140
TECHNICKÉ
PŘÍRUČKY
PRÁCE

PROF. DR ING. MIROSLAV HAJN

ZÁKLADY JEMNÉ MECHANIKY A HODINÁŘSTVÍ

Přehled přesné mechaniky v celém rozsahu s podrobným pojednáním o hodinářské technice

1033 OBRÁZKŮ

PRAHA 1953

PRÁCE - VYDAVATELSTVO - ROH

DT 681 11

OKRES LIDOVÁ KNIHOVNA ONICÍCH
SK 11194 67/62
Datum zařazení: 8. X. 1953.
P
24/3 B — 1989

Tato kniha podává ucelený přehled jemné (přesné) mechaniky v celém rozsahu (materiály, části přístrojů, mechanismy zařízení, z nichž se přístroje skládají). Podrobně pak probírá hodinářství, na němž ukazuje využití stavebních i theoretických prvků jemné mechaniky. Názorný výklad, zabíhající i do theorie tam, kde toho je třeba, je doplněn velkým množstvím obrázků, schemat i konstrukčních nákresů.

Kniha je určena pro praxi i jako pomůcka k odbornému školení a učebnice pro odborné školy.

OKRESNÍ LIDOVÁ KNIHOVNA V STRAKONICÍCH

OBSAH

Str.

DÍL I. ZÁKLADY JEMNÉ MECHANIKY

Úvod 9
1. **Materiál** 12
Kovy 16
Materiály nekovové 23
Různé materiály 29
2. **Konstrukční prvky** 31
Spojovací methody 31
Nýtování 31
Spojení přehybem 33
Spojení nalisováním 34
Spojení zalitím 34
Sváření 34
Spájení 35
Spojování skla a kovů . . . 36
Lepení, tmelení 37
Klíny a kolíky 39
Závlačky 39
Upevňovací šrouby a matky 39
Spojení šrouby 44
Závitová spojení (šroubení) . 47
Bajonetové spojení 49
Šrouby dorazné, regulační, kontaktní 49
Šrouby mikrometrické 50
Zařízení svěrací 54
Přímá vedení 56
Paralelní vedení 63
Přímá vedení přibližná 64
Otočná uložení 66
Uložení čípková 68
Uložení hrotová 72
Valivá ložiska 76
Různá užití ložiskových kuliček 82
Kulové klouby 83
Otočná uložení úhloměrných strojů 84
Letmá uložení kuželová . . 84
Letmá uložení cylindrická . 87
Přesná uložení horizontální . 88

Str.
Otočná uložení plochá . . . 89
Břitová uložení 91
Ozubená kola 95
Mechanismy západkové . . . 98
Zařízení indexovací, zajišťovací 101
Převody třecí 102
Mechanismy integrační 104
Vačky a drážkové kotouče . . 110
Zarážky a hodinové kroky . . 112
Regulátory otáčivé rychlosti . 115
Zařízení tlumicí 117
Zařízení rektifikační 119
Ustanovky 123
Pružiny 127
Hodinové pružiny 128
Měřicí pružiny 131
Tlakoměrné pružiny 134
Pružné vlásky a vlákna . . 136
Pružinové klouby 137
Namáhání pružin 139
Bimetalické pásky 140
Kompensace 141
Optické pomůcky 144
Rovinné zrcadlo 145
Hranoly 146
Čočky 149
Dalekohled 151
Kolimátor 154
Mikroskop 155
Stanovení svislé a vodorovné polohy 156
Olovnice 157
Libela 158
Dělení 163
Dělicí stroje 166
Délkové stroje dělicí . . . 166
Dělicí stroje kruhové . . . 170
Odečítací prostředky 173
Zvětšování malých pohybů . . 178
Methody zapisovací čili registrační 182

Str.

DÍL II.
HODINÁŘSKÁ TECHNIKA

I. O času a jeho určování 187
Zjišťování času 189
Časová služba 190
II. Od prvních počátků k Huygensovi 191
Vodní hodiny 192
Hodiny kolečkové 193
Hodiny Huygensovy 197
III. Úvod k theorii 200
Použití matematiky 201
Užívané značky 202
Momenty setrvačnosti 203
Setrvačné síly 204
Několik číselných příkladů . . 205
Důležité číselné hodnoty . . . 207
IV. O mechanických kmitech . . 208
Pohyb harmonický 211
Doba kyvu 213
Frekvence 214
Harmonický pohyb kruhový . . 215
Energie oscilátoru 216
Kmity tlumené 216
Vliv viskosního tření 217
Vliv konst. tření 218
Skutečné poměry 219
Vliv krátkodobého impulsu a odporu 219
Příklady mechan. oscilátorů . . 221
V. Theorie kyvadla 223
Kyvadlo fysické 224
Vliv malých změn délky . . . 226
Vliv rozdělení hmoty v kyvadle 226
Reversní kyvadlo 227
Minimální kyvadlo 228
Vliv amplitudy 229
Náhradní kyvadlo 230
Vliv přidaného závaží 231
Ovlivněné kyvadlo 233
Jak velkou práci spotřebuje kyvadlo 234
Kyvadlo jako absorpční regulátor 237

Str.

Vnější rušivé vlivy 237
Vliv změn teploty 239
Vliv tlaku vzduchu 240
VI. Konstrukce kyvadla 242
Výpočet kyvadla 242
Kyvadlová tyč a čočka 244
Závěs kyvadla 245
Pružinový závěs 246
Kompensace kyvadla teplotní . 249
Kompensace roštové a pákové . 250
Rtuťová kompensace 251
Kyvadlo invarové 253
Kyvadlo křemenné 254
Výpočet kompensace 255
Oprava barometrické chyby . . 255
Přídavná závažíčka 256
VII. Setrvačka 257
Vlásek 259
Výpočet setrvačky 261
Rušivé vlivy 261
Teplotní kompensace 262
Starší teplotní kompensace. . . 263
Dnešní kompensační setrvačky . 264
Druhotné kompensace 266
Setrvačka Guillaumeova . . . 267
Vlásky elinvarové 267
VIII. Kroky pro kyvadlové hodiny 269
Krok Galileův 270
Krok kotvový 271
Krok Grahamův 273
Kroky kolíčkové 276
Krok Brocotův 278
Vidlice 278
Jiné kroky klidové 281
Kroky zarážkové 282
Zarážkové kroky nepřímo působící 284
Kroky diferenciální 285
Krok Leroy 288
Krok Grangerův a Strasserův . 290
Krok Rieflerův 292
Kuriosní kroky 294
IX. Kroky pro setrvačku 295
Krok válcový (cylindrový) . . 296

Str.

Krok duplexní (dvoukolý) . . . 298
Kroky chronometrové (zarážkové) 299
Kroky s konstantní silou . . . 303
Volný krok kotvový 304
Některé zajímavé kroky . . . 310
X. O převodech a pohonu hodin . 312
Pohon závažím 312
Natahování věžních hodin . . . 313
Remontoir 315
Elektrický remontoir 317
Poháněcí pružiny 318
Vlastnosti hnacích pružin . . . 319
Stavítka 321
Šnek 322
Ozubená kola 323
Čepy a ložiska 323
Účinnost ozubených soukolí . . 325
XI. Mechanické hodiny 325
Námořní chronometry 329
Kapesní hodinky 332
Jiné přenosné hodiny 336
XII. Elektrické hodiny 336
První elektrické hodiny 336
Systemy s kyvadlovým kontaktem 337
Hippův kontakt 341
Hodiny Ato a Favre-Bulle . . 343
Elektrický impuls konstantní . 345
Elektrický impuls diferenciální . 347
XIII. Elektrický přenos času . . . 348
Sympathetická vazba 349

Str.

Synchronisace periodickou opravou 350
Minutová počítadla 351
Nepolarisovaná počítadla . . . 352
Polarisovaná počítadla 353
Elektrisované věžní hodiny . . 355
XIV. Přesnost hodin 356
Jak se posuzuje přesnost hodin 357
Výkony hodin 360
Jak se zjišťuje chod hodin . . . 363
XV. Přesné hodiny astronomů . . 364
Volné kyvadlo 366
Volné kyvadlo O'Learyho . . . 367
Hodiny Shorttovy 368
Volné kyvadlo Tomlinsonovo. . 371
Vysokofrekventní oscilátory . . 373
Ladička 373
Kmitající tyč 374
Křemenné hodiny 375
Hranice přesnosti 378
XVI. Měření časových intervalů . 379
Stopky 379
„Chronografy" 381
Chronograf 383
Sekundové kontakty v hodinách 384
Různé aparatury 386
XVII. Otázky isochronismu 387
Vliv kroku na kyvadlo 389
Isochronismus hodin setrvačníkových 390
Regláž 395

Literatura 397
Rejstřík 398

ÚVOD

Jemná (říká se také: přesná) *mechanika* se zabývá theorií, konstrukcí a stavbou jemných a přesných přístrojů, zejména a převážnou většinou nástrojů, přístrojů a strojů *měřicích a regulačních*, jakých je třeba při vědecké a výzkumné práci ve výrobě a v provozu všech druhů, při práci inženýrů všech odvětví a namnoze i v denním životě. Je tedy jemná mechanika odvětvím strojnictví, s nímž se často prolíná, takže nelze mluvit o přesných hranicích. Jsou stroje, které rozměry, přesností a pečlivostí provedení jsou nesporně výtvory jemné mechaniky (na příklad integrátory), jsou však také velké stroje (na př. souřadnicové vrtačky), které rozměry a celkovým typem odpovídají strojům obráběcím, avšak do jemné mechaniky patří, protože jsou provedeny mimořádně přesně a je při nich použito měřicích zařízení typicky jemně mechanických nebo optických.

Ještě neurčitější jsou hranice mezi jemnou mechanikou a optikou. Je mnoho přístrojů v podstatě mechanických, u nichž byla přesnost měření a odečítání podstatně zvýšena užitím prvků optických (příklady: theodolit, komparátor, přesný tovární měřicí stroj), na druhé straně pak přístroje k účelům zřejmě optickým (příklady: fotografický přístroj, mikroskop, spektrometr), jejichž praktická realisace však vyžaduje konstrukčních prvků jemné mechaniky. Mikroskop je původně přístroj ryze optický, ale je také důležitou součástí četných přístrojů a strojů, kterými měříme různé veličiny; totéž platí o dalekohledu. Proto jemná mechanika a optika bývají někdy považovány za jediná odvětví techniky. To se často odráží ve výrobním programu velkých továren (příkladem mohou být světoznámé závody Zeissovy).

Konečně jsou i neurčité hranice mezi jemnou mechanikou a *elektrotechnikou*. Někdy je účel elektřiny pomocný (na př. elektrický pohon přesných kyvadlových hodin, užití elektrických motórků k různým pohybům), jindy jde o přístroj měřicí nějakou elektrickou veličinu (na příklad zrcadlový galvanometr). Pro vývoj měřicí techniky je charakteristické, že měření různých veličin mechanických, teploty, času nebo i veličin chemických provádíme často elektricky, t. j. převádíme měřenou veličinu na vhodnou veličinu elektrickou. Takové měřicí aparatury jsou konstruovány s hlediska mechanického i elektrotechnického; podle povahy aparatury může jedno nebo druhé hledisko převládnout, aparatura má pak charakter výtvaru jemné mechaniky (na př. onen galvanometr) nebo zařízení spíše elektrotechnického (na př. potenciometr, křemenné hodiny).

Hodinářství, velmi staré a důležité odvětví jemné mechaniky, vytvořilo si vlastní typické konstrukční formy, tak typické, že hodinářství bývá někdy považováno za zvláštní odvětví techniky. Vývoj — stejně jako často i v jiných oborech — smazal zčásti tyto rozdíly. Tak kapesní hodinky si podržely osobitou hodinářskou konstrukci, kdežto nejpřesnější kyvadlové hodiny jsou již spíše výtvory jemné mechaniky, velké věžní stroje pak výtvory téměř strojnické (o hodinách křemenných již bylo psáno). Naopak hodinářských prvků užíváme často k jiným účelům.

Rozsah jemné mechaniky. Z řečeného vyplývá veliký rozsah a veliká rozmanitost jemné mechaniky; to vedlo již v minulém století k specialisaci továren. Vedle staré výroby hodinářské vznikaly továrny vyrábějící stroje geodetické, astronomické, čistě mechanické, přístroje optické, fotografické přístroje, měřidla technická pro výrobu, nejpřesnější měřidla normální a kontrolní, různá měřidla elektrická atd. Vidíme bohaté a rozmanité výrobní programy velikých továren i úzkou specialisaci továren menších. K tomu nyní přistupuje vývoj aparatur *regulačních*. Ve výrobě a v provozu se dnes nespokojujeme vždy jen měřením veličin a zařizujeme často věci tak, že měřicí aparatura s pomocí různých servomotorů sama obstarává nutnou regulaci, aby byly udrženy potřebné nebo optimální provozní podmínky. Toto odvětví měřicí techniky, dnes již vyvinuté a úspěšně aplikované, má velikou budoucnost, neboť směřuje a podstatně přispěje k automatisaci provozu jako k nejvyšší formě racionalisace.

Rozmanitost se jeví též v obrovských rozdílech velikosti a složitosti výtvorů jemné mechaniky. Na jedné straně jednoduchá koncová měrka, na druhé straně velký komparátor cejchovního úřadu; malé náramkové hodinky a ohromné věžní hodiny; prostý dílenský mikrometr a veliký souřadnicový vrtací a frézovací stroj o váze 15 tun; na jedné straně kapesní strojek nivelační, na druhé straně gigantický, pětimetrový hvězdářský reflektor na Mount Palomaru, jehož pohyblivá část váží několik set tun; strojek měřicí pevnost vláken a nití a naopak veliký stroj k pevnostním zkouškám letadlových konstrukcí nebo ještě mohutnější stroj ke zkouškám konstrukcí stavebních, atd.

Táž rozmanitost je patrná ve fysikálních základech jednotlivých výtvorů jemné mechaniky. Jsou přístroje složité konstruktivně, jejichž theorie je jednoduchá, jsou naopak přístroje jednoduché, které mají theorii složitou. Existují stroje řešicí rychle i velmi složité a pracné problémy matematické. Výpočty optických systémů jsou často nesnadné, složité a neobyčejně pracné. Zevrubné studium přístroje znamená proto někdy aplikaci matematiky v rozsahu, na který nestačí matematická průprava inženýrova (a vyžaduje tedy spolupráce profesionálního matematika); jindy, je-li rozhodující jak se materiál chová za různých vlivů fysikálních (nebo jak se mění s časem), je třeba hlubších úvah fysikálních, které mohou zaběhnout až do fysiky molekulární.

Rozmanitost je patrná konečně i na různorodosti užívaných materiálů. V jemné mechanice užíváme takřka všech materiálů: nejrůznějších kovů a slitin, dřeva, skel nejrůznějšího složení, hmot přírodních i umělých, hmot keramických, různých nerostů i chemikálií, rozmanitých tmelů, lepidel, nátěrů a mazadel.

Význam jemné mechaniky. Bez výtvorů jemné mechaniky nebyla by možná dnešní věda ani dnešní technický výzkum, dnešní výroba, jakékoliv budování — možno říci — celý dnešní život. Začíná to prvovýrobou: proměřováním v dole, měřením (a regulací) u hutnických pecí. Měřidla jsou nutná

v továrně u pracovních strojů i v kontrolním oddělení. Pouhá empirie ve výrobě ustupuje přesnému číselnému předpisu, jenž může být dodržen jen zásluhou měřicích přístrojů. Jak již bylo řečeno, postupujeme od pouhého měření ve výrobě strojů, v energetice a v chemické výrobě k automatické regulaci provozu. Vývoj vědy byl úzce spojen a namnoze přímo podmíněn vytvořením přístrojů k pozorování a měření (dalekohled, mikroskop, váhy, hodiny, elektrické přístroje atd.); to platí o všech vědách přírodních, o všech jejich aplikacích, o lékařství, které by bylo bezmocné bez mikroskopu. Technický výzkum, podmínka dalšího vývoje výroby, je z valné části práce s nejrůznějšími měřicími aparaturami. S výtvory jemné mechaniky pracuje inženýr ve své kanceláři (rysovadlo, počítací pravítko, planimetr), ale najdeme je i v domácnosti (hodiny, teploměr, aneroid, elektroměr).

Jemná mechanika představuje proto rozsáhlý, specialisovaný a přirozeně velmi kvalitní průmysl. Odhaluje se, že v Německu, které zejména v optice mělo před první světovou válkou postavení takřka monopolní, jemná mechanika zaměstnávala před rokem 1939 asi 40 000 až 50 000 osob. Obě světové války způsobily, že i jiné země si vybudovaly tento průmysl. *Sovětský svaz*, budující energicky svůj průmysl strojnický, buduje logicky i vlastní průmysl jemné mechaniky a optický; měli jsme již příležitost shlédnout výrobky tohoto mladého ruského průmyslu: leicy, stroje na zkoušení materiálu, geodetické přístroje moderní koncepce, dílenské mikroskopy a měřicí přístroje pro výrobu.

Je stejně logické, že i naše republika, budující těžký i lehčí průmysl strojnický, buduje zároveň i tomu odpovídající průmysl jemné mechaniky a optiky. Nejsme v tomto oboru bez tradice. Vzpomeňme Josefa Božka, hodináře Koska a našeho klasika přesné mechaniky, Dr Friče, zejména jeho polarimetrů, které chodily do celého světa. Ve světových laboratořích najdeme u nás vytvořený a vyrobený polarograf Heyrovského. Před válkou Srb a Štys exportovali ve velkém počtu optické přístroje a založili i českou výrobu mikroskopů. Navázali jsme na tuto dobrou tradici a budujeme dále. Vyrábíme četné různé přístroje pro výrobu, výzkum a vědu, budujeme vlastní výrobu hodinářskou. Bude třeba dalších dělníků a techniků pro vývoj i pro výrobu, v jemné mechanice i v optice, inženýrů, kteří jsou již obeznámeni se základními konstrukčními principy jemné mechaniky a kteří se ovšem pak v praxi musí podrobnějším studiem seznámit se svým oborem speciálním.

Úkol následujícího textu. Úkolem tohoto textu není popsat jednotlivé přístroje a stroje. Seriosní studium by vyžadovalo díla o mnoha svazcích, stručný popis by dal jen povrchní, nic nevysvětlující encyklopedii, ne o mnoho více než pouhý výčet nesčíslných výtvorů jemné mechaniky.

Proto byla celá rozsáhlá látka vědomě omezena. Předně byly vypuštěny konstrukce, často zejména německými autory do jemné mechaniky počítané, ač jde spíše o hromadné výrobky, někdy přesnější, často nevalně přesné a namnoze vyrobené ražením z plechu: stroje psací, počítací, telegrafní a telefonní přístroje, gramofony a pod. Ostatně, pokud je třeba jisté vyšší přes-

nosti, platí též pro tyto výrobky zásady jemné mechaniky, i když se zde především přihlíží k laciné a zmechanisované výrobě. Za druhé technická optika byla omezena jen na ty optické přístroje, které jsou součástí (často podstatnou a vždy znamenající stupňování přesnosti) moderních měřicích přístrojů různého druhu.

Za třetí se předpokládá základní znalost strojních součástí a vědomostí o materiálu. Proto se v kapitole o materiálu a v oddílu o spojovacích methodách neopakuje to, co můžeme nastudovat v příslušné literatuře, nýbrž jsou uvedeny jen věci nové, pro jemnou mechaniku potřebné a charakteristické. Dále jsou probírány strojní součásti speciální, které jsou stavebními kameny většiny konstrukcí v tomto našem oboru; jejich užití je často vysvětleno na konkretních případech. Péče byla věnována i kapitolám o děleních a odečítacích prostředcích, dále kapitolám o zásadách, jimiž se řídí konstrukce (rektifikace, kompensace, otázka deformací, zneškodňování výrobních nepřesností a pod.) a které v odborné literatuře — až na hodinářství ku podivu nečetné — nebývají soustavně probírány. Zde byly sneseny různé poznatky detailní, zčásti z vlastní zkušenosti vytěžené, zčásti sebrané z literatury mnoha desetiletí a různých oborů. Naproti tomu popisy přístrojů byly omezeny na některé základní, zejména na ty, na nichž lze demonstrovat ony všeobecné principy.

Předešlým již bylo řečeno, že tento text nemůže studujícího podrobně seznámit s určitým oborem jemné mechaniky. Jeho úkolem je seznámit s tím, co je celé jemné mechanice společné: se základními součástmi, z nichž se skládají přístroje, a se základními myšlenkami, na nichž tyto přístroje spočívají. Vše další je úkolem dalšího studia a praxe. Inženýr a lékař se musí učit do smrti.

V druhé části spisu jsou stavební kameny jemné mechaniky a její theoretické základy aplikovány na hodinářskou techniku, která byla první a je dodnes nejpokročilejší částí jemné mechaniky.

I. ČÁST - JEMNÁ MECHANIKA

1. MATERIÁL

V jemné mechanice jsou požadavky na vhodnost materiálu poněkud jiné, než je tomu v běžném strojírenství. Strojař klade hlavní důraz na pevnost materiálu, které však v jemné mechanice (až na výjimky) nebývá obvykle využito. Hlavním znakem jemné mechaniky je přesnost. Tak na příklad přesnost časoměrných zařízení je asi $1{,}2 \times 10^{-7}$; jako příklad přesnosti délkových měření stačí uvést, že „Mikrokator" pro měřicí rozsah $\pm 0{,}01$ mm udává délkovou změnu 0,05 mikronu; to ještě nejsou hodnoty extrémní, neboť interferenční methody umožňují měřit délkové odchylky ve zlomcích vlnové délky světla. Je přirozené, že přístroje takto přesné jsou samy zhotoveny s přesností, která často převyšuje přesnost běžnou a postačující ve strojnictví. Pro porovnání je uvedena nejvyšší přesnost strojnická, plynoucí z tolerancí ISA pro hřídel ⌀ 100 mm:

Stupeň lícování	H6	H7	H8	H11
Tolerance μ $\frac{+}{-}$	22 0	35 0	54 0	220 0
Relat. přesnost	$2{,}2 \times 10^{-4}$	$3{,}5 \times 10^{-4}$	$5{,}4 \times 10^{-4}$	22×10^{-4}

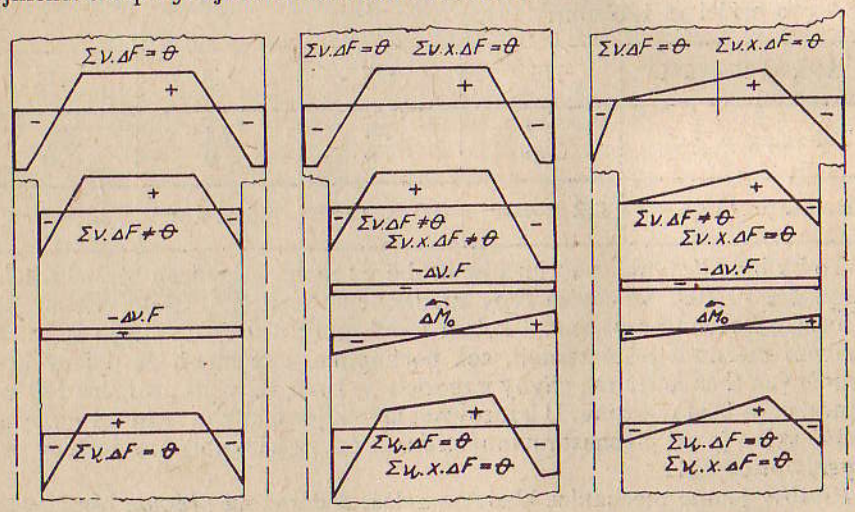
To by bylo lícování nepřípustně hrubé v mnoha případech přesné mechaniky. Na příklad válcovité čepy moderních theodolitů (Wild, Zeiss) jsou v ložisku lícovány s přesností kolem 1 mikronu; u dělicích strojů se jde na lícování možno-li ještě těsněji, což pochopíme, uvážíme-li že dělený kruh zmíněných theodolitů má chyby v mezích $\pm$ 1 sec, tedy při průměru 140 mm v mezích $\pm$ 0,34 mikronu. U koncových měrek jde o chybu řádu 0,1 mikronu, stejně velká je asi přesnost rovinných desek (⌀ až 250 mm) pro potřeby průmyslu optického.

Proto v jemné mechanice klademe zvláštní důraz na *přesnou obrobitelnost* materiálu a na jeho *rozměrovou* a *tvarovou stálost*. Poněvadž pružné deformace součástí snižují přesnost přístroje, zajímá nás modul pružnosti často více než pevnost. Pro některé účely je důležitá tvrdost materiálu, jindy jeho vlastnosti „ložiskové"; u materiálů speciálních pak rozhodují zvláštní vlastnosti fysikální, optické nebo chemické, pro něž materiál právě volíme.

Otázka *obrobitelnosti* zní jinak než ve strojnictví. V jemné mechanice obyčejně nelze dosáhnout vysokých třískových výkonů; veliký řezný výkon znamená velký pracovní tlak a tedy značné deformace obráběného kusu a vznikající oteplení vede k dalším deformacím a k rozměrovým změnám. Tam, kde jde o nejvyšší přesnost, je třeba obrábět často naopak velmi pomalu. Důležité je, aby se materiál dal odebírat i v nejtenčích třískách. Soustruží-li se čípek

o průměru 0,1 mm, je třeba odebírat doslova po mikronech, tříska od nože (samozřejmě jemně nabroušeného a vyleštěného) odletuje jako prach a je jasné, že se zde nehodí každá ocel. Z běžných materiálů dobře vyhovuje ocel „stříbrná" a tvrdá mosaz, kterých se také podnes hojně užívá.

Ještě důležitější je otázka *rozměrové stálosti*. U materiálu, který se špatně obrábí břitem, lze si konečně často pomoci broušením; nelze však vyrobit trvale přesnou součást z materiálu, který mění — po případě ještě celé roky — rozměry. Tyto rozměrové změny jsou dvojího druhu. Jednak „*creep*", změny rozměrů vznikající trvalým působením vnějších sil. Ve strojnictví činí obtíže creep u součástí namáhaných za vysokých teplot (vysokotlaké kotle, turbinové lopatky). V jemné mechanice jsou teploty nízké, creep tedy velmi malý, ale mnohdy přece ještě citelný. Zvláště nepříjemné je chování pružin trvale zatížených (na příklad u aneroidů): pružina se poddává, posunuje se tím nulová poloha ukazatele a přístroj je třeba častěji srovnat s normálem a chybu opravit. Creep je u různých materiálů různý: veliký je na příklad u zinku; nejmenší creep byl zjištěn u taveného křemene.



Obr. 1. Symetrické rozdělení vnitřních pnutí a symetrické obrábění. *Obr. 2. Symetrické rozdělení vnitřních pnutí a nesymetrické obrábění.* *Obr. 3. Nesymetrické rozdělení vnitřních pnutí a symetrické obrábění.*

(Rozdělení vnitřních pnutí po průřezu je zde značně zjednodušeno.)

Druhý druh jsou samovolné rozměrové změny součástí nenamáhaných, tedy změny způsobené na rozdíl od předešlých *vnitřními napětími* přímo v materiálu. Taková napětí nohou vzniknout kalením. Známé jsou deformace, (v nepříznivých případech i trhliny) po zakalení ocelových nástrojů. Popouštěním se tato napětí uvolňují, ne však úplně. K dalšímu uvolňování dochází postupně následkem creepu, kus ještě po léta mění své rozměry. Toto byl hlavní problém pro Johanssona, když hotovil své první koncové měrky.

U duralu, který se po zamočení nepopouští, jsou tyto změny daleko větší než u ocelí; z duralu prakticky nelze vyrobit opravdu přesnou součást. Podobného druhu jsou napětí, která vznikají v odlitcích při chladnutí (šedá litina).

Vnitřní napětí mohou v materiálu vzniknout také *studeným zpracováním* (válcování a tažení za studena). Tak tažená tyč může mít v povrchové vrstvě tlakové napětí; aby byla rovnováha, bude vnitřek tyče v napětí tahovém. Zmenšíme-li průměr tyčky osoustružením, odstranili jsme část tlakové napjaté vrstvy; dostaví se nový rovnovážný stav tím, že se zmenší tahové napětí uvnitř a zvětší tlakové napětí, čili že se tyč zkrátí (obr. 1). Byl-li materiál odebrán nesymetricky (obr. 2), bude i zkrácení nesymetrické, tyč se prohne. To se stává na příklad u tažených transmisních hřídelů, vyfrézuje-li se drážka pro klín. Stejně nevyhnutelně se prohne tyč po osoustružení, byl-li původní obraz napjatosti nesouměrný (obr. 3). Tyto délkové změny nejsou definitivní. Následkem creepu dochází obecně ještě k dodatečným dlouhodobým změnám rozměrů, které jsou někdy nepatrné, někdy citelné, ale vždy nevypočitatelné.

V přesné mechanice má dále význam *délková změna teplotou*, udávaná obyčejně přibližnou rovnicí

$$\Delta l = l \cdot \alpha \, \Theta. \qquad (1)$$

Součinitel α pro teploty kolem 20° C je u kovů řádu 1×10^{-6} (invar) až 29×10^{-6} (zinek), u některých látek ještě daleko vyšší (celuloid, ebonit, plexiglas); nejmenší ($0{,}4 \times 10^{-6}$) je u taveného křemene. Při vyšších teplotách se součinitel mění, jinak řečeno, změna délky s teplotou není lineární, nýbrž spíše parabolická, lépe definovaná rovnicí

$$\Delta l = l \cdot (\alpha \cdot \Theta + \beta \cdot \Theta^2). \qquad (2)$$

S rovnicí (1) vystačíme ve většině případů, v hodinářství se však setkáme s případem, kde právě kvadratické členy rovnice (2) jsou rozhodující. Roztahování teplem je nám málokdy k užitku (teploměry), obyčejně poměry komplikuje; tu je třeba sáhnout k různým methodám kompensačním, nerozhodneme-li se ovšem pro řešení nejradikálnější — thermostat. Dlužno podotknout, že tepelná dilatace činí starosti nejen při konstrukci měřicích přístrojů, nýbrž i v praxi, při všech přesných měřeních a při přesné výrobě.

Změnou teploty se však mění též *modul pružnosti* (v tahu i kroucení). To má význam u pružinových přístrojů měřicích a zejména v hodinářství (viz stať o pružinách). U měřicích přístrojů elektrických se uplatňuje konečně (a zase většinou nepříjemně) změna vodivosti a magnetické indukce s teplotou (viz Trnka: Elektrické měřicí přístroje).

Samovolné změny délkové se často snažíme zamezit nebo aspoň omezit tím, že součásti podrobujeme různým procesům tepelným, po případě i jiným vlivům fysikálním („umělé stárnutí"), po nichž teprve následuje definitivní opracování na přesnou míru. Umělým stárnutím („stabilisováním") často zmírňujeme také jiné nežádoucí dlouhodobé změny a nepravidelné chování materiálu, na příklad nepravidelnou roztažnost invaru při změnách teploty,

hysteresní jevy u pružin, nepravidelnou změnu vodivosti u odporových teploměrů. Stářím se všechny podobné nepravidelnosti obecně mírní, materiál se uklidňuje. Není proto divu, že se vysokou stálostí vyznačují nerosty, které byly vytvořeny před miliony lety. Avšak i křemenná tyčka v křemenných hodinách stárne, to ovšem jsou samovolné změny frekvence řádu 10^{-7}. Problém samovolných změn materiálu není kvalitativní, nýbrž kvantitativní. Přesně vzato, dokonale neproměnný není žádný materiál.

Celkem lze říci, že neexistuje žádný materiál ideální nebo universální. Volíme materiály podle požadovaného účelu, často se spokojíme řešením kompromisním, nevýhodné vlastnosti materiálu se pak snažíme zneškodnit vhodnou konstrukcí nebo je kompensovat nějakým vlivem opačným. Vydatně využíváme *speciálních vlastností* některých látek, na př. piezoelektrického zjevu, dvojlomu, vysoké tvrdosti. Mnoho konstrukcí v měřicí technice je možných jen zásluhou těchto speciálních látek; pro dnešní vývoj veškeré techniky strojní a elektrotechniky je ostatně charakteristické, že se užívá materiálů vysoce specialisovaných.

