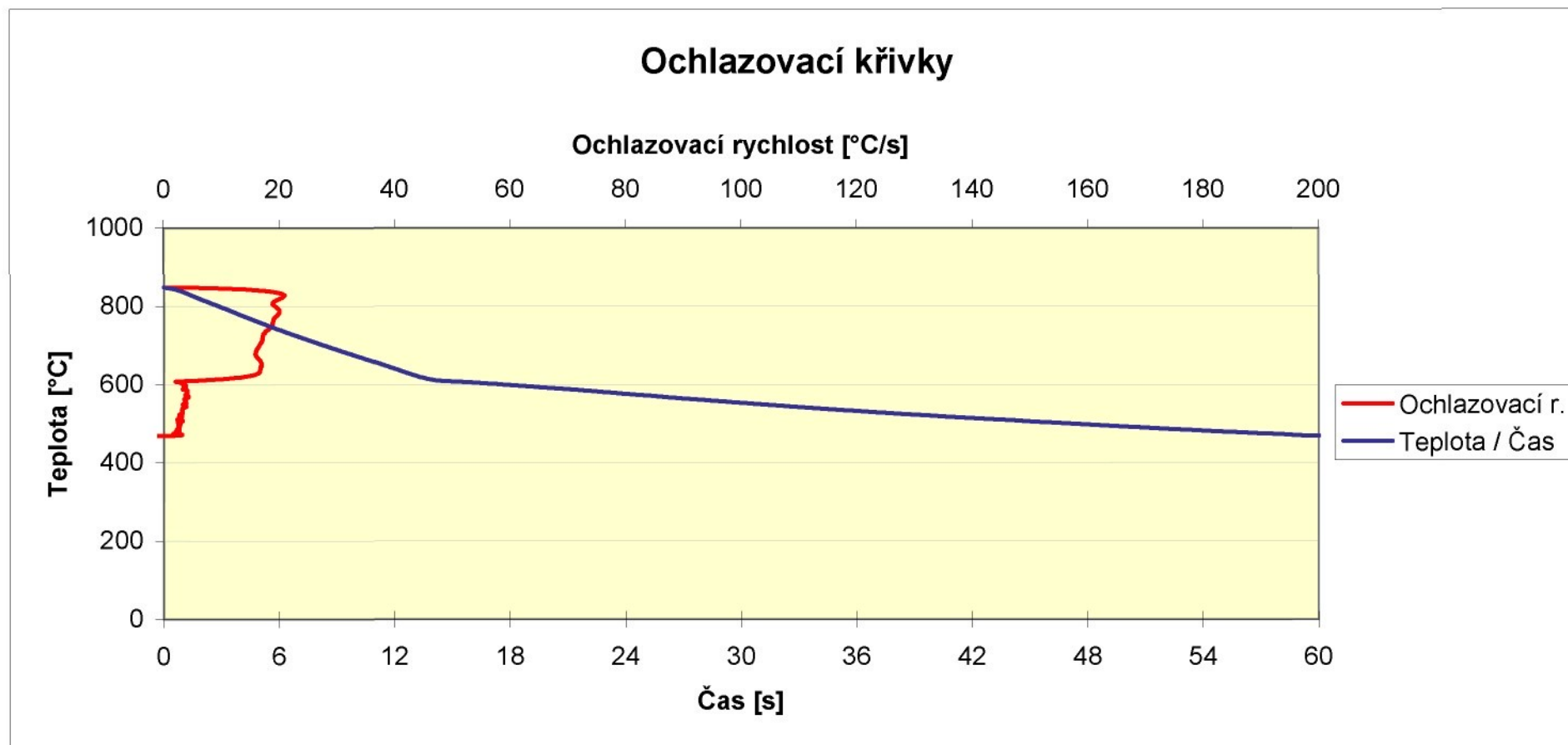
Graf 8.4.5 Ochlazovací křivky procesní kapaliny MOGUL N 100 na přístroji IVF SmartQuench



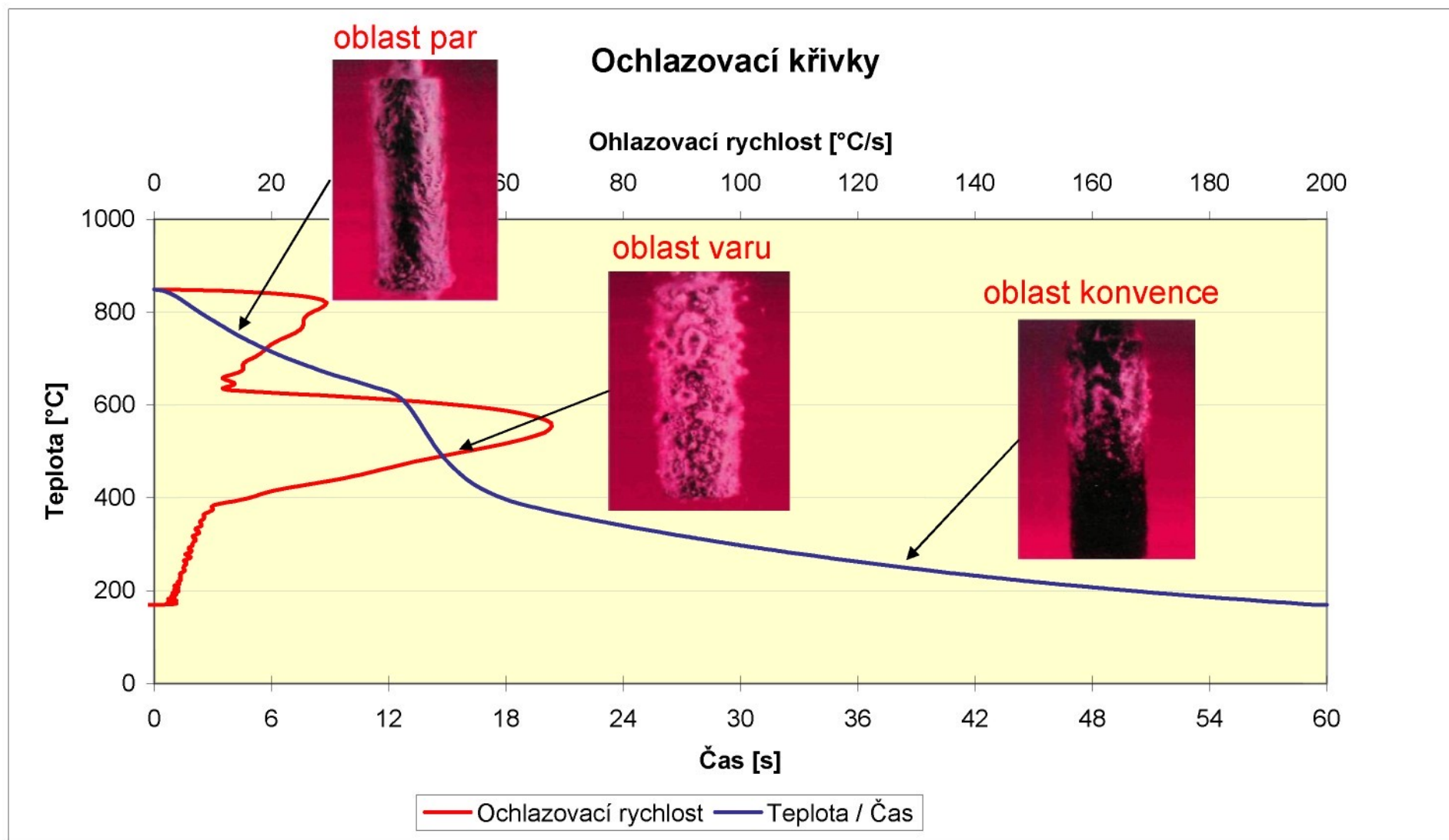
Graf 8.4.6 Ochlazovací křivky procesní kapaliny PARAMO CUT 22 na přístroji IVF SmartQuench



