

# PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

## 2019-560

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

**B23Q 17/20** (2006.01)  
**B23Q 17/24** (2006.01)  
**G01B 11/24** (2006.01)  
**G01B 11/30** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



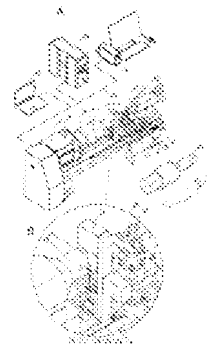
ÚŘAD  
PRŮMYSLVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **30.08.2019**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **21.10.2020**  
(Věstník č. 43/2020)

- (71) Přihlašovatel:  
Vysoká škola báňská - Technická univerzita  
Ostrava, Ostrava, Poruba, CZ
- (72) Původce:  
Ing. David Fojtík, Ph.D., Markvartovice, CZ  
Ing. Milan Mihola, Ph.D., Ostrava, Poruba, CZ  
Ing. Jiří Czebe, Jihlava, CZ  
Ing. Petr Podešva, Ph.D., Ostrava, Výškovice, CZ  
Ing. Jan Gebauer, Ph.D., Opava, Kylešovice, CZ
- (74) Zástupce:  
PatentEnter s.r.o., Koliště 1965/13a, 602 00 Brno,  
Černá Pole

profilu (22) rotačního objektu (1, 26, 37).  
Předmětem vynálezu je i měřicí zařízení.



- (54) Název přihlášky vynálezu:  
**Způsob bezkontaktního nasnímání profilů  
rotačních objektů a vyhodnocení jejich  
vnějších rozměrů a zařízení k provádění  
způsobu**

- (57) Anotace:  
Při způsobu bezkontaktního nasnímání profilů  
rotačních objektů se rotační objekt (1, 26,  
37) upevní otočně kolem rotační osy (19), opatří  
polohovatelnou optickou hlavou (3), vybere se  
počáteční bod (20) snímání na rotační ose (19) a  
stanoví se jeho poloha, stanoví se měřicí rovina  
optického mikrometru (12) pod úhlem  $90^\circ \pm 45^\circ$   
vzhledem k povrchu rotačního objektu (1, 26, 37),  
snímají se body (18, 50) povrchu rotačního objektu  
(1, 26, 37) v měřicí rovině kolimovaným svazkem  
(14) optického mikrometru, aby byl přijímač (15)  
rotačním objektem částečně zastíněn, čímž se  
promítnou body do hrany (17, 49) přechodu stínu a  
dopadajícího kolimovaného svazku (14) paprsků na  
přijímači (15). Vyhodnotí se vzdálenost (R) bodů  
povrchu rotačního objektu (1, 26, 37) od rotační osy  
a poloha na povrchu rotačního objektu (1, 26, 37)  
vzhledem k počátečnímu bodu (20) snímání na  
rotační ose (19), přesune se optická hlava (3) a  
stanoví poloha vůči počátečnímu bodu (20)  
snímání. Kroky se opakují a vyhodnotí se tvar

## **Způsob bezkontaktního nasnímaní profilů rotačních objektů a vyhodnocení jejich vnějších rozměrů a zařízení k provádění způsobu**

### 5 Oblast techniky

Předkládaný vynález se týká způsobu bezkontaktního měření a kontroly rozměrů a profilů rotačních objektů, například těch vyráběných na programově řízených obráběcích strojích, zejména na CNC soustruzích. Dále se předkládaný vynález týká měřicího zařízení k provádění uvedeného způsobu.

### Dosavadní stav techniky

15 Moderní sériová výroba rotačních objektů (hřídelí, válců, rotorů, poloos, čepů, pouzder, ložisek atd.) je výhradně realizována na programově řízených obráběcích strojích, zejména CNC soustruzích. Přes vynikající vlastnosti těchto špičkových obráběcích strojů se výroba neobejde bez následné kontroly výrobků. Důvodů je mnoho, např. opotřebení nástrojů, nekonzistentnost obráběných materiálů, vliv teploty, běžné opotřebení stroje, únava materiálu a další.

20 Právě kontrola výrobků je jedna ze zásadních překážek automatizace strojírenské výroby. Náhrada lidských očí a rukou s jemnou motorikou se schopností bezbřehé adaptability patří dosud k nepřekonatelným výzvám. Na druhou stranu, jednotvárnost u sériové výroby u člověka způsobuje, stav snížené aktivity, jenž se projevuje ospalostí, unavitelností, snížením a kolísáním výkonnosti, zhoršením adaptability a reaktivity, což vede k chybám. Jakákoliv automatizace, která snižuje chybovost a zároveň zvyšuje přesnost, rychlost a spolehlivost procesu je vítána.

30 V případě výroby na běžném soustruhu provádí kontrolu rozměrů obsluha soustruhu (soustružník/ice) průběžně nejčastěji mechanickými nebo ručními kontaktními měřidly. Při výrobě na CNC soustruzích se kontrola rozměrů obvykle provádí až po dokončení soustružení. U hromadné výroby se často kontrola rozměru provádí na vybraných vzorcích speciálními automatizovanými, kontaktními nebo bezkontaktními, měřicími přístroji.

35 Mezi ruční kontaktní měřidla pro měření průměru patří např. posuvné měřítko a třmenový mikrometr. Mezi ruční kontaktní měření rovněž patří nepřímá měřidla, která slouží k ověření, zda průměr je v požadované výrobní toleranci nebo profil odpovídá šabloně. Pro měření vnějších průměrů se používají třmenové mezní kalibry. Pro ověřování tvarů se používají speciálně vytvořené tvarové kalibry, které se přikládají k profilu, a operátor vizuálně kontroluje odchylky nejčastěji mírou průsvitu světla. Ruční měření je doménou kusové nebo malosériové výroby.

40 Předností je nízká cena a vysoká flexibilita. Nevýhodou je velký vliv lidského faktoru a nízká rychlost měření. Přesnost měření závisí na zkušenostech a přístupu operátora.

U sériové výroby nebo při požadavku na velkou přesnost měření se používají měřicí stroje s automatizovaným nebo plně automatickým způsobem měření. U velkých výrobních sérií jsou tyto stroje jednoúčelové, optimalizovány pro konkrétní typ výrobku a obvykle měří zcela automaticky.

45 Výhodou je rychlé měření všech kontrolovaných rozměrů. Nevýhodou je nízká flexibilita. Oproti tomu, vysokou flexibilitu nabízejí univerzální měřicí stroje, které jsou ale pomalejší a vyžadují odbornou obsluhu. Mezi ně například patří 3D souřadnicové měřicí stroje. Výhodou měřicích strojů je ve velké přesnosti a spolehlivosti měření. Hlavní nevýhody jsou vysoká cena a potřeba manipulace s výrobkem pro jeho uchycení ve stroji.

50

Při strojovém měření průměrů rotačních součástí jako jsou hřídele, čepy, válce apod., se s výhodou používají optické mikrometry na principu „thru-beam“, tj. např. na principu jednocestné optické závory. Ty vyhodnocují průměr měřené součásti na základě míry zastínění plochého kolimovaného svazku paprsků dopadajícího přímo nebo nepřímo na řádkový CCD nebo CMOS snímač. Mezi

55

zdroj kolimovaného svazku paprsků a řádkový snímač je vložena měřená rotační součást osou rotace kolmo na světelný svazek.

U měřených průměrů, které jsou menší, než je měřicí rozsah optického mikrometru, je měřený objekt vložen do svazku paprsků celý tak, aby z obou stran měřeného průměru svazek paprsků osvětloval CCD nebo CMOS snímač. Polovodičové snímače typu CCD fungují na principu nábojově vázaných prvků, zatímco snímače typu CMOS fungují na principu unipolárních tranzistorů. Velikost vrženého ohraničeného stínu pak odpovídá měřenému průměru. V současnosti lze najít na trhu optické mikrometry typu „thru-beam“ společnosti Keyence ([https://www.keyence.com/ss/products/measure/measurement\\_library/type/optical/](https://www.keyence.com/ss/products/measure/measurement_library/type/optical/)) nebo Micro-epsilon ([https://www.micro-epsilon.com/2D\\_3D/optical-micrometer/micrometer/](https://www.micro-epsilon.com/2D_3D/optical-micrometer/micrometer/)).

Pro měření větších průměrů se používá dvojice proti sobě orientovaných optických mikrometrů, jejichž řádkové snímače a ploché kolimované svazky paprsků se nacházejí v jedné rovině a jsou od sebe rovnoběžně vzdáleny o přesně známou vzdálenost od sebe. Měřený objekt je vložen uprostřed mezi snímače osou rotace kolmo k rovině světelných svazků tak, aby z části vrhal stín u obou snímačů. Výsledný průměr je dán součtem známé vzdálenosti mezi snímači s velikostmi vržených stínů obou mikrometrů. Tento princip měření je využit v optickém mikrometru společnosti Keyence ([https://www.keyence.eu/landing/inner\\_outer\\_diameter.jsp](https://www.keyence.eu/landing/inner_outer_diameter.jsp)).

Pro měření ovality se používají nejméně dva s výhodou více párů snímačů, jejichž kolimované svazky paprsků jsou kolem osy rotace měřeného objektu pootočený o známý úhel tak, aby symetricky měřili průměr objektu ve více osách.

Pro proměření objektu ve více místech se s výhodou používá posouvání optických snímačů nebo měřeného objektu podél osy rotace objektu o známé vzdálenosti. Získá se sada změřených průměrů v různých místech podél měřeného objektu.

Je-li krok posuvu dostatečně přesný a jemný může být profil měřeného objektu částečně nasnímán. Takto lze nasnímat válcové a částečně kuželové plochy měřené součásti. Přesnost nasnímání závisí na přesnosti měření posunu a u kuželových ploch na úhlu kuželové plochy vůči kolimovanému svazku paprsků (cca od 90 do 45°). Jedná se například o zařízení společnosti Riftek ([https://riftek.com/eng/products/~show/instruments/special\\_devices/Automated-system-for-motor-shafts-measurement](https://riftek.com/eng/products/~show/instruments/special_devices/Automated-system-for-motor-shafts-measurement)) nebo Vicivision (<https://www.vicivision.com/optical-measuring-machines-for-turned-parts/>).

Článek „Zelinka, O.: Bezkontaktní měření rozměrů – optické mikrometry; In: Automa 4/2009“ popisuje aspekty metod bezkontaktního měření rozměrů a optické mikrometry typu „thru-beam“ sloužící jako měřicí zařízení pro automatizované měření statických i pohybujících se objektů. Ve čtyřech kapitolách (1 až 4) jsou obecně popsány princip funkce, konstrukce, měřicí módy a limitace optického mikrometru typu „thru-beam“.

Z principu funkce (kapitola 1) je známo, že měřený objekt je z vysílače osvětlen kolimovaným svazkem paprsků, který je měřeným objektem zčásti zastíněn, přičemž zbytek nezastíněného paprsku dopadá na přijímač, výhodně na pixely řádkového CCD-CMOS snímače. Z informace o pořadí a jasech jednotlivých pixelů lze určit pozice hran světla a stínu, a tím rozměry objektů před snímačem. Důležitým aspektem tohoto principu je plynulá změna jasu hrany stínu objektu na snímači vyvolaná ohybem světla, přičemž tento aspekt vplývá na přesnost samotného měření. Zpracování a vyhodnocení jednotlivých hodnot jasu ze snímače je následně provedeno analogově (pomocí komparátoru s nastavenou analogovou rozhodovací úrovní) nebo digitálně (pomocí AD převodníku a výpočetní techniky).

Z pohledu konstrukce (kapitola 2) optických mikrometrů s řádkovými snímači je popsáno vícero variantních provedení vysílačů (laserová dioda, LED dioda a vysílač využívající laserový paprsek rozmítaný rotujícím polygonem se zrcátky do podoby rovnoběžného svazku paprsků postupně

osvětlujícího jednotlivé pixely řádkového snimače) se zaměřením na výhody a nevýhody jednotlivých konstrukčních variant. Jsou známy možnosti použití samostatných měřicích hlav připojitelných k řídicí jednotce. Příkladná měřicí hlava zahrnuje vysílač se světelným zdrojem a kolimační optikou a přijímač s řádkovým snímačem, obvody pro předzpracování signálu, a  
 5 případně další optické komponenty eliminující nedostatky kolimovaného svazku paprsků. Řídicí jednotka zahrnuje hardware pro výpočet pozic hran, ovládací prvky a výstupní periferie s možností připojení většího počtu měřicích hlav.

S ohledem na měřicí módy (kapitola 3) je známo, že optický mikrometr detekuje ty hrany v profilu jasu snimače, které vyhovují nastaveným kritériím, a z pořadových čísel jednotlivých pixelů vyhodnotí jejich pozici, resp. vzdálenost mezi nimi. Volitelně lze na vypočítané pozice hran využít kalibrační konstanty. Mezi základní měřicí módy patří měření polohy konce objektu umístěného v aktivní oblasti mezi vysílačem a přijímačem (např. pozice tabule plechu), měření vzdáleností mezi hranami souvislého objektu (např. průměr hadičky) a měření vzdálenosti mezi dvěma objekty  
 15 (např. mezery mezi válci nebo měření vývodů integrovaných obvodů). Dále lze optické mikrometry využít pro měření pohybujících se objektů, např. pro měření vibrací, ovality či průměru a průřezu navíjených materiálů. Pro měření průměrů (trubek, hadiček, kabelů) se připouští i možnost mikrometrů měřících současně ve více osách, např. dvou navzájem kolmých osách.

Mezi obecné vlastnosti optického mikrometru (kapitola 4), kterými je nutné se zabývat pro dosažení přesnosti bezkontaktního měření rozměrů, patří rozlišovací schopnost, opakovatelnost, linearita, pracovní rozsah, vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem, druh a výkon světelného zdroje a výstupní rozhraní. Limitacemi může být kvalita světla a světelné podmínky měření a udržení čistoty vnějších ploch vysílače a přijímače.