Kovy

Mosaz

Klasickým a podnes hojně užívaným materiálem přesné mechaniky je mosaz. Její poměrně vysoká hustota (8,4) ani poměrně malá tvrdost většinou nevadí. Je však takřka ideálně opracovatelná (při tom málo otupuje nástroje), dostatečně pevná, dá se dobře tvářet lisováním, výborně spájet měkkou i tvrdou pájkou, galvanicky pokovovat, za normálních poměrů málo koroduje. Tvrdá mosaz má výborné ložiskové vlastnosti, zejména byla-li ještě utvrzena tepáním. V hodinářství běhají hřídele v mosazi, pokud nejsou uloženy v kamenech; rovněž hodinová ozubená kola jsou vždy mosazná, stejně stoupací kola chronometrů a kyvadlových hodin, po případě málo namáhané pastorky. Nejrůznější drobné součásti a asi polovina šroubků jsou z mosazi.

Mosazi užíváme jak na odlitky (zejména drobné), tak i tvářené ve formě tyčí kulatých i tvarových, trubek, plechů a drátů. Důležitá je tvrdá mosaz tyčová a tvrdé, silné a dokonale rovné plechy (hodinářské). Ve velkovýrobě lze i složitější součásti vyrábět pouhým nařezáváním z vhodně profilovaných tlačených tyčí. Měkčí druhy se hodí výborně pro lisování a pro hluboké tažení. Pro nemagnetičnost se hodí pro pouzdra busol a kompasů; zde ovšem mohou vadit docela malé stopy železa, ba i nepatrné stopy vzniklé otěrem řezných nástrojů. Mosaz lze chemicky černit a barvit.

Železná litina

Hojně se jí používá na součásti větších rozměrů (zejména na rámy a na součásti větších strojů a aparatur), ale také — někdy legované chromem a niklem — pro součásti nejvyšší přesnosti (ozubená kola kruhových dělicích strojů). Má výborné ložiskové vlastnosti (vlivem volného grafitu), proto se z ní vesměs dělají lože a vedení strojů obráběcích, strojů souřadnicových i strojů nejpřesnějších (dělicích, měřicích). Pro tyto účely se litina často různě leguje a

volbou materiálu lze dosáhnouti toho, že se opotřebí hlavně součásti, u kterých to méně vadí (příklad: lože soustruhu má zůstat rovné, opotřebení suportu mnoho nevadí). Litinu lze dobře opracovat břitem, broušením a lapováním. Poněvadž odlitky mají značná vnitřní pnutí, obrábíme je až po sestárnutí přirozeném nebo umělém, eventuálně po ohrubování se litina podrobí stárnutí po druhé. Rozměry odlitků kolísají od drobných součástí k velikým odlitkům pro velké měřicí stroje a k ohromným odlitkům pro hvězdářské dalekohledy. Litina je též vhodný materiál pro lapovací desky.

Lehké slitiny

V jemné mechanice užíváme hliníkových slitin hlavně pro odlitky, u nichž se žádá malá váha: optické a jiné přístroje, které se drží v ruce, ale také vahadla vah a j. Méně se užívá plechů a trubek. Slitiny hořčíkové se nehodí pro přesné součásti pro nedostatek rozměrové stálosti; stejně je nevhodný dural. Odolnost proti korosi nebývá nejlepší, je nutné chránit součásti lakem nebo elektrolytickou oxydací („eloxováním"). Potíž bývá s malými šroubky, neboť závit v hliníku mnoho nevydrží.

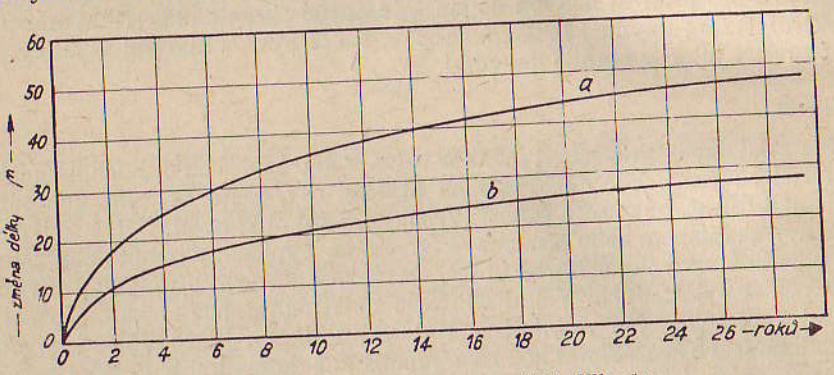
Ocel

Materiál nepostradatelný, jehož se užívá v nejrůznějších druzích na nejrůznější součásti, hlavně ovšem na hřídele, osy, pastorky, tam, kde potřebujeme tvrdost, pevnost a tuhost (vysoký modul pružnosti). Užívá se jí často ve stavu zakaleném nebo povrchově tvrzeném. Typickým materiálem (zejména v hodinářství) je „stříbrná" ocel, ve tvaru kulatých, přesných a rovných tyčí pěkně vyleštěných. Velmi dobře se soustruží a snadno kalí. Složení je nestejného, někdy jen velmi čistý materiál uhlíkatý, jindy mírně legovaný. V hodinářství bývá vesměs kalená a popouštěná do modra, tedy tak tvrdá, že se právě může ještě soustružit tvrdým nožem; v tomto stavu se již dá výborně leštit (tímto leštěním se v hodinářství přímo plýtvá). Stříbrná ocel je výborný materiál pro drobné, zejména hodinářské nástroje. Jiný hojně užívaný druh, sice méně kvalitní, zato obzvláště dobře opracovatelný, je *ocel automatová;* užívá se jí na hromadně vyráběné součástky, též v laciném hodinářství (budíky a pod.); obrobitelnosti je dosaženo vysokým procentem síry, která pak často rychle ničí hodinářské (živočišné) mazací oleje. Pro měřicí techniku jsou důležité různé druhy, vyznačující se rozměrovou stálostí (měrky, kalibry), *oceli pružinové* a t. zv. ferronikly.

Ferronikly

Jsou výsledkem klasických, systematických a léta trvajících prací Guillaumeových. Označení není přesné, neboť původní slitiny Ni-Fe se dnes často legují různými přísadami, jiné jsou přímo ternární slitiny Ni-Fe-Cr. Všechny se vyznačují ne právě dobrou opracovatelností a většinou vyžadují umělého stárnutí, které nestačí vždy, aby se tyto molekulárně málo stabilních slitiny uklidnily. Nejdůležitější jsou tyto slitiny:

Invar — slitina železa s 36% niklu má nejmenší tepelnou roztažnost ze všech kovů. Je pěkně stříbrolesklý a nekoroduje. Koeficient roztažnosti (a také jeho příští rozmary) záleží na malých přísadách a nečistotách, ale také na způsobu tepelného a mechanického zpracování. Angličani užívají tří druhů s koeficientem roztažnosti 1; 1,6, 2,5 $\times 10^{-6}$, Švýcaři dvou druhů, 0,8 a $1{,}6 \times 10^{-6}$. Invaru (zkráceno z „invariable") bylo hned užito (jak zamýšlel Guillaume) na měřicí pásma a dráty v geodesii a ovšem také na kyvadlové tyče. Záhy se ukázaly nepříjemné vlastnosti invaru: nestabilnost, jevící se nepravidelnými změnami délky s teplotou a pak i pomalé, léta se táhnoucí změny délky. To vše zvláště jasně ukázaly — jakožto kumulující chyby — přesné astronomické hodiny. O invaru dnes máme celou literaturu — věc je pochopitelně důležitá pro metrologii a pro astronomii. Nepomohly úplně různé složité a dlouho trvající procesy umělého stárnutí, s nimiž začal Riefler pro kyvadla a kterých se užívá také pro běžná měřidla v geodesii. Malou ukázkou je



Obr. 4. Délkové změny invarových měřítek délky 1m

Křivka a: přirozené stárnutí při teplotě + 6 ÷ + 20° C.
Křivka b: nejprve podrobeno umělému stárnutí po 150 hod. při teplotě 10° C, pak uloženo při laboratorní teplotě.

obr. 4, více je v knížce Nussberger: Metronomie délek. Ve strojnictví, kde se invaru rovněž leckdy užije (na př. vložky v neklepajících automobilních pístech), ovšem tyto nepravidelnosti invaru nevadí. Novější druhy (vždy trochu legované dalšími přísadami, na př. chromu) slibují chování pravidelnější. Dlužno dodat, že rozmary invaru jsou nejzávažnější v geodesii (přesná měření základen), méně u hodin, u nichž teplotní podmínky jsou stálejší a které dnes ostatně dáváme do thermostatů.

Pro výrobu přesných hodinek a chronometrů je důležitá slitina s *42% niklu*, která má sice roztažnost dost velkou, dává však s mosazí bimetalický věnec, který kompensuje teplotní chybu mnohem lépe než stará kombinace mosazi s uhlíkovou ocelí (Guillameova setrvačka); je to výsledek šťastné kombinace kvadratických členů rovnice (2).

Pro velkovýrobu hodinek jsou důležité ternární slitiny Guillauneovy, na příklad 50,8% Fe + 39,2% Ni + 10,0% Cr, zvané *elinvar* (zkratka „élasticité

invariable"), jejichž modul pružnosti je skoro nezávislý na teplotě. Miliony hodinek ročně jsou opatřeny elinvarovým stříbrolesklým vláskem. Teplotní chyba je malá a přijatelná pro praktickou potřebu dokonale. Jen u hodinek nejpřesnějších a u chronometrů se ukazují nedostatky elinvaru: jistá nestabilnost a poměrně veliké molekulární tření (útlum, vlásek spotřebuje citelně více práce než ocelový), což vedlo výrobce přesných časoměrů k tomu, aby se vrátili k starému ocelovému (modrému) vlásku, ovšem s Guillaumeovou setrvačkou. Pro jiné měřicí přístroje vyhovují elinvarové pružiny celkem dobře a hojně se jich užívá. Lepší než elinvar jsou slitiny podobného složení, ale s malou přísadou *beryllia* („Nivarox"), dnes již hojně užívané pro kvalitní hodinky.

V průmyslu žárovek a elektronek jsou velmi důležité ferronikly a ternární slitiny Fe-Ni-Co (Fernico, Kovar a j.), které mají roztažnost *skla* a lze jich proto užívat na přívody proudu, zatavené do skla místo drahé platiny. Tato technika je dnes velmi pokročilá a Roentgenovy lampy nebo krátkovlné elektronky lze takřka libovolně sestavovat svářením (po sklářsku „stavením") kusů skla a kovu. Zajímavá je i skleněná isolace přívodných nožek v kovových elektronkách; je třeba uvážit, že zde jde o spoje, které musí snést nejvyšší vakuum! Existuje stupnice slitin (některé jsou také bez niklu) s koeficienty roztažnosti od $3{,}5 \times 10^{-6}$ do 9×10^{-6} pro všechny druhy skel od pyrexu až k obyčejnému sklu.

Konečně jsou ferronikly různého složení, které se vyznačují speciálními vlastnostmi magnetickými a elektrickými a tím jsou užitečné pro konstrukci elektrických měřicích přístrojů (permalloy, permax, thermoperm a j.). Pro nejpřesnější technická měřítka (pro souřadnicové a měřicí stroje) se užívá vysokoprocentní niklové oceli, která nekoroduje, dá se dobře vyleštit a má koeficient roztažnosti $11{,}5 \times 10^{-6}$.

Vstřikové slitiny

Jsou to rozmanité slitiny typu Al-Cu-Si, častěji slitiny zinku. Jsou dostatečně pevné a někdy poměrně značně tvrdé. Celkem vyhovují pro méně náročné součásti, jako jsou rámy polárních planimetrů, drobné součásti leteckých měřicích přístrojů neb automobilových tachometrů a pod. Výroba se podstatně zjednodušší, poněvadž odpadne téměř všechno obrábění, lze dosáhnout přesných rozměrů a povrchu hned schopného lakování. Vstřikové lití se však vyplácí jen pro veliké serie (asi od 1000 kusů), poněvadž potřebné přesné ocelové formy jsou velmi pracné. Do odlitku lze zalít vložky z jiných materiálů.

Bronz

Málo užívaný (na odlitky), poněvadž nedává žádné zvláštní výhody proti mosazi a při tom se hůře obrábí. Důležitější je bronz fosforový, z něhož se dělají pružiny kontaktní a měřicí, tenké závěsné pásky pro galvanometry, tlakoměrné krabice a j.

Niklová mosaz (pakfong, argentan, nové stříbro).

Slitina proměnlivého složení (10—30% Ni), proti mosazi hůře slévatelná a opracovatelná, dražší, ale jinak dobrých vlastností a chemicky odolnější než mosaz. Proto dosti hojně užívaná na rysovadla, planimetry a ruční šrouby, tedy na věci přicházející do styku s rukou, ale také na kontaktní pružiny, na tlakoměrné membrány a krabice, pro méně náročné stupnice. Má pěkný vzhled, součásti se proto nelakují.

Rtuť

Kov výjimečný tím, že za normální teploty je tekutý. Užívá se ho k nesčetným účelům v měřicí technice a elektrotechnice; lze říci, že moderní technika není bez rtuti myslitelná. Rtuť sama málo oxyduje, zato ochotně rozpouští řadu jiných kovů; nabývá tím nežádoucích vlastností (lepí se na sklo) a nemá ovšem svou normální specifickou váhu. Kovů snadno oxydujících ji zbavíme oxydací buď tím, že ji necháme jako jemný déšť padat vysokou vrstvou zředěné kyseliny dusičné nebo delším prohánění vzduchu. Vzácné kovy je však třeba odstranit destilací ve vakuu. Mechanické nečistoty odstraníme průtokem dírkami napíchanými v papírovém kornoutku nebo filtrujeme (ev. tlakem) čistou jelenicí. Vody a vzduchu se rtuť zbaví ohřátím na 120—150° C. Rtuť je nebezpečný jed; nejen její sloučeniny, ale i páry, vyvinující se i za normální teploty, působí vleklou otravu (proto se dnes již nedělají zrcadla s cínovým amalganem). Je upotřebitelná jako kapalina pro barometry a pro různé tlakoměry, do teploměrů skleněných i kovových (dálkových), pro vzduchotěsné závěry, do thermostatových regulátorů, voluminometrů a do jiných fysikálních přístrojů, pro kompensování kyvadel, rtuťové horizonty, Karlíkovy tachografy, k tlumení synchronních motorků, k nadlehčování otočných částí (velké dalekohledy, majáky); ve vakuové technice jako náplň výměv; v elektrotechnice do rtuťových usměrňovačů a pro rtuťové kontakty (pro nás mají význam skleněné spinače, t. zv. „prasátka"), do nejrůznějších výbojek, pro elektrody Heyrovského polarografů a pod.

Nikl

Důležitý pro slitiny; čistý na kontakty, pro stavbu elektronek, do odporových teploměrů. Hojně se ho užívá ke galvanickému niklování; dnes užíváme často u přístrojů kombinace černého laku a niklování lesklého a matného (matné niklování bubínků mikrometrů). Niklovaná jsou závaží pro analytické váhy, často i přesná kyvadla.

Stříbro

Výborný materiál pro jemnější kontakty (též speciální slitiny stříbra) a jako vložka, na kterou se ryje dělení. Levnější hodinové stroje se často postříbřují galvanicky, v optice se postříbřují zrcadla a některé hranoly redukcí stříbra cukrem nebo Seignetteovou solí z ammoniakálního roztoku. Ze všech

kovů stříbro odráží nejdokonaleji viditelné paprsky. Lze dosáhnout i postříbřených ploch poloprůhledných pro některé účely optické a na skleněných skřínkách elektrometrů. To se dnes provádí lépe a přesněji kondensací stříbrných par ve vysokém vakuu, nebo katodickým rozprašováním v nízkém tlaku. Na tvrdé spájení, zejména mosazi, jsou výborné pájky obsahující různé množství stříbra; jsou pevné a dobře zatékají.

Zlato

Je užitečné tam, kde potřebujeme velkou specifickou hmotu a chemickou odolnost: kompensační šroubky na setrvačkách přesných hodinek a jiné drobné součásti hodinářské. Stroje lepších hodinek i velkých hodin se galvanicky pozlacují. Nevýhodou je malá odolnost proti otěru, proto závaží a pod. raději niklujeme. Dobrý materiál pro jemné kontakty; čtrnáctikarátové zlato (58%) je dobrý materiál pro závěsné pásky galvanometrů a jemné pružiny („zlaté pérko" chronometrů). Prastarou methodou zlatotepeckou lze získat folie (pozlátko) i jen 0,1 mikronu tlusté (lístky elektrometrů, přívody proudu u nejjemnějších zrcadlových galvanometrů).

Platina

Přes vysokou cenu se jí hojně užívá v malých množstvích na kontakty, malá závaží analytická, na různé elektrody v elektrolyse a j. Má roztažnost obvyklých měkkých skel a před zavedením ferroniklů to byl jediný materiál pro zatavené přívody proudu. Užívá se velmi tenkých drátků (0,5—2 mikrony) Wollastonových, které se vyrobí tak, že se z tlustostěnné stříbrné trubičky obsahující platinové jádro (poměry asi jako u tužky) postupně vytáhne tenký drátek a pak se stříbro rozpustí kyselinou dusičnou. Je dobrý pro nejjemnější torsní závěsy, dnes je ovšem často nahrazován vláknem křemenným. Rozválcováním Wollastonových drátků na plocho lze získat tenké pásky, které mají ještě mnohem menší direkční moment. Tvrdé slitiny s iridiem se užívá na prototypy délkové a váhové, slitina s rhodiem dává s čistou platinou thermočlánek, jehož se hojně užívá v laboratoři i v průmyslu. K jemnému měření teplot se užívá platinových odporových teploměrů, pro malé laboratorní pece platinových vinutí.

Wolfram (dříve též tungsten)

Těžký a ze všech nejpevnější (v tahu až 400 kg/mm²) a nejvýše tající (asi 3 500° C) kov. Nepostradatelný pro výrobu vláken do žárovek a elektronek, na Roentgenovy trubice a vůbec pro vakuovou techniku. Výborný materiál na měřicí pružiny (modul v tahu asi 30 000 kg/mm²) s velmi malým dopružováním; gravimetr Carnegie Institution má relativní chybu v mezích 1/200 000, měří-li se podle vyzkoušeného plánu časového, jen 1×10^{-6}. Karbid wolframu, slinutý (sintrovaný) s přísadou nějakého kovu, tvoří t. zv. tvrdé kovy (Widia, Diadur), důležité pro rychlé obrábění, ale také vhodné pro dotykové plochy kvalitních měřidel. Wolfram lze zatavit ve formě folie do vhodných druhů skel, jde-li o přívod proudu. Wolframan vápenatý je vhodný jako fluorescenční stínítko pro Roentgenovo záření.

Molybden

Rovněž těžko tavitelný kov, důležitý ve vakuové technice (elektrody v různých elektronkách); též ve formě slitiny Ni-Fe-Mo. Vhodný na topné odpory v elektrických pecích. Přísada do konstrukčních ocelí (chrommolybdenová ocel).

Chrom

Důležitá přísada legovaných ocelí. V průmyslu se hojně chromuje místo obvyklého niklování. Tvrdým chromováním lze výborně opravit opotřebená měřidla. Je-li práce provedena, jsou tato měřidla aspoň rovnocenná původním.

Berylliové slitiny

Beryllium je kov spojující malou měrnou hmotu (1,7 g/cm^3) s vysokou pevností a s vysokým modulem pružnosti (asi 30.000 kg/mm^2). Dosud je velmi drahý, dražší stříbra, ale i v malých přísadách propůjčuje jiným kovům výborné vlastnosti, a proto má nepochybně velkou budoucnost. Berylliový nikl, berylliová měď a již zmíněný „Nivarox" jsou znamenité materiály, které se vyznačují malým creepem a malým dopružováním; hnací pružiny v hodinách, vyrobené z některého z těchto materiálů, praskají nesrovnatelně řidčeji než „péra" ocelová a s časem méně ochabují. Pro hodiny byla doporučena kombinace: čep z berylliového niklu, ložiska z berylliové mědi.

Jiné kovy

Příležitostně užíváme i jiných kovů: *tantalu* na různé elektrody; *olova* (ev. tvrdého s přísadou antimonu) na kyvadlové čočky a jako výplň závaží, spolu s *cínem* do měkké pájky. *Mědi* se užívá samozřejmě pro všechna elektrická vedení, jako konstrukčního materiálu zřídka (špatně opracovatelná, „maže se"), na příklad na stěny thermostatů pro křemenné oscilátory a pouzdra vzduchotěsně uzavřených hodin. Málo vhodný je čistý *zinek*, který by se pro snadnou slévatelnost a opracovatelnost dobře hodil pro experimentální improvisace, má však značný creep, což se velmi zřetelně ukázalo na zinkových kompensacích kyvadel. Málo se užívá i čistého *hliníku*, na příklad ve stavbě leteckých měřicích přístrojů, na desky otočných kondensátorů a na kotouče pro Ferrarisovy motorky a pro tlumení (elektroměry). Zrcadla, která mají dobře odrážet krátkovlnné (ultrafialové) paprsky, na př. hvězdářské reflektory (užívané dnes skoro výhradně k fotografii oblohy), dnes se již nestříbří, nýbrž opatřují se vrstvičkou hliníku, vzniklou ve vysokém vakuu kondensací hliníkových par (hliník se odpaří ve wolframových spirálách nebo na foliích, zahřátých el. proudem).

Ve stavbě elektrických měřicích strojů se užívá četných *speciálních slitin* různého složení a různých odporových a magnetických vlastností; bližší v knihách:

Trnka: Elektrické měřicí přístroje,
Jareš: Metalografie neželezných kovů,
Korecký—Pospíšil: Vzácné kovy v technice.

Zajímavé je užití jedné z odporových slitin — manganinu — k měření vysokých tlaků v kapalinách (tisíců atmosfér), neboť odpor vzrůstá o 0,2—0,25 procent na každých 1000 kg/cm^2; měření je snadné (můstkem), nesnadné je zato utěsnit přívody proudu.

Materiály nekovové

Umělé látky

Počet umělých látek jde dnes do set, jsou předmětem rozsáhlého a specialisovaného oboru chemie a jejich výroba představuje již silný průmysl. Jsou dvojího druhu: hmoty *thermoplastické*, které ohřátím měknou a ochlazením opět tvrdnou (zjev je tedy vratný) a hmoty *polymerisující (tvrditelné, thermosety)*, u nichž se vlivem zvýšené teploty tvoří veliké prostorové molekuly, ale chemické složení se při tom nemění a hmoty nabývají natrvalo nových vlastností (zjev je tedy nevratný). Chemické složení umělých hmot je velmi různé. Jejich význam je jednak v tom, že nahrazují hmoty přírodní, jednak — a snad hlavně — v tom, že mají namnoze vlastnosti od přírodních hmot odlišné a nové a rozšiřují tedy naše technické možnosti. Není tedy div, že umělých hmot užíváme i v jemné mechanice.

Celuloid

Vyrábí se z nitrocelulosy a z kafru rozpouštěním, vysušením a pak válcováním. Hmota je za normální teploty dosti měkká a (nedokonale) pružná, teplem měkne, při 70° C je tvárlivá, při vyšších teplotách se rozkládá; je hořlavá a nebezpečná snadnou zápalností (při hoření vydává jedovaté plyny, ve větším množství a v omezeném prostoru je dokonce výbušná), je však výborně opracovatelná.

Celuloid je tvarově málo stálý: po výrobě se smršťuje a deformuje vypařováním zbytků rozpustidel, později pomalým vypařováním kafru (při tom křehne). Pro nás je zajímavý jako podklad fotografických filmů, bíle zbarvený je pěkným materiálem na stupnice méně přesné (bubínky planimetrů, nalepený na dřevo pro počítací pravítka a měřítka). Z celuloidu jsou nerozbitná skla na hodinkách a na dílenských měřicích přístrojích.

Galalit

Galalit — umělá rohovina — vzniká pomalým působením slabého roztoku formaldehydu na kasein. Je silně hygroskopický a tedy rozměrově málo stálý. Silně otupuje nástroje. Bíle zbarveného galalitu lze někdy užít jako náhražky celuloidu na stupnice, jinak je vhodný na různé rukojeti a pod., pokud ovšem nedáme přednost umělým plastickým hmotám.

Kaučuk přirozený

Užitečný jako materiál na trubky a hadice, na různá těsnění, pružná uložení přístrojů, na výrobu klínových řemínků. Je velmi pružný (snese až šestinásobné protažení), ale má velikou elastickou hysteresi. Pro vakuovou techniku ne-

bývá dostatečně těsný. Dnes je často nahrazován kaučukem (gumou) umělým, který je odolnější proti mnohým chemickým činidlům (na př. benzinu, oleji).

Ebonit

Je to kaučuk vulkanisovaný s velkým přídavkem síry. Je to černá hmota, křehká, hořlavá, dobře se leští, ale rychle otupuje řezné nástroje, je dobrým isolátorem. Tvarově je málo stálý, účinkem světla se mění — vylučuje se kyselina sírová a povrch se pomalu stává vodivým. Dříve se ho často užívalo ve stavbě elektrických měřicích přístrojů a na isolace všech druhů, dnes je nahrazován stálejšími umělými pryskyřicemi. Dá se lisovat za tepla; jeví značný creep.

Bakelit

Působením formaldehydu na fenol (nebo kresol) vzniká umělá hmota, nazvaná po svém vynálezci H. L. Baekelandovi. Bakelit polymerisuje při teplotách nad 150° C a stává se nerozpustným a netavitelným; je tedy „thermoset". Nehoří, nýbrž pouze uhelnatí nad 250° C. Je netečný k mnohým chemikáliím a je dobrým elektrickým isolátorem. Bakelitu se používá samotného jako lepidla a laku (impregnace vinutí elektr. strojů a přístrojů), většinou jako pojidla: práškový bakelit se smíchá s moučkou dřevěnou, minerální, po příp. s nějakým pigmentem. Z této směsi se ve vytápěných kovových formách lisují nejrůznější součásti pro všechny možné potřeby průmyslu i denního života; výlisky jsou přesné, lze lisovat i útlé a tenkostěnné součásti, závity a drobné nadpisy, finiš je pak tak dobrý, jak dobrý je finiš lisovací formy. Výhodné je, že lze zaformovat též různé vložky z mosazi nebo z jiného kovu. Takto lze zhotovit i celé složité části různých aparatur (na příklad celý galvanometr pro regulátor elektrické pece).

Jinak se běžně lisují pouzdra a kryty pro měřicí přístroje (zvláště elektrické), které byly dříve odlévány vstřikem nebo lisovány z plechu. Bakelitu se užívá i jako pojidla jiných hmot: papír impregnovaný bakelitem (tvrzený papír, pertinax), bakelit + textil (texgummoid, micarta). Těchto hmot se užívá jako isolačního materiálu a na ozubená kolečka. Pertinaxu nebo texgumoidu lze leckdy užít jako základních desek pro drobnější aparatury a pro různé improvisace v laboratoři. Rozměrová stálost bakelitu a hmot z něho odvozených je dobrá (jsou jen málo hygroskopické). V poslední době se začíná užívat také fenol-formaldehydových pryskyřic litých, s kterými lze dosáhnout ještě lepších výsledků než s lisovanými.

Plexiglas

Průhledná hmota (derivát kyseliny metakrylové), thermoplastická, tvrdší celuloidu a stejně dobře opracovatelná (rovněž neotupuje řezné nástroje), dobře leštitelná a za tepla formovatelná. Dá se snadno lepit (chloroformem, spec. lepidlem, kanadským balsámem), opticky brousit a leštit. Střídavá namáhání a vibrace snadno způsobí nesčetné, většinou povrchové trhlinky. Dodává se v tabulích od 0,5 do 12 mm i více. Jeho fysikální vlastnosti jsou tyto:

měrná váha	1,18	g/cm³
Brinellova tvrdost 5(250)3	17,8	kg/mm²
modul pružnosti E	280	kg/mm²
pevnost v ohybu	1 100	kg/cm²
pevnost v tahu při —40° C	680	kg/cm²
+20° C	750	kg/cm²
+70° C	640	kg/cm²
příjem vody při 30° za 24 hod	0,17	%
96 hod	0,41	%
součinitel tepelné roztažnosti	130×10^{-5}	
světelná propustnost	99 — 90	%
index lomu	1,49	

Plexiglasu se užívá často místo skla (na př. pro letadlové kabiny — je lehčí skla); ohřát v horkém vzduchu (podle tloušťky na 90—125°) dá se tvářet lisováním ve formě, foukáním jako sklo nebo v rotaci odstředivou silou. Lze z něho vylisovat a vybrousit čočky, které stačí na příklad na bezpečnostní brýle, ale jsou ovšem méně odolné proti poškrábání než brýle ze skla. Plexiglas je daleko průhlednější než sklo; ohnutou tyčkou lze vésti světlo jako potrubím a osvětlit těžko přístupná místa (na př. v zubním lékařství). Nevýhodou je malá odolnost chemická.

Dřevo

Dřevo je materiál lehký, snadno zpracovatelný, v poměru k měrné váze velmi pevný, dá se (tvrdší druhy) dobře leštit a snadno spojovat kližením. Naproti tomu se snadno štípe a následkem hygroskopičnosti je tvarově málo stálé; tuto závadu neodstraní úplně ani nátěr, ani impregnace fermeží nebo parafinem. Ze dřeva se hotoví pouzdra měřicích přístrojů (ve velkých seriích se ovšem pouzdra lisují z plechu nebo z umělých hmot), skříňky pro úschovu a ochranu přístrojů, dřevěné stativy přístrojů fotografických a geodetických, kyvadlové tyče pro lepší hodiny („pendlovky"). Pro snadnou zpracovatelnost se dřevo hodí pro různé laboratorní improvisace, s jistým rozmyslem ho lze leckdy použít i pro sestavu měřicích (zejména provisorních, dočasných) aparatur. Staré námořnické sextanty byly hotoveny ze vzácných dřev, dělení bylo vyryto na vložce ze slonoviny. Vhodné jsou tvrdší druhy, pro skříňky zvláště ořech a mahagon; velmi příhodným materiálem (ušetří mnoho práce) je letecká překližka (3—5 vrstviček dřeva slepených bakelitem) a jí podobné tlustší, bakelitem do značné míry již impregnované desky, zvané tvrzené dřevo.

Nerosty

Příležitostně se užívá měkkých kamenů (vápenců) pro jejich stálost, na příklad na cívky etalonů indukce, jako základních desek; lze užít také břidlice. Islandského vápence (dvojlomného) se užívá v optice. Důležitější jsou tvrdší kameny:

Křemeny

Křemenité nerosty jako achát, chalcedon (zvláště červený karneol) jsou materiál na pánve lepších vah (u vah analytických obyčejně i na břity), lo-

žiska kompasů a busol, na kotvové zuby přesných kyvadlových hodin. Granát se bere na levnější ložiska hodinek a na ložiska elektroměrů. Zajímavý je čistý krystalický křemen, křišťál, tvořící velké, dobře vyvinuté krystaly. Kusy určitým způsobem z krystalu vyříznuté význačně jeví piezoelektrický zjev, kterého dnes užíváme k různým účelům: na vysokofrekvenční resonátory, k přesné regulaci frekvence vysílacích stanic, k nejpřesnějšímu měření času, k buzení ultrazvuku, k měření rychle se měnících sil, k měření otřesů, na piezoelektrické mikrofony. Bližší v knížce: Petržílka—Slavík, Piezoelektřina a její použití v technické praxi. Křišťálu se užívá též v optice, zejména na čočky pro fotografování ultrafialovými paprsky (které optická skla téměř nepropouštějí). Velmi zajímavým materiálem je tavený křemen (o něm viz dále).

Korundy

Čistý korund, červený rubín a modrý až bezbarvý safír jsou nejlepším materiálem na ložiska a součásti kroku hodinek a chronometrů, na ložiska různých měřicích přístrojů (zejména elektrických), na dotykové plošky jemných délkových měřidel. Vrtá se, soustruží se, brousí se a leští se diamantem, což je známé již od XVII. století. Za nejlepší se považuje bezbarvý safír, obecenstvo však chce mít hodinky s červenými rubíny. Dnes se užívá nejvíce kamenů umělých, vyráběných methodou Verneuilovou tavením práškového kysličníku hlinitého; nepatrnými přísadami kysličníků různých kovů lze dosáhnout libovolné barvy. Tyto umělé kameny jsou považovány technicky za lepší, neboť jsou rovnoměrnější než přirozené. Zajímavé je, že umělé korundy obsahují často spousty mikroskopických bublinek, které však nevadí, neboť se při leštění „zatáhnou". Bližší údaje o výrobě a užití ve spise J. Kašpar, Syntetické korundy. V technice a v optice je korund (též umělý) důležitým brusným materiálem.