Graf 8.4.7 Ochlazovací křivky procesní kapaliny PARAMO CUT 25 na přístroji IVF SmartQuench



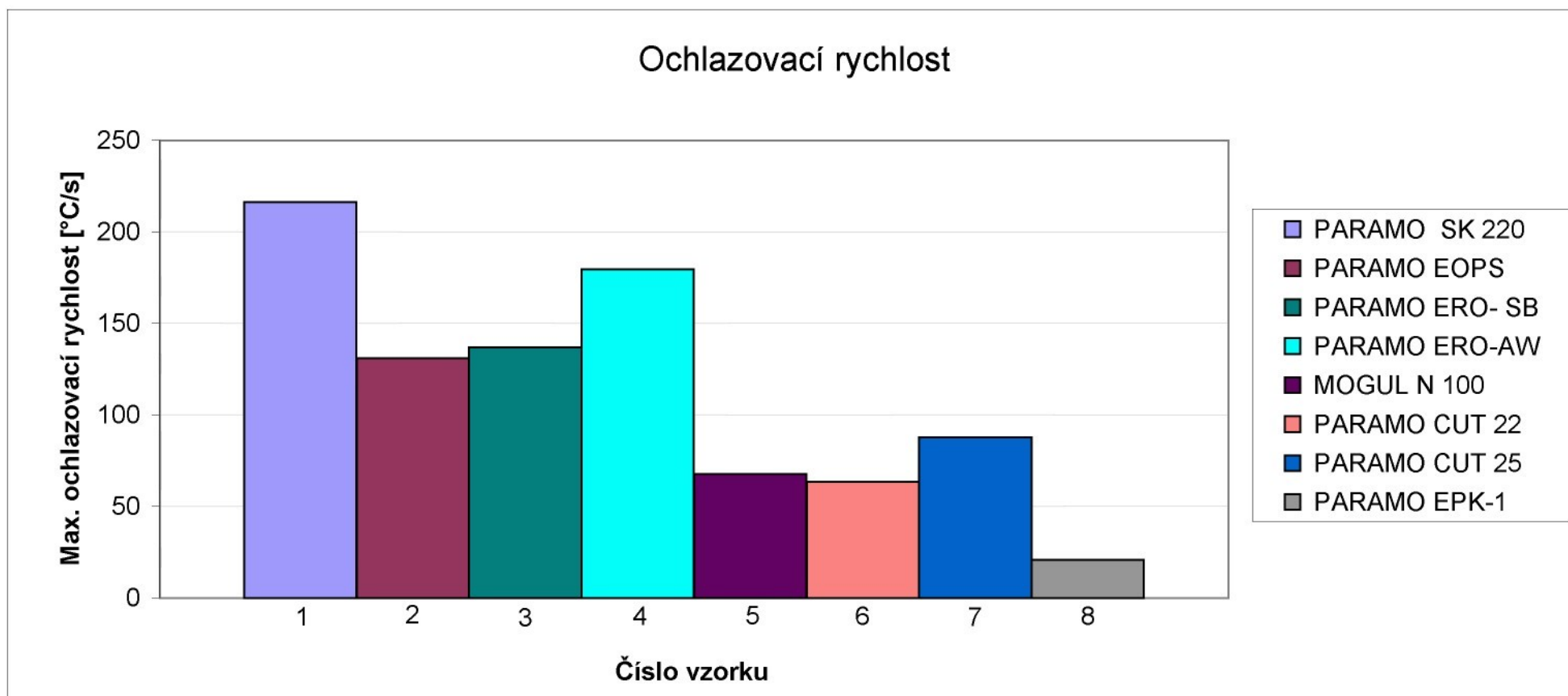
Graf 8.4.8 Ochlazovací křivky procesní kapaliny PARAMO EPK-1 na přístroji IVF SmartQuench



