

Vysoká škola strojní a textilní Liberec
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor 23 - 07 - 8 - strojírenská technologie
zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž

TECHNOLOGIE VRTÁNÍ
HLUBOKÝCH DĚR

KOM - OM - ⁶⁴⁵ XXXX

Kamil Wick

Vedoucí práce: Doc.Ing.Vojtěch Dráb, CSc /VŠST Liberec/

Konzultant: Ing.Vladimír Janoušek /Plastimat Liberec/

Počet stran 78
Počet příloh
a tabulek 4 a 6 tab.
Počet obrázků 33
Počet výkresů 17
Počet modelů
nebo jiných příloh 0

Datum: 20. 5. 1989

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1988/89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro W i c k K a m í l

obor 23 - 07 - 8 strojírenská technologie

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

Název tématu: Technologie vrtání hlubokých děr

Zásady pro vypracování:

1. Zhodnocení významu zadání.
2. Literární rešerše a rozbor současného stavu
3. Návrh technologie a výrobního zařízení
4. Ekonomické zhodnocení

V 286/89 S

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

Vrtání děr hlubokých -
- analýza existencí
- kapitola 1.2.1

KAM/AM

**Mistopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.**

V Liberci, dne 20. 5. 1989

Hamid Wick
vlastnoruční podpis

Obsah

	strana
1 Úvod	8
2 Rozbor současného stavu	10
3 Technologie vrtání hlubokých děr	12
3.1 Faktory ovlivňující kvalitu díry	12
3.2 Faktory ovlivňující zvýšení produktivity práce	20
3.3 Faktory ovlivňující zvýšení spolehlivosti vrtání	22
3.4 Metody vrtání	23
3.4.1 Vrtání šroubovitým vrtákem	24
3.4.2 Vrtání dělovým vrtákem	25
3.4.3 Vrtání metodou BTA	26
3.4.4 Vrtání ejektorovým vrtákem	28
3.4.5 Vrtání korunkovým vrtákem	29
3.4.6 Vrtání expanzním vrtákem	30
3.5 Stroje pro hluboké vrtání	31
3.5.1 Druhy strojů	33
3.5.2 Požadavky na stroje	36
3.6 Nástroje na hluboké vrtání	36
3.6.1 Požadavky na nástroje	38
3.7 Chlazení a mazání nástroje	38
3.7.1 Úloha řezné kapaliny	39
3.7.2 Rozvod řezné kapaliny	39
3.7.3 Používané druhy řezné kapaliny	41
4 Návrh technologie a výrobního zařízení	43
4.1 Návrh hlubokovrtacího stroje	43

	strana
4.1.1 Technická data vyvrtávačky WH 63	44
4.1.2 Návrh hodnot otáček a posuvů	45
4.1.3 Popis hlavních částí přípravku	47
4.1.4 Filtrační zařízení	49
4.2 Návrh nástroje na hluboké vrtání	50
4.2.1 Rozklad a výpočet sil na nástroji	52
4.2.2 Pevnostní výpočet nástroje	57
4.2.3 Praktické ověření tohoto nástroje	59
4.2.3.1 Měření přímosti díry	60
4.2.3.2 Měření drsnosti povrchu	61
4.2.3.3 Zhodnocení zkoušky	65
4.3 Volba řezné kapaliny	68
5 Ekonomické zhodnocení	70
6 Závěr	74
7 Seznam použité literatury	76
8 Seznam příloh	78

Seznam použitých zkratek a symbolů

symbol	význam	jednotky
b_1, b_2	šířka třísky	mm
D	průměr otvoru	mm
E	modul pružnosti v tahu	MPa
F_x	osová síla	N
F_{xn}	skutečná osová síla	N
F_y	radiální síla	N
F_z	tangenciální síla	N
h_1, h_2	hloubka třísky	mm
IT	třída přesnosti	--
J_{min}	kvadratický moment průřezu	mm ⁴
j_{min}	poloměr setrvačnosti	mm
K, C_{Fz}	materiálové konstanty	--
k	bezpečnost	--
K_{ef}	koeficient efektivnosti	--
L	délka otvoru	mm
M_{kn}	krouticí moment	Nm
N_1, N_2	normální síly	N
n	otáčky	ot/min.
P	výkon	W
p	tlak oleje	MPa
Q	průtočné množství	dm ³ /min.
S	průřez	mm ²
s	posuv	mm/ot.
T	teplota	K
T_1, T_2	třecí síly	N

symbol	význam	jednotky
T_t	doba úhrady	let
t_s	strojní čas	min.
v	řezná rychlost	m/s
W_k	průřezový modul v krutu	mm ³
X, X_{Fz}	exponenty	--
Y, Y_{Fz}	exponenty	--
α_{01}, α_{02}	úhel hřbetu	°
γ_{01}, γ_{02}	úhel čela	°
H_{r1}, H_{r2}	úhel nastavení	°
δ	doporučená vůle	μm
λ	štíhlost	--
λ_m	mezní štíhlost	--
μ	koeficient tření	--
ν	kinematická viskozita	m ² /s
π	Ludolfovo číslo	--
σ_{Dt}	dovolené napětí v tahu	MPa
τ_k	skutečné napětí v krutu	MPa
τ_{Dk}	dovolené napětí v krutu	MPa
φ	úhel polohy vodiček	°
ω	úhlová rychlost	rad./s

1 Úvod

XVII. sjezd KSČ vytkl jako jeden ze základních cílů naší politiky udržení a zkvalitnění dosažené životní úrovně obyvatelstva a jeho sociální jistoty, a to v souladu s výsledky, kterých bude dosaženo v rozvoji národního hospodářství. Splnění tohoto cíle vyžaduje důsledné prosazení výrazného růstu intenzifikace ekonomiky, zvýšení efektivity a kvality veškeré práce, využívání výsledků vědeckotechnického rozvoje, prohlubování účasti ČSSR na mezinárodní socialistické dělbě práce a zdokonalování soustavy plánovitého řízení.

Odvětví výroby a zpracování plastických hmot patří v našem národním hospodářství mezi nejmladší a nejbouřlivěji se rozvíjející. Důsledné a racionální nasazení plastů jako náhrada klasických materiálů v sériové výrobě přináší celospolečenské efekty jako jsou snížení výrobních nákladů, snížení spotřeby energií, relativní úsporu pracovních sil.

Předkládaná diplomová práce řeší racionalizaci technologie vrtání hlubokých děr do vstříkovacích forem na plasty ve státním podniku Plastimat Liberec. Pro splnění náročných úkolů státního plánu zajišťuje tento podnik komplexní technickou přípravu výroby včetně výroby forem ve vlastních provozech. V nástrojárnách podniku se ročně vyrábí přibližně 350 ks forem o pracovních rozměrech od 250 do 6 000 mm a hmotnosti od 30 kg do 8 tun.

Tyto formy mají řadu chladících otvorů, jejichž délka se pohybuje v rozmezí od 600 do 1200 mm. Stávající způsob

vrtání těchto děr pomocí prodloužených šroubovitých vrtáků přináší řadu nevýhod a problémů, a proto tento způsob bude nahrazen novým a progresivnějším vrtáním hlubokých děr pomocí dělového vrtáku a systému BTA.

2 Rozber současného stavu

Pro dokonalou funkci formy je třeba, aby bylo zajištěno dokonalé chlazení formy. Je to nutné z hlediska produkce - rychlosti ochlazování vylisku a v neposlední řadě i z důvodů technologických. Dá se říci, že dokonalé chlazení má vliv na kvalitu vylisku. Za tímto účelem je v tělese vstříkovací formy vrtáno množství otvorů /kanálů/ pro rozvod chladicího média. Převážná většina z nich spadá do oblasti tzv. hlubokých otvorů, tzn., že délka otvoru je mnohonásobkem průměru $L/D > 10/1$.

Takovéto otvory se v jejich nástrojárně vrtají klasickým způsobem na vrtačkách VR4 nebo na horizontálních vyvrtávačkách H100A. Jako řezných nástrojů se používá prodloužených vrtáků ČSN 22 11 25 /šroubovitých/ event. zvlášť dlouhé vrtáky ze Zbrojovky Vsetín podle jejich PN 22 11 30 nebo PN 22 11 50. Průměry otvorů se pohybují od 6 do 16 mm a délky až 1000 mm, někdy i více. Vrtání takových hlubokých otvorů je pak třeba řešit vrtáním otvoru ze dvou stran. S těmito vrtáky je obtížné dosáhnout přímosti otvoru, a tak již konstruktér je nucen s touto okolností počítat a umisťovat otvory v dostatečných vzdálenostech od povrchu i dalších otvorů, aby při výrobě nevznikl zmetek. Nepřesný otvor je způsoben mnoha faktory, které jeho kvalitu ovlivňují, jako např. přesnost nastření, přesnost navrtání a počátečního navedení nástroje, homogenita vrtaného materiálu, tuhost nástroje, kvalita odvodu třísek, technický stav stroje atd.

V poslední době se v konstrukcích forem rozšířilo používání systémů teplých rozvodů taveniny - tzv. "topných křížů", v nichž je rozvod hmoty proveden také dlouhými otvory. U těchto otvorů se klade velký požadavek na přesnost a kvalitu vrtaného otvoru a to z důvodu rovnoměrného rozvodu taveniny k jednotlivým výstřikům a aby tavenina neulpívala na stěnách kanálů. Ulpívající materiál na stěnách kanálů má tendenci se přepalovat a po jeho odloupení od stěny se dostává do výlisku, který znehodnotí. Nekvalitní povrch kanálů znesnadňuje rovněž "přejíždění" na jiný materiál.

3 Technologie vrtání hlubokých děr

Vrtání hlubokých děr je pokroková technologická metoda, která se stále více uplatňuje i v oblasti výroby kratších děr. Vrtací nástroj, který má obvykle kromě ostří /řezných plátek/ ještě vodící plátky, které podpírají nástroj v díře, je aktivním činitelem výsledného vrtacího procesu.

Stoupající požadavky na kvalitu a produktivitu výroby, které jsou heslem současné epochy, pronikají do všech oblastí strojírenské výroby, a tedy i do metod hlubokého vrtání a konstrukce hlubokovrtacích strojů. /11/

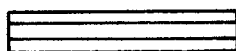
3.1 Faktory ovlivňující kvalitu díry

Pro racionální výrobu děr s vysokými požadavky na kvalitu doznaly metody hlubokého vrtání značného významu. Přesto není možno vždy obvyklými prostředky a u všech obrobků splnit kvalitativní požadavky do důsledku. Platí to zejména pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů, neboť zde vedle přímých výrobních nákladů hrají roli i náklady na nástroje. Obr. 1 ukazuje možnosti hlubokého vrtání při vrtání různých materiálů podle fy SIG a TBT.

K plnému využití všech předností, které hluboké vrtání nabízí, musí být věnována pozornost jevům, které ovlivňují výsledek práce a provozní spolehlivost použité hlubokovrtací metody. To platí především tam, kde se nejedná o výrobu libovolné díry, ale o výrobu s vysokými požadavky na rozmě-

rovou přesnost a kruhovitost. V protikladu k soustružení, frézování apod. se nástroj dotýká povrchu obrobku ještě vodíci lištami, které mají rovněž velký vliv na kvalitu vyrobené hluboké díry a celkové pracovní výsledky.

Barevné kovy	Obrobit. materiálů										
Hliník											
Nástrojové ocele											
Ocelolitina											
Legované ocele											
Stavební ocele											
Náhražkové ocele											
Nitridační ocele	IT	13	12	11	10	9	8	7	6	5	



dosažitelné za normálních podmínek

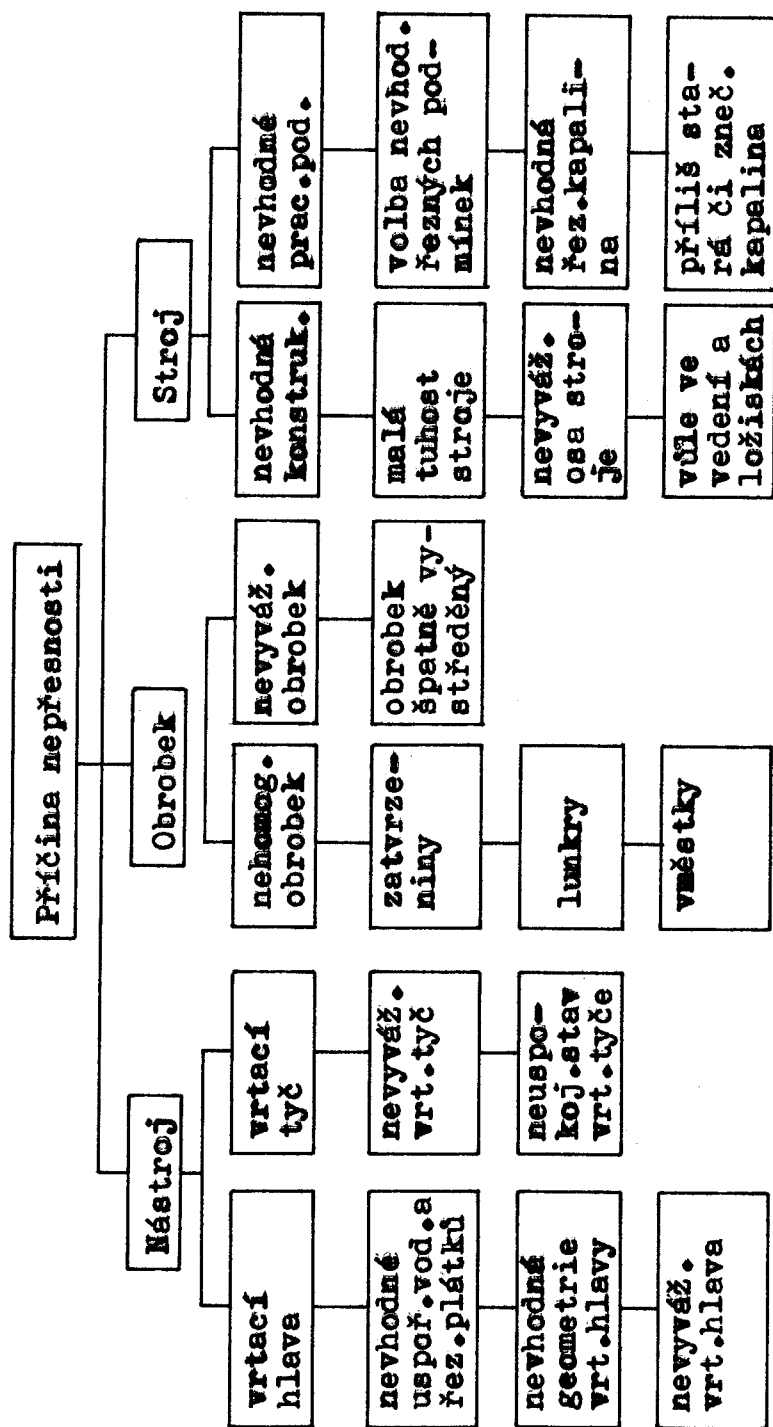


dosažitelné za příznivých podmínek

Obr. č. 1

Dodnes ponejvíce empirickým způsobem uspořádaná vodítka jsou různě namáhána a opotřebována. Kontakt rozdílně opotřebovaných vodítek se stěnou otvoru zhoršuje kvalitu povrchu díry a geometrickou přesnost díry. Na obr. 2 jsou přehledně zobrazeny možné příčiny vzniku nepřesné výroby díry. /11/

Se zhoršenou kvalitou děr úzce souvisí jev, který je též velmi častým průvodním jevem hlubokého vrtání, a který je v německé literatuře označován jako "Dralleffekt". Tento jev má za následek výrobu víceboké díry, kterou je možno již



Obr. č. 2

při vizuální kontrole díry identifikovat podle šroubové stopy podél celé délky díry.

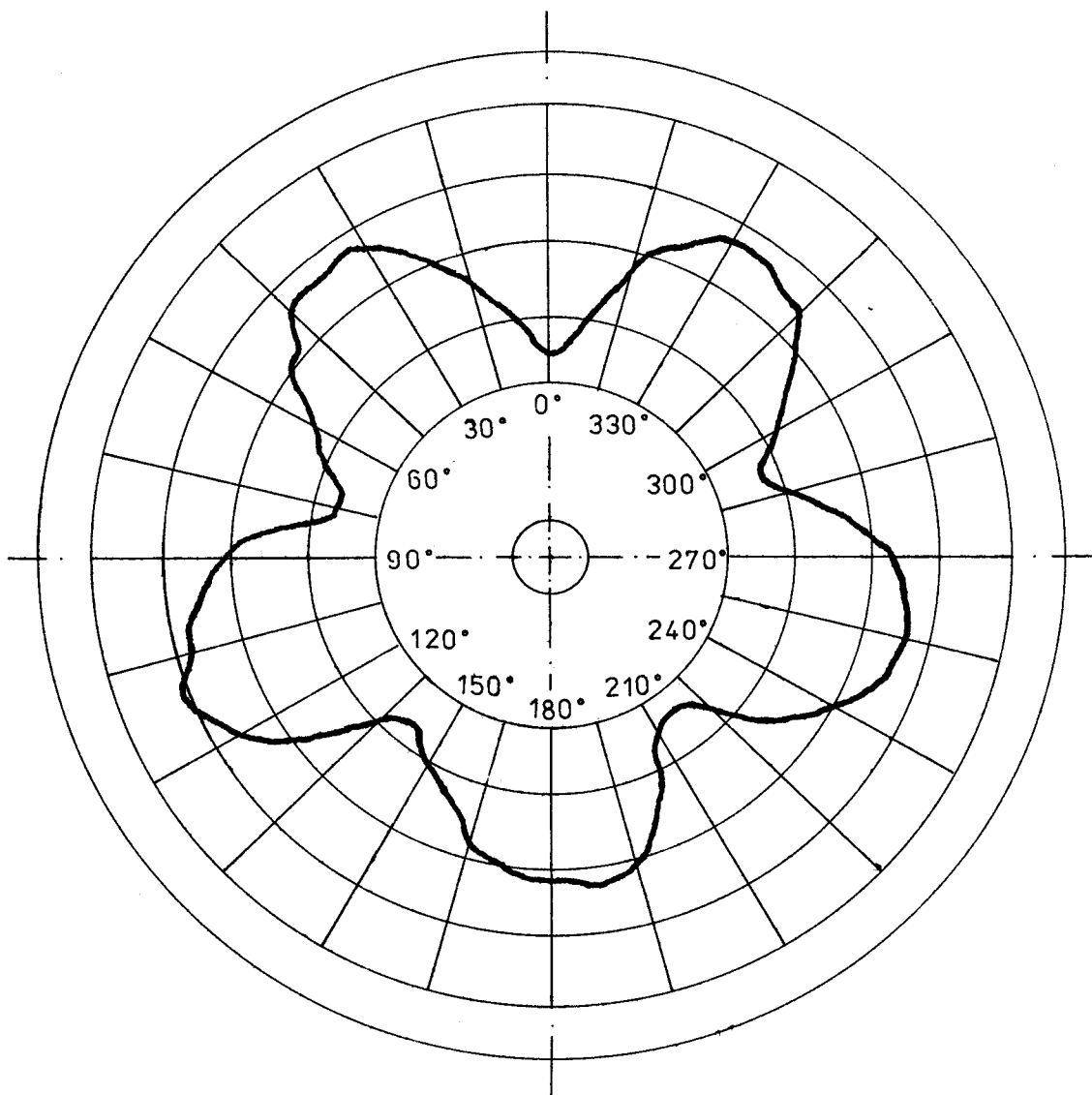
Vznik této šroubové stopy je při vrtání hlubokých děr provázen stoupnutím hladiny hluku. Přitom je možno pozorovat značnou vibraci vrtacího nástroje, který kmitá frekvencí podstatně nižší než při normálním vrtání.

Všeobecně je možno identifikovat tři místa vzniku tohoto nežádoucího jevu.

1. Nekruhový otvor vzniká přímo již ve fázi navrtávání.
2. Nekruhový otvor vzniká v určité fázi vrtání na základě známých veličin vlivu, např. v důsledku nadměrného vyložení vrtacího nástroje. Zde vzniká tento jev na stejném místě i u jiného obrobku. Teprve po odstranění příčiny odpadne i nekruhový otvor.
3. Nekruhový otvor vzniká náhodně na základě vystupujícího faktoru, jako např. nehomogenity materiálu obrobku. Zde se jedná o úkazy, které vznikají jednou za konkrétní situace a nejsou reprodukovatelné.

Zamezit vzniku nekruhových děr je možno řadou ovlivňujících faktorů, které úzce souvisí se strojem, nástrojem, obrobky.

Obr. 3 ukazuje nekruhovou díru, která byla zhotovena konvenčním nástrojem BTA s polohou vodiček $\varphi_1 = 85^\circ$, $\varphi_2 = 182^\circ$ a jehož tvar plně potvrzuje Kronenebergovu teorii vzniku nekruhových děr. Tento tvar pak pokračuje šroubovitě podél díry a zvětšený snímek povrchu díry by

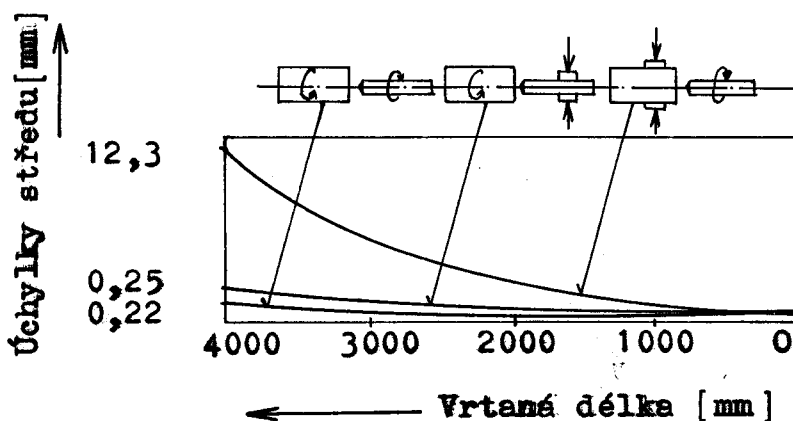


Zvětšeno 1 000 x
1 dílek odpovídá 12,5 μm

Obr. č. 3

ukazoval oblast šupinatého povrchu a oblast relativně hladkého povrchu, což je dobře patrné i při vizuální kontrole.

Důležitým kritériem pro posouzení pracovních výsledků je velikost úchytky díry od teoretické osy. Tato úchytka se do značné míry řídí použitou metodou a způsobem vrtání, tzn. zda se točí obrobek nebo nástroj, nebo oba proti sobě.

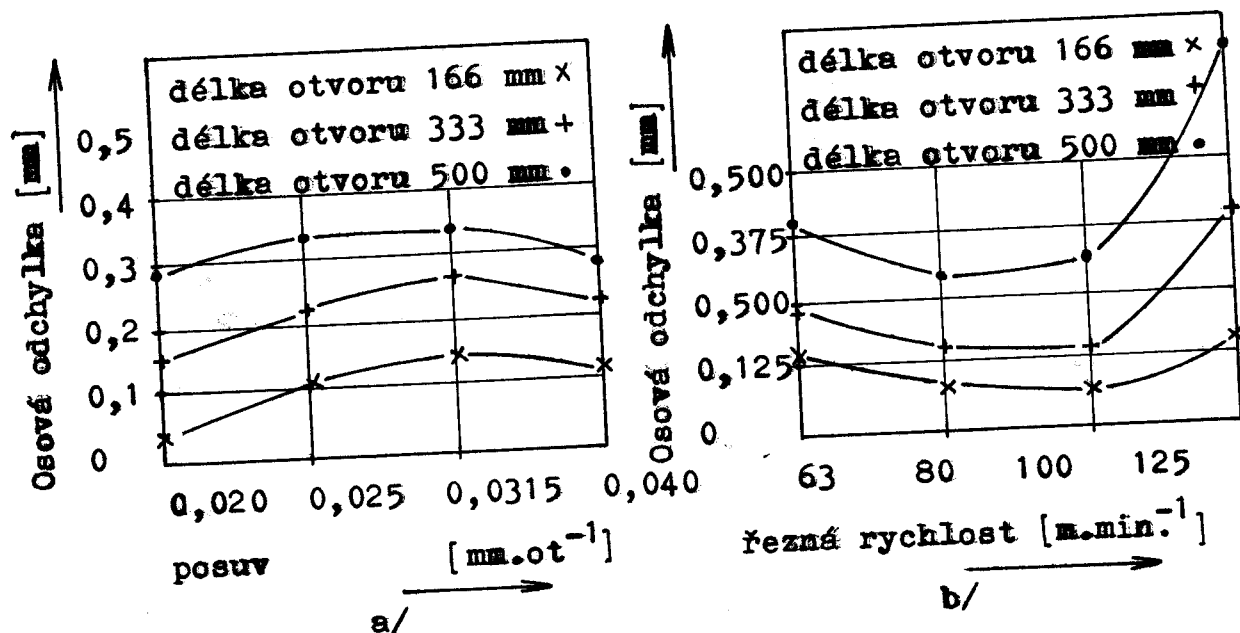


Obr. č. 4

Výsledky zkoušek znázorněné na obr. 4 pro poměr vrtání $L : D = 100 : 1$ ukazují jednoznačně přednosti rotujícího obrobku, pokud jde o přesnost výroby. U stojícího obrobku je možno vidět parabolický nárůst odchylky s přibývajícím délkou díry. /11/

Velký vliv na rozměrovou přesnost a osovou odchylku díry má uspořádání vodítek hlubokovrtacího nástroje. Jak již bylo uvedeno v dřívějších publikacích, hraje zde roli zejména zatížení vodítek a tzv. stupeň stability nástroje. Tato problematika byla rozebrána ve sborníku ze IV. Konference o vrtání hlubokých děr.

Na přesnost výroby děr má rovněž značný vliv geometrie řezné části nástroje, použité řezné podmínky a především u dělového vrtáku i tlak řezné kapaliny.

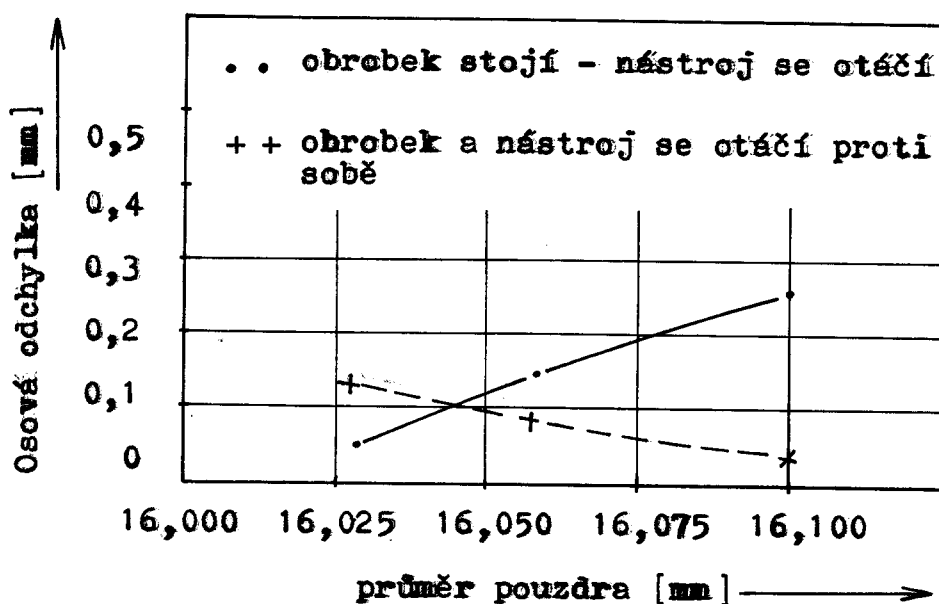


Obr. č. 5

Na obr. 5 jsou znázorněny výsledky zkoušek vrtání $\phi D = 8 \text{ mm}$. Z obrázku vyplývá, že vliv posuvu na zabíhání otvoru není jednoznačný a bude zřejmě záviset na stupni stability nástroje, přičemž existuje rozsah hodnot posuvů, pro které bude úchylka od osy největší /obr. 5 a/.
Obr. č. 5 b ukazuje, že řezná rychlost má na zabíhání nástroje značný vliv. Pro každý nástroj existuje určitá oblast řezných rychlostí, ve které je odchylka od osy díry minimální. Tuto oblast je nutno pro konkrétní případ vrtání identifikovat a v průběhu dalšího vrtání dodržovat.