V US patentové přihlášce US 2014157610 A1 jsou popsány systémy, zařízení a způsoby integrace elektronického měřicího senzoru do výrobního zařízení pracujícího s vysokou přesností, např. do CNC stroje. Používá se například laserový senzor pro měření vzdálenosti. Měření se provádějí při relativně vysoké vzorkovací frekvenci a převádějí se do formátu kompatibilního s jinými daty generovanými nebo akceptovanými CNC strojem. Měření ze senzoru jsou synchronizována s polohou ramene stroje, například pomocí offsetů. Zpracováním se získá podrobná a vysoce přesná trojrozměrná mapa obrobku ve stroji. Použitelné měřicí nástroje zahrnují další, téměř nepřetržitě čitelné nedestruktivní charakterizační nástroje, jako jsou kontaktní a bezkontaktní rozměrové, vířivé proudy, ultrazvukové a rentgenové fluorescenční senzory (XRF). Různá použití měření  
 35 zahrnují: vícenásobné přizpůsobení součástí, korekce driftu stroje, řízení strojů v uzavřené smyčce a ověření tolerancí produktu prostřednictvím v podstatě úplné sériové kontroly rozměrové kvality.

US Patentová přihláška US 2019063902 A1 popisuje zařízení pro monitorování tloušťky otvoru kolesového ventilu na lince, které je hlavně složeno z rámu, základní desky, zvedacího válce, první konzoly, ložiskové základny, lineárního ložiska, montážní desky, vodící hřídele, zvedací hřídele, prvního servomotoru, první synchronní kladky, spojovací desky, synchronního pásu a druhé synchronní kladky. Základní deska, třetí konzola a druhý montážní stojan jsou upevněny na rám, vizuální senzor je namontován na třetí konzole, montážní deska je upevněna na základní desce pomocí první konzoly, ložisková základna je upevněna na montážní desce a zvedací hřídel je  
 45 upevněna na ložiskové základně pomocí lineárního ložiska.

V patentové přihlášce US 2007009345 A1 je popsáno zařízení pro zavádění substrátu, které má rám, kazetový nosič a uživatelské rozhraní. Rám je připojen k zařízení pro zpracování substrátu. Rám má přepravní otvor, skrz který jsou substráty transportovány mezi uvedeným zařízením a  
 50 zařízením pro zpracování substrátu. Kazetový nosič je připojen k rámu pro držení alespoň jedné substrátové kazety. Uživatelské rozhraní je uspořádáno pro zadávání informací a je připojeno k rámu tak, že uživatelské rozhraní je nedílnou součástí rámu.

Nevýhodou výše uvedených systémů je skutečnost, že se nabízejí jako samostatné měřicí stroje, nejsou přídavnou nebo integrální součástí programově řízených obráběcích strojů, zejména CNC  
 55

soustruhů, a použité principy tuto možnost značně komplikují nebo zcela vylučují (např. pevně umístěný optický systém by se poškodil během obrábění).

5 Další nevýhoda výše uvedených systémů spočívá také v tom, že mezi obráběním a snímáním profilu výrobku je nutné s výrobkem manipulovat a přizpůsobovat jeho polohu měřicímu stroji. Je-li po proměření vyžadováno další obrábění, následuje stejně obtížná manipulace zpět na obráběcí stroj.

10 Nízká flexibilita těchto systémů se promítne i při výměně výrobních sérií a změnách způsobů obrábění výrobků.

Navíc, uvedené systémy nejsou uzpůsobeny na snímání každého výrobního kusu bez výrazného navýšení výrobních nákladů, jako to je u univerzálních měřicích systémů.

15

### Podstata vynálezu

20 Cílem tohoto vynálezu je poskytnout způsob automatického nasnímání a vyhodnocování profilů rotačních objektů včetně měření průměrů a odchylek objektů od zadaného výkresu, a to přímo na programově řízeném obráběcím stroji, zejména na CNC soustruhu a bez nutnosti manipulace se samotným výrobkem mezi kroky obrábění a nasnímání, nebo případně na samostatném měřicím zařízení.

25 Výše uvedené nedostatky do jisté míry odstraňuje způsob bezkontaktního nasnímání profilů rotačních objektů a vyhodnocení jejich vnějších rozměrů, přičemž rotační objekt definovaný svým povrchem a rotační osou je upevněn kolem rotační osy, přičemž uvedený způsob v nejjednodušším, prvním aspektu zahrnuje sedm kroků.

30 V prvním kroku je zařízení s upevněným rotačním objektem opatřeno polohovatelnou optickou hlavou mající alespoň jeden optický mikrometr typu „thru-beam“, který zahrnuje vysílač (zdroj světla, zářič) a přijímač alespoň jednoho kolimovaného svazku paprsků. Optická hlava je polohovatelná ve skenovací rovině v příčném a/nebo podélném směru, přičemž skenovací rovina zahrnuje rotační osu. Pokud je zařízením programově řízený obráběcí stroj, je optická hlava zapojena a upevněna manuálně nebo prostřednictvím automatického procesu výměny nástroje.

35

V druhém kroku je vybrán počáteční bod snímání nacházející se na rotační ose a stanovena jeho poloha vůči optické hlavě. Tento bod definuje vztažný bod při vyhodnocení tvaru profilu rotačního objektu.

40 Ve třetím kroku je stanovena alespoň jedna měřicí rovina alespoň jednoho optického mikrometru, a tato rovina je tvořena kolimovaným svazkem paprsků a alespoň jednou řadou fotocitlivých buněk CCD/CMOS snímače v přijímači pod úhlem  $90^\circ \pm 45^\circ$  vzhledem k povrchu rotačního objektu. Dále je vyhodnocen úhel měřicí roviny vzhledem k rotační ose.

45 Ve čtvrtém kroku je alespoň jeden bod na povrchu rotačního objektu v měřicí rovině snímán alespoň jedním kolimovaným svazkem paprsků optického mikrometru tak, aby byl přijímač rotačním objektem během snímání částečně zastíněn. Uvedený bod nebo body se promítnou tak do alespoň jedné hrany přechodu stínu a dopadajícího kolimovaného svazku paprsků na přijímači. Každý bod v měřicí rovině je na přijímači reprezentován hranou ve skenovací rovině kolmé na měřicí rovinu. Skenovací rovina je tedy tvořena rovinou přijímače, zatímco měřicí rovina je tvořena kolimovaným svazkem paprsků a řadou fotocitlivých buněk CCD/CMOS snímače v přijímači.

50

V pátém kroku je jednak vzdálenost  $R$  bodu nebo bodů na povrchu rotačního objektu od rotační osy, a jednak poloha bodu nebo bodů na povrchu rotačního objektu vzhledem k počátečnímu bodu snímání na rotační ose vyhodnocena pomocí vyhodnocovací jednotky. Vzdálenost  $R$  i poloha bodu

55

- nebo bodů na povrchu rotačního objektu vzhledem k počátečnímu bodu snímání je vyhodnocena na základě vzdálenosti hrany na přijímači a relativní polohy počátečního bodu přijímače vzhledem k počátečnímu bodu snímání na rotační ose, a navíc na základě údajů o poloze optické hlavy vzhledem k rotační ose, kde tyto údaje zahrnují údaje ze snímače podélného posuvu a snímače příčného posuvu nosného rámu a údaje o úhlu natočení měřicí roviny podle třetího kroku. Optický mikrometr se tedy používá jako dálkoměr a vzdálenost  $R$  kolmo k rotační ose představuje poloměr měřeného rotačního objektu. Vyhodnocovací jednotka může zahrnovat různé moduly a obvody pro sledování v reálném čase.
- 5 V šestém kroku je optická hlava přesunuta v podélném a/nebo příčném směru vzhledem k povrchu rotačního objektu, je stanovena její poloha vůči počátečnímu bodu snímání a jsou zopakovány třetí, čtvrtý a pátý krok. Optická hlava je polohována v podélném a/nebo příčném směru pomocí podélného posuvu a příčného posuvu nosného rámu, na kterém je optická hlava upevněna. Přesnost měření závisí nejen na přesnosti samotných optických mikrometrů, ale rovněž na přesnosti znalosti polohy a orientace jednotlivých optických mikrometrů, které se mohou po každém uchycení soustavy mírně lišit.
- 10 15

V sedmém kroku je získána množina bodů na povrchu rotačního objektu ve skenovací rovině a následně je vyhodnocen tvar profilu rotačního objektu.

- 20 Druhým výhodným aspektem tohoto vynálezu je, že hrana přechodu stínu a dopadajícího kolimovaného svazku paprsků je snímána pomocí fotocitlivých buněk na ploše přijímače tvořeného řádkovým CCD/CMOS snímačem nebo maticovým CCD/CMOS snímačem. Pod pojmem CCD/CMOS snímač se rozumí snímač na principu zařízení s vázanými náboji (CCD) nebo komplementární snímač na principu vrstev kovu, oxidu a polovodiče (CMOS) nebo jejich kombinace. Vzdálenost  $R$  bodu na povrchu rotačního objektu od rotační osy může přitom být vyhodnocena na základě té hrany na přijímači, která je nejbližší k rotační ose. V případě použití řádkového CCD/CMOS snímače se jedná o jednorozměrný optický mikrometr s jednou měřicí rovinou, zatímco u maticového CCD/CMOS snímače je řeč o vícerozměrném optickém mikrometru s více měřicími rovinami. Maticový CCD/CMOS snímač s více měřicími rovinami tedy funguje jako sestava více řádkových CCD/CMOS snímačů, ovšem s nižšími nároky na materiál a součástky.
- 25 30

- Podle třetího výhodného aspektu tohoto vynálezu je úhel měřicí roviny optického mikrometru vzhledem k povrchu rotačního objektu během snímání měněn po krocích nebo plynule, nebo může úhel zůstat neměnný. Důležitým aspektem tohoto vynálezu je, že měřicí rovina se natáčí tak, aby svírala úhel co nejbližší kolmici s povrchem rotačního objektu. Osa natáčení optického mikrometru je rovnoběžná s kolimovaným svazkem paprsků a nachází se s výhodou v polovině měřicího rozsahu  $L/2$  optického mikrometru.
- 35 40

- Plynulé natáčení optického mikrometru může probíhat mezi dvěma definovanými úhly nebo s trvale konstantními otáčkami. Během každé otáčky se provede opakované měření, čímž se získá sada bodů ovlivněná aktuální polohou optické hlavy a úhlu natočení optického mikrometru. Body získané během otáčení jednorozměrného optického mikrometru se mohou filtrovat na základě vzdálenosti hrany přechodu stínu a dopadajícího kolimovaného svazku paprsků na CCD/CMOS snímač od osy natáčení.
- 45

- V případě měření délek stupňovitých válcových ploch nebo šířek drážek se může optický mikrometr natočit až rovnoběžně, tj. v úhlu  $0^\circ$  s rotační osou rotačního objektu. Při měření šířky drážek je nutné změnit způsob umístění optického mikrometru a vyhodnocování hran vrženého stínu detekovaných na řádkovém CCD/CMOS snímači tak, aby kolimovaný svazek paprsků byl zastíněn z obou stran a střed drážky byl uprostřed měřicího rozsahu  $L$ . Přitom se vyhodnocuje délka osvětlené části uprostřed měřicího rozsahu  $L$ , která reprezentuje šířku drážky.
- 50

Čtvrtým výhodným aspektem tohoto vynálezu je, že v případě proměnlivého úhlu měřicí roviny může být přijímač natáčen kolem osy natáčení optického mikrometru, rovnoběžné s měřicí rovinou, pomocí přesného pohonu se zpětnou vazbou. Navíc, vysílač kolimovaného svazku paprsků může být natáčen kolem osy natáčení optického mikrometru, rovnoběžné s měřicí rovinou, pomocí uvedeného přesného pohonu nebo pomocí dalšího, nezávislého pohonu. Oba pohony mohou být mechanicky propojeny (tj. na sobě závislé) nebo mohou být na sobě nezávislé. I v případě mechanicky nezávislých pohonů je s výhodou žádoucí jejich synchronizace. Vyhodnocovací jednotka je kvůli pohonům rozšířena o řídicí modul, který na základě polohy nosného rámu, případně znalosti profilu rotačního objektu, natáčí optický mikrometr tak, aby měřicí rovina reprezentovaná kolimovaným svazkem paprsků a řádkovým CCD/CMOS snímačem svírala úhel blízký kolmici ke snímanému povrchu rotačního objektu. Úhel natočení optického mikrometru musí být zpětnovazebně měřen nebo musí být zajištěny spolehlivé fixní polohy přijímače několika variant úhlu natočení.

Pátým výhodným aspektem tohoto vynálezu je, že kolimovaným svazkem paprsků je plošný kolimovaný svazek paprsků dopadající na maticový CCD/CMOS snímač.

S ohledem na pátý aspekt vynálezu, natáčení jednorozměrného optického mikrometru může být s výhodou realizováno pouze na úrovni natáčení řádkového CCD/CMOS snímače, je-li vysílač schopen plošným svazkem paprsků osvětlovat současně plochu, která pokrývá všechny polohy natočení přijímače.

Podle šestého výhodného aspektu tohoto vynálezu je během snímání optická hlava přesouvána v prvním podélném směru vzhledem k rotační ose (např. vpravo), přičemž pro přesunutí optické hlavy druhým, opačným podélným směrem (např. vlevo) je snímání přerušeno. Poté je optická hlava přesunuta druhým podélným směrem až za počáteční polohu snímání (např. o násobek předpokládané odchylky) a do počáteční polohy snímání je optická hlava následně přesunuta prvním podélným směrem. Tímto je eliminována necitlivost a nepřesnost polohy nosného rámu způsobená odchylkami podélného a příčného posuvu.

Sedmým aspektem tohoto vynálezu je, že rotační objekt lze na zařízení, na kterém je upevněno, např. na programově řízeném obráběcím stroji, během snímání otáčet kolem své rotační osy. U mechanismu otáčení rotačního objektu je s výhodou implementováno precizní řízení úhlu natočení rotačního objektu s vysokou přesností zpětnovazebního měření.