Obr. 18 Tři fáze ochlazování v kapalném médiu

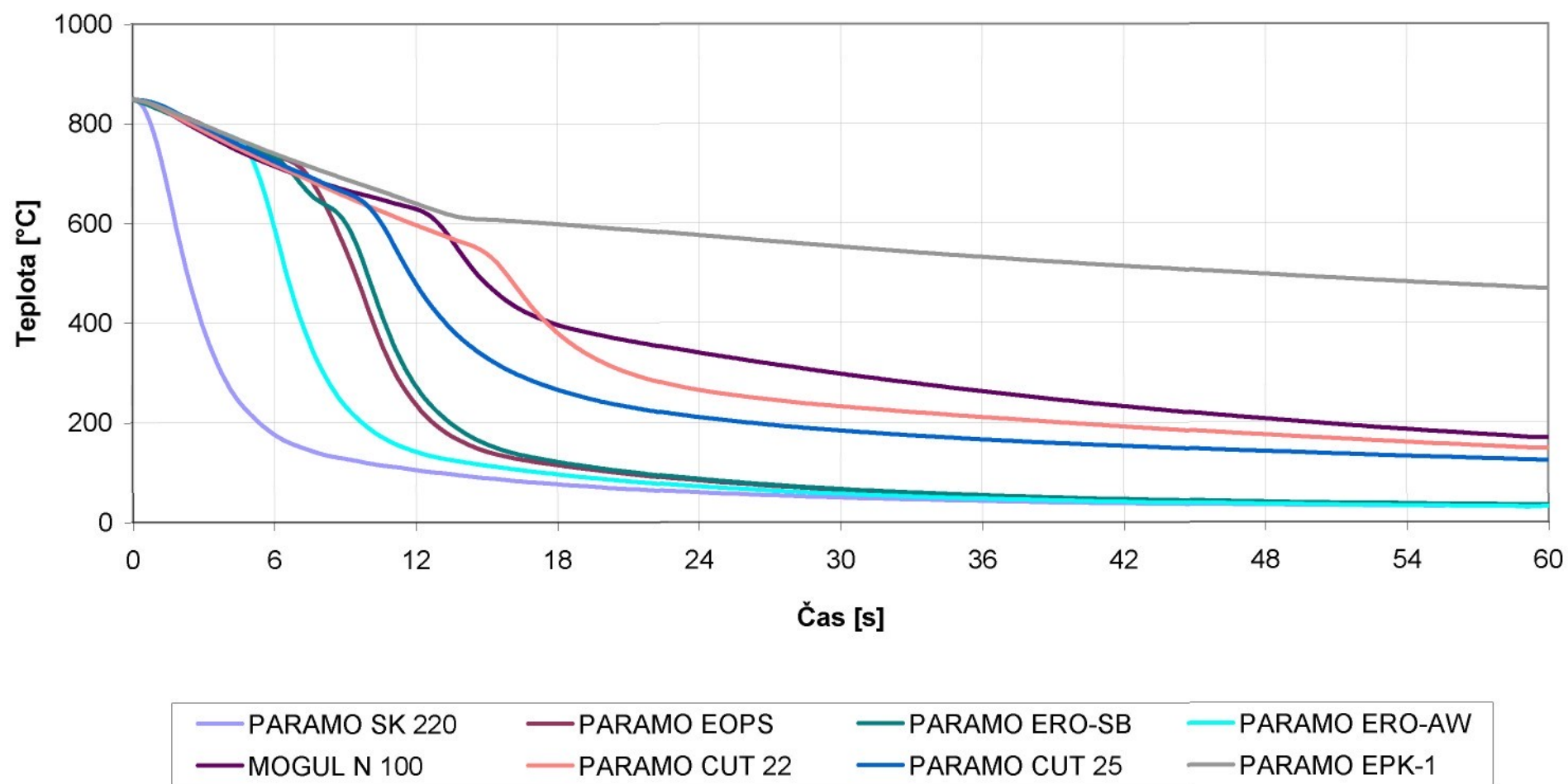
Tab. 8.1 Ochlazovací rychlost procesní kapaliny na přístroji IVF SmartQuench

Měřicí přístroj:				IVF SmartQuench							
Příslušenství:				Sonda Inconel typ K 600 (Ø 12,5 x 400 mm)							
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Teplota sondy T_s [°C]	Teplota procesní kapaliny [°C]							Maximální ochlazovací rychlost OR [°C/s]
				T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	
				Čas [s]							
				t_0	t_{10}	t_{20}	t_{30}	t_{40}	t_{50}	t_{60}	
1	PARAMO SK 220	5	850	20,00	118,22	69,63	49,22	39,18	34,06	32,60	216,20
2	PARAMO EOPS	5	850	20,00	425,00	102,60	64,88	47,62	38,79	33,95	130,87
3	PARAMO ERO- SB	5	850	20,00	490,34	107,12	66,11	48,03	39,11	34,49	136,93
4	PARAMO ERO-AW	5	850	20,00	188,87	86,71	56,77	42,59	35,11	31,23	179,61
5	MOGUL N 100	—	850	20,00	654,27	373,59	297,26	241,34	199,65	169,27	67,79
6	PARAMO CUT 22	—	850	20,00	634,22	319,20	231,93	197,59	169,82	148,20	63,53
7	PARAMO CUT 25	—	850	20,00	632,91	240,73	183,42	156,59	138,60	124,19	87,77
8	PARAMO EPK-1	—	850	20,00	672,67	590,79	552,60	519,52	491,96	469,13	20,83



