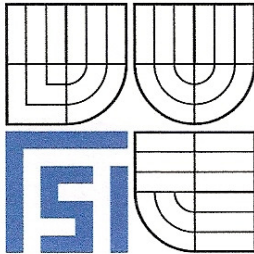


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VLIV TLOUŠŤKY JÁDRA ŠROUBOVITÉHO  
VRTÁKU NA SILOVÉ POMĚRY PŘI VRTÁNÍ  
TITLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

PETR KLIMEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. MIROSLAV PÍŠKA, CSC.

BRNO 2009

**ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na praktické zkoušení standardních šroubovitých vrtáků a vrtáků s novou geometrií CZ 002, CZ 004. První část je věnována krátkému popisu historie, stávajícího stavu a především, rozboru stěžejní normy DIN 1414-1. Další část se zabývá popisem zkoušky silového zatížení a jejím, především grafickým, vyhodnocením. Poslední část práce je věnována zkoušce geometrické přesnosti vrtaných otvorů.

**Klíčová slova**

Vrták, geometrie, tloušťka, jádro, síla, zatížení.

**ABSTRACT**

The Bachelor's thesis is focused on the practical tests of standard spiral drills with a new geometry CZ 002 and CZ 004. The first part is devoted to a short description of a history and current state of the art and in particular, the analysis of core according to the standard DIN 1414-1. Another part deals with the description of the test loading. The last part of the work is devoted to test the geometric quality and precision of the bored holes.

**Key words**

Drill, geometry, thickness, core, force, load.

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KLIMEK, Petr. *Název: Vliv tloušťky jádra šroubovitého vrtáku na silové poměry při vrtání.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 36s. Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.

## Prohlášení o původnosti práce

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *Vliv tloušťky jádra šroubovitého vrtáku na silové poměry při vrtání*, vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Podpis bakaláře

V Brně 11.5.2009

**Petr Klimek**  
Jméno a příjmení bakaláře

## Poděkování

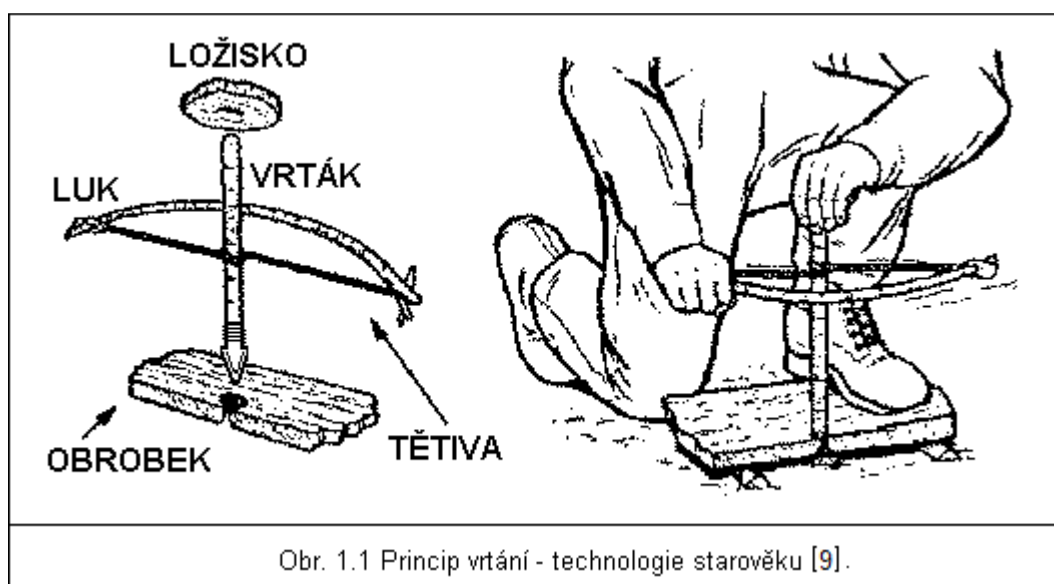
Děkuji tímto svému vedoucímu práce **Doc. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc.** a panu **Ing. Emilu Nečasánkovi** za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Děkuji řediteli Ústavu metrologie a zkušebnictví **Doc. Ing. Leoši Bumbálkovi, PhD.** za poskytnutí potřebné měřicí techniky. Dále bych rád poděkoval své rodině a všem blízkým, kteří mě podporovali během psaní mé bakalářské práce.

## OBSAH

1. ÚVOD .....	8
2. ROZBOR ZÁKLADNÍCH GEOMETRICKÝCH CHARAKTERISTIK ŠROUBOVITÉHO VRTÁKU DLE NORMY DIN 1414-1 .....	12
2.1 Směr řezu a šroubovice .....	12
2.2 Průměr břitu D .....	13
2.2.1 Příklady rozměrových norem.....	13
2.2.2 Zúžení průměru břitu .....	13
2.3 Válcová stopka .....	14
2.4 Tolerance obvodového házení .....	14
2.5 Délkové rozměry .....	14
2.6 Jádro vrtáku .....	15
2.6.1 Tloušťka jádra .....	15
2.6.2 Symetrie jádra.....	16
2.7 Šířka fazetky .....	17
2.8 Geometrie břitu.....	18
2.8.1 Boční řezný úhel $\gamma_f$ .....	18
2.8.2 Vrcholový úhel $\delta$ .....	18
3. ROZBOR ZÁKLADNÍCH GEOMETRICKÝCH CHARAKTERISTIK ŠROUBOVITÉHO VRTÁKU CZ002, 004.....	19
3.1 Jádro vrtáku CZ002, 004 .....	19
3.1.1 Geometrie hrotu.....	19
3.1.2 Minimální tloušťka jádra na hrotu vrtáku .....	20
3.1.3 Nárůst tloušťky jádra v délce $L_2$ .....	20
3.2 Šířka fazetky .....	21
3.3 Úhel příčného ostří .....	21
4. ANALÝZA SILOVÉHO ZATÍŽENÍ .....	23
4.1 Popis metodiky a měření .....	23
4.2 Výstup měření .....	24
4.3 Vyhodnocení.....	27
5. POSOUZENÍ GEOMETRICKÉ PŘESNOSTI VRTANÝCH OTVORŮ .....	30
5.1 Popis měření.....	31
5.2 Číselné vyhodnocení .....	31
5.3 Grafické vyhodnocení.....	32
6. ZÁVĚR.....	33
7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	34

## 1 ÚVOD

Vrták je velmi starý nástroj, již ve starověku jej lidé užívali k hloubení otvorů, které nebylo možno zhotovit dlátem. V Pákistánu byly nedávno objeveny ostatky lidí, kterým pravěký zubař vyvrtal bolavé zuby pomocí tzv. "pazourkové vrtačky", 5500 – 7000 l. př. n. l. Metoda spočívá v upnutí vrtáku do tětivy luku, jednoduchou smyčkou. Jedna ruka tlačí přes ložisko (kámen) na vrták s plochým hrotem, čímž je vyvozena axiální síla. Druhá současně pohybuje lukem a vyvozuje tak kroučící moment, viz obr. 1.1 [9]. Podobnou metodou je také možno rozdělat oheň, což nejlépe ilustruje vývin tepla při procesu vrtání.



Obr. 1.1 Princip vrtání - technologie starověku [9].

Od tohoto principu byly později odvozeny vrtačky poháněné lidskou silou, vodními koly, větrnými mlýny a později parním strojem. Přelom nastal v roce 1889, kdy Arthur James Arnotov, z Melbourne v Austrálii, sestrojil první vrtačku na elektrický pohon. [4]

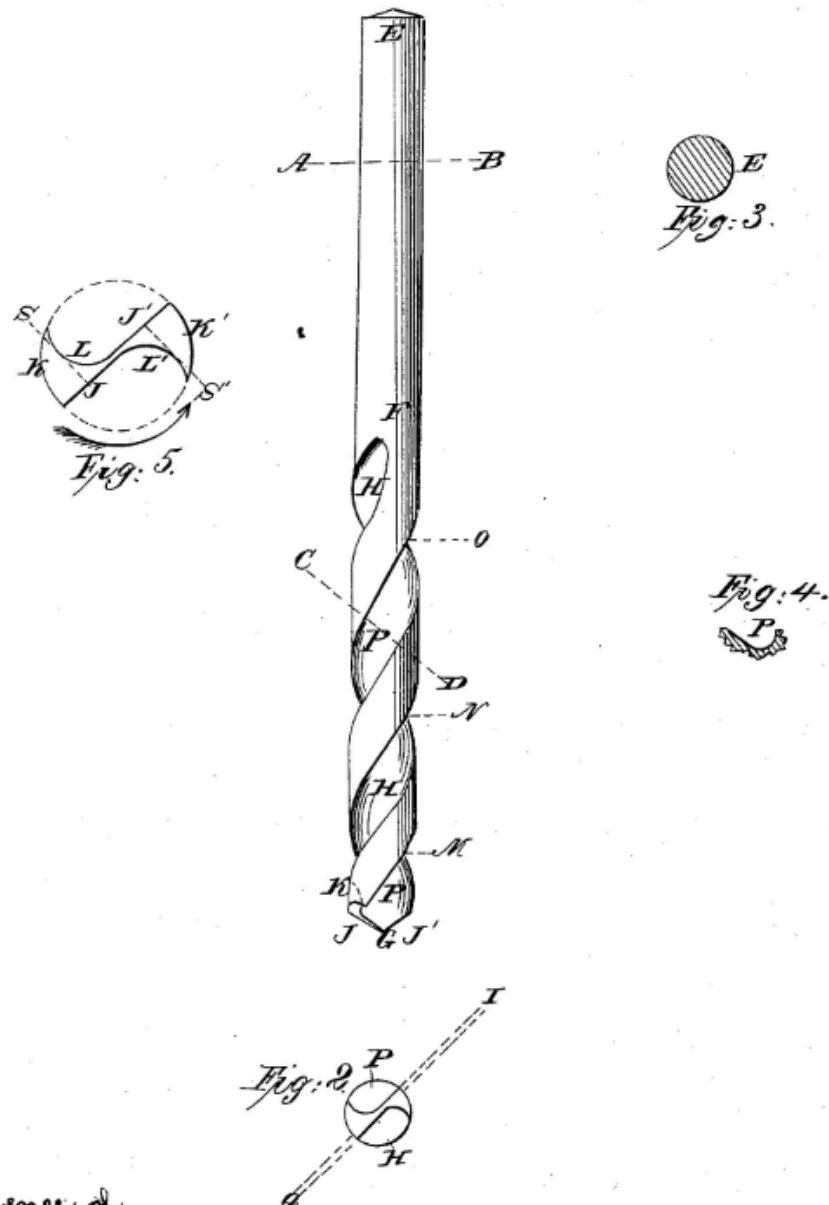
Princip vrtáků zůstává stejný až do roku 1861, kdy přichází S. A. Morse se svou představou šroubovitého vrtáku. Tento sestává ze dvou paralelních šroubovitých drážek, které jsou na jednom konci zakončeny dvěma břity, na druhém přechází do válcové upínací stopky. Sedmého dubna 1863 přihlašuje Morse svůj patent u United States Patent Office pod číslem 38,119. Vynález šroubovitého vrtáku znamenal skutečnou revoluci v technologii vrtání otvorů a brzy se rozšířil do celého světa. [4]

S. A. MORSE.

Bit.

No. 38,119.

Patented Apr. 7, 1863.



In presence of  
*James O'Connell*  
*Silas Burgess*

Inventor:  
*Stephen A. Morse*

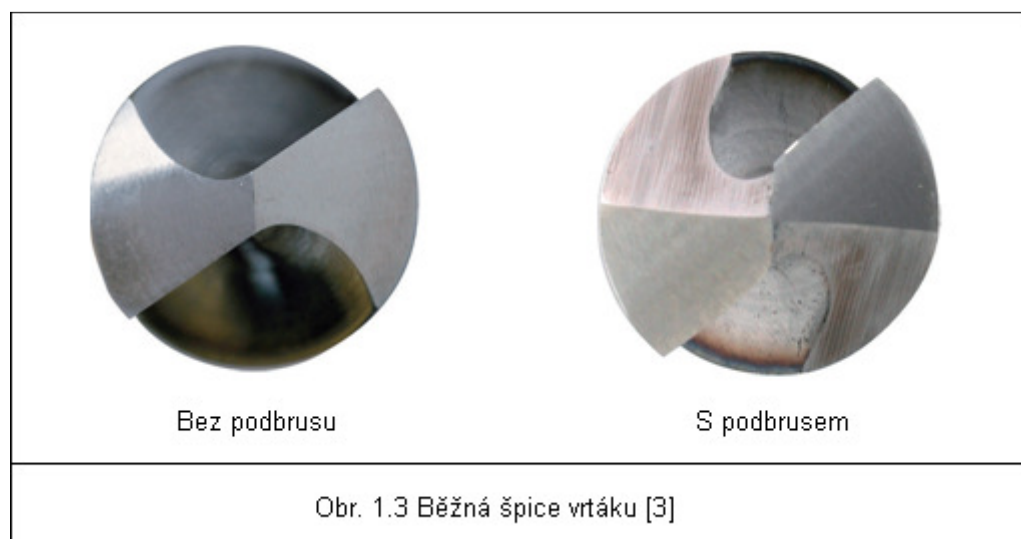
N. PETERS, PHOTO-LITHOGRAPHER, WASHINGTON, D. C.

