



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

247 693

(11)

(B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno: 05 03 85
(21) PV 1541-85

(51) Int. Cl.⁴

G 01 P 5/16

(40) Zveřejněno 17 09 85

(45) Vydáno 01 03 88

(75)

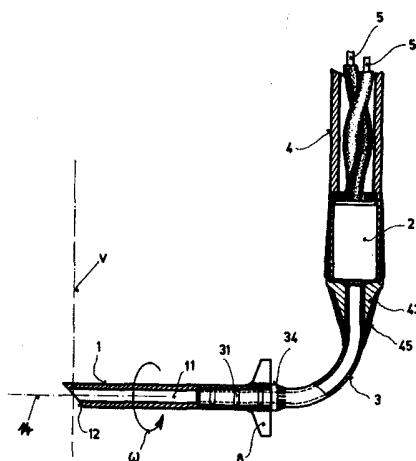
Autor vynálezu

TESAŘ VÁCLAV ing. CSc., PRAHA

(54)

Způsob zjišťování směru proudění tekutiny
a zařízení k provádění tohoto způsobu

Způsob zjišťování směru proudění tekutiny spočívá v tom, že do tekutiny se umístí trubice s kanálkem vyústěným na jejím skoseném čele, uložená otočně kolem své podélné osy a tato trubice se účinkem proudící tekutiny uvádí do rotace kolem této osy, čímž se uvnitř kanálku vyvodí periodické tlakové změny a z velikosti amplitudy anebo fáze těchto změn, převedených tlakovým snímačem na střídavý elektrický signál se zjišťuje směr proudění tekutiny. Zařízení k provádění způsobu sestává z trubice se skoseným čelem, jejíž kanálek, vyústěný na čele, je napojen na tlakový snímač. Trubice je uložena otočně kolem osy procházející ústím kanálku na čele trubice a je opatřena lopatkami. Způsob a zařízení jsou využitelné v aerodynamických laboratořích při leteckém výzkumu a při výzkumu a vývoji lopatkových strojů, při výzkumu aerodynamiky budov a automobilových karosérií.



Vynález se týká způsobu zjišťování směru proudění tekutiny v určitém místě invazivní piezometrickou cestou, to je způsobem založeným na tom, že do tekutiny je vkládáno ústrojí převádějící dynamické účinky proudící tekutiny na vyhodnocovaný tlakový signál, zpravidla v tlakovém snímači převáděny na signál elektrický. Je to dnes nejběžnější metoda zpravidla realizovaná sondami využívajícími směrovou závislost údaje Pitotovy trubice. Sonda má zpravidla několik Pitotových trubic, například dvě, jde-li o zjištění směru proudění v určité rovině, nebo čtyři, jde-li o zjištění směru v prostoru, jejichž čela spolu svírají určitý úhel, nebo je provedena tak, že jde o těleso s vývrty ve stěnách, které vzájemně takový úhel svírají. Rozdíl mezi oběma alternativami není u dnešních praktických provedení velký, neboť při sestavení z několika Pitotových trubic jsou tyto zpravidla spolu spojeny pájením, takže také spolu vytvářejí vlastně určité těleso, kde jen namísto vyvrtaných dírek jsou využity původní kanálky trubek jež byly spolu spájeny. Příkladem může být nejběžnější Conradova sonda z r. 1950 pro měření směru proudění v rovině, která byla podle původního návrhu, Conrad O.: *Geräte zur Messung von Strömungsrichtungen*", Archiv für Technisches Messen, 116 /2/, říjen 1950, provedena jako klínové tělísko se snímacími otvory vyvrtanými v šikmých stěnách klínu a trubičkami propojenými s tlakovými snímači. Ta je dnes zpravidla zhotovována ze dvou mosazných trubek spojených spolu pájením, jejichž čela s výústěním kanálků jsou skoseně spilována tak, že obě plochy čel spolu svírají úhel odpovídající původnímu vrcholovému úhlu klínu. Jinou sondou k měření směru proudění v rovině je sonda válcová, se dvěma vývrty v téže rovině myšleného řezu, vedeného kolmo k ose válcového tělíska. Pro prostorová měření jsou používány buď sondy kulové, s analogicky umístěnými čtyřmi vývrty odpovídajícími zmíněným dvěma vývrtům válcového tělíska, nebo sondy pyramidální, jejichž

čtyři vývrty ve stěnách jehlanovitého tělíska odpovídají dvěma vývrtům zmíněné klínové sondy Conradovy. Namísto jehlanovitého tělíska se také v tomto případě používá konstrukce ze spájených trubiček se skoseně spilovanými čely. Tato skoseně spilovaná čela se také do značné míry blíží jehlanu pyramidové sondy.

Měření takovými sondami se v zásadě provádí dvěma způsoby. Jeden z nich probíhá tak, že se vždy dvojice protilehlých otvorů nebo Pitotových trubic napojí na diferenční tlakový snímač, sloužící jako indikátor nulového tlakového rozdílu, načež se sondou otáčí až je vyhledána poloha, kdy je indikovaný rozdíl nulový. Potom se na úhloměru spojeném se sondou zjistí velikost jejího natočení a tím směr proudění tekutiny, neboť ve vyhledané poloze tento proudění právě púlí úhel, jež spolu svírají obě stěny klínu nebo protilehlé stěny pyramidy. Druhý způsob spočívá v tom, že sonda zůstává nehybná, měří se tlakový rozdíl mezi protilehlými otvory a z něj se usuzuje na velikost úhlového rozdílu mezi směrem proudění a směrem púlicím úhel obou stěn nebo čel trubic.