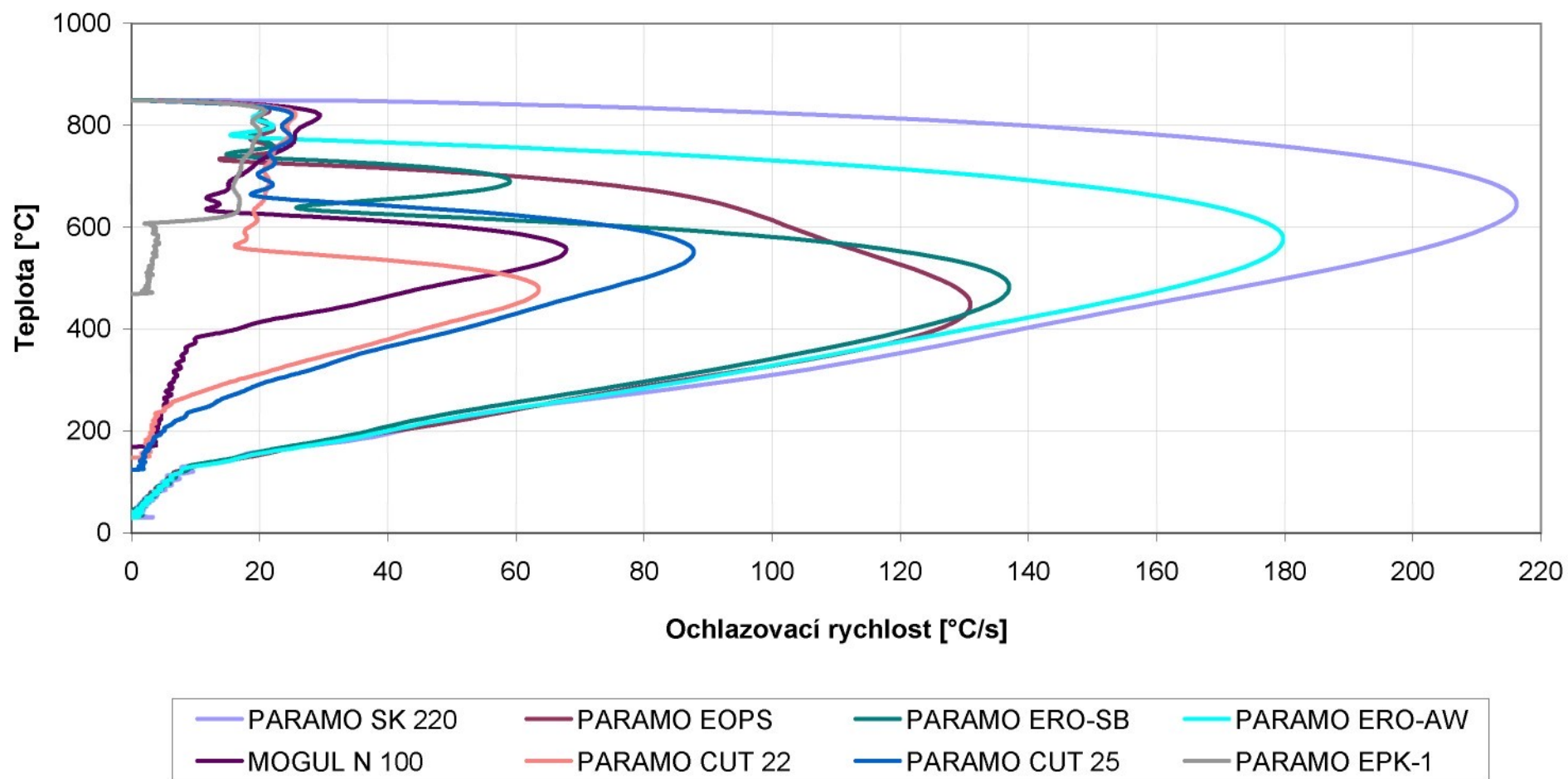
Graf 8.1 Maximální ochlazovací rychlost procesní kapaliny na přístroji IVF SmartQuench