Obr. 1.2 Část přihláškové dokumentace k patentu S. A. Morseho [7].

Od doby Morseova patentu zůstává konstrukce šroubovitého vrtáku prakticky nezměněna. Dochází pouze ke změnám materiálů a technologií, používaných při jejich výrobě. Ve 20. století nahrazují uhlíkové oceli mnohem výkonnější rychlořezné oceli (HSS, HSSCo, HSSV). Technologie výroby postupně přechází od zkrucování polotovarů s přímými drážkami, přes tváření, protlačování za tepla, až po frézování a zejména vybrušování šroubovitých drážek do předem zakalených, na přesný průměr vybrušených polotovarů. [4]

Jsou zavedeny, dnes celosvětově užívané, normy. Například DIN 1414-1, DIN 1414-2, DIN 338, které upravují rozměry jednotlivých částí šroubovitého vrtáku, včetně tolerancí a způsobů kontroly. Tyto normy jsou však již několik desítek let staré a přestaly reagovat na technologické možnosti moderních číslicově řízených strojů. Konstrukce vrtáku se tak zastavila v bodě, kdy je z důvodu tuhosti již ve špici velmi silné jádro, které se navíc směrem ke stopce plynule zvětšuje. [4]

Běžné šroubovitě vrtáky, dodávané z výroby bez dalších úprav, kladou při vrtání, zejména na počátku, značný axiální odpor. Tento problém se v praxi řeší podbroušením. Tím dochází ke zmenšení průměru jádra ve špici a zkrácení příčného ostří. [5]



Vyrábět vrtáky s malým průměrem jádra po celé délce není možné. Takový vrták by pevnostně nevyhověl. Výrobci tento problém řeší vybrušováním vrtáků s kuželovým jádrem, jehož průměr od špice ke stopce plynule vzrůstá. [4]

Vrtáky je však také nutno přebroušovat, čímž se nejen zkracuje délka nástroje, ale především roste průměr jádra ve špici, tomu je úměrný řezný odpor v axiálním směru. Vrtáky je tedy opět nutno podbroušit.

Ale i podbroušené jádro spoluvytváří čelní plochu drážky v podobě, která nepřispívá k optimálnímu odvodu třísky. Podbroušením jádra navíc vzniká vedlejší ostří, které se velmi rychle otupí, zejména ve své rohové části, kde se napojuje na ostří hlavní. [5]



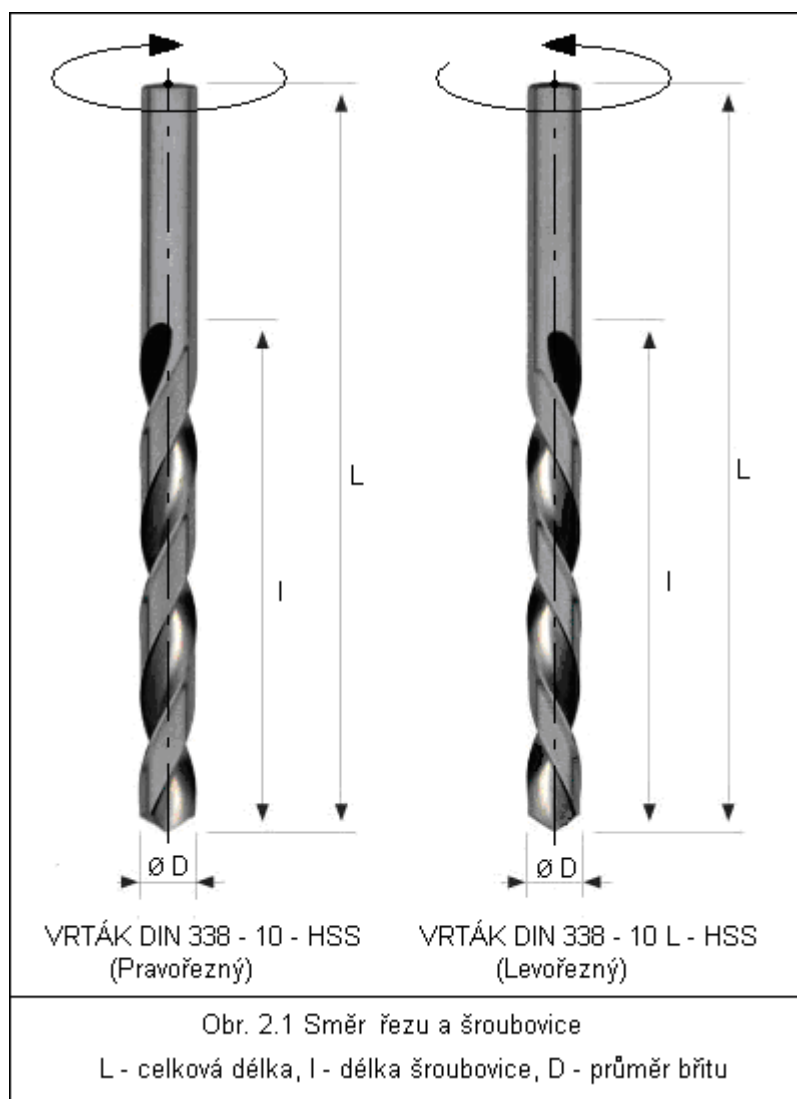
Důležitým problémem však zůstává samotné příčné ostří. Jeho role je v procesu vrtání omezena pouze na oblast tváření. Příčné ostří materiál tzv. roztemovává směrem k hlavnímu ostří, kde je oddělen řezem. Přetvárný odpor je hlavní složkou silového zatížení v axiálním směru, má velký vliv na volbu řezných podmínek i životnost nástroje. [5]

## 2 ROZBOR ZÁKLADNÍCH GEOMETRICKÝCH CHARAKTERISTIK ŠROBOVITÉHO VRTÁKU DLE NORMY DIN 1414-1

Obrázky v následující kapitole byly vytvořeny dle normy DIN 1414-1. Užité a kótami doplněné fotografie jsou (v daném provedení) publikovány se souhlasem autora [5].

### 2.1 Směr řezu a šroubovice

Za normální je dle normy označováno pravořezné provedení s pravou šroubovicí, levořezné provedení s levou šroubovicí (L) je nutno v označení vrtáku uvést. [1]



## 2.2 Průměr břitu D

Pro průměr břitu platí hodnoty uvedené v příslušných rozměrových normách. [1]

### 2.2.1 Příklady rozměrových norem

DIN 338

Krátké spirálové vrtáky s válcovou stopkou.

DIN 339

Spirálové vrtáky s válcovou stopkou k vrtání vrtacími pouzdry.

DIN 340

Dlouhé spirálové vrtáky s válcovou stopkou.

DIN 341

Dlouhé spirálové vrtáky se stopkou s Morse kuželem k vrtání vrtacími pouzdry.

DIN 345

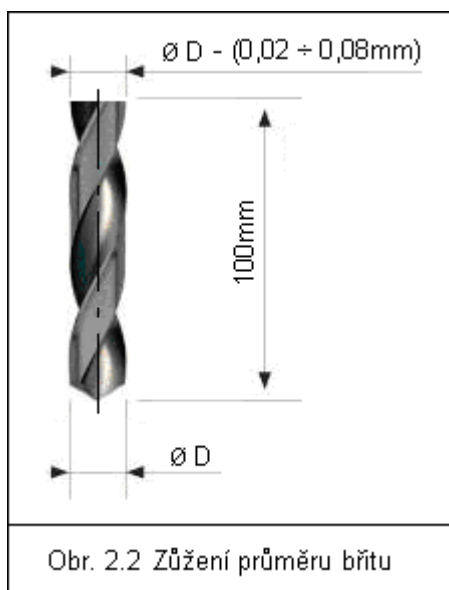
Spirálové vrtáky s Morse kuželem.

DIN 346

Spirálové vrtáky s větší stopkou s Morse kuželem.

### 2.2.2 Zúžení průměru břitu

Průměr šroubovitých vrtáků, s průměrem břitu větším než 1,5mm, se zpravidla zužuje v oblasti drážky pro odvod třísek směrem ke stopce. [1] Opatření má vliv na snížení tření mezi fazetkou a stěnou vrtaného otvoru.



Zúžení průměru činí 0,02 až 0,08mm na každých 100mm délky.

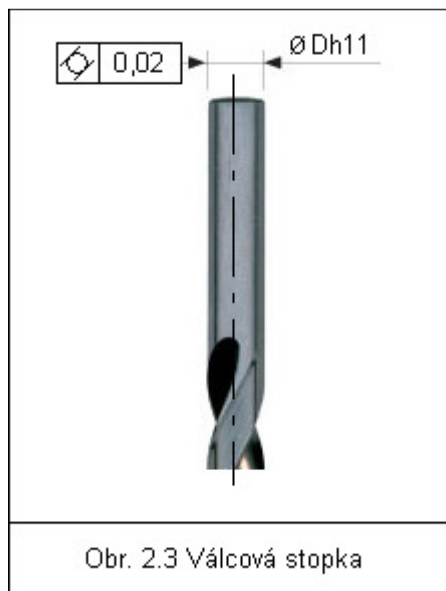
Na celkové délce šroubovice může být zúžení maximálně 0,25mm.

Vrtáky s průměrem břitu menším než 6mm mohou být vyráběny bez zúžení.[1]

### 2.3 Válcová stopka

Tolerance válcového průměru stopky činí "h11", pro zúžené spirálové vrtáky je povolena tolerance "f11". [1]

Tolerance válcovitosti je 0,02mm pro délku odpovídající svěracímu pouzdru dle DIN 6329. [1]

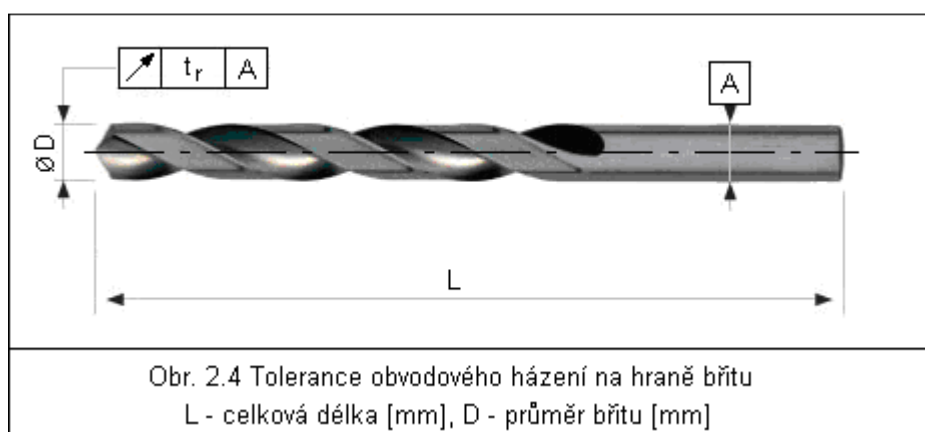


Obr. 2.3 Válcová stopka

### 2.4 Tolerance obvodového házení

Tolerance obvodového házení na hraně břitu šroubovitého vrtáku se stanoví dle vzorce:

$$t_r = 0,03 + 0,01 \cdot \frac{L}{D} \quad [1]$$



Obr. 2.4 Tolerance obvodového házení na hraně břitu  
L - celková délka [mm], D - průměr břitu [mm]