Základním problémem všech těchto sond je jejich poměrně značná pracnost a výrobní náročnost. Vzhledem k tomu, že jde o invazivní metodu, kdy se vkládanou sondou vyšetřované proudění nevyhnutelně poněkud ovlivní, je nezbytné, aby celkové rozměry části sondy vkládané do vyšetřovaného proudění byly co nejmenší. Je-li snímacích otvorů více, znamená požadavek malé velikosti, že každá skosená ploška by měla mít rozměry řádově v desetinách milimetru. Tak malé rozměry se jen s největším úsilím podaří zhotovit přesně. Zejména se žádá, aby vždy dvě protilehlé dvojice ústí trubic nebo stěn s vyvrtanými odběry byly co možná identické. To však lze prakticky jen těžko docílit s přijatelnými tolerancemi řádu procent celkového rozměru, což jsou potom tisíce milimetru. Potíž přináší také vyvedení většího počtu, zpravidla čtyř, tlakových signálů u sondy kulové nebo pyramidové. Vývod provedený příliš malými kanálky vede k nepříjemně špatným dynamickým vlastnostem sondy, kdy je nutné čekat na ustálení údaje tlakového snímače po doby řádu minut. Větší kanálky pak znamenají větší celkové rozměry a tedy deformaci původního vyšetřovaného rychlostního pole. I když dnes jsou k dispozici již tlakové snímače, na-

příklad založené na principu deformace polovodičového přechodu PN, jejichž celkové rozměry jsou natolik malé, že by je bylo možné zamontovat přímo dovnitř sondy, nepřipadá to prakticky v úvahu, jestliže u směrové sondy by takové snímače měly být čtyři. Zpravidla se tedy vyvádí tlakové signály trubičkami a dynamické vlastnosti jsou právě tak ještě únosné pro stacionární měření, ale vylučují proměňování nestacionárních rychlostních polí. Nevýhodou mnohaotvorových sond je také to, že i v miniaturním provedení jsou jednotlivé otvory dosti daleko od sebe. Sonda má tedy poměrně malou rozlišovací schopnost a není použitelná v rychlostních polích se značnými příčnými gradienty rychlosti, například v trojrozměnných mezních vrstvách nebo úplavech o menší tloušťce, což jsou právě případy, které jsou z hlediska aerodynamiky zvlášť zajímavé.

Problém je řešen způsobem zjišťování směru proudění tekutiny, kde je do rychlostního pole vkládána sonda v podobě trubice s kanálkem vyústěným na skoseném čele trubice, podle vynálezu. Podstata vynálezu spočívá v tom, že jde o pouze jedinou trubici, uloženou otočně kolem její podélné osy a účinkem proudící tekutiny se tato trubice uvádí do rotace kolem zmíněné osy, čímž se uvnitř kanálku vyvodí časově proměnné, periodické tlakové změny a směr proudění se pak zjišťuje na základě měřené velikosti amplitudy a/nebo fáze těchto změn, které se nejprve převedou na střídavé elektrické napětí a/nebo střídavý elektrický proud.

Tento způsob zjišťování směru proudění tekutiny je prováděn zařízením s trubicí se skoseným čelem, jejíž kanálek, vyústěný na čele, je napojen na tlakový snímač, podle vynálezu. Podstata vynálezu spočívá v tom, že trubice je uložena otočně kolem osy procházející ústím kanálku na čele trubice a je opatřena lopatkami.

Namísto několika trubic se skosenými čely skloněnými v různých směrech je zde tedy pouze jediná taková trubice, která rotuje a nastavuje se tak postupně do těchto jednotlivých směrů. Odpadají tedy dosavadní extrémní výrobní komplikace se zhotovením co možná identických čel a odběrů, neboť zde otáčením téže trubice se dosahuje prakticky identity. Další výhodou je, že s pouze

jediným ústím je vlastní snímací část sondy podstatně, nejméně čtyřikrát menší oproti čtyřem paralelním trubkám. Sonda má tedy mnohem lepší rozlišovací schopnost, způsobuje mnohem menší ovlivnění vyšetřovaného proudění a lze ji použít v prouděních s mnohem většími příčnými gradienty rychlosti. Sonda je jednodušší pokud jde o výrobu a také vývod signálu stopkou sondy, kdy se vyvádí pouze dva elektrické vodiče, případně jeden vodič, je-li druhý vývod tlakového snímače přímo ukostřen, namísto čtyř hadiček, je jednodušší, výhodnější a umožňuje menší rozměry stopky sondy, což se zase příznivě odráží v menším ovlivnění vyšetřovaného pole. V zásadě se vystačí s jediným tlakovým snímačem, takže převodníková část sondy může být čtyřikrát levnější. Protože jediný snímač může být umístěn přímo uvnitř sondy, je kanálek vedoucí do něj potom krátký a sonda je použitelná i pro nestacionární měření rychlostí, jejichž prostorové rozložení se s časem mění. Výhodné je, že výstupní elektrický signál má charakter střídavého proudu s měřenou amplitudou a/nebo fází, který se výhodně zesiluje v elektronických zesilovačích.