Ochlazovací křivky



Graf 8.2 Průběh teploty procesních kapalin na přístroji IVF SmartQuench

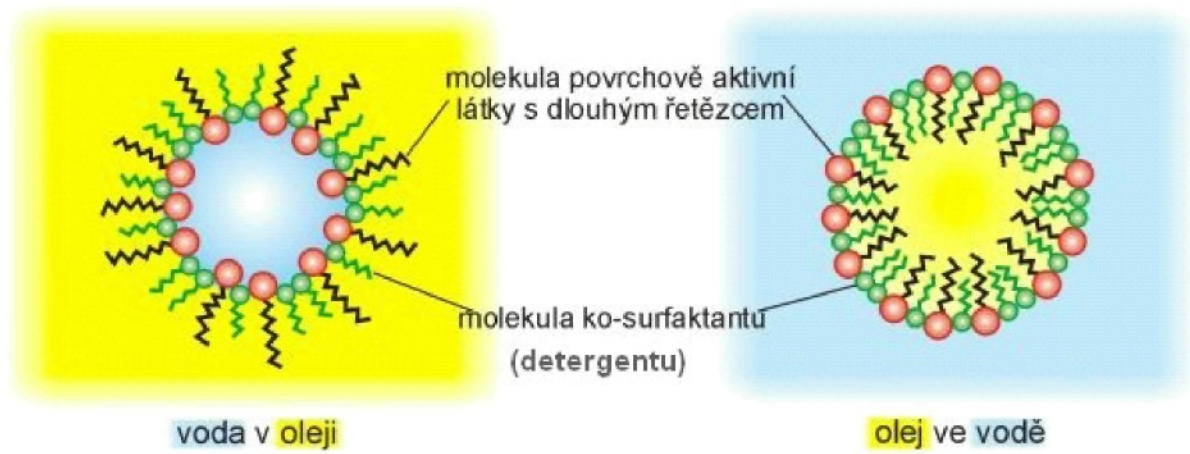
Ochlazovací křivky

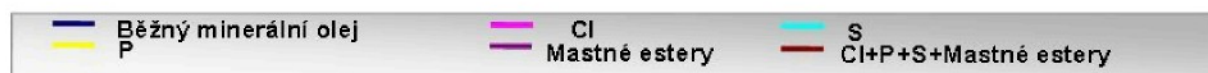
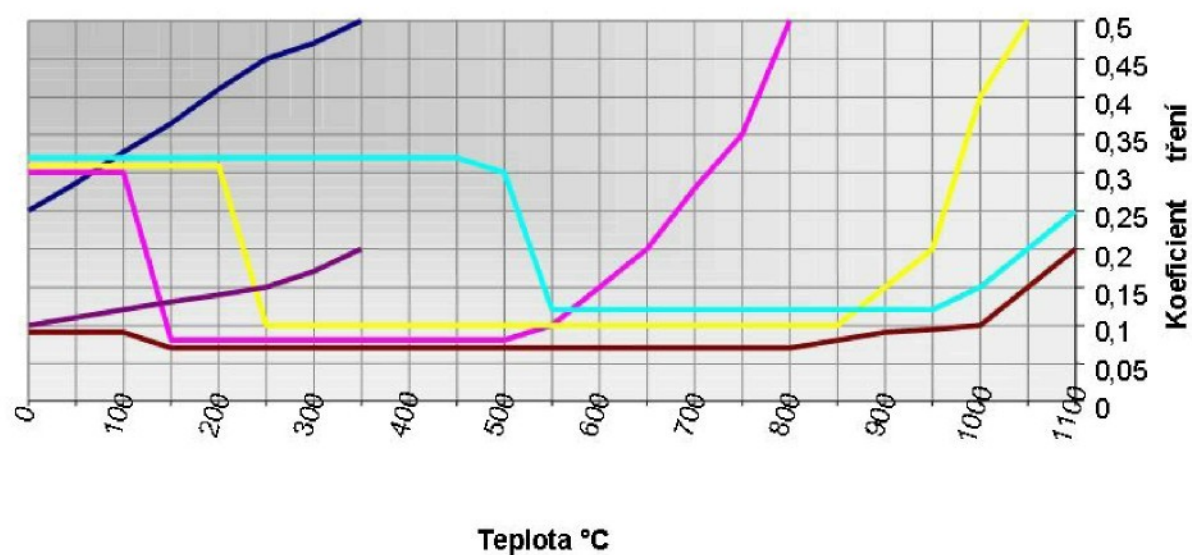


Graf 8.3 Maximální ochlazovací rychlost procesních kapalin na přístroji IVF SmartQuench

Měřicí přístroj:		IVF SmartQuench										
Příslušenství:		Sonda Inconel typ K 600 (Ø 12,5 x 400 mm)										
Číslo vzorku	Procesní kapalina	Koncentrace x [%]	Teplota sondy T_s [°C]	Teplota procesní kapaliny [°C]								Maximální ochlazovací rychlost OR [°C/s]
				T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6		
				Čas [s]								
				t_0	t_{10}	t_{20}	t_{30}	t_{40}	t_{50}	t_{60}		
1	PARAMO SK 220	5	850	20,00	118,22	69,63	49,22	39,18	34,06	32,60	216,20	







Procesní kapaliny

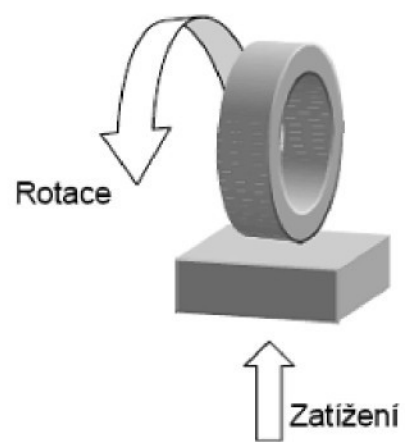


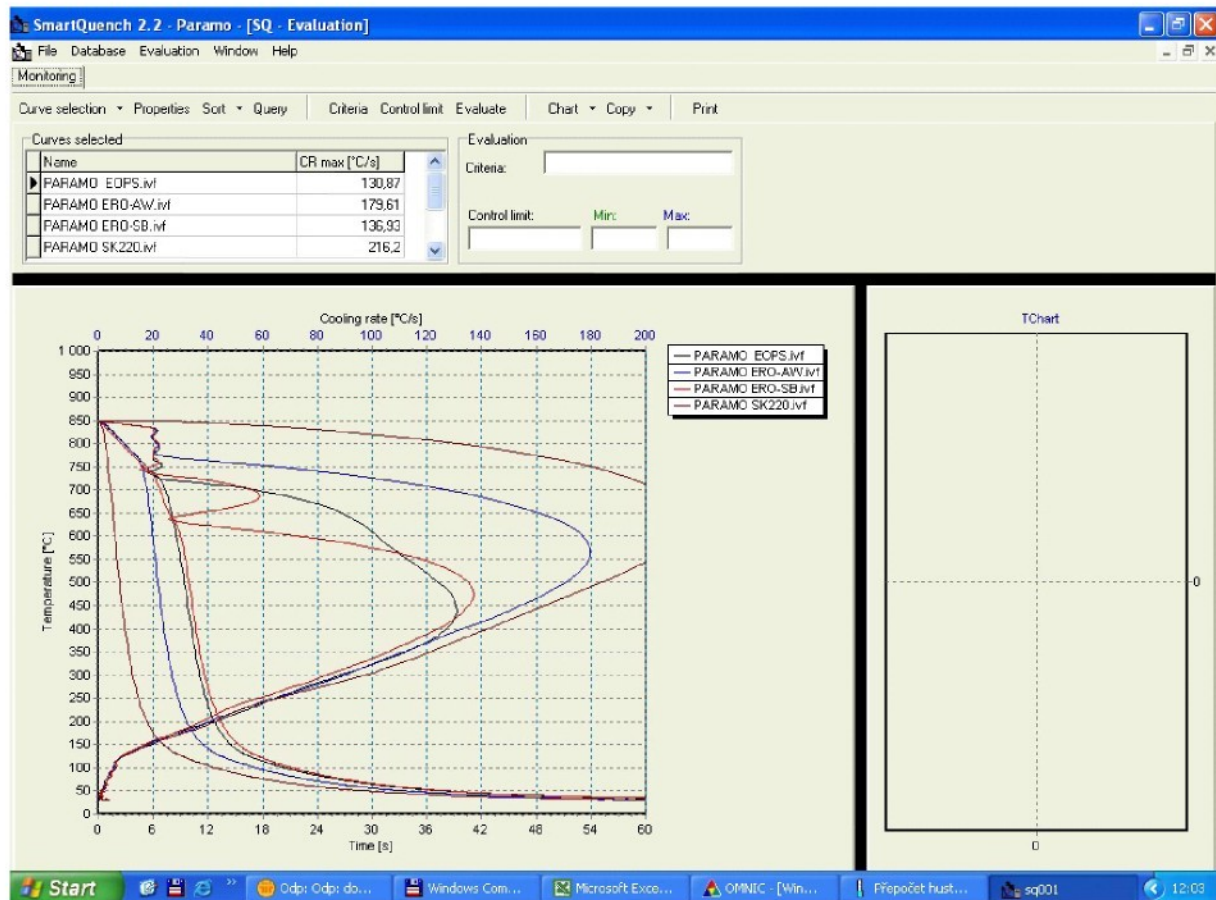
broušení	- bezhroté - na plocho - na kulato
řezání pilou	- rámovou - pásovou
soustružení	
hoblování a obrážení	
frézování	
vtáčení	
vyvrtávání	
vystružování	
obrážení ozubení	
frézování ozubení	
tvarové broušení	
hluboké vtáčení	
řezání závitů	- vnějších - vnitřních
protahování	- vnější - vnitřní