Diamant

Čistý krystalický uhlík má ze všech hmot největší tvrdost a nejvyšší index lomu. Veliká lámavost se uplatňuje v klenotnictví (výbrusy brillantové), vysoká tvrdost činí z diamantu materiál v technice nepostradatelný. Předně je vhodný jako nástroj pro mnohé účely, od velkých černých (brasilských „carbonados") diamantů k vrtání v tvrdých horninách přes diamantové nože na nejpřesnější soustružení až k diamantovému prášku na lapování nástrojů a na broušení a hlazení jiných tvrdých kamenů. Sám se dá brousit jen vlastním práškem (velmi pomalu) a při tom se zároveň dosahuje již lesku. Z diamantu se hotoví průvlaky k tažení jemných wolframových drátků do žárovek; vrtá se pomalým vybrušováním ocelovou jehlou, na niž se nanáší diamantový prášek s olejem, podobně provlečeným drátkem se vývrt vyhladí a „olivuje". Z diamantu jsou hroty některých strojků k stanovení tvrdosti kovů: kužel (Rockwell) nebo pyramida (Vickers). Setrvačka chronometrů spočívá na diamantu. Nejjemnější dělení a difrakční mřížky se ryjí diamantem. Sklenář řeže tabulové sklo tak, že poruší diamantem povrchovou vrstvu skla. V optické výrobě se desky z optického skla rychle přeřezávají železným kotoučem,

na jehož obvodě je do záseků zatemována diamantová drť; zde se uplatňuje — stejně jako u soustružení — trvanlivost řezných hran diamantových úlomků.

Jiné nerosty

V optice se užívá *kazivce* (fluoritu) na čočky silných objektivů mikroskopických, *turmalínu* pro polarisaci (je také silně piezoelektrický), někdy též čistých krystalů *kuchyňské soli*. *Mastek*, zejména vyžíhaný (steatit), je vysoce ohnivzdorným materiálem, jehož se užívá v technice i v laboratoři.

Hmoty keramické

V technice a v laboratorní praxi se užívá různých ohnivzdorných hmot, na příklad *šamotu*, *steatitu*, *karborunda*, *taveného křemene*, různých druhů porcelánu (z něhož se dělají také ochranné kryty thermočlánků).

Sklo

Z nesčetných druhů skla užitkového a ozdobného jsou pro naše účely důležité zvláště tyto druhy: měkká i tvrdá skla optická a skla speciální.

a) *Skla měkká i tvrdá* (t. j. měknoucí při nízké i vyšší teplotě) k zpracování na *sklářském kahanu* (plyn a vzduch, ev. kyslík), foukáním, ohýbáním, vytahováním, svářením; tak hotoví foukač skla skleněné části různých fysikálních a měřicích přístrojů (na př. barometrů, tlakoměrů), přístroje a nářadí pro chemické laboratoře. Ve velkovýrobě se vyfukují (většinou strojně) baňky pro žárovky, elektronky a rozmanité výbojky. Výchozím polotovarem jsou většinou trubky různých průměrů; ze silnostěnných trubek, které mají malou světlost („lumen") čili kapilár, hotoví se teploměry.

b) *Skla optická*. Původně jen tvrdá skla korunová (crown) a měkká těžká skla olovnatá (flint), která umožnila první achromatické čočky. Dnes je celá řada skel s různými indexy lomu a s různě velikou dispersí (šíří spektra), různého složení, některá i bez kysličníku křemičitého. Tato skla dala optikům nové možnosti a umožnila dnešní dokonalé fotografické objektivy a silné objektivy mikroskopové. Hotoví se z nich broušením a leštěním — ve velkovýrobě třebas i z kusů již předlisovaných — hranoly a čočky všech tvarů a průměrů (od 2 mm pro mikroskopy do 1 metru pro hvězdářské dalekohledy), planparalelní desky a zrcadla.

c) *Skla speciální* pro zvláštní potřebu, na příklad skla, která propouštějí ultrafialové paprsky, a naopak skla, která je dokonale pohlcují; skla pohlcující dlouhovlnné (infračervené) paprsky; skla různě zbarvená (barevné filtry pro fotografii a pro jiné účely), skla se speciální odolností chemickou (chemické nářadí, ampulky na injekce), skla na teploměry. Důležitá jsou skla s určitými koeficienty tepelné roztažnosti: borosilikátové sklo („pyrex") má roztažnost jen 4×10^{-6}, používá se ho ve vakuové technice a pro zatavené přívody proudu. Bylo z něho též odlito obrovské zrcadlo pro dalekohled na

Mt. Palomaru. Určitou roztažnost potřebujeme tehdy, má-li se svařit sklo s kovem (viz ferronikly).

Důležitá kapitola jsou zatavené přívody proudu, *průchody*. Pro skla „obyčejná", měkká se dříve užívalo platiny. Dnes užíváme speciálních slitin s podobnou roztažností: Ferroniklů, ferrochromů a slitin ternárních i složitějších. Některých užíváme holých, jiných (ferroniklů) ve formě povlakových drátů s vrstvou mědi. Jde o to, aby se kov se sklem spojil; to předpokládá, že kysličníky průchodového materiálu mají být ve skle rozpustné.

Ve vakuové technice jsou dnes běžná skla *tvrdá*, u nichž bývá $\alpha = 4 \div 5 \cdot 10^{-6}$. Zde se na průchody berou materiály typu Fe-Ni-Co, nebo slitiny ještě složitější, jichž roztažnost odpovídá použitým sklům. Jinak je možné nebo nutné (na př. pro křemeninu) užít skel *přechodových:* Průchod se obalí několika vrstvami skla, jehož roztažnost postupně klesá ve stupních $0{,}5 - 1{,}0 \cdot 10^{-6}$.

Zvláštní a fysikálně zajímavý druh průchodů jsou *folie*, pásky asi 15—20 μ tlusté a několik milimetrů široké, které se za tepla zamačknou do skla (ve vakuu nebo ve vodíkové atmosféře); na konce folie se navaří přívodné dráty. Pro měkké sklo lze užít folie měděné, pro tvrdé sklo a zvláště pro tavený křemen folií z wolframu, molybdenu i tantalu. Zde veliké rozdíly v roztažnosti nevadí a folie i při značném proudovém zatížení těsní velmi spolehlivě. Hotoví se tak zvláště vysokotlaké rtuťové výbojky z křemeniny.

Někdy je sklo vhodné i jako materiál *konstrukční* (základní desky analytických vah), často jako *isolant* u přístrojů elektrických, v nové době se hojně bere jako materiál na stupnice. Výhodou skla je jeho dokonale přesná opracovatelnost broušením. Naproti tomu stálost tvarová není vždy vyhovující, neboť sklo se v podstatě chová jako nesmírně viskosní kapalina (skleněná tyčinka položená na dvě podpěry se za několik měsíců plasticky prohne) a u velikých čoček může po letech dojít až k optickému znehodnocení těmito deformacemi. Sklo se dá vyfouknout do velmi tenké stěny (krycí sklíčka pro mikroskopii tloušťky kolem 0,17 mm) a vytáhnout v jemná vlákna, která dávají výbornou tepelnou isolaci a dají se dokonce spřádat (sklem opředené dráty pro elektromotory). Chemicky je značně odolné, dá se však snadno leptat kyselinou fluorovodíkovou (matné sklo, nadpisy, dělení).

Tavený křemen (křemenina)

Materiál pozoruhodný po mnoha stránkách. Má tepelnou roztažnost ze všech látek nejmenší, kolem normální teploty $0{,}4 \times 10^{-6}$. Hodí se tedy na tyče přesných kyvadel, jako srovnávací tyčka dilatometrů, do teplotních regulátorů pecí, všude tam, kde potřebujeme malou roztažnost. Při změnách teploty se chová pravidelněji než invar, byl-li stabilisován žíháním. Protože má vysokou teplotu měknutí a poněvadž propouští ultrafialové paprsky, hodí se pro rtuťové a jiné výbojky. Další jeho vlastností je tvarová stálost, creep je řádově stokrát menší než u kovů. Koncové měrky ani rovinné desky neukázaly po letech žádné změny. Křemen se dá snadno vytáhnout v nejjemnější vlákna (1—2 mikrony), která překvapují obrovskou pevností. Podle ruských měření

⌀			
1 μ	dal pevnost	800 kg/mm²,	absolutní pevnost 0,6 g
2		510	1,6
3		410	2,7
5		210	4,3
10		130	10
20		100	30
50		45	94
90		32	200

Zcela čistá vlákna, vyžíhaná ve vakuu, mohou mít pevnost až dvojnásobnou; největší zjištěná pevnost byla řádu 1800 kg/mm². Naproti tomu každé znečištění a každý dotyk (jen pouhé zaprášení) pevnost značně snižují; pevnost klesá též stářím vlákna. To jsou pevnosti zjištěné při krátkodobých zkouškách; při trvalém zatížení je pevnost taveného křemene — právě tak jako skla — mnohem menší (řádově poloviční). Dodáme-li, že všechna uvedená měření mají velký rozptyl, vidíme, že pevnost křemene je fysikální otázka, jejíž objasnění by jistě podstatně zvětšilo naše znalosti o fysikálním podkladu pevnosti materiálu. Modul pružnosti závisí rovněž na tloušťce vlákna: tak při tloušťce 2 mikrony byl zjištěn modul v tahu 10900 kg/mm², v kroucení 6750 kg/mm², kdežto u vláken 60 mikronů byly moduly 5030 a 2980 kg/mm². Vlákna lze silně namáhat, neboť mez pružnosti je totožná s mezí pevnosti; vlákno 5 mikronů lze zkroutit o úhel 20×360^0 na každý centimetr délky. Dopružování je nepatrné, daleko menší než u kovů. Molekulární tření (útlum) je řádově tisíckrát menší než u kovů; setrvačka o době kyvu 2 sek, zavěšená na křemenném vlákně ve vakuu, ztrácí za 24 hod. jen 20% energie. Křemenné vlákno je proto ideálním materiálem pro torsní závěsy nejsubtilnějších měřicích přístrojů, jemných galvanometrů, gravimetrů a torsních vážek. Také místo břitů lze užít křemenných vláken u nejjemnějších mikrovah, jejichž vahadlo lze zhotovit z tlustších (asi 0,3 mm) vláken.

Ve fysikální laboratoři má tavený křemen dále význam tím, že dobře propouští ultrafialové paprsky (skoro jako křišťál) a že je znamenitý, ne-li vůbec nejlepší isolant. Dá se opticky brousit na hranoly a čočky. Zpracovatelnost — v plameni třaskavého plynu — je horší než u skla, výrobky nejsou tak hladké a pěkné, nicméně lze hotovit i rtuťové teploměry pro teploty 600° C. Podle čistoty suroviny (nejlepší je brasilský křišťál) je křemenina dobře průhledná až mléčně zakalená s hedvábným povrchem (chemické nářadí, kyvadlové tyče).

Podle nové terminologie lze tavený křemen nazývat *křemeninou*, kdežto *křemenné sklo* je tavený křemen, který obsahuje malé přísady kysličníků (na př. B_2O_3); tyto přísady usnadňují tavení, ovšem zvětšují tepelnou roztažnost.

Různé materiály

Isolanty

Kromě ebonitu, hmot vázaných bakelitem a taveného křemene jest výborný jantar (fosilní pryskyřice, dává i výborný lak) a síra, výborně isoluje i parafin a ceresin, dobře isoluje sklo a porcelán, mikarta a pertinax; k improvisacím leckdy vyhoví dřevo napuštěné za horka parafinem.

Mazadla

Kromě olejů obvyklých ve strojnictví užíváme pro jemné přístroje a hlavně v hodinářství olejů *živočišných* (u nás z paznehtů, v Americe z ryb nebo kytovců), které mají výbornou mazavost („olejovitost"), nejsou však chemicky valně stálé ani tehdy, obsahují-li přísadu nějakého antioxydačního prostředku a dokonce barviva (na ochranu před účinky světla). Minerální oleje, daleko méně mazavé, ale stálé, mají nepříjemnou vlastnost rozlézat se do okolí až do vysušení ložiska; proti tomu často pomáhá podle Woogova způsobu neviditelná vrstvička („epilamen") stearové kyseliny, které často užívají švýcarské hodinářské továrny. Pro velké specifické tlaky a pro pomalý pohyb lze užít mazadel tuhých, minerálních i živočišných. Celkem lze říci, že otázka mazání není — zejména u hodinek — dosud uspokojivě rozřešena; stav mazadla má velký vliv na chod chronometrů a hodinky je třeba každé tři roky demontovat, vyčistit a namazat (malé náramkové i každý rok). Pro vakuovou techniku jsou důležitá tuhá mazadla k těsnění zábrusů a kohoutů, od nichž se žádá malé napětí par (na př. vaselina + surový kaučuk).

Šelak

Výpotek samiček některých červců, pokrývající vrstvou větve mnohých druhů keřů a stromů, jež rostou v horkých krajinách. Je to látka pryskyřičné povahy, v praktickém upotřebení thermoplastická, ale při vyšší teplotě pěnící ztrátou vody a částečně polymerisující. Šelak je rozpustný v lihu, roztok je truhlářskou politurou a dobrým isolačním lakem, hustým roztokem šelaku se ucpávají netěsnosti ve vakuové technice. Pevnost v tahu a smyku je řádu 2,5 kg/mm^2, je-li šelak čistý; přísada kalafuny (obvyklá) pevnost snižuje. Z toho důvodu a také proto, že dobře lpí na kovu i na kameni, je vhodný k zalepování drobných skleněných a kamenných součástek do kovu; na příklad v hodinkách jsou rubínové zuby kotvy vždy zašelakovány. Neocenitelný je též při soustružení k nalepení předmětů tak útlých, že žádné jiné upnutí nesnesou; po práci se šelak odstraní horkým lihem. Šelak je součástí mnohých tmelů.

Laky a nátěry

Vždy se lakují — stříkáním nebo namáčením — součásti lité nebo hrubě opracované plochy, a to *laky* různého složení, nejčastěji černými; zvláště dobře drží laky sušené při vyšší teplotě, pro menší přístroje jsou oblíbené laky, které při schnutí krystalují. Čistě opracované plochy, po nichž se nic nepohybuje, lakujeme laky bezbarvými nebo slabě přibarvenými; starší laky mechanické obsahovaly přirozené pryskyřice (sandarak a j.), dnes často užíváme laků *zaponových*, méně tvrdých i trvanlivých, které však lze snáze natírat (na př. roztok celuloidu ve směsi acetonu a amylacetátu). Součásti ocelové často vůbec nelakujeme a chráníme je event. naolejováním nebo zředěným bezvodým lanolinem. V optice černíme vnitřek přístrojů černými laky matnými. Na číselníky hodin a jiných přístrojů bereme někdy nátěry svítící. Pro elektrické přístroje se užívá ohebných laků *isolačních*. Nejodolnější povrch dávají *emaily* (nízko tající skloviny).

Tmely a lepidla

Kromě šelaku je velké množství tmelů různého složení. Návody stále opakované v literatuře nebývají spolehlivé; mnohé výborné recepty zůstávají továrním tajemstvím. Tmely jsou buď thermoplastické (šelak, pečetní vosk, speciální tmely pro vakuum), nebo tuhnou chemickými procesy nebo polymerisací, jsou tedy nevratné, irreversibilní; na příklad tmel glycerinový (glycerin + klejt), Sorelův cement, sádra, cement, tmel zinkový (ZnO + $ZnCl_2$), různé tmely fermežové a s vodním sklem a mnohé jiné.

Od tmelu se zásadně neliší lepidlo. Užíváme opět mnoho druhů lepidel: klihu, kaseinu, roztoku kaučuku, všelijakých lepicích laků. Synthetická chemie vytvořila lepidla polymerisující vyšší teplotou, jimiž lze slepit i látky tak nesourodé jako kov a sklo. Důkazem pevnosti a spolehlivosti je, že těmito lepidly dnes bez obav lepíme kovová letadla místo nýtování. Tato technika je ve vývoji a průmysl se snaží o podobná lepidla polymerisující za studena. Opatrnosti vyžaduje příprava ploch před lepením; nestejná roztažnost tepelná může spolehlivost lepení ohrozit. Čočky slepujeme *kanadským balsánem*, což je terpentýn z některých jehličnatých stromů.

Kromě dosud uvedených materiálů se setkáme v měřicí technice příležitostně ještě s jinými materiály pro speciální účely. S některými se setkáme v dalších kapitolách.

2. KONSTRUKČNÍ PRVKY

Zde nebudeme opakovat to, co bylo vyloženo v knihách o *součástech strojů* a co je obsaženo v Technickém průvodci. Je jasné — vždyť jemná mechanika je odvětvím strojnictví —, že těchto strojnických prvků vydatně používáme, zejména u měřicích strojů větších rozměrů, přihlížejíce při tom více ke kvalitě a přesnosti, méně k nízké výrobní ceně. Avšak jemná mechanika a ještě více hodinářská technika si vytvořily vlastní konstrukční styl a své konstrukční prvky a o těch bude dále pojednáno.

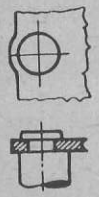
Spojovací methody

V přesné mechanice jsou působící síly obyčejně malé, ne-li zanedbatelné, proto často vystačíme se spojením, které by neobstálo ve strojnictví. Často jde spíše o to, aby se spojení neuvolnilo malými silami střídavými nebo otřesy, nebo je důležitá tvarová stálost spojovaného celku. Jako ve strojnictví i zde rozeznáváme spoje rozebratelné a nerozebratelné.

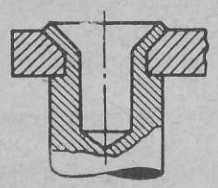
Nýtování

Obvyklého strojnického nýtování se užívá málo, hlavně proto, že snadno vede k deformaci přesných součástí; nýt za studena roznýtovaný je ve vývrtu

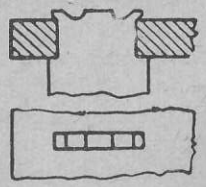
napěchován a snaží se vývrt roztáhnout. I když zrovna nedojde k drastické deformaci podle obr. 5, zůstanou v součásti napětí, která stačí vyvolat citelné, eventuálně i nestálé deformace. S nýtováním podle obr. 5 se setkáme například v hrubém hodinářství. Často saháme k mírnějším, i když méně pevným způsobům, k nýtování *trubkovému* a *částečnému*. Při způsobu prvním (obr. 6) se okraj rozežene nástrojem kuželovým, po případě, jde-li o větší pevnost nýtování v kroucení, nástrojem ve tvaru 4—6-boké pyramidy. U nekulaté součásti provedeme rozehnání podle obr. 7 dvěma záseky sekáčem nebo rozeženeme plochým nástrojem rýhovaným. Použijeme-li obyčejných nýtů, je lépe vzít malé a z měkčího materiálu (vyhřáté), hlavu pak vytvořit jen plochou podle obr. 8 plochým (a vyleštěným) nástrojem (takto se nýtuje obyčejně v letectví); nebo se užije nýtování zapuštěného, lehce se nýtuje a nýt se zarovná do plochy.



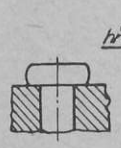
Obr. 5.



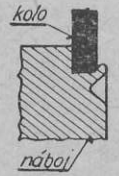
Obr. 6.



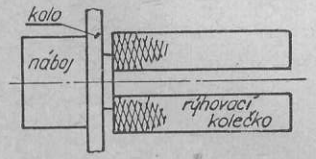
Obr. 7.



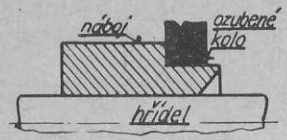
Obr. 8. *Obr. 9.*



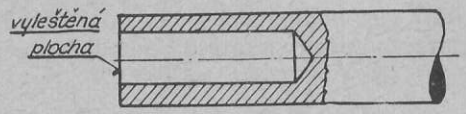
Obr. 10.



Obr. 11.



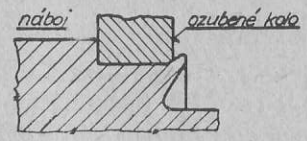
Obr. 12.



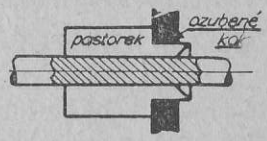
Obr. 13.

Způsoby podle obr. 9, 10 a 11 jsou obvyklé u laciných výrobků jako například u budíků. Lepší způsob je ten, kde je přesahující náboj „podříznut" podle obr. 12; nýtovacím nástrojem podle obr. 13 se přesahující materiál zmáčkne, a tím se zároveň trochu rozežene ven podle obr. 14. Tohoto způsobu se zvlášť používá v jemném hodinářství, kde se konstruktér snaží nanýtovat ozubená kola pokud lze na pastorky. Ozubení pastorku se osadí a podřízne podle obr. 15, kolečko se mírně na osazení narazí a přesahující zbytky zubů

se lehce zanýtují podle obr. 15 (silnější roznýtování by tvrdý, kalený ocelový pastorek ostatně nesnesl). Spojení drží pevně, protože zbytky zubů (zubní mezery jsou profrézovány až k hřídeli, s nimiž je pastorek v celku) se při narážení trochu zařízne do ozubeného — vždy mosazného kola a při pečlivém provedení kolečko nehází. I provedení podle obr. 12 může být přesné, jestliže mosazný náboj, nalisovaný předem na hřídel, na tomto hřídeli definitivně osoustružíme. Popsaných způsobů se pro malá kolečka užívá všeobecně, v kapesních hodinkách najdeme vždy několik nýtování podle obr. 15.



Obr. 14.

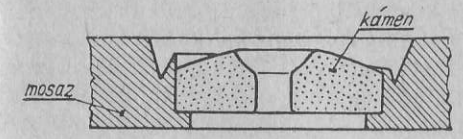


Obr. 15.

Spojení přehybem

Přehyby různého druhu spojujeme často kusy plechové. Pro nás je tento způsob důležitý ve dvou případech. Předně jsou takto upevňovány ložiskové kameny. Kámen sedí v lůžku, kolem jehož okraje se udělá špičatým nožem ostrá rýha, takže vznikne tenký okraj trojúhelníkového profilu (obr. 16a);

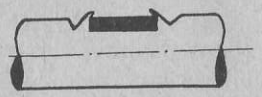
a *b*



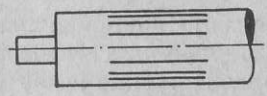
Obr. 16.

Obr. 17.

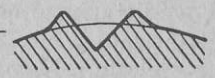
Obr. 18.



Obr. 19.



Obr. 20.



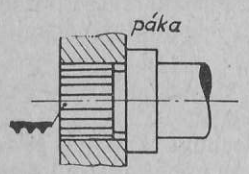
Obr. 21.

tento okraj se nástrojem tvaru tupé jehly přihne na kámen (obr. 16b). Práci lze vykonat dobře na soustruhu, mnohem rychleji — ač méně pěkně — ručními speciálními nástroji; švýcarský průmysl si vytvořil pro tuto práci („sertissage") speciální strojky, které ji provedou ve zlomku minuty. Zcela podobně se upevňují malé čočky v optice podle obr. 17. Přehyb má být méně než o 90°; proto čočka konkávní (obr. 18) dostává při obrušování obvodu malou šikmou facettu. Materiál (obyčejně je to mosaz) nesmí být přimáčknut příliš důkladně, jinak v čočce vzniknou napětí vedoucí k deformacím a tím k zhoršení optické kvality. U čoček větších (řekněme přes 50 mm) se uplatňují v témže nepříznivém smyslu rozdíly tepelné roztažnosti kovu a skla; potom volíme upevnění

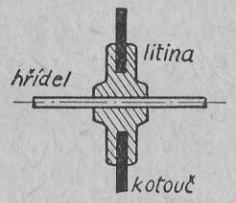
šroubením a pod. Jiný příklad je upevnění kotvy budíku, pohybující paličkou zvonku (obr. 19). Kotva je vyrobena z pouhého proužku ocelového plechu, je vsazena do vyfrézování v hřídeli a upevněna dvěma záseky, jimiž je utěsněna a nadto držena materiálem částečně přehnutým.

Spojení nalisováním, naražením

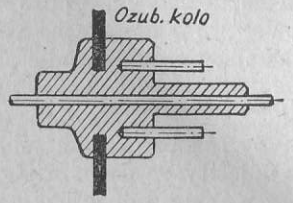
Je to spojení hojně užívané, zejména ovšem v hromadné laciné výrobě. Na příklad náboje ozubených koleček (nebo páček) na obr. 9 a 11 jsou mosazné a jsou nalisovány na ocelový hřídelík. Má-li být spojení spolehlivé, musí být přesně dodrženy průměry hřídele a náboje. To může činit obtíže, je-li hřídel udělán z pouhého drátu; tu se někdy do hřídele nadělají podélné záseky



Obr. 22.



Obr. 23.



Obr. 24.

(obr. 20). Okraje těchto záseků jsou vyvstalé a zamáčknou se při nalisování do náboje; spojení je tedy bezpečné, i když náboj jde na hladkou část hřídele volně. Je to něco podobného jako známé *rýhované kolíky* užívané ve strojnictví a leckdy použitelné i v jemné mechanice. Větší páky, přenášející značný moment a zhotovené z měkčího materiálu, lze spolehlivě spojit na příklad s torsní měřicí pružinou naražením na konec pružiny, do něhož bylo vyfrézováno ostrohranné drážkování (obr. 22).

Spojení zalitím

Vstřikové lití umožňuje spojit dohromady součásti vložené do licí formy. Na obr. 23 je spojen hliníkový kotouč s hřídelem (brzdicí kotouč elektroměru, vyražený z plechu). Na obr. 24 bylo do formy vloženo mosazné ozubené kolečko, kousek ocelového drátu na čípky a šest kratších kousků drátu, tvořících pastorek (americké laciné hodinky). Spojení je pevné, pro podobné účely dostatečně přesné a ve výrobě velmi laciné. Podobně lze vylisovat složitý kus z bakelitového prášku a do něho zalít různé kovové součásti; příkladem je závěsný galvanometr známých regulátorů teploty (pro elektrické pece) fy Leeds & Northrup. Stejně lze zalít vložky při odlévání z různých kovů: háky do závaží, ocelové vložky s matečným závitem do permanentních magnetů z velmi tvrdých slitin typu Al-Ni-Fe atd.

Sváření

Nejdůležitější je bodové sváření elektrické. Je to výhradně užívané spojení drátků a plíšků ve výrobě elektronek, výbojek a pod. Je zde též výhoda, že — poněvadž vznik tepla je čistě lokální — lze svářet tenké plíšky s masivnější

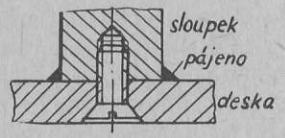
součástí. Jinak je použitelné pro různé součásti lisované z tenčího plechu, pro součásti těžší a přesné se ovšem nehodí. Z hrubších způsobů lze sem tam užít sváření autogenního, lépe elektrického obloukového, na příklad pro rámy aparatur; žádá-li se tvarová stálost, je třeba hotový kus vyžíhat, neboť sváření zanechá po sobě vždy značná pnutí. V některých případech jedinou možností je užít sváření vysokofrekvenčního (baňky kovových elektronek).

Spojení spájením tvrdým a měkkým

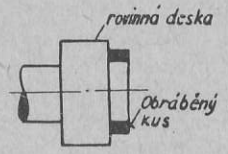
Tvrdého spájení — pájkou mosaznou nebo „stříbrnou" mnoho neužíváme, poněvadž teploty jsou značné (řádu 800° C) a kus je tedy vyžíhán. Jinak je spojení velmi pevné, vnitřních pnutí se pak nemusíme obávat, necháme-li součást po spájení zvolna vychladnout. Jako desoxydačního prostředku užíváme nejčastěji práškového boraxu, který však zanechává vrstvu boraxového skla, někdy dost těžko odstranitelnou; tuto nevýhodu nemá a rovněž dobře desoxyduje kyselina fosforečná. Je nutné tvrdě spájet některé materiály odporové, kterých se měkká pájka nechytá. Nejlepší je pájka stříbrná, houževnatá a velmi lehce tekutá; pracuje se tak, že se obě části, dobře slícované, přitáhnou k sobě drátem, pájka pak ochotně zateče do kapilární mezery. Užívá se však též naopak slitin (na př. speciálních bronzů), které do tekutého stavu přecházejí ponenáhlu; nezatékají tedy jako pravé pájky, dají se však na součást nanášet jako „housenka", zcela tak, jako nanášíme z drátu materiál při sváření autogenním nebo obloukovém. Technikou práce je to tedy sváření, fysikálně však spájení, poněvadž spojení je provedeno materiálem zcela jiného druhu. Teplota je nevelká (900—1000° C), deformace a pnutí proto menší; pevnost a spolehlivost je taková, že se této methody užívá i pro odpovědné součásti letadel. Tvrdé spájení bylo považováno za methodu málo vhodnou pro seriovou výrobu, avšak v poslední době byly sestrojeny vhodné pece a pomůcky, jimiž se práce podstatně zrychlila a zlevnila, a tvrdého spájení se dnes hojně užívá v různých oborech výroby. Spájet na tvrdo lze většinu kovů a slitin. Často spájíme ocel s mosazí nebo pakfongem (rýsovací péra „Diamon"); ocelovou část můžeme při tom zakalit. Součásti ohřejeme sirkou, dmuchavkou, kahanem plynovým nebo lihovým, benzinovou lampou, kovářskou výhní — podle jejich velikosti.

Pro jemnou mechaniku je důležitější *spájení měkké*. Obyčejně užíváme slitiny cínu a olova v poměru 1 : 1, tedy skoro eutektické, s bodem tání 185° C. Potíž je s desoxydačními prostředky: jsou-li účinné, mají také silný účinek korosivní a naopak. Neškodná je kalafuna, ale vystačíme s ní jen pro spájení mědi, nejvýše mosazi, plocha musí být dokonale čistá. Snad nejúčinnější je stará „letovací vodička" klempířů (roztok chloridu zinečnatého); vyhoví i pro spájení oceli, plochy není třeba tak úzkostlivě čistit, zato její korosivní účinky jsou nejsilnější. O mnoho mírnější nejsou spájecí tuky obsahující chlorid amonný (salmiak), stejně jako „Tinol" a jiné podobné spájecí pasty v praxi jinak velmi pohodlné, které kromě salmiaku obsahují též práškovanou pájku. Jestliže jsme užili těchto prostředků, musíme součásti pečlivě očistit a omýt v alkalickém roztoku (soda, čpavek). Bezpečný postup je ten, že součásti nej-

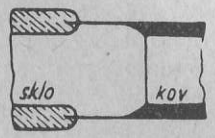
prve „pocínujeme" (na př. Tinolem), přebytečnou pájku setřeme kartáčem, potom součásti k sobě přiložíme, event. svážeme drátem nebo jinak upevníme a spájíme již jen pouhou pájkou. Málo hmotné součásti (dráty, plechy) spájíme měděným pájedlem („kulmou"), dnes ohřívaným plynem nebo elektricky, při montáži venku benzinem. Hmotnější kusy a tam, kde jsou spájeny veliké plochy, vyžadují ohřevu plamenem jako spájení na tvrdo. Na měkko lze opět spájet většinu materiálů. Měkké pájení má pevnost nevelkou — řádu 3 kg/mm —, ale postačuje pro většinu našich účelů. Je-li správně provedeno, je spolehlivé a skoro neviditelné, nelze je tedy považovat za „fušeřinu". V elektrotechnice, pokud nejsou svářena, všechna nerozebratelná elektrická spojení, spájíme cínem (radioaparáty a pod.). Poněvadž teplota je nízká, součásti se nevyhřejí a s trochou opatrnosti lze spájet kalenou ocel. Neocenitelné je toto spojení zhotovují-li se složité části, které by se jinak daly vyrobit jen odlitím. Na příklad tělesa (tubusy) záměrných dalekohledů, mikroskopů a jiných optických přístrojů lze spájet z kousků mosazných trubek a z různých mosazných točených částí. Pro unikáty, věci pokusné a pro laboratorní improvisace nic lepšího neznáme. Důležitá je i dokonalá těsnost měkkého spájení (tlakoměrné bubínky aneroidů a pod.). Tam, kde pevnost spájení nestačí, lze spojení provést mechanicky (šrouby, přehybem a j.) a pak utěsnit a zajistit zapájením. Tak na obr. 25 (detail měřicího přístroje leteckého) je spojení provedeno nejprve šroubkem a potom je vše „proletováno". Měkkého spájení užijeme často (nestačí-li nalepení šelakem) při soustružení součástí tak útlých, že každé upínací zařízení by je deformovalo; obráběný kus připájíme na rovnou desku, upnutou ve vřeteně soustruhu.