Jak bylo již uvedeno, má na velikost odchylky osy díry

do značné míry vliv vůle mezi nástrojem a navrtávacím pouzdrem, které také ovlivňuje rozměrovou přesnost díry. Jak vyplývá z obr. 6, byl tento předpoklad plně potvrzen pouze při zkouškách a rotujícím nástrojem a pevným obrobkem.



Obr. č. 6

Při rotujícím nástroji a protiběžně se otáčejícím obrobku však byly naměřeny hodnoty opačné. Protože při zkouškách nebylo možno docílit takového počtu opakovaných měření, aby mohly dát jednoznačné závěry, je nutno brát předložené závislosti jako informativní a dalšími zkouškami je dále ověřovat a zpřesňovat.

Podle norem je doporučená vůle mezi vrtákem a pouzdrem $\delta = 10$ až $30 \mu\text{m}$. Velká vůle má kromě nepřesného rozměru díry za následek i silné opotřebení při navrtávání. Z tohoto důvodu by tato vůle neměla překročit hodnotu $20 \mu\text{m}$.

Tabulka na obr. č. 7 udává doporučené hodnoty vůle mezi vrtací hlavou a vrtacím pouzdrem.

vrtaný ϕ D [mm]	max. vůle pro H8 [μ m]	max. vůle pro H9 [μ m]	minimální vůle [μ m]
5	12	20	2
5	15	25	3
8	18	30	4
12	20	35	4
16	22	40	5
20	25	45	6
25	25	50	7
30	30	55	8

Obr. č. 7

/11/

3.2 Faktory ovlivňující zvýšení produktivity práce

Jak je známo, nebude plné využití hlubokovrtacího stroje záviset jen na použitých rezných podmínkách, t.j. pouze na produktivitě vlastního rezného procesu. Produktivita práce je značnou měrou ovlivněna úrovní vedlejších časů, které závisí na manipulaci s obrobkem, nástrojem i vlastním hlubokovrtacím strojem.

Upnutí obrobku je závislé na velikosti, a tím i na váze obrobku. Pro menší díly v seriové výrobě jsou již dostatečně známa upínací zařízení pro automatické naložení, upnutí, odepnutí, skladování obrobku. Se vzrůstajícími rozměry obrobku v této oblasti se problémy značně rozrůstají.

V dřívější praxi se této problematice nevěnovala dostatečná pozornost, takže nedocházelo v této oblasti ke snižování vedlejších časů. Výrobci velkých hlubokovrtacích strojů v současné době opatřují své stroje doplňkovými zařízeními, jako jsou např. automatické středící přípravky, přídavné vyrovnávací zařízení nebo zvedací prostředky.

Velký zdroj ztrát představují práce spojené s přestavováním hlubokovrtacího stroje na vrtání jiného průměru díry, kdy je potřeba vyměnit zpravidla celý nástrojový systém. K tomu podle použité metody náleží nástroj, vrtací tyč, tlaková komora, upínač vrtací tyče a opěrné prvky tyče. Aby se snížily časy na přeseřizení, existují již systémy, u nichž je měněna celá transportní jednotka, která zahrnuje vrtací tyč s těsnicími elementy, nástroj, opěrná a upínací zařízení.

U velkých vrtacích tyčí a velkých hloubek vrtání je často nutno vrtací tyč nastavovat z jednotlivých dílů, takže poměrně krátké vrtací stroje mohou docílit podstatně delších děr. V takových případech je však spojování a rozpojování vrtacích tyčí spojeno s velkým fyzickým namáháním obsluhy a velkými ztrátovými časy. Aby se tyto nevýhody snížily na minimum, byla vyvinuta zařízení, která provádí spojování a rozpojování tyčí motoricky.

Specifický problém přináší výroba menších obrobků s více otvory rozdílných průměrů. Tento problém byl teprve v posledních letech vyřešen nasazením NC techniky. Příkladem řešení může být universálně nasaditelná hlubokovrtací buňka s automatizovanou výměnou nástrojů, vrtacích pouzder a obrobku firmy Tiefbohrtechnik, vystavována i na MVB v roce 1987.

Cílem vývoje tohoto stroje byla výrobní hlubokovrtací buňka propojitelná s ostatními výrobními jednotkami. Koncepce stroje je stavěna na jednovřetenovém vrtacím stroji, který má bočně na loži bubnový zásobník nástrojů s integrovaným manipulátorem pro automatickou výměnu nástrojů během provozu stroje /celkem 24 nástrojů/. Součástí automatizačních prostředků je také revolverový výměník vrtacích pouzder a zařízení pro výměnu obrobků. Obrobky se upínají na otočný upínací stůl pohyblivý ve svislém a příčném směru. Stroj má řízeny čtyři osy volně programovatelným CNC systémem. Automatizovány jsou nejen všechny vedlejší funkce, ale i různé systémy zabezpečující spolehlivost provozu jako je měření kroutícího momentu, posuvové síly, tlaku a množství chladicí kapaliny a další. Podobné řešení stroje pod označením Tiefbohrzentrum MSS 12 IT, propaguje i fy Gildemeister pro ϕ 2,5 - 25 s jednobřítými vrtáky. /11/

3.3 Faktory ovlivňující zvýšení spolehlivosti vrtání

V souvislosti s používáním velmi drahých hlubokovrtacích nástrojů s vyměnitelnými reznými a vodícími plátky je v poslední době věnována stále větší pozornost vývoji různých kontrolních a měřících zařízení, které mají včas upozornit obsluhu stroje na rušivé jevy ve vrtacím procesu, a tím předejít zničení těchto nástrojů. Tato zařízení pracují většinou na principu měření tlaku rezné kapaliny, velikosti kroutícího momentu nebo posuvové síly. Význam těchto různých snímačů tlaků, sil a momentů, případně teplot v poslední době nabývá rovněž na významu v souvislosti se zaváděním

různých systémů adaptivního řízení i u hlubokovrtacích strojů.

Příkladem zařízení umožňující průběžnou kontrolu posuvové síly v procesu vrtání jsou různá provedení pojistných zařízení proti přetížení nástroje při vrtání, vyvinutá na Katedře obrábění a řízení výroby VŠSE v Plzni a realizovaná na různých vrtacích strojích v několika závodech ČSSR.

Zařízení se skládá z vlastního tenzometrického snímače a elektronického přístroje, který zesiluje a upravuje signál získaný z tenzometrů snímače. Na elektronickém přístroji je možno nastavit velikost vrtací síly, při jejímž dosažení je vypnut posuv stroje a nástroj je tak chráněn před zničením.

Podobné zařízení upravené pro komunikaci s řídicím systémem Siemens je v současné době zkoušeno pro adaptivní řízení rychlosti posuvu vřetena bezobslužného pracoviště Škoda W180 NC BOP. /11/

3.4 Metody vrtání

Způsoby vrtání hlubokých děr lze rozdělit do 3 oblastí:

1. Vrtání hlubokých děr nástroji, u kterých je řezná kapalina přiváděna vnitřkem vrtacího nástroje a odchází spolu s třískami vnějškem nástroje. Příklad: vrtání šroubovitým vrtákem, vrtání dělovým vrtákem, vrtání korunkovým vrtákem.

2. Vrtání hlubokých děr nástroji, u kterých je řezná kapalina přiváděna vnějškem vrtacího nástroje a odchází spolu s třískami vnitřkem nástroje. Příklad: vrtání systémem BTA.

3. Vrtání hlubokých děr nástroji s kombinovaným přívodem a odvodem řezné kapaliny. Příklad: vrtání ejektorovým vrtákem, vrtání expanzním vrtákem. /9/

3.4.1 Vrtání šroubovitým vrtákem

Vzhledem k nedostupnosti jiných přesných nástrojů je dnes nejrozšířenější vrtání šroubovitým vrtákem z rychlořezné oceli. Jeho použití při vrtání hlubokých děr naráží na tyto potíže:

1. Třísky nemohou volně odcházet a nahromadí se v drážkách vrtáku.
2. Řezná kapalina vedená k nástroji z venku se nedostane k ostří vrtáku.
3. Nebezpečí špatného nastření, a tím i odchylka od přímosti vrtané díry.
4. Nepříznivé řezné poměry na přechodovém ostří.
5. Zvětšuje se kroutící moment, který musí vrták přenášet, protože nahromaděné třísky v drážkách vrtáku tlačí na stěnu díry /poškrabání stěn otvoru/, a tím se zvětšuje odpor, který musí vrták překonat. Tento mnohdy dostoupí takové hodnoty, že se vrták překroučí. Tomuto havarijnímu stavu je možno čelit tím, že se po odvrtání určité hloubky zařadí určitý počet vyprazdňování, který je závislý na průměru vrtáku a hloubce vrtání, což komplikuje konstrukci celého vrtacího zařízení a snižuje jeho technicko-ekonomickou účinnost. /9/

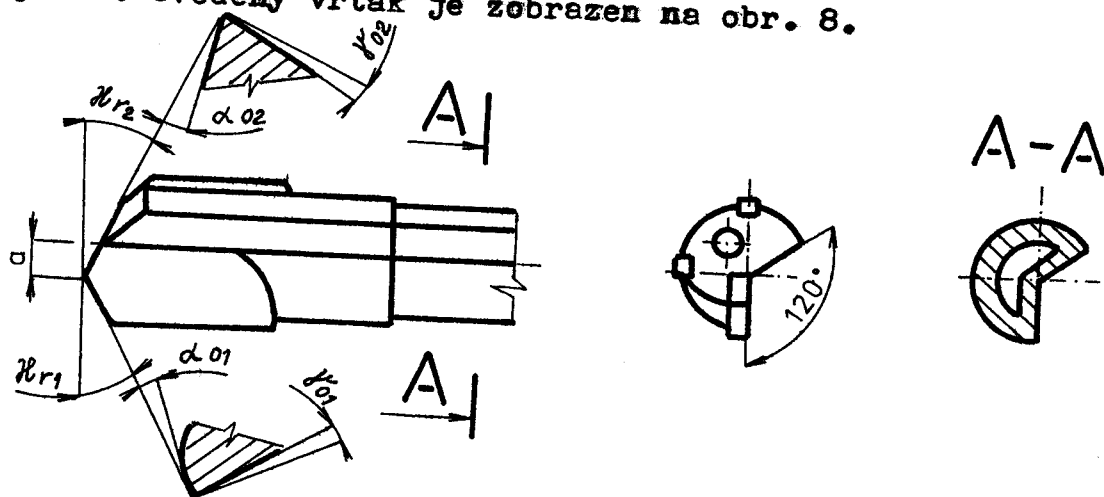
3.4.2 Vrtání dělovým vrtákem

Dělový vrták se používá pro vrtání zvláště přímých a přesných děr průměrů 2 - 30 mm. Vrták má jeden břit přesně v ose nástroje. Od 2 - 30 mm bývá těleso vrtáku monolitní z SK materiálu. Toto těleso je připájeno k trubce, která je tvarována drážkou V a na konci je připájeno upínací pouzdro. Vnitřkem trubky je přiváděn speciální olej pod určitým tlakem. Drážkou V jsou odváděny třísky s olejem do zachycovače třísek a olej je veden přes čistící systém do nádrže.

Nástroj je při vrtání zatěžován soustavou sil, jejichž výslednice má obecný směr a snaží se vychýlit nástroj z osy rotace. Z tohoto důvodu je třeba volit řeznou a vodící část nástroje takovým způsobem, aby byla zajištěna dostatečná trvanlivost vodítek při nejvyšší možné stabilitě vrtacího nástroje v průběhu vrtání.

Hlavní charakteristikou dělových vrtáků tedy je, že jsou samovodící.

U velkých průměrů může být použito destičky SK, která je v nosném materiálu připájena natvrdo nebo mechanicky upnuta. Uvedený vrták je zobrazen na obr. 8.



Obr. 8 Dělový vrták s plátky SK

Úhel γ_{01} a γ_{02} je závislý na velikosti úhlů \mathcal{H}_{r1} , \mathcal{H}_{r2} . Úhel hrbetu se ostří podobně jako u šroubovitých vrtáků nebo plochým podostřením. Nejčastěji se používá $\alpha_{01} = 8^\circ$, $\alpha_{02} = 15^\circ$ při $\mathcal{H}_{r1} = \mathcal{H}_{r2} = 30^\circ$, a = 0,25 D. Použije-li se destičky SK, zmenšuje se úhel na $\mathcal{H}_{r1} = 15^\circ$.

Vrtání pomocí dělových vrtáků nachází v celém světě široké uplatnění pro své úsporné výhody:

- a/ nízká výrobní tolerance
- b/ malá úchylka přímosti
- c/ velká přesnost povrchu
- d/ vysoká produktivita
- e/ vysoká životnost nástroje.

V našem strojírenství se vrtání dělovým vrtákem používá ojediněle, a to především ve zbrojním průmyslu. V zahraničí některé firmy mají technologie včetně potřebných nástrojů na vysoké úrovni /švýcarská firma SIG, západoněmecká firma Heller - Bremen/. /9/

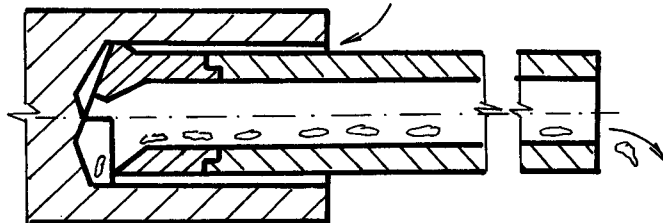
3.4.3 Vrtání metodou BTA

U tohoto způsobu vrtání, označovaného také někdy podle původců Beisnera, Burgsmüllera, Hellera, nebo také jako metoda BTA /Boring and Trepaning Association/, je možné v podstatě pracovat třemi druhy nástrojů, a sice:

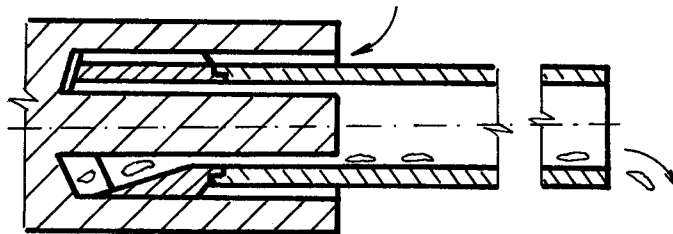
- a/ vrtací hlavou do plna, při úplném vybrání materiálu z vrtaného otvoru, obr. 9 a.
- b/ vrtací hlavou na jádro, tzv. trepanováním, při kterém zůstává v otvoru část neoděbraného materiálu v podobě

tyče, obr. 9 b,

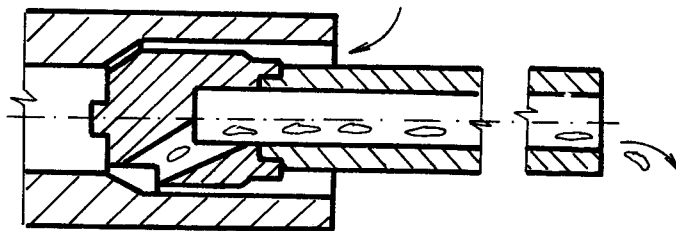
c/ vyvrtávací hlavou, při rozšiřování dříve zhotoveného
otvoru, obr. 9 c.



Obr. 9 a



Obr. 9 b



Obr. 9 c

Přednosti BTA nástrojů:

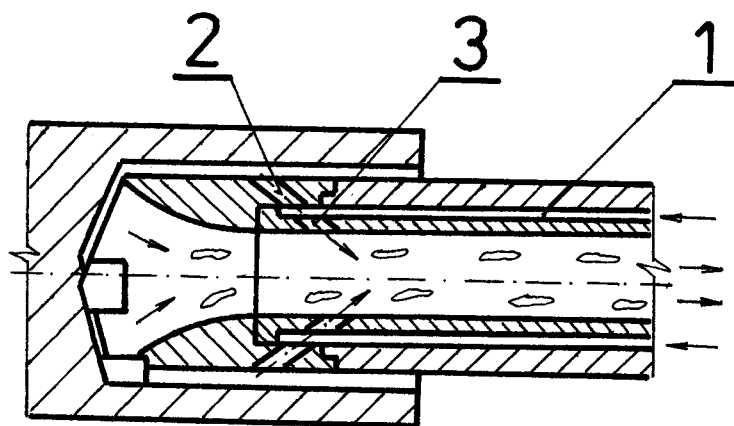
a/ nástroje je možné použít pro všechny druhy kovů a umě-
lých hmot,

- b/ vyznačují se vyšší torzní a vzpěrovou tuhostí, a tím i větším třískovým výkonem,
- c/ průtok chladicí kapaliny je velký, a tím je malé nebezpečí ucpání vrtáku třískami. Povrch vrteného otvoru je čistý,
- d/ použití SK plátek a vhodné řezné geometrie umožňují velké vrtací výkony,
- e/ vodítka působí při vrtání hladícím účinkem, takže ve spolupůčinnosti s chladicí kapalinou, která obklopuje nástroj a tlumí chvění, dosáhneme nejvyšší jakosti obráběné plochy. /9/

3.4.4 Vrtání ejektorovým vrtákem

Tato metoda vrtání je používána v rozsahu průměrů $D = 20 - 60 \text{ mm}$ a jsou pro ní vyráběny standardní nástroje. Vrták může pracovat v horizontální i vertikální ose i jako rotující nebo pevný.

Způsob práce je patrný z obr. 10. Řezná kapalina je přiváděna mezikružím 1. Přibližně $2/3$ řezné kapaliny proudí otvory 2 k řezným a vodícím plátkům, které tím chladí a mažé. Zbývající $1/3$ je vedena kruhovitou dýzou 3 přímo do vnitřní trubky. Toto obtékání se děje podle ejektorového principu, takže v části vnitřní trubky před dýzou vzniká podtlak. Přitom je ta část kapaliny, která mažé a chladí, nasávána do vnitřní trubky a strhuje s sebou třísky, odebrané řeznými plátky.



Obr. č. 10

Výhody ejektorového vrtáku:

- a/ velká produktivita
- b/ dobře řešený odvod třísek z místa řezu
- c/ potřeba cca jedné třetiny množství řezné kapaliny, než u jiných metod hlubokého vrtání
- d/ nedochází k rozstříkávání řezné kapaliny
- e/ výhodné rozložení řezných sil, malé ztráty třením nástroje. /9/

3.4.5 Vrtání korunkovým vrtákem

Pro vrtání větších průměrů v rozsahu $D = 25 - 500 \text{ mm}$ se používá trepanačních korunových hlav s řeznými plátky ze slinutých karbidů. Protože nástroj není schopen se zavrtat, musí být veden. Pro tyto korunové hlavy se používá navrtávacích pouzder nebo vodících čoček. Navrtávání pak probíhá takovým způsobem, že do malého otvoru, předvrtaného v obrobku šroubovým vrtákem do hloubky cca 50 mm , se nasadí čípek čočky. Nástrojem se pak najede na tuto čočku tak, že je ná-

stroj čoučkou veden tak dlouho, než si sám vytvoří potřebné vedení.

Řezná kapalina je u těchto nástrojů přiváděna vnitřkem, prostorem mezi jádrem a stěnou vnitřního průměru nástroje a odchází spolu s třískami vnějškem nástroje prostorem mezi jednotlivými zuby. Protože prostor pro třísky je velmi omezený, je třeba velkou pozornost věnovat lámání a dělení třísek. Pro zajištění plynulého chodu vrtání je proto někdy nutno v průběhu vrtání náhle na krátkou dobu změnit řezné podmínky, zejména posuv nebo velikost tlaku řezné kapaliny, aby se zlepšilo jejich odplavení. /9/

3.4.6 Vrtání expanzním vrtákem

Princip expanzního vrtání spočívá v přívodu chladícího média /stlačený vzduch 0,5 - 0,8 MPa/ do prostoru mezi ostří nástroje a dna otvoru, kde toto médium expanduje a rychle se ochlazuje, v ideálním případě ze 100°C až na -80°C. Tímto způsobem se docílí neobvykle vysoké trvanlivosti nástroje, příznivého tvoření a odvádění třísek.

Stlačený vzduch je přiváděn k vrtací hlavě prostorem mezi vnější a vnitřní tyčí. V určité vzdálenosti od ostří má hlava po obvodě větší počet otvorů, kterými proudí stlačený vzduch k ostří a současně ve zvětšeném prostoru expanduje. Hlava nemá žádné vodící plátky, nýbrž má v obvodové drážce zasazeny kuličky, které vyvozeným tlakem zlepšují kvalitu povrchu otvoru.

Výhody vrtání s expanzním vrtákem:

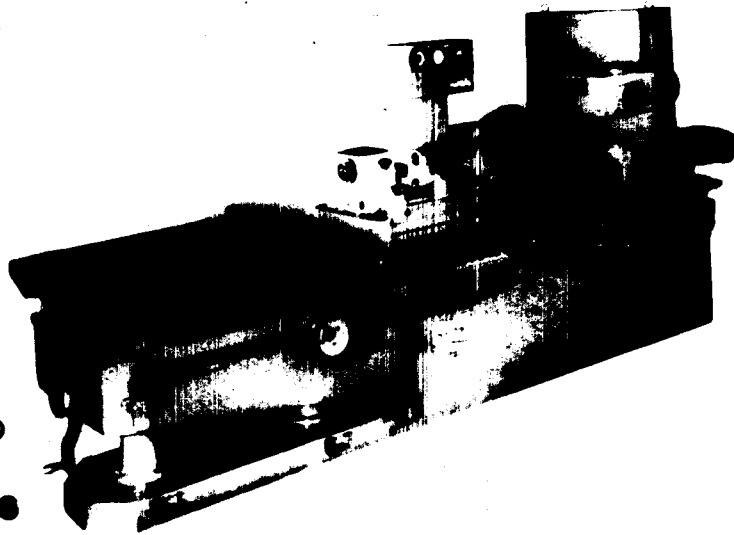
- a/ použití řezného materiálu RO, který je levnější než materiál SK
- b// ušetří se poměrně drahý vrtací olej, provoz je čistější a zdravotně nezávadnější
- c/ třísky není nutno filtrovat ani odstraňovat
- d/ danou vrtací tyčí je možno zhotovený otvor vyhonovat. /9/

3.5 Stroje pro hluboké vrtání

V zahraničí existuje řada výrobců, kteří vyrábí stroje pro hluboké vrtání. Převážná většina těchto strojů jsou stroje jednocelové, stavebnicové a převážně na rotační součásti. Přesto některé z nich mají ve svém výrobním programu i stroje na vrtání hlubokých otvorů i v nerotačních součástech. Ze známých firem jsou to např. fy Heler, Nagel /obr. č. 11/, TBT /obr. č. 12/, ze socialistických zemí firma EMAP - Jugoslávie. Některé z těchto firem se současně zabývají i výrobou nástrojů pro tuto technologii. Ze známých firem na výrobu nástrojů pro vrtání hlubokých otvorů uvádím např. firmu Sandwik - Coromat.

V naší republice bohužel žádný výrobce těchto strojů neexistuje, ale řada podniků si své problémy vyřešila dovozem těchto strojů, nebo vlastní konstrukcí a výrobou jednocelového zařízení. /14/

Horizontal-Tiefbohrmaschine mit Konsoltech

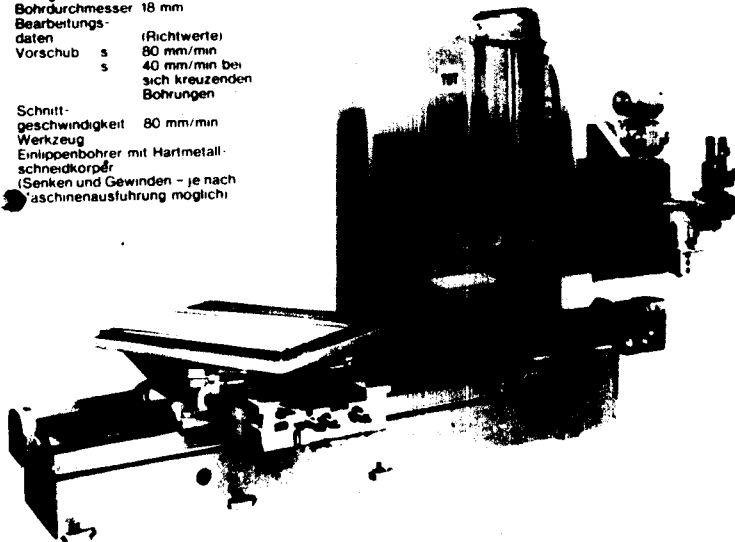


1-Spindel-Horizontal-Tiefbohrmaschine mit Konsoltech
Typ H4000, BN 30-1300 A/KT
universell einsetzbar, bevorzugt für Werkzeug-
und Formarbeit

Obr. č. 11

Bearbeitungsbeispiel

Werkstoff
Werkzeugstahl 40 Cr Mn Mo 7
Festigkeit 1000 N/mm²
Bohrdurchmesser 18 mm
Bearbeitungs-
daten (Richtwerte)
Vorschub s 80 mm/min
s 40 mm/min bei
sich kreuzenden
Bohrungen
Schnitt-
geschwindigkeit 80 mm/min
Werkzeug
Einrippenbohrer mit Hartmetall-
schneidkörper
(Senken und Gewinden – je nach
Maschinenausführung möglich)



Obr. č. 12

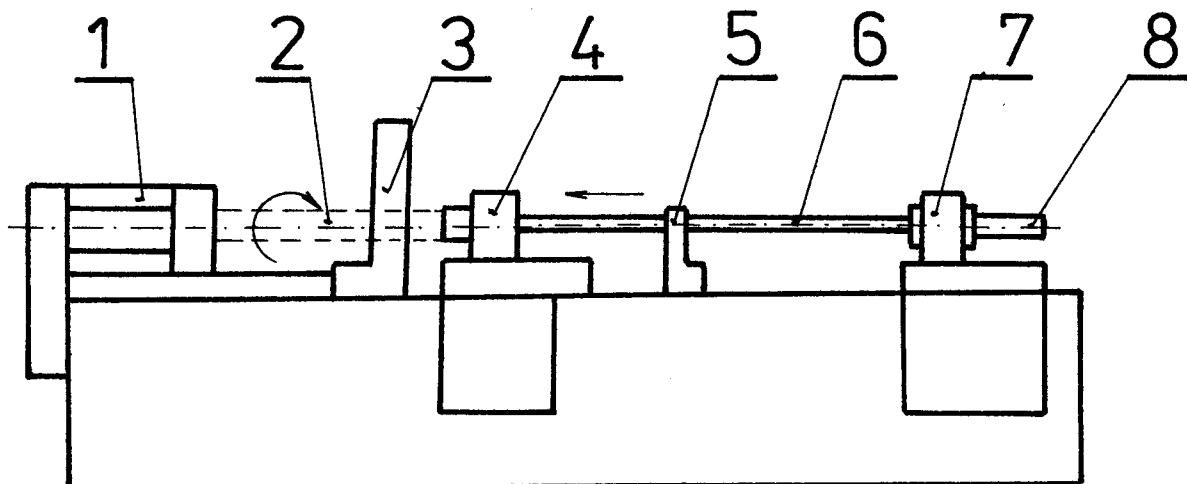
3.5.1 Druhy strojů

Převážně se používají tyto stroje:

- a/ vodorovné stroje pro hluboké vrtání s rotujícím obrobkem
- b/ vodorovné stroje pro hluboké vrtání s rotujícím nástrojem
- c/ svislé stroje pro hluboké vrtání s rotujícím nástrojem
- d/ vodorovné stroje pro hluboké vrtání s protiběhem

Vodorovné stroje pro hluboké vrtání s rotujícím obrobkem

Používají se u obrobků lehkých, malých vyvážených s válcovým tvarem, které nevyžadují velkou energii k otáčení. U těchto obrobků se vyrábí středová díra. Obrobek rotuje, nástroj se posouvá do řezu. Tento stroj je na obr. č. 13.