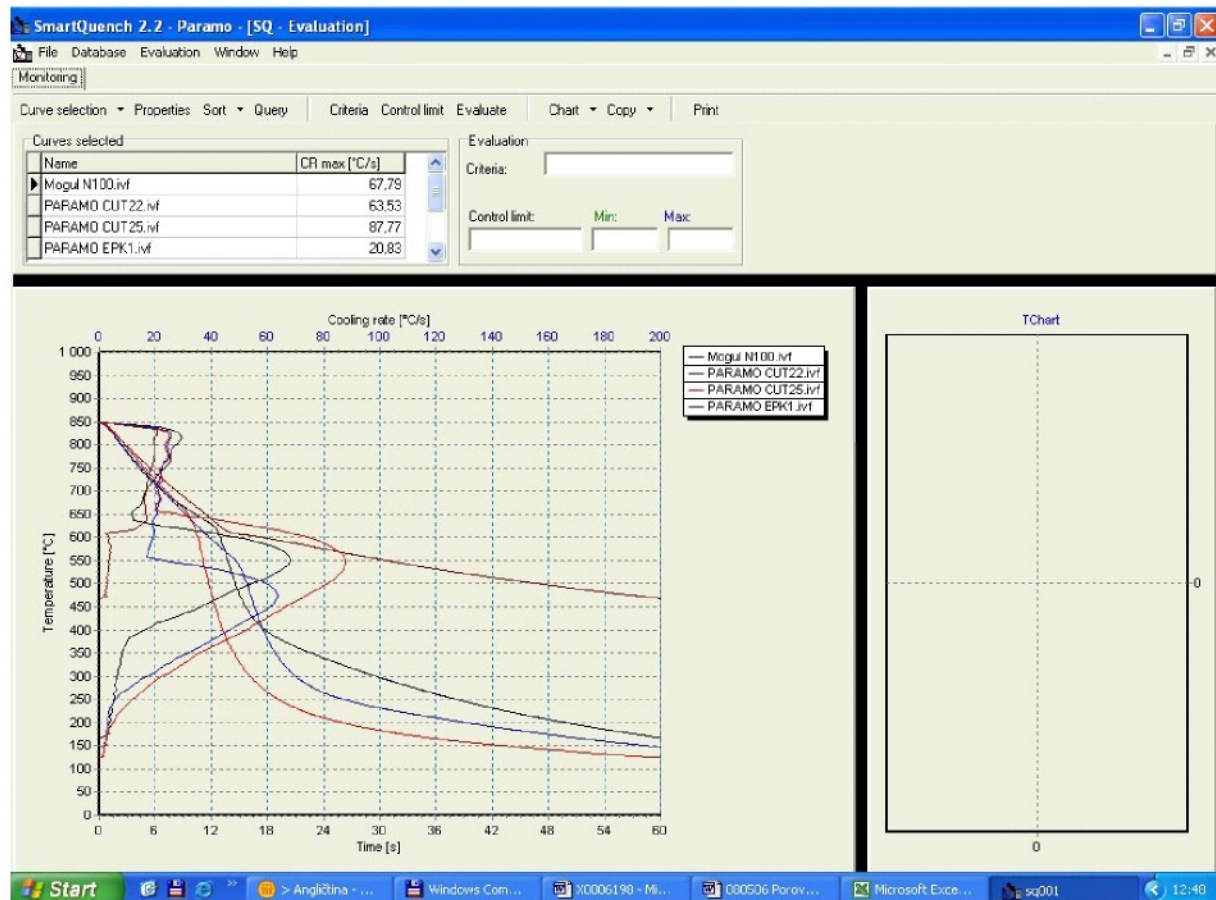


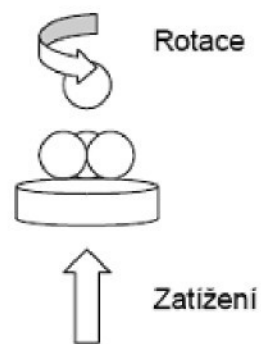








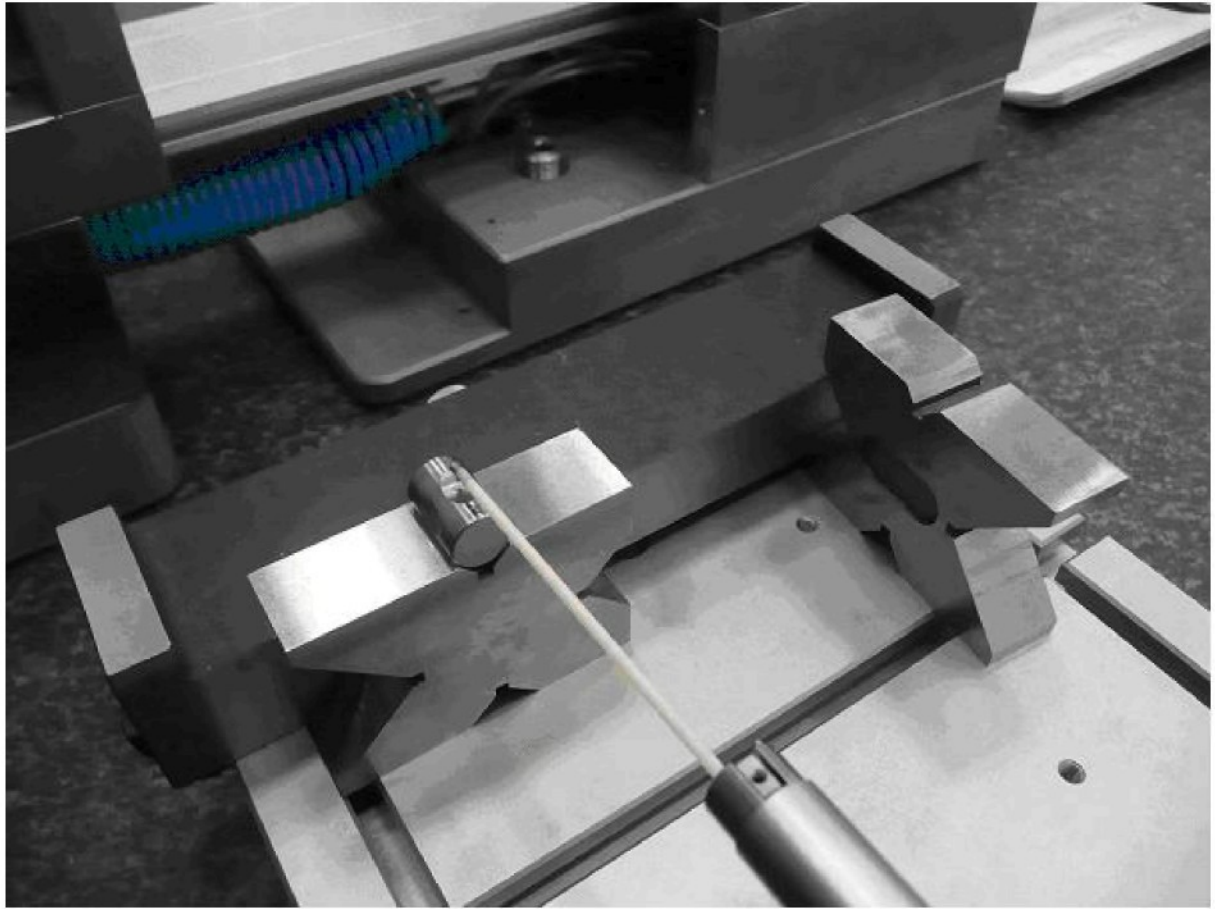








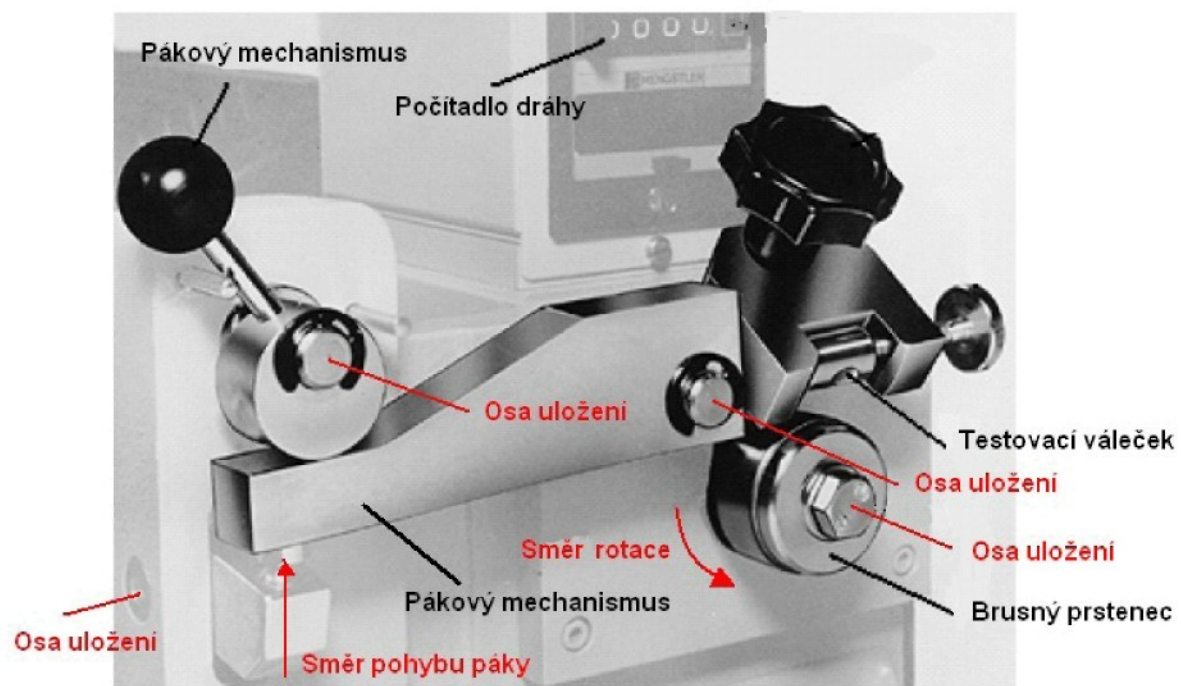




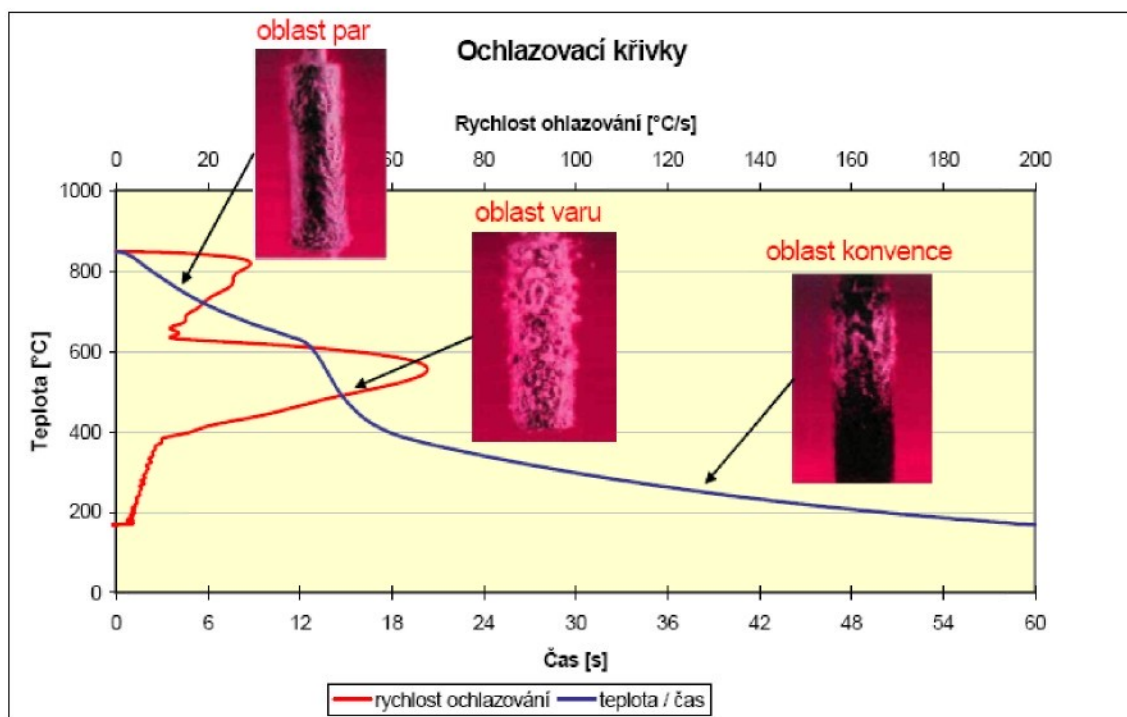
















Tab. 1 Obecné rozdělení typů procesního prostředí

Rozdělení procesního prostředí		
Skupina	Podskupina 1	Podskupina 2
Plynné	• Vzduch • Interní plyn • Mlha	
Kapalné	• Vodou mísitelné	• Minerální • Polosyntetické • Syntetické • Speciální
	• Vodou nemísitelné („Řezné oleje“)	• Rostlinné • Minerální • Syntetické • Koncentráty vysokotlakých přísad
Tuhá maziva		

Tab. 2 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO SK 220

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	1 088
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	3,5
Stálost emulze 48 h 5 % obj. ve vodě tvrdosti 3,58 mmol/l	hod.	vyhovuje
PH roztoku 5 % obj. v destilované vodě při 20 °C, inf.	stupeň	9,4
Bod tekutosti ve °C	°C	-21
Faktor pro ruční refraktometr	-	2

Tab. 3 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO EOPS

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	981
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	40
Stálost emulze 48 h 5 % obj. v DIN vodě	hod.	vyhovuje
PH roztoku 5 % obj. v destilované vodě při 20 °C, inf.	stupeň	9,1