### 2.5 Délkové rozměry

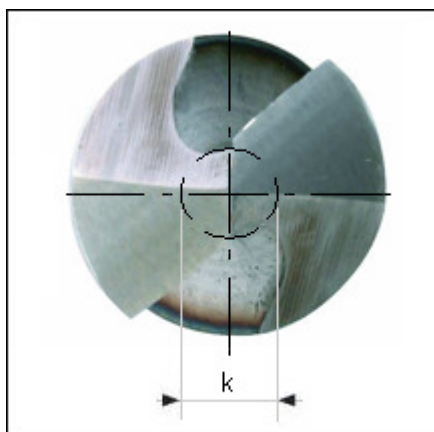
Tolerance pro celkovou délku [L] a délku šroubovice [l] odpovídají stupni "velmi hrubě" dle DIN ISO 2768-1. [1]

## 2.6 Jádru vrtáku

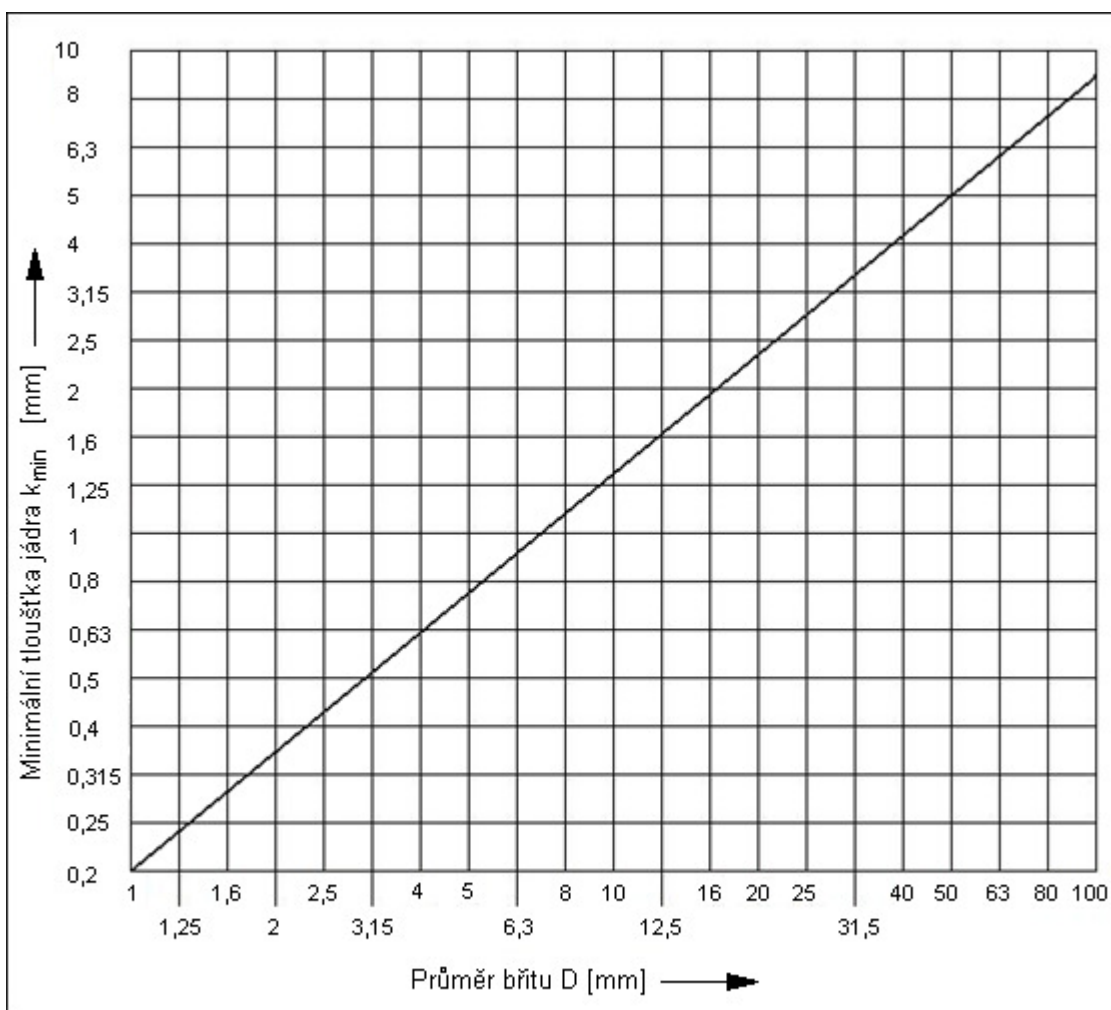
### 2.6.1 Tloušťka jádra

Tloušťkou jádra šroubovitého vrtáku se rozumí rozměr "k", dle obrázku 2.6.1. Vrtáky dále mohou mít nárůst tloušťky jádra směrem od hrotu ke stopce.

Tloušťka jádra však nesmí být menší, než mezní hodnota  $k_{\min}$  ve špičce vrtáku.[1]



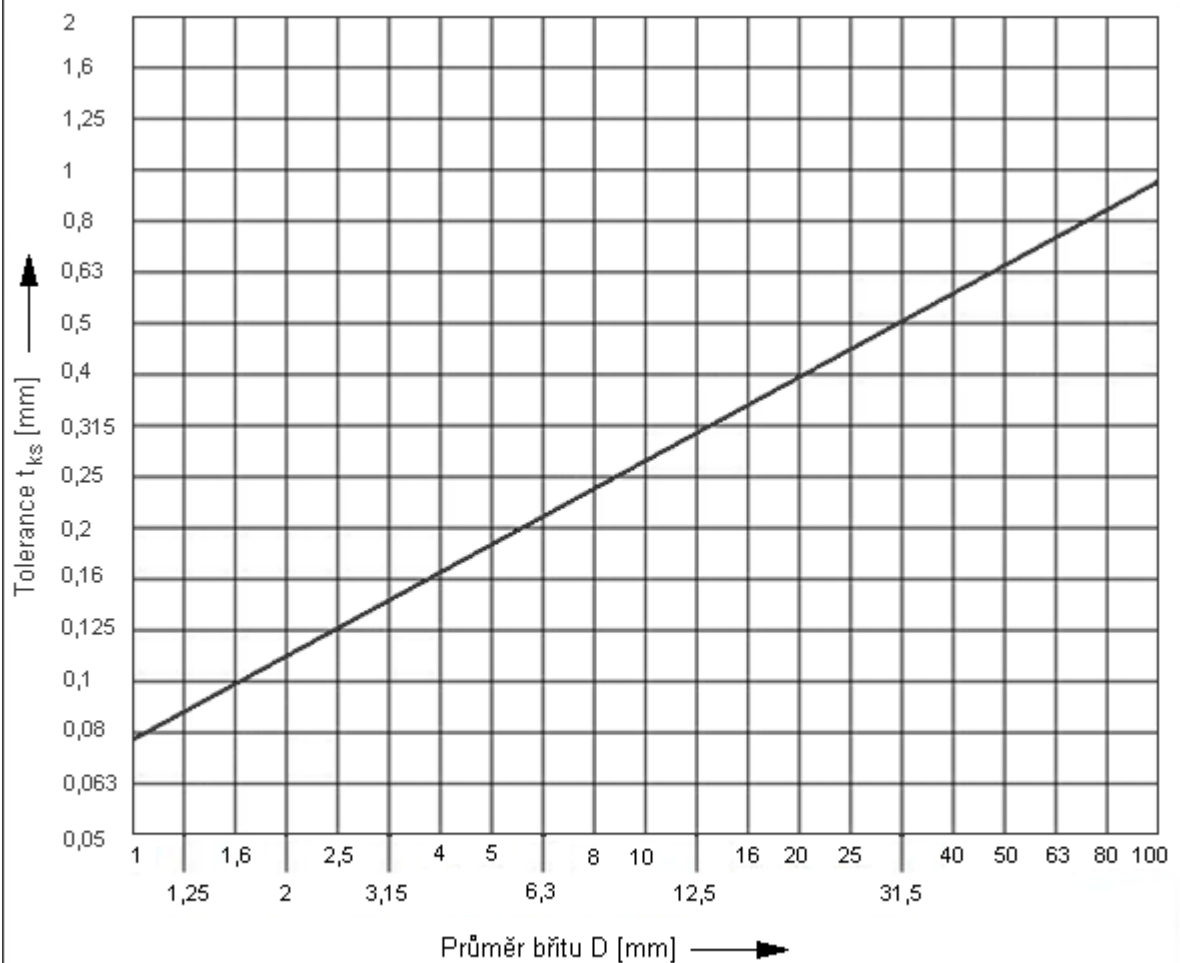
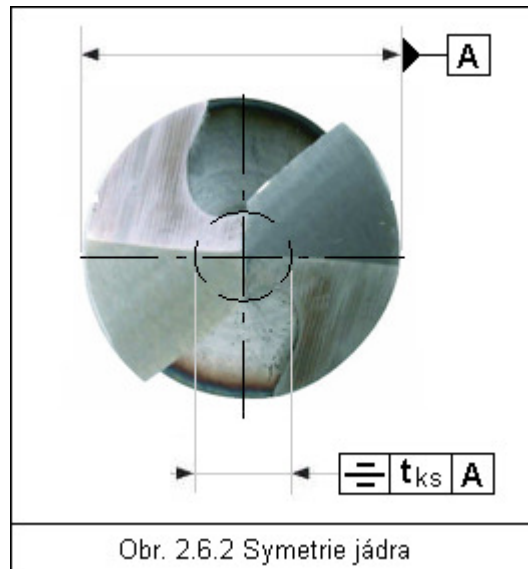
Obr. 2.6.1 Minimální tloušťka jádra



Graf 2.6.1 Minimální tloušťka jádra [1]

## 2.6.2 Symetrie jádra

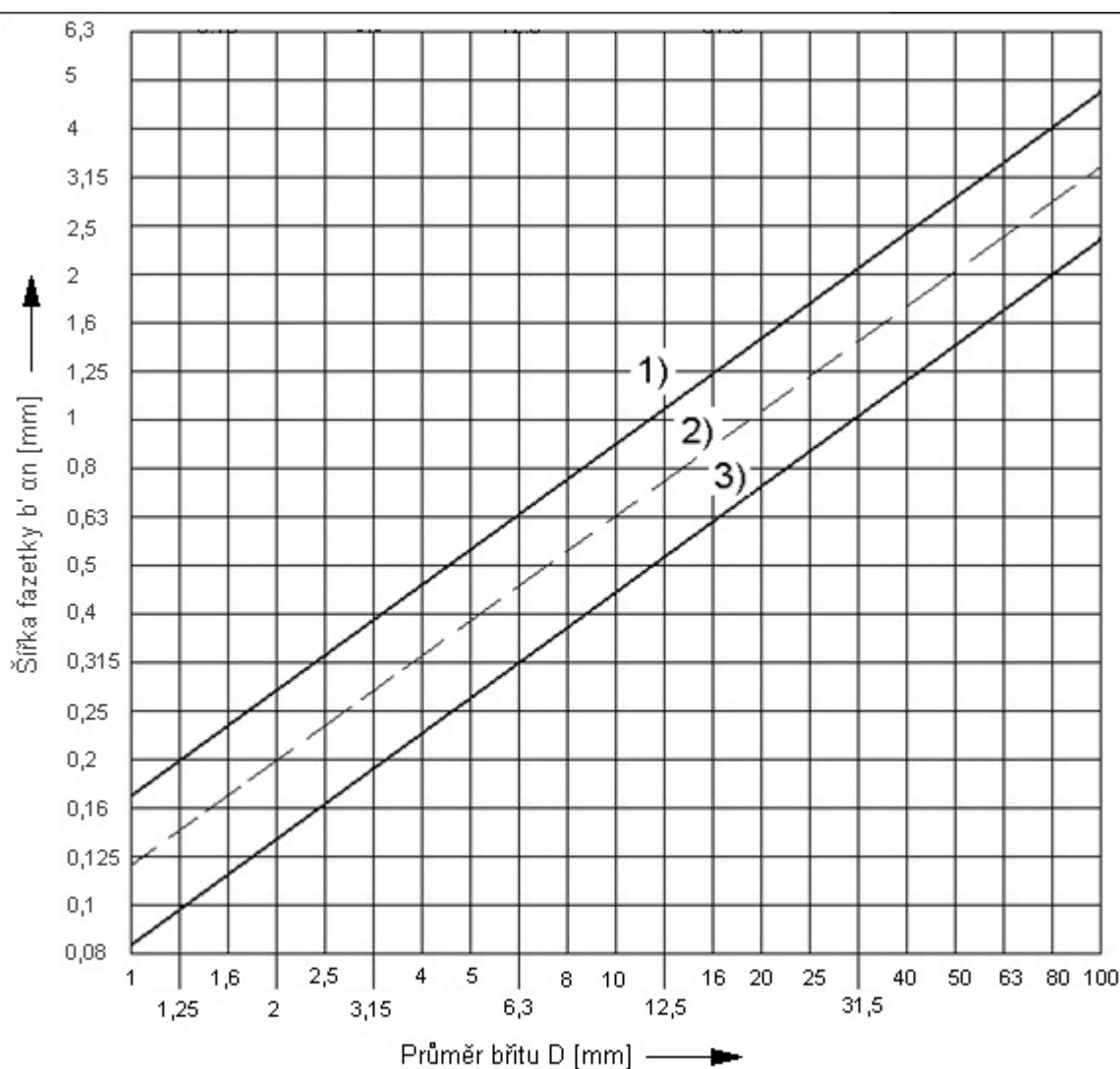
Symetrie jádra na osu vrtáku se měří, dle DIN ISO 1101, v rovině kolmé k této ose (viz. Obr 2.6.2). [1]