Obr. 25.



Obr. 26.



Obr. 27.

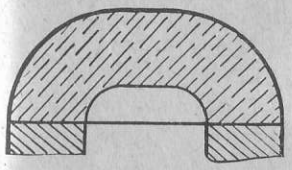
Spájení hliníku není dosud uspokojivě rozřešeno. „Těžká" pájka na hliník obsahuje jen 4—5% Al, ostatek je cín a zinek; taví se poměrně snadno, pevnost je řádu 5 kg/mm², ale spoje propadají rychlé korosi. „Lehká" pájka (asi 70% Al, dále Zn, Cu, Mg, Sn) taje teprve při 540° C, je asi dvakrát pevnější než těžká, sklon ke korosi je menší. Největší potíže činí tvrdá vrstva kysličníku, kterou se hliník a jeho slitiny takřka okamžitě pokrývají. Pokusně byla tato vrstvička odstraněna ultrazvukem a pak bylo možné spájet hliník cínem i jinými pájkami.

Otázky spájení jsou shrnuty v monografii: Espe-Reinbach, Pájky a pájení.

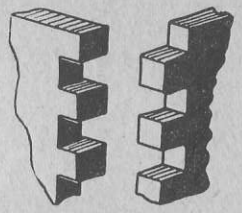
Spojování kovů a skla

Ve stavbě různých přístrojů elektrických je často třeba zatavovat do skla (nebo do taveného křemene) přívody elektrického proudu. Výborně se k tomu

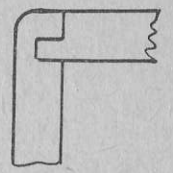
hodí platina, jež má roztažnost stejnou jako obyčejné sklo. Pro drahotu byla platina ve velkovýrobě (žárovky, elektronky) nahrazena zmíněnými ferronikly a jinými slitinami podobných vlastností. Požadavek je, aby slitina měla přibližně stejnou roztažnost jako sklo a aby se její kysličníky ve skle rozpouštěly; jen tak vznikne intimní a hermeticky těsné spojení (jde obyčejně o vzduchoprázdné skleněné baňky!). Dnes je k disposici více slitin s různou roztažností a více speciálních skel tvořících celou stupnici roztažnosti. Nejjednodušší je zatavení platiny do obyčejného skla: drátek se ovine v plameni nitkou speciálního zatavovacího skla, toto ovinutí se staví do souvislého povlaku a pak se zataví do dírky profouknuté ve skleněné stěně. Je-li velký rozdíl roztažností, užije se několika vrstev skla různé roztažnosti. Takto se zatavují přívody do taveného křemene; je třeba přiznat, že se práce někdy nepovede a pak výbojka předčasně vezme za své vniknutím vzduchu.



Obr. 28.



Obr. 29.

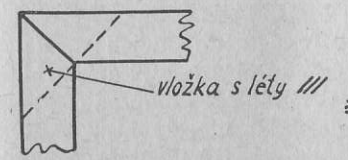


Obr. 30.

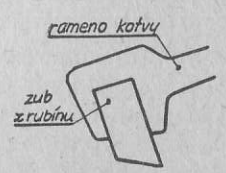
Také větší kovové kusy lze svařit nebo stavit se sklem. Mají-li ovšem oba materiály značně různou roztažnost, sklo obyčejně praskne. Tomu lze zabránit tím, že se okraj kovové součásti vytáhne v ostří a to se zataví do skla (obr. 27); pak lze říci, že sklo jako součást masivní nabude vrchu, poněvadž tenký kovový okraj nemůže působit na sklo nebezpečně velikými silami. Radikálnější a lepší řešení je ovšem užít uvedených speciálních slitin. Pak lze bezpečně a pro nejvyšší vakuum těsně spojit i masivní kusy proporcí jako na obr. 28.

Spojení lepením a tmelením

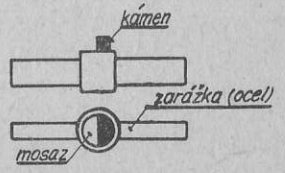
Dřevěné součásti lepíme *klihem truhlářským*, který po důkladném rozmočení ve studené vodě roztavíme nejlépe ve vodní lázni. Pevnost spojení je značná, ovšem vlhkost tuto pevnost snižuje. Dobré klížení vyžaduje jisté



Obr. 31.



Obr. 32.



Obr. 33.

zkušenosti; sevřením obou půlek se vytlačí přebytek klihu a tlak se nesmí zmenšit, dokud klih neuschl. Skříňky se nejlépe spojují cinkováním podle obr. 29. Časté, ale méně solidní je sklížení podle obr. 30. Pouhé sklížení na tupo (obr. 31) je málo pevné; pěkné spojení vznikne nařezáním pravidelných kolmých zářezů, do nichž se vklíží tenké plátky dřeva nebo letecké překližky. Vlhku lépe vzdoruje *klih kaseinový*, v podstatě prastarý recept — tvaroh + + vápno. V letectví opanovaly pole klihy synthetické, jejichž prototypem byl „*Kauxit*" a které vyrábíme také u nás; práce je odlišná potud, že jedna strana se natře kyselým „tužidlem", po uschnutí se natře druhá strana lepidlem a součásti se slisují. Pevnost je značná, odolnost proti vlhkosti velmi dobrá. Tenké vrstvy dřeva se lepí výborně *bakelitem* (letecké překližky).

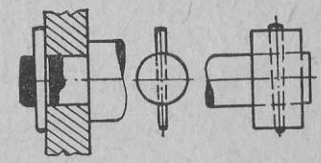
V kapitole o materiálech bylo pojednáno o *novodobých synthetických lepidlech*, jimiž lze lepit kovy, sklo, kov ke sklu a mnoho jiných látek. Potíže činí pracovní postup: je třeba velmi pečlivě očistit plochy, působit velkým tlakem, když lepidlo tuhne, a ovšem je třeba teploty kolem 150° C. Lepidlem „*Redux*" se dnes již slepují v Anglii letadla ve velkých seriích, stejně dobře lze lepit dural s duralem jako dřevo s duralem. Universální je švýcarský „*Araldit*", jímž lze lepit i při mírném lisování. Lze čekat, že tato nová technika se rozšíří do jiných oborů výroby, zejména přinesou-li úspěch pokusy o lepidla polymerisující za studena.

Důležité jsou tmely *thermoplastické*; nesnesou sice vyšší teploty, zato práce s nimi je rychlá a snadná; v laboratorní praxi a ve vakuové technice jsou nepostradatelné. *Šelakem*, jak bylo již řečeno, zalepují se kameny v konstrukci kroků. Na obr. 32 je znázorněn zub kotvy kapesních hodinek. Na obr. 33 je vidět upevnění safíru (polokruhového profilu) v zarážce kroku chronometrového; vývrt v ocelové zarážce je asi 0,7 mm. Zalepení šelakem má tu výhodu, že nahřátím (horkými klíšťkami) lze šelak změkčit a polohu kamene podle potřeby opravit — běžná operace při seřizování (regláži) hodin. Šelakem si můžeme vypomoci v četných případech (podobně i *pečetním voskem*, jehož dobré druhy obsahují šelak), k lepení tenkých závěsných pásků a křemenných vláken, k lepení maličkých magnetů pro magnetické galvanometry a pod. Je ovšem množství tmelů podobných a tmelů vysoce specialisovaných, na příklad pro techniku vakuovou. Tmel tající při vysoké teplotě (450° C), velmi pevný a dobře lnoucí ke kovům a sklům je *chlorid stříbrný*. Jím lze z tlustších křemenných vláken (kol 0,3 mm) slepit vahadélko pro mikrováhy, ke sklu přilepit planparalelní desky z materiálů propouštějících určitý druh záření; sklo je ovšem třeba opatrně chladit, nemá-li součást prasknout, s křemenem lze zacházet bezstarostněji.

Jak již bylo řečeno, je nepřehledné množství tmelů tuhnoucích za studena, *nevratných*, sádrou počínaje a speciálními, tajenými tmely konče. Mnohé z nich mají dobrou pevnost mechanickou, po případě i žádanou odolnost chemickou, žádný však není dokonale těsný pro delší dobu; nestačí trvale utěsnit těkavou kapalinu, tím méně vakuum. Proto se snažíme nahradit tmelení pokud možno zatavením a stavením skla s kovem.

Klíny a kolíky

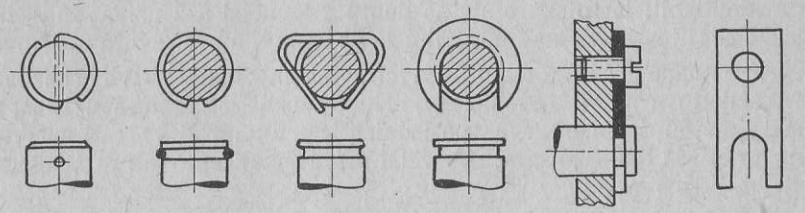
S podélnými klíny se setkáme vzácně; hodí se jen pro tlustší hřídele a nesymetrickým tlakem snadno způsobí malé deformace hřídele a vyosování kola. Zato se častěji setkáme s klínem příčným ve formě kuželového kolíku. Ve starých hodinách — z časů, kdy zhotovení šroubu byla věc nesnadná — rozpěrné sloupky byly upevňovány kuželovým kolíkem podle obr. 34. Dnes najdeme toto spojení v laciných hodinách a budících. Páčky a kolečka se dost často upevňují na hřídel příčným kolíkem, který ani nebývá vždy kuželový (obr. 35). Příčných klínů se dříve hojně užívalo ke spojení kostry na příklad věžních hodin; dnes ho užijeme spíše proto, abychom vyvodili jemný pohyb tam, kde nestačí jemnost šroubu (na př. některé mikrotomy). Důležité jsou kolíky centrovací neboli posiční, jimiž fixujeme vzájemnou polohu dvou součástí (viz dále).



Obr. 34. *Obr. 35.*

Závlačky

Strojnických závlaček se mnoho nepoužívá, spíše (zejména v hodinových strojích) různých kroužků z drátu, jak ukazují příklady na obr. 36, 37, 38. Závlačka podle obr. 36 je z měkkého drátu; kroužek na obr. 38 je z drátu



Obr. 36. *Obr. 37.* *Obr. 38.* *Obr. 39.* *Obr. 40.*

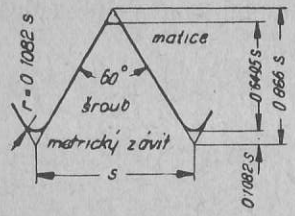
tvrdého (strunového), kdežto kroužek na obr. 37 může být z drátu tvrdého, na hřídel „nacvaknutý", nebo z měkkého, předem ohnutý do U a pak na hřídel kleštěmi přihnutý. Rozříznutý kroužek podle obr. 39 je v dobrém provedení ocelový a kalený, přesně (a stejně drážka v hřídeli) provedený. Často se též setkáme se zástrčkou obr. 40, ocelovou nebo mosaznou, drženou šroubkem.

Pro větší průměry jsou vhodné známé *kroužky Seegerovy*, schopné přenést značné síly axiální, při tom snadno odstranitelné speciálními kleštěmi.

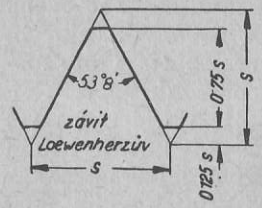
Upevňovací šrouby a matky

Spojování šrouby provádíme v přesné mechanice nejčastěji, často i tehdy, nejde-li nám o spojení rozebratelné. Příčina je v tom, že provedení je snadné a šroub tak snadno nevnese do součásti nevítaná napětí. Pozornému pozoro-

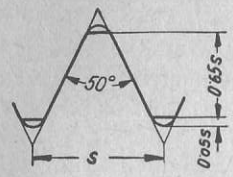
vateli neujde, že často šrouby jsou v poměru k součástem slabší, než jak je obvyklé ve strojnictví; to proto, že v jemné mechanice máme obyčejně co činit se silami docela malými, nejde nám tedy o pevnost, nýbrž o tvarovou stálost a tuhost.



Obr. 41.



Obr. 42.



Obr. 43.

Dnes užíváme skoro výhradně normálního závitu metrického, počínaje průměrem 1 mm (obr. 41). Dříve se běžně užívalo závitu Löwenherzova, který má trochu odlišný profil (obr. 42), ale jinak tutéž řadu průměrů a stoupání až do průměru 6 mm. Užívalo se ještě jiných závitů, dosti rozšířený (u patronových soustruhů) byl závit Hamannův. Pro malé šroubky zavrtané v hliníku je metrický závit trochu jemný, snadno se „strhne". Proto některé německé továrny fotografických přístrojů užívají závitů speciálních, s velkým stoupáním a hloubkou; je to skoro stejně dobré a levnější než užívat mosazných vložek. Příležitostně se hodí metrický závit jemný, u nás rovněž normovaný.

V průměrech pod 1 mm, tak důležitých zejména v hodinářství, je chaos; zdá se, že každá továrna měla své normy, nebylo lze zjistit žádnou souvislost mezi průměry a stoupáním. Teprve v posledních letech navrhli Švýcaři normu pro závity průměrů 0,3—0,9 mm; pro větší průměry akceptovali rozumně závit metrický. Viz obr. 43.

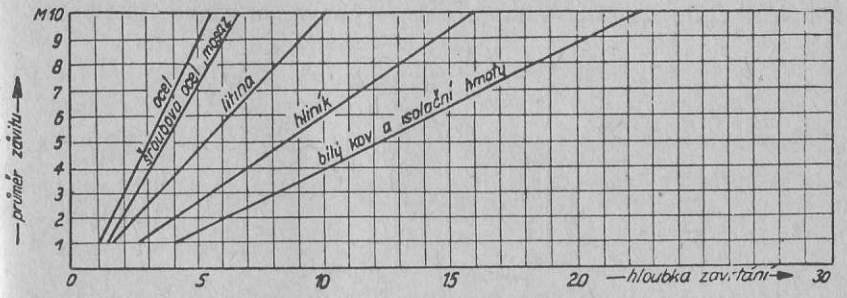
Průměr mm	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	(0,55)	0,6	0,7	0,8	0,9
Stoupání		0,075	0,075	0,100	0,100	0,125	0,125	0,150	0,175	0,200	0,225

Jak je vidět, stoupání se v zásadě rovná čtvrtině průměru jako u závitu M1; tento trochu hrubší závit je na místě z důvodů výrobních, nebezpečí uvolnění podle zkušeností není, třebaže se šroubky nikdy nezajišťují. V měkkých hliníkových slitinách nebo v bakelitu by tyto šroubky ovšem dlouho nedržely.

V jemné mechanice užíváme většinou šroubků zavrtaných; hloubka zavrtání se řídí přirozeně druhem materiálu, v němž je vyříznut matečný závit; vodítkem může být následující graf (obr. 44):

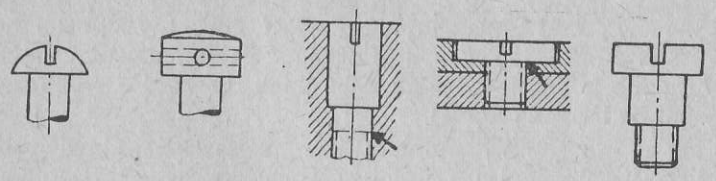
Ve tvarech šroubů je rozmanitost: u velkých šroubů se řídíme zásadami dobré konstrukce strojnické; provedení může být velmi pečlivé (stroj to cenově snese), na př. matky nebo hlavy se kalí — podle správné zásady, že je lépe, omačká-li se raději klíč než šroub. Dobré jsou lisované a tepelně zušlechtěné šrouby podle obr. 45, které se utahují šestihranným trnem. Pro menší šrouby — průměrů většinou do 6 mm — volíme nejčastěji hlavu válcovou

podle obr. 46 nebo 47 s drážkou pro šroubovák nebo, mají-li být zapuštěny, s kuželovou hlavou podle obr. 48 a 49. Hlava půlkulová (obr. 50) není výhodná, neboť drážka je nejmělčí právě tam, kde se okraje šroubováku nejvíce

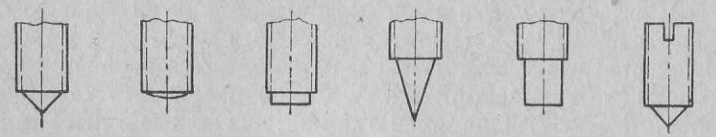


Obr. 44.

Obr. 45. Obr. 46. Obr. 47. Obr. 48. Obr. 49.



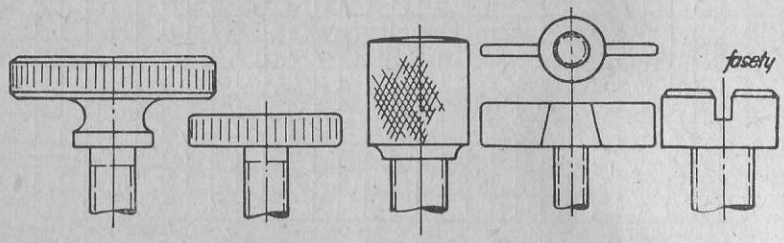
Obr. 50. Obr. 51. Obr. 52. Obr. 53. Obr. 54.



Obr. 55. Obr. 56. Obr. 57. Obr. 58. Obr. 59. Obr. 60.

o stěny drážky opírají. Tam, kam je těžké dostat se šroubovákem, jsou vhodné hlavy křížem provrtané (obr. 51), které se strany utahujeme kolíkem. V hodinářství jsou běžné (zejména v kapesních hodinkách) těsně zapuštěné šroubky s různě dlouhou válcovou hlavou (obr. 52, 53). Zajímavé je, že tyto šroubky, zpravidla kalené a popuštěné do modra, rády praskají v místech označených šipkou. Má-li šroubek sloužit jako čep pro západku nebo páčku neb ozubené kolečko, dostane tvar podle obr. 54. Šroubky se ukončují nejčastěji podle obr. 55, 56, 57. Ve starých chronometrech se najdou šroubky

ukončené podle obr. 58, což není právě účelné, zato účelné je ukončení podle obr. 59 (pokud je na ně místo), poněvadž usnadňuje zavedení šroubku do vývrtu při montáži. Pojistné šroubky jsou někdy bez hlavy (obr. 60), což není právě výhodné, ježto krátký zářez silně trpí šroubováním. Má-li se šroub utahovat rukou, dostane velkou, různě rýhovanou hlavu, podle obr. 61,



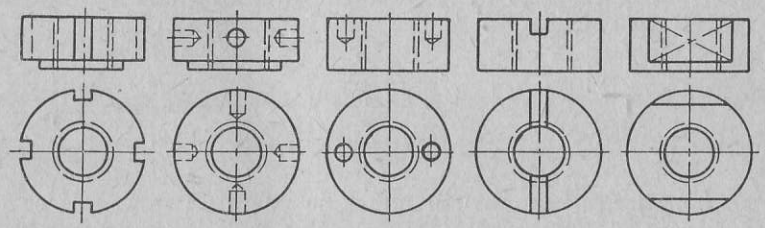
Obr. 61. *Obr. 62.* *Obr. 63.* *Obr. 64.* *Obr. 65.*

jestliže hlava dosedá, nebo jednodušší hlavu podle obr. 62, je-li to šroub zajišťovací; někdy se provede hlava menšího průměru a delší (obr. 63), nebo hlava křídlová (obr. 64) nebo se do hlavy jako na obr. 63 zarazí příčný kolík atd. Tyto hlavy mohou být se šroubem v celku; u větších šroubů bývají na šroub nalisovány, oboustranně zanýtovány, vzácněji naraženy na čtyrhran nebo zapájeny. Spojení musí být přirozeně dost pevné, aby bezpečně sneslo krouticí moment. Je-li hlava zhotovena zvlášť, může být z jiného materiálu; často je šroub z oceli, jeho hlava mosazná, z pakfongu. nebo z umělé hmoty (v tom případě je šroub rýhován nebo jinak profilován; šroub se vloží do formy v níž je lisována hlava).

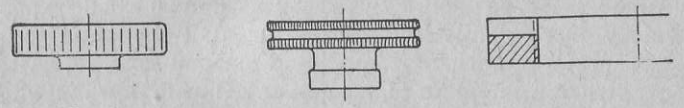
Materiál: na šrouby stačí automatová ocel, nejsou-li požadavky velké, jinak ocel kvalitnější, zejména jsou-li šrouby částečně kalené; ze zvláštních důvodů se volí materiál jiný, na př. mosaz nebo i měď, jde-li o elektrickou vodivost, nerezavějící ocel, je-li obava z korose. Malé šroubky zavrtané se dělají asi stejně často z oceli jako z mosazi, méně často z pakfongu a z jiných slitin. U drobných přístrojů v hodinářství se šroubky kalí a popouštějí do modra; lépe pak odolávají omačkání drážky šroubovákem, zato častěji praskají. Kalené hlavy lze vyleštit na zrcadlový lesk, což se dělalo dříve u drobných přístrojů a dělá se dodnes běžně v hodinářství; rovná plocha válcovité hlavy (obr. 52, 53) je dokonale vyleštěna, někdy pak zbarvena na modro ohřátím, v provedením luxusním se dělá uzounká faseta u hrany hlavy (obr. 65) a podobná faseta u hrany drážky (to dává výhodu, že omačkání drážky šroubovákem není vidět na leštěné ploše hlavy). Kontaktní šroubky u elektrických přístrojů bývají z mosazi, hrot šroubku je opatřen připájenou, nalisovanou nebo zatemovanou vložkou ze stříbrné slitiny, platiny, zlata a pod.

Matky přijdou v úvahu tam, kde nelze užít prostého šroubu zavrtaného: na příklad tam, kde by matečný závit nebyl dostatečně dlouhý nebo by byl v materiálu málo pevném; dále pro některé způsoby rektifikace a ovšem jako

matky přítužné. O materiálu na matky platí, co bylo řečeno o šroubech; jako šrouby jsou i matky někdy poniklovány nebo chromovány. Tvary najdeme velmi různé: kromě matek šestihranných, obvyklých ve strojnictví, užívá se matek naznačených na obr. 66 až 70. Matka podle obr. 66 se utahuje klíčem kvadrantovým, což může vést k omačkání drážek — proto osazení dole, aby

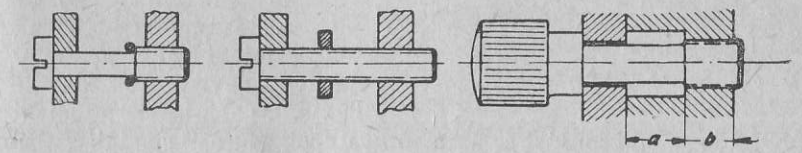


Obr. 66. *Obr. 67.* *Obr. 68.* *Obr. 69.* *Obr. 70.*



Obr. 71. *Obr. 72.* *Obr. 73.*

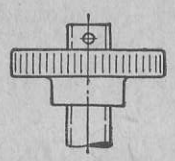
matka pak nerozdírala svůj podklad. Častěji užijeme matky podle obr. 67, jež se rovněž utahuje se strany klíčem podobným kvadrantovému nebo pouhým kolíkem (v tom případě dáme větší průměr, aby vývrty byly dostatečně hluboké). Je-li k matce přístup ve směru osy, lze užít matky s vývrty (obr. 68) nebo se zářezy (obr. 69), které ovšem vyžadují speciálních utahovacích nástrojů. Někdy volíme matky válcové se dvěma vyfrézovanými ploškami (obr. 70). Tenké matky velkého průměru (prstencové) obyčejně dostanou dvě drážky podle obr. 73. Matky, které se utahují rukou, provádíme analogicky jako hlavy šroubů (obr. 71, 72); někdy též jako matky křídlové (dvě nebo čtyři křídla). Jako šroubům dáváme někdy také matkám odchylné tvary podle speciální potřeby.



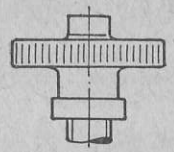
Obr. 74. *Obr. 75.* *Obr. 76.*

Zajišťování šroubů se provádí poměrně zřídka. Šrouby pevně dotažené zpravidla zajištění nepotřebují, jinak užijeme zajištění obvyklých ve strojzictví: pružných kroužků, matek s fibrovou vložkou, matky korunové. Drobné šroubky stačí zajistit lakem, což se dělá běžně u měřicích přístrojů

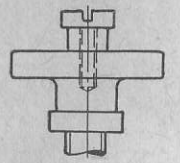
leteckých; pojištění je bezpečné, ale na právě vzhledné, neboť lak je pro snadnou kontrolu obarven na černo nebo na červeno. Důležité je zajištění šroubků, které nejsou dotaženy; o tom bude pojednáno v kapitole o rektifikacích.



Obr. 77.



Obr. 78.

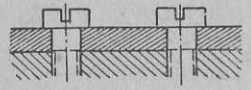


Obr. 79.

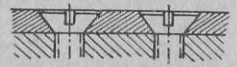
Pojištění proti ztrátě šroubků a matek je na místě tam, kde se počítá s častou demontáží. Větší šrouby lze uvázat na tenký řetízek, jinak se užívá provedení podle obr. 74 s pružným drátěným kroužkem nebo levněji podle obr. 75 s kroužkem z fibru nebo jen z tuhé lepenky. Pěkné je provedení podle obr. 76; dutina *a* (která se udělá v tlustší součásti) musí být delší než rozměr *b*. Rovněž matky bývají zajištěny proti ztracení: nejjednodušeji závlačkou (obr. 77), vzhledněji tím, že závit končí nad matkou (obr. 78, časté u svorek elektrických přístrojů), nejde-li to, lze užít zavrtaného přesahujícího šroubku (obr. 79).

Spojení šrouby

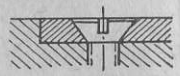
Zde platí zásada: Šroub sám nestačí k tomu, aby pevně a jednoznačně určil polohu přišroubované součásti. Proto připojení podle obr. 80 je přípustné jen tam, kde nejde o přesnost. O mnoho lepší nejsou šrouby s kuželovou zapuštěnou hlavou (obr. 81); kuželová hlava sama dobře centruje, ale dvě hlavy by mohly plně dosedat, jen kdyby přesně odpovídaly rozteče vývrtů a kdyby závity proti hlavám „neházely". Totéž lze říci o spojení podle obr. 82, kde vrchní součást se opírá o výstupek součásti spodní. Vyšším požadavkům nevyhovuje ani šroub s kolíkem (obr. 83), tím méně provedení podle obr. 84, kde ohnutý jazýček horní součásti zasahuje do vývrtu v součásti spodní.



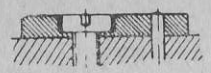
Obr. 80.



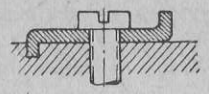
Obr. 81.



Obr. 82.



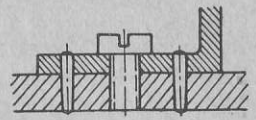
Obr. 83.



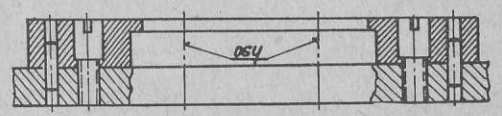
Obr. 84.

Tam, kde se vyžaduje přesné lokalisování přišroubované součásti, je nutno užít aspoň dvou *centrovacích kolíků*. Příkladem je obr. 85, kde je součást držena jedním šroubem, a obr. 86, kde je užito šroubů dvou (ložiskový můstek

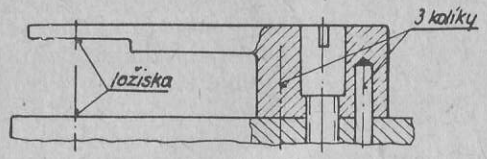
kapesních hodinek). Na obr. 87 je ložisková konsola pro setrvačku hodinek, u níž se užívá jednoho šroubku, ale obyčejně tří kolíků. S jedním kolíkem vystačíme pro spojení na obr. 82, nebo tehdy, je-li součást zapuštěna do kruhové prohlubně (obr. 88), a tu stačí jediný kolík, aby se zamezilo otáčení. Kolíky se dělají ocelové i mosazné, válcovité i kuželové. Kuželové kolíky jsou vhodnější



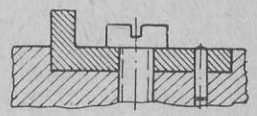
Obr. 85.



Obr. 86.

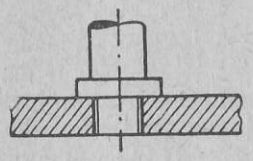


Obr. 87.

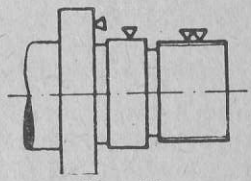


Obr. 88.

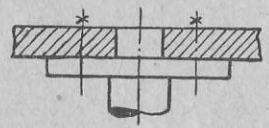
pro neseriové provedení: polohu součástí si najdeme zkusmo, šrouby utáhneme, potom vyvrtáme dirky pro kolíky, rozšíříme je kuželovým výstružníkem, kolíky zarazíme do horní součásti a vývrty v dolní součásti rozšíříme tak, aby konce kolíků právě bez násilí vnikaly; lze tak poměrně snadno dosáhnout vysoké přesnosti (provedení podle obr. 85 až 88).



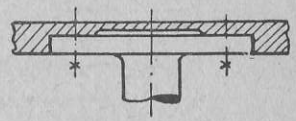
Obr. 89.



Obr. 90.



Obr. 91.

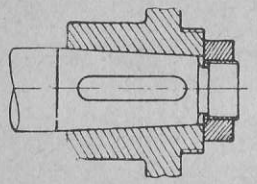


Obr. 92.

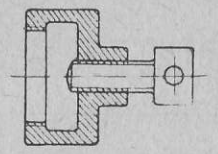
Upevňuje-li se součást (na př. silnější čep) pouhým sešroubováním, vyhoví provedení podle obr. 89 jen pro spojení, které se již nebude demontovat. Jinak je lépe řídit se příkladem každého soustruhu, kde hlava vřetena je upravena podle obr. 90. Centrování upevněné součásti obstarává rovinná a válcová plocha (označeny trojúhelníčky), závit obstarává jen přitažení součásti (na př. upínací desky). Velmi často užíváme upevnění *přírubou (flanší)* (obr. 91, 92); příruba obstará centrování, součást je pak držena nejméně třemi šrouby (na obrázku jsou šrouby označeny schematicky osou a křížkem, jak se často dělá pro úsporu práce a proto aby se výkres nepřeplňoval). Přesnost spojení

zde záleží jedině na zalícování příruby na obr. 92 nebo krátkého čepu na obr. 91. Působí-li ve spojení krouticí moment, zachytíme jej jedním nebo více kolíky.

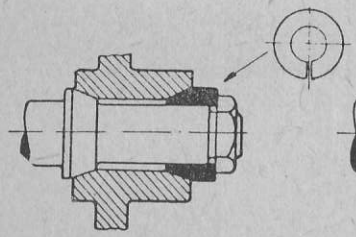
Výborně centruje a pevně drží spojení *kuželové* (obr. 93). S obvyklou kuželovitostí 1 : 10, a je-li pevně utaženo, je toto spojení s to, aby přenášelo veliké a střídavé momenty; kužel se však rád „zakousne" a vyžaduje potom k uvolnění veliké síly, proto je dobře na součásti udělat závit, na který pak lze našroubovat stahovák podle obr. 94. Spojení centruje výborně proto, že kuželové plochy lze přesně obrobit a po příp. ještě zlepšit jemným zabroušením (u kuželových kohoutů dosahujeme zábrusem vysoké těsnosti!). Péro kreslené na obr. 93 není v zásadě nutné, leda chceme-li součást mít v určité poloze. Stejně dobře centrují krátké strmé kužele. Na obr. 95 se opírá šrafovaná součást o kuželovou plochu na hřídeli, jsouc dotlačována druhým kuželem, na hřídeli těsně posuvným s rozříznutým, na který tlačí matka. Na obr. 96 (upevnění bubínku mikrometru) je součást na rovinnou plochu hřídele tlačena kuželovým a rozříznutým kroužkem, na který tlačí zavrtaný šroubek s podložkou. Poloha součásti je tedy určena plochou nákružku, ale centrování obstarává kuželový kroužek.