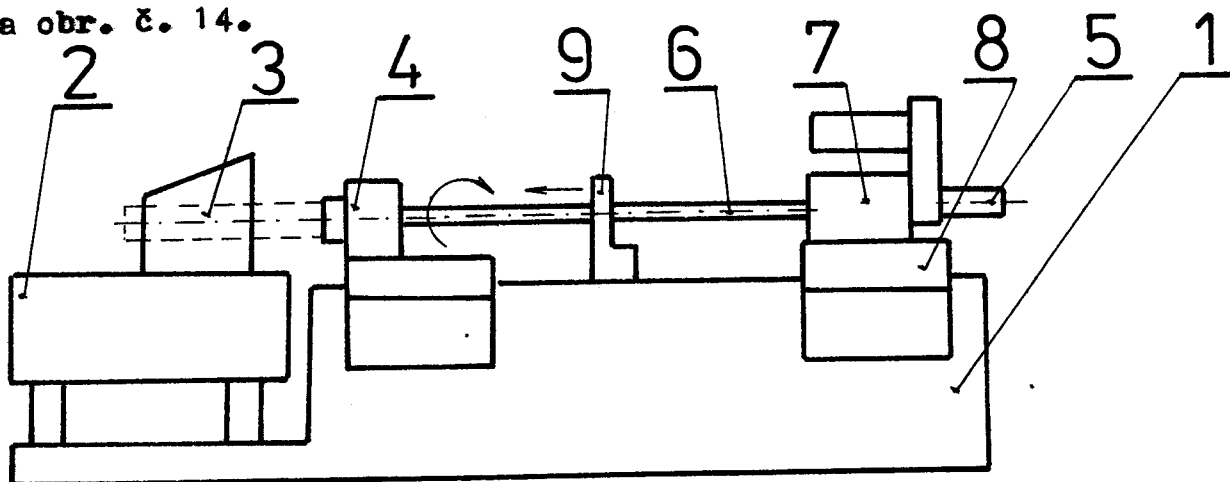


- | | | | |
|---|------------------------------|---|-------------------------|
| 1 | vřeteník | 5 | opěrné ložisko nástroje |
| 2 | obrobek | 6 | vrták |
| 3 | luneta | 7 | vrtací saně |
| 4 | vodící saně s odvodem třísek | 8 | přívod kapaliny |

Obr. č. 13

Vodorovné stroje pro hluboké vrtání s rotujícím nástrojem

Použití u obrobků, které jsou těžké a různých tvarů, a nebo u obrobků s mimostředovými dírami. Obrábek je upevněn upínacím zařízením na stole, který je příčně a vertikálně nastavitelný. Veškeré síly jsou přemášeny nástrojem, což znamená, že nástroj je dynamicky nestabilní. Oběh řezné kapaliny je uspořádán podle způsobu vrtání. Tento typ stroje je na obr. č. 14.



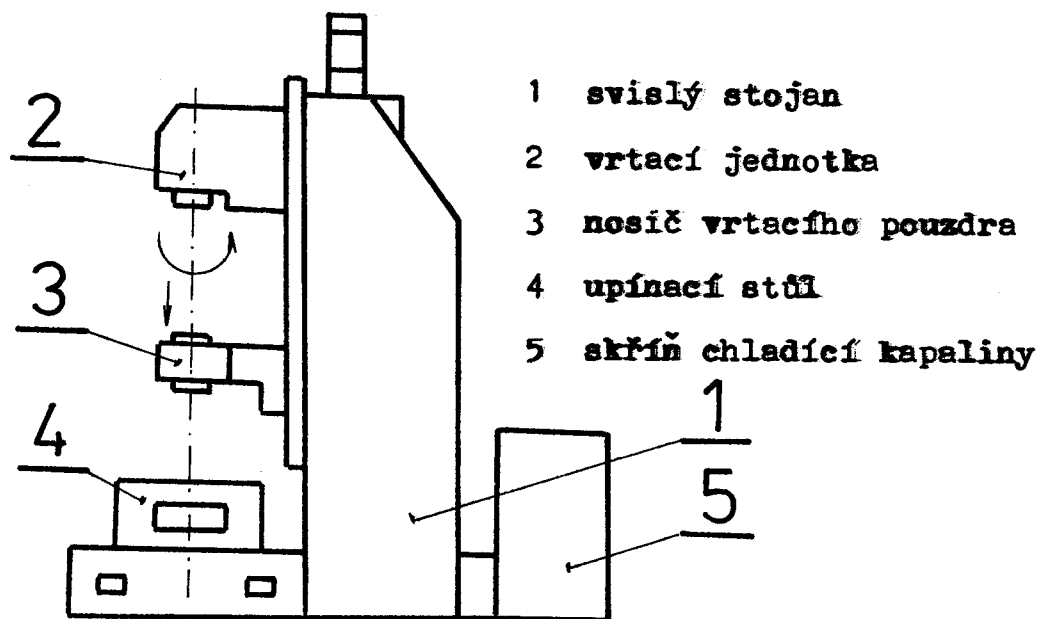
- | | |
|----------------------------------|---------------------------|
| 1 skříňový podstavec | 5 Přívod kapaliny |
| 2 stavitelný stůl | 6 vrták |
| 3 obrobek | 7 vřeteník nástroje |
| 4 vodící saně s odvodem kapaliny | 8 vrtací saně |
| | 9 opěrné ložisko nástroje |

Obr. č. 14

Svislé stroje na hluboké vrtání s rotujícím nástrojem

Tato varianta umožňuje dobré upínání obrobků s různými tvary. Svislý stojan musí mít dostatečnou tuhost, musí zabezpečit dobré vedení vrtacích saní s vřeteníkem nástroje. Vedení musí být odolné proti krouticímu momentu, vznikajícímu

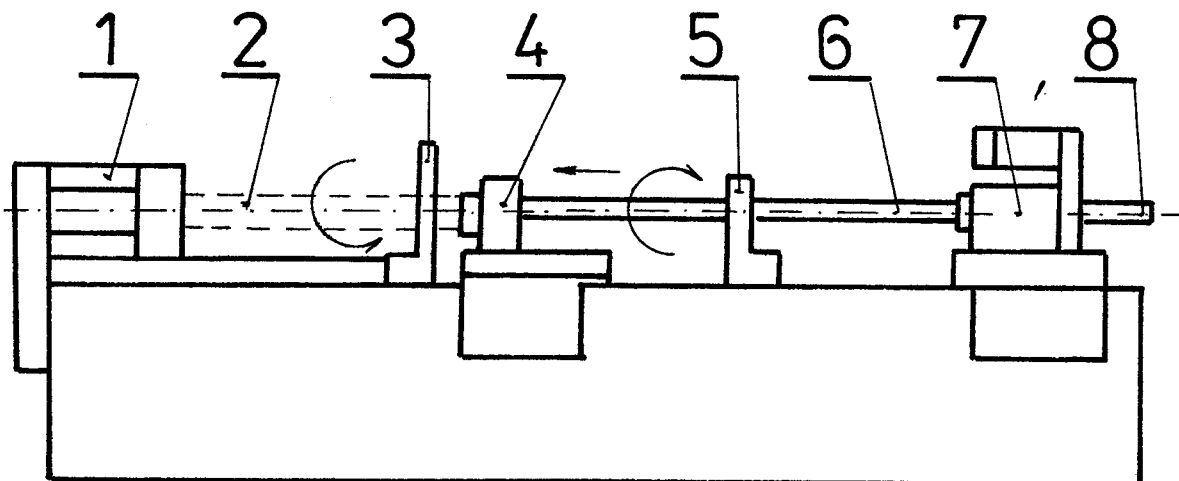
vlastní tíhou vrtací jednotky. Tato varianta je na obr. č. 15.



Obr. č. 15

Vodorovný stroj na hluboké vrtání s protiběhem

Tento stroj je používán pro největší rozsahy řezných rychlostí, zejména u velmi malých děr. Jeho konstrukce je vysoce náročná, hlavně z hlediska přesnosti. Tento typ stroje je na obr. č. 16.



1	vřeteník obrobku	5	opěrné ložisko nástroje
2	obrobek	6	nástroj
3	luneta obrobku	7	vřeteník nástroje
4	vodíčí saně s přívodem kapaliny	8	odvod chladicí kapaliny

/6/

Obr. č. 16

3.5.2 Požadavky na stroje

Hlubokovrtací stroje musí vyhovovat následujícím požadavkům:

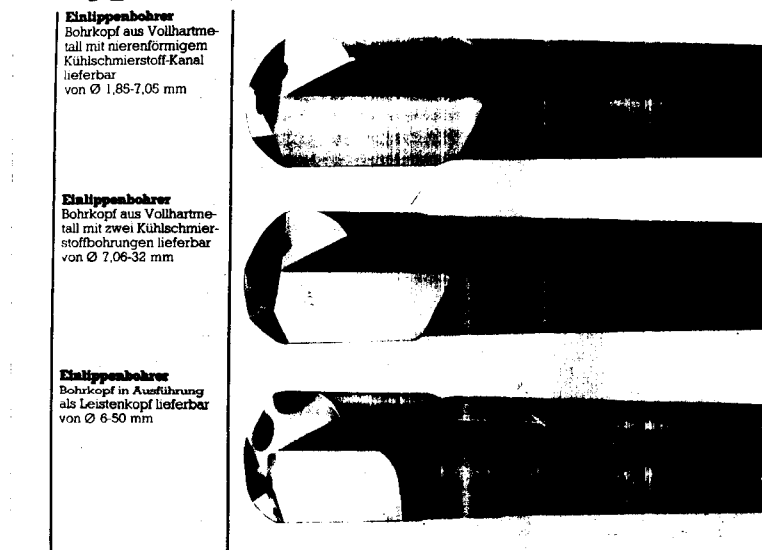
- tuhost, rozměrová přesnost
- plynulý, klidný pohon posuvu a hlavní řezné rychlosti, velký rozsah posuvu a řezné rychlosti
- velký rozsah vrtacího průměru
- zařízení pro chladicí kapalinu s filtrováním a případně s chlazením
- ruční i automatické řízení průběhu práce
- ruční i automatické řízení bezpečnosti /omezení posuvu nebo omezení tlaku oleje/
- relativně krátké přípravné časy. /6/

3.6 Nástroje na hluboké vrtání

V naší republice neexistuje žádný výrobce těchto nástrojů, proto si řada podniků vyrábí nástroje sama a nebo je dováží ze zahraničí. Jako příklad uvádím švédskou firmu Sandvik - Coromat nebo západoněmeckou firmu Botek, vyrábějící dělové vrtáky obr. č. 17 a vrtáky systému ejektor obr. 18.

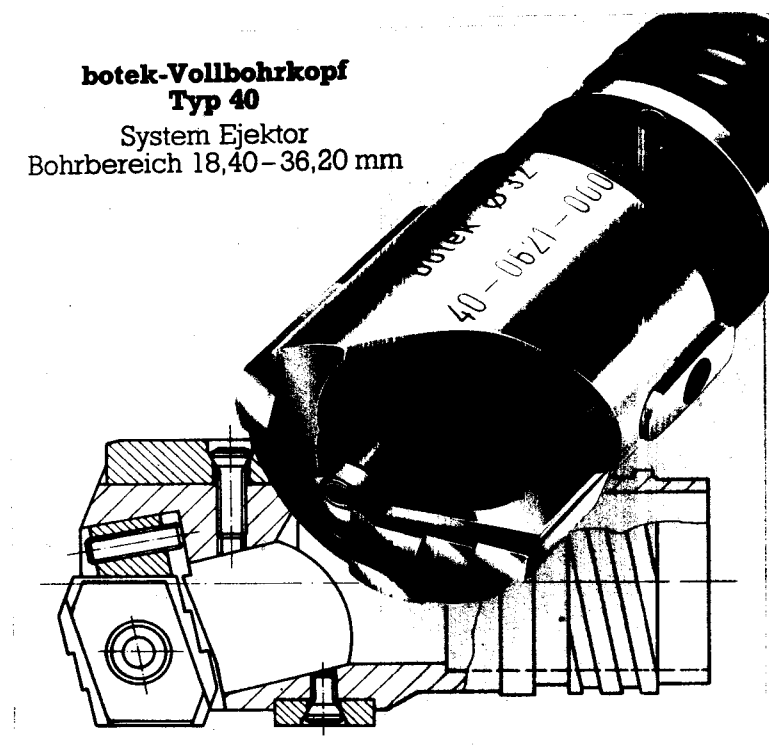
/14/

Standard-Einlippenbohrer Typenübersicht



Obr. č. 17

**botek-Vollbohrkopf
Typ 40**
System Ejektor
Bohrbereich 18,40-36,20 mm



Obr. č. 18

3.6.1 Požadavky na nástroje

- geometrie řezné části nástroje musí zabezpečit utváření třísky, která se musí z prostoru otvoru lehce odstraňovat
- konstrukce nástroje musí umožnit plynulý odvod třísky z prostoru obrábění, aby se dalo vrtat a vrták se nezlomil
- nástroj musí být dostatečně tuhý, aby se mohlo výkonně vrtat a aby vrtání probíhalo bez škodlivých vibrací
- konstrukce nástroje musí zaručit dobré vedení nástroje v otvoru
- konstrukce musí zabezpečit předepsanou přesnost rozměrů, geometrického tvaru a jakost povrchu
- technologie musí vhodnou volbou stroje a dalších pracovních podmínek zabezpečit příznivý vztah mezi výrobností řezání a hospodárností výroby při dodržení všech technických podmínek na přesnost vrtané součásti. /10/

3.7 Chlazení a mazání nástroje

V souvislosti se zvyšujícími se požadavky na produktivitu obrábění hlubokých děr je chladičí a mazací kapalina stejně jako obráběcí stroj a řezný nástroj, třetím nejdůležitějším technologickým prvkem.

U dělového vrtáku je řezná kapalina přiváděna vnitřkem nástroje a odváděna vnějším vybráním na nástroji, u BTA a ejektorového systému je kapalina přiváděna pod tlakem na břit nástroje vně vrtací tyče a odváděna vnitřkem, společně s třískami.

U ejektorového způsobu navíc ejektorové otvory, vytvářené vrtací tyčí, při přívodu kapaliny vyvolávají v místě obrábění podtlak a třísky jsou tak odsávány od břitu nástroje a vy-mášeny vnitřkem vrtací tyče. /9/

3.7.1 Úloha řezné kapaliny

Řezná kapalina, kromě dopravy třísek, musí vytvářet na vodících lištách hydrodynamický mazací film, který zabraňuje styku nástroje s povrchem díry, snižuje tření na stykových plochách a zabraňuje vytváření svárových spojů. Současně řezná kapalina ochlazuje nástroj i obrobek, působí řezným účinkem na břit a v oblasti smykové roviny odvádí převážné množství vzniklého tepla.

Extrémní tlaky a teploty vznikající na břitu vyžadují zcela jiné přísady v řezném oleji, než mazání vodících lišt. Z hlediska tvorby mazacího filmu na vodících plochách je důležitá viskozita, jejíž vysoká hodnota je však v protikladu k požadavku dobré vyplachovací vlastnosti řezného oleje, což je příznivě ovlivněno nízkou viskozitou. /9/

3.7.2 Rozvod řezné kapaliny

Řezná kapalina je na břit nástroje přiváděna pod tlakem. Systém rozvodu kapaliny je třeba vybavit vysokotlakými čerpadly a účinným filtračním zařízením. Zařízení musí pracovat spolehlivě, neboť každé selhání, přerušení přívodu kapaliny a nebo přívod bez dostatečného tlaku, znamenají často havárii

nástroje. Totéž se může stát při špatném odvodu třísek, v důsledku jejich nahromadění ve vrtací tyči.

Zařízení v současné době dodávaná mají obvykle automatické bezpečnostní systémy, které zastaví obrábění v případě zvýšeného kroutícího momentu, poklesu nebo zvýšení tlaku kapaliny nad stanovené meze.

Filtrace kapaliny má dvě funkce v systému rozvodu kapaliny. Čistí kapalinu z hlediska požadavku vlastního rezného procesu, ale současně i z důvodů ochrany vysokotlakých čerpadel před poškozením velkým obsahem nečistot v kapalině. Filtrační zařízení by mělo zachycovat částice $20 \mu\text{m}$. Ve filtračních zařízeních se však mohou rezné oleje ochuzovat i o některé EP přísady, zejména polárního charakteru. Použití vysokotlakých čerpadel způsobuje mechanické i tepelné namáhání rezného oleje, které zkracuje jeho životnost.

Teplota rezného oleje by neměla přestoupit 35°C a neměla by být nižší než 18°C . Volba vhodného rozměru nádrže nebo instalace chladičného zařízení umožňuje nepřekročit stanovenou hodnotu. Ohřátí pak dosáhneme včasným spouštěním čerpadel. Při teplotě 45°C by olej pro hluboké vrtání měl mít viskozitu $15 \text{ až } 30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Závislost viskozity na teplotě pro různé druhy olejů uvádím v příloze č. 4.

K zajištění transportu třísek je mimo vhodné viskozity oleje nutno zajistit vhodnou rychlost přiváděné kapaliny, která musí být $12 - 16 \text{ m/s}$.

Rychlost odchodu třísek je menší cca 5 až 10 krát, podle jejich tvaru.

Volba tlaku a průtočného množství řezné kapaliny je uvedena v příloze č. 3. /9/

3.7.3 Používané druhy řezné kapaliny

Hluboké vrtání je oblast obrábění, kde budou použity emulze ve vyjimečných případech. Emulze mají výborné chladičské vlastnosti, avšak mazací účinek, zejména na vodičkách, je nedostatečný. Protože teploty při vrtání překračují 100°C , při styku emulze s ostřím dochází k odpařování vody, vytváření parního polštáře, který způsobuje přetržitý styk emulze s nástrojem a vytváří se tak teplotní šoky.

Prudké ochlazení nástroje ze SK má za následek vznik trhlin a vydrolování břitu. Problém tvorby parních polštářů se nedá odstranit přísadami.

Emulzní kapaliny jsou tedy používány v současné době převážně při vrtání litiny, a to na obráběcích linkách.

Vlastnosti použité emulze musí být vysoké /vyšší obsah přísad/ ve vyšší koncentraci 10 až 20 %. U nás je to emulgační olej Akvol a Robol.

Vysoké nároky lépe splňují řezné oleje. Přísady použité v těchto olejích jsou obvykle na bázi polárních látek a sloučenin aktivních prvků - chlor, síra, fosfor. Polární látky a přísady na bázi fosforů působí zejména na snížení tření na vodičích plochách, neboť vytvářejí na kovovém povrchu přilnavý film, složený s fosfidů a mýdel.

Polární látky jsou rostlinného a živočišného původu. Pozitivní účinek v procesu oddělování třísky na ostří nástroje

mají EP přísady, jejichž reakce s obráběným kovem probíhá při vyšších teplotách, než jsou na vodičích lištách.

Jsou to chlor a síra, které reagují za teplot a tlaků vznikajících v oblasti styku nástroje s obráběným kovem a vytvářejí kovové chloridy a sulfidy. Zatímco sloučeniny chloru začínají reagovat již při cca 500°C, u většiny sirných přísad je tato reakce posunuta do oblasti nad 800° C. Oblast středních reakčních teplot může být pokryta sloučeninami fosforu, které tvoří s kovem obrobku fosfidy v oblasti teplot 400 až 900° C. /9/

4. Návrh technologie a výrobního zařízení

Pro volbu technologie a výrobního zařízení jsem musel vycházet z následujících parametrů:

a/ rozsah průměrů	- 6 až 16 mm
b/ max. délka vrtaného otvoru	- 600 až 1200 mm
c/ max. rozměry obrobku	- 1200 x 1200 mm
d/ váha obrobku	- až 2 500 kg

4.1 Návrh hlubokovrtacího stroje

Pro řešení se nabízí tři alternativy:

1. Přídavné vrtací zařízení k některému obráběcímu stroji
2. Konstrukce a stavba jedmoučelového stroje
3. Úprava některého staršího stroje

ad 1 Přídavné vrtací zařízení k některému obráběcímu stroji

Jako vhodný stroj se nabízí použít soustruh, vrtačku nebo horizontální vyvrtávačku.

U soustruhu naráží toto řešení na velmi obtížné upínání a výškové i boční přestavení obráběného dílu a navíc nesplňuje požadavek na rozměry obráběného dílu.

Přídavné zařízení u horizontálního vyvrtávacího stroje kapacitně zatěžuje příliš drahý a univerzální stroj operací vrtání, kterou je možno provádět na jiném pracovišti.

Instalace přídavného zařízení na vrtačku naráží na ne-

vhodnou svíslou polohu vřetena /špatný odvod třísek/, malou tuhost stroje, malý zdvih nástroje a obtížné přestavení souřadnic.

ad 2 Konstrukce a stavba jednoúčelového zařízení

Toto řešení je pro řešení problematiky nejvýhodnější, poněvadž je při konstrukci možné dodržet všechny zvolené parametry, konstruktér není tolik omezen jako při rekonstrukcích stávajících zařízení. Nevýhodou tohoto řešení je jeho velké pracnost a pořizovací náklady.

ad 3 Úprava některého staršího stroje

V současné době mají pro toto řešení k dispozici horizontální vyvrtávačku WH 63, která je vyřazena z dílny OMA. Bylo by možné ji pro přestavbu na jednoúčelový stroj pro vrtání hlubokých děr využít. Výkon vypočtený pro tento stroj v kap. 4.2 plně vyhovuje výkonu danému na stroji.

4.1.1 Technická data vyvrtávačky WH 63 /obr. č. 19/

Vřeteník:

průměr pracovního vřetena	63 mm
kuželová dutina pracovního vřetena	MORSE 4
průměr dutého vřetena	128,57 mm
výsuv pracovního vřetena	560 mm
rozsah otáček	18 + 1 800 ot/min
posuvy pracovního vřetena	0,02 + 6,3 mm/ot
svíslé posuvy vřeteníku	0,02 + 6,3 mm/ot
vzdálenost osy prac. vřetena od upínací plochy stolu	0 + 710 mm

Saně a stůl:

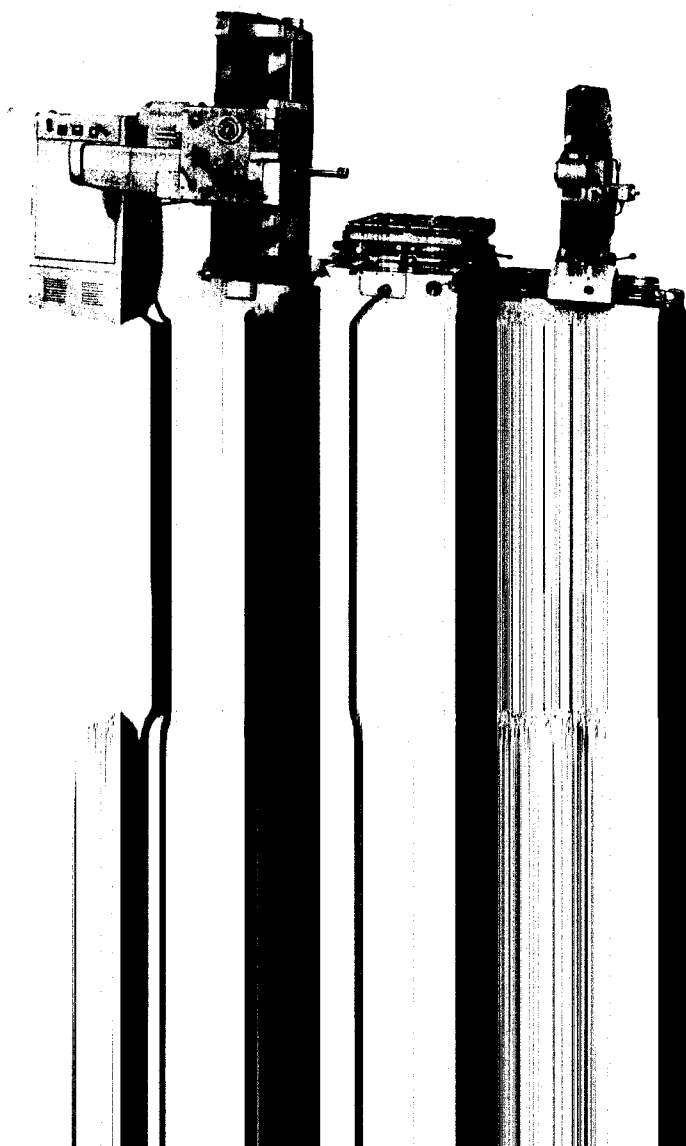
rozměr upínací plochy stolu	800 x 890 mm
vzdálenost upínací plochy od základu stroje	860 mm
příčné přestavení stolu	1000 mm
podélné přestavení stolu	1000 mm
otočné přestavení	360°
podélné a příčné posuvy	0,02+6,3 mm/ot

Elektromotor:

hlavní elektromotor výkon	5,5 kW
otáčky	1425 ot/min.

/12/

WH 63



Saně a stůl:

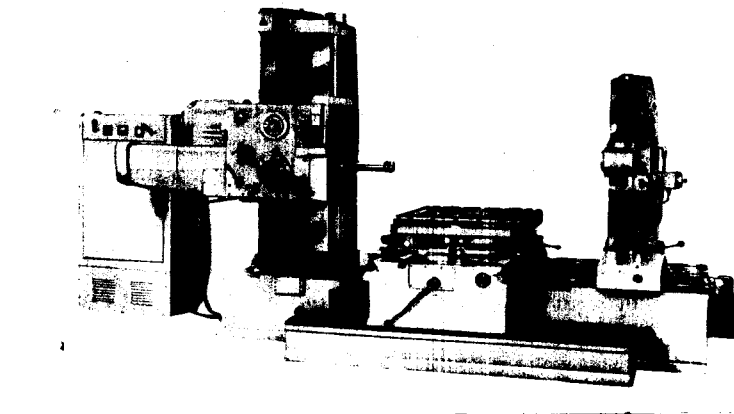
rozměr upínací plochy stolu	800 x 890 mm
vzdálenost upínací plochy od základu stroje	860 mm
příčné přestavení stolu	1000 mm
podélné přestavení stolu	1000 mm
otočné přestavení	360°
podélné a příčné posuvy	0,02+6,3 mm/ot

Elektromotor:

hlavní elektromotor výkon	5,5 kW
otáčky	1425 ot/min.