Graf 2.6.2 Tolerance symetrie jádra [1]

## 2.7 Šířka fazetky

Šířka fazetky  $b'_{an}$  v normální rovině vedlejšího břitu (viz obr 2.7) se měří kolmo k bočnímu řeznému úhlu, poblíž hrany břitu. [1]



Graf 2.7 Šířka fazetky  $b'_{an}$  [1]

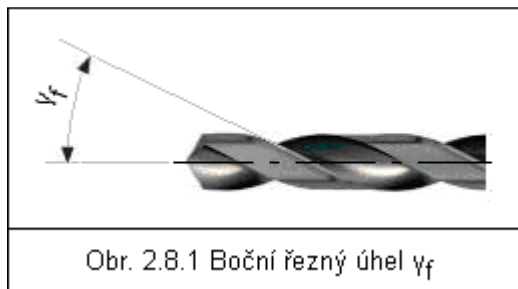
1) Horní mezní rozměr, 2) Jmenovitý rozměr, 3) Dolní mezní rozměr

## 2.8 Geometrie břitu

### 2.8.1 Boční řezný úhel $\gamma_f$

Boční řezný úhel (viz. Obr. 2.8.1) se udává místo kolmému ortogonálnímu řeznému úhlu  $\gamma_o$  (viz. DIN 6581), který se nachází v kolmé rovině, jelikož se úhel podél hlavního břitu mění (zmenšuje se směrem k hrotu vrtáku). [1]

*Poznámka: V technické praxi se boční řezný úhel šroubovitého vrtáku nazývá také úhel stoupání šroubovice.*

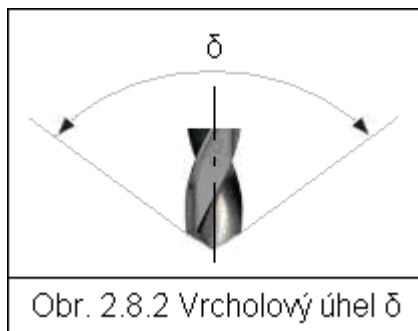


Obr. 2.8.1 Boční řezný úhel  $\gamma_f$

*Hodnoty bočního řezného úhlu  $\gamma_f$  uvedeny v normě DIN 1414-1[1], str. 13.*

### 2.8.2 Vrcholový úhel $\delta$

Vrcholový úhel  $\delta$  je úhel mezi průměty dvou hlavních břitů na základní rovinu, je současně součtem úhlů nastavení  $\kappa_v$ , definovaných v normě DIN 6581 na dvou hlavních břitech. [1]



Obr. 2.8.2 Vrcholový úhel  $\delta$

Rozdělení dle skupin použití nástrojů [6]:

Typ N	doporučený vrcholový úhel $\delta$ :	118°
Typ H	doporučený vrcholový úhel $\delta$ :	118°
Typ W	doporučený vrcholový úhel $\delta$ :	130°

- Tolerance vrcholového úhlu činí  $\pm 3^\circ$ .
- Jiné vrcholové úhly je třeba uvést v označení.
- Zkoušení vrcholového úhlu dle DIN 1414-2 [2].

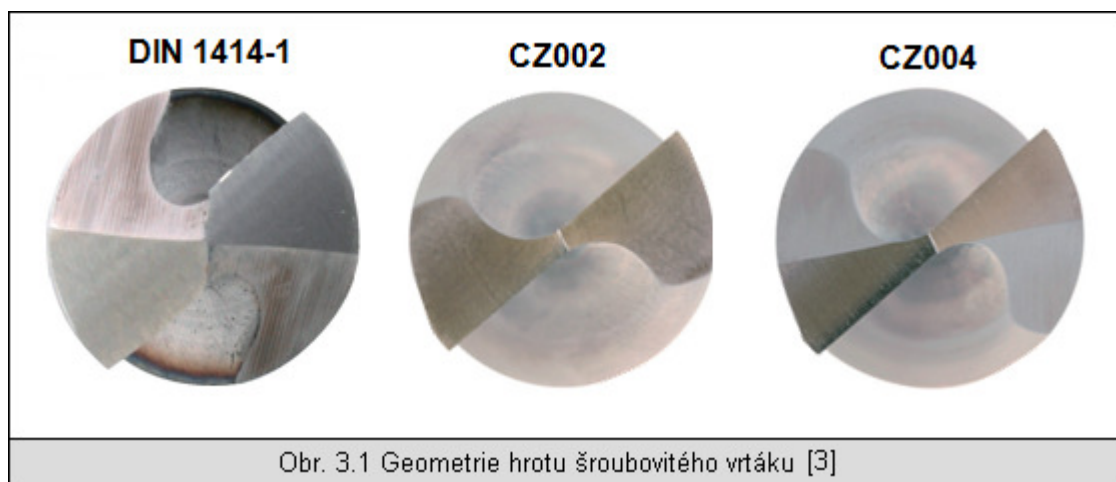


### 3 ROZBOR ZÁKLADNÍCH GEOMETRICKÝCH CHARAKTERISTIK ŠROUBOVITÉHO VRTÁKU CZ002, 004

#### 3.1 Jádru vrtáku CZ002, 004

##### 3.1.1 Geometrie hrotu

Geometrie hrotu vrtáku CZ002 je výrazně ovlivněna minimální tloušťkou svého jádra, která je o 25 ÷ 67% menší, než uvádí DIN 1414-1. Díky velmi tenkému jádru není třeba CZ002 podbrušovat. Příčné ostří přetváří mnohem menší plochu, přičemž se podstatně prodloužilo hlavní ostří. Tím je dáno zlepšení poměru mezi řezným a tvářecím procesem, ve prospěch produktivnějšího řezání. Takle skutečnost, spolu s optimálně zvoleným úhlem příčného ostří, významně přispívá ke zvýšení stability vrtáku v záběru i dobrému odvodu třísky.



Obr. 3.1 Geometrie hrotu šroubovitého vrtáku [3]

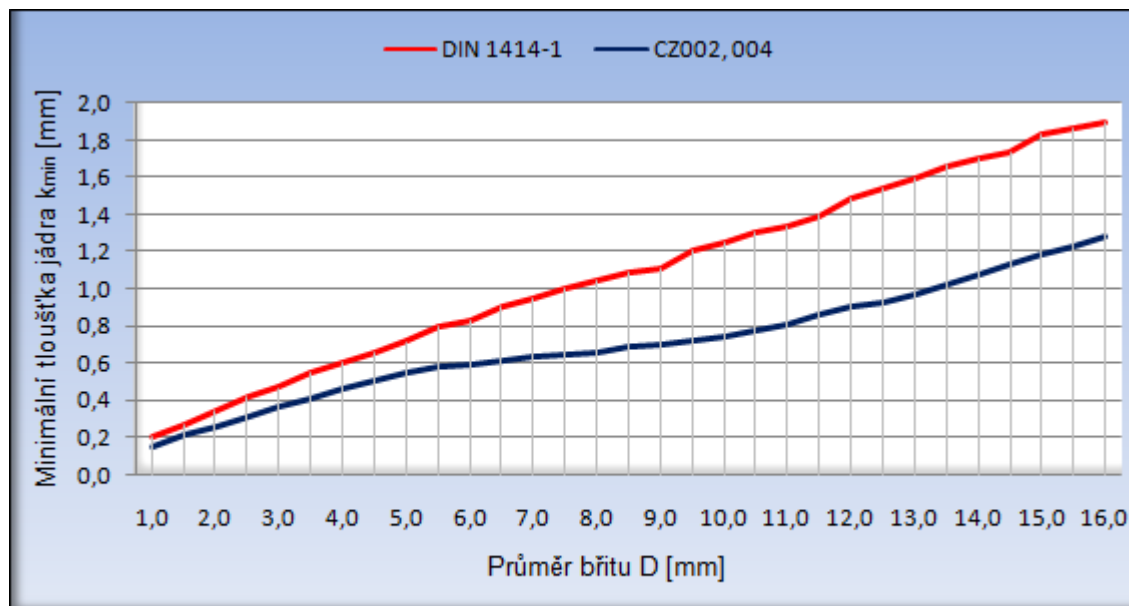
Geometrie hrotu CZ004 je speciálně upravena pro vrtání zejména do houževnatých ocelí odolných proti korozi, rychlořezných a vysokolegovaných ocelí s pevností v tahu do 1200MPa [4]. Tyto oceli se vyznačují vysokou tvarovou pamětí (elastickou deformací), která přispívá k nadměrnému tepelnému zatížení hrotu nástroje. Z tohoto důvodu je CZ004 na hlavním hřbetě odlehčen výbrusem, který minimalizuje kontakt nástroje s oddělovaným materiálem. Tím je dosaženo snížení vývinu třecího tepla, při zachování optimální tuhosti hrotu nástroje. [5]

*Poznámka:*

*Vrtáky CZ004 se od CZ002 neliší pouze geometrií hrotu, ale i použitím vícelegovaných materiálů na jejich výrobu, obsahujících zejména 5% kobaltu, nebo 3% vanadu. Nahrazují vrtáky vyráběné podle DIN 338 RTi HSSCo5 a DIN 338 RN HSSCo5. [5]*

### 3.1.2 Minimální tloušťka jádra na hrotu vrtáku

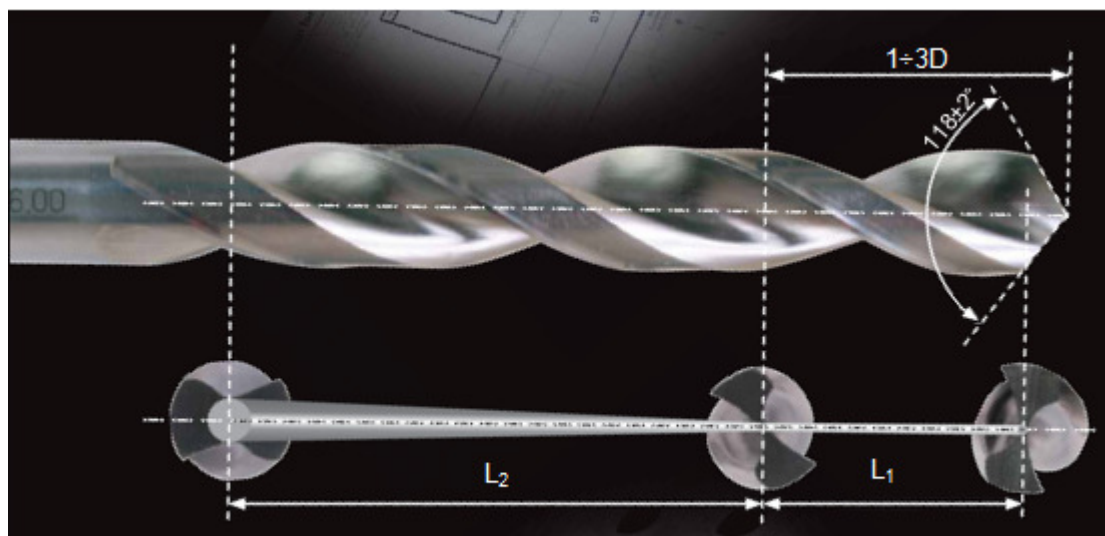
Minimalizace tloušťky jádra na hrotu šroubovitého vrtáku CZ002, v porovnání s referenčními tloušťkami dle DIN 1414-1, znázorňuje graf 3.1.