Vynález a jeho účinky jsou blíže vysvětleny v popise příkladu jeho provedení, podle připojených sedmi obrázků, kde jsou jednak znázorněny dva příklady praktického provedení zařízení pro provádění způsobu měření směru proudění podle vynálezu, jednak diagramy vysvětlující způsob podle vynálezu.

Na obr. 1 je v podélném řezu znázorněna sonda určená k zjišťování směru proudění tím, že je natáčena, přičemž je sledován její výstupní signál tak dlouho, až je natočena právě do směru, který má v místě čela trubice sondy vektor rychlosti tekutiny. Tento směr je pak odečten na úhloměrných stupnicích, jimiž běžně bývá ústrojí pro natáčení sondy vybaveno. Obr. 2, v o něco větším měřítku, zachycuje detail konce nosné trubky, na který se navléká vlastní rotující trubice sondy. Obr. 3 ukazuje typický cejchovní diagram sond podle vynálezu, umožňující stanovit úhel náběhu sondy a tedy potřebný úhel natočení k dosažení hledaného směru, z amplitudy výstupního střídavého napětí tlakového snímače. Obr. 4 vysvětluje, co je zde míněno úhlem náběhu sondy. Na obr. 5 je v podélném řezu zachycena jiná sonda, určená k dokonalejšímu

postupu měření, kdy je možné určit nejen absolutní velikost úhlu náběhu, ale i orientaci lokálního směru rychlosti proudění. Pro doplnění je na obr. 6 příčný řez stopkou této sondy. Obr. 7 slouží k vysvětlení významu určované orientace směru rychlosti ve spojení s obr. 8, zachycujícím diagram časového průběhu výstupního napětí z tlakového snímače sondy.

V příkladu provedení sondy na obr. 1 je základní částí trubice 1, jejíž čelo 12 je skoseno pod úhlem $\pi/4$, podobně jako u jedné z piezometrických trubic běžného provedení Conradovy sondy. Trubice 1 je však u sondy podle vynálezu pouze jediná. Na zadním konci je její kanálek 11 převrtán na větší průměr. Vývrt je navléknut na konec nosné trubky 3, ohnuté poměrně značným poměrem o úhel $\pi/2$. Jak trubice 1, tak i nosná trubka 3 jsou zhotoveny z injekčních jehel, trubice 1 z jehly o vnějším průměru 1 mm, nosná trubka 3 z jehly o vnějším průměru 0,8 mm. Na nosné trubce 3 je navléknut a připájen opěrný kroužek 34 z bronzu. Vývrt v trubici 1 je zhotoven s takovým průměrem, aby se trubice 1 po nasazení na nosnou trubku 3 mohla volně a lehce na ní otáčet. Konec nosné trubky 3, sloužící k uložení navléknuté trubice 1 je opatřen odlehčovacími vybráními 31, podle obr. 2. Na opačný konec nosné trubky 3 je navléknuta a připájena pájkou 45 přechodka 43 z mosazi. Vysoustružená krátká válcová dutina na konci přechodky 43 má stejný vnitřní průměr jako je vnější průměr stopky 4. Do nakresleného konce stopky 4, vyvrtáním rozšířeného, je vložen piezotranzistor, sloužící jako tlakový snímač 2. Izolované elektrické vodiče, první vodič 5 a druhý vodič 50 přenášející výstupní signál tlakového snímače 2 jsou vedeny kanálkem ve stopce 4. Stopka 4 je uzemněna a slouží současně jako jejich elektrické stínění. Po nasazení tlakového snímače 2 dovnitř vývrtu konce stopky 4 je na tento konec nasazena přechodka 43 připevněná zalepením epoxydovou pryskyřicí. Konec trubice 1 opačný k čelu 12 je opatřen dvěma připájenými lopatkami 8 z mosazného tenkého plechu, které jsou po připájení tvarovány tak, že tekutina obtékající trubicí 1 vyvozuje moment snažící se trubicí 1 roztočit v naznačeném směru otáčení ω . Před nasazením trubice 1 na nosnou trubku 3 je mezi obě součástky nanášeno mazivo.

Předpokládá se, že v místě, kde má být vyšetřen směr proudění tekutiny je alespoň zhruba známa orientace proudění, která se během měření nemění do té míry, že by proudění střídalo zcela smysl svého pohybu. To jsou běžné podmínky, za nichž se provádí měření např. Conradovou nebo pyramidální sondou. Zde je tato podmínka kladena proto, že u popsané konstrukce by při změně orientace o úhel větší než $\pi/2$ vzhledem k ose 14 docházelo ke svléknutí trubice 1 z konce nosné trubky 3. Pokud by taková situace nastávala, bylo by nutné se před touto eventualitou pojistit konstrukčními úpravami. Je to však zcela mimořádná eventualita a v naprosté většině případů bude tedy náporovým přetlakem proudící tekutiny trubice 1 pouze přitlačována proti opěrnému kroužku 34 a momentovou dvojicí působící na lopatky 8 roztočena. Mazivo mezi kontaktními plochami umožňuje poměrně lehké otáčení, na druhé straně svojí viskozitou klade odpor s rostoucími otáčkami a zabráňuje tak, aby rychlost otáčení narostla na velmi vysoké hodnoty. Kapilární povrchové napětí na rozhraních mezi mazivem, rozehřátým třecím teplem a okolní tekutinou zajišťuje také utěsnění dutiny kanálku 11. Odlehčovací vybrání 31 jednak zmenšují kontaktní plochu a snižují třecí moment maziva brzdící rotační pohyb, jednak umožňují, aby se vytvořil větší počet fázových rozhraní mezi mazivem, například olejem a plynem, například vzduchem, v němž se směr rychlosti proudění vyšetřuje. To pak umožní dokonalejší utěsnění i větších přetlaků. Prakticky se však při měření směru proudění ztěžší vyskytnou v kanálku 11 natolik vysoké přetlaky, že by je neutěsnila jednoduchá vrstva maziva. Ostatně v situacích, kdy by se jednalo o měření v takové tekutině, že by použití maziva nebylo přijatelné, nebude malý únik štěrbinou mezi oběma součástkami nikdy tak velký, aby podstatně zhoršil funkci sondy podle vynálezu. V takových případech lze také utěsnění zajistit kroužkem z měkkého materiálu, například grafitu, vloženým mezi konec trubice 1 a opěrný kroužek 34.