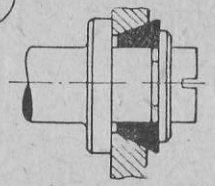
Obr. 93.



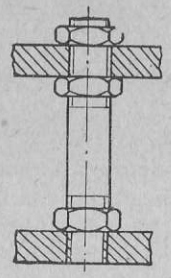
Obr. 94.



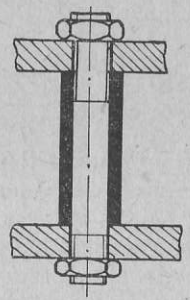
Obr. 95.



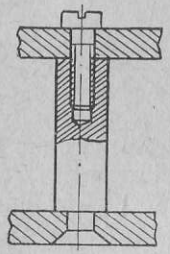
Obr. 96.



Obr. 97.



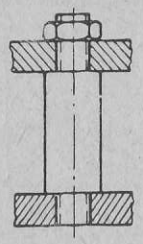
Obr. 98.



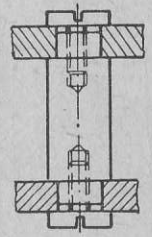
Obr. 99.

Často se vyskytnou *rozpěrné (distanční) sloupky*, jimiž jsou navzájem spojeny dvě desky, v nichž jsou na příklad uloženy hřídele nějakého hodinového stroje. Žádá se zde, aby byla zajištěna vzájemná poloha obou desek, čili aby

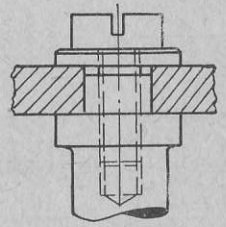
osy oněch hřídelů stály kolmo k deskám. Tomu nevyhovuje valně hrubé provedení na obr. 97, o něco přesnější je způsob znázorněný na obr. 98. V budíku, obyčejně najdeme provedení podle obr. 99 se sloupkem zanýtovaným nebo (obr. 100) zavrtaným (matka je někdy pětihraná!). Solidní a běžně užívané



Obr. 100.



Obr. 101.

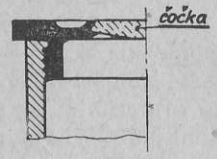


Obr. 102.

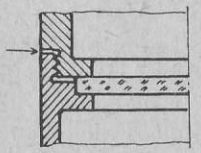
spojení je na obr. 101, ještě přesnější a elegantní je způsob na obr. 102. Ve starých strojích najdeme sloupky všelijak ozdobně soustružené, dokonce i čtyrhranné, ovšem často s příčnými kolíky (obr. 34) místo šroubků.

Závitová spojení (šroubení)

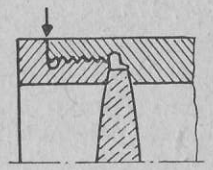
Často spojujeme součásti i větších rozměrů přímo závitem poměrně velkého průměru; toho druhu je většina montáží čoček v optických přístrojích. Jsou to vesměs závity jemné; mechanické patronové soustruhy mají normálně



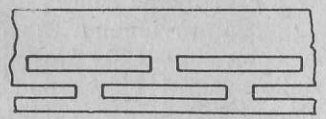
Obr. 103.



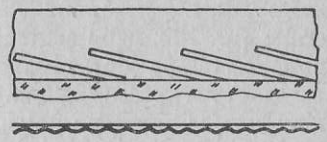
Obr. 104.



Obr. 105.



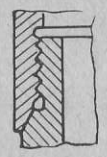
Obr. 106.



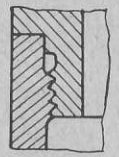
Obr. 107. Obr. 108.

patrony a závitovou hvězdu pro stoupání 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 mm, s nimiž se vystačí skoro pro všechny případy. Přechodem k tomuto způsobu spojení je závitové spojení na obr. 89. Čočky menších průměrů se zasazují do objímky nejčastěji přehnutím materiálu (obr. 103), objímka je pak upevněna závitem. Takové objímky mají většinou okraje rýhované, aby mohly být utahovány rukou, nanejvýše ještě dva zářezy (jako na obr. 73) pro klíč (kus

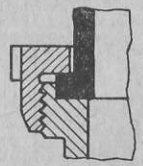
plechu). Na obr. 104 je dvoudílná trubka pro stupnicový okulár; obě části dosedají na plošce označené šipkou a přibroušením této plošky lze dosáhnout, aby skleněná stupnice byla utěsněna, ale ne stlačena. Větší čočky upevňujeme závitovými kroužky (obr. 105). Zde je jistá obtíž: dotáhneme-li kroužek na plochu označenou šipkou, může být čočka příliš volná, tlačí-li kroužek na



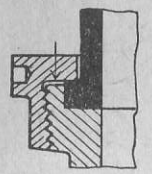
Obr. 109.



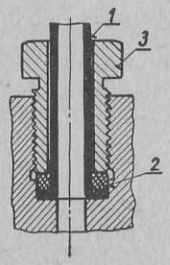
Obr. 110.



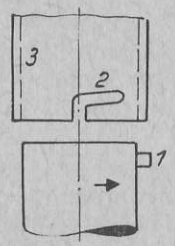
Obr. 111.



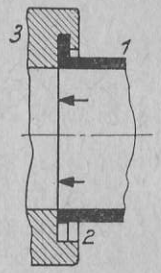
Obr. 112.

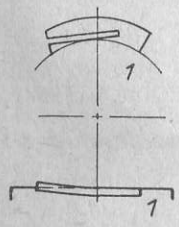


Obr. 113.



Obr. 114.



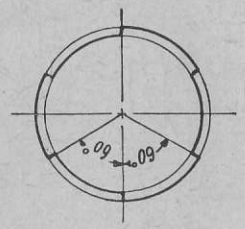


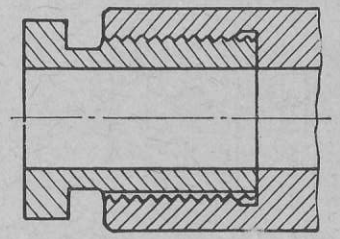
Obr. 115.

čočku, může ji nestejnoměrným tlakem pokřivit, poněvadž závit — ani na patronovém soustruhu řezaný — není dokonale přesný. Pomoci lze si tím, že okraj kroužku, doléhající na čočku, učiníme pružný prořezáním, na příklad podle obr. 106 nebo 107, nebo kroužek podložíme tenkým plechovým prstenem zvlněným tak, aby pružil (obr. 108). Čočku samu pak event. obložíme podobným prstenem nebo nějakým měkčím materiálem. Žádáme-li od šroubení lepší centrování, než jaké může dát závit, centrujeme součásti kuželovou plochou, podle obr. 109, nebo centrujeme plochou rovinnou a válcovou jako u soustruhového vřetena (obr. 110, srovnej s obr. 90). Někdy provedeme spojení zvláštní matkou („přesuvná" matka) jako na obr. 111; výhodou zde je, že horní část může mít libovolnou polohu a dá se kdykoliv pootočit. Má-li horní součást zůstat volně otočná, necháme matku dosedat na plochu označenou šipkou (obr. 112). Pro měřicí aparatury pracující tlakovým olejem (zkoušecí stroje typu Amslerova, hydraulické dynamometry) jsou nutná šroubení pro připojování trubek vedoucích tlakový olej. V příkladě na obr. 113 (Amsler) je měděná trubka *1* rozehnuta do příruby; příruba je přitlačena vložkou *2*, na niž tlačí silný provrtaný šroub *3* s jemným závitem; ohromným specifickým tlakem se příruba plasticky deformuje a spojení těsní dokonale při tlaku 200—300 kg/cm².

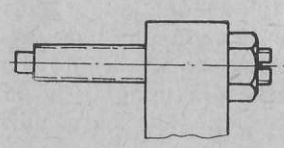
Spojení bajonetové

Spojení rychle rozebratelné, vhodné tam, kde se žádá snadná vyměnitelnost — příkladem mohou být vyměnitelné objektivy u fotografických přístrojů. Princip je patrný na primitivním provedení obr. 114. Čep *1* se vsune do výřezu *2* v duté části *3* a pootočením ve směru šipky se upevní. Přesné pro-

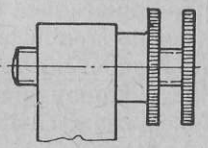




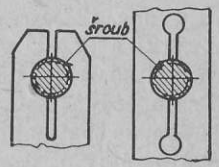
Obr. 116.



Obr. 117.



Obr. 118.



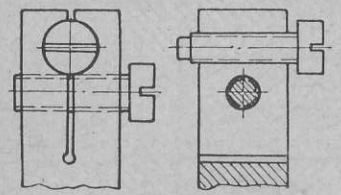
Obr. 119. Obr. 120.

vedení je na obr. 115 (objektiv „Contaxu"). Tři pružicí ozuby na objímce *1* se vsunou do tří výřezů *2* pevné části *3*. Ozuby jsou částečně odříznuty a vyhnuty, takže po pootočení pružně dotlačují objímku na část *3* ve směru šipek. Tento princip připouští různé konstruktivní provedení. Kombinací šroubení a bajonetového spojení je závěr na obr. 116. Závit šroubu je odebrán na třech místech v rozsahu 60°, podobně závit matečný. Šroub se vsune do matky a pootočením o 60° se pevně utáhne; pevnost je ovšem nejvýše 50% pevnosti šroubení nepřerušeného, ale i tak dost velká, aby se podobně mohly provádět závěry děl.

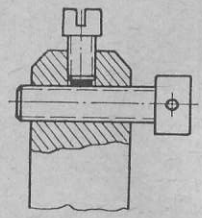
Šrouby dorazné, regulační a kontaktní

Tyto šrouby trvale nedoléhají ani hlavou, ani svým koncem, nemohou být tedy utaženy a vyžadují zvláštního zajištění. Často se užívá přítužné matky (obr. 117); není to řešení nejlepší, poněvadž přitažením matky se změní axiální poloha šroubu (o jejíž regulaci nám právě jde). Šroub nemusí mít hlavu, poněvadž jím otáčíme při uvolněné matce a jeho zářez tedy valně netrpí. Někdy, zvláště u starších přístrojů, šroub se nastavuje a zajišťuje rukou (obr. 118). Jindy se matka rozřízne (obr. 119, 120), aby šroub pružně svírala (lze provést sevřením čili „napružením" matky, nebo uděláme řez, který trochu klínkem

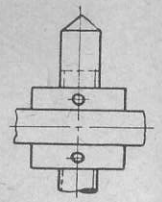
rozšíříme, a pak teprve vyřízneme závit). Tento způsob není vždy zcela spolehlivý, lepší řešení (a snad vůbec nejlepší) je rozříznutou matku stáhnout šroubkem (obr. 121). Regulování zde je lehké a jemné, utažením se nastavení šroubu nezmění; proto se s tímto řešením setkáváme nejčastěji. Jiný dobrý způsob je na obr. 122; aby zajišťovací šroubek nepoškodil závit, tlačí přes vložku z mědi nebo z jiného měkkého materiálu. Někdy záleží na tom, aby se



Obr. 121.



Obr. 122.



Obr. 123.

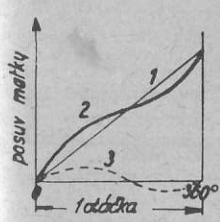
šroub při regulování neotáčel; tu šroub prochází hladkým vývrtem a dostane dvě matky (obr. 123), ovšem manipulace není tak snadná jako u konstrukcí podle obr. 121 a 122. U všech těchto šroubů je důležité, aby byly přístupné pro normální nástroje, t. j. pro šroubovák, kolík nebo kvadrantový klíček. V praxi se opětovně setkáváme se šrouby špatně přístupuými; je dobře se řídit zásadou, že špatná přístupnost znamená obyčejně také špatné udržování a tedy špatný stav přístroje nebo stroje.

Šrouby mikrometrické

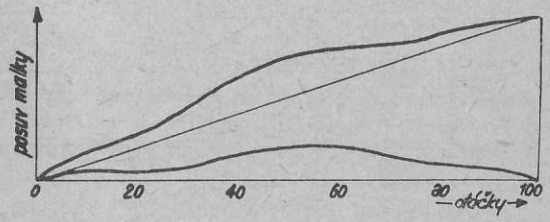
Tato kategorie šroubů, v přesné mechanice velmi důležitá, zahrnuje šrouby, jimiž vyvozujeme *jemné pohyby* (šrouby stavěcí, šrouby ustanovek) a šrouby, jimiž provádíme délková měření, čili šrouby ve vlastním a v plném smyslu *mikrometrické* (mikrometry všeho druhu, šrouby dělicích a souřadnicových strojů).

Požadavky na jemné pohybové šrouby nejsou zvlášť vysoké: žádáme hlavně jemný a „vláčný" chod při malé úhlové rychlosti a nevadí, klade-li šroub větší odpor při otáčení rychlejším. Tohoto vláčného, možno říci viskosního tření dosáhneme přesným provedením a vyhlazením, avšak v neposlední řadě vhodným mazadlem. Mazadlem lze zlepšit i šrouby méně dobře provedené; mazadla jsou různá, na příklad směsi bezvodého lanolinu s olejem nebo starý Frauenhoferův recept, kalafuna zavařená v oleji, což je v podstatě — lep na ptáky. Tyto šrouby jsou někdy z mosazi, častěji z oceli, po případě tepelně zpracované. U velkých šroubů bývá někdy závit lichoběžníkový; zpravidla jde o šrouby menší, kterým dáme ostrý závit vesměs malého stoupání: 0,5; 0,3 ba i 0,2 mm. Matka je pravidelně mosazná a rozříznutá podle obr. 119, 120, lépe a častěji podle obr. 121. Tímto rozříznutím se má spíše zabránit viklání šroubu, neboť šroub skoro vždy tlačí a opačný pohyb obstarává zpětná pružina.

Mnohem vyšším požadavkem musí vyhovět *šroub mikrometrický*. Zde žádáme nejen jemný chod, nýbrž také přesnou úměrnost mezi úhlem pootočení a vyvozeným postupným pohybem. Šroub může vykazovat dvě chyby. Chyba *periodická* jsou odchylky, které se opakují při každé otočce. Na obr. 124 (kresleno přehnaně) přímka (1) platí pro šroub dokonalý, (2) je skutečná čára

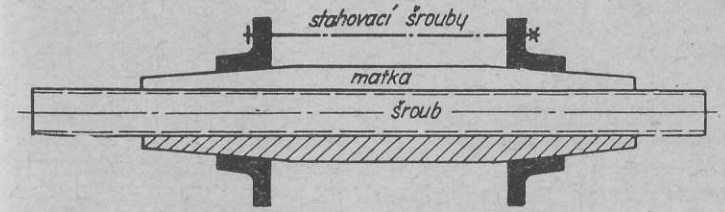


Obr. 124.



Obr. 125.

získaná měřením; vidíme, že k posunu přesně lineárního průběhu se přičítá chyba průběhu přibližně sinusového (čára (3), Periodická chyba může vzniknout při řezání šroubu (na př. nedokonalým uložením vřetena soustruhu), může však být zaviněna chybným uložením šroubu; je zvlášť nepříjemná tím, že se nedá odstranit korekčním zařízením, na druhé straně lze ji prakticky předejít přebroušením šroubu v pevných hrotech. Druhá vada šroubu je *chyba postupná*, která se projevuje po celé délce šroubu (obr. 125). Pochází od nepřesností výrobních, zejména od chyb vodicího šroubu stroje, na němž byl šroub zhotoven; může v ní být i složka periodická, měl-li onen vodicí šroub

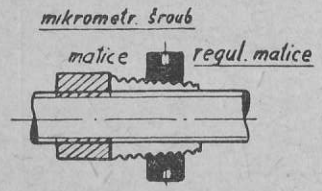


Obr. 126.

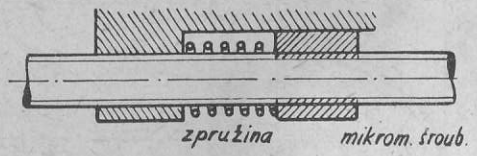
periodickou chybu — na příklad, když šroub stoupání 1 mm byl řezán nebo broušen s pomocí vodicího šroubu o stoupání 5 mm. Dále se mohou uplatnit délkové změny šroubu při řezání, event. i dodatečné. Proto se dnes takové šrouby stabilisují (t. j. podrobují úměrnému stárnutí) a přebrušují; přes všechnu péči nelze se postupné chyby vyvarovat, a žádá-li se přesnost řádu 0,01 mm (10 mikronů), je třeba chybu vyrovnat podle možnosti korekčním zařízením (o tom v kapitole o dělicích strojích).

Krátké šrouby lze — ovšem velmi pracně — přivést do stavu vysoké přesnosti, jestliže je zabrušujeme s dlouhou, na několik dílů podélně rozřezanou matkou (obr. 126). Základ methody je v tom, že dvě šroubové plochy téhož

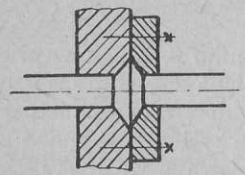
stoupání — a tedy také plochy šroubu a matky — jsou shodné, kongruentní a zabrušování právě takové plochy produkuje. Je-li matka dost dlouhá (skoro jako sám šroub), pak s použitím malého množství nejjemnějšího brusidla a velkého množství času postupně zmizí úplně chyba periodická a pomalu také chyba postupná. Takovýto dokonalý šroub byl duší malého dělicího stroje,



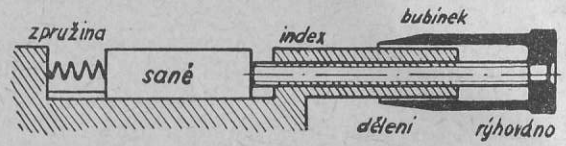
Obr. 127.



Obr. 128.

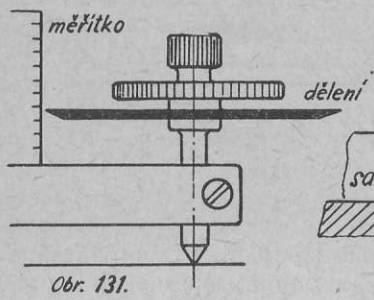


Obr. 129.

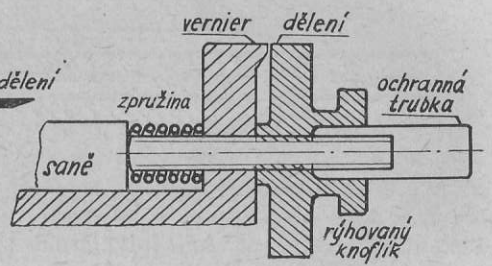


Obr. 130.

jímž Rowland vyryl své difrakční mřížky, které měly přes tisíc pravidelně rozložených čárek na každý milimetr. Chyby byly tedy stlačeny na malé zlomky mikronu, ale zabrušovací proces trval čtyři týdny.



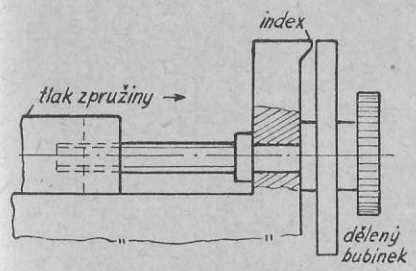
Obr. 131.



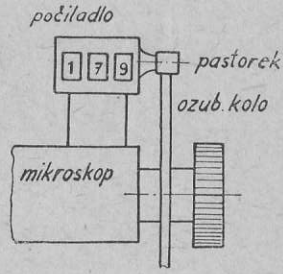
Obr. 132.

Malé šrouby pro komerční mikrometry se dnes vybrušují z plné ocelové kalené tyčky; rozsah šroubu je běžně 25 mm a renomované firmy (Zeiss a j.) se zaručují, že všechny chyby jsou v mezích 2 mikronů. Naproti tomu u nejpřesnějších dělicích strojů se šrouby 400—1200 mm dlouhými ani korekční zařízení nepřipouští záruku chyb menších než 2 mikrony. Z toho je vidět, jak je nesnadné vyrobit přesný delší šroub.

Otázka vůle (axiální) se dá řešit tím, že rozříznutou matku stáhneme šroubem (obr. 121) nebo způsobem podle obr. 127, kde matka je rozříznuta křížem a lze ji sevřít regulační matkou, pro niž je na rozříznutém konci hlavní matky kuželový závit (způsob obvyklý u dílenských mikrometrů a u stavěcích šroubů). Jiná možnost je uvedena v obr. 128, kde je matka rozdělena a volná půlka je posuvná, ale ne otáčivá a obě půlky jsou od sebe tlačeny pružinou; pružina musí mít ovšem napětí větší, než je síla, kterou šroub překonává, a může se tedy stát, že nadbytečnou silou pružiny je šroub zbytečně vyběháván. Stejně škodlivá je vůle *v uložení šroubu*. U starších přístrojů se ložisko šroubu dělávalo pracným způsobem podle obr. 129; přibroušením destičky se uložení dalo utěsnit. Dnes užíváme obyčejného uložení válcového a axiální vůli se snažíme odstranit stavěcím kroužkem nebo jinak. Žádný z uvedených způsobů není dokonalý — odtud staré pravidlo: se saněmi najíždět vždy v témže směru. U šroubů krátkých se pravidelně používá pružiny, která tlačí proti šroubu. Tak na obr. 130 šroub tlačí na sáně, které jsou vraceny tlakovou pružinou; další příklady uvidíme na ustanovkách. Pravá strana obr. 130. je vlastně obyčejný mikrometr, kde zlomky otáčky čteme na okraji bubínku a celé otáčky na plášti matky; s tímto provedením se setkáváme u dílenských mikroskopů (sovětské výrobky, Zeiss a j.). Pro šroub velmi přesný nestačí stupnice na malém bubínku; lze užít (obr. 131) plochého velkého kotouče,



Obr. 133.



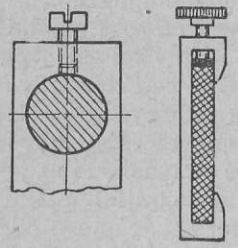
Obr. 134.

na němž odečítáme proti ostré hraně svislého měřítka, udávajícího celé otáčky (sférometr, libeloměr). V obou uvedených příkladech je matka pevná a šroub se tedy otáčí a posouvá. Nesnáze může činit čtení celých otoček, je-li šroub jemný; v krajním případě lze užít malého počitadla otáček, jaké má na př. planimetr. U provedení podle obr. 132 je šroub pevně spojen se saněmi a matka je v otočném bubínku; šroub se tedy jen posouvá. Lepší a užívanější je způsob znázorněný na obr. 133, kde matka je v saních a šroub se v ložisku jen otáčí. To je běžné provedení u šroubových mikroskopů; protože sáně nesou záměrnou značku, kterou pozorujeme okulárem, umísťuje se do zorného pole také stupnice udávající celé otáčky (u starších přístrojů místo stupničky byl hřebínek udělaný z kousku stejného mikrometrického šroubu), nevadí tedy, má-li šroub malé stoupání. Je-li mikrometr určen pro nekvalifikovaný

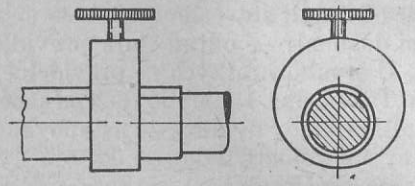
personál, můžeme šroubu místo děleného bubínku dát ozubené kolo, které pohání obyčejné počitadlo se skákajícími číslicemi (obr. 134 — tvrdoměr Vickers).

Zařízení svěrací

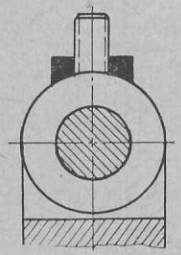
Stále se opakuje úloha, jak upevnit — fixovat — součást, kterou jsme nastavili do vhodné polohy, aby se dále nemohla posouvat nebo otáčet. Na to jsou různé mechanismy svěrací, rozpínací a brzdící, ovládané nejčastěji šroubem, jindy excentrem, vzácně hydraulicky nebo jinak.



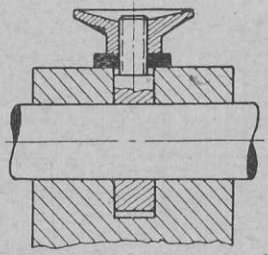
Obr. 135. *Obr. 136.*



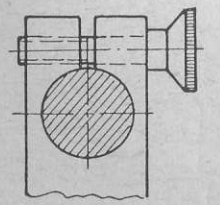
Obr. 137.



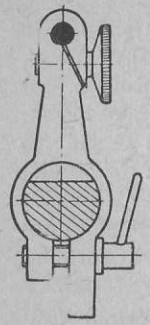
Obr. 138.



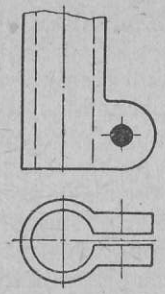
Obr. 139.



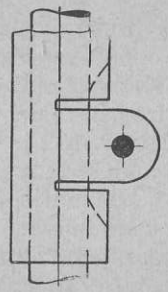
Obr. 140.



Obr. 141.



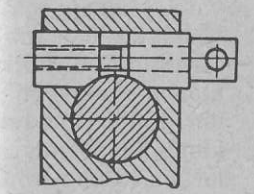
Obr. 142.



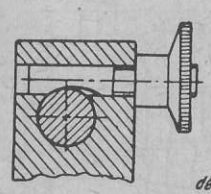
Obr. 143.

Nejjednodušší způsob je prostý tlakový šroub (obr. 135); lze ho přirozeně užít i pro průřezy nekruhové, jako na obr. 136 (posuvné měřítko; šroubek je podložen předpjatou páskovou pružinou). Je vhodné šroubek podložit kouskem měkčího materiálu. V součásti trubkového profilu lze udělat dva řezy (obr. 137); na vzniklý jazyk tlačí šroubek zavrtaný do výstředného kroužku, připájeného na trubku.

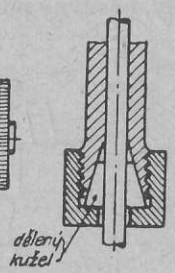
Na obr. 138 a 139 je šroubek v celku s prstenem, jenž tažen šroubkem vyvodí potřebné tření. Rozšířený je způsob na obr. 140; vedení je rozříznuto a je šroubem svíráno kolem těsně zalícované válcové části. Tohoto způsobu je dvakrát použito na koníčku hodinářského soustruhu, obr. 141; horní řez je veden zespodu, aby nevnikaly piliny, těleso koníku může pěkně pružit. Je-li vedení krátké, jde řez celou jeho délkou (obr. 141), jinak je řez částečný, buď



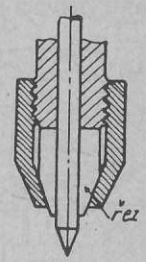
Obr. 144.



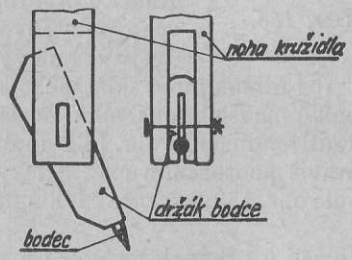
Obr. 145.



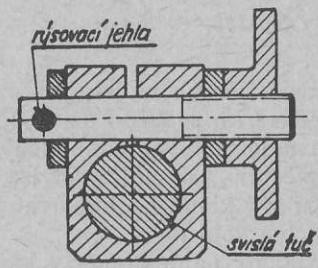
Obr. 146.



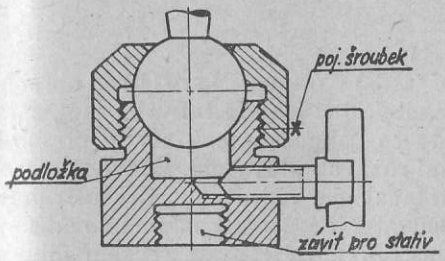
Obr. 147.



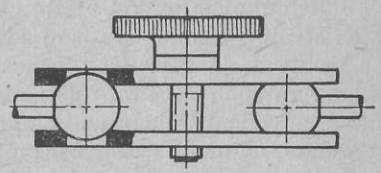
Obr. 148.



Obr. 149.



Obr. 150.

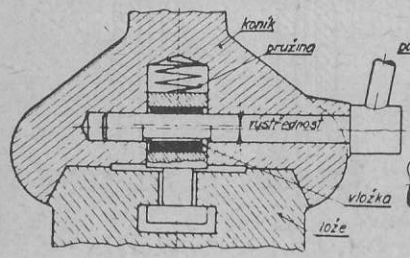


Obr. 151.

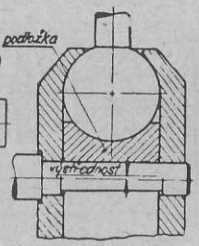
na konci a delší (obr. 142), nebo je dále od konce a zcela krátký; zato je vedení ještě dvakrát prořízнuto napříč (obr. 143, časté u koníků mechanických soustruhů).

Tlustší kulatou tyč lze sevřít dvěma válcovitými čelistmi podle obr. 144; šroub prochází volně jednou a má závit v druhé čelisti. Podobný, jednodušší

a nesymetrický způsob je znázorněn na obr. 145; není-li probrání v šroubu dobře provedeno, šroub součást neochotně uvolňuje. K sevření lze užít také kužele, jak je vidět na obr. 146; nevýhodou zde je, že přitažením se tyčka trochu posune. Proto je lepší provedení podle obr. 147, často užívané u rysovadel. Jiné sevření, běžné u rysovadel, je znázorněno na obr. 148; bodec je posuvný a dá se sklonit, vše je blokováno jediným šroubkem. Na obr. 149 je držák rýsovací jehly, posuvný po svislé tyči nádrhu; zde jsou dva posuvy a tři možné rotace blokovány jedinou matkou. Někdy užijeme pro všestrannou pohyblivost kloubů kulových. Na obr. 150 je vidět takový kloub blokovaný podložkou, kterou šroub na jedné straně nadzdvihne (kulový kloub pro fotografický přístroj.) Ještě větší pohyblivost dává dvojitý kulový kloub, který lze sevřít šroubem jako na obr. 151 (držák lupy, sklářského kahanu). *Upínání excentrem* se často užívá u koníků menších soustruhů. Zcela malého koníka lze na loži fixovat jednoduchým zařízením podle obr. 152; opotřebením přestane excentr „táhnout", což lze spravit pootočením excentricky vrtané vložky. Kulový kloub lze blokovat podle obr. 153; excentr zdvihá podložku, na níž spočívá koule. —



Obr. 152.



Obr. 153.

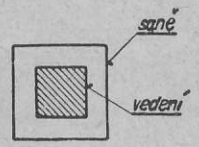
Další příklady najde čtenář v kapitolách o přímých vedeních a ustanovkách.

Přímá vedení

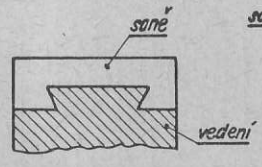
Jejich úkolem je vést určitou součást (sáně) v přímce. Na rozdíl od obráběcích strojů působící síly jsou zde malé, obyčejně jen vlastní váha saní, zato se někdy žádá nejvyšší přesnost, jindy co nejmenší tření, někdy přesnost s lehkým chodem. Proto užíváme velmi různých provedení. Funkčně rozeznáváme vedení stále pracující, *pracovní* (analogie: vedení suportu soustruhu), a vedení, na nichž se součást může posouvat a je v žádané poloze fixována — vedení *stavěcí* (analogie: koník na soustruhu). Dále bývá zvykem mluvit o vedeních *zavřených*, která jsou s to, aby přejímaly síly jakéhokoliv směru (obr. 154 a 155), a o vedeních *otevřených*, na něž jsou sáně přitlačovány, obyčejně vlastní vahou. Konečné rozeznáváme vedení *kluzná*, tedy sáně v pravém slova smyslu, a vedení *valivá*, kde je užito koleček, kuliček nebo válečků.

Vodicí plochy mohou být rovinné nebo válcové; jiné plochy už z výrobních důvodů nepřicházejí v úvahu.