Graf 3.1 Porovnání minimální tloušťky jádra na hrotu šroubovitého vrtáku

### 3.1.3 Nárůst tloušťky jádra v délce $L_2$

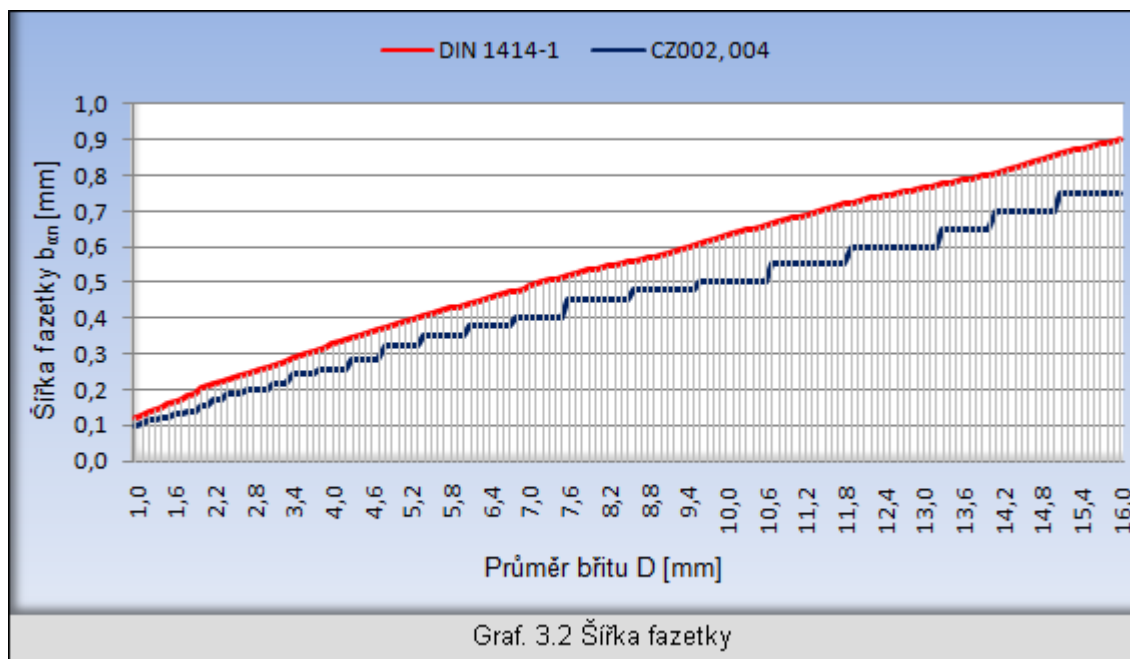
Minimální tloušťku jádra na hrotu šroubovitého vrtáku CZ002 není možné zachovat po celé délce šroubovice. Vrták by torzně pružil, což by mělo za následek velmi výrazné snížení životnosti i kvality vrtaného otvoru. Řešením je vrták, jehož jádro je neměnné tloušťky pouze na určité délce  $L_1$  (viz. Obr. 3.2) od hrotu vrtáku, na délce  $L_2$  profil jádra kuželovitě vzrůstá.[5] Úprava se projeví zvýšením tuhosti nástroje na požadovanou úroveň.



Obr. 3.2 Nárůst tloušťky jádra CZ002,004 [5]

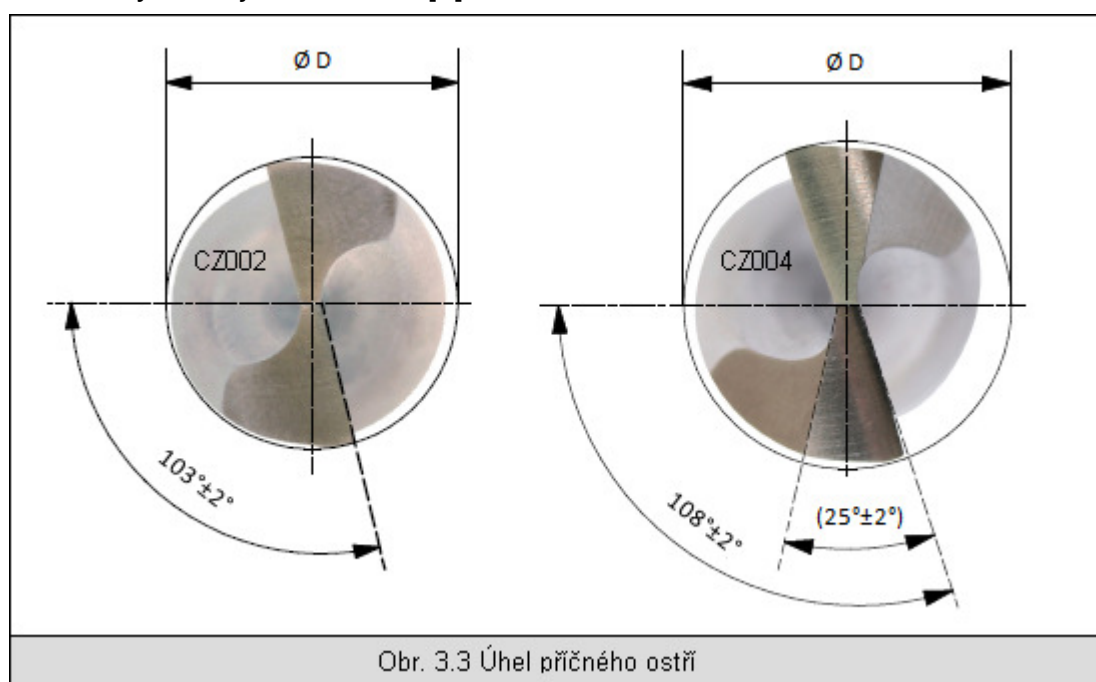
### 3.2 Šířka fazetky

Pro lepší vedení nástroje při vrtání přesných otvorů přes vodící pouzdra, nebo otvorů hraničících se stěnou obrobku, případně jiným otvorem, jsou vrtáky CZ002, 004 opatřeny na obou vedlejších hřbetech tenkou fazetkou. Díky dobrému vedení nástroje hrotem, byla šířka fazetky snížena (viz. Graf 3.2). [5]



### 3.3 Úhel příčného ostří

U běžných vrtáků dle din 1414-1 se úhel příčného ostří pohybuje od  $125^\circ$  do  $130^\circ$ . Je-li úhel příliš velký, zabírá vrták větší třísku, než je schopen odvést ze záběru, což se projeví tzv. odskočením nástroje. Vrták pracuje neklidně, zhotovený otvor je nekvalitní. [5]



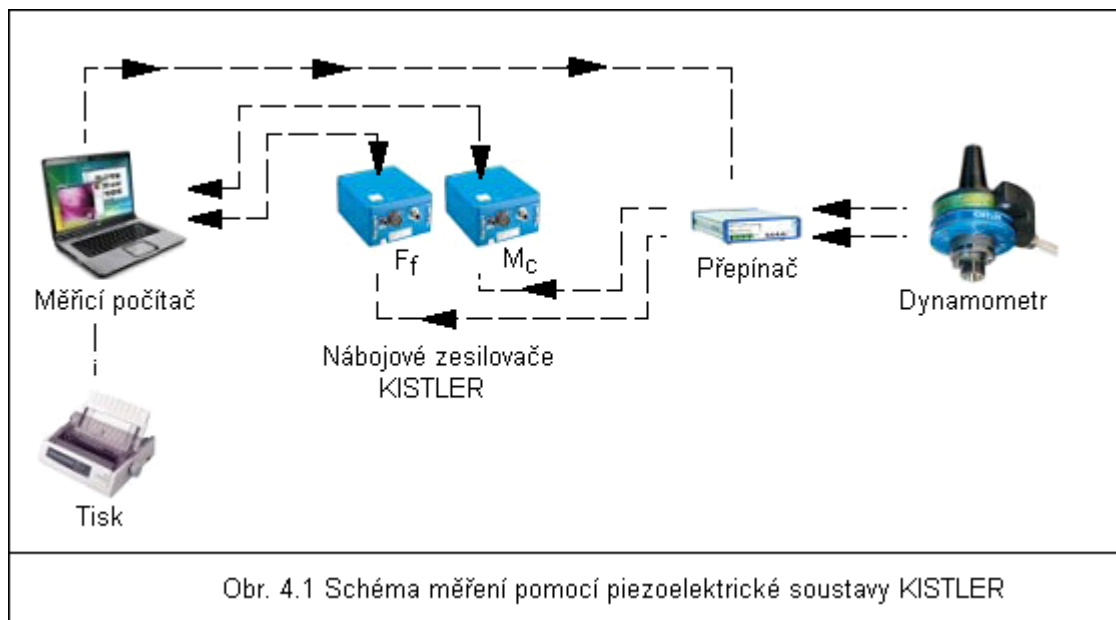
Zmenšení tohoto úhlu by mělo za následek podstatné zvýšení odporu proti vrtání v osovému směru. U vrtáků CZ002, 004 je, z důvodu menšího jádra a absence podbrusu příčného ostří, tento úhel podstatně menší. Úhel příčného ostří byl zvolen empiricky, s ohledem na stabilitu záběru a optimální odvod třísky. [5]

## 4 ANALÝZA SILOVÉHO ZATÍŽENÍ

Analýza byla realizována formou krátkodobých testů referenčních vrtáků CZ002, vrtáků vyráběných dle tuzemské normy PN 2913 a vrtáků vyráběných dle mezinárodní normy DIN 1414-1.

### 4.1 Popis metodiky a měření

Cílem zkoušek je srovnání řezných vlastností vrtáků pomocí krátkodobých testů jejich silového zatížení, vyjádřených pomocí posuvové síly a řezného momentu. Přehled zkoušených vzorků a podmínky řezné zkoušky jsou uvedeny v tabulkách (viz. Tab. 4.1, 4.2). Pro měření posuvové síly a řezného momentu byl použit piezoelektrický křemíkový dynamometr Kistler, vybavený nábojovými zesilovači Kistler 9011A, plně řízenými PC (obr. 4.1). [5]



Tab. 4.1 Přehled testovaných vrtáků

Norma	Průměr [mm]	Tloušťka jádra [mm]	Úhel špiče [°]	Úhel příčného ostří [°]	Úhel hřbetu [°]
CZ 002	6,00	0,52	118,00	108	14
PN 2913	6,00	0,99	119,00	127	13
DIN 1414-1	6,00	1,08	118,00	126	14
CZ 002	10,00	0,72	118,00	106	13
PN 2913	10,00	1,65	119,00	124	11
DIN 1414-1	10,00	1,46	118,00	122	7

Poznámka: Všechny testované nástroje vyrobeny z materiálu HSS.

**Tab. 4.2 Podmínky řezné zkoušky**

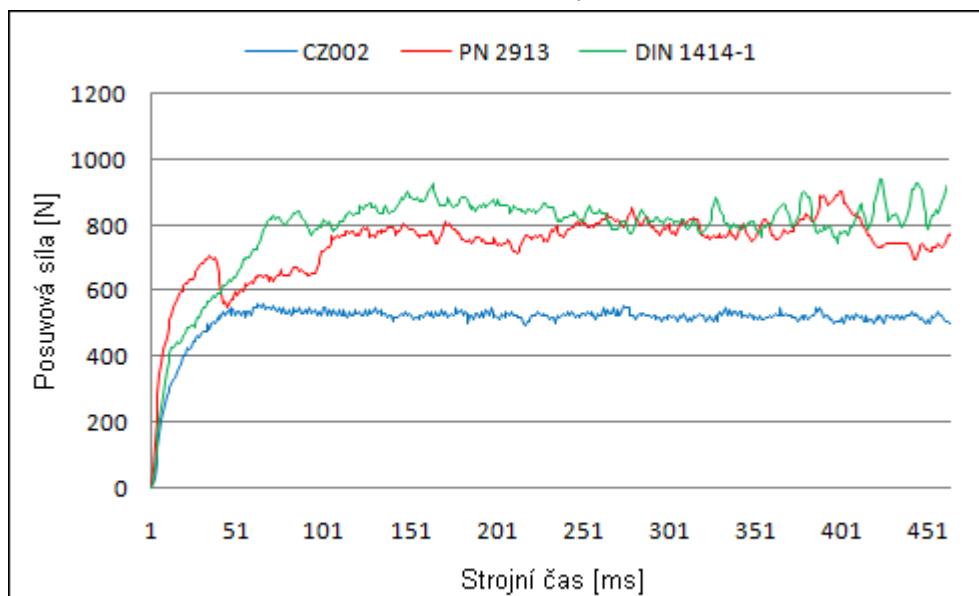
Průměr břitu [mm]	D = 6,00	D = 10,00
Materiál obrobku	Ocel 12 050.3 Rm = 568 Mpa	
Hloubka vrtání	3 x D = 18mm	3 x D = 30mm
Řezná rychlost	$v_c = 52,53m \cdot \text{min}^{-1}$	$v_c = 40,00m \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky	$n = 2788\text{min}^{-1}$	$n = 1273\text{min}^{-1}$
Posuvová rychlost	$v_f = 223,04\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$	$v_f = 127,00\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv na otáčku	$f_{ot} = 0,08$	$f_{ot} = 0,1$
Obráběcí stroj	Konzolová vertikální frézka FV 25 CNC A	
Řídicí systém	Heidenhain ITNC530	
Způsob upnutí nástroje	Vrtačkové sklíčidlo JIS B 6339 (MAS BT)	
Způsob upnutí obrobku	Strojní svěrák ČSN 24 3135	
Rozměry polotovaru	300 x 80 x 38mm	
Chlazení	Emulze 5% Fuchs Ecocool 68 CF-2, průtok 8l.min <sup>-1</sup>	
Rozteč vrtaných otvorů	7,00 mm	11,00 mm