Způsob a rychlost otáčení rotačního objektu a přesouvání optické hlavy je vhodné řídit tak, aby se měřený rotační objekt v požadované vzdálenosti od počáteční polohy měřeného rotačního objektu proměřil pod všemi požadovanými úhly natočení, respektive byl rotační objekt proměřen po obvodu v požadovaných místech. Z množiny naměřených bodů jedné otáčky je možné zjistit řadu vad měřeného objektu jako je házivost, nerovnoměrné opotřebení, ovalita, poškození apod. U opotřebovaných válců je možné zjistit maximální opotřebení a vyhodnotit potřebnou hloubku úběru materiálu pro renovaci profilu válců novým opracováním při dovoleném zmenšení průměru válců.

S výhodou je dále podle osmého aspektu tohoto vynálezu měřicí rovina optického mikrometru nastavena ve třetím kroku pomocí viditelného laserového paprsku z optického zaměřovacího zařízení upevněného na optické hlavě. Laserový paprsek je orientován rovnoběžně s kolimovaným svazkem paprsků a vizuálně pomáhá operátorovi ručně nastavit počáteční polohu optické hlavy pro proces snímání nebo kalibraci.

Podle devátého výhodného aspektu tohoto vynálezu je před snímáním rotačního objektu provedena kalibrace polohy optické hlavy a je stanoven počáteční bod snímání. Při kalibraci je alespoň jeden optický mikrometr během snímání přesouván podél profilu kalibru o známých rozměrech a tvaru a s rotační osou rovnoběžnou nebo totožnou s rotační osou rotačního objektu tak, aby byl přijímač profilem kalibru během snímání částečně zastíněn, podobně jako při snímání rotačního objektu. Na

přijímači se tak snímá alespoň jedna hrana přechodu stínu a dopadajícího kolimovaného svazku paprsků. Z nasnímaného profilu kalibru je vyhodnocen počáteční bod snímání na rotační ose a poloha optického mikrometru vzhledem k němu. Rozměry kalibru jsou přesně známy a ze získaných odchylek nasnímaného profilu vůči reálným rozměrům kalibru se vyhodnotí úhly, měřítka a vzájemné posunutí optických mikrometrů soustavy. Měřicí rovina může být nastavena na počáteční polohu snímání na povrchu kalibru.

S ohledem na přesouvání optické hlavy v podélném směru vzhledem k rotační ose je dále s výhodou provedena i kalibrace přesunu optické hlavy v tomto směru. Optická hlava je během snímání při kalibraci přesouvána pouze jedním směrem, obvykle s měřicí rovinou kolmo vůči rotační ose. Zároveň probíhá snímání vhodné části rotačního objektu nebo kalibru a údaje z posuvu se porovnávají s údaji naměřenými na kalibrovaném optickém mikrometru soustavy. Analogicky je provedena i kalibrace přesunu optické hlavy v příčném směru vzhledem k rotační ose.

S ohledem na proměnlivý úhel měřicí roviny vzhledem k povrchu rotačního objektu je dále s výhodou provedena kalibrace přesného pohonu natáčení optického mikrometru. Jedná se o opakované snímání vhodně navrženého kalibru o známých rozměrech s různým úhlem natočení optického mikrometru.

Podle desátého výhodného aspektu tohoto vynálezu je rotační objekt snímán dvojicí optických mikrometrů ve dvou měřicích rovinách s dvojicí kolimovaných svazků paprsků. Měřicí roviny dvojice kolimovaných svazků paprsků mohou vytvářet tvar V bez překřížení. Dále, hrany přechodu stínu a dopadajících kolimovaných svazků paprsků jsou snímány pomocí dvojice přijímačů tvořených řádkovými CCD/CMOS snímači. Obě měřicí roviny jsou nastaveny pod úhly  $\pm 45^\circ$  vzhledem k rotační ose a tyto měřicí roviny svírají úhel  $90^\circ$ . V první měřicí rovině může být snímán povrch rotačního objektu v prvním podélném směru a ve druhé měřicí rovině může být snímán povrch rotačního objektu v druhém, opačném podélném směru. Tímto  $45^\circ$  nastavením měřicích rovin lze s výhodou snímat kuželové plochy rotačních objektů.

Podle jedenáctého výhodného aspektu tohoto vynálezu je rotační objekt snímán alespoň dvěma optickými mikrometry v alespoň dvou překřížených měřicích rovinách, přičemž každá měřicí rovina je tvořena kolimovaným svazkem paprsků a řadou fotocitlivých buněk na ploše přijímače tvořeného jedním maticovým CCD/CMOS snímačem. S výhodou mohou být přítomny dvě nebo čtyři měřicí roviny. Dále, hrany přechodu stínu a dopadajících kolimovaných svazků paprsků jsou snímány pomocí jednotlivých řad fotocitlivých buněk měřicích rovin. S těmito řadami se operuje jako s více nezávislými řádkovými CCD/CMOS senzory.

V tomto aspektu vynálezu mohou být dvě měřicí roviny nastaveny pod úhlem  $45^\circ$  vzhledem k rotační ose. Tyto měřicí roviny pak mohou svírat úhel  $90^\circ$ . V případě dvojice překřížených měřicích rovin lze snímat povrch rotačního objektu v obou rovinách současně. Tímto  $45^\circ$  nastavením měřicích rovin lze s výhodou snímat kuželové plochy rotačních objektů.

Při snímání úzkých drážek (zápichů) v tomto nastavení může ovšem nastat problém, kdy je díky většímu měřicímu rozsahu snímače kolimovaný svazek paprsků optického mikrometru úplně, nebo částečně zastíněn také z druhé strany sousední válcovou částí rotačního objektu. Problém lze eliminovat analýzou hran vrženého stínu detekovaných na maticovém CCD/CMOS snímači, kdy je akceptována pouze jedna hrana nejbližší k rotační ose rotačního objektu.

Alternativně, je v tomto aspektu vynálezu nastavena první měřicí rovina pod úhlem  $90^\circ$  (kolmo) vzhledem k rotační ose, zatímco druhá měřicí rovina je nastavena pod úhlem  $0^\circ$  (rovnoběžně) vzhledem k rotační ose rotačního objektu. Tímto rovnoběžně-kolmým nastavením měřicích rovin lze s výhodou snímat úzké drážky (zápichy) v povrchu rotačního objektu.

Alternativně, je v tomto aspektu vynálezu rotační objekt snímán čtveřicí optických mikrometrů ve čtyřech překřížených měřicích rovinách tvořených čtveřicí kolimovaných svazků paprsků a k nim

příslušných řad fotocitlivých buněk CCD/CMOS snímače. První měřicí rovina je nastavena pod úhlem  $90^\circ$  (kolmo) vzhledem k rotační ose, druhá měřicí rovina je nastavena pod úhlem  $0^\circ$  (rovnoběžně) vzhledem k rotační ose, a třetí a čtvrtá měřicí rovina jsou nastaveny pod úhlem  $45^\circ$  (šikmo) vzhledem k rotační ose rotačního objektu. Sousedící měřicí roviny přitom můžou svírat  
 5 úhel  $45^\circ$ . Dále, hrany přechodu stínu a dopadajících kolimovaných svazků paprsků jsou snímány pomocí čtyř řad fotocitlivých buněk na ploše přijímače tvořeného maticovým CCD/CMOS snímačem.

Provedení s maticovým CCD/CMOS senzorem jsou prostorově nejméně náročné, přičemž  
 10 umožňují změřit všechny válcové a kuželové povrchy rotačního objektu, včetně hloubek drážek, a rovněž umožňují změřit délky povrchů (šířky drážek). Provedení rovněž umožňují současně snímat ve všech optických rovinách zároveň, přičemž se dráha optické hlavy polohuje a optimalizuje vzhledem ke středu křížení optických rovin.

Dvanáctým výhodným aspektem je, že pro vyhodnocení hrany stínu a dopadajícího kolimovaného  
 15 svazku paprsků můžou být použity všechny nebo vybrané řady fotocitlivých buněk na ploše maticového CCD/CMOS snímače, které jsou s výhodou uspořádány pod úhlem  $90^\circ$  a/nebo  $\pm 45^\circ$  a/nebo  $0^\circ$  vzhledem k rotační ose. Tyto řady tedy kopírují uspořádání měřicích rovin v jedenáctém výhodném aspektu tohoto vynálezu. V případě plošného kolimovaného svazku paprsků lze  
 20 s výhodou využít všechny řady fotocitlivých buněk, tedy celou plochu maticového CCD/CMOS snímače.

Podle třináctého výhodného aspektu tohoto vynálezu je povrch rotačního objektu postupně snímán  
 25 nejdříve prvním, následně druhým, případně poté každým dalším ze skupiny optických mikrometrů.

Například, v případě optické hlavy s dvojicí samostatných optických mikrometrů se s výhodou  
 objekt snímá ve dvou fázích odděleně pro první a druhý optický mikrometr lišících se směrem  
 30 podélného posuvu soustavy podél rotační osy rotačního objektu. Aktivním je přitom pouze jeden ze snímačů v daném směru a snímá plochy, se kterými měřicí rovina svírá úhel  $90^\circ$  až  $\pm 45^\circ$ . Plochy rovnoběžné s rotační osou jsou nasnímány oběma snímači a body z těchto ploch slouží ke zpřesnění a spojení obrazů levého a pravého optického mikrometru do celého obrazu profilu rotačního objektu.

Alternativně, povrch rotačního objektu je snímán všemi optickými mikrometry současně. Pro  
 35 vyhodnocení tvaru profilu rotačního objektu jsou v obou případech získané množiny bodů z jednotlivých optických mikrometrů sloučeny.

Dále lze u speciálních ploch, které nemají tvar rotačního tělesa, například váčky, získat v případě  
 40 přesného rozlišení úhlu natočení kolem rotační osy měřeného objektu množinu dostatečně přesně změřených bodů po obvodu této plochy reprezentující obvodový sken plochy, který je možné rozměrově a tvarově porovnat s požadovanými rozměry a tvarem plochy.

Podle čtrnáctého výhodného aspektu tohoto vynálezu je optická hlava upevněna na nosném rámu  
 45 programově řízeného obráběcího stroje, s výhodou zejména CNC soustruhu, a rotační objekt je upevněn na programově řízeném obráběcím stroji pomocí sklíčidla a/nebo koníku. Kalibr je možné s výhodou integrovat do sklíčidla pro upnutí rotačního objektu, do upínacího hrotu nebo do hrotové objímky koníka programově řízeného obráběcího stroje. K otáčení měřeného rotačního objektu může s výhodou být použito vřeten  
 50 programově řízeného obráběcího stroje.

Optická hlava může být přitom polohována v příčném a/nebo podélném směru pomocí podélného  
 posuvu a příčného posuvu nosného rámu programově řízeného obráběcího stroje. Optická hlava je  
 na nosném rámu upevněna a její poloha může být vyhodnocena pomocí integrovaných polohových  
 55 senzorů programově řízeného obráběcího stroje. Samotné polohování nosného rámu může být s výhodou provedeno řídicím systémem programově řízeného obráběcího stroje, a tento systém

může pomáhat vyhodnocovací jednotce při vyhodnocování polohy optické hlavy. Výhodněji lze optickou hlavu konstruovat jako speciální, automaticky výměnný nástroj programově řízeného obráběcího stroje.

- 5 Podle patnáctého výhodného aspektu tohoto vynálezu je optická hlava upevněna na nosném rámu, přičemž tvoří samostatné měřicí zařízení.

- 10 Dále, kontrola rozměrů ze získaných skenů profilů rotačního objektu nebo obvodů speciálně tvarovaných ploch, je s výhodou prováděna automaticky počítačovým vyhodnocením na základě porovnání získaného skenu profilu objektu s dopředu zadanými parametry rozměrů nebo s výrobním CAD výkresem profilu.

- 15 Vyhodnocení může provádět přímo vyhodnocovací jednotka nebo ta může být propojena s počítačem, kterému data předá k vyhodnocení. Počítač může být vybaven speciálním softwarem, který vizualizuje průběh procesu snímání a umožňuje prohlížet výsledky měření včetně změřených odchylek. V případě existence několika druhů měřených rotačních objektů speciální software může zároveň sloužit k aktivaci příslušné specifikace pro konkrétní vložený výrobek. Počítač může s výhodou data vizualizovat operátorovi nebo je předat nadřízenému systému výrobní linky. Počítač může s výhodou výsledky a nasnímané údaje ukládat do databáze k archivaci či následným  
20 analýzám. Počítač nebo vyhodnocovací modul může na základě vyhodnocených dat a definovaných pravidel spouštět další procesy např. alarmy.

- Po ukončení snímání povrchu rotačního objektu může být optická hlava odpojena z nosného rámu manuálně nebo prostřednictvím automatického procesu výměny nástroje.

- 25 Šestnáctým výhodným aspektem tohoto vynálezu je měřicí zařízení pro bezkontaktní nasnímaní profilů rotačních objektů a vyhodnocení jejich vnějších rozměrů, k provádění výše popsaného způsobu, přičemž rotační objekt definovaný svým povrchem a rotační osou je upevněn otočně kolem rotační osy. Na nosném rámu měřicího zařízení je upevněna polohovatelná optická hlava mající alespoň jeden optický mikrometr typu „thru-beam“, který zahrnuje vysílač a přijímač alespoň jednoho kolimovaného svazku paprsků, který spolu s řadou fotocitlivých buněk CCD/CMOS snímáče v přijímači tvoří měřicí rovinu. Účelem je snímání povrchu rotačního objektu v alespoň jedné měřicí rovině pod úhlem  $90^\circ \pm 45^\circ$  vzhledem k povrchu rotačního objektu. Přijímač je pro snímání alespoň jedné hrany přechodu stínu a dopadajícího kolimovaného svazku paprsků  
30 na své ploše opatřen řádkovým CCD/CMOS snímáčem nebo maticovým CCD/CMOS snímáčem, přičemž každá hrana je v měřicí rovině projekcí bodu nebo bodů na povrchu rotačního objektu. Měřicí zařízení dále zahrnuje vyhodnocovací jednotku, snímáče podélného posuvu a snímáče příčného posuvu nosného rámu.