/12/

WH 63



Obr. č. 19

4.1.2 Návrh hodnot otáček a posuvů

Návrh hodnot posuvů pro materiál 11 523 a 11 600 je uveden v tabulce č. 1. Hodnoty teoretické jsem odečítal z přílohy č. 5 a srovnával s hodnotami skutečně nastavitelnými na daném stroji.

průměr vrtáku [mm]	posuvy teoretické [mm/ot]	posuvy skutečné [mm/ot]
6	0,026	0,025
8	0,034	0,032
10	0,043	0,04
12	0,051	0,05
14	0,059	0,063
16	0,068	0,063

Tabulka č. 1

Návrh hodnot posuvů pro materiál 14 220, 19 663, 19 662 je uveden v tabulce č. 2. Postup je analogický.

průměr vrtáku [mm]	posuvy teoretické [mm/ot]	posuvy skutečné [mm/ot]
6	0,02	0,025
8	0,026	0,025
10	0,033	0,032
12	0,038	0,04
14	0,044	0,04
16	0,051	0,05

Tabulka č. 2

Návrh hodnot otáček jsem provedl v souladu s přílohou č. 6 a otáčkami, které je možno nastavit na stroji. Navrhuji pro všechny materiály tyto hodnoty viz. tabulka č. 3.

průměr vrtáku [mm]	otáčky [ot/min.]
6	1800
8	1800
10	1800
12	1400
14	1400
16	1120

Tabulka č. 3

4.1.3 Popis hlavních částí přípravku

Veškerá výkresová dokumentace přípravku na vyvrtávačku WH 63 je uvedena v příloze č. 1.

a/ Upínač nástroje

Nástroj je upnutý v kleštině pos. č. 31, která je středečně kuželovým pouzdrem v hřídeli pos. 12. Hřídel je upnuta do vřetene stroje pomocí MORSE kuželu a pojištěna proti vytažení přírubou pos. 5. Kleštinové pouzdro je mechanicky stlačováno pomocí převlečné matice pos. 11. Její utahování se provádí buďto ručně, matice je po obvodě vroubkována anebo pomocí speciálního klíče, pro něhož je v matici vyvrtán otvor. Kroužek pos. 25 slouží jako koncový doraz, aby nedocházelo vlivem axiální síly k posunu vrtáku uvnitř kleštiny.

b/ Tlaková hlava

Hlavní částí tlakové hlavy je těleso pos. 6, do kterého je přiváděna řezná kapalina pod tlakem. Uspořádání, které je dáno na výkrese platí pro vrtáky systému BTA, kde je kapalina

přiváděna vnějškem nástroje a odváděna vnitřkem. Pro dělové vrtáky, kde je přívod a odvod kapaliny opačný navrhuji tlakovou hlavu vytvořit pomocí přípravku č.v. 3-KOM-OM-229-01-15, který se našroubuje na místo víka pos. 4.

c/ Vedení nástroje

Přesné a spolehlivé vedení je zajištěno pomocí vrtacího pouzdra pos. 9. Pouzdro se musí na tělo vrtáku nasunout ještě před upnutím vrtáku do kleštiny. Materiál pouzdra je ocel třídy 12, která je chemicko-tepelně zpracována. Tolerance díry vrtacího pouzdra je F7.

d/ Odvod třísek

V hřídeli pos. 12 jsou vyvrtány 2 otvory, kterými je odváděna kapalina spolu s třískami do sběrače pos. 1. Šroub pos. 25 slouží k odstranění možného ucpání prostoru pod víčkem pos. 4. Kapalina spolu s třískami odchází ze sběrače do filtračního zařízení viz. následující kapitola. Sběrač třísek je vyroben jako svařenec z tenkých plechů. Nepokládám za nutné ho uvádět v detailním rozkreslení pro jeho jednoduchost.

e/ Těsnění

Těsnění určitých částí přípravku jsem navrhl z kroužků kruhového a čtvercového průřezu. Materiálem je pryž. Mezi vrtacím pouzdrem a tělesem tlakové hlavy je těsnicí kroužek vyrobený z pryže s plátěnou vložkou. Mechanismy vyvozující přítlačnou sílu na těsnicí kroužky jsou snadno pochopitelné z výkresové dokumentace.

f// Výškové přestavení

Postup přestavení je následující:

- výškové přestavení vřeteníku
- vložení vrtáku do předem předvrtané díry v tělese formy
- výškové přestavení stojánku pos. 2
- zajištění polohy šrouby pos. 33

4.1.4 Filtrační zařízení

Navrhují použít filtrační zařízení, kterým se detailně zabýval V. Zavřel ve své diplomové práci lit. /9/, číslo sestavy je 1-KOM-OS-101-01-03.

Předností tohoto filtračního zařízení je, že není výrobně náročné, je snadno manipulovatelné a přitom splňuje požadavky, které jsou na něj kladeny, jako například vysoká filtrační schopnost, spolehlivá dodávka množství a tlaku oleje. Uvádím pouze jeho hlavní části, jsou to:

- magnetický dopravníkový pás
- nádrž se sedimentačními lázněmi
- odstředivý čistič
- hlavní dodávací čerpadlo
- hnací elektromotor

Funkce a technická data jednotlivých částí jsou uvedena v dané diplomové práci V. Zavřela.

4.2 Návrh nástroje na hluboké vrtání

Zahraniční firmy vyrábějící hlubokovrtací nástroje, doporučují používat zejména systém BTA, dělové vrtáky se spíše hodí pro kratší délky otvorů. Navrhují použít pro průměry děr 10, 14 a 16 mm nástroje systému BTA. Tyto nástroje lze vyrobit ve s.p. Plastimat. Technologický postup výroby je zřejmý z výkresové dokumentace č.v. 2-KOM-OM-229-01-14. Náklady a pracnost uvádím v ekonomickém zhodnocení kap. 5. Vrtáky tohoto systému jsou omezené minimálním průměrem postačujícím pro odvod třísek.

S.p. Ostroj Opava si vyrábí tento typ nástroje, dokonce s průměrem 8 mm. Vrtají s ním otvor dlouhý 660 mm do pláště sloupu z materiálu 13 220.3 zušlechtněného na $750 + 1000$ MPa. Hlavní řezný pohyb zde koná nástroj, upnutý v kleštině a materiál vykonává pohyb posuvný. Nástroj je pájený pájkou Ag 50 Cu Zn Cd. Stanovené optimální řezné podmínky jsou následující:

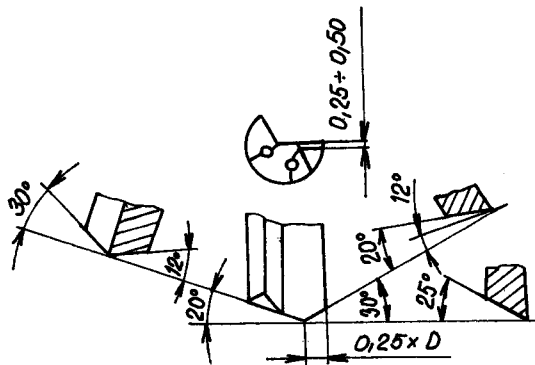
$$n = 1800 \text{ ot/min.}$$

$$s = 0,02 \text{ mm/ot.}$$

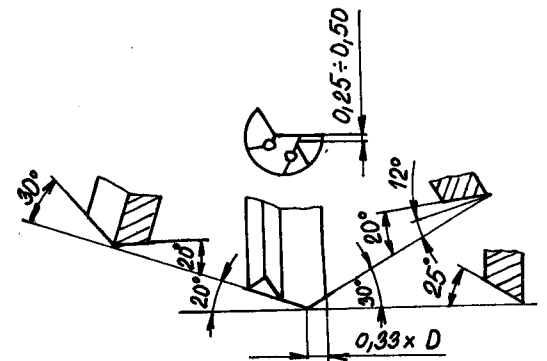
$$v = 45 \text{ m/min.}$$

Tento nástroj uvádím jako skicu v příloze č. 2 a navrhuji ho i pro náš průměr 8 mm použít.

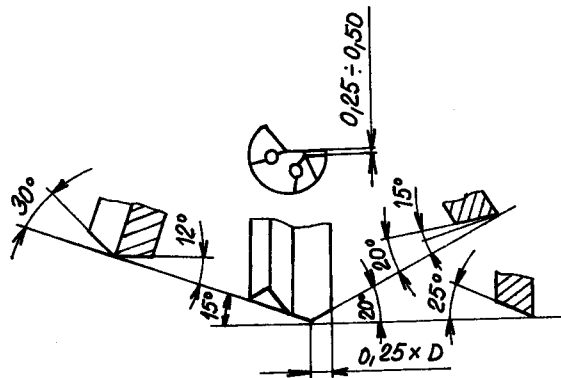
Pro průměr 6 mm navrhuji použít dělový vrták. Navrhnutý přípravek uveden v příloze č. 1 lze k tomu jednoduše přizpůsobit. O tom jsem se zmínil již v kap. 4.1.3. Geometrie ostří vrtáku pro různé druhy vrtaného materiálu uvádím na obr. č. 20. Konstrukcí a výrobou zkušebních vzorků dělových vrtáků se podrobně zabývají ve s.p. Přesného strojírenství Uherský



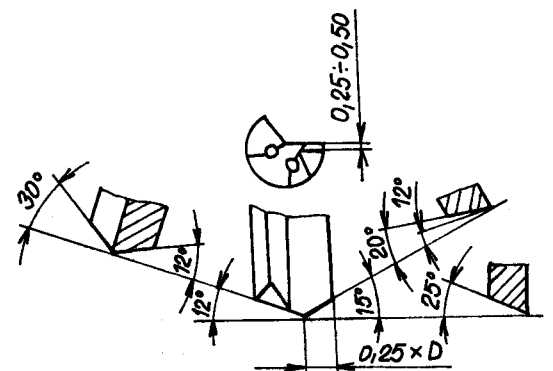
Pro neželezné kovy



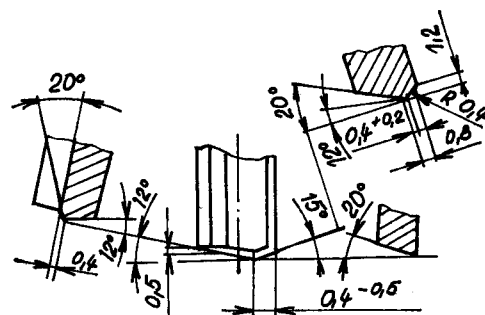
Pro dobře obrobitelné ocele



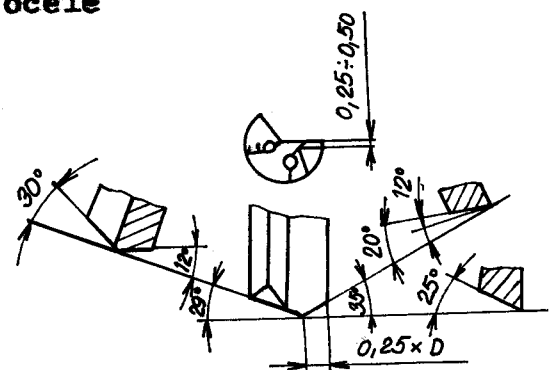
Pro zvláště hluboké otvory
s min. odchylkou přímosti



Pro uhlíkové a zušlechtné
ocel



Pro obzvláště houževnaté
ocel



Pro nerezavějící ocel

Brod. Technologický postup výroby vrtáků včetně jejich ostření je uveden v jejich výzkumné zprávě lit. /5/.

Výměna navržených nástrojů

Přípravek uveden v příloze č. 1 je přizpůsoben průměru 14 mm. Pro další průměry je nutno vyměnit kleštinové pouzdro pos. 31 a vrtací pouzdro pos. 9 na žádaný rozměr.

V dalších bodech této kapitoly se budu zabývat výpočtem sil na nástroji, pevnostním výpočtem nástroje a jeho praktické ověření.

Jako zkušební nástroj jsem si vybral vrták průměru 14,4 mm č.v. 2-KOM-OM-229-01-14.

4.2.1 Rozklad a výpočet sil na nástroji

Celková řezná síla působící na břit nástroje se rozkládá do tří složek: F_z , F_y , F_x . Tangenciální složka F_z je největší a je směrodatná pro stanovení výkonu motoru vrtacího vřeteníku. Radiální síla F_y se navenek nijak neprojevuje, je přenášena vodítky nástroje na stěnu otvoru, kde působí hladícím účinkem. Osová složka F_x působí proti směru posuvu a je překonávána silou vrtacího suportu. Na nástroj působí kromě řezných sil ještě síly třecí mezi vodítky a stěnou otvoru, takže skutečné namáhání nástroje a vrtací tyče bude větší. Velikost kroutícího momentu a třecích sil na vodítkách je možno odvodit z podmínky rovnováhy sil v rovině kolmé k ose nástroje viz. obr. č. 21.

$$\text{Platí: } M_{kn} - F_z \cdot h - (T_1 + T_2) \cdot \frac{D}{2} = 0 \quad (1)$$

$$F_y - N_2 + T_1 = 0 \quad (2)$$

$$F_z - N_1 - T_2 = 0 \quad (3)$$

$$T_1 = N_1 \cdot \mu \quad (4)$$

$$T_2 = N_2 \cdot \mu \quad (5)$$

Velikost axiální složky řezné síly bude rovněž zvětšena o podíl tření na vodících plátcích nástroje.

$$F_{zn} = F_x + N_1 \cdot \mu + N_2 \cdot \mu \quad (6)$$

Výpočet F_x je se zřetelem na nepříznivé poměry v oblasti bříty nespolehlivý. Proto se také údaje konstant k a exponentů x, y pro výpočet dle vzorce u různých autorů značně od sebe liší.

Je možno použít vztahu:

$$F_x = k \cdot D^x \cdot s^y$$

Materiálová konstanta k je pro ocel $k = 241$

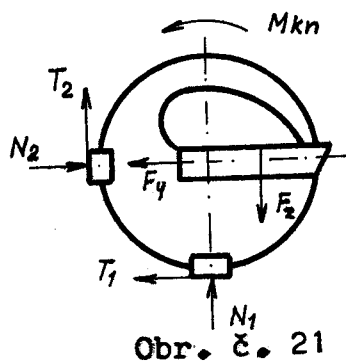
$$x = 0,7$$

$$y = 0,6$$

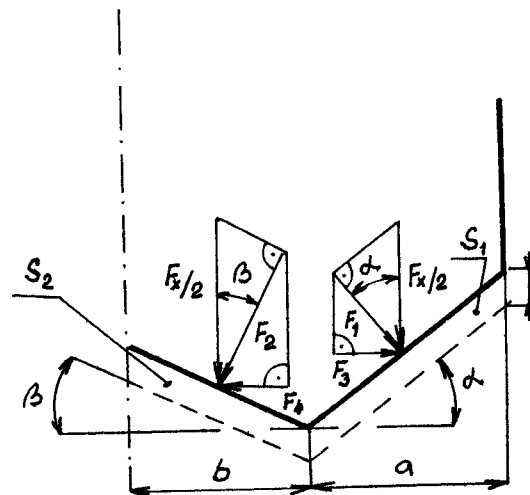
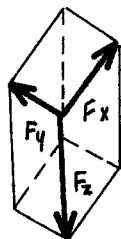
$$F_x = 241 \cdot 14,4^{0,7} \cdot 0,06^{0,6}$$

$$\underline{\underline{F_x = 288,24 \text{ N}}}$$

Výpočet řezných sil F_y a F_z



Obr. č. 21



Dáno: $s = 0,06 \text{ mm/ot}$

$$\alpha = 52^\circ$$

$$b = 2,4 \text{ mm}$$

$$\beta = 28^\circ$$

$$a = 4,8 \text{ mm}$$

$$F_x = 288,24 \text{ N}$$

$$p = 3 \text{ 000 MPa}$$

Výpočet: $S_1 = s \cdot a = 0,06 \cdot 4,8 = 0,288 \text{ mm}^2$

$$S_2 = s \cdot b = 0,06 \cdot 2,4 = 0,144 \text{ mm}^2$$

$$F_{z1} = S_1 \cdot p = 0,288 \cdot 3 \text{ 000} = 864 \text{ N}$$

$$F_{z2} = S_2 \cdot p = 0,144 \cdot 3 \text{ 000} = 432 \text{ N}$$

$$F_z = F_{z1} + F_{z2} = \underline{1 \text{ 296 N}}$$

$$F_1 = \frac{F_x}{2} \cdot \cos \alpha = 144,12 \cdot \cos 52 = 88,73 \text{ N}$$

$$F_2 = 144,12 \cdot \cos \beta = 127,25 \text{ N}$$

$$F_4 = F_2 \cdot \sin \beta = 127,25 \cdot \sin 28 = 59,74 \text{ N} = F_{y1}$$

$$F_3 = F_1 \cdot \sin \alpha = 88,73 \cdot \sin 52 = 69,92 \text{ N} = F_{y2}$$

$$F_y = F_{y2} - F_{y1} = \underline{10,18 \text{ N}}$$

Dle vztahu 1, 2, 3, 4, 5 platí dále:

$$F_y - N_2 + N_1 \cdot \mu = 0$$

$$F_z - N_1 - N_2 \cdot \mu = 0$$

$$M_{kn} - F_z \cdot h - (N_1 \cdot \mu + N_2 \cdot \mu) \cdot \frac{D}{2} = 0$$

Po dosazení platí:

$$F_z - N_1 - F_y \cdot \mu - N_1 \cdot \mu^2 = 0$$

$$N_1 = \frac{F_z - F_y \cdot \mu}{1 + \mu^2}$$

Výpočet rozměru h

Dáno: $b/2 = 1,2 \text{ mm}$

$$a/2 + b = 2,4 + 2,4 = 4,8 \text{ mm}$$

$$F_{z1} = 864 \text{ N}$$

$$F_{z2} = 432 \text{ N}$$

$$F_z = 1\,296 \text{ N}$$

$$F_z \cdot h = F_{z2} \cdot 1,2 + F_{z1} \cdot 4,8$$

$$h = \frac{432 \cdot 1,2 + 864 \cdot 4,8}{1\,296}$$

$$h = 3,6 \text{ mm}$$

Výpočet kroučícího momentu

Dáno: $F_x = 288,24 \text{ N}$

$$\mu = 0,05$$

$$F_y = 10,18 \text{ N}$$

$$h = 3,6 \text{ mm}$$

$$F_z = 1\,296 \text{ N}$$

$$D = 14,4 \text{ mm}$$

Dle vztahů 1, 2, 3, 4, 5 po dosažení dále platí:

$$M_{kn} = F_z \cdot h + \left[\frac{F_x - F_y \cdot \mu}{1 + \mu^2} \cdot \mu + \left(F_y + \frac{F_z - F_y \cdot \mu}{1 + \mu^2} \cdot \mu \right) \cdot \mu \right] \cdot \frac{D}{2}$$

$$M_{kn} = 1\,296 \cdot 3,6 + \left[\frac{1\,296 - 10,18 \cdot 0,05}{1 + 0,05^2} \cdot 0,05 + \left(10,18 + \frac{1\,296 - 10,18 \cdot 0,05}{1 + 0,05^2} \cdot 0,05 \right) \cdot 0,05 \right] \cdot \frac{14,4}{2}$$

$$\underline{M_{kn} = 5\,157,74 \text{ Nmm}}$$

Výpočet skutečné osové síly F_{xn}

Dáno: $F_x = 288,24 \text{ N}$

$$F_z = 1\,296 \text{ N}$$

$$F_y = 10,18 \text{ N}$$

$$\mu = 0,05$$

$$F_{xn} = F_x + N_1 \cdot \mu + N_2 \cdot \mu$$

$$N_1 = \frac{F_z - F_y \cdot \mu}{1 + \mu^2}$$

$$N_1 = \frac{1\,296 - 10,18 \cdot 0,05}{1 + 0,05^2} = 1\,292,26 \text{ N}$$

$$N_2 = F_y + N_1 \cdot \mu = 10,18 + 1\,292,26 \cdot 0,05$$

$$N_2 = 74,79 \text{ N}$$

$$F_{\text{XB}} = 288,24 + 1\,292,26 \cdot 0,05 + 74,79 \cdot 0,05$$

$$\underline{F_{\text{XB}} = 356,59 \text{ N}}$$

Výpočet sil a kroutícího momentu jinou metodou

Dáno: $a = 4,8 \text{ mm}$

$b = 2,4 \text{ mm}$

$\alpha = 52^\circ$

$\beta = 28^\circ$

$s = 0,06 \text{ mm/ot}$

$X_{Fz} = 1$

$Y_{Fz} = 0,75$

$C_{Fz} = 1\,350$

$$F_z = C_{Fz} \cdot b^{X_{Fz}} \cdot h^{Y_{Fz}}$$

$$F_z = F_{z1} + F_{z2}$$

$$b_2 = \frac{b}{\cos \beta} = \frac{2,4}{\cos 28} = 2,72 \text{ mm}$$

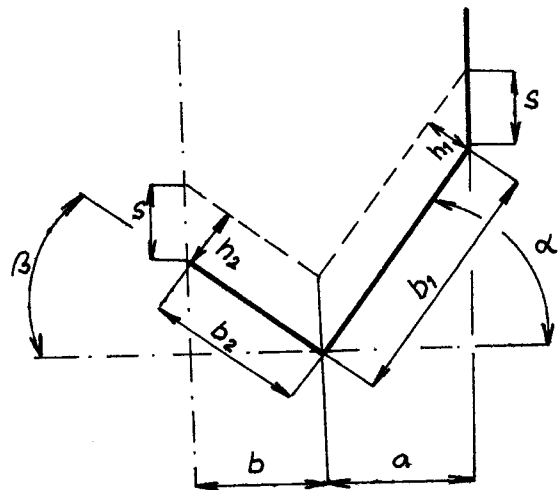
$$h_2 = s \cdot \cos \beta = 0,06 \cdot \cos 28 = 0,053 \text{ mm}$$

$$F_{z2} = 1\,350 \cdot 2,72^1 \cdot 0,053^{0,75}$$

$$F_{z2} = 405,61 \text{ N}$$

$$b_1 = \frac{a}{\cos \alpha} = \frac{4,8}{\cos 52} = 7,79 \text{ mm}$$

$$h_1 = 0,06 \cdot \cos 52 = 0,037 \text{ mm}$$



$$F_{z1} = 1\,350 \cdot 7,79^1 \cdot 0,037^{0,75}$$

$$F_{z1} = 887,2 \text{ N}$$

$$F_z = F_{z1} + F_{z2} = 1\,292,81 \text{ N}$$

Výpočet momentu je obdobný jako u předcházející metody po dosazení platí

$$\underline{M_{kn} = 5\,145,05 \text{ Nmm}}$$

Hodnoty vypočtených sil a momentů u obou metod jsou téměř podobné.

4.2.2 Pevnostní výpočet nástroje

Výpočet trubky nástroje na vzpěr

Dáno: $\varnothing d_1 = 12 \text{ mm}$

$$\lambda_n = 100$$

$$\varnothing d_2 = 9 \text{ mm}$$

$$k = 4$$

$$l = 1200 \text{ mm}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{mat. 11 373}$$

$$F_{xn} = 356,59 \text{ N}$$

a// Určení štíhlosti

$$j_{\min} = \frac{J_{\min}}{S}$$

$$J_{\min} = \frac{\pi}{64} \cdot (d_1^4 - d_2^4)$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^3 - d_2^3)$$

Po dosazení hodnot vychází $j_{\min} = 3,75 \text{ mm}$

$$\lambda = \frac{l_{\text{red}}}{j_{\min}} = \frac{1}{2 \cdot 3,75} = \frac{1200}{7,5} = 160$$

$\lambda > \lambda_n$ Z toho plyne výpočet dle Eulera

b/ Stanovení kritické síly

$$F_{\max} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{\min}}{k \cdot l_{\text{red}}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot /12^4 - 9^4/}{64 \cdot 4 \cdot \frac{1200^2}{2}}$$

$$F_{\max} = 1\,001,49 \text{ N}$$

Síla F_{zn} je menší než maximální, z toho plyne, že dané rozměry trubky vyhovují.

Výpočet trubky na krut

Dáno: $M_k = 5\,157,74 \text{ Nm}$

$$\varnothing d_1 = 12 \text{ mm}$$

$$\varnothing d_2 = 9 \text{ mm}$$

$$k = 4$$

$$\text{mat. 11 373}$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{0,7 \cdot R_m}{k} = \frac{0,7 \cdot 370}{4} = 64,75 \text{ MPa}$$

$$\tau_{DK} = 0,6 \sigma_{Dt} = 64,75 \cdot 0,6 = 38,85 \text{ MPa}$$

$$W_k = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{d_1^4 - d_2^4}{d_1} = 231,94 \text{ mm}^3$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{5\,157,74}{231,94} = 22,24 \text{ MPa}$$

Vypočtené napětí v krutu je menší než dovolené, z toho plyne, že trubka vydrží namáhání na krut.

Výpočet výkonu

Dáno: $M_k = 5,157 \text{ Nm}$

$$n = 1\,400 \text{ ot/min.}$$

$$P_{\text{stroje}} = 7,5 \text{ kW}$$

$$P = M_k \cdot \omega = M_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = 5,157 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{1400}{60}$$

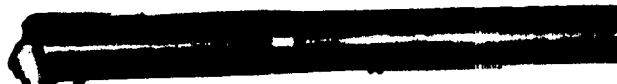
$$P = 756,16 \text{ W} = 0,756 \text{ kW}$$

Zvolená vyvrtávačka WH 63 vynovuje danému nástroji a přitom si zachovává ještě velkou výkonovou rezervu.

4.2.3 Praktické ověření tohoto nástroje

Zkouška byla provedena v závodě LIAZ Hanychov na dvou-
vřetenovém vrtacím stroji staršího typu Zbrojovka Brno, který
je používán k vrtání vačkových hřídelů. Na tomto stroji je
nastaven posuv $s = 0,06 \text{ mm/ot}$ a otáčky $n = 1400 \text{ ot/min.}$,
kterým při vrtaném průměru $14,4 \text{ mm}$ odpovídá řezná rychlost
 $v = 61 \text{ m/min.}$ Změna otáček a posuvů není na tomto stroji
možná. Pro vrtání se použil řezný olej P3. Tlak řezného ole-
je se pohyboval mezi 2 MPa a 3 MPa . Průtočné množství od
 50 do 60 l/min. Schéma vrtacího stroje odpovídá uspořádání
na obr. 13 kap. 3.5. Rotační pohyb provádí obrobek a posuvný
pohyb nástroj.

Nástrojem pro vrtání byl použit vrták systému BTA o
průměru $14,4 \text{ mm}$ a délce 1200 mm . Konstrukce vrtáku a jeho
geometrie jsou znázorněny na výkrese č. 2-KOM-OM-229-01-14
a obr. č. 22.



Obr. č. 22

Obrobkem byly tři vzorky z ocelí 11 523, 14 220, 19 663,
stejného průměru 51 mm a délky 520 mm . Navrtávání vzorků bylo
provedeno navrtávkem $\varnothing 14,5 \text{ mm}$ do hloubky 30 mm na soustruhu

SU 32. U vzorku z oceli 19 663 došlo k mechanickému poškození navrtávačku.