Známostou nevýhodou piezotranzistorů pro použití k přesným měřením tlaku je jejich značná závislost na teplotě a samovolné změny výstupního napětí, takzvaný "drift". Proto jsou poměrně málo používány, ač jinak nabízejí výhody skutečně minimálních rozměrů. Uvedené nevýhody se však právě neuplatní při použití v sondě po-

dle tohoto vynálezu. Zde je sledovanou složkou výstupního signálu právě jen střídavé napětí generované jako odezva na tlakové změny v kanálku 11, přičemž sonda je nastavována do polohy, kdy tato střídavá složka vymizí. Stejnoseměrná složka výstupního napětí, která se mění např. s teplotou piezotranzistoru, zde není využívána a může být odfiltrována například průchodem signálu přes kondensátor nebo vazební transformátor. Výhodou přitom je, že střídavou složku, která je předmětem zájmu, lze mimořádně snadno elektronicky zpracovávat a zesilovat v tranzistorových zesilovacích stupních. Při určité rychlosti proudění tekutiny lze dokonce počítat s tím, že zpracováváný střídavý signál má určitou jedinou frekvenci, danou pouze rychlostí rotace trubice 1. Signál pak může být filtrován úzkopásmovým filtrem tak, že se odstraní všechny ostatní frekvenční složky. Tím lze podstatně potlačit i vliv šumu, který také jinak patří k nepříjemným nevýhodám piezotranzistorů.

K vlastnímu zjišťování směru proudění tekutiny v určitém místě rychlostního pole se sonda podle obr. 1 upevňuje horním, na obr. 1 již nekresleným koncem stopky 4 v držáku, umožňujícím natáčení podle dvou vzájemně kolmých os, procházejících čelem 12 trubice 1. Na obr. 1 je jednou z těchto os vertikála v. Druhá, horizontála h, zde nemohla být znázorněna, neboť jde o přímku kolmou k rovině náčrtu tohoto obrázku, tedy obr. 4. Držák je opatřen stupnicemi umožňujícími odečíst úhlovou velikost natočení. Pokud by osa 14, kolem níž trubice 1 rotuje, byla právě identická se směrem vektoru rychlosti, nedojde v průběhu otáčky trubice 1 k žádné změně aerodynamických poměrů, tlak snímáný tlakovým snímačem 2 bude neměnný a protože konstantní složka je odfiltrována, bude na výstupu celého ústrojí indikován stav, odpovídající žádoucímu nastavení osy 14 do hledaného směru proudění. Obecně dojde nejspíše k situaci, již schematicky znázorňuje obr. 4. Bíle vyznačená šipka S udává polohu trubice 1 sondy. Jsou zde naznačeny obě osy otáčení držáku, horizontála h i vertikála v, neboť obrázek obr. 4 je v axonometrické projekci. V základní poloze sondy v držáku je osa 14 kolmá jak k horizontále h, tak k vertikále v, avšak nesouhlasí se směrem vektoru rychlosti w, který tentokrát svírá s osou 14 nenulový úhel náběhu α. Zkušenosti se sondami,

jejichž trubice 1 mají skosená čela 12 ukazují, že u nich závislost totálního, tedy Pitotova tlaku na úhlu náběhu bývá v rozsahu do α asi 15° prakticky lineární. V určitém okamžiku během rotace trubice 1 bude úhel sevřený rovinou čela 12 se směrem vektoru rychlosti w maximální a v tomto okamžiku bude také v kanálku 11 maximální přetlak oproti okolní proudící tekutině, takže také výstupní napětí tlakového snímače 2 dále zesílené předpokládanými zesilovacími stupni v přenosové cestě výstupního signálu bude maximální. Při dalším otáčení trubice 1 kolem osy 14 se měřený tlak bude zmenšovat. Nejmenší bude v poloze, kdy úhel svíraný rovinou čela 12 se směrem vektoru rychlosti w je minimální. Polovina rozdílu mezi výstupními napětími odpovídajícími těmito dvěma krajními polohám je amplituda výstupního napětí U_b podle obr. 8. Obr. 3 ukazuje, jak v oblasti zmíněné prakticky lineární závislosti měřeného tlaku na úhlu náběhu α je i závislost mezi úhlem náběhu α a absolutní hodnotou amplitudy výstupního napětí $|\hat{U}_b|$ lineární. Z takovéto charakteristiky sondy lze soudit na velikost potřebné změny nastavení. Může to být účelné například tehdy, víme-li při proudění majícím dvojrozměrný charakter, že například směr vektoru rychlosti w musí ležet v rovině procházející horizontálou h, jež je kolmá k vertikále v. Pak postačí natočit sondu kolem vertikály v o úhel vyplývající z charakteristiky obr. 5 aby byl dosažen žádoucí stav odpovídající nastavení osy 14 do hledaného směru proudění. Při obecně trojrozměrném charakteru proudění lze i bez této charakteristiky nalézt žádaný stav s indikovaným nulovým střídavým výstupním napětím $\hat{U}_b = 0$ zkusným otáčením sondy. Dráha přenosu tlakového signálu kanálkem 11 trubice 1 a dutinou nosné trubky 3 k tlakovému snímači 2 je zde krátká a jde o dutiny s nepatrným objemem, takže při měření s plynem, například se vzduchem, se stlačitelnost tekutiny uvnitř těchto dutin uplatní jen nepatrným vlivem. Objemová změna způsobená deformačním pohybem na vstupu tlakového snímače 2 je vzhledem již k malým rozměrům jeho membrány také nepatrná a proto lze bezpečně říci, že na této dráze nedojde k nějakému zkreslení signálu, jež by mělo význam, a to tím spíše, že konstrukci sondy lze beze všeho volit tak, aby rychlost rotace trubice 1 a tedy frekvence tlakových změn byla jen nízká. Je však třeba říci, že i kdyby přesto přese všechno ke zkreslení mělo dojít, přesnost měření se nějak