- 40 Hlavní výhodou způsobu a zařízení podle tohoto vynálezu oproti dosavadnímu stavu techniky je schopnost automatického a bezkontaktního nasnímaní a proměření vnějších ploch a profilů rotačních objektů, včetně tvarově složitých kuželů nebo speciálně tvarovaných ploch, přímo na výrobním zařízení programově řízeného obráběcího stroje, zejména CNC soustruhu. Optická hlava tedy může být výhodně provedena jako speciální nástroj CNC soustruhu. Alternativně lze způsob  
45 a zařízení použít i jako samostatné měřicí zařízení, což zvyšuje jeho flexibilitu při různých aplikacích.

- Další výhodou je, že snímání může být prováděno průběžně i mezi fázemi výroby bez potřeby manipulace s výrobkem.

- 50 Mezi další výhody patří to, že snímání může probíhat zcela automaticky nebo poloautomaticky, kdy operátor zprovozní optické měřicí zařízení a spouští jednotlivé na sebe navazující automatické procesy snímání.

Výhodou je rovněž to, že snímání probíhá bezkontaktním způsobem, který je nezávislý na povrchu měřeného materiálu rotačního objektu.

- 5 Další výhodou je, že nasnímání a proměření probíhá rychle a zároveň s vysokou přesností a rozlišením, díky čemuž je možné vyhodnotit rozměry s přesností převyšující  $\pm 0,01$  mm.

- 10 Mezi další výhody se řadí příprava způsobu nasnímání pro nový typ rotačního objektu, spočívající ve vložení nového výkresu, včetně zadání požadovaných tolerancí a naprogramování dráhy posuvu programově řízeného obráběcího stroje, který je z principu pouze kompilací programu potřebného pro výrobu samotného rotačního objektu.

- 15 Další výhodou je, že z nasnímaných dat lze vytvořit počítačový model rotačního objektu, který lze následně vizualizovat, analyzovat či jinak zpracovávat. Veškeré výsledky můžou být automaticky ukládány do databáze, což umožňuje kdykoliv provádět analýzy nebo kontrolovat výsledky či je exportovat do jiných programů bez vlivu na způsob nasnímání.

### Objasnění výkresů

- 20 Podstata vynálezu je dále objasněna na příkladech jeho uskutečnění, které jsou popsány s využitím připojených výkresů, kde:

- 25 obr. 1 znázorňuje perspektivní pohled (1A) na optické měřicí zařízení pro nasnímání profilů rotačních objektů na CNC soustruhu, s detailním zobrazením (1B) optické hlavy v prvním provedení s jedním jednorozměrným optickým mikrometrem;
- obr. 2 znázorňuje perspektivní pohled na optickou hlavu v druhém provedení se dvěma jednorozměrnými optickými mikrometry;
- 30 obr. 3 znázorňuje vrchní pohled na optickou hlavu v druhém provedení;
- obr. 4 je schematický vrchní pohled znázorňující způsob nasnímání profilu rotačního objektu optickou hlavou v druhém provedení;
- 35 obr. 5 znázorňuje perspektivní pohled na optickou hlavu ve třetím, čtvrtém, resp. pátém provedení s jedním plynule otočným, resp. po krocích otočným, resp. trvale rotujícím, jednorozměrným optickým mikrometrem;
- 40 obr. 6 je schematický vrchní pohled znázorňující způsob nasnímání profilu rotačního objektu optickou hlavou s plynule otočným optickým mikrometrem ve třetím provedení;
- obr. 7 je schematický vrchní pohled znázorňující způsob nasnímání profilu rotačního objektu optickou hlavou s po krocích otočným optickým mikrometrem ve třetím provedení;
- 45 obr. 8 je schematický vrchní pohled (8A) znázorňující způsob nasnímání profilu rotačního objektu optickou hlavou s trvale rotujícím optickým mikrometrem v pátém provedení, s detailním zobrazením (8B);
- 50 obr. 9 je předozadní pohled v řezu (9A), vrchní pohled (9B) s detailním zobrazením (9C) a perspektivní pohled (9D) s detailním zobrazením (9E) znázorňující optickou hlavu v šestém provedení s jedním optickým mikrometrem se dvěma překříženými měřicími rovinami;
- 55 obr. 10 je předozadní pohled v řezu (10A), vrchní pohled (10B) s detailním zobrazením (10C) a perspektivní pohled (10D) s detailním zobrazením (10E) znázorňující optickou hlavu

v sedmém provedení s jedním optickým mikrometrem se čtyřmi překříženými měřicími rovinami; a

- 5 obr. 11 je předozadní pohled v řezu (11A), vrchní pohled (11B) s detailním zobrazením (11C) a perspektivní pohled (11D) s detailním zobrazením (11E) znázorňující optickou hlavu v osmém provedení s jedním optickým mikrometrem s plošným vyhodnocováním.

### Příklady uskutečnění vynálezu

10 Vynález bude dále objasněn na příkladech uskutečnění s odkazem na příslušné výkresy. Uvedená uskutečnění znázorňují příkladné varianty provedení vynálezu, která však nemají z hlediska rozsahu ochrany žádný omezující vliv.

#### 15 Příklad 1

V prvním provedení tohoto vynálezu dle obr. 1 je znázorněno optické měřicí zařízení pro bezkontaktní nasnímání profilů rotačních objektů 1 na programově řízeném obráběcím stroji 2, v tomto případě CNC soustruhu. Toto zařízení tvořeno optickou hlavou 3 upevněnou na nosném  
20 rámu 4 CNC soustruhu a vyhodnocovací jednotkou 5, která napájí a komunikuje s optickou hlavou 3 a čte snímače 6 polohy podélného posuvu a snímače 7 polohy příčného posuvu nosného rámu 4. Dále je vyhodnocovací jednotka 5 propojena s počítačem 8 se softwarem pro vizualizaci naměřených dat a pro nastavení aktuální specifikace měřeného objektu. V CNC soustruhu je upevněný měřený rotační objekt 1 z jedné strany uchycen ve sklíčidle 9 a z druhé strany podepřen  
25 koníkem 10. Na koníku CNC soustruhu se nachází kalibr 11 pro kalibraci optické hlavy 3.

Optická hlava 3 v prvním provedení zahrnuje jeden jednorozměrný optický mikrometr 12, který je tvořen vysílačem 13 (zdrojem světla) kolimovaného svazku 14 paprsků osvětlujícího přijímač 15 nejčastěji tvořený CCD nebo CMOS řádkovým snímačem 16. Soustava alespoň jednoho optického  
30 mikrometru 12 s komunikačním a napájecím rozhraním, ochranným pouzdem a úchytem tvoří optickou hlavu 3. Optický mikrometr 12 je orientován svisle tak, aby úhel měřicí roviny tvořené plochým, orientovaným, kolimovaným svazkem 14 paprsků se snímačem 16 byl co nejbližší úhlu 90° vzhledem k měřenému povrchu rotačního objektu 1. Během snímání je svazek 14 paprsků vysílače 13 částečně, ze strany rotační osy 19, zastíněn rotačním objektem 1, přičemž se  
35 vyhodnocuje hrana 17 přechodu dopadajícího světla a stínu identifikovaného na snímači 16. Tato hrana 17 reprezentuje vzdálenost bodu 18 na povrchu měřeného rotačního objektu 1 od relativního počátku snímače 16. Vzdálenost se přepočte pomocí údajů ze snímačů 6, 7 polohy podélného a příčného posuvu nosného rámu 4 a z předem provedené kalibrace na absolutní polohu bodu 18 vůči počátečnímu bodu 20 snímání. Vzdálenost bodu 18 od rotační osy 19 reprezentuje poloměr R  
40 měřeného objektu v daném bodě 18.

Opakovaným snímáním během polohování optické hlavy 3 podél povrchu rotačního objektu 1 tak, aby kolimovaný svazek 14 paprsků měřicího rozsahu L optického mikrometru 12 byl vždy z části zastíněn rotačním objektem 1 ze strany rotační osy 19, vzniká množina 21 bodů 18 – sken  
45 reprezentující profil 22 měřeného objektu 1.

Software počítače 8 je prostřednictvím počítačové sítě 23 připojen k databázovému SQL serveru 24, ze kterého čte specifikaci požadovaných rozměrů rotačního objektu 1 a ukládá do něj naměřená data. K SQL serveru 24 jsou rovněž prostřednictvím počítačové sítě 23 připojeny síťové počítače  
50 25 se softwarem pro zadávání požadovaných rozměrů a výkresu profilu objektu 1 a zároveň slouží k analýze nasnímaných dat a změřených výsledků.

## Příklad 2

Ve druhém provedení tohoto vynálezu dle obr. 2 je znázorněna optická hlava 3 se dvěma jednorozměrnými optickými mikrometry 12, která je vhodná pro měření velkých válců 26, které představují měřený rotační objekt 1. Levý optický mikrometr 27 má vůči rotační ose 19 měřicí rovinu natočenou o  $45^\circ$  a pravý optický mikrometr 28 o  $-45^\circ$ . Optická hlava 3 je vybavena optickým zaměřovacím zařízením 29 tvořeným viditelným laserovým paprskem 30. Ten se využívá u automatizovaného procesu snímání a kalibrace, kdy obsluha programově řízeného obráběcího stroje 2, např. CNC soustruhu nejprve přesune posuv do počáteční polohy tak, aby laser osvětloval počáteční značku nebo předepsanou hranu měřeného rotačního objektu 1 nebo kalibru 11.

Nasnímání profilu se provádí ve dvou etapách (viz obr. 3 a obr. 4), přičemž se zvlášť snímají dílčí plochy 31, resp. 32, profilu levým 27, resp. pravým, optickým mikrometrem 28, podle toho, jaký úhel svírá měřicí rovina optického mikrometru 27, 28 s měřeným povrchem, přičemž úhel nesmí přesáhnout interval  $\pm 45^\circ$  od kolmice. Tomuto způsobu je také upravena dráha posuvu, která je při dráze 33 posuvu doleva orientovaná na levý optický mikrometr 27 a při dráze 34 posuvu doprava na pravý optický mikrometr 28. Oba posuvy 33, 34 odpovídají posunutým křivkám profilu měřených dílčích ploch 31, 32, které odpovídají vzdálenosti 35 vzájemného posunutí středů rozsahů obou přijímačů. Během snímání je z důvodu minimalizace vlivu necitlivosti pojezdu objektu optická hlava 3 posouvána pouze v jednom směru 33 nebo 34 podle toho, zda snímá levý 27 nebo pravý optický mikrometr 28. Získané části obrazů profilu se na základě údajů z kalibrace spojí v počítači 8 speciálně navrženým programem.

## Příklad 3

Ve třetím provedení tohoto vynálezu dle obr. 5 je znázorněna optická hlava 3 s jedním, plynule otočným optickým mikrometrem 36, která je vhodná pro měření větších hřídelí 37 nebo objektů tvaru rotačního tělesa 1. Jak je znázorněno na obr. 6, optický mikrometr 36, resp. měřicí rovina mikrometru, se prostřednictvím přesného pohonu 39 se zpětnou vazbou natáčí kolem osy 40 procházející středem měřicího rozsahu  $L/2$  rovnoběžně s kolimovaným svazkem 14 paprsků v úhlu  $0^\circ$  až  $180^\circ$  vůči rotační ose 19. Vysílač 13 kolimovaného svazku 14 paprsků se natáčí synchronně s přijímačem 15, nebo je zdrojem plošného světla, které tvoří kolimovaný svazek 14 paprsků s mnohoúhelníkovým, kruhovým nebo oválným průřezem (tzv. plošný svazek paprsků), který osvětluje snímač 16 ve všech úhlech natočení. Na základě znalosti ideálního profilu 22 měřeného rotačního objektu 1, např. většího hřídele 37, a aktuální polohy nosného rámu 4, řídicí modul 38 prostřednictvím přesného pohonu 39 optický mikrometr 36 prediktivně natáčí tak, aby měřicí rovina byla orientovaná kolmo ke snímanému profilu 22 povrchu. CNC program polohuje optickou hlavu 3 po křivce tak, aby v aktuálním úhlu natočení hrana 17 vrženého stínu měřené plochy dopadala na přijímač 16 co nejblíže poloviny měřicího rozsahu  $L/2$  optického mikrometru 36.

## Příklad 4

Ve čtvrtém provedení tohoto vynálezu dle obr. 5 je znázorněna optická hlava 3 s jedním, po krocích otočným optickým mikrometrem 36, který se vůči rotační ose 19 natáčí prostřednictvím přesného pohonu 39 se zpětnou vazbou v předepsaných úhlech  $0^\circ$ ,  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$ ,  $\pm 90^\circ$ , jak je znázorněno na obr. 7. Řídicí systém polohování nosného rámu 4 programově řízeného obráběcího stroje 2, např. CNC soustruhu nepřímě řídí úhel natočení optického mikrometru 36 změnami směru posuvu nosného rámu 4. Snímání probíhá pouze v jednom směru podél rotační osy 19 a je-li směr posuvu změněn, řídicí modul 38 optické hlavy 3 na to reaguje natočením optického mikrometru 36 do nové polohy. Velikost nového úhlu natočení snímače 16 nosný rám 4 sděluje poměrem drah podélného a příčného posuvu. Pro eliminaci necitlivosti se při změně směru dráha vždy mírně přetáhne o pevnou vzdálenost a rovněž záznam měření se aktivuje až poté, co je posun o tuto hodnotu vrácen zpět.