Testované typy vrtáků byly podrobeny krátkodobé řezné zkoušce a dosažené výsledky lze srovnat s referenčním řezným nástrojem CZ002. Řezná zkouška spočívala v záznamu posuvové síly a řezného momentu při vrtání prvního a následně každého dalšího jedenáctého otvoru, pro vrtáky s průměrem břitu D=6mm, prvního a každého šestého otvoru u vrtáků s průměrem břitu D=10mm, každým z testovaných nástrojů. Volba řezných podmínek vycházela z doporučení výrobce pro referenční řezný nástroj a tyto podmínky byly po dobu celé zkoušky konstantní. Dle smluvních požadavků probíhalo vrtání jednotlivých otvorů bez přerušování do hloubky 3 x průměr břitu. Celkem bylo vrtáno 122 děr vrtákem D=6mm, a 31 děr vrtákem D=10mm.

## 4.2 Výstup měření

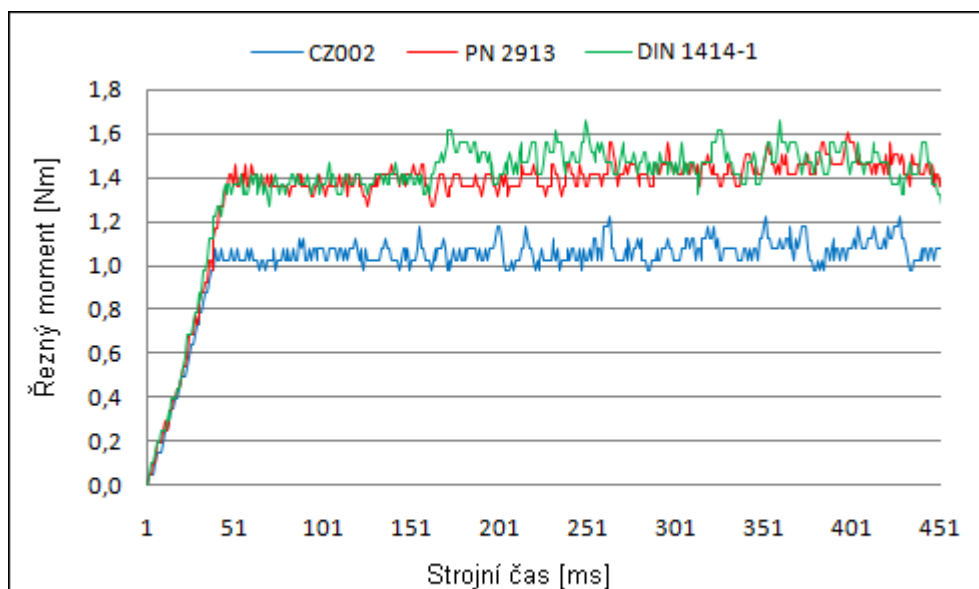
Výstupem měření je závislost posuvové síly na čase vrtání, řezného momentu na čase vrtání, aritmetické průměry a rozkmity těchto závislostí. Grafické závislosti vycházejí ze záznamu měřicího systému. Každou jednu milisekundu přístroj zaznamenal jednu hodnotu posuvové síly a řezného momentu.

## Průměr břitu D = 6mm, 122. otvor



Graf 4.1 Závislost posuvové síly na strojním čase vrtání

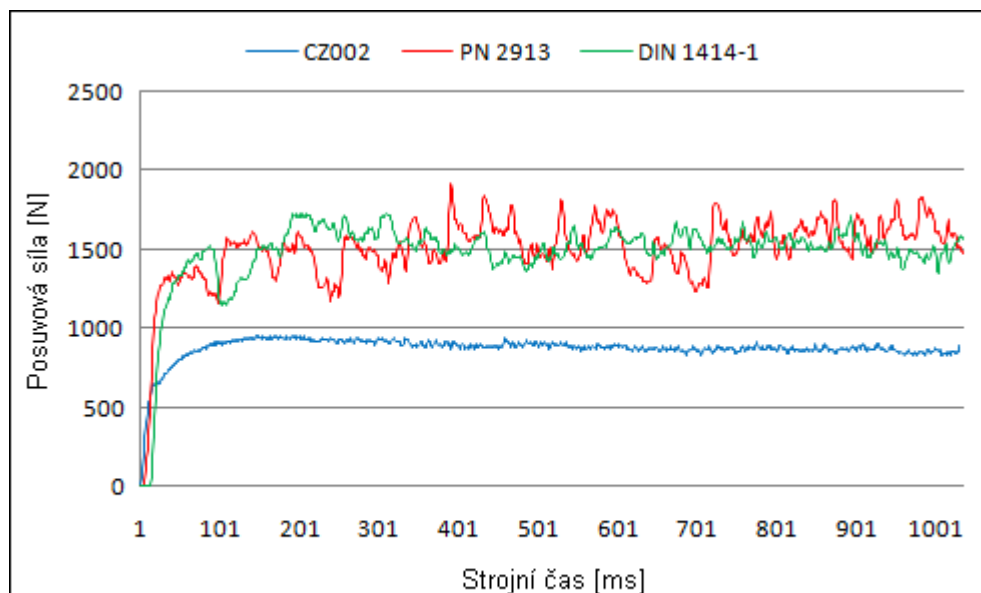
Norma vrtáku	Aritmetický průměr posuvové síly [N]	Rozptyl posuvové síly [N]
CZ002	526,31	11,62
PN 2913	760,8	61,94
DIN 1414-1	814,78	37,58



Graf 4.2 Závislost řezného momentu na strojním čase vrtání

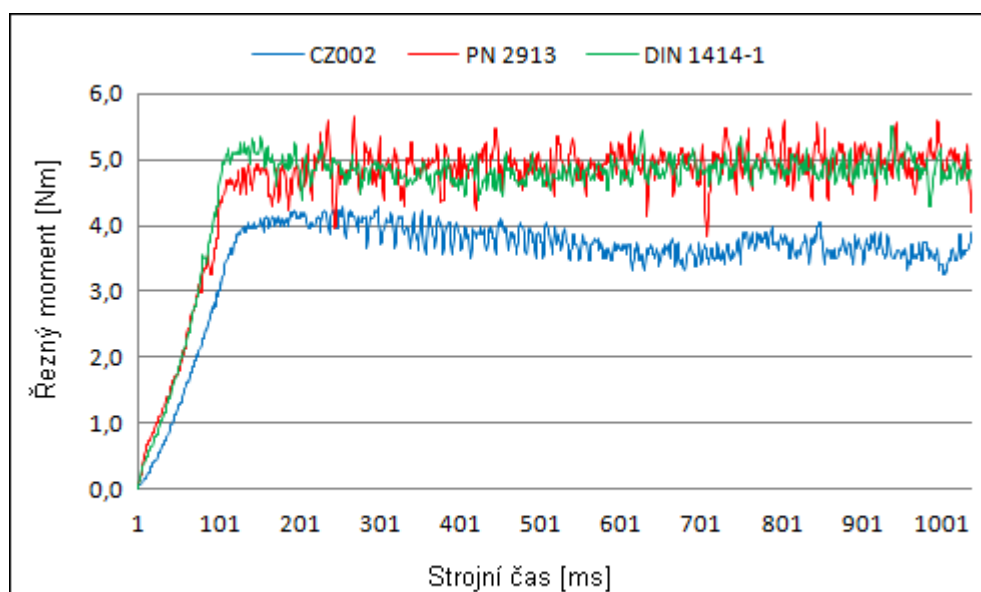
Norma vrtáku	Aritmetický průměr řezného momentu [Nm]	Rozptyl řezného momentu [Nm]
CZ002	1,06	0,05
PN 2913	1,42	0,06
DIN 1414-1	1,44	0,08

## Průměr břitu D = 10mm, 31. otvor



Graf 4.3 Závislost posuvové síly na strojním čase vrtání

Norma vrtáku	Aritmetický průměr posuvové síly [N]	Rozptyl posuvové síly [N]
CZ002	887,54	29,19
PN 2913	1528,54	142,04
DIN 1414-1	1526,73	96,46



Graf 4.4 Závislost řezného momentu na strojním čase vrtání

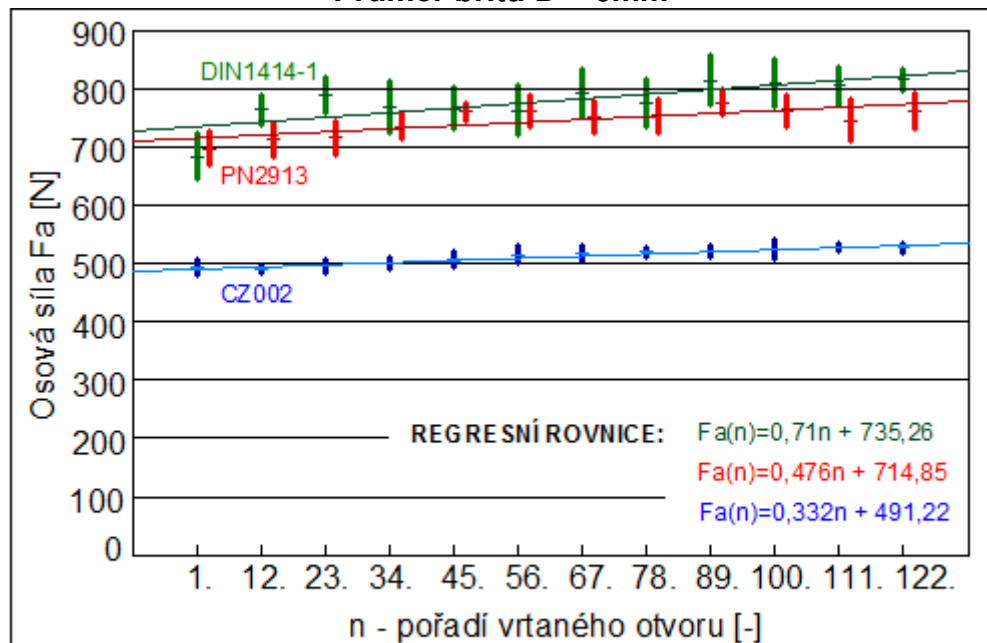
Vrták	Aritmetický průměr [Nm]	Rozptyl [Nm]
CZ002	3,78	0,23
PN 2913	4,92	0,26
DIN 1414-1	4,87	0,18



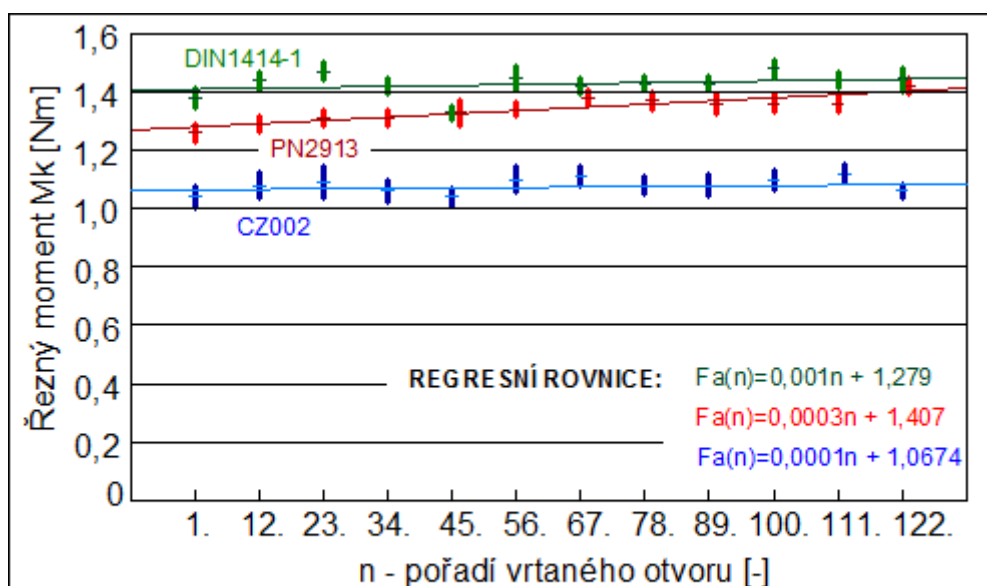
### 4.3 Vyhodnocení

Souhrnné vyhodnocení popisuje zatěžování jednotlivých nástrojů v průběhu celé zkoušky. Grafický výstup zahrnuje aritmetický průměr měřené veličiny a její rozkmit v závislosti na počtu vrtaných otvorů. Měření bylo prováděno v předem stanoveném intervalu (6 a 11), proto jsou hodnoty aritmetických průměrů i rozkmitů hodnotami diskrétními. Rozkmit hodnot znázorňuje míru proměnlivosti zatížení v průběhu každého vrtání. Regresní přímky přibližují rozvoj zatížení vlivem otupení nástrojů.