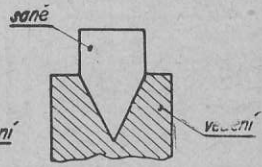
Nejjednodušším a velmi přesným vedením jsou dvě různoběžné rovinné plochy. Dvě roviny lze snadno (lapováním s rovinnými deskami) přivést na vysoký stupeň přesnosti. Není divu, že tato vedení byla dříve velmi oblíbená (lože malých soustruhů podle obr. 157, vedení tubusu mikroskopů). Dnes užíváme dvouplochého vedení podle obr. 156 k vedení břitvy u mikrotomů. Pro optické lavice užíváme běžně tříhranné tyče (158), po níž se posouvají



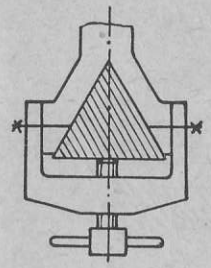
Obr. 154.



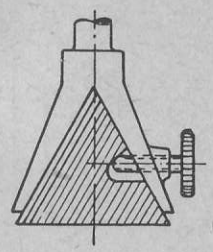
Obr. 155.



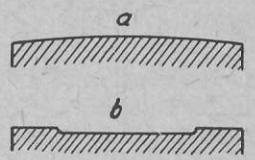
Obr. 156.



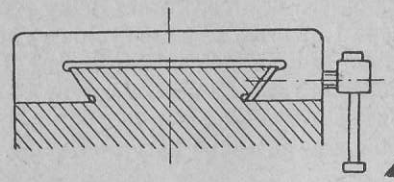
Obr. 157.



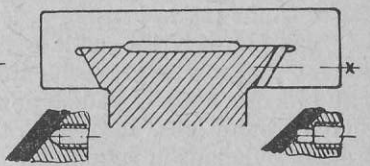
Obr. 158.



Obr. 159.



Obr. 160.

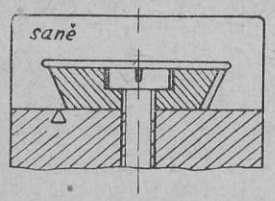


Obr. 161.

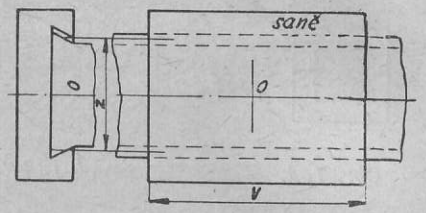
jezdci, kteří nesou čočky, filtry, lampy a pod.; jezdec se dá fixovat šroubem opírajícím se o šikmou plochu drážky. Při škrábání nebo lapování rovné plochy snadno vznikne mírná vypuklost podle obr. 159a, ale tomu se lze vyhnout tím, že plochu omezíme na dva pásy podle obr. 159b; ušetříme tím i na práci a tohoto principu vydatně užíváme i pro jiné širší vodicí (a po příp. i pro dosedací) plochy. Poměrně málo užíváme vedení čtyrhranného (obr. 154), na př. u tyčí planimetrů.

U obráběcích strojů nejčastěji volíme vedení „prismatická" podle obr. 160 a 161. První konstrukce je při stejné šířce odolnější proti příčným momentům.

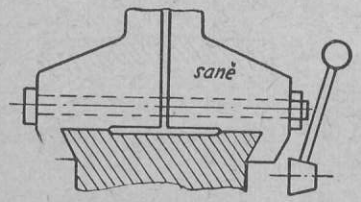
V obou případech je vedení utěsněno lištou, na niž tlačí stavěcí šrouby (detaily na obr. 161); v jemné mechanice není třeba užívat lišt klínových, které jsou na místě u namáhanějších strojů obráběcích. Jsou to typická vedení pracovní, lze jich ovšem užít i jako stavěcích. Pro malé rozměry hojně volíme vedení podle obr. 162, provedené nejčastěji z mosazi. Vodicí hranol je na spodek přišroubován (s užitím kolíků) a vedení lze snadno utěsnit obrouše-



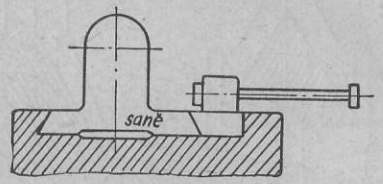
Obr. 162.



Obr. 163.

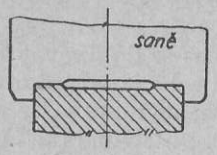


Obr. 164.

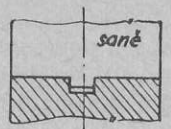


Obr. 165.

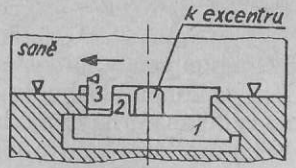
ním (nebo škrabáním) plochy označené trojúhelníčkem. U všech vedení je důležité, aby měla náležitou délku v poměru k šířce. Poměr délky *v* na obr. 163) k šířce saní *z* má být aspoň 1, lépe 1,5; jinak se saně rychle vyběhají a vedení se pak začíná vrtět podle osy *O*. Je-li žádána možnost sáně fixovat, dáme jednomu nebo více stavěcím šroubům rukojeti nebo posuvné tyče jako u svěráku (viz obr. 160). U vedení pouze stavěcích lze někdy užít rozříznutí a stahovacího šroubu (obr. 164), nebo užijeme přítužné lišty podle obr. 165 a dvou šroubů, ovládaných rukou.



Obr. 166.



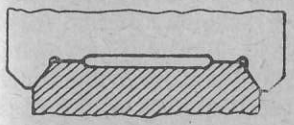
Obr. 167.



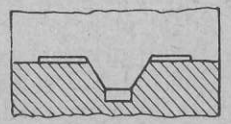
Obr. 168.

Otevřená pravoúhlá vedení podle obr. 166 („široké" vedení) nebo podle obr. 167 („úzké" vedení) nejsou valně v oblibě, možnou vůli nelze u nich odstranit přeškrábáním. V tom směru je výhodnější uspořádání podle

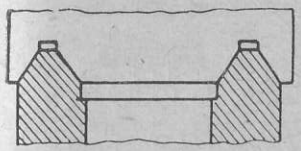
obr. 168, kde část *1*, tažená excentrem, přitlačí sáně na vodorovné plochy a zároveň výstupkem *2* přirazí lištu *3* na svislou plochu vedení; vůle je tedy dokonale odstraněna a přesnost vedení záleží jedině na plochách označených △. Místo vedení podle obr. 166 a 167 častěji najdeme vedení — jinak analogické — s vodicími ploškami skloněnými (obr. 169, 170). Výhoda zde je, že přeškrabáním nebo přebroušením lze vedení opět utěsnit (přiškrábáním vodorovné plochy se utěsní plošky šikmé!); užívá se jich (hlavně podle obr. 169) jako loží drobných precisních soustruhů a j.



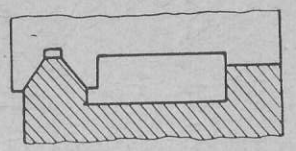
Obr. 169.



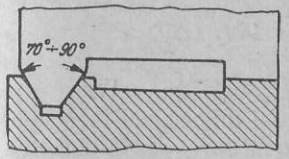
Obr. 170.



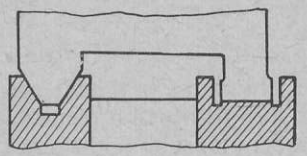
Obr. 171.



Obr. 172.

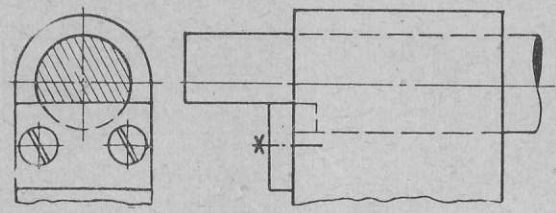


Obr. 173.

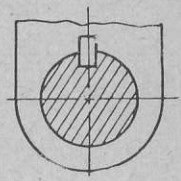


Obr. 174.

Důležitá jsou *vedení střechová*, běžná i u soustruhů. Vedení se dvěma stříškami (obr. 171) není výhodné, neboť je velmi nesnadné dosáhnout toho, aby obě stříšky plně dosedaly, jinak sáně se mohou vrtět kolem osy rovnoběžné se směrem pohybu. Proto volíme provedení tvarově určitější a jednodušší: jedna stříška a jedna rovná ploška (obr. 172); to je normální vedení koníka u menších a středních soustruhů a vedení běž-



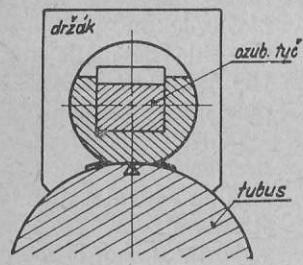
Obr. 175.



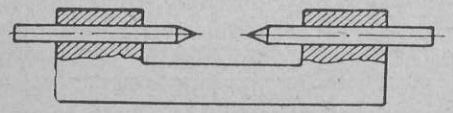
Obr. 176.

né v jemné mechanice. V zásadě je lhostejné, je-li stříška na loži (obr. 172) nebo na saních (obr. 173). U provedení podle obr. 173 je ovšem žlábek lože — pokud není přikryt saněmi — lépe chráněn před poškozením než stříška znázorněná na obr. 172, ovšem ve žlábku se zase spíše může držet smetí; na obr. 174 je takto chráněna i rovná ploška.

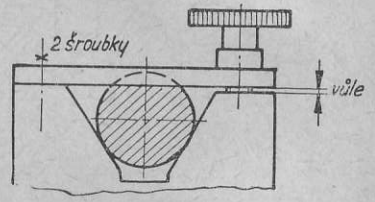
Vedení *válcová jednoduchá* se vyskytují u nejmenších soustruhů hodinářských, kde je lože tvořeno válcovou tyčkou, na níž je podél vyfrézovaná ploška jež brání otáčení (obr. 141); konící jsou přesně válcově vybroušeni (materiál je jemná litina) a do otvoru je šroubky připevněna vložka profilu kruhového úseku. Je-li zdvih malý, stačí provedení podle obr. 175, kde otáčení je zabráněno přišroubovanou destičkou (držák mikroskopu dělicího stroje). Méně přesné je, ale pro některé účely stačí vedení podle obr. 176 s drážkou a s pérem (příklad: přístroje zvětšovací). Kuriosní je vedení na obr. 177, kde místo péra je užito druhé tenčí tyčky a vedení lze utěsnit opatrným obroušením dosedací plošky △. Takto byly vedeny tubusy mikroskopů v časech, kdy mechanik měl k disposici jen svůj soustruh; dnes ovšem užijeme vedení podle obr. 162. Nesnadné je udělat přesně soustředné vývrty pro hroty znázorněné na obr. 178 (hrotové upínací zařízení dílenského měřícího stroje); tu si můžeme pomoci uložením podle obr. 179, kde hroty jsou uloženy a destičkou drženy v drážkách, které lze velmi přesně vyfrézovat a přebrousit v jednom průchodu strojem.



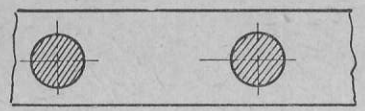
Obr. 177.



Obr. 178.



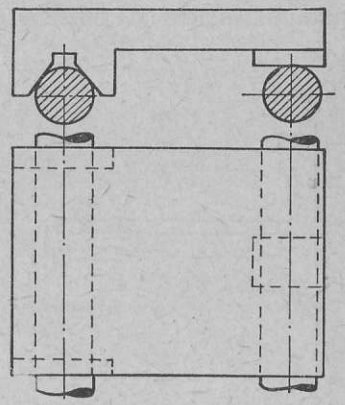
Obr. 179.



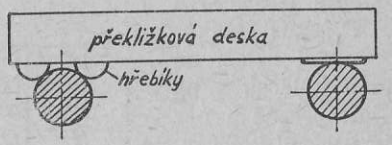
Obr. 180.

Obr. 181.

Vedení válcové může být *dvojité*, t. j. sáně vedeme dvěma kulatými tyčemi. Toto vedení může dosáhnout vysoké přesnosti, neboť válce (spolu s koulí) jsou tělesa, která lze nejpřesněji zhotovit. Jednoduché vedení podle obr. 180 trpí vadou, že lícování pro vodicí tyče musí být nezbytně volné, poněvadž tyče nelze postavit do přesně rovnoběžné polohy. V tom je lepší způsob znázorněný na obr. 181, kde levá tyč může být lícována těsně, kdežto druhá prochází obdélným otvorem a lze ji šroubem utěsnit. U válcových vedení nejpřesnějších (na př. u strojů k proměřování souřadnic na astronomických fotografiích) užijeme kalených, zrcadlově vybroušených válců, sáně pak spočívají dvěma kratičkými žlábky na jednom válci a malou ploškou na druhém, obr. 182. Pro laboratorní improvisaci lze dosáhnout přesného vedení bez vůle prostými čtyřmi hřebíky s půlkulatou hlavou, jak je znázorněno na obr. 183. U těchto vedení nevadí, jsou-li tyče trochu různoběžné, nesmějí však být mimoběžné, poněvadž pak sáně kromě posuvného pohybu konají i malý pohyb rotační; to můžeme bezpečně zjistit citlivou libelou a polohu jedné z tyčí opravíme rektifikačním zařízením. Vedení kulatými tyčemi se dříve hojně užívalo (z nedostatku hoblovacího stroje); v dílnách pražské techniky stával soustruh po Božkovi, jehož suportové sáně byly takto vedeny.

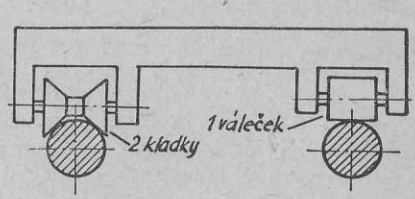


Obr. 182.

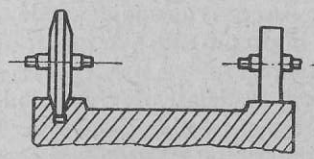


Obr. 183.

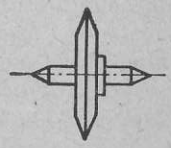
Vedení valivé lze provést jako dráhu, po níž pojíždějí sáně jako vozík nebo mezi sáně a vedení lze vložit kuličky nebo válečky. První provedení s užitím kulatých tyčí je znázorněno na obr. 184, vedení na loži podle obr. 173 je vidět na obr. 185. Lehký vozík lze vést kolečky s ostrým okrajem přesně otočenými a těsně ve hrotech uloženými (obr. 186), jezdícími v úzké drážce. Toho druhu je vozík (obr. 187), jedoucí v drážce pravítka položeného na výkres; kulový čep na konci ramena zapadne do lůžka obyčejného kompensačního planimetru, který se takto stal planimetrem lineárním a vhodným k měření dlouhých obrazců (na př. na výkresech loďařských); zde nevadí, že vozík může kývat kolem drážky. Chceme-li však kolečky vést tyč (obr. 188), užijeme na jedné



Obr. 184.

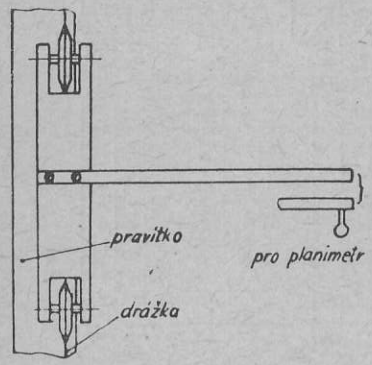


Obr. 185.

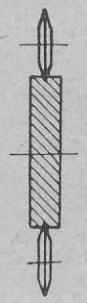


Obr. 186.

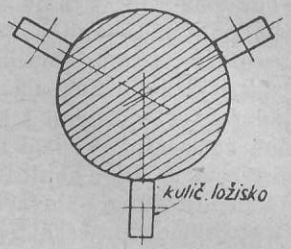
straně dvou koleček pevně uložených, na druhé straně kolečka nejlépe jediného, uloženého v kývavém rámu a pružinou tlačeného k pravítku. Vodicí vozíky podle obr. 187 často tvoří vedení integrátorů. Tyč kulatou nebo třemi ploškami opatřenou můžeme vést dvěma trojicemi koleček (obr. 189), jimiž mohou být kuličková ložiska (tykadlo Abbeho tloušťkoměru); podobnými kladkami, různě podle potřeby rozestavenými, jsou vedeny rámy zkouše-



Obr. 187.

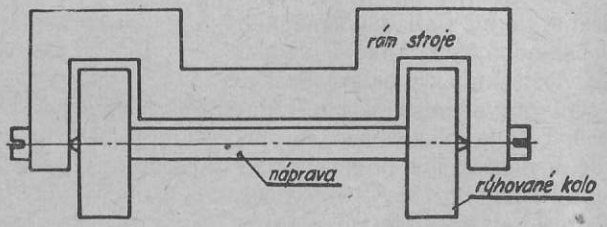


Obr. 188.



Obr. 189.

cích strojů Amslerova typu. Přesnost takových vedení záleží na přesnosti koleček a na tom, jak přesně a bez vůle je uložení koleček.



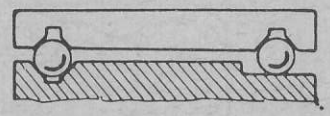
Obr. 190.

Dlužno dodat, že u těžších saní lze s výhodou užít koleček *odlehčovacích*. Sáně jsou opatřeny dvěma i více páry válcovitých koleček, která jsou se saněmi spojena nikoliv pevně, nýbrž pružně. Napětí pružin lze šrouby naregulovat tak, aby větší část váhy saní spočívala na kolečkách, menší částí váhy doléhají sáně na vedení, obyčejně stříškové. Dosahujeme tak plně přesnosti kluzného vedení při tření podstatně zmenšeném.

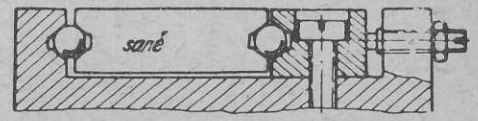
Zajímavé je vedení na obr. 190: dvě masivní rýhovaná kolečka přesně stejného průměru a nápravou spojená jedou po papíru a vedou rám stroje tak přesně, že Coradi takto provádí své známé precisní planimetry a dokonce také integrátory a integrafy.

Vedení *kuličková*, se dělají otevřená podle obr. 191 (o určitosti kontaktu platí, co bylo řečeno při vedeních stříškových) nebo zavřená podle obr. 192, která lze stavěcími šrouby utěsnit (křížové vedení u sovětských dílenských mikroskopů). Drážky se dělají podle obr. 193 (jednodušší) nebo podle obr. 194

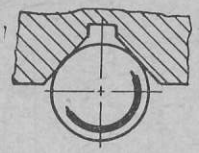
(odolávají lépe opotřebení). Kuličky jsou vedeny v otvorech vodicích pásů (analogie s vodicím košem kuličkových ložisek); to ovšem omezuje možný zdvih saní. Jde-li o pohyb na dlouhé dráze; je nutno vést kuličky v uzavřeném kanálu, jak je znázorněno na obr. 195. Příklad vedení válečkového je vidět na obr. 196; těžký stůl (souřadnicové vrtačky) je nesen dvěma řadami válečků, uprostřed je úzké kluzné vedení jako na obr. 170; válečky běží na



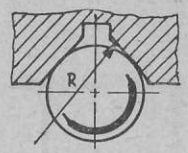
Obr. 191.



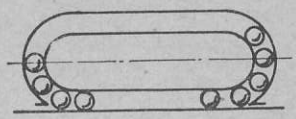
Obr. 192.



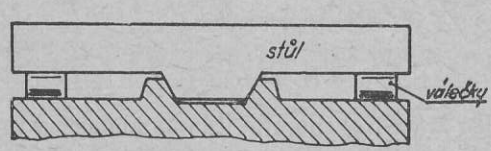
Obr. 193.



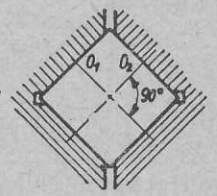
Obr. 194.



Obr. 195.



Obr. 196.



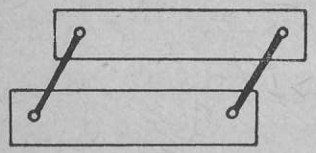
Obr. 197.

litině, lépe na vložených kalených a broušených pásech. Místo kuličkového vedení na obr. 192 lze užít robustnějšího, ovšem s větším třením spojeného vedení válečkového podle obr. 197. Rovnostranné válečky mají střídavě osu 0_1 a 0_2, což vylučuje užití vodicího pasu; vodicí pás (dost složitého tvaru) je možný, je-li délka válečků menší než průměr. Snížené tření u saní posouvaných mikrometrickým šroubem nejenže sníží opotřebení šroubu, nýbrž podle zkušenosti též zvýší přesnost měření, patrně proto, že se zmenší pružné deformace v systému (je dobře mít na mysli, že téměř dokonalou pružnost může jevit součást z jednoho kusu zhotovená, u složitějších celků se objevuje elastická hysterese tím spíše, čím větší je počet dílů a počet spojů).

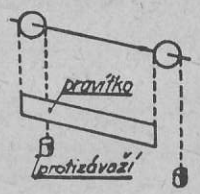
Paralelní vedení

Zde nejde o vedení v přímce, nýbrž o to, aby vedená součást konala pohyb *translační*. Pravítko šrafovacího stroje lze vést dvěma kolečky jako na př. 190. Bezpečněji a přesněji lze vést pravítko kloubovým rovnoběžníkem (paralelo-

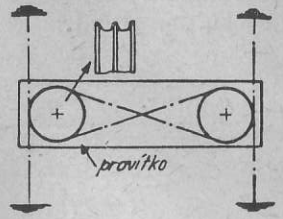
gramem) podle obr. 198. Dlouhé příložníky na rýsovacích prknech skoro svislých lze vést dvěma řetězy, jejichž řetězová kola jsou hřídelem spojena (obr. 199). Jinak lze užít vedení lany, z nichž nejjednodušší je znázorněno na obr. 200, běžné u selfaktorů, ale výborné i pro vedení příložníku; je-li



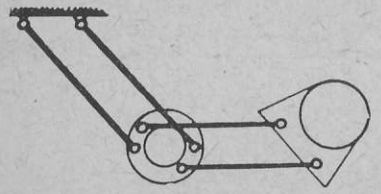
Obr. 198.



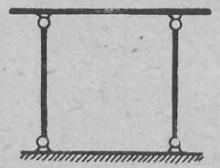
Obr. 199.



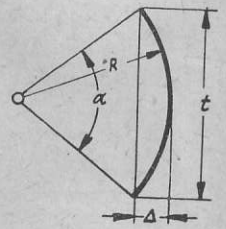
Obr. 200.



Obr. 201.



Obr. 202.



Obr. 203.

dobře uděláno, jsou odchylky třímetrového pravítka na koncích v mezích asi 0,1 mm. Kreslicí stroje „Isis" a podobné stroje, dále přístroje vynášecí a jiné, mají paralelní vedení dvěma rovnoběžníky. Při přesném provedení (kuličková ložiska) jsou chyby v mezích 1—2′ (obr. 201).

Přímá vedení přibližná

Tam, kde stačí menší přesnost, lze mnohdy užít k přibližnému vedení některého systému pákového. Výhodou tu bývá příhodnější lehčí konstrukce, menší pohyblivé hmoty a malé tření. Je-li pohyb součásti malý, stačí někdy prosté vedení rovnoběžníkem (obr. 202); pak každý bod vedené části opisuje oblouk o poloměru R (obr. 203), jehož výška pro danou tětivu t je $\triangle$, daná rovnicí

$$\triangle = R \cdot (1 - \cos \alpha/_2).$$

Poněvadž úhel α je malý, stačí kosinus vyjádřit prvními dvěma členy kosinové řady, za α pak dosadit t/R; dostaneme

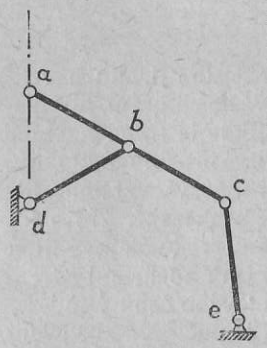
$$\triangle = R \cdot \left[1 - 1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\alpha}{2}\right)^2\right] = R \cdot \alpha^2/8 = \frac{R}{8} \cdot \frac{t^2}{R^2} = \frac{t^2}{8R} \cdot \qquad (3)$$

Je-li na příklad celý zdvih 0,2 mm, délka vodicích pák 30 mm, je

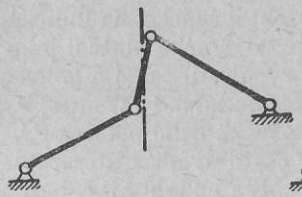
$$\triangle = \frac{0{,}2^2}{8.30} = \frac{0{,}04}{240} = 0{,}000167 \text{ mm} = 0{,}167 \ \mu,$$

což je výchylka přijatelná na př. pro jemný posuv tubusu mikroskopu. Přesnost vedení bude zřejmě záviset na těsnosti všech ložisek, event. na tuhosti mechanismu.

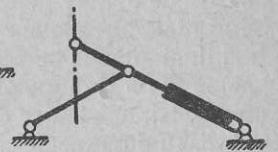
Pro delší pohyby je třeba volit pákové systémy složitější. Tak na obr. 204 je znázorněno vedení dříve užívané u indikátorů, dnes u měřicích přístrojů, má-li ručka ukazovat na přímé stupnici. Jsou-li délky $\overline{ab}$, $\overline{bc}$, $\overline{db}$ stejné, bylo by vedení přesné, kdyby se bod c pohyboval ve vodorovné přímce místo v oblouku kolem bodu e; vedení bude tím přesnější, čím delší bude vodidlo ce. Na obr. 205 je příklad vedení „lemniskatového", na obr. 206 jedno z možnýchvedení „konchoidních", ovšem zde systém není čistě pákový, poněvadž jedna tyč



Obr. 204.

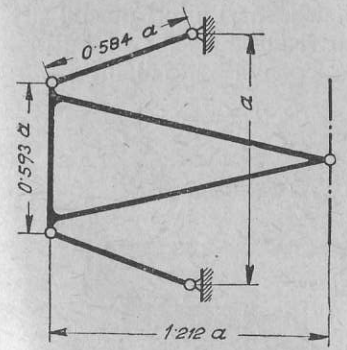


Obr. 205.

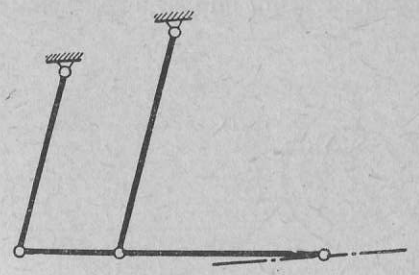


Obr. 206.

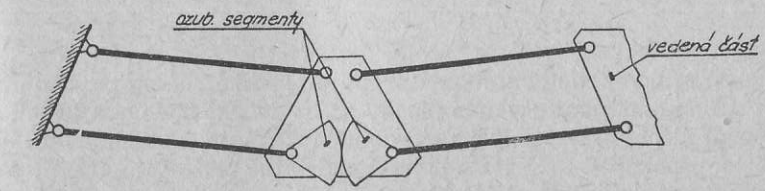
je výsuvná. Čistě pákové vedení je znázorněno na obr. 207, stejně jako vedení na obr. 208. Vedení na obr. 209 je zajímavé tím, že oba rovnoběžníky, které by samy stačily na vedení paralelní (jako obr. 201), jsou ozubenými segmenty nuceně



Obr. 207.



Obr. 208.



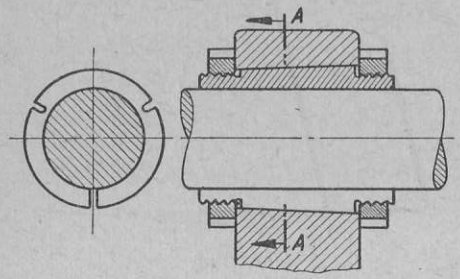
Obr. 209.

spřaženy, takže celý útvar zůstává souměrný; vedení v přímce není ovšem tuze přesné, poněvadž ozubení nelze provést bez vůle. Ve všech skizzách je přibližně přímková trajektorie znázorněna čerchovanou přímkou.

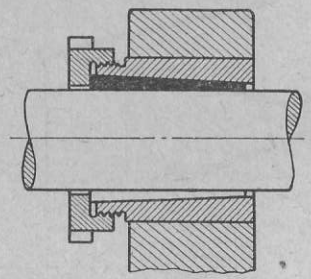
Početní vyšetřování těchto mechanismů je pracné a vede snadno k omylům. Nejbezpečněji a rychle lze takový (a každý jiný) pákový systém vyšetřit na modelu (z pásků celuloidových a pod.); bod, jehož dráha nás zajímá, opatříme tužkou a měníme číselné poměry tak dlouho, až dráha vyhovuje. Má-li model dostatečné rozměry, stačí přesnost vyšetření úplně.

Otočná uložení

Otočná uložení v jemné mechanice jsou nejrozmanitějšího druhu a velikosti: na jedné straně jemná hrotová uložení součástí vážících gram, kde požadavkem je minimální tření, na druhé straně uložení, kde je třeba největší přesnosti a těsnosti; uložení v čepech, na kuličkách, břity, pružinové klouby. Málokdy jde o stálý běh zatíženého uložení jako ve strojnictví, většinou jde o velmi malé obvodové rychlosti, často o pohyby malé a občasné. Proto též se jeví jinak otázka mazání: málokdy se může vytvořit souvislý olejový film, obyčejně jde o tření polosuché nebo polotekuté. Proto jsou koeficienty tření vesměs větší, než jak se často uvádí v literatuře. U ocelového čepu v mosazném ložisku dosáhneme sotva hodnoty 0,1, bezpečnější je počítat s koeficientem 0,15; ocel na oceli může mít nízký koeficient, je-li souvislý film olejový, při pomalých a občasných pohybech naměřil autor 0,16—0,18. Je-li ještě k tomu čep vysoce specificky zatížen, dochází až k tření suchému, nepoužije-li se mazadla mimořádně pevně lpícího na třecích plochách. Jinou obtíž činí mazání součástí drobných a čiperně se pohybujících, mezi nimiž působí síly řádu 1/20 g. Zde olej i zcela řídký se chová jako viskosní a lepivá tekutina, velmi citelně zvětšuje odpory a adhesními zjevy („lepením") je jednou z hra-



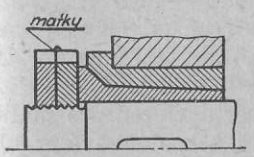
Obr. 210.



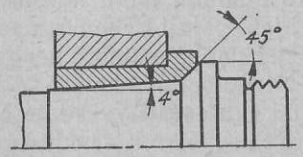
Obr. 211.

nic ve snaze zlepšovat chod chronometrů; odtud hodinářská praxe, strojaři až nepochopitelná, omezovat stykové plochy až na dotyky bodové a přímkové, event. nechat plochy běhat nemazané; problém mazání v hodinářské technice není zdaleka uspokojivě rozřešen a je ještě podstatně ztěžován nutným požadavkem veliké trvanlivosti olejů.

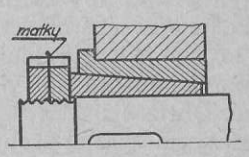
Tam, kde to provozní poměry ospravedlňují, užíváme i v jemné mechanice konstrukčních method strojnických, obyčejně ovšem vystačíme s jednoduchými způsoby. Vysoké požadavky klademe na vřetena miniaturních obráběcích strojků, jako jsou na př. hodinářské soustruhy. Způsob obvyklý u středně velikých soustruhů — bronzové pánve zvenčí kuželové (obr. 210) — není zde oblíbený, neboť tyto rozřezané pánve ztrácejí při posunu kulatost a hřídel je



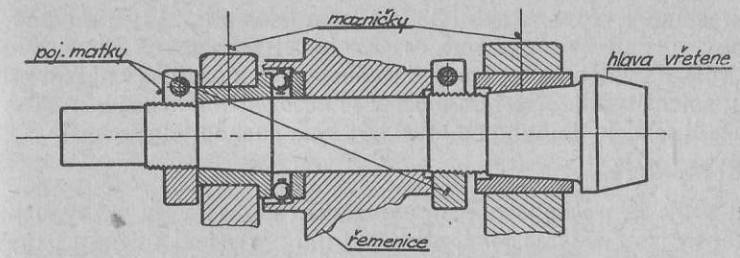
Obr. 212.