## Příklad 5

V pátém provedení tohoto vynálezu dle obr. 5 je znázorněna optická hlava 3 s jedním, trvale rotujícím optickým mikrometrem 36, který se prostřednictvím přesného pohonu 39 se zpětnou vazbou trvale otáčí kolem osy 40 procházející středem měřicího rozsahu  $L/2$  rovnoběžně s kolimovaným svazkem 14 paprsků. Během jedné otáčky, při přesné synchronizaci úhlu natočení se provede řada opakovaných měření. Z těchto bodů se vyfiltrují pouze body, které jsou nejbližší ose 40 natáčení ve výšce maximálně  $10^\circ$ , jak je znázorněno na obr. 8. CNC program polohuje nosný rám 4 s optickou hlavou 3 tak, aby osa 40 natáčení optického mikrometru 36 opisovala křivku ideálního profilu 22 rotačního objektu 1, např. většího hřídele 37. Se znalostí polohy osy 40 natáčení a úhlu natočení snímače 16 se vyfiltrované body 41 přepočtou do společného souřadnicového systému, kde pak reprezentují část skenu profilu 22. Ze sady těchto částí se sestaví celý profil 22 rotačního objektu 1. Otáčení optického mikrometru 36 může být nahrazeno oscilací  $\pm 180^\circ$ .

## Příklad 6

V šestém provedení tohoto vynálezu dle obr. 9 je znázorněna optická hlava 3 s jedním optickým mikrometrem 12 se dvěma překříženými měřicími rovinami, která je vhodná pro měření profilu hřídeli 37 nebo jiných rotačních objektů 1 menších rozměrů. Jedna měřicí rovina je kolmá a druhá rovnoběžná s rotační osou 19 měřeného rotačního objektu 1. V této variantě je přijímačem 15 maticový CCD/CMOS snímač 42, ze kterého se primárně využívají dvě řady 43, 44 CCD/CMOS fotocitlivých buněk křížících se ve středu 45 snímače. Každá z těchto řad se vyhodnocuje samostatně jako dva řádkové CCD/CMOS snímače 16. Obě řady jsou zároveň osvětleny plošným kolimovaným svazkem 46 paprsků jednoho vysílače 13 ve formě plošného zdroje světla 47. CNC program polohuje nosný rám 4 s upevněnou optickou hlavou 3 tak, aby osa rovnoběžná s plošným kolimovaným svazkem 46 paprsků, procházející středem 45 obou řad 43, 44 maticového CCD/CMOS snímače 42, opisovala křivku ideálního profilu 22 měřeného rotačního objektu 1. Ze znalosti ideálního profilu 22, se čte údaj z kolmé řady 43, nebo rovnoběžné řady 44 podle toho, která řada je blíže ke kolmici ke snímanému profilu 22. Optický mikrometr 12 se může rovněž používat jako dva nezávislé optické mikrometry 12, kdy např. jeden měří šířku  $w$  a druhý hloubku  $d$  drážky.

## Příklad 7

V sedmém provedení tohoto vynálezu dle obr. 10 je znázorněna optická hlava 3 s jedním optickým mikrometrem 12 se čtyřmi překříženými měřicími rovinami, která je vhodná pro měření profilu hřídeli 37 nebo jiných rotačních objektů 1 menších rozměrů. Jedna měřicí rovina je kolmá a druhá rovnoběžná s rotační osou 19 měřeného rotačního objektu 1. Další dvě jsou uhlopříčně pod úhly  $\pm 45^\circ$ . Toto provedení má jeden přijímač 15 tvořený maticovým CCD/CMOS snímačem 42, ze kterého se primárně využívají dvě přímé řady 43, 44 CCD/CMOS fotocitlivých buněk a dvě uhlopříčné řady 51, 52 CCD/CMOS fotocitlivých buněk křížících se ve středu 45 snímače. Všechny řady jsou zároveň osvětleny kolimovaným svazkem 14 paprsků s mnohoúhelníkovým, kruhovým nebo oválným průřezem (tzv. plošným svazkem paprsků) jednoho vysílače 13 ve formě plošného zdroje světla 47. Každá z těchto řad se vyhodnocuje samostatně jako řádkový CCD/CMOS snímač 16. CNC program polohuje nosný rám 4 s upevněnou optickou hlavou 3 tak, aby osa rovnoběžná s kolimovaným svazkem 14 paprsků, procházející středem 45 řad 43, 44, 51, 52 maticového CCD/CMOS snímače 42, opisovala křivku ideálního profilu 22 měřeného objektu 1, např. většího hřídele 37. Na základě znalosti ideálního profilu 22, se vyhodnocuje údaj z řady 43, 44, 51, 52 podle toho, která řada, resp. její měřicí rovina, je orientovaná blíže ke kolmici ke snímanému povrchu 22. Na základě předem provedené kalibrace a se znalostí polohy nosného rámu 4 se údaje z vybraných řad 43, 44, 51, 52 přepočtou na množinu 21 bodů 18 nacházejících se na profilu 22 rotačního objektu 1. Ze sady těchto bodů 18 se sestaví celý profil 22. Každá z řad se může rovněž používat jako nezávislý optický mikrometr 12, kdy s rotační osou 19 rovnoběžná řada 44 vyhodnocuje šířku  $w$  a kolmá řada 43 hloubku  $d$  drážky.

## Příklad 8

5 V osmém provedení tohoto vynálezu dle obr. 11 je znázorněna optická hlava 3 s jedním optickým mikrometrem 12 s plošným vyhodnocováním, kde se oproti šestému nebo sedmému provedení s překříženými měřicími rovinami na maticovém CCD/CMOS snímáči 42 využívají všechny nebo vybrané řady 48 v podélném nebo příčném nebo v obou směrech celé matice CCD/CMOS fotocitlivých buněk. Optický mikrometr 12 zahrnuje vysílač 13 ve formě plošného zdroje světla 47. Každá řada 48 je vyhodnocována samostatně jako jeden řádkový CCD/CMOS snímáček 16. Z  
10 jednotlivých hran 49 vrženého stínu na jednotlivé řady se vyhodnotí množina 50 bodů reprezentující část profilu, a z množiny 50 těchto částí se sestaví celý profil 22 měřeného rotačního objektu 1. CNC program polohuje nosný rám 4 s upevněnou optickou hlavou 3 tak, aby střed 45 plochy maticového CCD/CMOS snímáče 42 opisoval křivku ideálního profilu 22 měřeného rotačního objektu 1.

15

Průmyslová využitelnost

20 Výše popsany způsob bezkontaktního nasnímání profilů rotačních objektů a vyhodnocení jejich vnějších rozměrů je možné využít při automatizaci strojírenské výroby na programově řízených obráběcích strojích, zejména CNC soustruzích. Uvedený způsob je využitelný u výrobců strojních rotačních součástek s vysokým podílem automatizace výroby, např. hřídelí, rotorů, poloos, pouzder, čepů, automobilových dílů, pohonů, strojních součástí apod. Uvedený způsob je  
25 využitelný u výrobců a při údržbě strojních rotačních součástek velkých rozměrů, zejména hřídelí a válců.

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob bezkontaktního nasnímání profilů rotačních objektů (1, 26, 37) a vyhodnocení jejich vnějších rozměrů jednak pomocí optické hlavy (3) mající alespoň jeden optický mikrometr (12) typu thru-beam, který zahrnuje vysílač (13) a přijímač (15) alespoň jednoho kolimovaného svazku (14) paprsků, přičemž přijímač (15) zahrnuje alespoň jednu řadu (43, 44, 48, 51, 52) fotocitlivých buněk CCD/CMOS snímače (16), a jednak pomocí vyhodnocovací jednotky (5), přičemž rotační objekt (1, 26, 37) definovaný svým povrchem a rotační osou (19) je upevněn otočně kolem rotační osy (19), **vyznačující se tím**, že zahrnuje kroky:
- a) opatření zařízení s upevněným rotačním objektem (1, 26, 37) optickou hlavou (3) polohovatelnou ve skenovací rovině, která zahrnuje rotační osu (19);
  - b) výběr počátečního bodu (20) snímání nacházejícího se na rotační ose (19) a stanovení jeho polohy vůči optické hlavě (3);
  - c) stanovení alespoň jedné měřicí roviny alespoň jednoho optického mikrometru (12), tvořené kolimovaným svazkem (14) paprsků a alespoň jednou řadou (43, 44, 48, 51, 52) fotocitlivých buněk CCD/CMOS snímače (16) v přijímači (15) pod úhlem  $90^\circ \pm 45^\circ$  vzhledem k povrchu rotačního objektu (1, 26, 37) a vyhodnocení úhlu vzhledem k rotační ose (19);
  - d) snímání bodu (18) nebo bodů (18, 50) na povrchu rotačního objektu (1, 26, 37) v měřicí rovině alespoň jedním kolimovaným svazkem (14) paprsků optického mikrometru (12) tak, aby byl přijímač (15) rotačním objektem (1, 26, 37) během snímání částečně zastíněn, čímž se promítne uvedený bod (18) nebo body (18, 50) do alespoň jedné hrany (17, 49) přechodu stínu a dopadajícího kolimovaného svazku (14) paprsků na přijímači (15), přičemž každý bod (18, 50) v měřicí rovině je na přijímači (15) reprezentován hranou (17, 49) ve skenovací rovině kolmé na měřicí rovinu;
  - e) vyhodnocení vzdálenosti ( $R$ ) bodu (18) nebo bodů (18, 50) na povrchu rotačního objektu (1, 26, 37) od rotační osy (19) a vyhodnocení polohy bodu (18) nebo bodů (18, 50) na povrchu rotačního objektu (1, 26, 37) vzhledem k počátečnímu bodu (20) snímání na rotační ose (19) pomocí vyhodnocovací jednotky (5), přičemž vzdálenost ( $R$ ) i poloha bodu (18) nebo bodů (18, 50) na povrchu rotačního objektu (1, 26, 37) vzhledem k počátečnímu bodu (20) snímání je vyhodnocena na základě vzdálenosti hrany (17, 49) a relativní polohy počátečního bodu přijímače (15) vzhledem k počátečnímu bodu (20) snímání na rotační ose (19), a na základě údajů o poloze optické hlavy (3) vzhledem k rotační ose (19), kde tyto údaje zahrnují údaje ze snímače (6) podélného posuvu a snímače (7) příčného posuvu nosného rámu (4) a údaje o úhlu natočení měřicí roviny podle kroku c);
  - f) přesunutí optické hlavy (3) v podélném a/nebo příčném směru vzhledem k povrchu rotačního objektu (1, 26, 37), stanovení její polohy vůči počátečnímu bodu (20) snímání a opakování kroků c), d) a e), přičemž optická hlava (3) je polohována v podélném a/nebo příčném směru pomocí podélného posuvu a příčného posuvu nosného rámu (4), na kterém je optická hlava (3) upevněna; a
  - g) získání množiny (21) bodů (18, 50) na povrchu rotačního objektu (1, 26, 37) ve skenovací rovině a vyhodnocení tvaru profilu (22) rotačního objektu (1, 26, 37).
2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že hrana (17, 49) přechodu stínu a kolmo dopadajícího kolimovaného svazku (14) paprsků je snímána pomocí fotocitlivých buněk na ploše přijímače (15) tvořeného řádkovým CCD/CMOS snímačem (16) nebo maticovým CCD/CMOS snímačem (42).

3. Způsob podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že úhel měřicí roviny optického mikrometru (12, 36) vzhledem k povrchu rotačního objektu (1, 26, 37) je během snímání měněn po krocích nebo plynule.
- 5 4. Způsob podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že přijímač (15) a/nebo vysílač (13) kolimovaného svazku (14) paprsků je natáčen kolem osy (40) natáčení optického mikrometru (12, 36) pomocí přesného pohonu (39) se zpětnou vazbou.
- 10 5. Způsob podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že kolimovaným svazkem (14) paprsků je plošný kolimovaný svazek (46) paprsků dopadající na maticový CCD/CMOS snímač (42).
- 15 6. Způsob podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že optická hlava (3) je během snímání přesouvána v prvním podélném směru vzhledem k rotační ose (19), přičemž pro přesunutí optické hlavy (3) druhým, opačným podélným směrem je snímání přerušeno, poté je optická hlava (3) přesunuta druhým podélným směrem až za počáteční polohu snímání a do počáteční polohy snímání je optická hlava (3) následně přesunuta prvním podélným směrem.
- 20 7. Způsob podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že rotační objekt (1, 26, 37) je během snímání otáčen kolem rotační osy (19).
- 25 8. Způsob podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že měřicí rovina optického mikrometru (12) je nastavena pomocí viditelného laserového paprsku (30) z optického zaměřovacího zařízení (29) upevněného na optické hlavě (3).
- 30 9. Způsob podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že počáteční bod (20) snímání je stanoven během kalibrace polohy optické hlavy (3), přičemž je alespoň jeden optický mikrometr (12) během snímání přesouván podél profilu kalibru (11) o známých rozměrech a tvaru a s rotační osou rovnoběžnou nebo totožnou s rotační osou (19) rotačního objektu (1, 26, 37), přičemž z nasnímaného profilu kalibru (11) je vyhodnocen počáteční bod (20) snímání na rotační ose (19) a poloha optického mikrometru (12) vzhledem k němu.
- 35 10. Způsob podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že rotační objekt (1, 26, 37) je snímán dvojicí optických mikrometrů (12) ve dvou měřicích rovinách s dvojicí kolimovaných svazků (14) paprsků, přičemž hrany (17) přechodu stínu a dopadajících kolimovaných svazků (14) paprsků jsou snímány pomocí dvojice přijímačů (15) tvořených řádkovými CCD/CMOS snímači (16), přičemž obě měřicí roviny jsou nastaveny pod úhly  $\pm 45^\circ$  vzhledem k rotační ose (19) a tyto měřicí roviny svírají úhel  $90^\circ$ , přičemž v první měřicí rovině je snímán povrch rotačního objektu (1, 26, 37) v prvním podélném směru a v druhé měřicí rovině je snímán povrch rotačního objektu (1, 26, 37) v druhém, opačném podélném směru.
- 40 11. Způsob podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že rotační objekt (1, 26, 37) je snímán alespoň dvěma optickými mikrometry (12) v alespoň dvou překřížených měřicích rovinách, přičemž každá měřicí rovina je tvořena kolimovaným svazkem (14) paprsků a řadou (43, 44, 48, 51, 52) fotocitlivých buněk na ploše přijímače (15) tvořeného jedním maticovým CCD/CMOS snímačem (42), přičemž hrany (17, 49) přechodu stínu a dopadajících kolimovaných svazků (14) paprsků jsou snímány pomocí jednotlivých řad (43, 44, 48, 51, 52) fotocitlivých buněk měřicích rovin.
- 45 12. Způsob podle nároku 11, **vyznačující se tím**, že pro vyhodnocení hrany (17, 49) stínu a dopadajícího kolimovaného svazku (14) paprsků jsou použity všechny nebo vybrané řady (48) fotocitlivých buněk na ploše maticového CCD/CMOS snímače (42), které jsou s výhodou uspořádány pod úhlem  $90^\circ$  a/nebo  $\pm 45^\circ$  a/nebo  $0^\circ$  vzhledem k rotační ose (19).
- 50