Průměr bříty D = 6mm

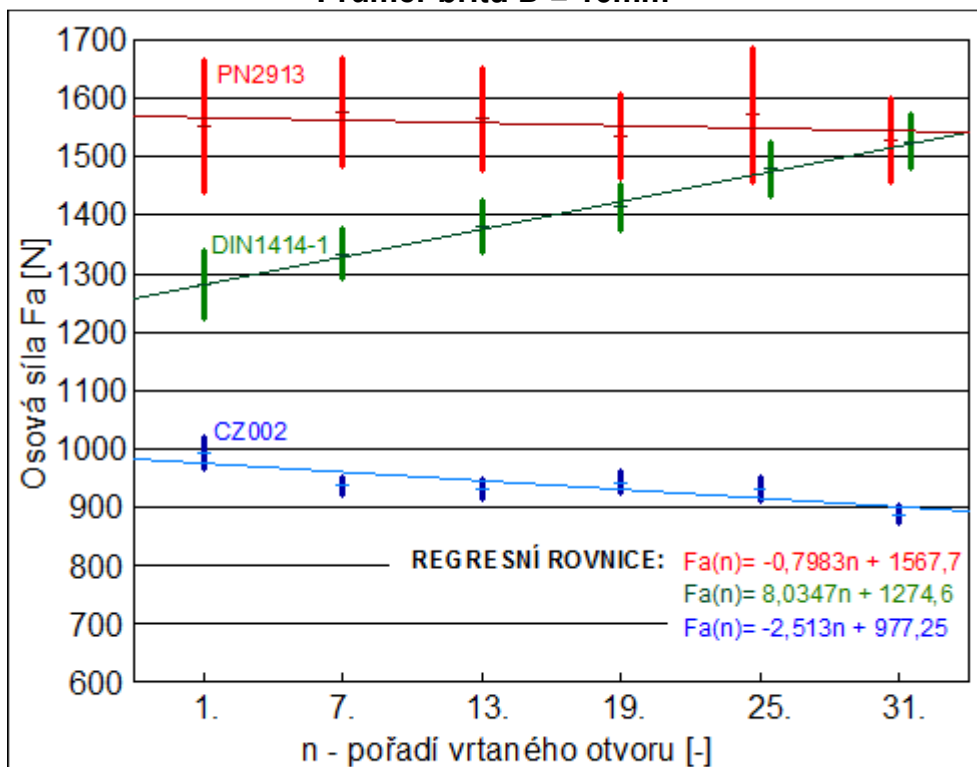


Graf 4.5 Závislost osové síly na počtu vrtaných otvorů

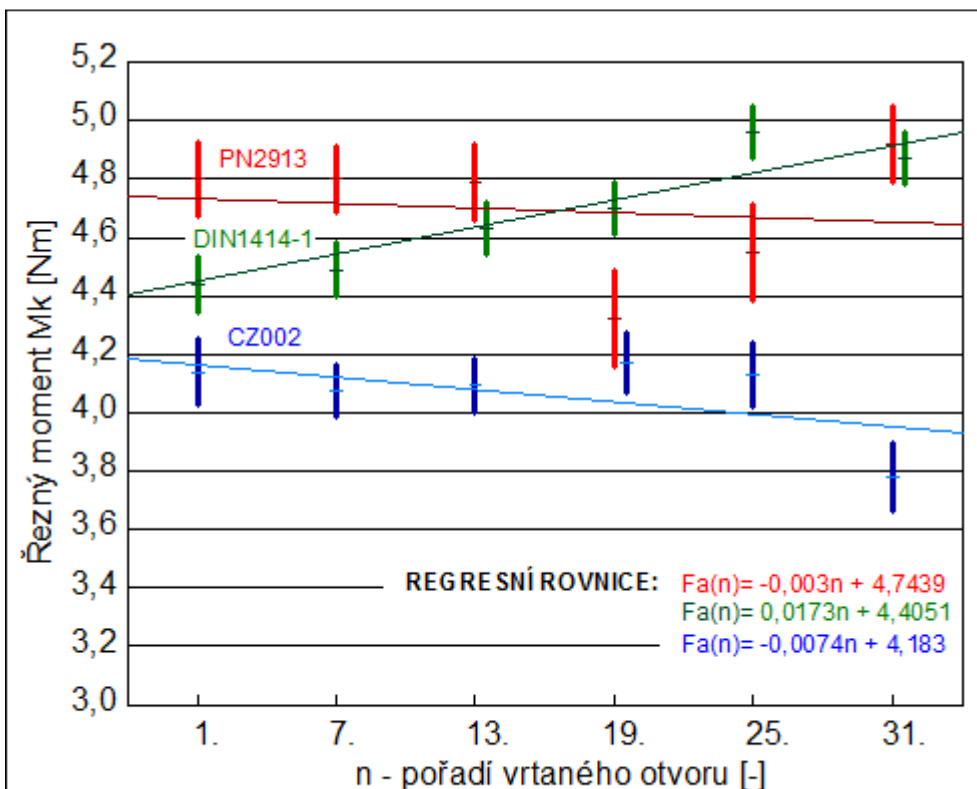


Graf 4.6 Závislost řezného momentu na počtu vrtaných otvorů

## Průměr bříty D = 10mm

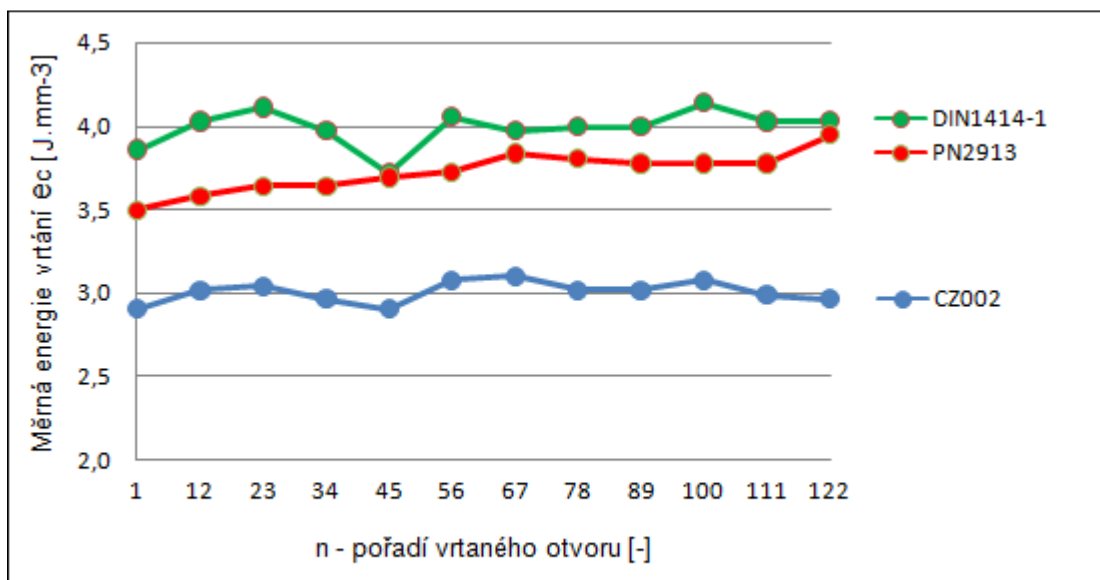


Graf 4.7 Závislost osové síly na počtu vrtaných otvorů

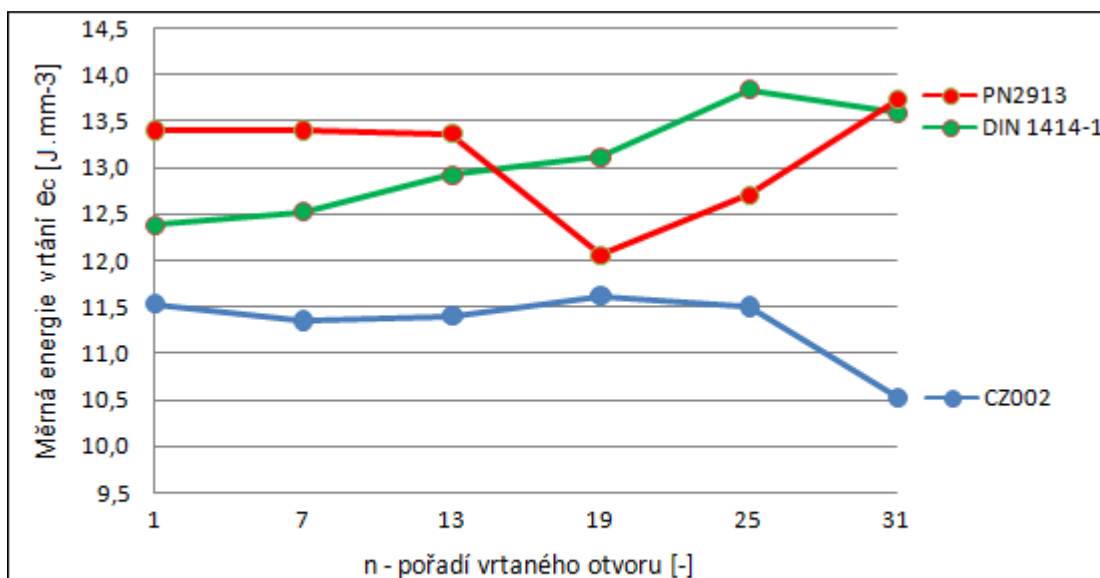


Graf 4.8 Závislost řezného momentu na počtu vrtaných otvorů

Dlouhodobé studie ukazují, že jádro konvenčních šroubových vrtáků zahrnuje asi 70-80% vynakládané posuvové síly a 20-30% řezného momentu. Tyto relativní poměry se s opotřebením nemění. Pro sjednocení obou charakteristických veličin (řezného momentu a posuvové síly) lze využít tzv. **měrnou energii vrtání** [ $\text{J}\cdot\text{mm}^{-3}$ ]. [3]



Graf 4.9 Závislost měrné energie vrtání na počtu vrtaných otvorů, **D=6mm**



Graf 4.10 Závislost měrné energie vrtání na počtu vrtaných otvorů, **D=10mm**

## 5 POSOUZENÍ GEOMETRICKÉ PŘESNOSTI VRTANÝCH OTVORŮ

Posouzení geometrické přesnosti bylo provedeno na tří-souřadnicovém měřicím zařízení MITUTOYO 544 M CRYSTA. Měření bylo provedeno na Ústavu metrologie a zkušebnictví, FSI VUT Brno.