Bod tekutosti ve °C	°C	-18
Faktor pro ruční refraktometr	-	1

Tab. 4 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO ERO-SB

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	916
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	48
Stálost emulze 48 h 5 % obj. v DIN vodě	hod.	vyhovuje
PH roztoku 5 % obj. v destilované vodě při 20 °C, inf.	stupeň	9,4
Bod tekutosti ve °C	°C	-18
Faktor pro ruční refraktometr	-	1

Tab. 5 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO ERO-AW

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	984
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	74
Stálost emulze 48 h 5 % obj. v DIN vodě	hod.	vyhovuje
PH roztoku 5 % obj. v destilované vodě při 20 °C, inf.	stupeň	9,1
Bod tekutosti ve °C	°C	-15
Faktor pro ruční refraktometr	-	0,976

Tab. 6 Charakteristické parametry základového oleje MOGUL N 100

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	861
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	22
Bod vzplanutí ve °C	°C	204
Bod tekutosti ve °C	°C	-12
Obsah popela	%	-

Tab. 7 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO CUT 22

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	880
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	22
Bod vzplanutí ve °C	°C	201
Bod tekutosti ve °C	°C	-27
Obsah popela	%	1,6

Tab. 8 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO CUT 25

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	892
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	25
Bod vzplanutí ve °C	°C	195
Bod tekutosti ve °C	°C	-42
Obsah popela	%	1,5

Tab. 9 Charakteristické parametry procesní kapaliny PARAMO EPK-1

Parametr	Jednotka	Hodnota
Hustota při 15 °C	kg/m ³	1 028
Kinematická viskozita při 40 °C	mm ² /s	41
Bod vzplanutí ve °C	°C	140
Bod tekutosti ve °C	°C	-39
Obsah popela	%	1,2

Tab. 10 Označení materiálu třecí dvojice testovacího válečků a brusného prstence [20]

Značka oceli dle ČSN	Značka oceli dle EN nebo EN ISO	Obsah prvků [%]								
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Ni+Cu	P	S
14 109	100Cr6	0,9 - 1,1	0,3 - 0,5	0,15 - 0,35	1,3 - 1,65	Max. 0,3	Max. 0,25	Max. 0,5	Max. 0,027	Max. 0,03

Tab. 11 Měřené parametry při experimentech

Měřené parametry	symboly	jednotky
Teplota	T	[°C]
Úbytek hmotnosti	m_U	[mg]
Plocha otěrové stopy	A	[mm ²]
Únosnost mazacího filmu	$\dot{UMF}$	[kp/cm ²]
Střední aritmetická hodnota drsnosti	Ra	[μm]
Největší hloubka drsnosti	Rt	[μm]
Maximální výška profilu	$Rz\ DIN$	[μm]
Čas experimentu	t	[s]
Ochlazovací rychlost	OR	[°C/s]