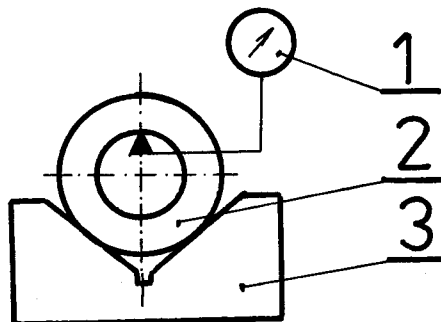
Cílem zkoušky bylo kromě praktického ověření zvolené technologie zjistit její produktivitu, jakost opracovaného povrchu a rovnoběžnost otvoru s vnějším povrchem.

Určení produktivity vrtání novou metodou spočívalo ve zjištění času potřebného pro vyvrtání otvoru, který v tomto případě odpovídal času strojnima. Tento čas lze jednoduše zjistit výpočtem z daných řezných podmínek a hloubkou otvoru podle vztahu $t_s = \frac{1}{n \cdot s}$. V našem případě vypočtená hodnota $t_s = \frac{500}{1400 \cdot 0,06} = 5,95$ min. plně potvrzuje hodnotu uváděnou v prospektových materiálech zahraničních firem. Další hodnoty strojních časů uvádím v kap. 5 ekonomického zhodnocení.

4.2.3.1 Měření přímosti díry

Pro změření rovnoběžnosti díry s daným povrchem bylo nutné vzorek postupně rozřezat na jednotlivé kroužky, abychom zjistili úchyly v jednotlivých částech vzorku. Změřené úchyly jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Schema měření je znázorněno na obr. č. 23, kde 1 je číselníkový úchylkoměr, 2 měřený kroužek a 3 prisma, do kterého se kroužek ustaví. U každého kroužku se jeho potáčením zjistí maximální úchylna.



Obr. č. 23

Kroužek číslo	Tloušťka kroužku [mm]	Úchylka [mm]
1	10,4	0,03
2	94	0,1
3	90	0,15
4	88	0,25
5	92	0,35
6	21	0,5

Tabulka č. 4

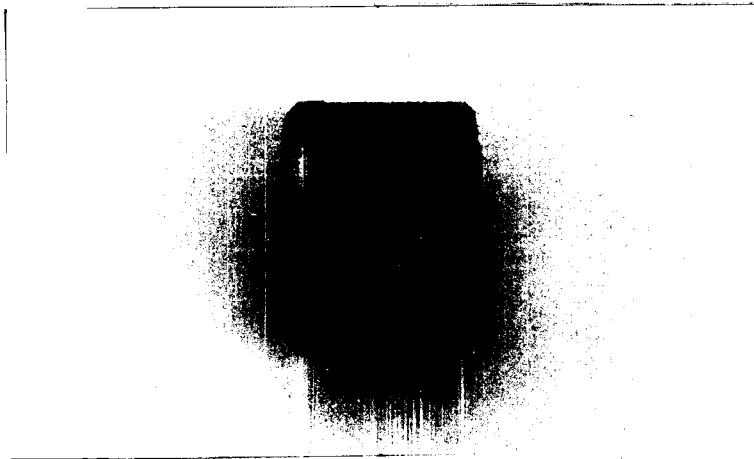
Maximální úchylka změřená na posledním kroužku činí 0,5 mm. Jestliže na 400 mm vrтанé délky je úchylka 0,5 mm, potom na 1200 mm vrтанé délky lze předpokládat /při zjednodušujícím předpokladu, že se jedná o lineární průběh/, že dosáhne hodnoty 1,5 mm.

4.2.3.2 Měření drsnosti povrchu

Z každého vzorku byl vyříznut váleček dlouhý asi 100 mm, který se potom musel podélně rozfrézovat. Drsnost povrchu byla měřena zahraničním přístrojem Hommel-Tester.

a/ Vzorek z oceli 11 523 obr. č. 24

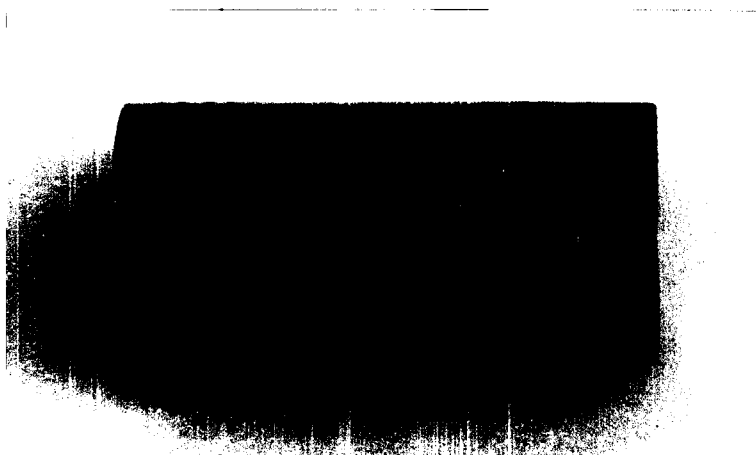
Na obrázku je dobře vidět šroubová stopa, která vznikla mechanickým poškozením vodítka při zpětném vyjíždění nástroje ze záběru. Drsnost na lesklých plochách dosahuje hodnoty $R_a = 0,13 \mu\text{m}$, na matných plochách hodnoty $R_a = 0,7 \mu\text{m}$. Grafický záznam z přístroje uvádím na obr. č. 27, kde 10 mm výšky reliéfu odpovídá $1 \mu\text{m}$. Velikost měřené dráhy je 2 mm.



Obr. č. 24

b/ Vzorek z oceli 14 220 obr. č. 25

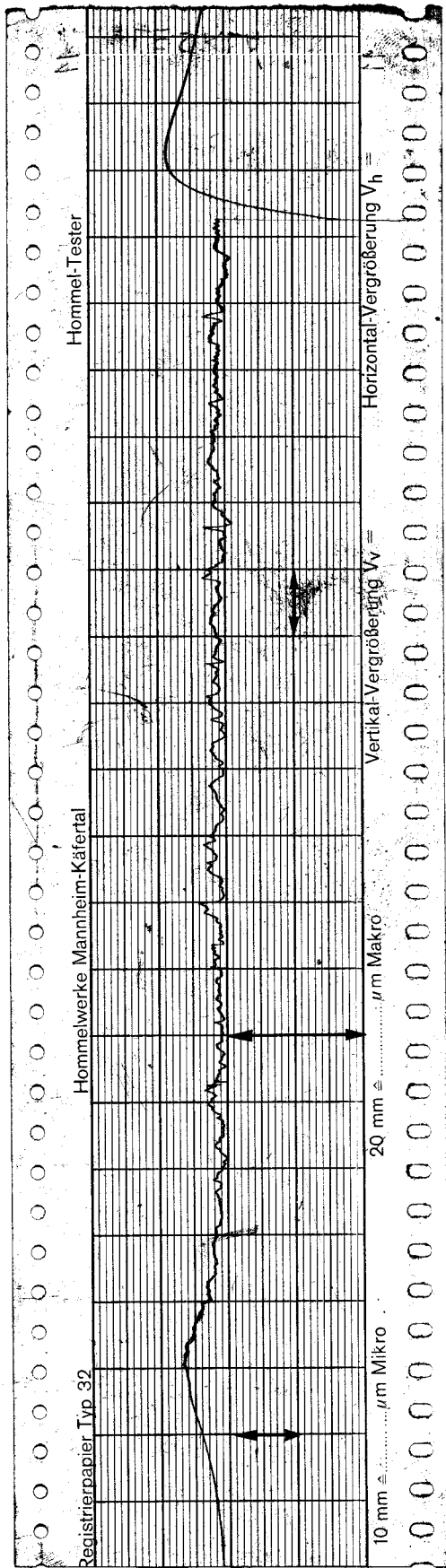
Na obrázku jsou též dobře znatelná místa s lesklými a matnými pruhy. Lesklé pruhy dosahují hodnoty drsnosti $R_a = 0,26 \mu\text{m}$ a matné hodnoty $R_a = 0,34 \mu\text{m}$. Grafický záznam uvádím na obr. č. 28, kde měřítko je stejné, 10 mm výšky odpovídá $1 \mu\text{m}$. Velikost měřené dráhy je 6,3 mm.



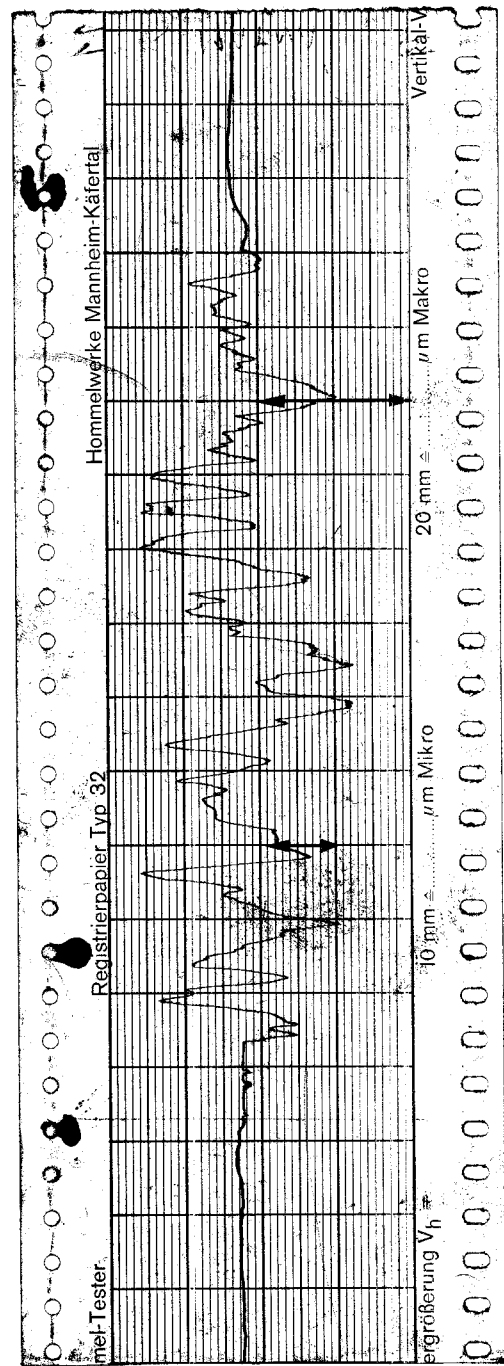
Obr. č. 25

c/ Vzorek z oceli 19 663 obr. č. 26

Obrázek je opět charakteristický místy s lesklými a matnými pruhy. Dosažené hodnoty drsnosti na lesklých a matných místech jsou $R_a = 0,49 \mu\text{m}$.

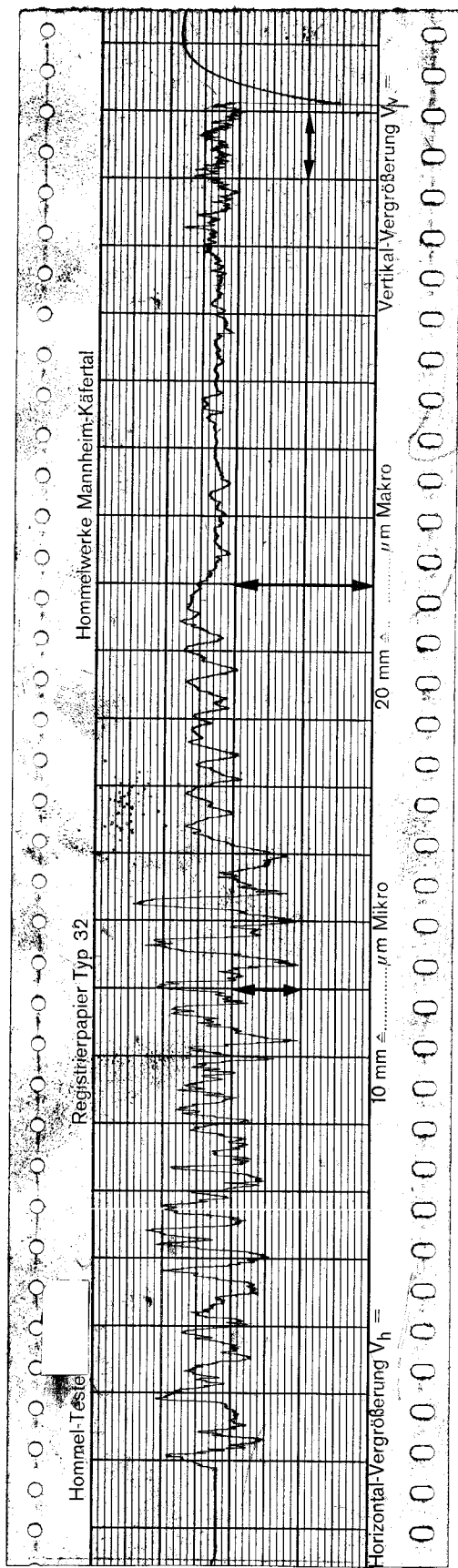


Pro lesklý povrch

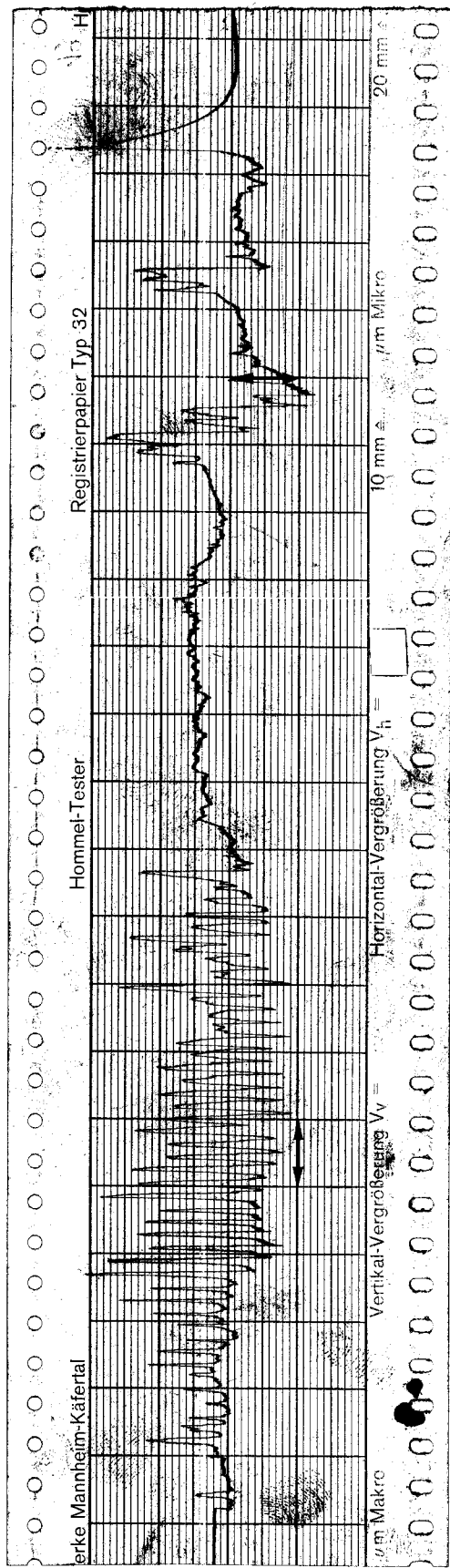


Pro matný povrch

Obr. č. 27

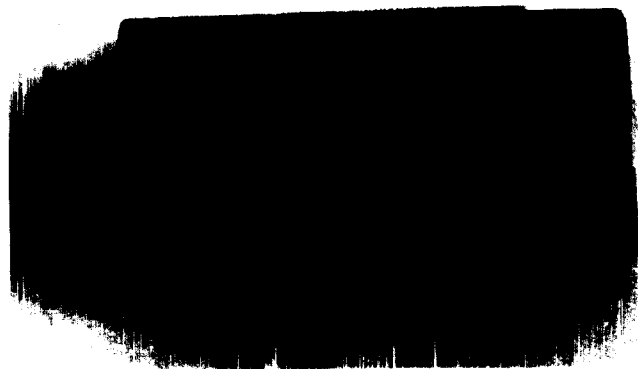


Obr. č. 28



Obr. č. 29

Grafický záznam uvádím na obr. č. 29, kde měřítko je opět stejné, 10 mm výšky odpovídá 1 μ m. Velikost měřené dráhy je 6,3 mm.



Obr. č. 26

4.2.3.3 Zhodnocení zkoušky

Zkouška vrtáním do vzorků z různých ocelí proběhla za poměrně nepříznivých podmínek:

- vrták byl již částečně opotřeben předchozím obráběním
- vrtací stroj a řezná kapalina nebyly zahřáty na provozní teplotu, při které jsou výsledky vrtání nejlepší
- nebylo možné měnit otáčky ani posuv, které byly pevně nastaveny pro vrtání vačkových hřídelů z mat. 12 050.

Přes všechny tyto nedostatky zkouška ukázala, že materiál půjde touto cestou dobře vrtat. Při zkoušce došlo u vzorku z oceli 11 523 jednou k ucpání vrtáku třískami a u vzorku 14 220 též jednou. Ucpání bylo zapříčiněno špatným tvarem třísek, nedobráželo k tvorbě drobných třísek, ale celistvých, které měly za následek ucpání vrtáku. Tvar třísek, který by měl být ideální, je na obr. č. 30. Skutečný tvar třísek

z oceli 11 523 je na obr. č. 31, z oceli 14 220 na obr. č. 32 a z oceli 19 663 na obr. č. 33. Z obrázků je patrné, že ideálnímu tvaru se blíží tříška z oceli 19 663.

Špatný tvar třísek navrhuji odstranit vytvořením žlábků na čele řezného plátku, který by fungoval jako lamač třísek.

Rovněž nebylo dosaženo rovnoběžnosti, která by měla být podle literárních pramenů 0,02 mm na 100 mm délky. Na úchylku mělo vliv mnoho faktorů, např. přesnost navrtání, přesnost upnutí, přesnost naostření, házivost včetně stroje atd. Naměřená hodnota 0,5 mm na 400 mm délky, oproti vrtáním šroubovitými vrtáky je relativně velice dobrá, protože u nich byla naměřena úchylka i 5 mm.

Měření drsnosti jsme dosáhli velice dobrých výsledků. Po konzultaci na katedře Tváření a plasty, mi bylo řečeno, že tyto hodnoty drsností jsou velice příznivé jak pro rozvod chladicí kapaliny, tak i samotného platu.



Obr. č. 30



Obr. č. 31



Obr. č. 32



Obr. č. 33

4.3 Volba řezné kapaliny

Volbu nejvhodnější řezné kapaliny /též řezného oleje/ jsem provedl v souladu s kap. 3.7, která vytyčuje požadavky kladené na řeznou kapalinu a vycházel jsem též ze zkušeností, které mi byli poskytnuty pracovníky závodu LIAZ - Hanychov.

Nejvhodnější řezné oleje pro navržené nástroje jsou oleje o viskozitě do 3^o Englera, pracující při teplotě 35 + 50^oC. Z našich druhů je vhodný pro malé průměry olej P2 DS a pro větší vrtané průměry P4 DS. Oba druhy olejů vyrábí s.p. Benzina. Dalším vhodným řezným olejem je Ejektor, který je speciálně určen pro hluboké vrtání a používá se na všechny vrtané průměry. Výrobce je OPF Praha - západ. Viskozity olejů, které uvádím jsou uvedeny v příloze č. 4. Závislost průtočného množství a potřebného tlaku na vrtaném průměru uvádím v příloze č. 3.

Existuje řada podniků, zabývajících se otázkou hlubokého vrtání, kteří si obstarávají řezný olej ze zahraničí. Jedná se o olej firem SHELL-GARIA H, CMT - UNIPLUS 5 - 30, CASTROL atd.

Cena jednoho kilogramu oleje se u tuzemských druhů pohybuje od 4 + 15,- Kčs, u zahraničních asi 40,- Kčs.

5. Ekonomické zhodnocení

Technologie vrtání novou metodou /dělovým vrtákem a BTA systém/ můžeme považovat za velice progresivní, která má mnoho výhod oproti dosavadní používané technologii vrtání šroubovitým vrtákem. Pro výpočet úspor ze zavedení nové technologie, vycházíme ze stávajících normativů pro vrtání těchto otvorů na vrtačce VR 4A. Pro vyhodnocení nové technologie vycházíme ze zahraničních prospektových materiálů a konzultací v VŠST Liberec, LIAZ Hanychev, Chodos s.p. Chodov, Agrozet s.p. Uherský Brod.

Jako příklad uvádíme hodnoty pro průměry otvorů 8 mm; viz. tabulka č. 5.

Délka otvoru [mm]	Klasické vrtání [min.]	Dělový vrták [min.]
100	6,5	3,8
150	9,5	4,7
200	16	5,6
250	22	6,5
300	31	7,5
350	45	8,4
400	57	9,3
450	71	10,2
500	81	11,1
550	94	12
600	107	12,9
650	116	13,8
700	131	14,7

Tabulka č. 5

Obdobně jsme postupovali i u otvorů Ø 6, 10, 12, 16 mm.
 Pro srovnání jsme zvolili 8 ks vstřikovacích forem různých
 velikostí a složitostí. /Lit. 14/ - Viz. tabulka č. 6.

Forma /číslo výrobku/	Úspora pracnosti /Nh/
134 517	5,25
344 029	3,72
112 511	5,98
138 115	5,51
112 441	4,82
357 018	3,94
112 593	32,06
357 517	59,65

Tabulka č. 6

1/ Úspora pracnosti

Ø úspora pracnosti na 1 formu činí 15,12 Nh
 roční výroba je asi 50 ks forem
 celková roční úspora je $15,12 \times 50 = \underline{756 \text{ Nh}}$

2// Porovnání cen vrtáků

a/ Nákupní ceny vrtáků šroubovitých:

Ø 6	mm	30,50 Kčs
Ø 8	mm	38,-- Kčs
Ø 10	mm	88,-- Kčs
Ø 12	mm	90,50 Kčs
Ø 14	mm	98,-- Kčs
Ø 16	mm	145,-- Kčs
Celkem		490,-- Kčs

b/ Ceny dělových vrtáků a vrtáků systému BTA, které by se vyráběly v podniku Plastimat

Pro vyčíslení jsem si vybral vrták o \varnothing 14 mm.

Přímé náklady na materiál: 39,-- Kčs/ks

Přímé náklady na mzdy: 136,-- Kčs/ks

Nepřímé náklady: $\frac{PN \text{ na mzdy}}{100} \cdot \% \text{ režie} = \frac{136}{100} =$
 $= 621,52 \text{ Kčs/ks}$

Celkové náklady: 39,-- + 136,-- + 621,52 = 796,52 Kčs/ks

Obdobně se dají vyčíslit náklady pro ostatní průměry vrtáků.

Platí:

\varnothing 6 mm	247,90 Kčs
\varnothing 8 mm	308,90 Kčs
\varnothing 10 mm	715,20 Kčs
\varnothing 12 mm	735,60 Kčs
\varnothing 14 mm	796,50 Kčs
\varnothing 16 mm	1 178,50 Kčs
Celkem	3 982,60 Kčs

Roční spotřeba šroubovitých vrtáků je asi 10 ks od každého průměru.

Roční spotřeba navrnutých vrtáků, při minimálně dvojnásobně větší životnosti, je poloviční.

Rozdíl = 3 982,60 \cdot 5 - 490 \cdot 10 = 15 013,-- Kčs

Tento rozdíl odečítám ve vzorci pro úsporu provozních nákladů.

c/ Nákup vrtáků ze zahraničí

Dle sdělení pracovníků s.p. Agrozet Uherský Brod se pohybuje cena dělového vrtáku v rozmezí 1500+2000 devizových korun.

3/ Doba úhrady T_ú

Jednorázové investiční náklady:

Filtrační zařízení	20 000,-- Kčs
Přípravek na WH 63	7 000,-- Kčs
Celkem	27 000,-- Kčs

Ø roční úspora provozních nákladů:

Mzda 8. třída sazba 14,40 Kčs/mod.

Úspora PN na mzdy činí: $756 \cdot 14,40 = 10\,886,40$ Kčs

Úspora NN činí: $\frac{\text{PN na mzdy}}{100} \cdot \% \text{ režie} = \frac{10\,886,40}{100} \cdot 457 =$
 $= 49\,750,80$ Kčs

Úspora provozních nákladů: $10\,886,40 \cdot 1,6 + 49\,750,80 -$
 $- 15\,013,-- = 52\,156,10$ Kčs

Koef. 1,6 vyjadřuje úsporu pracovníků

$T_{\text{ú}} = \frac{\text{JIN}}{\text{Ø roční úsp.}} = \frac{27\,000}{52\,156,10} = 0,52$ let

4/ Koeficient efektivnosti K_{ef}

$$K_{\text{ef}} = \frac{1}{T_{\text{ú}}} = \frac{1}{0,52} = 1,93$$

5/ Úspora pracovníků P

Efektivní časový fond pracovníka F_č = 1 890 Nh

Roční úspora pracovní Up = 756 Nh

Úspora počtu pracovníků $P = \frac{U_p}{F_{\text{č}}} = \frac{756}{1\,890} = 0,4$ pracovníka

6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout novou technologii a výrobní zařízení pro vrtání hlubokých děr. Navržená úprava vyvrtávačky WH 63 pomocí přípravku, vytváří z univerzálního stroje stroj hlubokovrtací s velice dobrou produktivitou práce. Stroj umožňuje podnikům, nemajícím speciální vrtací stroj, racionálně obrábět hluboké otvory o velmi dobré přesnosti a jakosti a ušetří tak náklady na nákup drahého jed noučelového stroje ze zahraničí.

Ekonomický přínos je tak příznivý, že návratnost investic je za půl roku. V tom jsou započítány i náklady na výrobu navržených nástrojů, jejichž výrobní cena ve srovnání se světovým trhem vychází skoro třikrát levněji.

Vzhledem k přesnosti vrtaných děr je možno vrtat mnohem blíže k tvářecímu prostoru, což má za následek lepší chlazení formy. Podstatně se tak zkrátí lisovací cyklus a vzroste produktivita práce.

Myslím si, že můj návrh v předložené diplomové práci nemusí být zcela definitivní, ale je to jedna z možností, jak daný úkol řešit.

Poděkování

Na závěr svého studia na vysoké škole bych chtěl touto cestou poděkovat všem vyučujícím, kteří přispěli svými vědomostmi a zkušenostmi k získání mých znalostí.

Při příležitosti odevzdání diplomové práce bych chtěl zvláště poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. V. Drábovi, CSc., konzultantovi Ing. Janouškovi a Ing. Čížkovi za cenné rady a připomínky, poskytnuté při zpracování diplomové práce.