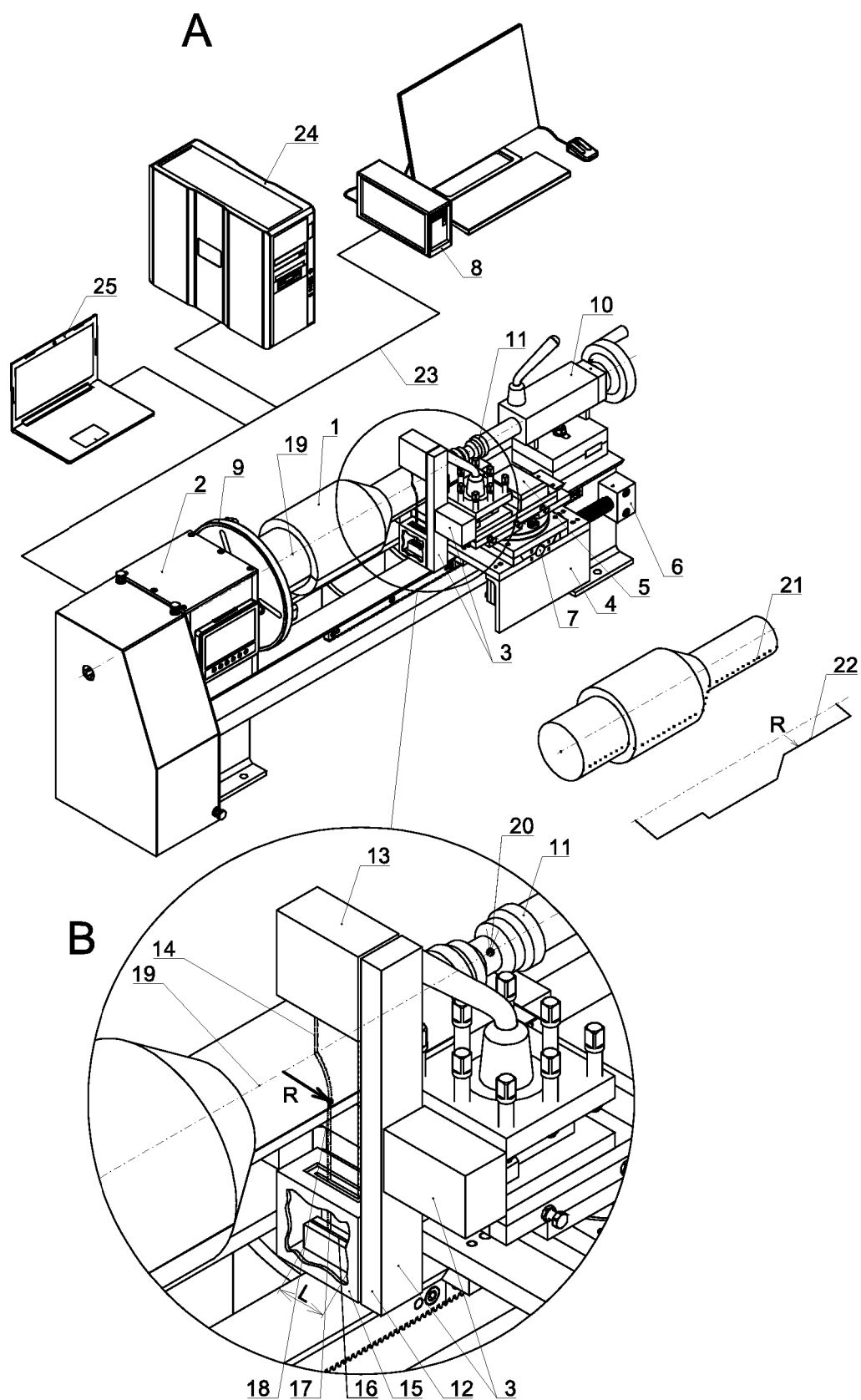
13. Způsob podle nároků 11 až 12, **vyznačující se tím**, že povrch rotačního objektu (1, 26, 37) je postupně snímán nejdříve prvním, následně druhým, případně poté každým dalším ze skupiny optických mikrometrů (12) nebo je povrch rotačního objektu (1, 26, 37) snímán všemi optickými mikrometry (12) současně, přičemž pro vyhodnocení tvaru profilu (22) rotačního objektu (1, 26, 37) jsou získané množiny (21) bodů (18, 50) z jednotlivých optických mikrometrů sloučeny.
14. Způsob podle nároků 1 až 13, **vyznačující se tím**, že optická hlava (3) je upevněna na nosném rámu (4) programově řízeného obráběcího stroje (2), s výhodou CNC soustruhu, a rotační objekt (1, 26, 37) je upevněn na programově řízeném obráběcím stroji (2) pomocí skličidla (9) a/nebo koníku (10), přičemž do skličidla (9) nebo koníku (10) je integrován kalibr (11), a přičemž poloha optické hlavy (3) je vyhodnocena pomocí integrovaných polohových senzorů programově řízeného obráběcího stroje (2).
15. Způsob podle nároků 1 až 13, **vyznačující se tím**, že optická hlava (3) je upevněna na nosném rámu (4), přičemž tvoří samostatné měřicí zařízení.
16. Měřicí zařízení pro bezkontaktní nasnímaní profilů rotačních objektů (1, 26, 37) a vyhodnocení jejich vnějších rozměrů, k provádění způsobu podle kteréhokoliv z předchozích nároků, přičemž rotační objekt (1, 26, 37) definovaný svým povrchem a rotační osou (19) je upevněn otočně kolem rotační osy (19), **vyznačující se tím**, že na nosném rámu (4) měřicího zařízení je upevněna polohovatelná optická hlava (3) mající alespoň jeden optický mikrometr (12, 36) typu thru-beam, který zahrnuje vysílač (13) a přijímač (15) alespoň jednoho kolimovaného svazku (14) paprsků tvořícího spolu s řadou (43, 44, 48, 51, 52) fotocitlivých buněk CCD/CMOS snímače (16, 42) v přijímači (15) měřicí rovinu pro snímání povrchu rotačního objektu (1, 26, 37) v alespoň jedné měřicí rovině pod úhlem  $90^\circ \pm 45^\circ$  vzhledem k povrchu rotačního objektu (1, 26, 37), přičemž přijímač (15) je pro snímání alespoň jedné hrany (17, 49) přechodu stínu a dopadajícího kolimovaného svazku (14) paprsků na své ploše opatřen řádkovým CCD/CMOS snímačem (16) nebo maticovým CCD/CMOS snímačem (42), přičemž každá hrana (17, 49) je v měřicí rovině projekcí bodu (18) nebo bodů (18, 50) na povrchu rotačního objektu (1, 26, 37), přičemž měřicí zařízení dále zahrnuje vyhodnocovací jednotku (5), snímače (6) podélného posuvu a snímače (7) příčného posuvu nosného rámu (4).

## 9 výkresů

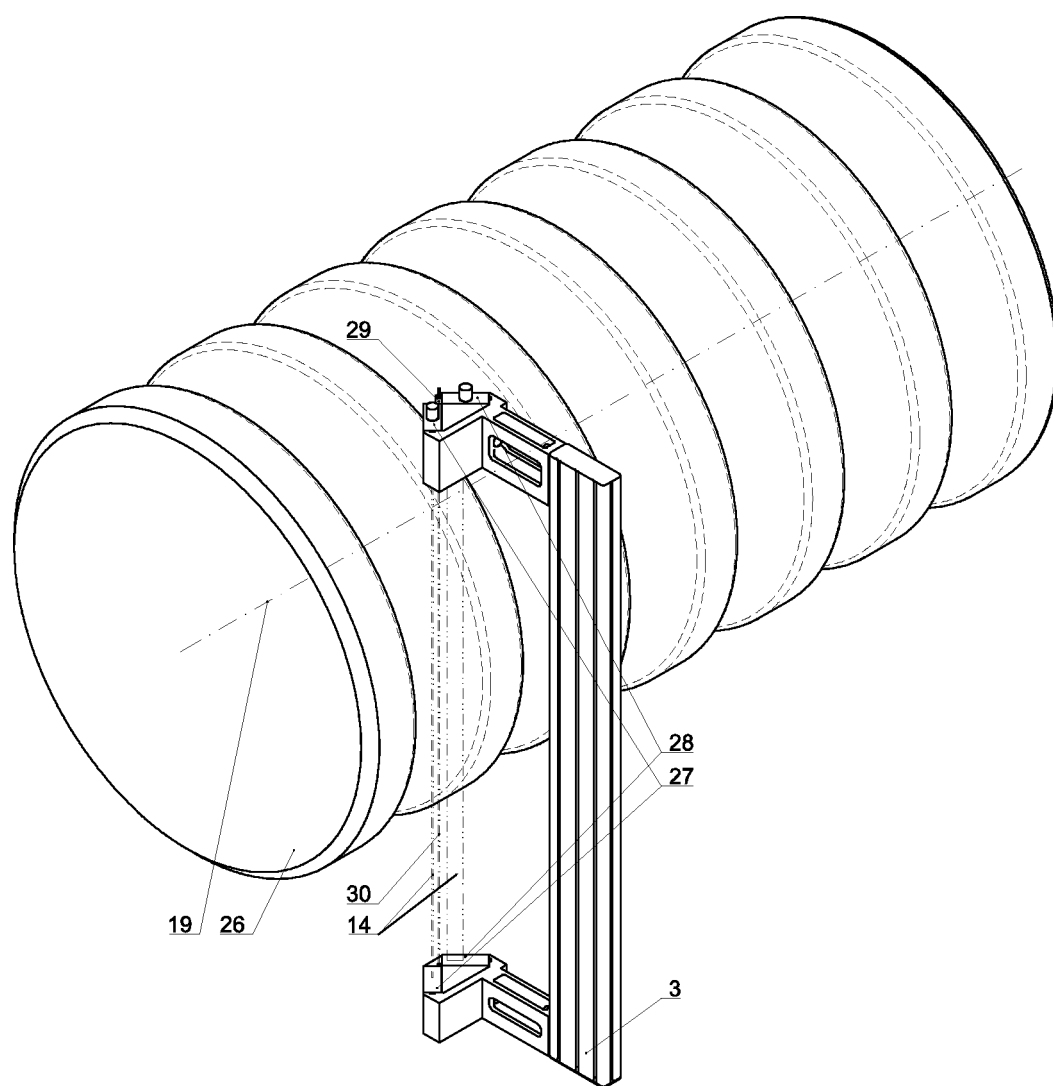
## Seznam vztahových značek

- 1 Rotační objekt
- 2 Programově řízený obráběcí stroj
- 3 Optická hlava
- 4 Nosný rám
- 5 Vyhodnocovací jednotka
- 6 Snímač podélného posuvu nosného rámu
- 7 Snímač příčného posuvu nosného rámu
- 8 Počítač
- 9 Skličidlo
- 10 Koník
- 11 Kalibr
- 12 Optický mikrometr
- 13 Vysílač
- 14 Kolimovaný svazek paprsků
- 15 Přijímač
- 16 Řádkový CCD/CMOS snímač
- 17 Hrana přechodu stínu a dopadajícího kolimovaného svazku paprsků
- 18 Bod na povrchu rotačního objektu