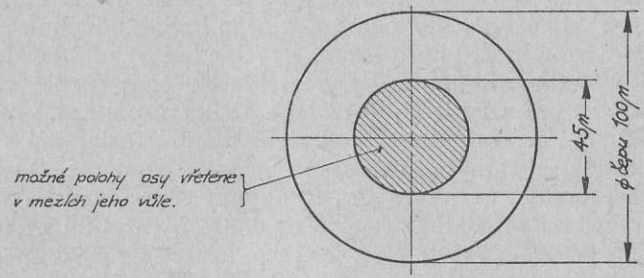
Obr. 213.



Obr. 214.



Obr. 215.



Obr. 216.

pak nesen třemi úzkými ploškami. Zlepšit poměry zeslabením pánve není dobře možné, poněvadž musí zůstat dost materiálu pro konce opatřené závitem; někteří konstruktéři užívají (alespoň pro zadní ložisko) zcela slabostěnné pánve a tlačné matky (obr. 211). Často se dělá přední čep (u hlavy) kuželový (obr. 215), někdy dokonce s kuželem dvojitým (obr. 213), aby zachytil též osový tlak. Na zadní konec vřetena je těsně nalícován posuvný vlastní čep

kuželového tvaru, buď rovněž dvojitý (obr. 212), nebo jenom jednoduchý (obr. 214). Je-li užito kuželů jednoduchých, lze pouhým seřízením uložení utěsnit, u kuželů dvojitých jsme v podstatě odkázáni na přesné provedení z továrny. Na obr. 215 je znázorněno uložení vřetena hodinářských soustruhů značky „Lorch", u nás oblíbené; kuželové čepy jsou zalícovány v továrně, aby oba současně plně dosedaly. Vůli lze vymezit zadní matkou, přední matku nastavíme tak, aby se při axiálním tlaku kuželové čepy nedřely", potom utáhneme stavěcí šroubky, jež spojují řemeničku s vřetenem. Tlakové kuličkové ložisko je lepší řešení než pouhé prstence nebo plochý kužel na obr. 213. Ložisková pouzdra jsou většinou ocelová kalená, někdy bronzová, čepy vždy kalené. Obtížnější je a větší zkušenosti vyžaduje řešení vřeten pro maličké automaty na výrobu drobných součástek k hodinkám, kde otáčková rychlost je veliká (až 10 000 ot/min) a provoz trvalý. Zajímavá je otázka vůle u těchto uložení. Na soustruhu značky „BOLEY" (výška hrotů 65 mm) bylo lze bez nesnází točit čípky o průměru 0,1 mm, ač měření ukázalo značnou vůli v uložení. Nakreslíme-li věc v měřítku 330:1, dostaneme obr. 216; šrafovaný kruh jsou polohy, jež může zaujmout osa vřetena (měřeno na hlavě vřetena) v mezích vůle. Je vidět, že centrování tu obstarává mazadlo (v našem případě tuhý tuk); zmenšit vůli seřízením uložení se neosvědčilo, neboť ložiska se silně hřála. Maže-li se olejem, mohou a musí být vůle pochopitelně menší.

Uložení čípková

Uložení typické pro konstrukce hodinářské, ale časté i u různých jiných strojků. Čípky jsou vždy ocelové, při kvalitním provedení kalené a popuštěné do modra (tak, aby se právě ještě daly soustružit tvrdým ocelovým nožem), pečlivě leštěné. Méně často se užije materiálů jiných, na př. nerezavějící oceli, v nové době berylliového niklu. Průměry čípků mohou být řádu 5 mm, kde působí poměrně veliká síla (čepy pérovníků nebo bubnu u hodin), u měřicích ručičkových přístrojů bývají řádu 1 mm, u rychle běžících hřídelíků v hodinkách několik desetin milimetru, čípky setrvaček mají (podle velikosti a jemnosti hodinek) průměry 0,08—0,12 mm. Délka čepu nemá být veliká, rozumné maximum je trojnásobek průměru; dlouhý tenký čep se snadno zlomí, a poněvadž se prohýbá, nenese po délce stejnoměrně. Ohybové namáhání z týchž důvodů nevolíme přes 10 kg/mm². Specifický tlak v ložisku bývá velmi různý; u zatížených čepů není dobře jít přes 20 kg/cm² = 200 g/mm², jde-li se (v hodinářství) výše, je třeba počítat s větším opotřebením.

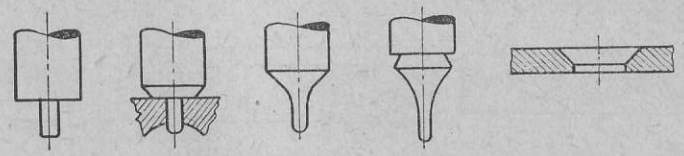
Moment tření je úměrný průměru; proto tenké čípky v hodinářství, kde se jde u setrvaček chronometrů do krajnosti (⌀ 0,18—0,20 při váze setrvačky ∼ 12 g), ovšem za cenu křehkosti. Na čep průměru d působí tření $\mu \cdot P$ (μ součinitel tření, P zatížení v gramech), které dává moment tření v g · mm)

$$M = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot P \cdot d \text{ (g, mm, g} \cdot \text{mm)} \qquad (4)$$

Podle nečetných známých měření je pro klidné tření v mosazném ložisku

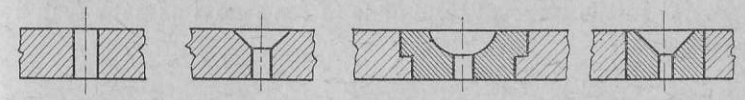
$$\mu/2 = 0{,}06 \div 0{,}16, \qquad (5)$$

což dává překvapivě vysokou hodnotu pro μ. V pohybu (pomalém) je μ menší, v průměru asi o 30%. Mazání nemá valný vliv na velikost tření, ovšem podstatně snižuje opotřebení. Teprve při rychlém otáčení začíná být vliv mazání znatelný a součinitel tření klesá. Čepy otáčející se v kamenech mají μ menší, v klidu snad asi o 0,1, v mírném pohybu asi 0,05 (s mazáním).



Obr. 217. *Obr. 218.* *Obr. 219.* *Obr. 220.* *Obr. 221.*

Tvar čepu je zpravidla válcový. Pouhé osazení hřídele podle obr. 217 je provedení nejméně dokonalé. Lepší (v hodinářství standardní) je provedení na obr. 218; kuželovou plošku lze uložit v soustruhu, jehož koníček nese desku s otvory podle obr. 221, a pak čep přeleštit, po příp. místo ulomeného čepu „zavrtat" čep nový, což je běžná práce hodinářova (a při dobrém provedení žádná „fušeřina"). Toto provedení má též výhodu, že při bočním zatížení je tření menší, poněvadž hřídelík doléhá ploškou menšího průměru. V tom směru je nejlepší provedení s čepem podle obr. 219, jenž osově doléhá na destičku nebo na kámen. Místo kuželového zúžení hřídele se prováději běžně u setrvaček čepy podle obr. 220 („trumpetové"), s pěkným oblým přechodem a s drážkou, která brání (nebo má bránit), aby se olej nerozlézal z ložiska; je jasné, že zaoblený konec těchto čepů je dokonale vyleštěn.

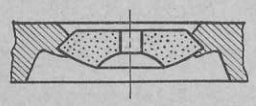


Obr. 222. *Obr. 223.* *Obr. 224.* *Obr. 225.*

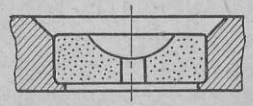
Ložiska pro čípky jsou často vyvrtána přímo v deskách (nebo můstcích) hodinového stroje. Provedení podle obr. 222 není valné, dobré a skoro standardní provedení je podle obr. 223, s jamkou (kuželovou, častěji kulovou), která je zásobárnou oleje a do níž čep trochu vyčnívá (obr. 218). Jakost ložiska závisí na tvrdosti mosazi; staří hodináři utvrzovali mosazné desky pracným tepáním až na 60% původní tloušťky, dnes užíváme tvrdých a válcováním utvrzených mosazí. Vyběhá-li se ložiskový vývrt, nezbývá než jej „vyfutrovat", t. j. důkladně rozšířit a zlehka do něho zanýtovat nebo ztuha na závit zavrtat kousek tvrdé mosazi, do něhož se pak vyvrtá nové ložisko. Tuto práci při níž stále hrozí, že ztratíme správný střed, můžeme podstatně usnadnit, užijeme-li zvláštních, do desky zaražených ložiskových pouzder podle obr. 224 nebo 225; druhou výhodou je, že deska může být z materiálu jakéhokoliv, třeba (pro elektrickou isolaci) z pertinaxu, a tyto vložky lze ovšem snadno

vyměnit. U německých leteckých měřicích přístrojů často najdeme ložiskové vložky ztuha zavrtané jemným závitem a vrtané trochu excentricky; natočením vložky lze osu hřídelíku podle potřeby posunout.

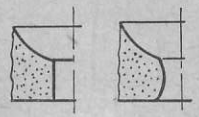
Ještě lepším materiálem pro ložiska je dobrý kámen. Měkčí kameny (granáty) nebývají lepší než dobrá mosaz. Dobře vyhovují safíry a rubíny, dnes většinou synthetické: jsou tvrdé, lze je dokonale vyleštit, šetří čep, jsou (na



Obr. 226.

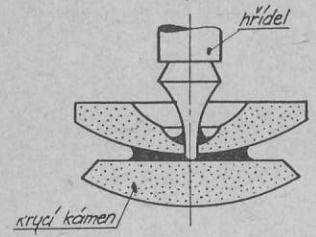


Obr. 227.

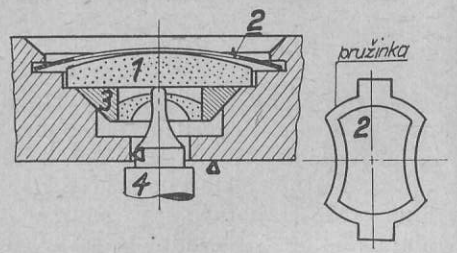


Obr. 228. Obr. 229.

rozdíl od kovů) chemicky netečné k mazacím olejům. Do mosazné součásti je kámen různého, ale vždy rotačního tvaru vsazen jako na obr. 226 a upevněn přehnutím podle obr. 16. Nevýhodou zde je, že při výměně (obyčejně prasklého) kamene se poškodí uložení. Proto se u nejlepších hodinek a chronometrů užívá zvláštních vložek ze zlaté slitiny (šatonů), v nichž jsou kameny přehybem upevněny; vložky jsou pak prostě zalisovány, častěji jen vsazeny a drženy přesahujícími hlavami tří malých šroubků. Tovární výroba kamenů však pokročila dnes tak, že je lze vyrábět s tolerancí (na průměru) asi 1 mikron a rovnou vlisovat, jak je vidět na obr. 227; to znamená rychlou práci v továrně, ale také rychlou a bezvadnou opravu u hodináře, který ovšem musí mít normované precisní výhlubníky a příslušný miniaturní pákový lis. — Otvory kamenů mají vývrt buď válcový jako na obr. 228, nebo jsou provedeny trochu jako průvlaky k tažení drátu (obr. 229), čili „olivovány" (olivé), a to proto, aby se snížilo viskosní tření oleje (u čepů málo namáhaných a rychleji se pohybujících).



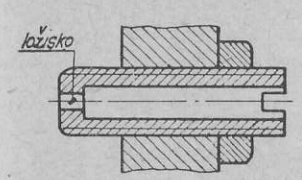
Obr. 230.



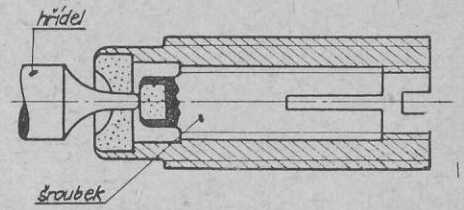
Obr. 231.

Kromě kamenů provrtaných užíváme též kamenů bez vývrtu, s jednou plochou rovinnou, zvaných *kameny krycí* (koncové), o něž se opírá čelo čepu ležícího ve vývrtu druhého kamene nebo jen v ložisku mosazném. Provrtaný a krycí kámen představují nejdokonalejší (a také ovšem nejnákladnější) uložení čepu. To je běžné uložení všech setrvaček slušných kapesních hodinek

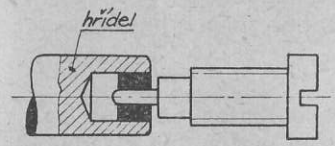
a chronometrů, uložení stoupacího kola u strojů nejjemnějších, ale také uložení hřídelíků v jiných, pečlivě provedených přístrojích měřicích. Obr. 230 představuje uložení setrvačky námořního chronometru. Tvar vrtaného kamene je volen tak, aby olej (na obr. naznačený černě) byl kapilární silou přidržován k čepu; zajímavé je dvojité vybroušení vrtaného kamene, jímž je na minimum omezena styčná plocha s čepem. Krycí kámen spodního ložiska, který nese váhu setrvačky (stroj je vodorovný, montovaný v kardanu), bývá často diamantový ve formě ploché routy. Tenké čípky setrvačky se prudším otřesem lehko lámou, proto v poslední době švýcarské továrny zavádějí ochranné uložení proti nárazu nebo pádu hodinek (pare-choc). Jedno takové uložení je vidět na obr. 231. Krycí kámen *1*, na který tlačí jemná pružinka *2*, přitlačuje do kuželového lůžka prsten *3*, v němž je zasazen kámen vrtaný. Poněvadž pružinka má předpětí, chová se celé uložení normálně jako tuhé. Při nárazu však inerční síla setrvačky přemůže tlak pružinky, uložení čípku se poddá, poté hřídel setrvačky *4* narazí podle směru inerční síly na některou plochu označenou *A*. Možných konstrukcí je více, ale všechny mají společný princip: setrvačka má jaksi dvoje uložení, jedno těsné (v kamenech), druhé s velikou vůlí, do něhož dolehne, když se těsné uložení poddalo nárazu. Účinnost je tak dobrá, že hodinky snesou pád s výše stolu, větší výška pádu ovšem může způsobit, že se zlomí některý jiný čípek nebo že praskne jiný kámen. Jedno ložisko setrvačky je vždy v základní destičce hodinek (,,platině'), druhé je v konsole podle obr. 87.



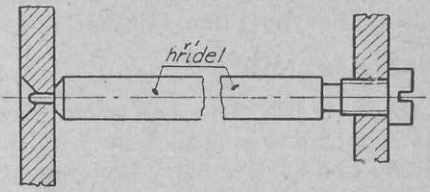
Obr. 232.



Obr. 233.



Obr. 234.

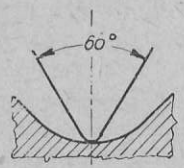


Obr. 235.

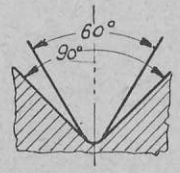
Hřídele s čípky mohou být (na př. v hodinách) uloženy ve dvou deskách, v nichž jsou ložiska vyvrtána nebo zasazena. Je však mnoho případů (u mnohých měřicích přístrojů: aneroidů, letadlových rychloměrů a j.), kdy hřídel je uložen mezi dvěma sloupky nebo podobnými součástmi rámu. Pak lze

montáž ulehčit tím, že ložiska jsou ve šroubech, jejichž uvolněním lze hřídel vyjmout; na obr. 232 je znázorněn takový šroub tvořící přímo ložisko. Na obr. 233 je vidět šroub obsahující velmi dokonalé uložení kamenové; malý krycí kámen je ve vnitřním šroubku, jímž lze vymezit axiální vůli (tento šroubek je rozříznut a napružen nebo se zajistí lakem).

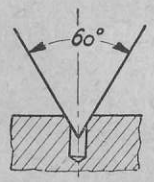
Čep je nejčastěji vytvořen z hřídele (vzácněji do čela hřídele zaražen), v zásadě však stejně dobře může být vytvořen ze šroubku jako na obr. 234; není-li hřídel z vhodného ložiskového materiálu, je do jeho konce vlisována vložka z mosazi nebo vsazen kámen. Tento způsob může být výhodný, je-li hřídel z materiálu nevhodného pro čep. Podléhá-li přístroj vibracím, může se stát, že hřídel jeví snahu se otáčet, čili že vzniká moment, který ovšem může falšovat měření. Tento moment má jiné znaménko u provedení podle obr. 232 než u provedení podle obr. 234; můžeme si tedy pomoci tak, že pro hřídel užijeme obou způsobů uložení, jak ukazuje obr. 235. Na druhé straně ovšem vibrace citelně zmenšují tření v mechanismu. Odtud stará praxe poklepat na přístroj (aneroid, tlakoměr, ale také na rtuťový barometr nebo tlakoměr) před odečtením; cejchujeme-li letecké výškoměry pod recipientem, dáme tam elektromagnetické klepátko, jež uvedeme před čtením v činnost; dokonce i Amslerův kyvadlový manometr, uložený v kuličkových ložiskách, je citlivější, je-li olejová pumpa namontována na jeho rámu.



Obr. 236.



Obr. 237.



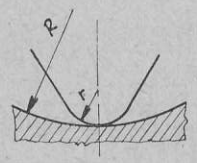
Obr. 238.

Z předešlého vyplývá, že uložení čepové je vhodné tam, kde jde o častý nebo stálý pohyb, poněvadž specifické zatížení a tím opotřebení lze držet na nízkých hodnotách, tedy pro všechny stroje hodinové a podobné opravdu běhající mechanismy; nevyhoví tam, kde záleží na uložení přesném a bez vůle.

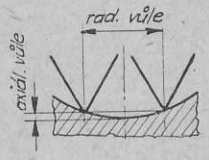
Uložení hrotová

U tohoto, v jemné mechanice často užívaného uložení jsou kuželové hroty místo čepů; hroty jsou uloženy v důlcích. Jsou možné dva zásadně odlišné způsoby: buď spočívá ostrý hrot v jamce se dnem přibližně kulového tvaru (obr. 236), to je hrotové uložení (špičkové) v pravém smyslu, dávající nejmenší tření. Nebo je kuželový hrot uložen podle obr. 238; hrot tedy funguje jako kuželový čep malého průměru a je nejdokonaleji centrován. Mezi oběma je možné uložení podle obr. 237, u něhož souhlasí poloměry křivosti hrotu a ložiska; tohoto, jinak velmi dobrého uložení se mnoho neužívá, poněvadž zaoblení jamky lze provést jedině speciálním, na příslušný poloměr pracně vylapovaným důlčíkem, t. j. pouze v oceli; vybrousit podobné ložisko v kameni je téměř nemožné.

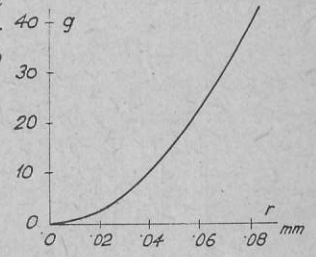
Hrotové uložení prvního typu má tvrdý ocelový hrot, který spočívá v tvrdém ocelovém, lépe achátovém, nejlépe v safírovém ložisku. Poloměry zakřivení (obr. 239) bývají u nejjemnějších přístrojů $r = 0{,}01 — 0{,}03$ mm, $R = 0{,}1 — 0{,}2$ mm, u otočných systémů těžších a u hrubších přístrojů $r = 0{,}03—0{,}10$ mm $R = 0{,}2—0{,}3$ mm. Specifické tlaky mezi hrotem a ložiskem jsou těžko počitatelné, ale vždy velmi vysoké. Proto se uložení lehko



Obr. 239.



Obr. 240.



Obr. 241.

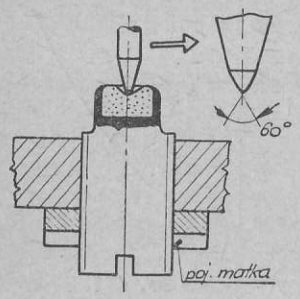
poškodí prudkým otřesem a vyžaduje jemného zacházení s přístrojem; hroty se někdy chrání pružnou konstrukcí uložení, bližší údaje o tom jsou v knize Trnka: Elektrické měřicí přístroje. Nosnost hrotu závisí zhruba na kvadrátu poloměru křivosti. Na rovném kameni má ocelový hrot podle měření Nat. Phys. Laboratory nosnost udanou v grafu obr. 241; podle toho je pro $r = 0{,}03$ mm nosnost 5,6 g; zakřivená jamka nosnost trochu zvýší. Toto uložení dává ze všech nejmenší tření, neboť při rotaci se hrot v ložisku vždy válí (kotálí), jak můžeme zjistit v každém budíku. Centrování není zato valné: hrotům je třeba dát jistou axiální vůli a ta pak způsobí, jak je vidět z obr. 240, mnohokrát větší vůli radiální. To příliš nevadí u elektrických a jiných jemnějších měřicích přístrojů. Tření je tak malé, že je možné hotovit voltmetry a ampérmetry přesnosti třídy 0,1, t. j. s chybou v mezích 0,1% rozsahu (0,1 V pro rozsah 100 V!). Mazáním se tření nezmenší, naopak trochu se zvětší tření klidové a důkladně se zvětší tření při rychlé rotaci, jak je vidět z měření (Vieweg—Gottwald: hrot 60°, $r = 0{,}05$ mm; ložisko achátové, $R = 0{,}3$ mm, váha otočného systému 0,53 g, olej pro kyvadlové hodiny):

Otáčivá rychlost	0	500	1500 ot/min
Hřídel svislý bez oleje	0,25	0,31	0,39 mg·cm
s olejem	0,35	0,65	1,22
Hřídel vodorovný bez oleje	0,66	0,73	0,82
s olejem	0,70	0,96	1,35

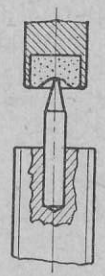
Nápadné je menší tření hřídele svisle stojícího: to je také poloha všech laboratorních měřicích strojů.

Hroty jsou vždy ocelové, kalené a lapováním vyleštěné do žádaného poloměru křivosti (kontroluje se mikroskopem). Ložiska v nejhrubším provedení jsou pouhé jamky v ocelových kalených šroubech, ložiska v lepším provedení jsou vybroušena z achátu, karneolu nebo granátu, v kvalitním provedení ze

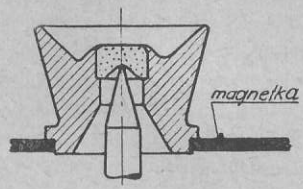
safíru. Hroty jsou nejčastěji na části otočné a ložiska jsou pak obyčejně ve šroubech podle obr. 242, jimiž je umožněna demontáž a jimiž lze vymezit vůli. Safírové ložisko je trvanlivé, avšak poškození a postupnému otupení je vystaven hrot, je tedy často výhodnější ložiska dát na část otočnou. Tu je nejlépe hroty zasadit (zalisovat) do šroubů, jak je vidět na obr. 243. Obr. 244 ukazuje pečlivě provedené uložení magnetické střelky; zde se žádá lehký chod při poměrně velké váze otáčivé části, proto je magnet normálně zachycen aretačním zařízením a spustí se na hrot jen



Obr. 242.

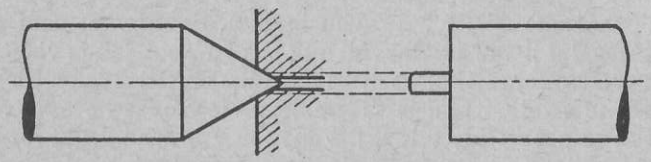


Obr. 243.



Obr. 244.

před odečítáním. — Nejhrubší provedení hrotového uložení najdeme u setrvačeк budíků; není to uložení pro hodiny nikterak vynikající, má však malé tření a fabrikačně je levnější než nejprimitivnější uložení čípkové (t. j. čípky v mosazi, často místo krycího kamene kousek ocelového plechu), ovšem trvanlivost nebývá valná.

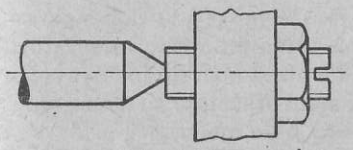


Obr. 245.

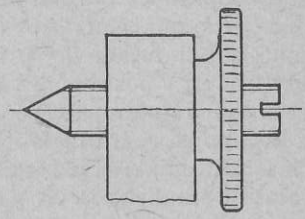
Druhý typ hrotového uložení (obr. 238) je v jemné mechanice zvláště rozšířen; je to standardní uložení pro planimetry, integrátory, precisní pantografy, barografy a jiné jemnější měřicí přístroje. Proti čípkovému uložení má dvě důležité přednosti: předně pevnost, jak je vidět z obr. 245, kde vedle hrotového uložení je nakreslen čípek o stejném středním průměru. Za druhé lze axiálním posuvem uložení libovolně utěsnit a obdržet nejdokonalejší realisaci otočného uložení, jakou dovedeme. Zde je dobře připomenout, že z tohoto fakta vydatně těžíme v obráběcí technice: soustružíme často ve hrotech a nejpřesnější soustružení a broušení vůbec je vždy v nehybných („mrtvých") hrotech, jsou-li ovšem pečlivě provedeny důlky v opracovaném kuse. Tření není přirozeně menší než v čepech téhož středního průměru; toto tření obyčejně zmenšujeme volbou malého průměru (vývrt v ložisku někdy pod 0,1 mm) a malé stykové hloubky, tedy volbou specifických zatížení daleko vyšších než u čípků

Tím je ovšem řečeno, že toto uložení se nehodí pro stálý běh (na př. pro hřídelíky hodin), nýbrž spíše pro pohyby občasné a malé.

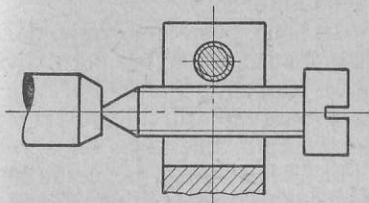
Je v podstatě lhostejné, je-li na hřídeli hrot nebo ložisko; v praxi užíváme obojího způsobu. Na obr. 246 je zahrocený hřídel uložen ve vývrtu šroubu,



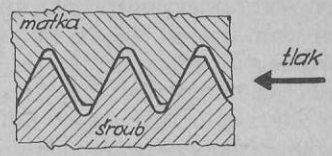
Obr. 246.



Obr. 247.

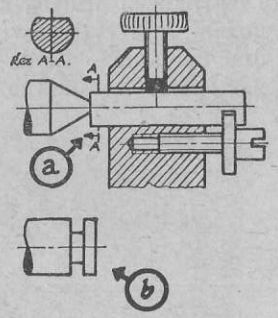


Obr. 248.

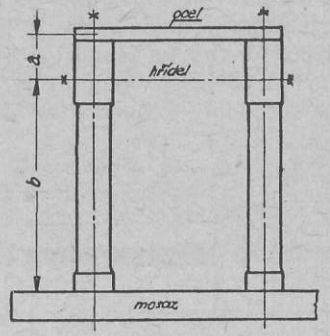


Obr. 249.

na obr. 248 je naopak šroubek zahrocen a ložisko je v hřídeli. Hrot je vždy ocelový, kalený a pečlivě vyleštěný; ložisko může být mosazné, ocelové, nejlépe ocelové a kalené. U leteckých měřicích přístrojů bývají do hřídele zasazeny provrtané kameny, do nichž pak zasahují kalené šroubky podle obr. 248,



Obr. 250.



Obr. 251.

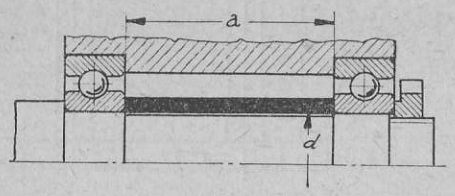
jejichž kužel bývá často štíhlejší než obvyklých 60°. Ložiskové šrouby jsou vždy zajištěny, nejjednodušeji přítužnou matkou (obr. 246); u starých přístrojů se užívalo přítužné matky rýhované (viz obr. 247). Toto pojištění je spolehlivé, ale seřizování není dost jemné. Šroub má vůli v závitu a tlakem

šroubováku si v matce sedne, jak ukazuje obr. 249; přitažením matky pak šroub trochu couvne. Lepší je zajištění tlakovým šroubkem (obr. 122), nejlepší je s matkou rozříznutou a staženou šroubkem (obr. 248); šroubek povolíme jen tolik, aby se ložiskovým šroubem dalo otáčet, nastavení je pak přesné a jisté. U popsaných uložení je poloha osy hřídele (zvláště krátkého) obecně trochu nejistá, poněvadž hrot (nebo jamka) nemůže být dokonale souosý se závitem. Jsou-li požadavky přísné (na př. u planimetrů a integrátorů), uloží se hroty hřídele v posuvném válečku podle obr. 250a, do jehož výřezu zabírá hlava stavěcího šroubu; aby se váleček nemohl otáčet, je na něm rovná ploška, na niž tlačí pojistný šroubek. Žádá-li se, aby bylo možné osu hřídele v malých mezích seřídit, udělá se jeden z ložiskových válečků většího průměru, otočný a pro stavěcí šroubek se vytočí drážka (obr. 250b); na válečku je dobře udělat vývrt nebo jinou značku, která ukazuje jeho natočení.

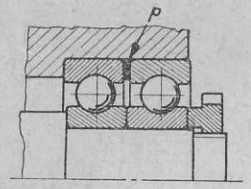
Jak již bylo řečeno, hrotové uložení druhého typu umožňuje dokonale centrovat hřídel a odstranit vůli. Zde však mohou zasáhnout teplotní dilatace: Je-li rám stroje z materiálu teplem se více roztahujícího než ocel hřídele, můžeme vůli odstranit jen pro nejnižší provozní teplotu, kdežto při vyšších teplotách bude vůle větší. U staničních barografů, kde se počítá s velikým rozpětím teplot, užívá se způsobu podle obr. 251: sloupky, jež nesou hrotové uložení hřídelíku, jsou nahoře (co nejblíže hřídelíku) spojeny navzájem ocelovou příčkou; vliv změn teploty bude zjevně tím menší, čím menší bude poměr a/b. Hřídel ovšem lze udělat též z mosazi a do jeho konců lze event. vlisovat ocelové hroty nebo vložky nebo zasadit kameny.

Valivá ložiska

Kuličková ložiska, původně zavedená v konstrukci bicyklů, rozšířila se přes automobilovou konstrukci do celého strojnictví a užíváme jich s výhodou i v jemné mechanice. Montujeme takto nejrůznější hřídele, kde nejsou zvláštní požadavky na těsnost a přesnost uložení, kde však je vítán lehký chod a nepatrné nároky na mazání. Samozřejmě užíváme — nejde-li o případy zcela speciální — normalisovaných ložisek, které lze snadno opatřit a



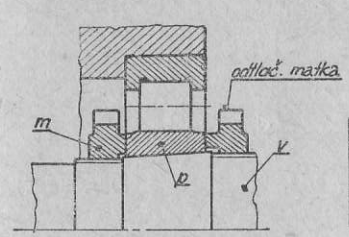
Obr. 252.