7 Seznam použité literatury

- /1/ Bartoš, J.: Strojnické tabulky. SNTL Praha 1971
- /2/ Cronjäger, L.: Technologie des Tiefbohrrens.
Werkzeugmaschine International, Vogel
Verlag, Würzburg, Heft 5/1974
- /3/ Černocho, S.: Strojně technická příručka. SNTL Praha 1968
- /4/ Dráb, V.: Technologie I. VŠST Liberec 1985
- /5/ Hlavačka, Z.: Typové řada monolit. dělových vrtáků ze
slinutých karbidů /Zpráva 166/ Uherský
Brod, Vývojové technologie podniku Závody
přesného strojírenství, 1976
- /6/ Chinh Doan: Návrh hlubokovrtacího stroje. /Diplomová
práce/. Liberec 1984 - VŠST. Fak. strojní
- /7/ Plarson: High - Speed Bohring /Rychlostní vrtání/
Aircraft Produktion, č. 3.4, 1962
- /8/ Přikryl, Z. - Musílková, R.: Teorie obrábění.
SNTL/ALFA 1982
- /9/ Zavřel, V.: Přídavné zařízení k soustruhu SU 32.
/Diplomová práce/. Liberec 1985 - VŠST.
Fakulta strojní
- /10/ IV. Konferencia o vrtání hlbokých otvorov. ZP-SVTS
pri s.p. ZŤS Dubnica nad Váhom 1985
- /11/ V. Konferencia o vrtání hlbokých otvorov. ZP-SVTS
pri s.p. ZŤS Dubnica nad Váhom 1988

/12/ Návod k obsluze vodorovné vyvrtávačky WH 63

/13// Prospektové materiály firmy - Heller Bremen

- Nagel

- TBT

- Zastava

- VDF

- Botek

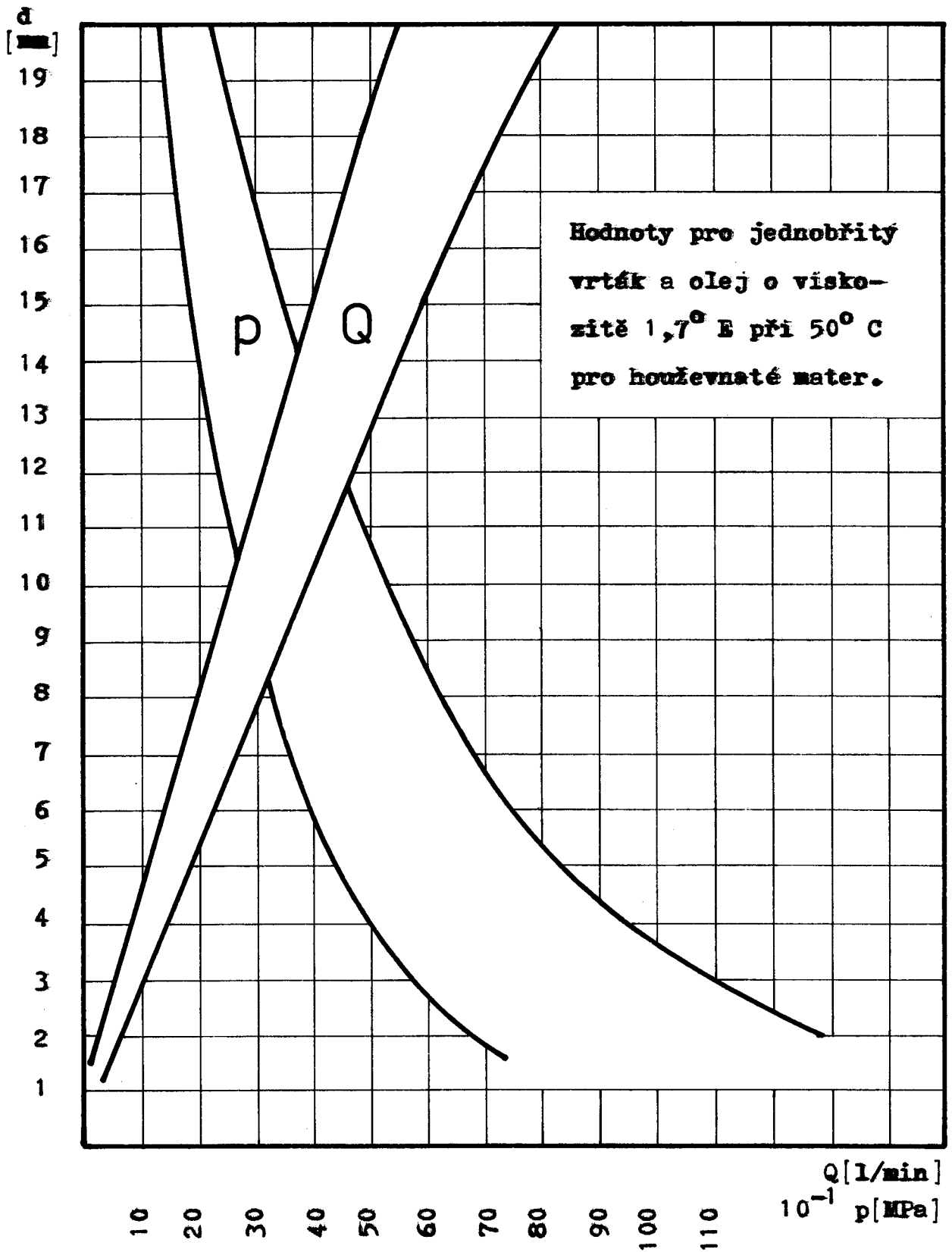
/14/ Technická zpráva o vrtání hlubokých děr v s.p.

Plastimat Liberec

8 Seznam příloh

Příloha č. 1	výkres přípravku:	sestava	1 ks
		detaily	15 ks
		kusovník	2 ks
Příloha č. 2	skica vrtáku \varnothing 8 mm		1 ks
Příloha č. 3	graf závislosti průtočného množství a tlaku na průměru		1 ks
Příloha č. 4	graf závislosti kinematické viskozity na teplotě		1 ks
Příloha č. 5	graf závislosti průměru na posuvu		1 ks
Příloha č. 6	graf závislosti řezné rychlosti na otáčkách		1 ks

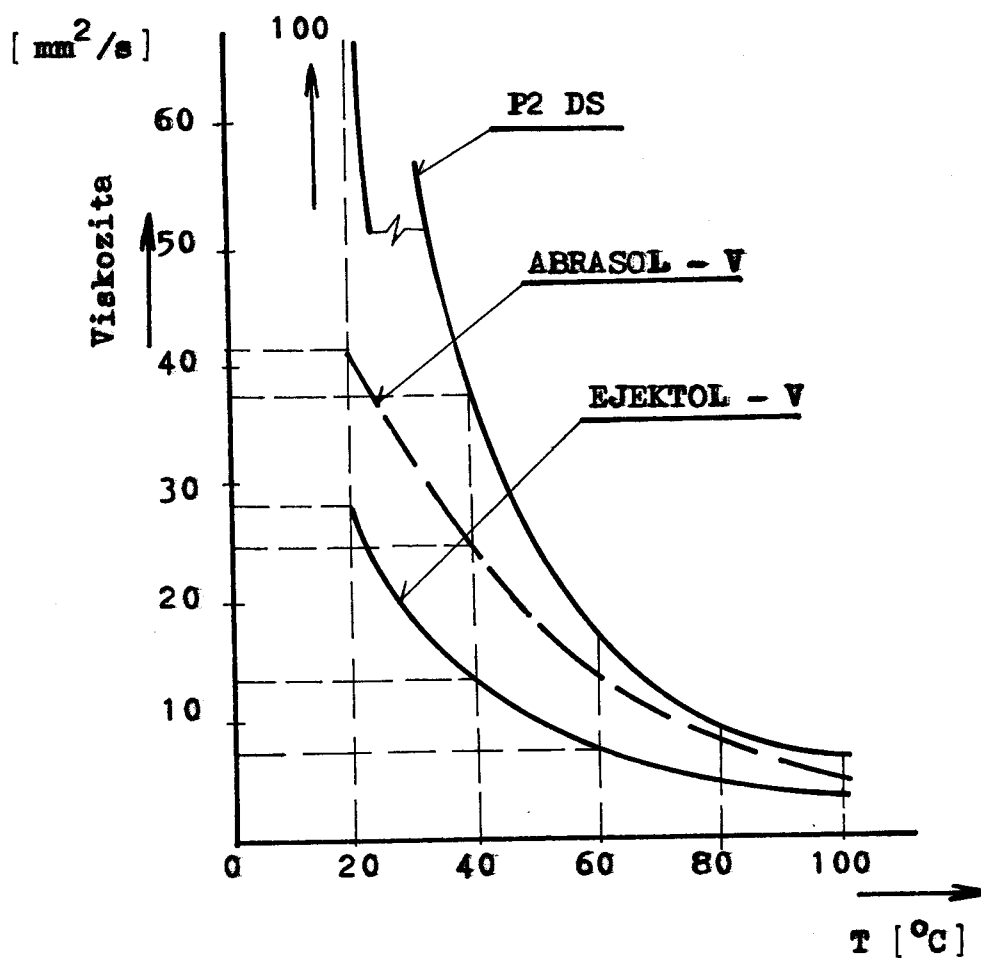
Závislost tlaku a množství oleje
na průměru vrtané díry

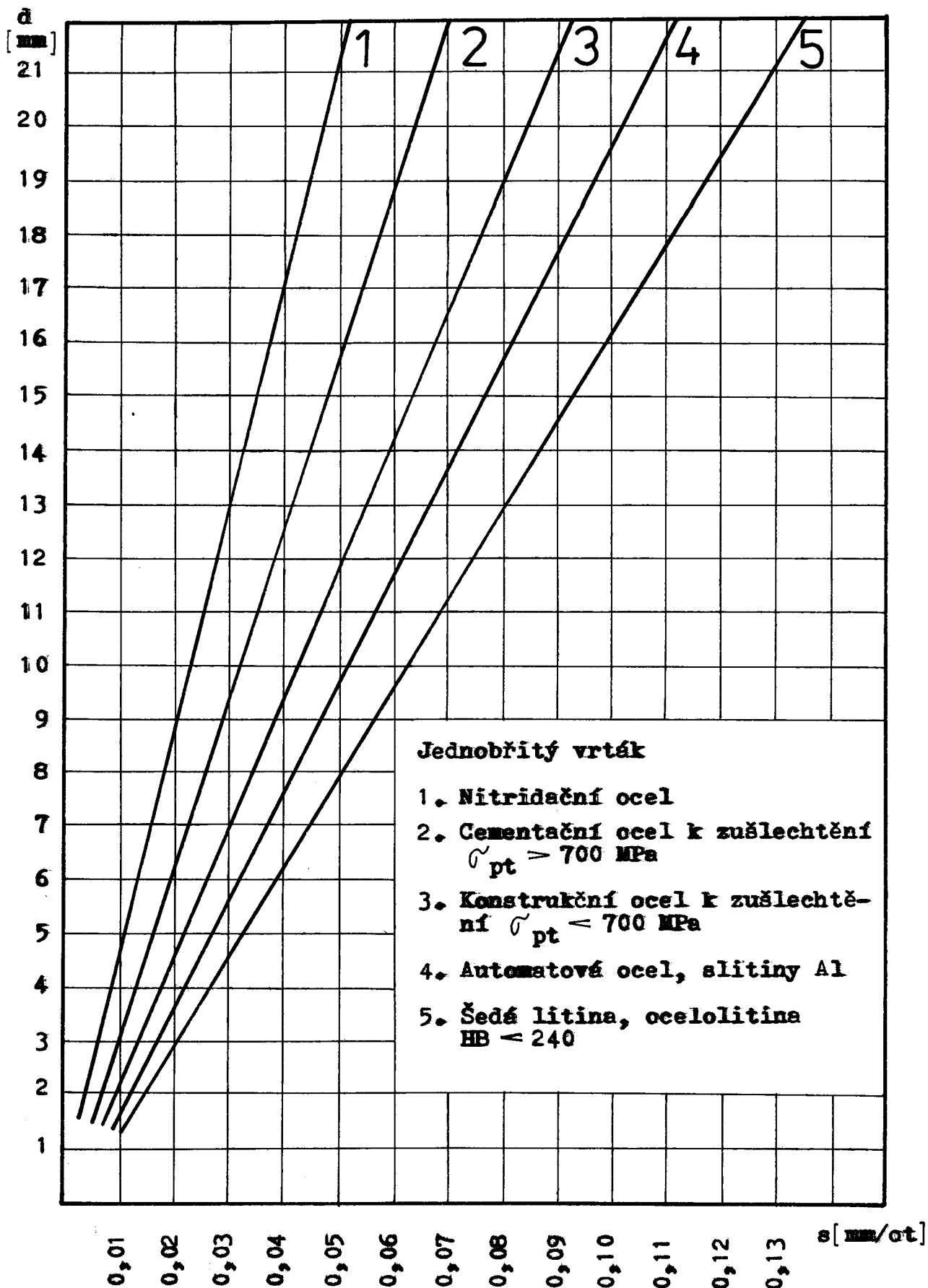


Změna viskozity chladicích olejů
v závislosti na teplotě

Příloha č. 4

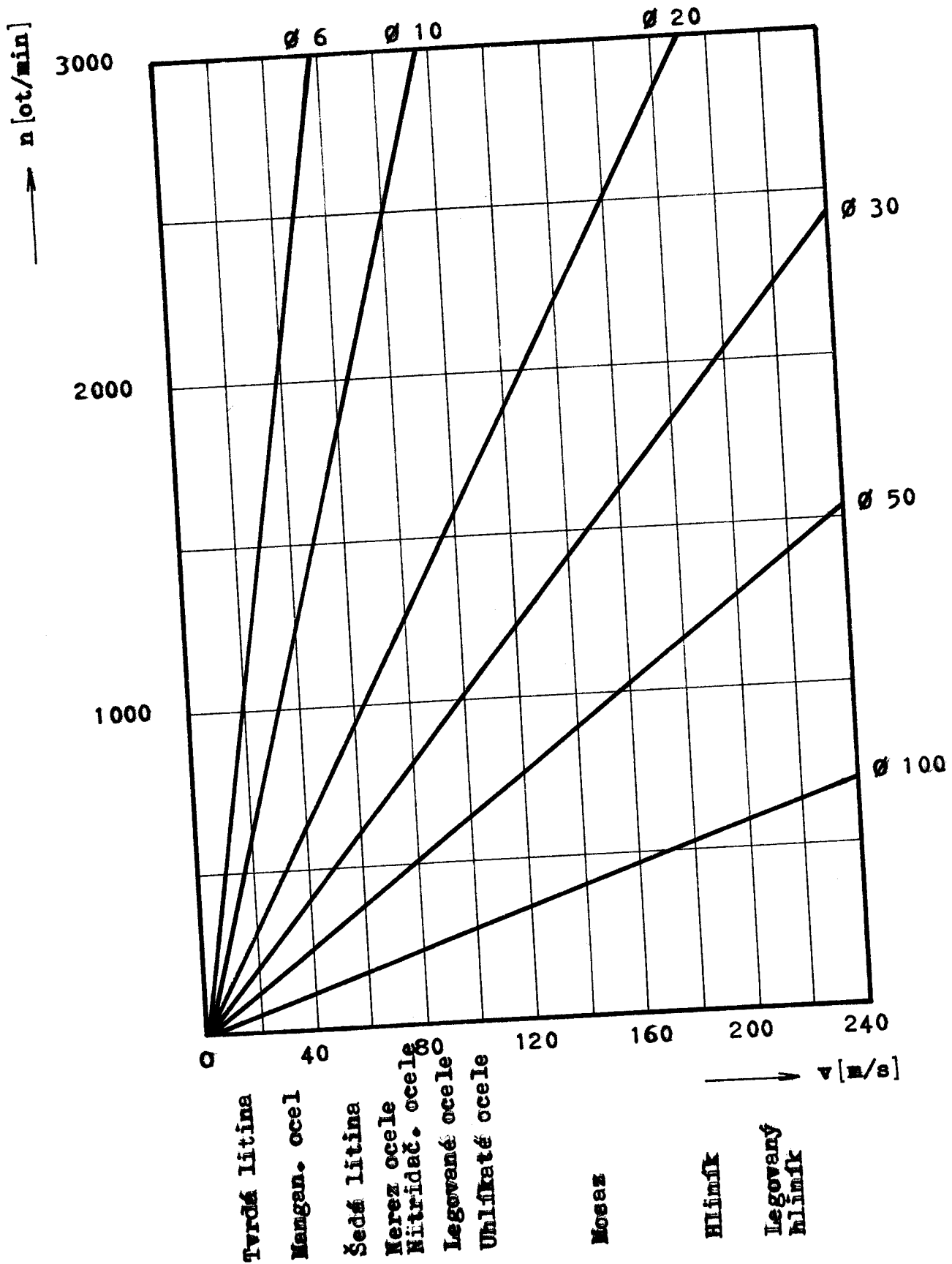
/11/



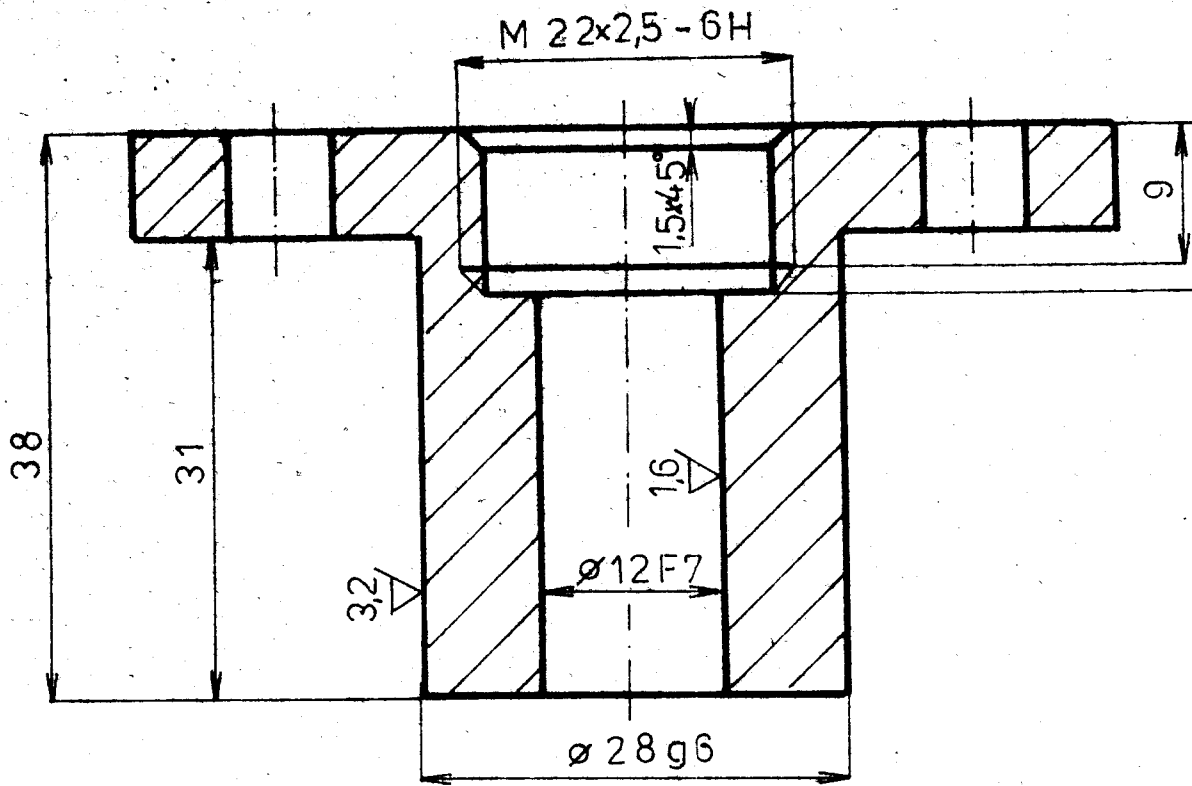


Závislost rezné rychlosti
na otáčkách

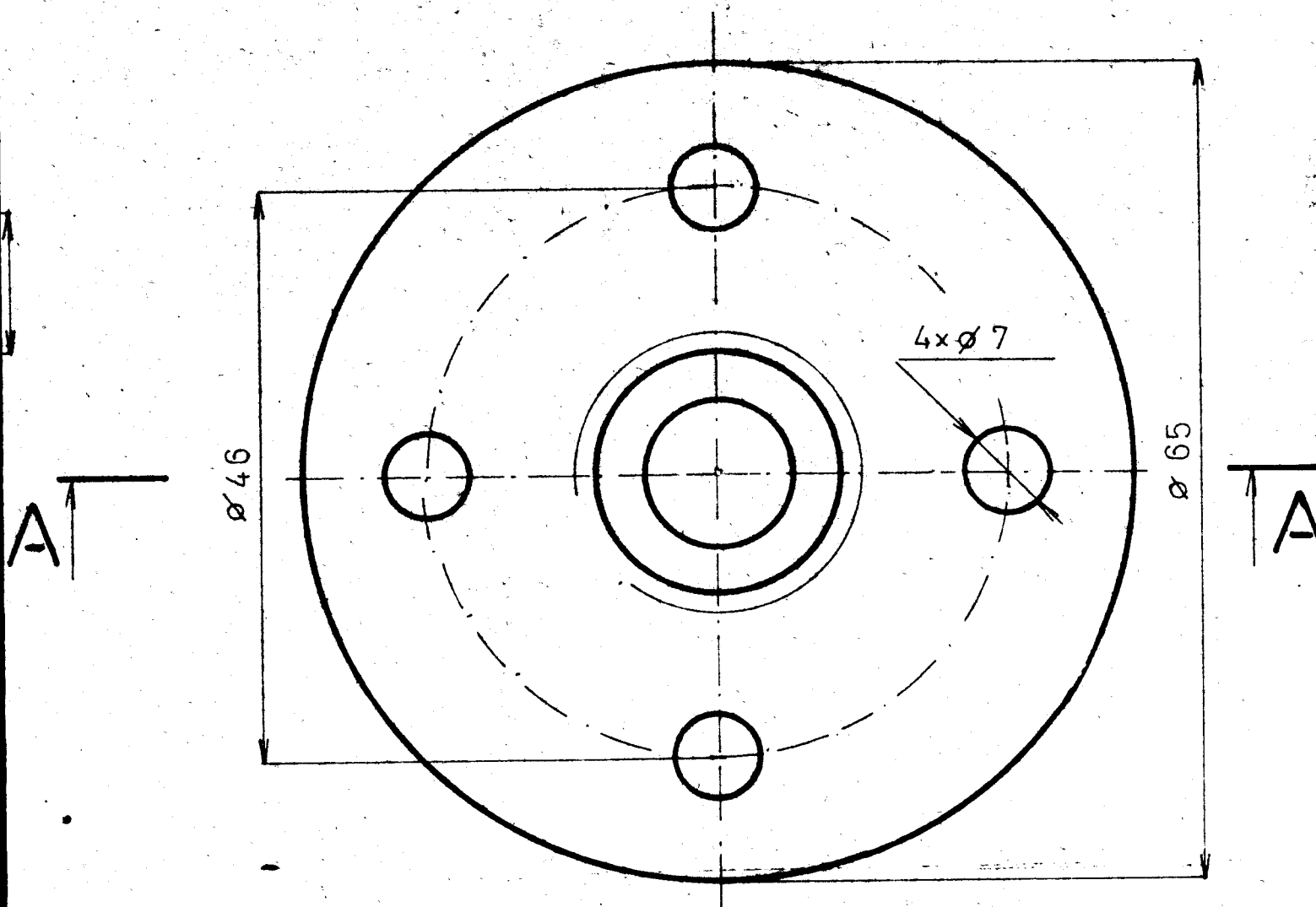
Příloha č. 6
/2/



A-A



63 (▽)



CEMENTOVÁNO DO HL 0,5 KALENO NA TVRDOST HRC 62

5.5
89

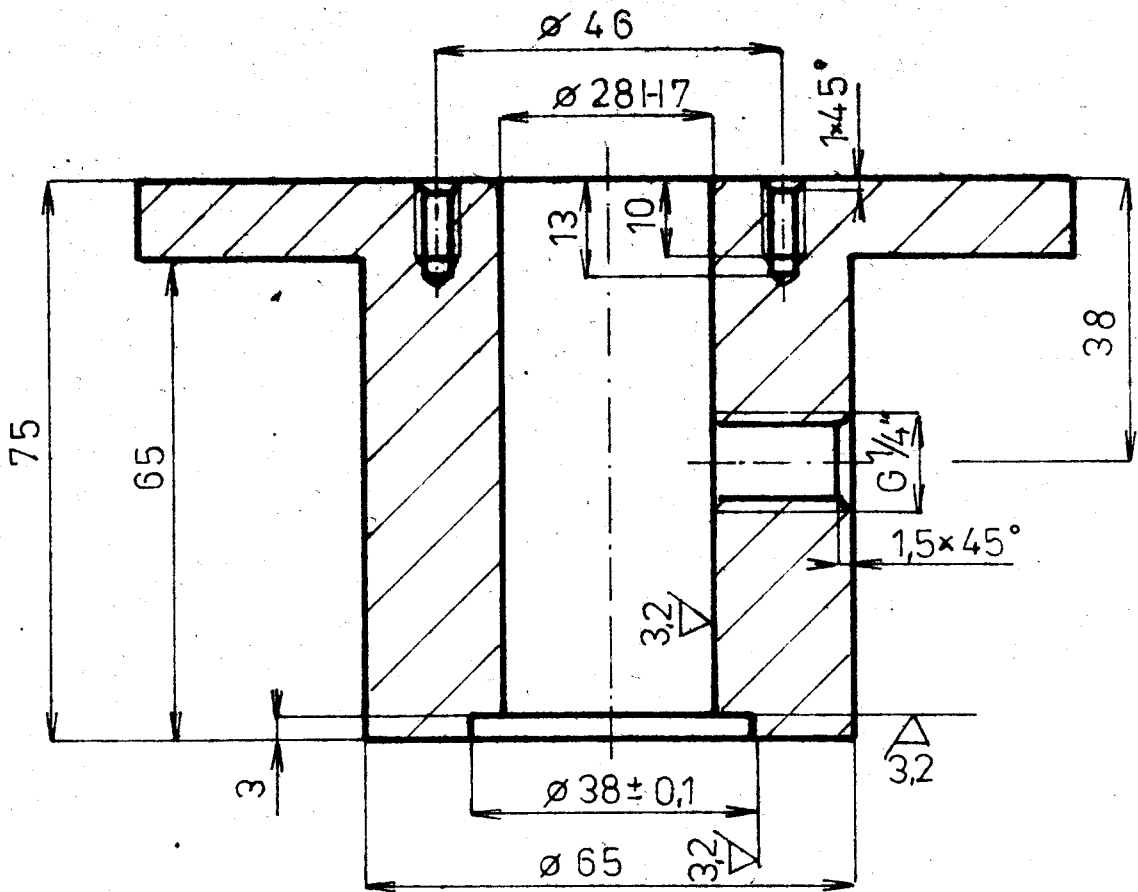
12 010.4 007
 $\varnothing 66-40$ ČSN 42 5510