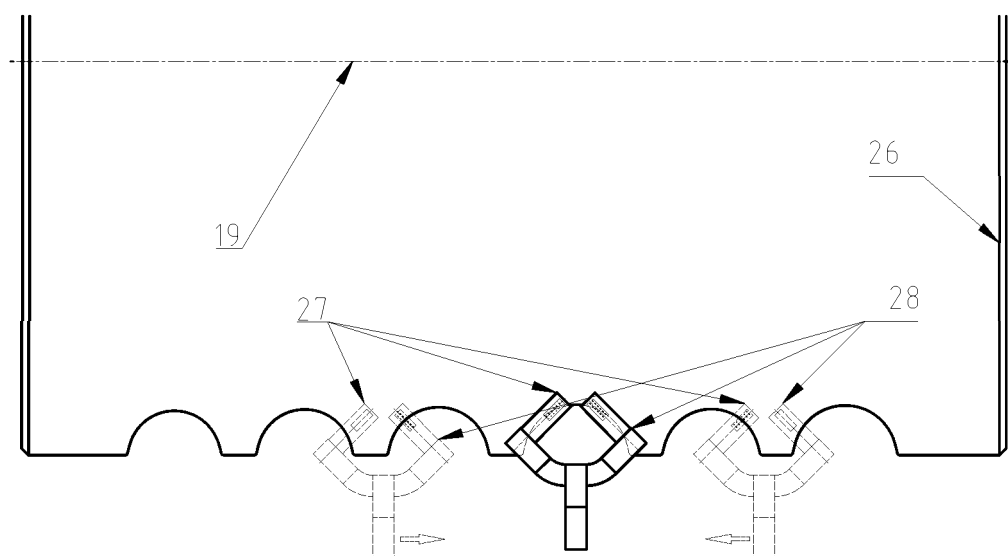
- 19 Rotační osa
- 20 Počáteční bod snímání
- 21 Množina bodů na povrchu rotačního objektu
- 22 Profil rotačního objektu
- 23 Počítačová síť
- 24 SQL server
- 25 Síťový počítač
- 26 Válec
- 27 Levý optický mikrometr
- 28 Pravý optický mikrometr
- 29 Optické zaměřovací zařízení
- 30 Viditelný laserový paprsek
- 31 Dílčí plocha profilu snímána levým optickým mikrometrem
- 32 Dílčí plocha profilu snímána pravým optickým mikrometrem
- 33 Dráha posuvu optického mikrometru doleva
- 34 Dráha posuvu optického mikrometru doprava
- 35 Vzdálenost vzájemného posunutí středů rozsahů obou přijímačů
- 36 Otočný optický mikrometr
- 37 Hřídel
- 38 Řídicí modul natočení optického mikrometru
- 39 Přesný pohon natočení optického mikrometru
- 40 Osa natočení optického mikrometru
- 41 Vyfiltrované body
- 42 Maticový CCD/CMOS snímač
- 43 Přímá řada fotocitlivých buněk maticového CCD/CMOS snímače kolmá na rotační osu
- 44 Přímá řada fotocitlivých buněk maticového CCD/CMOS snímače rovnoběžná s rotační osou
- 45 Střed maticového CCD/CMOS snímače
- 46 Plošný kolimovaný svazek paprsků
- 47 Plošný zdroj světla
- 48 Všechny nebo vybrané řady fotocitlivých buněk maticového CCD/CMOS snímače
- 49 Hrany přechodu stínu a dopadajícího plošného kolimovaného svazku paprsků
- 50 Množina bodů na povrchu rotačního objektu vyhodnocena z hran plošného kolimovaného svazku paprsků
- 51 Úhlopříčná řada fotocitlivých buněk maticového CCD/CMOS snímače svírající úhel  $-45^\circ$  s rotační osou
- 52 Úhlopříčná řada fotocitlivých buněk maticového CCD/CMOS snímače svírající úhel  $+45^\circ$  s rotační osou
- L* Měřicí rozsah optického mikrometru
- R* Vzdálenost bodu na povrchu rotačního objektu od rotační osy