podstatně neovlivní, neboť při měření jde právě jen o to zjistit, kdy je amplituda výstupního napětí nulová, respektive, uváží-li se vliv šumu, kdy je minimální. A tato minimální hodnota nemůže být ovlivněna třeba tím, že při teplotních změnách se změní převodní součinitel, odpovídající změně sklonu charakteristiky na obr. 5.

Obrázky obr. 5 a obr. 6 ukazují příklad jiného provedení sondy pro zjišťování směru proudění podle tohoto vynálezu, kdy se předpokládá funkce založená na složitějším zpracování výstupního elektrického signálu, přičemž sonda je v tomto případě během měření nehybná. Základní princip uspořádání se podstatně neliší. Také zde je základní částí trubice 1, jejíž čelo 12 je skoseno. Kanálkem 11 je pak veden generovaný střídavý tlakový signál k tlakovému snímači 2. Ten je zde pro ještě lepší potlačení zkreslení tlakového signálu umístěn ještě blíže k trubici 1 a sice v tělese 6 navazujícím přímo na zadní konec trubice 1, jež je na něm otočně uložena. Rotaci trubice 1 také zde vyvozuje účinek proudící tekutiny díky první lopatce 81 a druhé lopatce 80. Protože při tomto způsobu funkce hraje důležitou roli rovnoměrnost rotačního pohybu trubice 1, není již trubice 1 v tomto případě jednoduše z injekční jehly, ale je zhotovena vysoustružením na hodinářském soustruhu a důkladně vyvážená. První lopatka 81 má na obr. 5 zřetelně větší délku než druhá lopatka 80 právě s ohledem na vyvážení šikmo skoseného čela 12. Ještě závažnější je, že s ohledem na požadavek malého a především rovnoměrného a neměnného odporu proti otáčení je trubice 1 uložena na valivých ložiskách. Jsou použita integrální valivá ložiska, zhotovená využitím komerčně dostupných safírových kuliček, dodávaných v přesných rozměrech již od velikosti 0,1 mm. Kuličky obíhají v drážkách vytvořených v trubici 1 bez klece. Odlišně je provedeno na obr. 5 levé ložisko, se dvěma řadami malých kuliček 16 a pravé ložisko s jedinou řadou větších kuliček 26. V levém ložisku běhají malé kuličky 16 po válcovém čepu 36 na konci tělesa 6, takže obě součástky, trubice 1 i těleso 6 zde mají možnost vzájemného axiálního pohybu. Pravé ložisko má v obou součástkách pro větší kuličky 26 žlábků, zajišťující polohu i v axiálním směru. Žlábek v trubici 1 pro větší kuličky 26 je však při výrobě trubice 1 zhotoven jen ve své levé