2:1

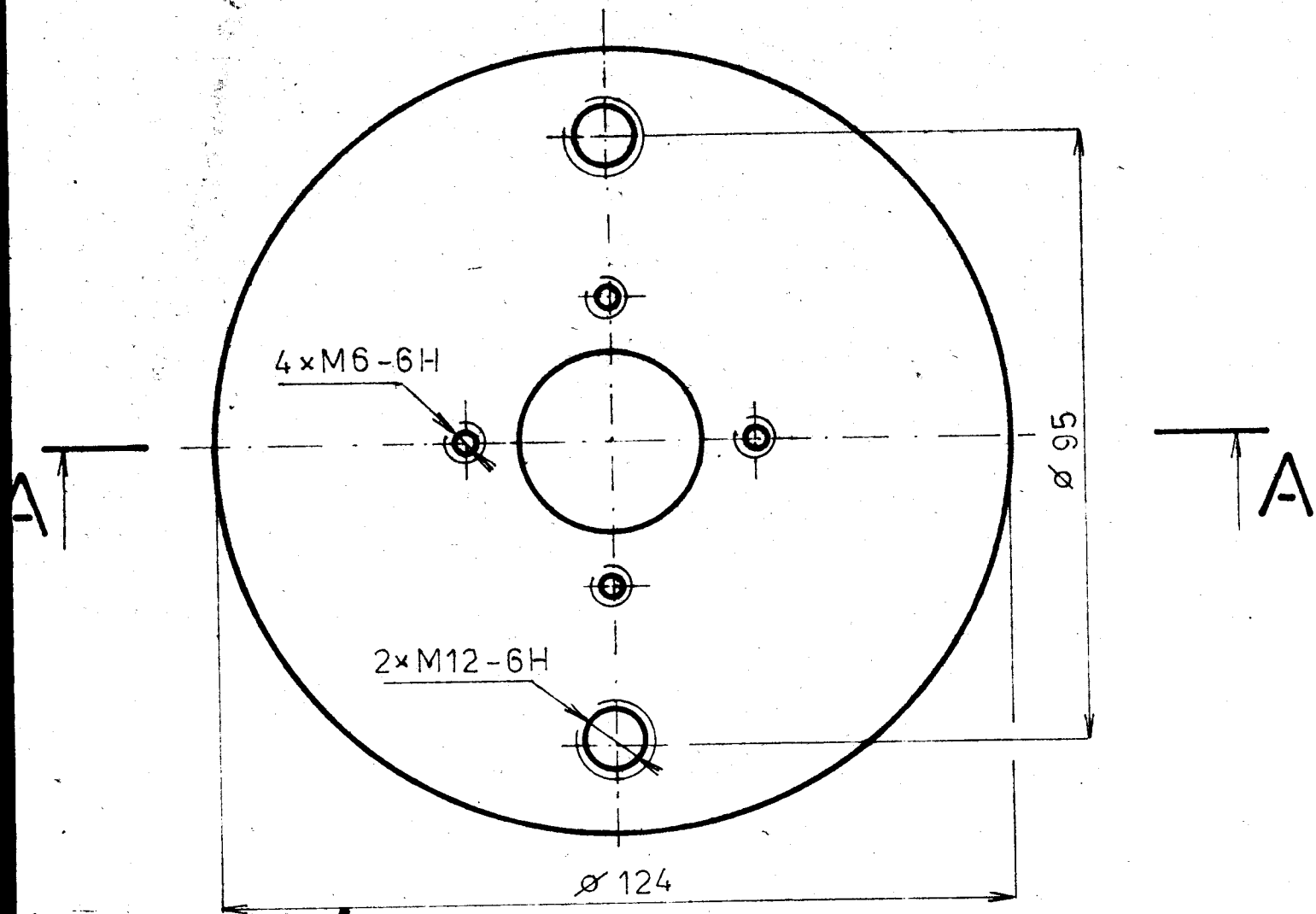
WICK

VODÍČÍ POUZDRO 3-KOM-OM-229-01-08

A-A



63 (▽)



5.5
89

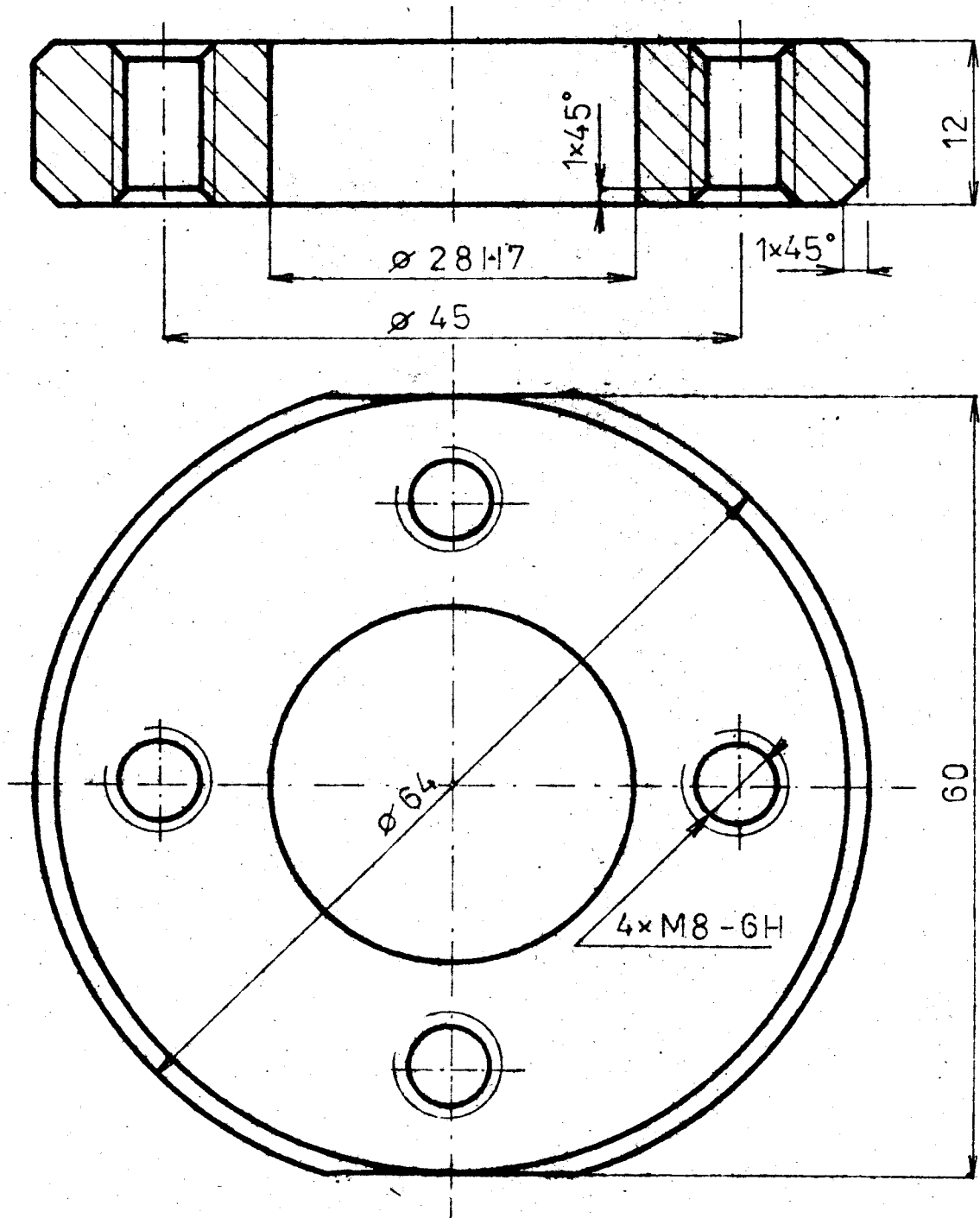
11 343
 $\varnothing 126-77$

007
ČSN 42 5510

1:1

TĚLESO

3-KOM-OM-229-01-05



11 343

 $\varnothing 66-14$

ČSN 42 5510

007

WICK

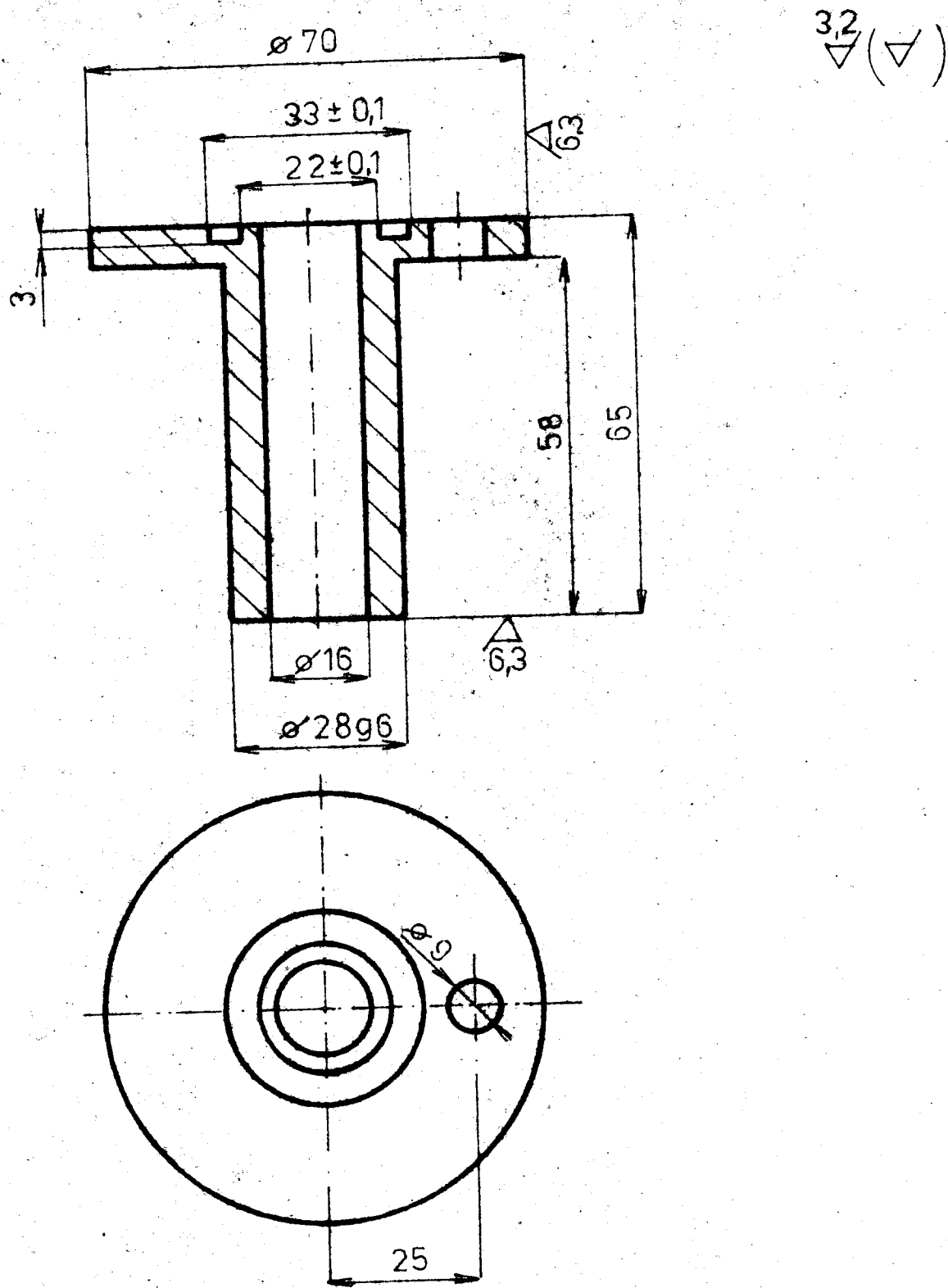
2:1

PRSTENEC

4-KOM-OM-229-01-07

(△) 32

△ 63



55
89

11 343 007
 $\varnothing 72-67$ ČSN 42 5510

WICK

1:1

POUZDRO 4-KOM-OM-229-01-06

1	Zákryt	Svařenec				1
1	Stojan	Svařenec			2-KOM-OM-229-01-01	2
1	Kryt	Odlitek	42 2415		K04 2-KOM-OM-229-01-02	3
1	Víko	Odlitek	42 2415		K04 3-KOM-OM-229-01-03	4
1	Příruba KR 130-20	ČSN	11 343		007 4-KOM-OM-229-01-04	5
1	Těleso KR 126-77	ČSN	11 343		007 3-KOM-OM-229-01-05	6
1	Pouzdro KR 72-67	ČSN	11 343		007 4-KOM-OM-229-01-06	7
1	Prsteneček KR 66-14	ČSN	11 343		007 4-KOM-OM-229-01-07	8
1	Vodící pouzdro KR 66-40	ČSN	12 010.4		007 3-KOM-OM-229-01-08	9
1	Těsnící pouzdro KR 34-22	ČSN	11 343		007 4-KOM-OM-229-01-09	10
1	Převl. matice KR 65-40	ČSN	11 600		001 4-KOM-OM-229-01-10	11
1	Hřídel KR 55-236	ČSN	12 060		002 3-KOM-OM-229-01-13	12
1	Kroužek KR 18-5	ČSN	11 343		007 4-KOM-OM-229-01-11	13
1	Hapín. šroub KR 18-30	ČSN	11 600		001 4-KOM-OM-229-01-12	14
1	Šroub G 1/4"	ČSN	11 523.0			15
1	Vrták	Svařenec			2-KOM-OM-229-01-14	16
1	Kroužek 22 x 5	ČSN	02 9281.2			17
1	Kroužek 12 x 4	ČSN	02 9281.2			18
2	Kroužek 42 x 5	ČSN	02 9281.2			19

WICK

5.5.89

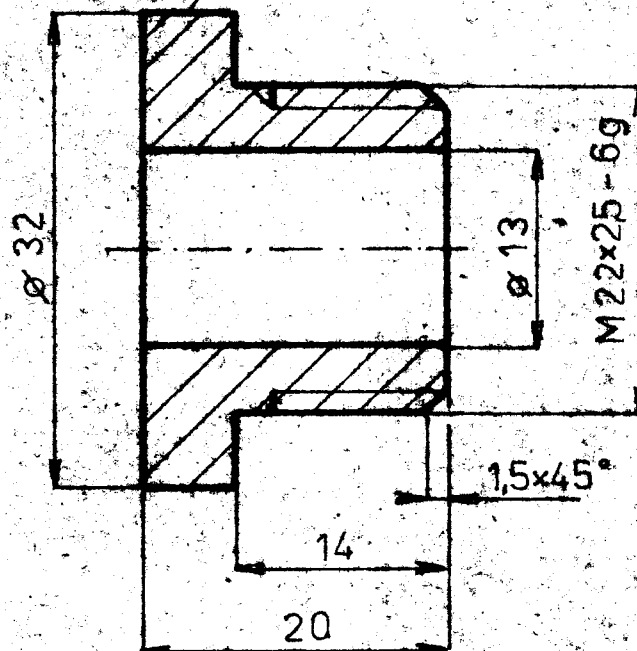
VŠST

LIBEREC

PŘÍPRAVEK 1-KOM-OM-229-01

VROUBKOVAT 1

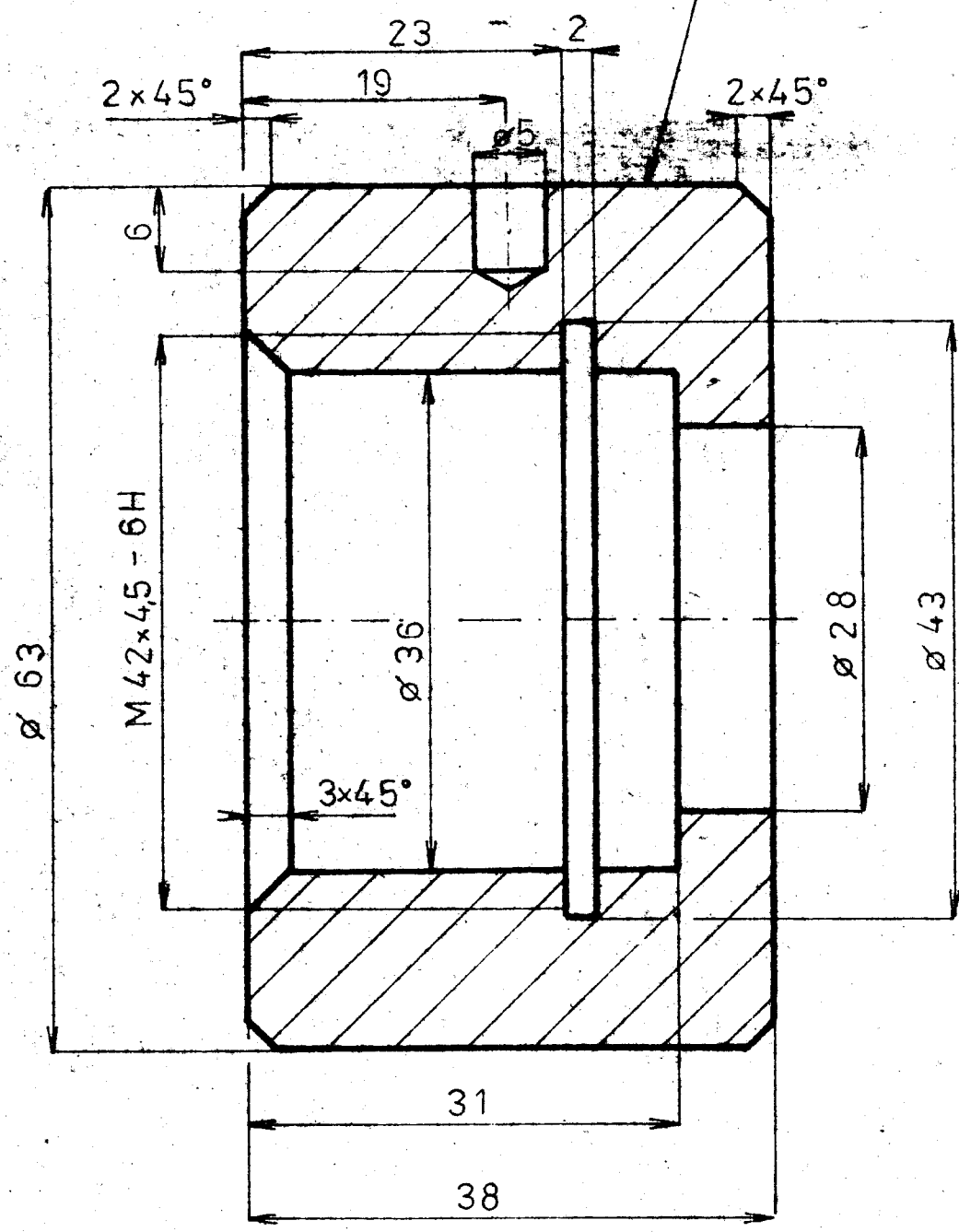
ČSN 01 4932



11343	1.1.007	WICK	LIBRE	2:1
$\varnothing 34 - 22$	CSN 42 5510			

TĚSNIČÍ POUZDRO 4-KOM-0M-229-0109

VROUBKOVAT 1 ČSN 01 4932



5.5
89

V 57

11 600 001
 $\varnothing 65-40$ ČSN 42 5510

2:1

WICK

PŘEVL. MATICE

4-KOM-OM-229-01-10

MORSE 4 ČSN 22 0425

∇ 1:19,254

$\sqrt{\text{0,01}}$.A

08

11,9h13

R11

R14

14

24

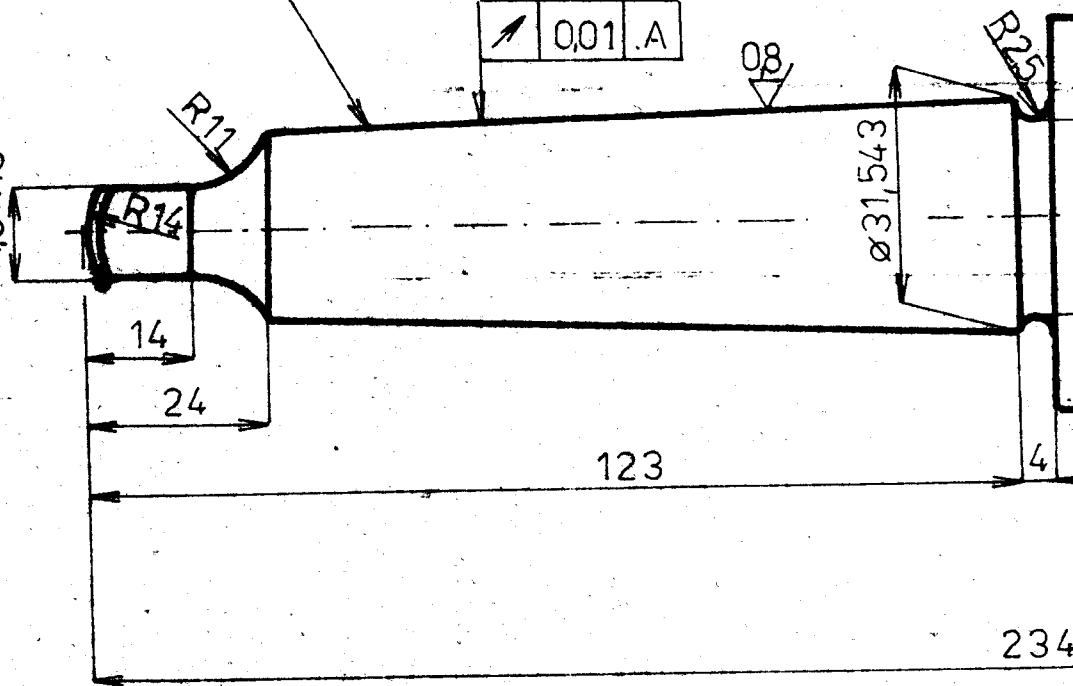
123

\varnothing 31,543

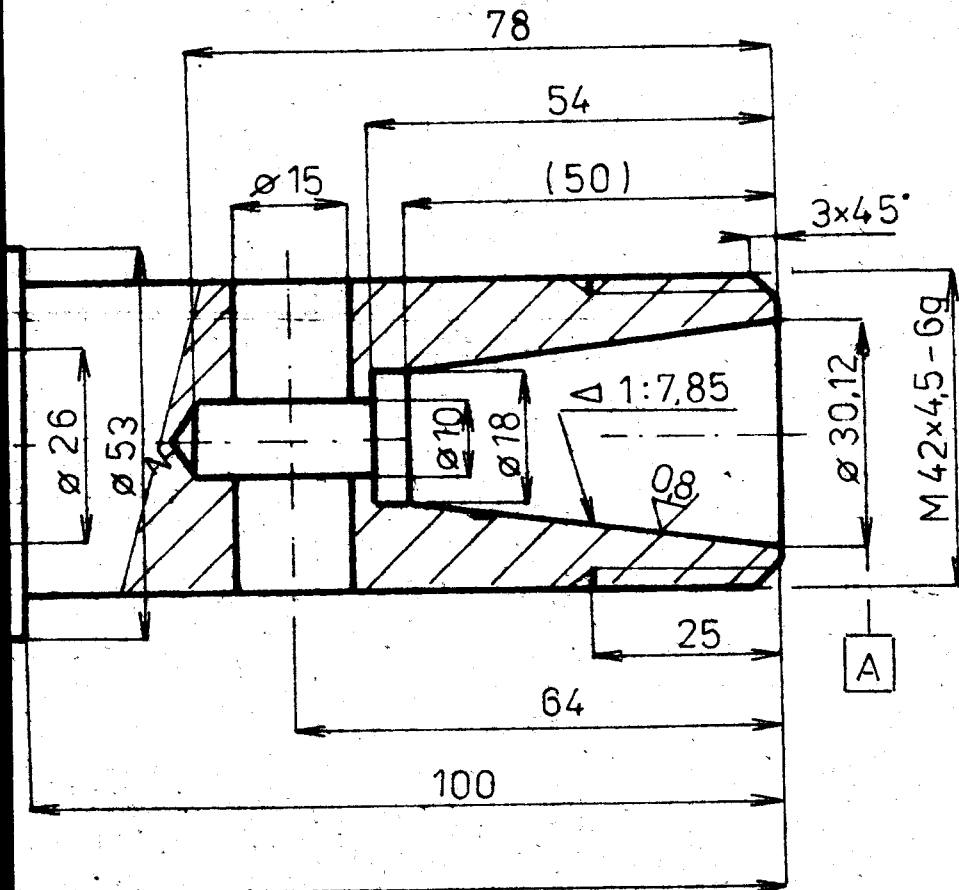
R25

4

234



3,2 (▽|▽|)