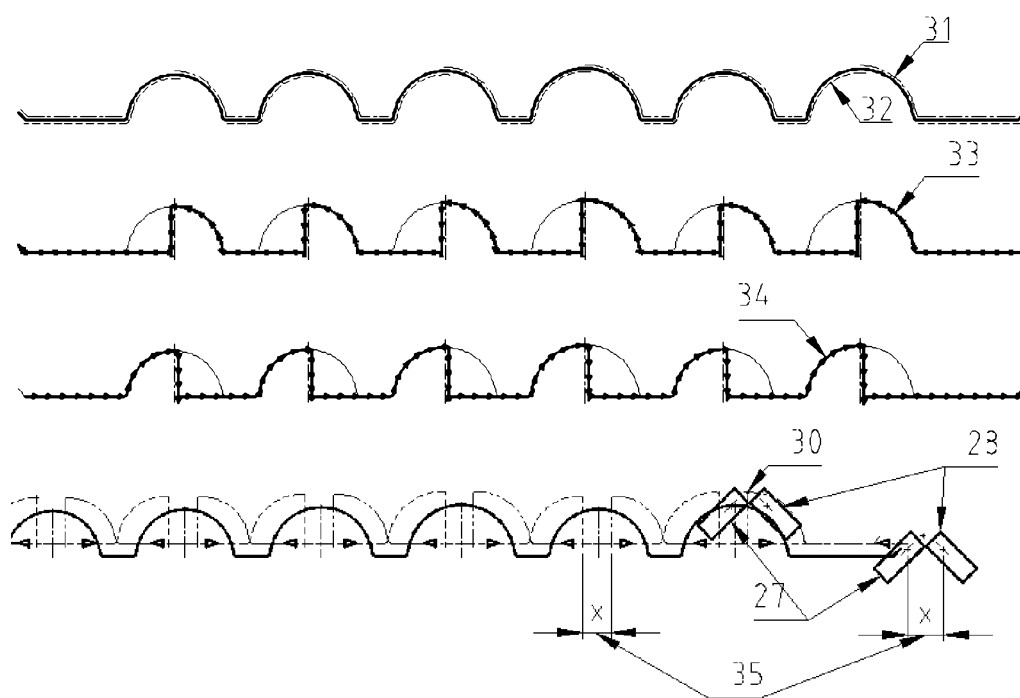
Obr. 1



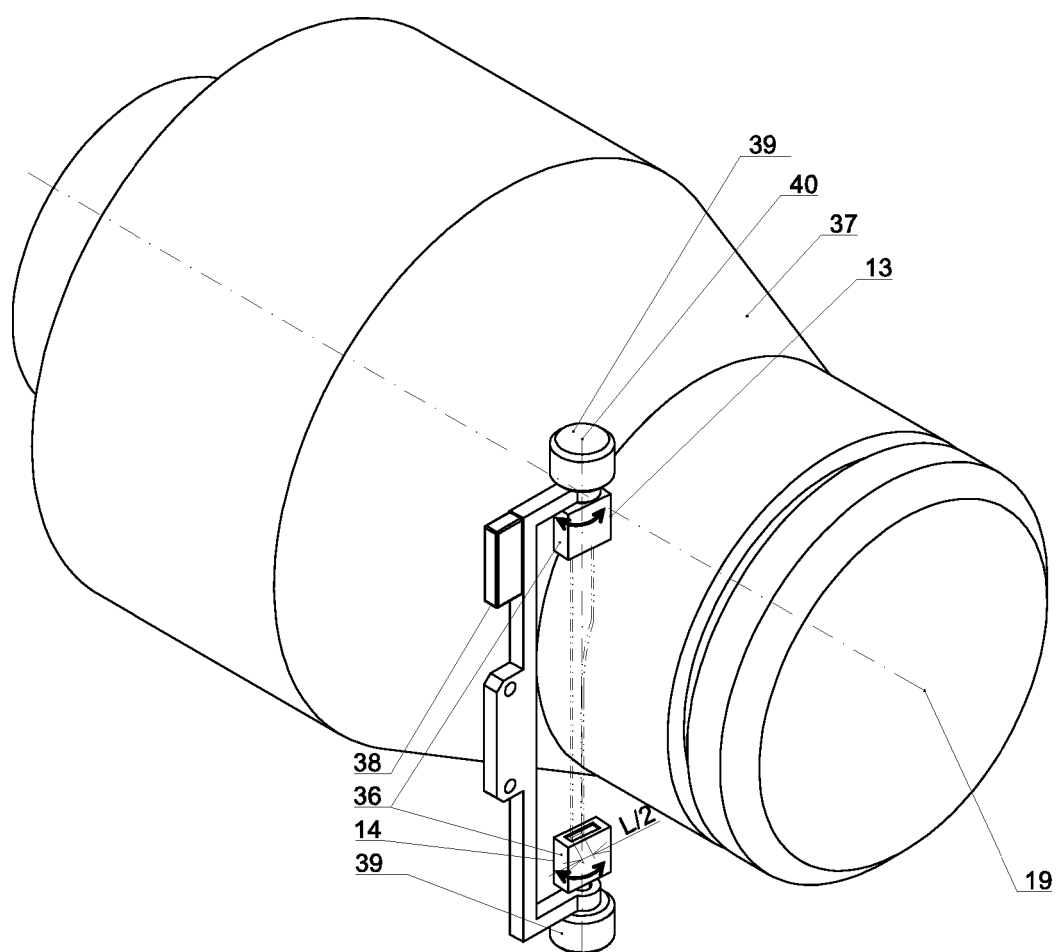
Obr. 2



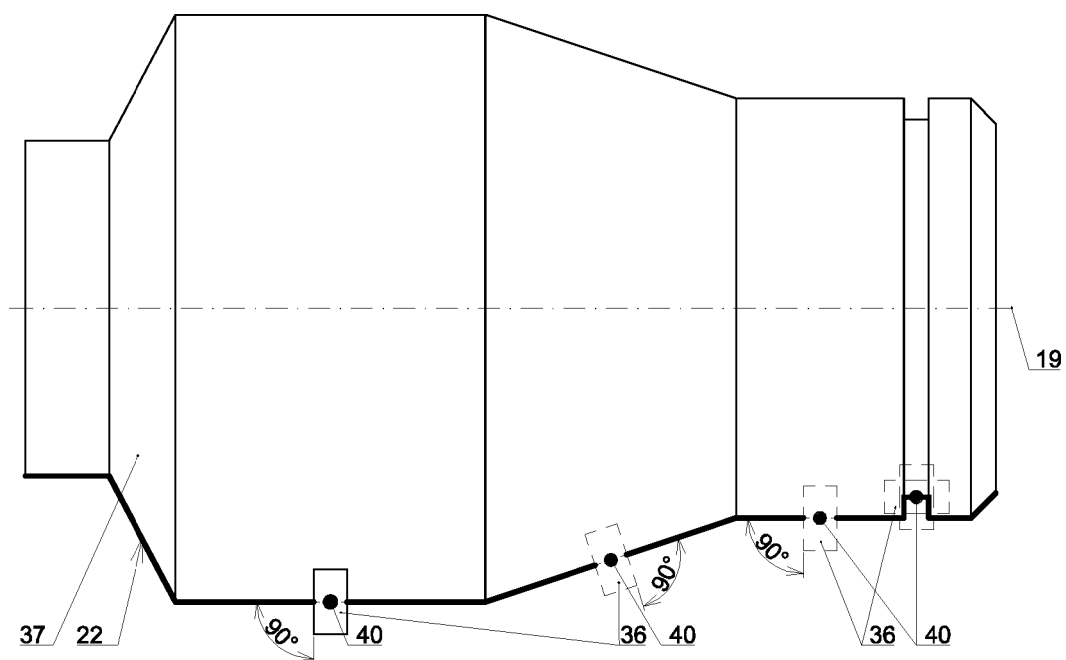
Obr. 3



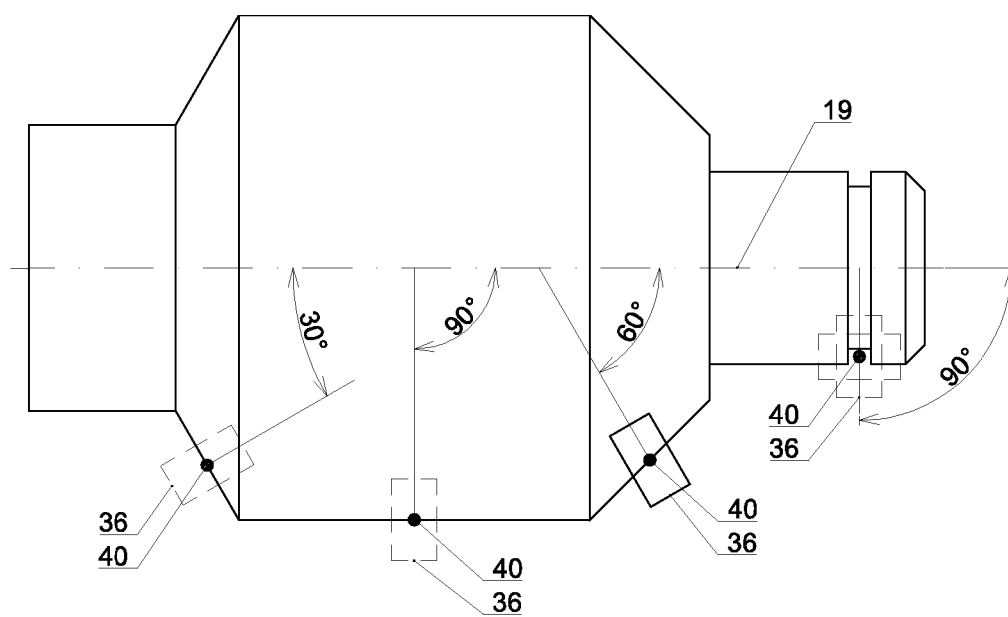
Obr. 4



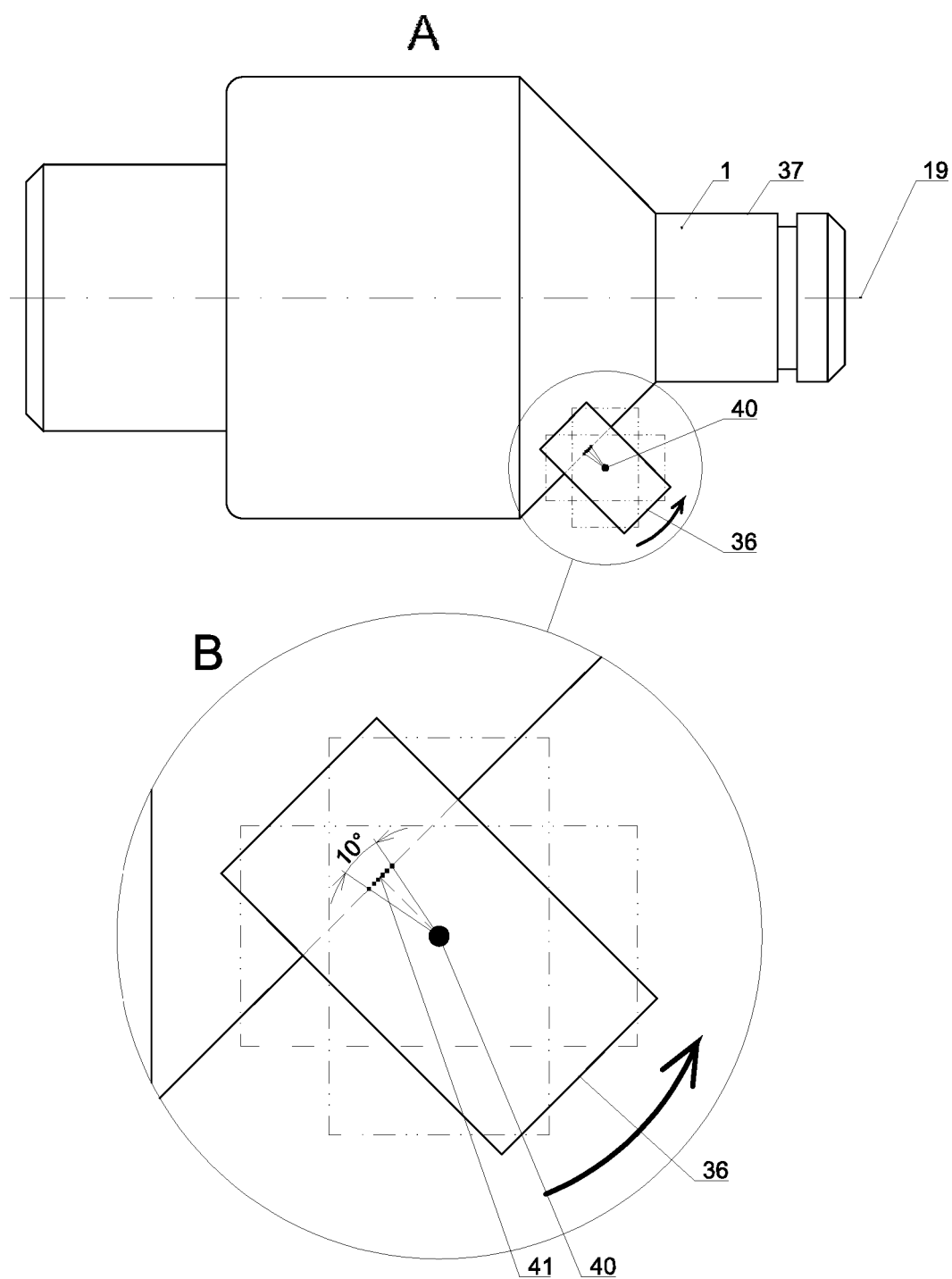
Obr. 5



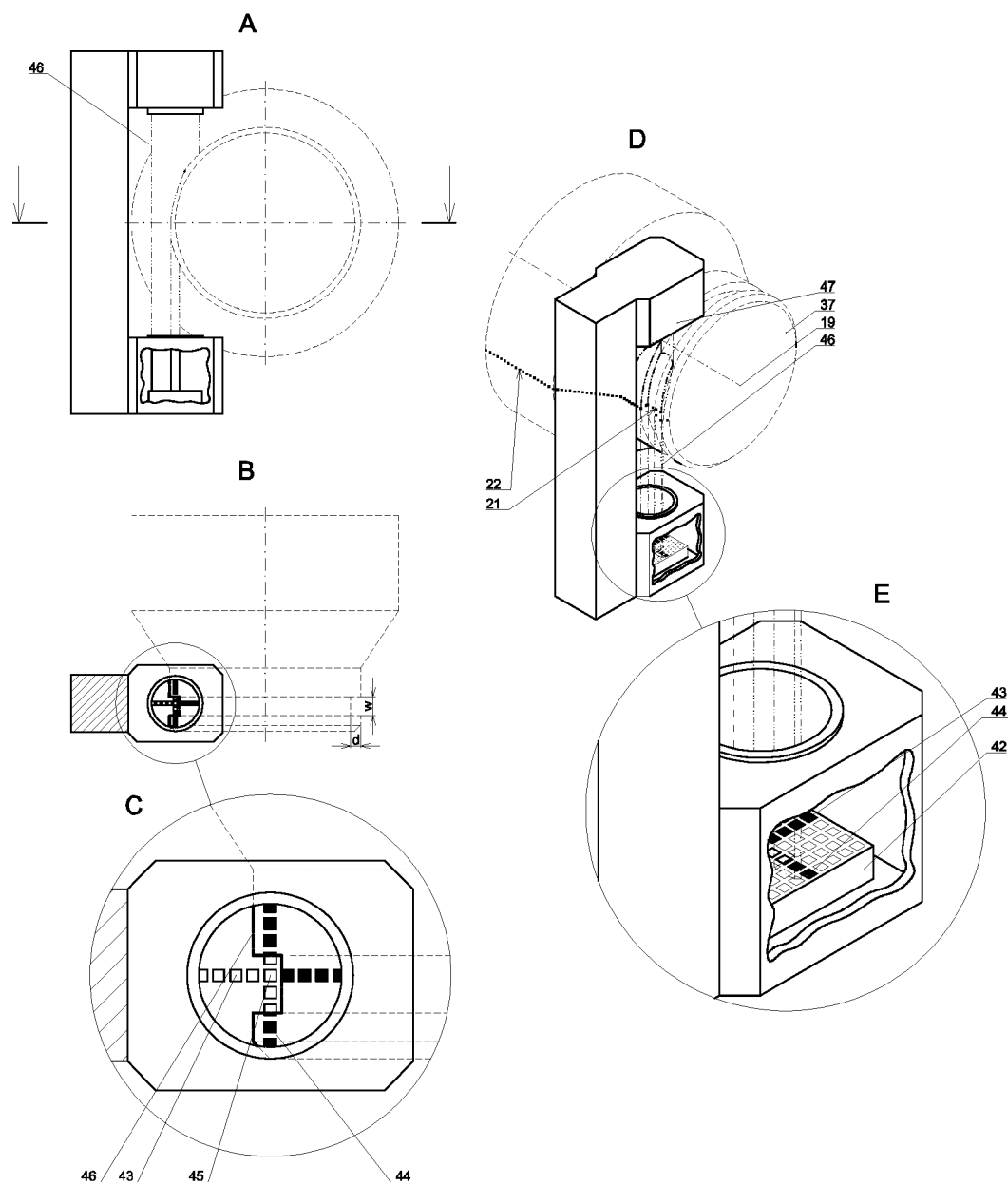
Obr. 6



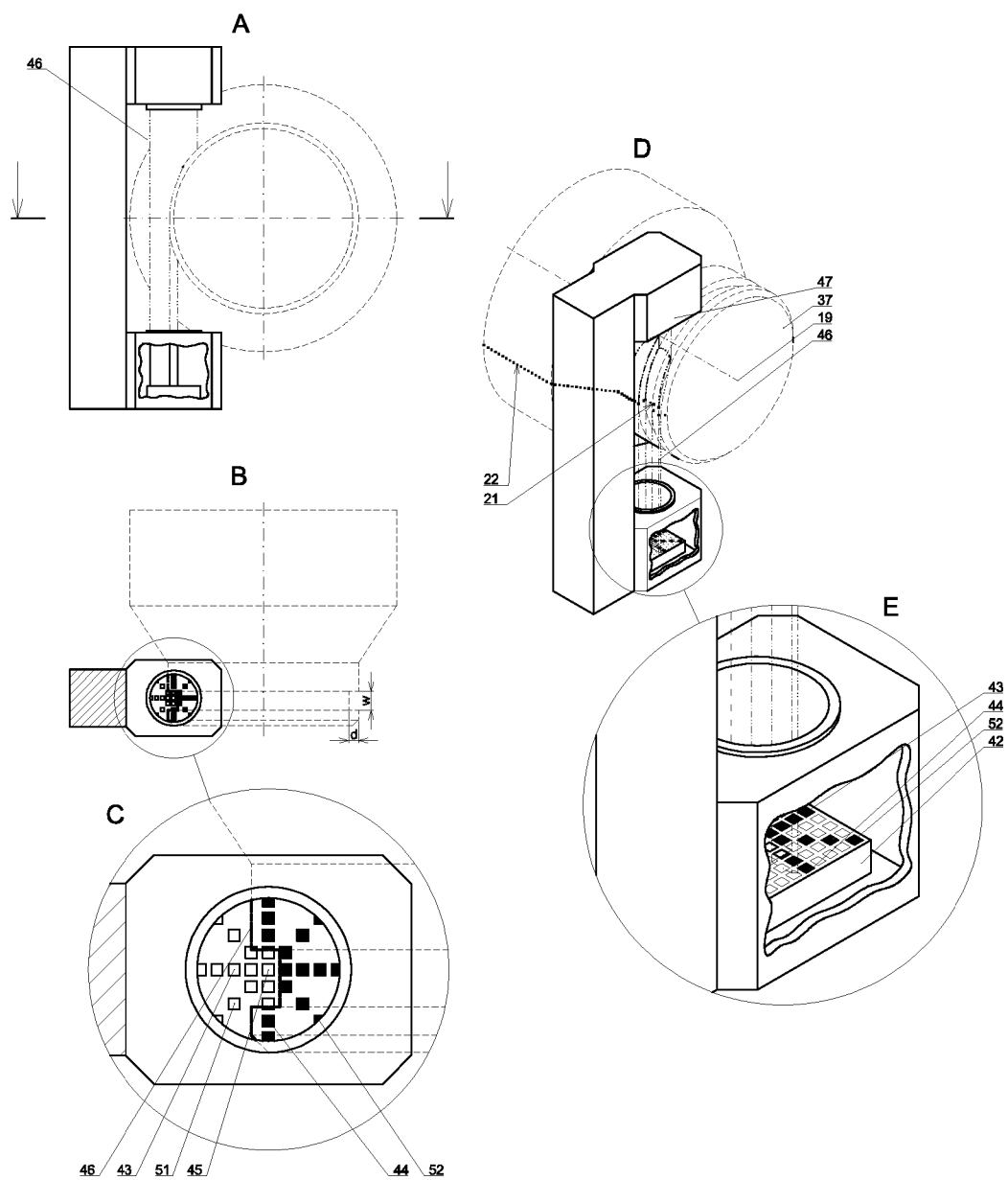
Obr. 7



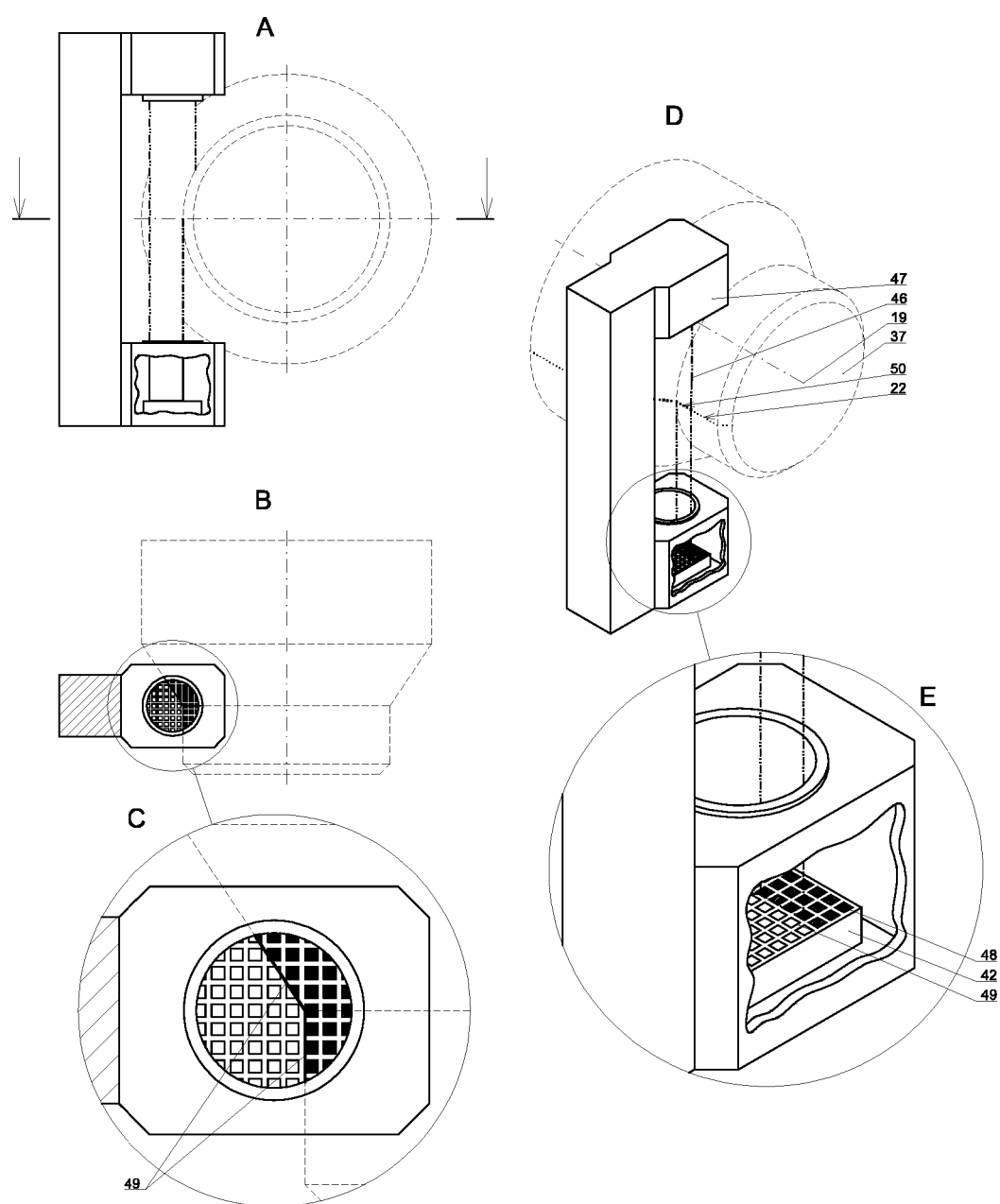
Obr. 8



Obr. 9



Obr. 10



Obr. 11