polovině takže při montáži lze trubici 1 přes řadu větších kuliček 26, usazených ve žlábků tělesa 6 a držených zde mazacím tukem, jehož vrstvou jsou obaleny, snadno převléknout. Podobně jsou při montáži drženy tukem malé kuličky 16 ve žlábkách trubice 1, které jsou přitom současně navléknuty na čep 36. Teprve po smontování je vytvořen přehyb 66 tenkého pravého konce trubice 1, zabuzující již další axiální pohyby obou součástí. Přehyb 66 sice na své vnitřní straně nevytváří zcela dokonalou dráhu pro kuličky, ale to ani není třeba, většinou je trubice 1 aerodynamicky zatížena tak, že větší kuličky 26 pracují jako v ložisku s kosoúhlým stykem a opírají se jen o levou polovinu žlábků v trubici 1. Také zde mazivo v ložiskách svojí přítomností zabráňuje úniku přetlaku z kanálku 11. Avšak jako u již popsaného provedení malý únik ložiskem nepředstavuje žádnou podstatnou komplikaci a byl by beze všeho přijatelný. K tlakovému snímači 2 vede z kanálku 11 trubice 1 spojovací vývrt 46 v tělese 6. Tlakový snímač 2 je i zde v podstatě křemíkový planární tranzistor NPN, který má přechod emitor-báze mechanicky připojen k pružné membráně v čelní stěně. Do dutiny tělesa 6 je vkládán zprava, dutina je na konci uzavřena zátkou 7 připájenou měkkou pájkou. Pájka současně ukostřuje první vodič 5 ze dvou vývodů tlakového snímače 2, který je před zapájením svým odisolovaným koncem zasunutý do výřezu tělesa 6. Obdobným výřezem na protilehlé straně je vyveden druhý vývod 50 do dutiny stopkového vývrtu 45 ve stopce 4, jak jej zachycuje řez na obr. 6. Na rozdíl od válcové stopky 4 u provedení z obr. 1 má zde stopka 4 pro zvětšení tuhosti při zmenšeném aerodynamickém odporu a zmenšeném ovlivnění vyšetřovaného rychlostního pole plochý, "kapkovitý" tvar. Druhý vodič 50 je ovšem opatřen izolační bužírkou 55, jež jej elektricky izoluje od stopky 4. Ke zpracování elektrického signálu je použito zapojení, při němž je celá sonda i s ukostřeným prvním vodičem 5 uzemněna, takže kovová stopka 4 funguje současně jako stínění. Na vnější straně trubice 1 je přilepeno drobné zrcátko 9, na něž dopadá paprsek 900 světla svítivé diody, odrážený do fotodiody. K odražení paprsku 900 ovšem dojde vždy jen po krátký okamžik jednou za otáčku trubice 1 při její rotaci kolem osy 14.

Na obr. 8 je zachycen v závislosti na čase t průběh napětí

fotodiody U_a a výstupního napětí U_b tlakového snímače 2. Průběhy odpovídají poměrům na obr. 7, kde je stejně jako na obr. 4 šipkou S schematicky znázorněna poloha sondy s osou l_4 odpovídající ose otáčení trubice l a vertikálou v procházející čelem l_2 trubice l . Na rozdíl od situace z obr. 4, kdy vektor rychlosti w proudění tekutiny ležel v rovině určené osou A a vertikálou v , předpokládá se nyní obecný směr vektoru rychlosti w . V kanálku l_1 trubice l bude v takovém obecném případě zjištěn během její rotace ve směru otáčení ω maximální tlak zase tehdy, když rovina čela l_2 svírá se směrem vektoru rychlosti w maximální úhel náběhu α . Kdyby, tak jako v případě z obr. 4, ležel vektor rychlosti w ve vertikální rovině, bylo by toto maximum tlaku, jemuž odpovídá i maximum výstupního napětí U_b , zjištěno právě v poloze zachycené na obr. 5, kde je rovina čela l_2 kolmá k rovině jsoucí osou l_4 a vertikálou v . Na obr. 7 je však poloha bodu Z , jímž prochází vektor rychlosti w jiná, bod U leží mimo vertikální rovinu a maximum výstupního napětí U_b bude zjištěno až tehdy, když se trubice l natočí vzhledem k poloze z obr. 5 ve směru otáčení ω o úhel φ . Zjišťování úhlové polohy odrazem paprsku 900 od zrcátka 9 umožní polohu bodu Z stanovit. Napětí fotodiody U_a vykazuje, podle obr. 8, nízkou hodnotu po naprostou většinu doby trvání otáčky trubice l kolem osy A . Pro zajištění skutečně nízké hodnoty může být žádoucí natřít vnější povrch trubice l černým, světlo absorbujícím nátěrem všude mimo zrcátko 9. Jen v okamžicích, kdy trubice l během své rotace právě zaujímá polohu z obr. 5 je registrován napěťový impuls způsobený dopadem světla do fotodiody. Doba mezi jednotlivými impulsy je perioda t_p podle obr. 8, o níž lze předpokládat, že vzhledem k zajištění rovnoměrnosti rotace valivým uložením je při vyšetřování stacionárního proudění neměnná. Lze ji tedy měřit několikrát a po statistickém zpracování výsledků lze periodu t_p stanovit se značnou přesností. Vzhledem k posunutí bodu Z nebude okamžik dosažení maxima výstupního napětí U_b souhlasit s okamžikem, kdy napětí fotodiody U_a vykazuje impuls, ale mezi oběma okamžiky je časové zpoždění t_φ , viz obr. 8. Také toto časové zpoždění t_φ lze při vyšetřování stacionárních proudění opakovaně měřit a lze tak dosáhnout značné přesnosti statistickým vyloučením náhodných chyb. Protože úhel φ se má k úhlové dráze celé otáčky 2π jako časové zpoždění t_φ k periodě t_p ,