12 060 002
Ø 55 - 236 ČSN 42 5510

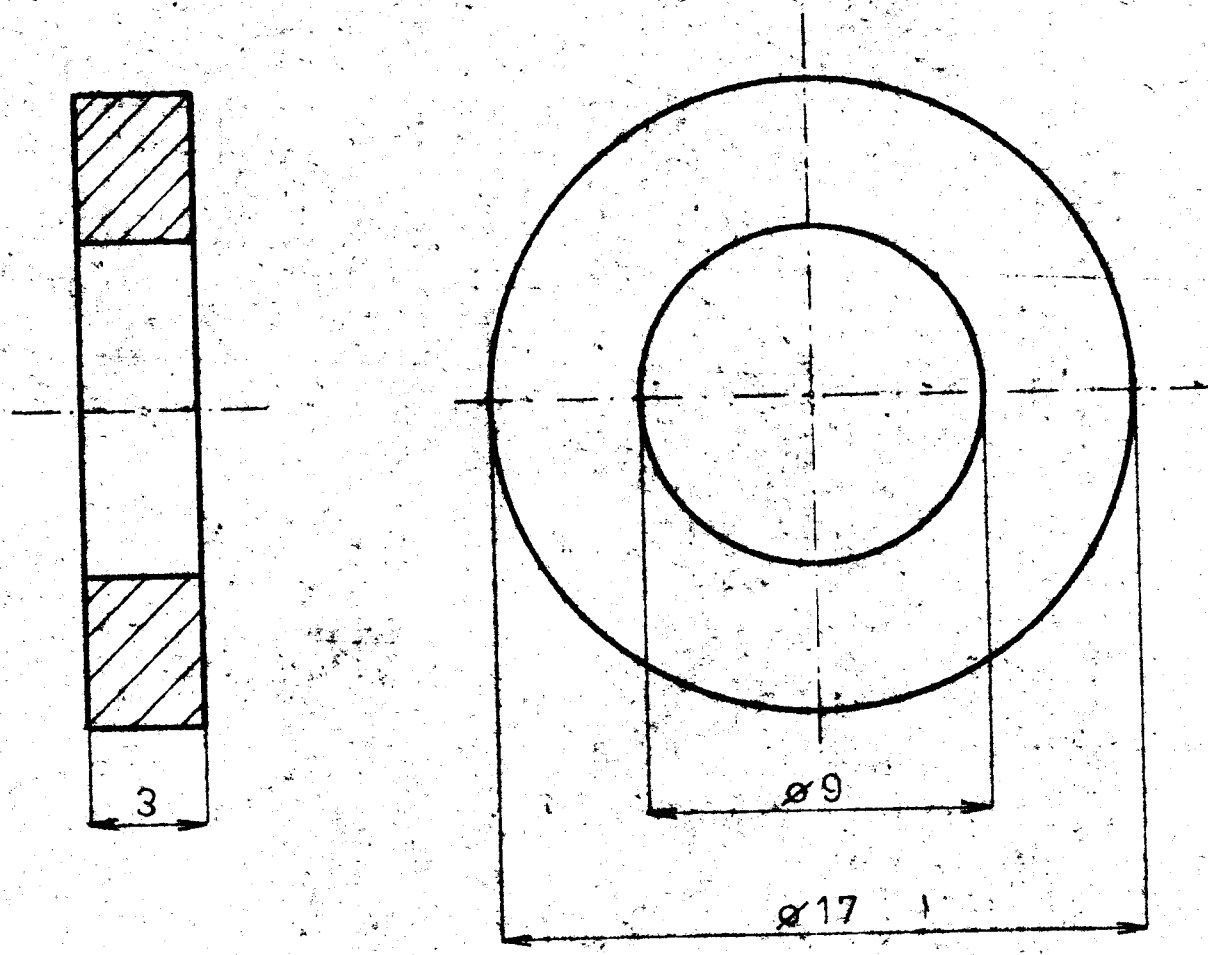
WICK

VST
LIBERER

1:1

HŘÍDEL

3-KOM-OM-229-01-13



11 343
Ø18-5
WICK

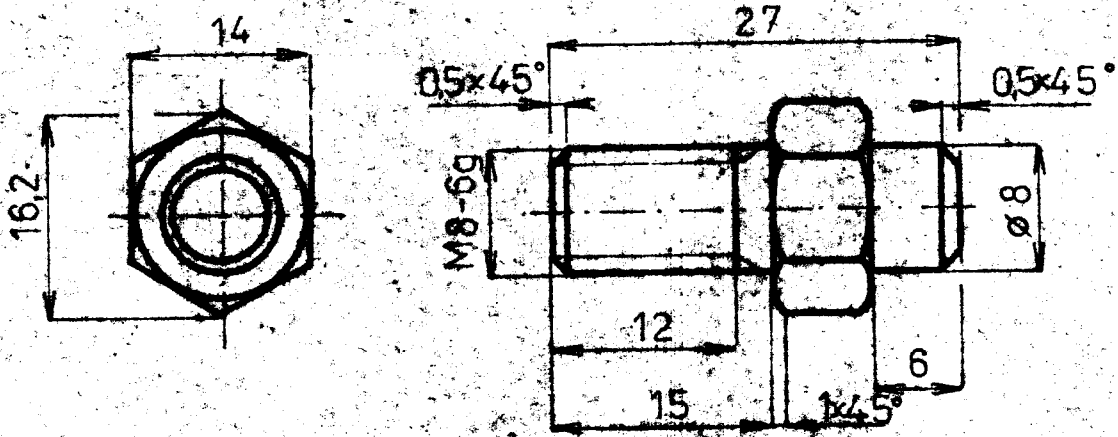
55
89

CSN 42 5510 007

5:1

KROUŽEK

4-KOM-OM-229-01-11



5.5
89

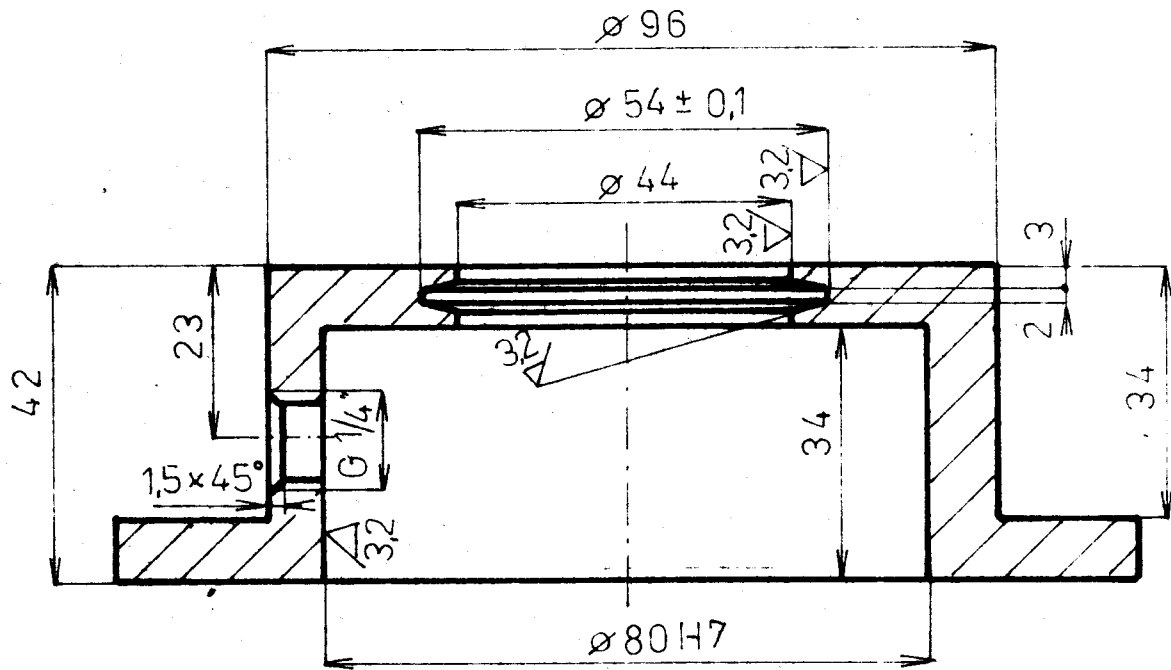
11.600
18-30 ČSN 42.5510 001

WICK

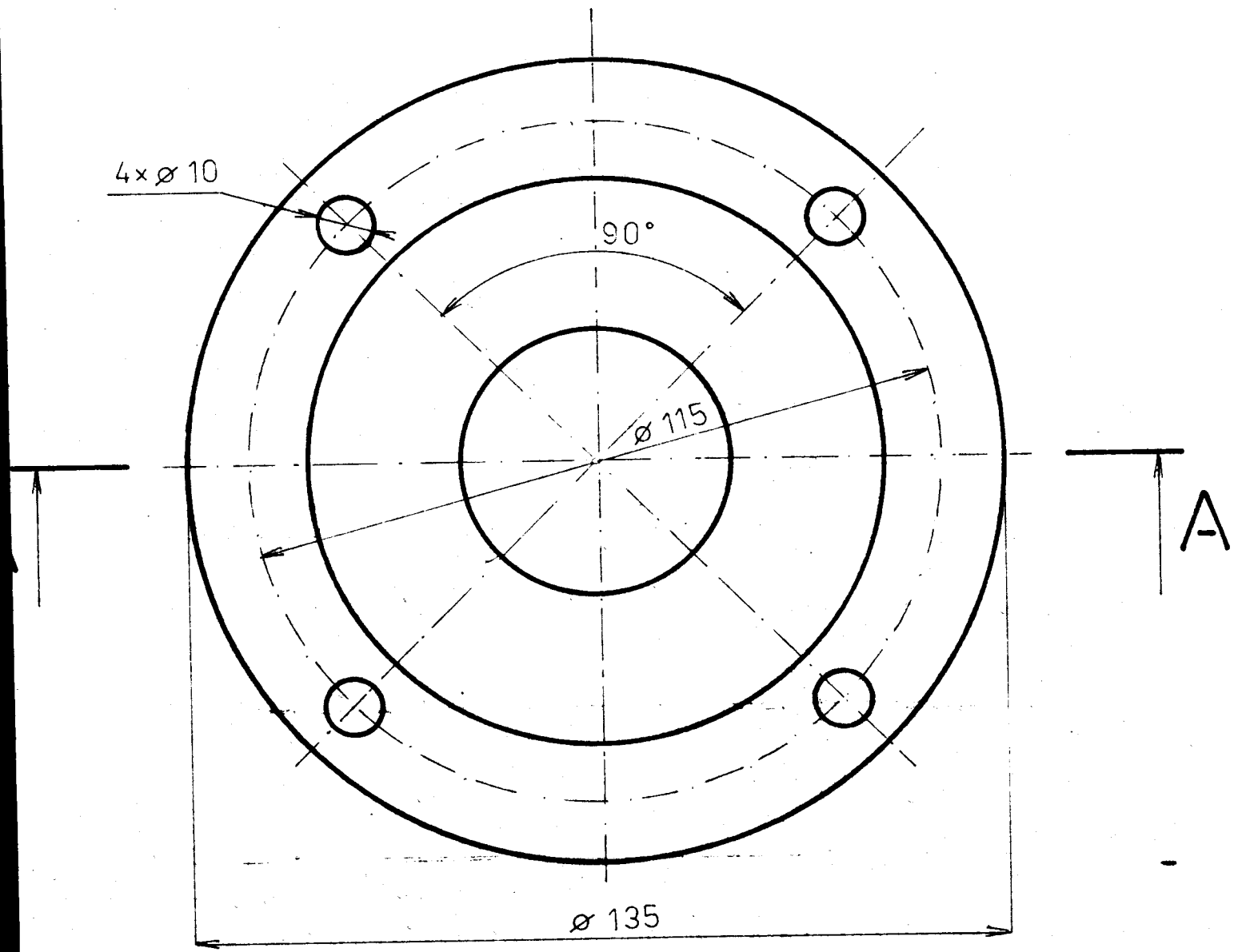
2:1

NAPIN. ŠROUB 4-KOM-OM-229-01-12

A-A



6.3
▽ (▽)



5.5
89

VSS

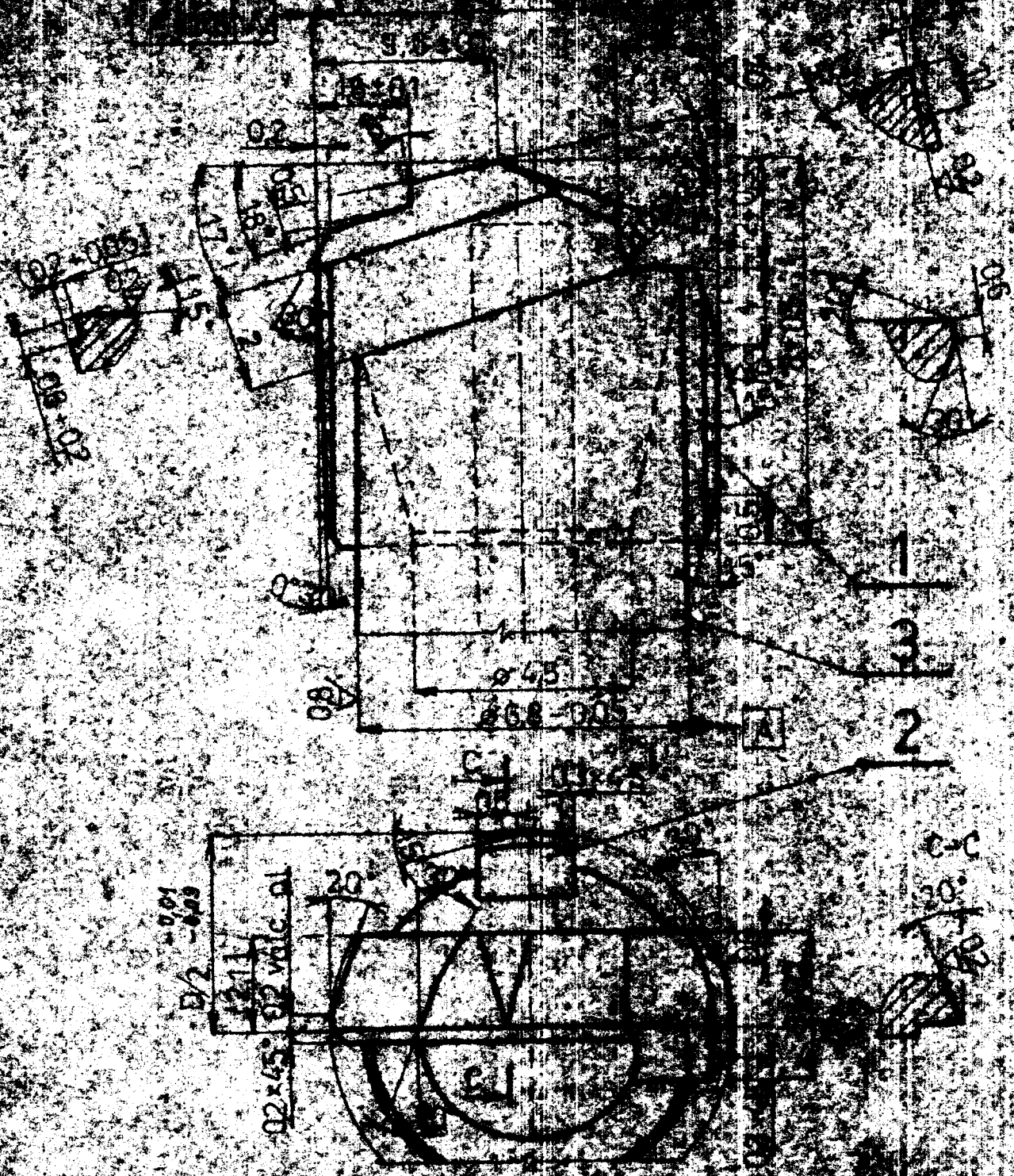
11 343 007
 $\varnothing 138-45$ ČSN 42 5510

1:1

WICK

VIKO

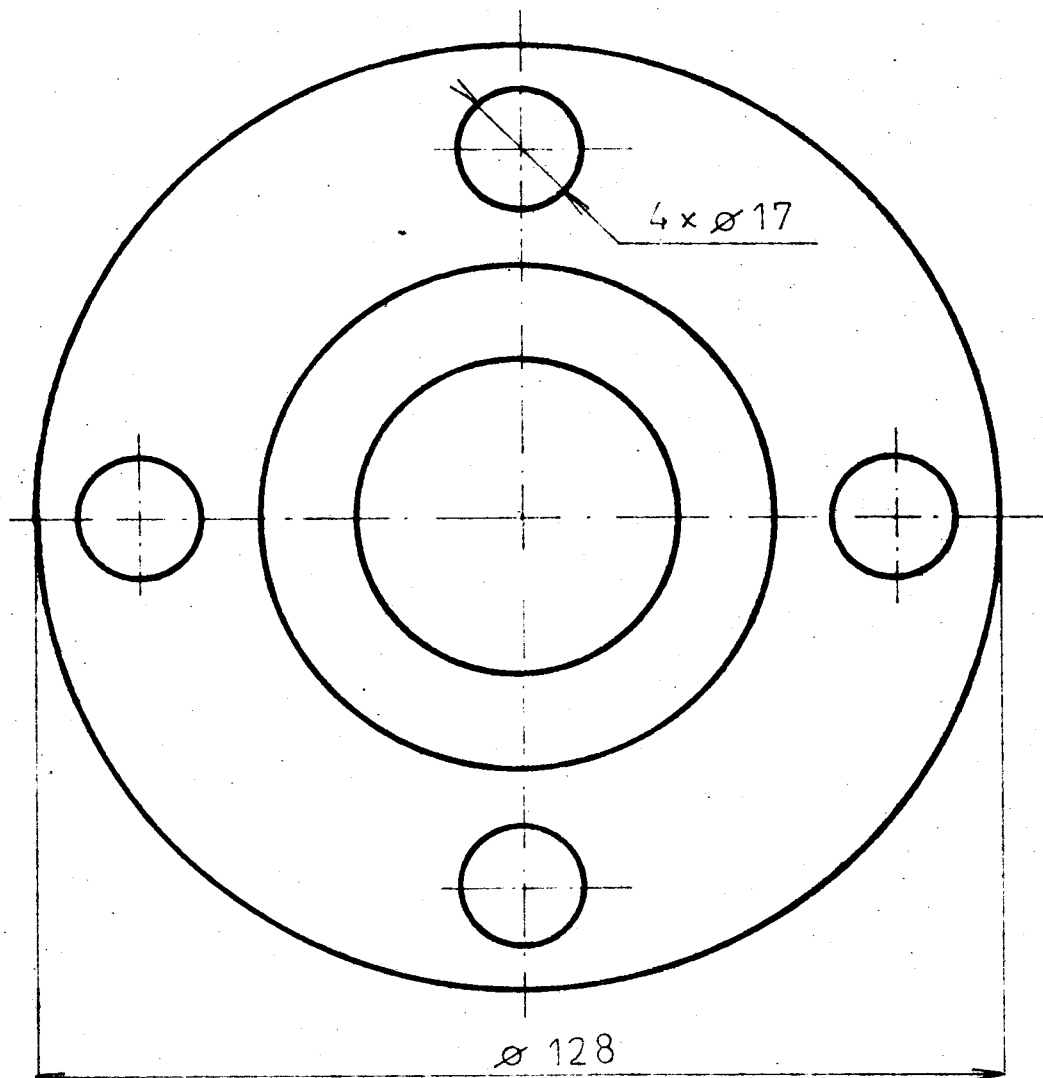
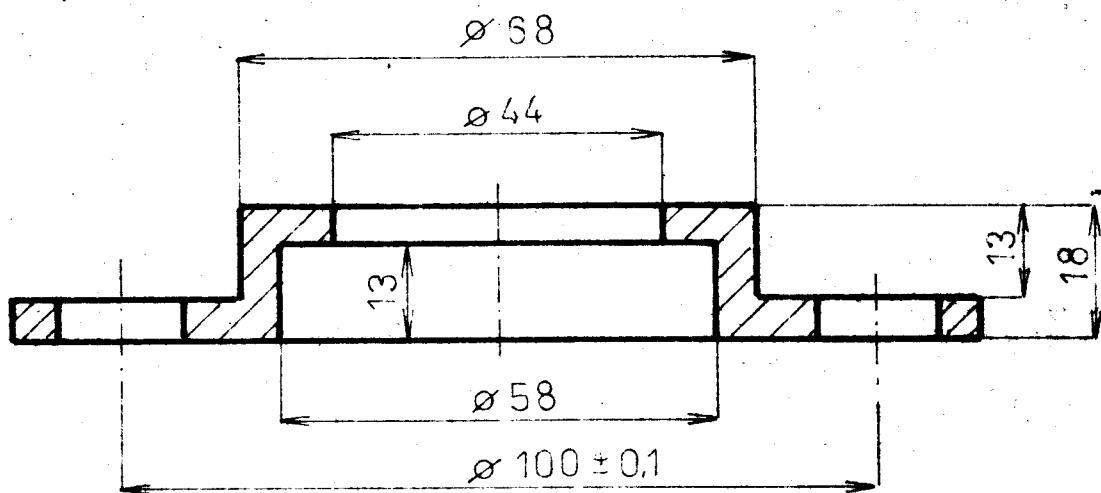
3-KOM-OM-229-01-15



1	TELO	TR 7x25-80	CSN 25715	14 331 3			
2	VODITKO	14-110	CSN 22 0871				
3	REZ. DEST.	12-P3	CSN 22 1010				

VRTAK

SKIGA



5.5
89

11 343 007
 $\varnothing 130-20$ ČSN 42 5510

1:1

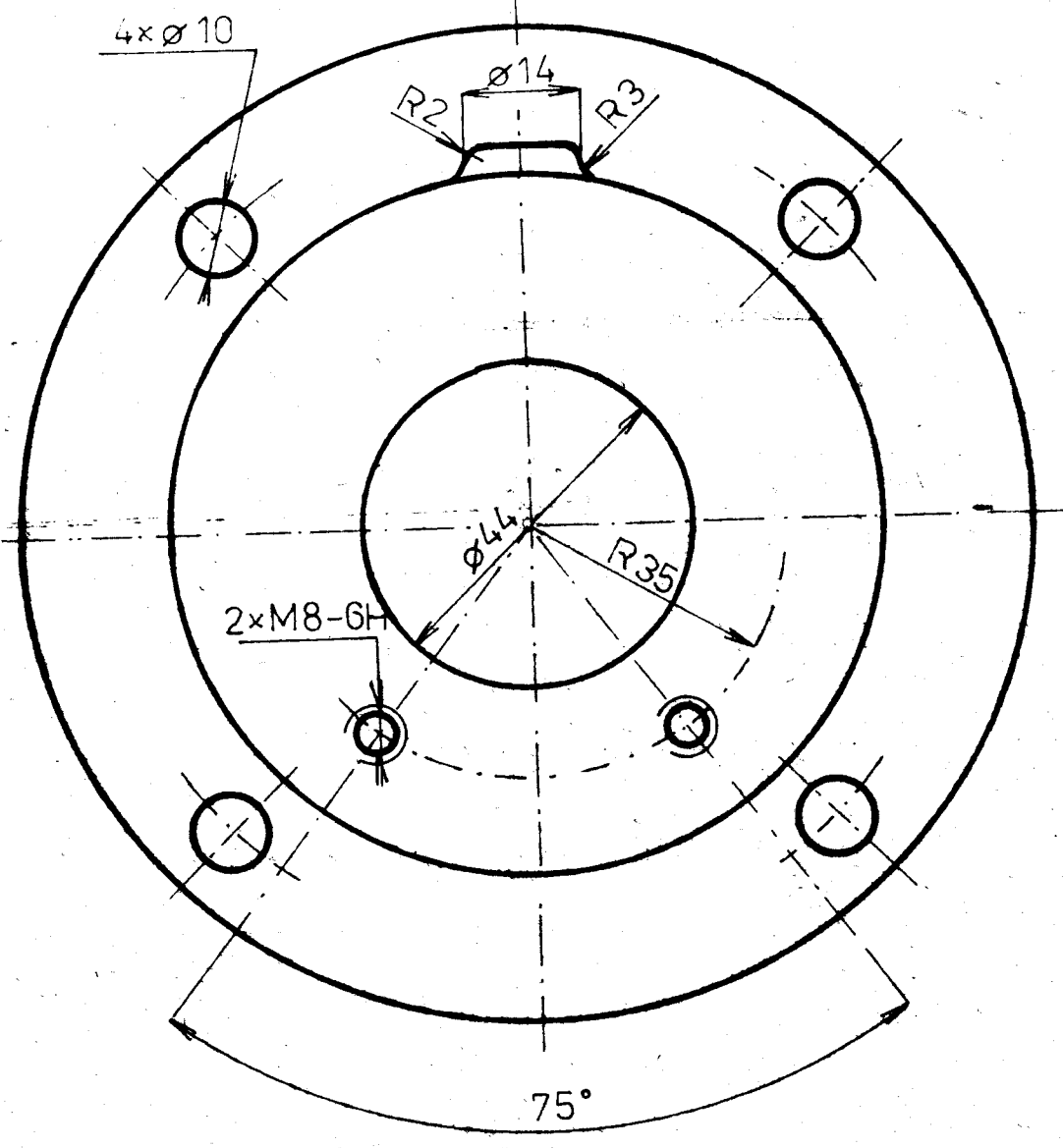
WICK

PŘÍRUBA

4-KOM-OM-229-01-04

A-A

A



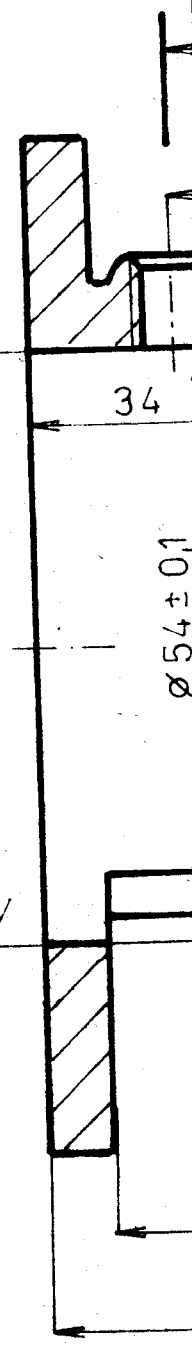
$\phi 80H7$

34

$\phi 54 \pm 0.1$

32

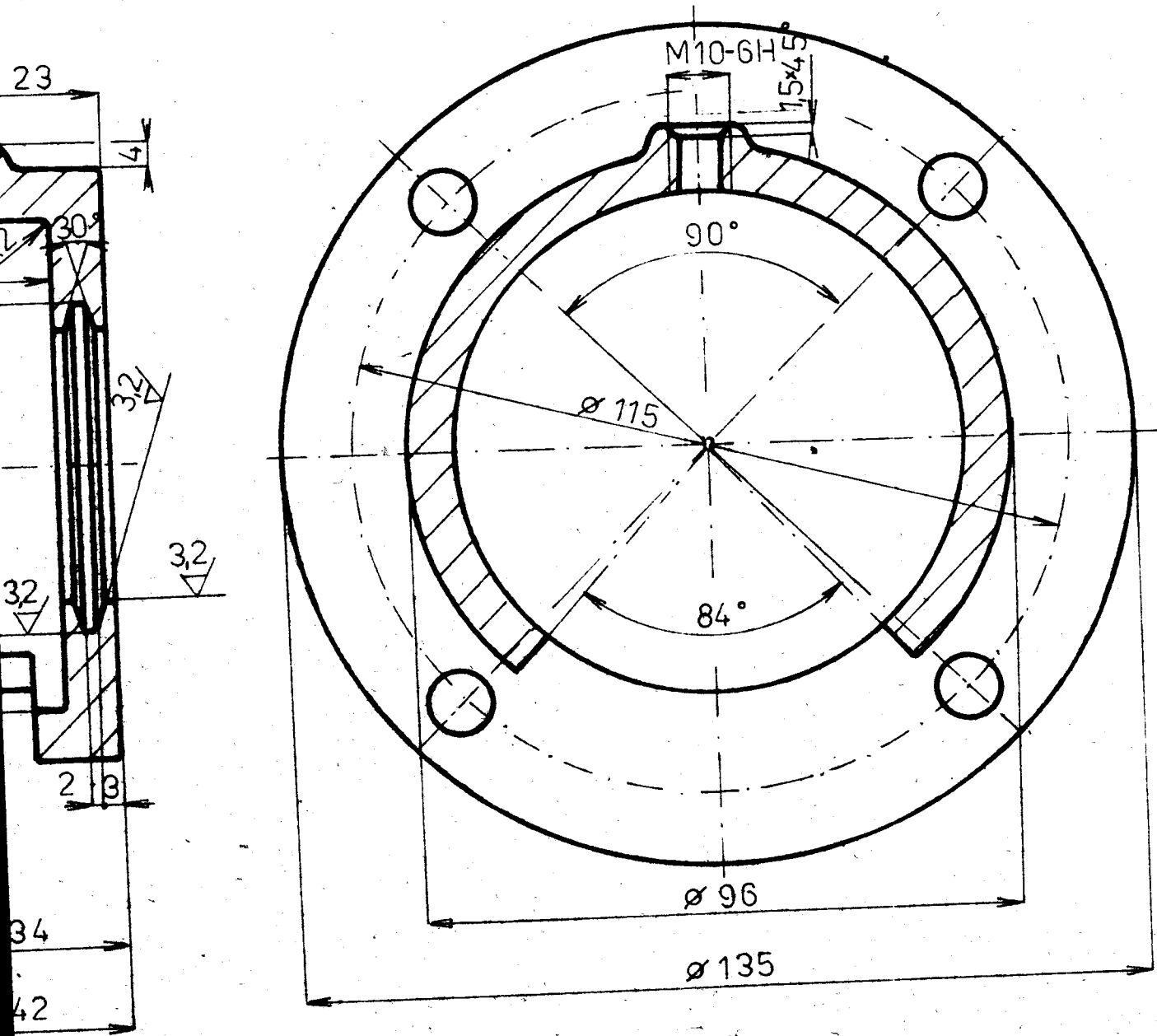
A



6,3
▽ (▽)

B-B

B



B

55
89
42 2415
ODLITEK
WICK
K04
VSST
1:1

VÍKO

3-KOM-OM-229-01-03

1	Těsnicí kroužek 28 x 60	ČSN 02 9310.4	20
5	Podložka 16,3	ČSN 02 1740.00	21
1	Podložka 10,2	ČSN 02 1740.00	22
6	Podložka 8,2	ČSN 02 1740.00	23
1	Podložka 13	ČSN 02 1702.11	24
1	Šroub M10-12	ČSN 02 1101	25
4	Šroub M16-20	ČSN 02 1101	26
2	Šroub M8-12	ČSN 02 1101	27
4	Šroub M6-15	ČSN 02 1101	28
4	Šroub M8-18	ČSN 02 1101	29
5	Šroub M16-20	ČSN 02 1143.52	30
1	Pouzdro 12	ČSN 24 1495	31
1	Kroužek 28 x 5	ČSN 02 9281.2	32
2	Šroub M12-25	ČSN 02 1101	33

WICK

5.5.89

VŠST
LIBEREC

PŘÍPRAVEK 1-KOM-OM-229-01