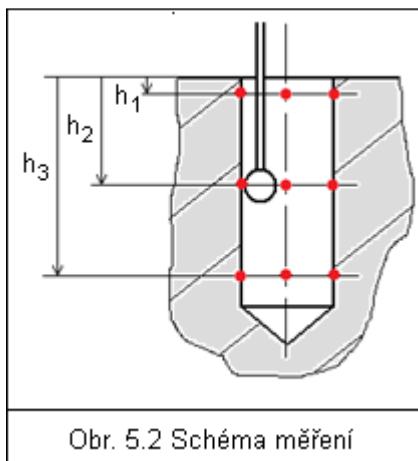
Obr. 5.1 Měřicí zařízení Mitutoyo 544 M Crysta [6]

Tab. 5.1 Základní parametry měřicího přístroje

<b>Měřicí rozsah</b>	Osa X Osa Y Osa Z	500 mm 400 mm 400 mm
<b>Nejistota měření dle VDI/VDE 2617 ISO 10360-2</b>	$U_1$ $U_3$ E	$(3,0 + 0,4L/100)\mu\text{m}$ L = měřená délka v mm $(3,5 + 0,45L/100)\mu\text{m}$ L = měřená délka v mm $(3,5 + 0,45L/100)\mu\text{m}$ L = měřená délka v mm
<b>Maximální výška dílce</b>		480 mm
<b>Maximální hmotnost dílce</b>		160 kg
<b>Velikost měřicího stolu</b>		680 mm x 850 mm
<b>Závitové otvory pro upevnění dílce</b>		M8 x 1,25
<b>Rozlišení</b>		0,0005mm
<b>Měřicí systém</b>		Vysoce přesná skleněná měřítka
<b>Uložení pojezdů souřadných os</b>		Vzduchová ložiska
<b>Vyvážení osy Z-Pinoly</b>		Vzduchem
<b>Aretace os</b>		Vzduchem
<b>Pracovní tlak vzduchu</b>		0,5Mpa (5bar)

## 5.1 Popis měření

Měřeny byly pouze otvory, které byly analyzovány v kapitole 4, s průměrem břitu 10mm. V každém měřeném otvoru bylo postupně, ve třech různých hloubkách, naměřeno po 4 bodech v každé hloubce. Následně pomocí výpočtového softwaru vypočteny průměry v jednotlivých hloubkách, střední průměr otvoru a válcovitost. Ke zkoušce byl použit měřicí skleněný dotyk  $\varnothing 3\text{mm}$ .



Obr. 5.2 Schéma měření



Obr. 5.3 Vrtané otvory

## 5.2 Číselné vyhodnocení

**Tab. 5.2 Naměřené hodnoty hodnot CZ002**

Pořadí otvoru	1.	7.	13.	19.	25.	31.
Střední průměr otvoru [mm]	10,038	10,027	10,033	10,032	10,031	10,023
Válcovitost [mm]	0,006	0,012	0,012	0,026	0,009	0,0706

**Tab. 5.1 Naměřené hodnoty hodnot PN 2913**

Pořadí otvoru	1.	7.	13.	19.	25.	31.
Střední průměr otvoru [mm]	10,175	10,189	10,219	10,24	10,237	10,26
Válcovitost [mm]	0,036	0,06	0,024	0,063	0,037	0,111

**Tab. 5.1 Naměřené hodnoty hodnot DIN 1414-1**

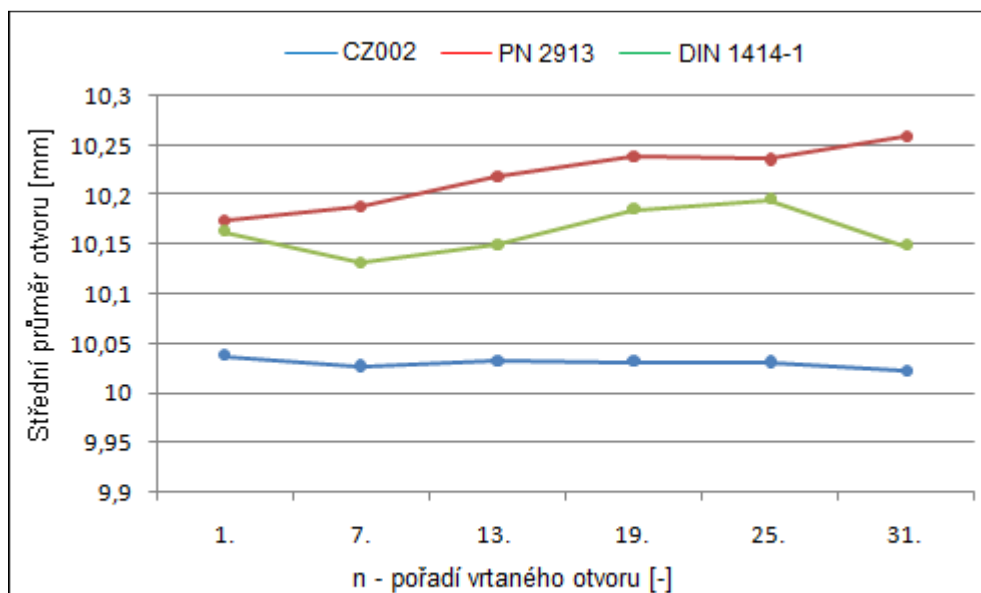
Pořadí otvoru	1.	7.	13.	19.	25.	31.
Střední průměr otvoru [mm]	10,163	10,132	10,15	10,185	10,196	10,149
Válcovitost [mm]	0,556	0,077	0,092	0,116	0,114	0,093

*Poznámka.: Hodnoty v tabulkách uvedeny v milimetrech.*

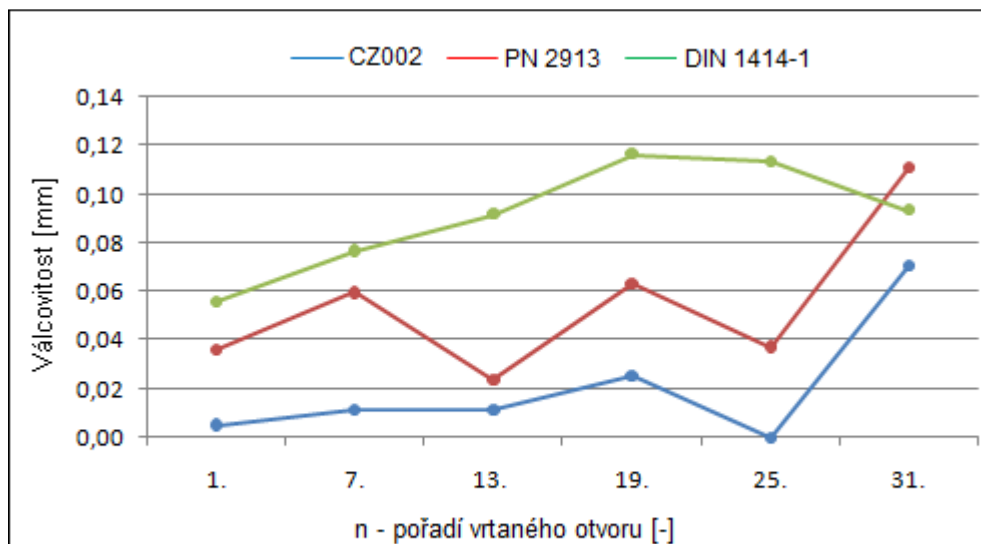
### 5.3 Grafické vyhodnocení

Naměřené hodnoty jsou hodnotami diskrétními.

#### Průměr břitu D=10mm



Graf 5.1 Geometrická přesnost - střední průměr otvoru.



Graf 5.2 Geometrická přesnost - válcovitost.

## 6 ZÁVĚR

Vrták CZ002 neodpovídá doporučeným hodnotám dle normy DIN 1414-1, odpovídá však nejrozšířenější rozměrové normě DIN 338, i DIN 340.

Zkoušky silového zatížení a geometrické přesnosti prokázaly výhody nové geometrie, kterými jsou zejména velmi malá posuvová síla, vysoká stabilita vrtáku v záběru a vysoká geometrická přesnost vrtaného otvoru. Díky této přesnosti je teoreticky možné vynechat operaci hrubování před vystružením tolerovaného otvoru, v konkrétní aplikaci.

Pokud za referenční nástroj bude uvažován CZ002,  $D=6\text{mm}$ , je doporučená tloušťka jádra u DIN 1414-1 208% tloušťky jádra CZ002. Průměrná posuvová síla na posledním měřeném otvoru je 155% posuvové síly CZ002, řezný moment 136% řezného momentu CZ002. Rozptyly těchto hodnot jsou 323% rozptylu CZ002 u posuvové síly a 160% u řezného momentu. Další nástroje jsou uvedeny v tabulce 5.1.

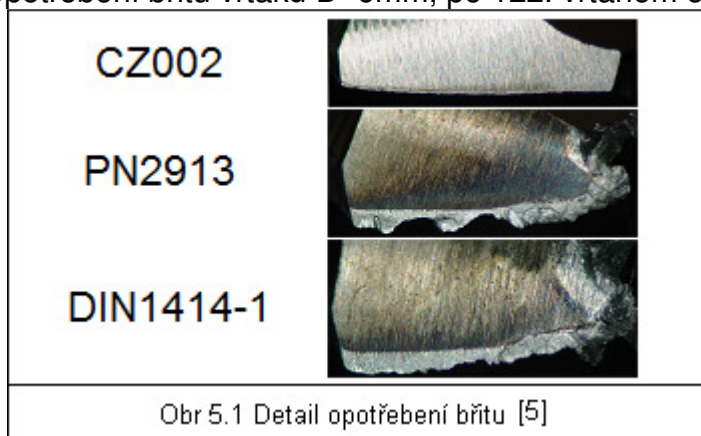
**Tab. 5.1 Vliv tloušťky jádra na silové poměry při vrtání [%]**

Vrták	Tloušťka jádra	Posuvová síla	Rozptyl posuvové síly	Řezný moment	Rozptyl řezného momentu
<b>ØD=6mm</b>					
<b>CZ002</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
PN2913	190	145	533	134	120
DIN 1414-1	208	155	323	136	160
<b>ØD=10mm</b>					
<b>CZ002</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
PN2913	229	172	487	130	113
DIN 1414-1	203	172	331	128	78

*Poznámka: Referenční nástroj pro srovnání je CZ002, srovnání provedeno vždy na posledním měřeném otvoru, vyčísleno z průměrných hodnot měření.*

V důsledku konstantní tloušťky jádra na délce  $L_1$  (viz. Obr. 3.2) je možno CZ002 opakovaně přebroušovat při zachování stejných geometrických charakteristik. Trvanlivost nástroje do dalšího přebroušení nebyla měřena.

Detail opotřebení břitu vrtáků  $D=6\text{mm}$ , po 122. vrtaném otvoru.



## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DIN 1414-1. *Technické dodací podmínky pro spirálové vrtáky z rychlořezné oceli, část 1: Požadavky*. Berlín: Německý úřad pro normalizaci, červen 1998.
- [2] DIN 1414-2. *Technické dodací podmínky pro spirálové vrtáky z rychlořezné oceli, část 2: Zkoušení*. Berlín: Německý úřad pro normalizaci, červen 1998.
- [3] FOREJT, M., PÍŠKA M.: *Teorie obrábění, tváření a nástroje*, Brno, 2006 [cit 2009-04-24]. ISBN 80 - 214 - 2374 - 9
- [4] NEČESÁNEK, E.: *Nová generace vrtáků do kovů CZ002 a CZ004*, Sborník semináře Nástroje pro těžko obrobitelné materiály, Praha, 2008-04-16 [cit. 2008-05-24 ]
- [5] NÁSTROJE CZ, s.r.o. *Dokumentace výrobce vrtáků CZ002, CZ004*. [cit 2008-05-24 ]. Dostupné na vyžádání: [info@nastrojecz.cz](mailto:info@nastrojecz.cz)
- [6] JARO-KOVO.CZ, *Kontrola jakosti* [online], [cit. 20.4.2009] Dostupné z WWW: <http://www.jaro-kovo.cz/FCKfiles/image/mitutoyo-live.jpg>
- [7] MORSE, S.: *Kopie přihlášky patentu šroubovitého vrtáku* [online], United States Patent and Trademark Office, Washington, DC. 1863-4-7 [cit. 2008-06-14] Dostupné z WWW: <http://www.uspto.gov/index.html>
- [8] YADU.INFO – *Jak rozdělat oheň, luk a vrták*. [online], [cit. 24.5.2009]. Dostupné z WWW: <http://yadu.info/vlese/ohen.php>
- [9] KULOVANÝ, M.: *Historie zubního lékařství*. Asklepion.cz [online] 2007-04-03 [cit. 2008-04-12] dostupné z WWW: <http://www.asklepion.cz/anevs-asklepion-news/anevs-2007-news/anevs-2007-04-3/historie-stomatologie.html>