lze úhel φ nalézt ze vztahu

247 893

$$\varphi = 2\pi \frac{t}{t_p}$$

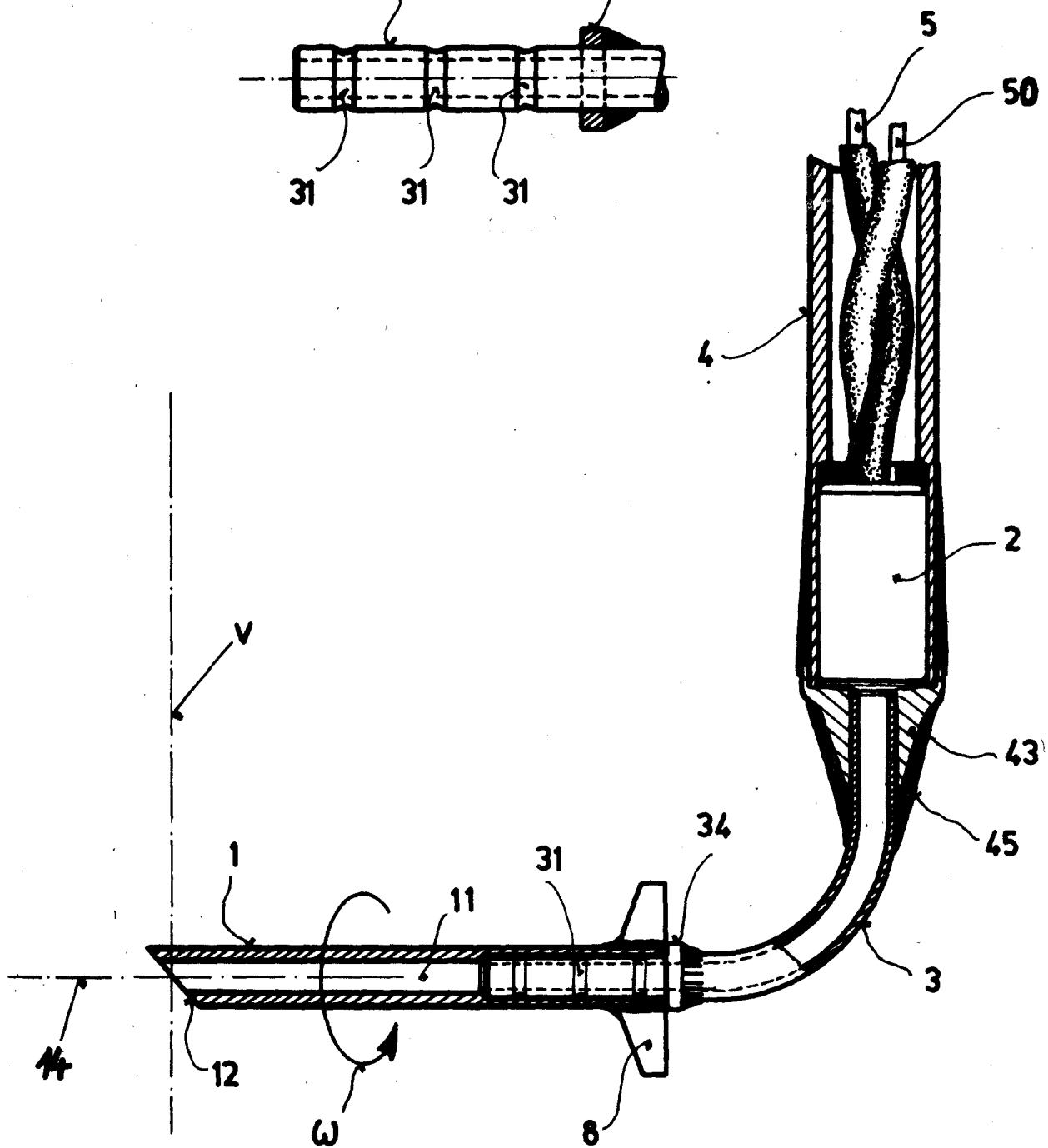
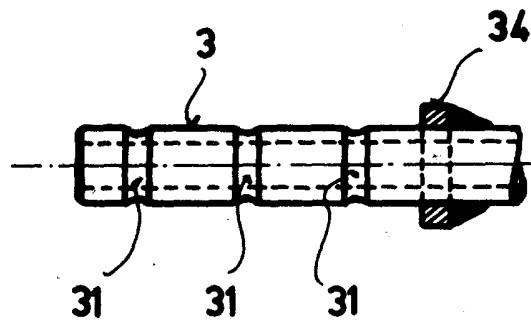
Z naměřené amplitudy výstupního napětí $\hat{U}_b$ a jejího časového zpoždění t_p tak lze jednoznačně určit směr, z něhož vektor rychlosti w směřuje do vyústění kanálku 11 na čele 12 trubice 1.

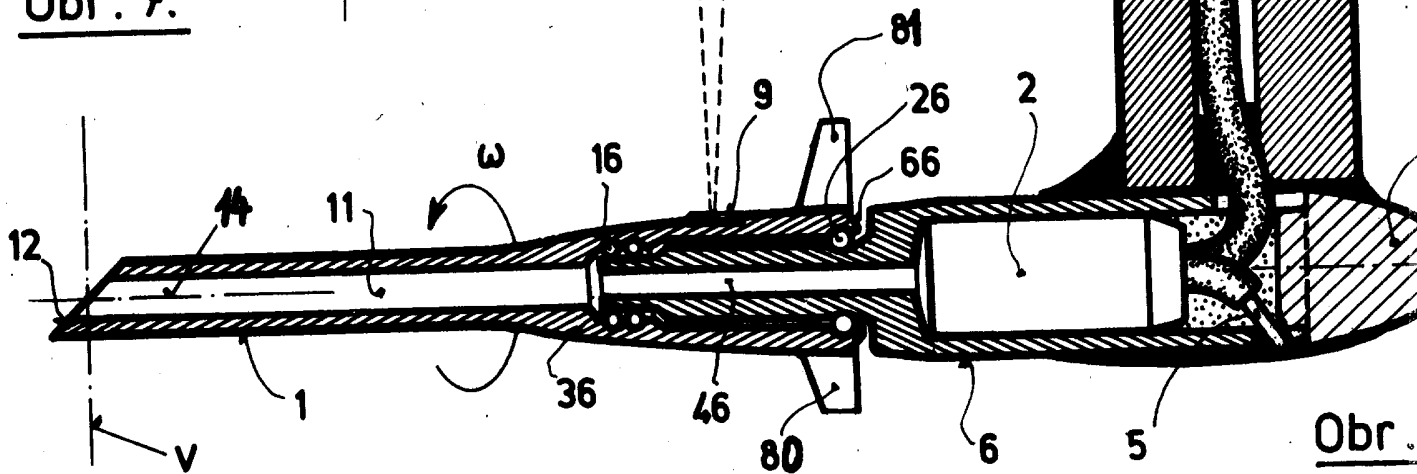
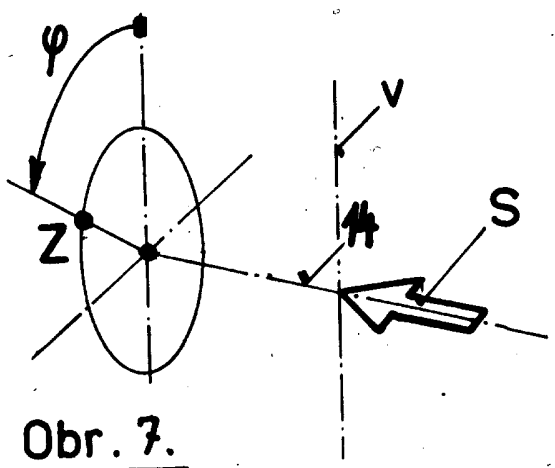
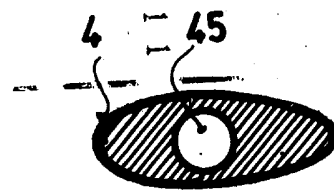
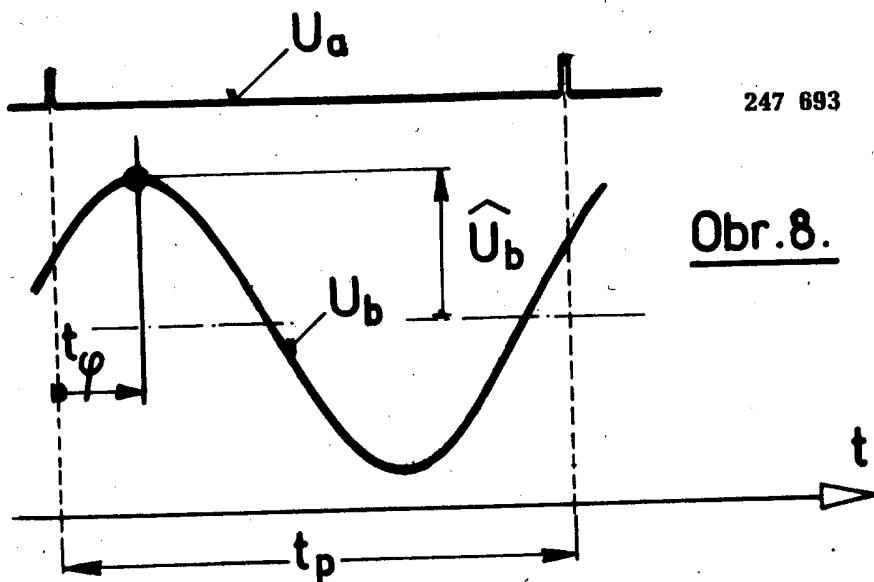
Předpokládá se využití zařízení podle tohoto vynálezu především v aerodynamických laboratořích, například při vyšetřování úplavů za obtékány tělesy, jako je tomu v leteckém výzkumu, při výzkumu a vývoji lopatkových strojů, při výzkumu aerodynamiky budov, automobilových karoserií a podobně.

P R Ě D M Ě T V Y N Á L E Z U

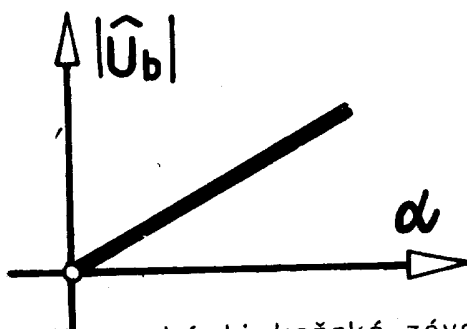
1. Způsob zjišťování směru proudění tekutiny vyznačující se tím, že do tekutiny se umístí trubice s kanálkem vyústěným na jejím skoseném čele, uložená otočně kolem své podélné osy a tato trubice se účinkem proudící tekutiny uvádí do rotace kolem této osy, čímž se uvnitř kanálku vyvodí periodické tlakové změny a z velikosti amplitudy a/nebo fáze těchto změn, převedených tlakovým snímačem na střídavý elektrický signál se pak zjišťuje směr proudění tekutiny.
2. Zařízení k provádění způsobu podle bodu 1, sestávající z trubice se skoseným čelem, jejíž kanálek, vyústěný na čele, je napojen na tlakový snímač, vyznačující se tím, že trubice 1/ je uložena otočně kolem osy 14/ procházející ústím kanálku 11/ na čele 12/ trubice 1/ a je opatřena lopatkami 8/.

2 výkresy

Obr. 2.Obr. 1.



Obr. 3.



Obr.