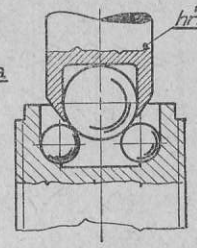
Obr. 253.

které jsou poměrně laciná; o jejich montáži a lícování platí vše, co najdeme v technických příručkách, a uděláme vždy dobře, řídíme-li se plně pokyny, jež jsou obsaženy v publikacích továren na tato ložiska. Otázka se stává nesnadnější, jsou-li vyšší požadavky na přesnost uložení. Kuličkové ložisko se

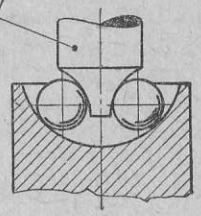
svým takřka bodovým stykem mezi kuličkami a prsteny (stejně válečkové se svým přímkovým stykem) při zatěžování jeví z počátku dost velké pružné deformace. Snažíme se tuto nežádoucí část čáry síla-deformace potlačit tím, že ložisku dáme určité předpětí. Tak na obr. 252 vyvoláme předpětí tím, že distanční trubku *d* uděláme o něco kratší, než je míra *a*. Dvě ložiska vedle sebe montovaná (obr. 253) dostanou předpětí, když vnější prsteny distancujeme tenkým plechovým prstencem *p*. U ložisek velikých (zejména válečkových) ve stavbě obráběcích strojů užíváme též způsobu na obr. 254: vnitřní prsten *p* vybroušený konicky je matkou *m* natlačen na kuželovou plochu vřetena *v*, tím je pružně roztažen a ložisko dostane předpětí. Zde je třeba dodat, že již obvyklá montáž ložiska vede k pružnému roztažení vnitřního a k stažení vnějšího prstene; bylo-li ložisko již předem těsné (a vyskytnou se ložiska více než těsná) a užijeme-li tužšího nalisování, může ložisko dostat značné, po případě nezamýšlené předpětí. Předpětí ložiska nevede vždy k žádanému výsledku. Dostaneme tak celkem vyhovující uložení pro vřetena obráběcích strojů průměrných, ne vždy uspokojivé uložení pro hřídele brusných kotoučů a většinou uložení nevyhovující pro vřetena precisních strojů obráběcích, zejména drobných soustruhů a automatů. Pro tyto vysoké požadavky raději užijeme ložisek kluzných, nejpřesněji lapovaných, dokonale leštěných a dobře mazaných. Kapitolou pro sebe jsou kuličková ložiska rychle rotujících setrvačníků v gyroskopických přístrojích (letecké zatáčkoměry, umělé horizonty atd.). Užívá se maličkých ložisek normálního jednořadého typu (na př. vrtání 3, vnější průměr 10, šířka ložiska 4 mm) nebo ložisek typu v podstatě „konusového" (jehož prototypem je náboj předního kola bicyklu), montovaných v rektifikačních šroubech, takže vůli lze podle zkušenosti a citu seřídit. Na obr. 255 znázorněno je ložisko s vodicím věncem (košíkem), v němž běží kulička zasazená v konci hřídele. Ložisko na obr. 256 je kulová miska pro pět kuliček bez vodicího věnce; hřídel je ukončen jako „konus" malého průměru.



Obr. 254.



Obr. 255.

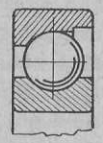


Obr. 256.

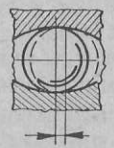
Tato ložiska nejsou, jak je vidět, citlivá na malé montážní nepřesnosti. Jejich spolehlivost v provozu závisí především na stejnosti kuliček; proto k podobným účelům továrny dodávají (za příplatek) kuličky zvlášť přesně tříděné, t. j. kuličky dodané sady se mezi sebou liší jen o zlomky mikronu.

U hřídelů, kde je žádán lehký a „jemný" chod, pociťuje se mnohdy nepříjemně jistá drsnost chodu mnohého ložiska, zejména je-li méně dobře prove-

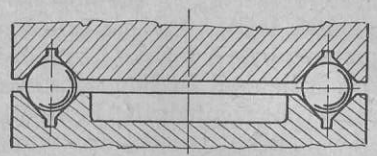
deno a ztuha, event. ještě nepřesně montováno. Tření je pak silně proměnlivé, dokonce místy i jaksi negativní, t. j. hřídel jakoby pružně zaskakoval do jistých úhlových poloh. Ne vždy se podaří dosáhnout měkkého, tak říkajíc viskosního tření, které často potřebujeme, a pak ovšem dáme přednost přesnému, těsnému a vhodně mazanému uložení kluznému, kuželovému nebo válcovému. Vhodnější jsou obecně ložiska volná, s trochou vůle, často se užívá jednostranných (v podstatě tedy „konusových") ložisek podle obr. 257, rovněž normalisovaných a oblíbených pro zapalovací magnetky a pod. elektrické přístroje; vůli si zde můžeme nastavit podle libosti. Je třeba mít na



Obr. 257.



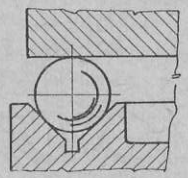
Obr. 258.



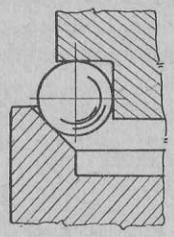
Obr. 259.

mysli, že opravdu přesnou částí ložiska jsou kuličky (tolerance 1—2 mikrony), mnohem menší je přesnost prstenů. Proto se mnohdy osvědčují kuličková uložení, kde dráhy pro kuličky jsou vytvořeny přímo na součástech stroje. Poněvadž zatížení ložiska v jemné mechanice bývá obyčejně malé až nepatrné, není podmínkou, aby kuličkové dráhy byly vždy ocelové a kalené; často vyhoví pouhá mosaz (kterou lze kuličkami uválet a tím utvrdit), ba i vstřiková litina. Užije-li se větších a tříděných kuliček, lze dosáhnout uložení uspokojivého i co do přesnosti.

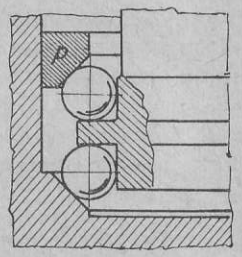
U těchto málo zatížených ložisek



Obr. 260.



Obr. 261.



Obr. 262.

nezáleží ovšem ani na profilu drážek, dbáme tedy především určitosti styku a užijeme drah válcových, rovinných a kuželových, jichž se kulička dotýká nejlépe ve třech bodech. To platí o ložiskách radiálních, axiálních i obojakých. Tak drážky podle obr. 258, obvyklé u běžných ložisek axiálních, dávají dotyk dvoubodový, který není jednoznačně definován, poněvadž kulička se udrží i ve vysunuté (čárkované) poloze, pokud tangenta tečny v dotykovém bodě nepřekročí koeficient tření — vysunutí kuličky však znamená vertikální posuv jedné půlky ložiska. Určité není ani uložení podle obr. 259, poněvadž

drážky nelze provést tak přesně, aby kuličky dosedaly ve čtyřech bodech po celé dráze. Určitá je poloha dotykových bodů podle obr. 260, styk je tříbodový, stejně jako při provedení podle obr. 261; působí-li síly všech směrů, lze toto uložení provést dvojitě (obr. 262) a jemným (a přesně translačním) posunem prstence *p* vymezit vůli v obou řadách kuliček. Tato ložiska, jež konají obyčejně jen malé pohyby, lze provést bez vodicího věnce; chceme-li zmenšit (obyčejně zbytečně veliký) počet kuliček, věnce ovšem užijeme. Za zmínku stojí, že se na věnci kuliček otáčí cirkumzenitál Nušl—Fričův; Dr Frič užil kuliček, když se byl ne bez překvapení přesvědčil, že jejich nepřesnosti lze zjistit jen nejpřesnějšími známými měřidly.

Důležitá jsou kuličková ložiska pro převodové páky různých *siloměrných mechanismů*. Dříve se užívalo jen uložení břitových, až A. Amsler zavedl kuličková ložiska u svých zkoušecích strojů a po jeho příkladu postupně jiné továrny. Koeficient tření u normálních jednořadových radiálních ložisek, vztažený na poloměr vývrtu ložiska, je 0,001—0,002, dvouřadá ložiska samostavná mají tření o málo vyšší. To znamená, že mohou konkurovat robustnějším (to jest méně ostrým) břitům, nad něž vynikají schopnosti přejímat síly všech směrů, trvanlivostí a snadnou vyměnitelností. Lze jimi při přenosu síly dosáhnout značné přesnosti. Tak podle pokusů pisatelových při přenosu síly 40 kg tenkým lanem vedeným přes kladku ⌀ 250 mm, otáčející se na kuličkovém ložisku, činilo tření 0,5—0,7% přenášené síly; při přenosu stejné síly rovnoramennou pákou (rameno asi 300 mm) byla ztráta jen 0,02%, čili tato páka by obstála jakožto vahadlo „precisních" vah (cejch s hvězdičkou); u sklonné váhy, měřící síly řádu 300 kg, byla chyba pod 0,1%; naproti tomu u krátké páky, uložené na pouhých čepech, činilo tření až 8%. Volba ložiska se řídí přirozeně maximální hodnotou působící síly. Poněvadž úhlové pohyby jsou obyčejně nepatrné a síla může působit i dlouhou dobu, je třeba opatrnosti ve volbě ložiska. Nepřichází tu v úvahu dovolené zatížení při pomalém otáčení otáčení (10—15 ot/min), udané v katalogu, nýbrž ono zatížení, které ani po delší době nepůsobí dolíčkování („brinellování") drážek. Zatížení způsobí vysoké specifické tlaky mezi kuličkou a drážkou, a tím také deformace, které zůstávají převážně pružné, pokud se ložisko i jen zvolna otáčí a body dotyku stále mění (materiál ovšem je unavován), ale stávají se plastickými, trvá-li dotyk na místě, t. j. je-li ložisko v klidu. Zde se uplatňuje dosud málo probádaný faktor časový; je dávno známo, že materiál vždy ukáže větší pevnost při zatěžování rychlém než při zatížení dlouhodobém, a každá deformace předpokládá nejen působící sílu, nýbrž i určitý čas, u tvrdé ložiskové oceli poměrně dlouhý. Je pochopitelné, že takto poznamenané ložisko dostává drsný chod, který se snese snad u řízení letadla, ne však u měřících systémů. Toto bezpečné zatížení je mnohem (řádově dvakrát, třikrát) menší než zatížení dovolené při malé otáčkové rychlosti a je moderními továrnami dnes v tabulkách uváděno.

Z tabulek známé firmy SKF vychází pro axiální ložisko (obr. 258) nosnost

$$F_o = 4\,n \cdot d^2 \text{ (mm, kg)}, \qquad (6)$$

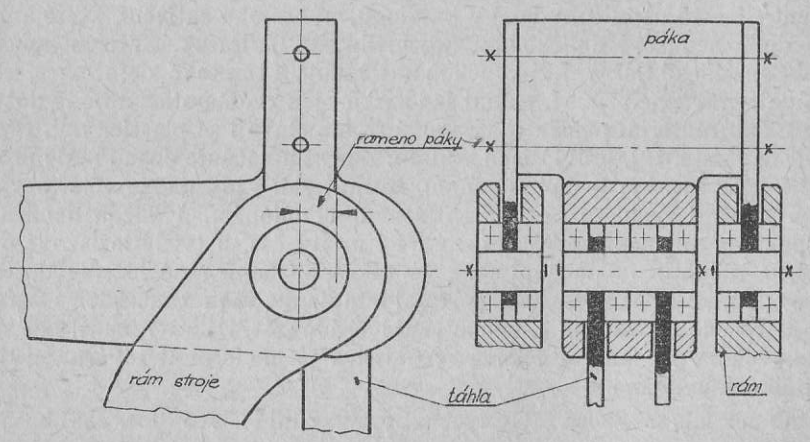
kde d je průměr, n počet kuliček. V ložisku radiálním nese jen polovina kuliček (a ještě nestejně) a jeho nosnost je tedy pouze

$$F_o = n \cdot d^2 \text{ (mm, kg)}. \qquad (7)$$

Jednostranné (opěrné) ložisko podle obr. 257 snese asi o 12% méně, ložisko dvouřadé samostavné asi o 60% méně, než dává rovnice (7). V následující tabulce jsou nosnosti pro normální ložiska radiální jednořadá (SKF):

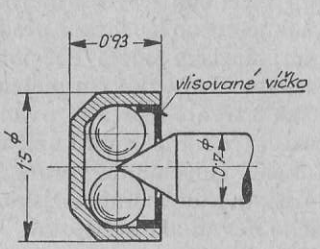
Vrtání mm	Průměr mm	Šířka mm	Nosnost kg	Vrtání mm	Průměr mm	Šířka mm	Nosnost kg
4	13	5	34	25	47	12	405
5	16	5	60	30	55	13	560
6	19	6	94	35	62	14	690
8	22	7	110	40	68	15	750
10	26	8	160	45	75	16	990
12	28	8	180	50	80	16	1060
15	32	9	200	55	90	18	1390
17	35	10	225	60	95	18	1500
20	42	12	360				

Nestejnoměrný přírůstek nosnosti se stoupajícím průměrem se vysvětluje tím, že je užito kuliček jen devíti různých průměrů.

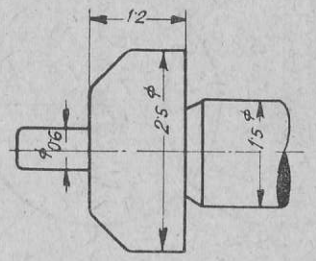


Obr. 263.

Páky přenášející síly konstruujeme podle obvyklých zásad strojnických a stejně jejich uložení. Zvláštní péče je třeba v případech, kdy je třeba šetřit materiálem, aby byly zmenšeny setrvačné hmoty (má-li mechanismus registrovat rychle se měnící síly). Obtíže činí poměrně veliký průměr kuličkových ložisek, je-li rameno páky krátké. Tu se hodí starý konstrukční trik Amslerův, naznačený na obr. 263; je užito osmi ložisek, čepy přenášející síly jsou málo namáhány a rameno páky může být libovolně krátké.



Obr. 264.



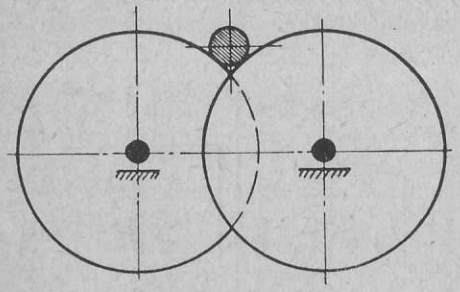
Obr. 265.

Před válkou byla ve Švýcarsku založena výroba *miniaturních kuličkových ložisek*, kterými lze mnohdy nahradit obyčejná uložení čípková a hrotová. Ložisko na obr. 264 je určeno pro hřídel zahrocený (dostáváme tím náhradu za uložení hrotové), na obr. 265 prochází ložiskem ve formě tenkého čípku, určeného na př. k nasazení ručky. Nejmenší ložiska (vnější průměr 1 a 1,5 mm!) jsou bez košíku, větší ložiska s košíkem. Nosnost v závislosti na otáčivé rychlosti udává následující tabulka (v gramech).

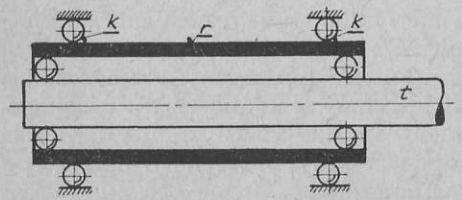
ø	1	1,5	2,5	4	7	10 mm
15 ot/min	51	110	300	730	2100	6000 g
100 „	40	90	250	600	1800	5000
500 „	26	65	170	410	1400	3700
1 000 „	20	50	140	330	1000	3000
5 000 „	7	20	45	100	360	970
10 000 „	4	10	25	60	190	520

Dovolené zatížení trvalé není udáno, ale sotva se dopustíme chyby, vezmeme-li třetinu hodnot v prvním řádku (pro 15 ot/min). Dlužno dodat, že tato ložiska — na rozdíl od popsaných uložení hrotových — jsou schopna rychlého a trvalého běhu. Jejich zavedení dalo konstruktéru nové možnosti a je zároveň důkazem, jak pokročila výrobní technika. Bylo jich užito úspěšně ve „větším" hodinářství, ve stavbě elektroměrů, v konstrukci integrátorů a planimetrů.

Kuličková ložiska jsou, jak je vidět, konstruktivním prvkem mnohostranně upotřebitelným pro různé úkoly. Jejich užití vyžaduje jisté péči ve výrobě; potřebné míry a tolerance najdeme v katalogu každého výrobce. Konstruktér učiní vždy dobře, postará-li se trochu o ochranu těchto ložisek před jejich úhlavním nepřítelem — prachem, který zvyšuje tření a ještě více opotřebení. Mazání tu nebude činit starosti. Každé mazadlo zvyšuje tření, a to tím více, čím je viskosnější. Mazat však je nutno k ochraně před rezivěním; ložiska málo se pohybující mažeme tedy řídkým olejem, jde-li však o trvalý běh (a zároveň o minimální tření), lze dobře užít mazadla tuhého (speciálního pro kuličková ložiska), které chrání ložisko, aby do něho nevnikala nečistota.



Obr. 266.

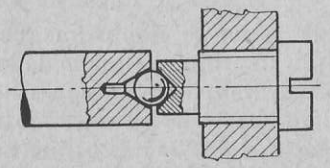


Obr. 267.

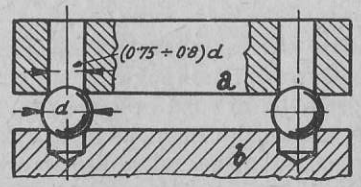
Kapitolu o valivých ložiskách uzavřeme poukazem na *ložiska jehlová* (která ovšem nejsou plně ložisky valivými), známá ve strojnictví, a zmínkou o valivém uložení snad nejstarším — *o uložení na kotoučích* (obr. 266), dříve hojně užívaném v hodinářství a v jemné mechanice, dnes snad již jen u strojů k vyvažování rotujících součástí, vrtulí a pod.; jsou-li kotouče samy uloženy na kuličkách, je tření velmi malé. Kuličková ložiska sama nejsou dost jemná pro uložení trnu, na němž se součásti vyvažují; nesnáz se odstraní tím, že trn *t* je uložen v dutém hřídeli *r*, který je uložen v rámu stroje a je spojen s vibrátorem, takže stále koná úhlové kmity (obr. 267, soustava Losenhausen).

Různé užití ložiskových kuliček

Vysoká přesnost a dokonalá politura činí z kuliček vhodný konstrukční prvek pro nejrůznější další účely a pro laboratorní improvisace. Uložení stejně

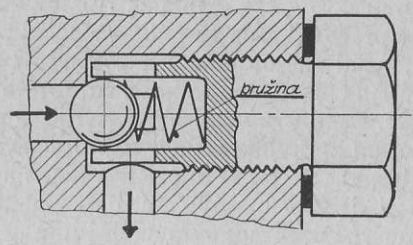


Obr. 268.

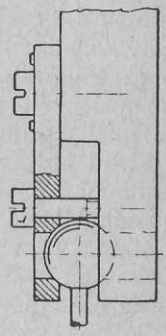


Obr. 269.

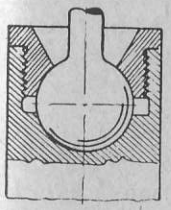
přesné (ovšem s větším třením) jako hrotové ukazuje obr. 268. Je-li třeba skloubení pro malé úhlové pohyby, dokonale těsného a spojeného s jistým třením, lze užít způsobu znázorněného na obr. 269: Obě části *a*, *b* (z téhož materiálu) se spojí, provrtají, pak se mezi ně vloží kuličky a smáčknutím celku dosáhneme toho, že si kuličky vytvoří úzké a přesné ložiskové plochy; součásti *a*, *b* musí být ovšem k sobě tlačeny vahou nebo pružinou. Je-li materiál obou součástí nestejné tepelné roztažnosti, nahradí se jeden vývrt žlábkem směřujícím k druhé kuličce. Když N. Žukovskij potřeboval k svým aerodynamickým měřením desku, která by byla bez tření a všestranně ve své rovině pohyblivá, užil desky z brouseného skla, která třemi velkými kuličkami spočívala na druhé skleněné desce. Kuličky mohou fungovat též jako ventily, jak jich již dávno užívá Amsler pro vysokotlaké (asi 200 kg/cm²) olejové pumpy zkoušecích strojů. Na obr. 270 je vidět takový kuličkový ventil; kulička je přitlačována pružinkou a je vedena prořezaným prodloužením uzavíracího šroubu. Tlačí-li na kuličku rovný konec šroubu, dostaneme dobrý uzavírací ventil, atd.



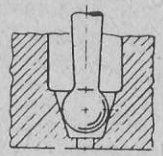
Obr. 270.



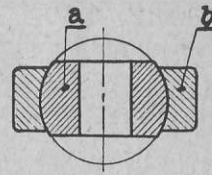
Obr. 271.



Obr. 272.



Obr. 273.



Obr. 274.

Kulové klouby

Ukázky kulových kloubů byly již znázorněny na obr. 150, 151 a 153. Jiná varianta je na obr. 271, kde kloub lze utěsnit přitažením šroubku *r*. U odstředivých tachometrů najdeme kloub podle obr. 272. Na obr. 273 je znázorněn detail kompensačního planimetru; kulička na vodicím (pólovém) ramenu zapadá vahou do ložiska v pojezdné části planimetru. V letectví užívali Němci hojně kulových kloubů podle obr. 274; aby se část *a* dala vložit, jsou v části *b* dva mělké protilehlé výřezy. Tyto klouby měly vnější tvar a rozměry

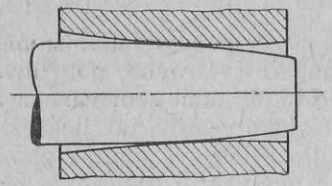
obyčejných kuličkových ložisek. Jako kulových kloubů podobně pohyblivých lze užít známých dvouřadových samostavných ložisek kuličkových, event. podobných, ale větší pohyblivostí nadaných ložisek speciálních (SKF).

Otočná uložení úhloměrných strojů

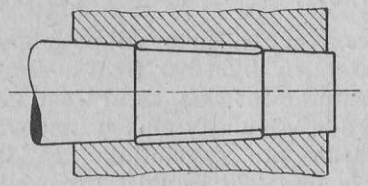
Zde jde o velkou skupinu strojů pozorovacích a měřicích, které pracují většinou s dalekohledem, takže lze mluvit o uložení dalekohledu, otočného někdy kolem jedné, často kolem dvou os na sebe kolmých. Sem patří theodolity a stroje nivelační, různé dalekohledové stroje hvězdářů, mnoho strojů ryze optických (spektrometry, refraktometry, goniometry), ale také kruhové stroje dělicí a jiné přesné stroje pracovní. Jde tu tedy o uložení robustní (na rozdíl od hrotových), větších, někdy až obrovských rozměrů (velké stroje astronomické), od nichž vyžadujeme přesnost a těsnost, naproti tomu pohyby jsou zde pomalé, občasné a malé. Osa bývá vodorovná, svislá, u ekvatoreálů též šikmá. U svislých os je uložení zpravidla letmé, t. j. otočná část je nad ložiskovým systémem. U vodorovných os je uložení většinou takové, že otočná část (dalekohled) je mezi dvěma ložisky; je-li dalekohled montován vně ložisek, bývá vyvážen souměrně uspořádaným závažím, aby obě ložiska byla zatížena stejným způsobem. U šikmých os najdeme montáž letmo i mezi ložisky. Je-li váha otočné části veliká — a u astronomických strojů to mohou být desítky tun — užíváme různých způsobů odlehčení, abychom přesné uložení chránili před rychlým opotřebením a abychom zmenšili tření.

Letmá uložení kuželová

Svislá letmá uložení se dělala dříve výhradně *kuželová*. K přesnému opracování kuželových ploch stačil prostý soustruh a vysoké přesnosti bylo lze dosáhnout poměrně snadno jemným zabroušením kužele s ložiskem. Poněvadž



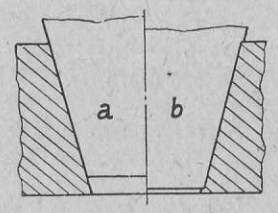
Obr. 275.



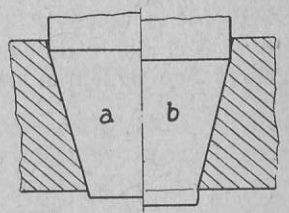
Obr. 276.

zabrušování (a každé jiné lícování) snadno vede k výsledku přehnaně znázorněnému na obr. 275, omezujeme styčnou plochu na dva pásy podle obr. 276; čtenář si připomene analogii rovinných vodicích ploch, obr. 159. Hlubším zabroušením kužele, jehož původní poloha v ložisku byla jako na obr. 277a, mohou vzniknout znatelné schody (obr. 277b) a dosedání kužele se stává nejistým; proto je dobře zařídit se, jak ukazují obr. 278a, b (totéž platí o zabrušování kuželového kohoutu). Je samozřejmé, že zabrušování má být jen konečnou retuší, plochy lze dnes opracovat daleko přesněji, než mohl starý „mechanikus".

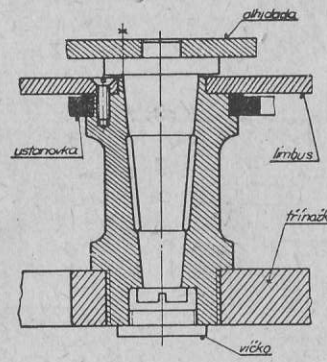
Příklad vertikálního uložení kuželového na obr. 279 odpovídá jednoduchému theodolitu, ale také uložení spektrometru nebo refraktometru. Ložisko je se spodkem stroje (u theodolitu je to třínožka, jež stojí na stavěcích šroubech) spojeno závitem nebo je zapuštěno a drženo několika zapuštěnými šrouby (obr. 281). K ložisku je přišroubován *limbus*, t. j. kotouč opatřený na obvodu úhlovým dělením. Kuželový čep má nahoře přírubu, k níž je přišroubována *alhidada*, t. j. nosič odečítacích vernierů nebo mikroskopů, a vidlice pro vodorovné otočné uložení dalekohledu, jde-li o theodolit, nebo pevný nosič dalekohledu u jiných strojů. Čep může být odlit v celku s alhidadovou částí, oddělený čep je však častější a výhodnější, poněvadž se dá snadno a přesně obrábět ve hrotech a může být pak ocelový. Ložisko je mosazné, lze však užít i zalisovaných ložiskových pouzder (obr. 282), která pak mohou být ocelová, po př. kalená (a pak i čep je kalený). Aby se čep nemohl z ložiska vytáhnout, je do něho vespod zavrtán šroub s přesahující hlavou (obr. 279); nechceme-li ztratit soustružní důlek (ten může být později dobrý při opravě), užijeme lépe matky (obr. 280) s podložním prstencem, jehož obroušením můžeme vymezit axiální vůli. Tak je tomu na obr. 282, kde je čep s otočnou částí spojen závitem (stroj bez limbu, na př. nivelační). Kuželovitost čepů



Obr. 277.

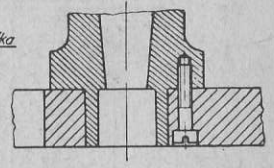


Obr. 278.

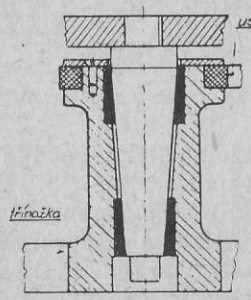


Obr. 279.

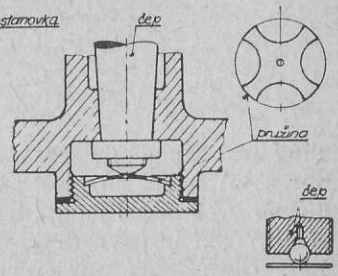
Obr. 280.



Obr. 281.

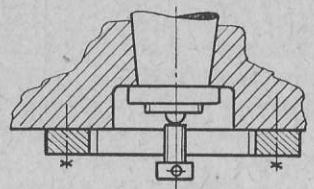


Obr. 282.

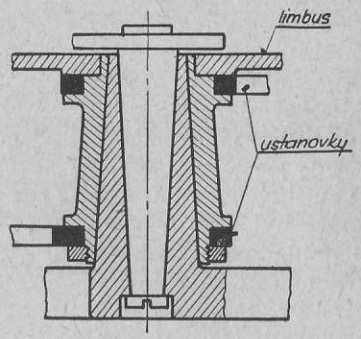


Obr. 283. *Obr. 284.*

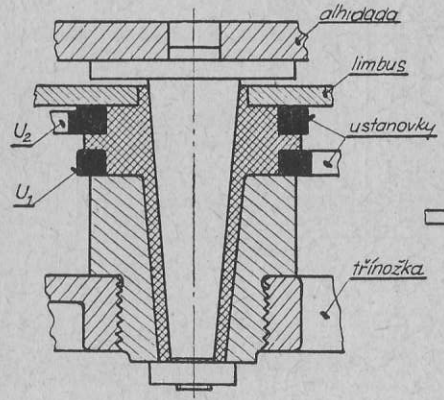
je vesměs velmi malá, obyčejně 1 : 10 až 1 : 20. Přesto u menších strojů není nebezpečí, že by se kužel „zasekl", poněvadž specifický tlak je malý, jen několik málo kg/cm², takže správně volené mazadlo obě části bezpečně odděluje. Teprve u těžších strojů je záhodno kuželové uložení odlehčit, což lze provést dvojím způsobem. Buď spočívá čep na předpjaté pružině (obr. 283) svým zaokrouhleným koncem nebo lépe kuličkou vloženou do soustružního důlku (obr. 284); pružina nese největší část váhy, zbytek pak stačí k tomu, aby kužel dobře dosedal. Anebo je kuželový čep podepřen stavěcím šroubem,



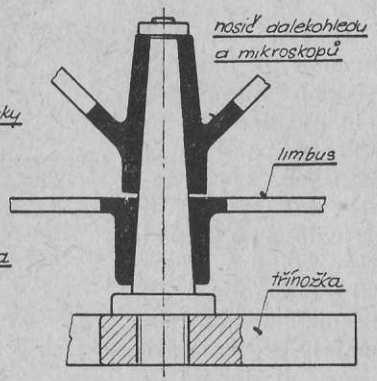
Obr. 285.



Obr. 286.



Obr. 287.



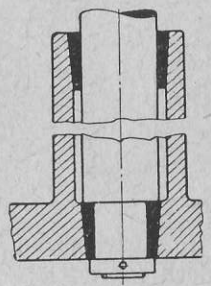
Obr. 288.

jehož hrot zapadá do soustružního důlku, nebo je do důlku vsazena kulička (obr. 285) sedící na plošce šroubu. Šroub je třeba seřídit pečlivě, jinak se uložení viklá nebo je šroub zbytečný; šroub se zajistí známým způsobem, na obr. 285 je zavrtán do rozříznuté a napružené matky (jako na obr. 119, 120). U těžkých strojů nestačí pružná destička podle obr. 283 a užívá se konstrukcí složitějších, se silnými vinutými pružinami, pák se závažími atd.

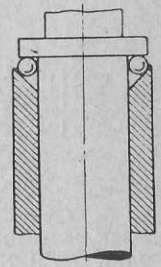
U theodolitů, které pracují starou a podnes užívanou methodou repetiční (viz dále), je otočný též limbus. Nemá-li výška stroje vyjít nepřijemně veliká, provádíme uložení pro obojí otáčení soustředná. Jedna možnost je znázorněna na obr. 287, kde se limbus otáčí kuželovým čepem v pevném ložisku a v jeho dutém čepu je pak ložisko pro kuželový čep alhidadový. Podle druhého způsobu se otáčí alhidada v pevném ložisku (obr. 286), na jehož vnější kuželové ploše se otáčí limbus. Užívá se obou způsobů, oba však mají stejnou slabinu — nelze dosáhnout dokonalé souososti. Jsou-li obě otočné osy rovnoběžné, vzniká jen malá excentricita, kterou lze zneškodnit odečítáním dvěma verniery, jak později uvidíme. Horší je, jsou-li osy mimoběžné, neboť pak osa alhidady obecně není nikdy svislá. Z tohoto důvodu není (a ještě z jiných) repetiční methoda vhodná pro měření přesná. Přesto u precisních theodolitů se dělá limbus otočný, ale jen „na postrk", t. j. limbus můžeme rukou pootočit, abychom při opakovaném měření četli na jiných místech dělení. Pak lze užít konstrukce podle obr. 286; veliké theodolity pro přesnou triangulaci měly jednoduchou a účelnou konstrukci s „pevnou osou" (obr. 288), na jejímž kuželi je otočná alhidada i limbus, což znamená přesnou souosost, ale také trochu velkou výšku stroje. U provedení podle obr. 287 najdeme někdy odlehčení obou čepů pružinami; pružina pro limbus má ovšem otvor, jímž prochází konec čepu alhidady.

Letmá uložení cylindrická

Pokrok výrobní techniky vedl k tomu, že některé továrny (Zeiss, Wild) začaly užívat jednoduchých uložení válcových. Válcové plochy lze dnes přesně obrobit broušením a zbylé chyby ještě zmenšit lapováním čepu a ložiska. Čep je vždy ocelový a kalený, obyčejně i ložisko, lapováním lze tedy dosáhnout přesnosti téměř optické a zároveň dobrého vyleštění ploch (příklad ze strojnictví: válce a písty vstřikových pumpiček pro diesely); zbylou vůli řádu 1 mikronu utěsní vhodné mazadlo, i máme uložení přesné a tak trvanlivé, že nevadí, že nelze toto uložení třebas později zlepšit zabroušením. Je ovšem jasné, že válcové uložení stojí a padá s kvalitou dílenského provedení.



Obr. 289.

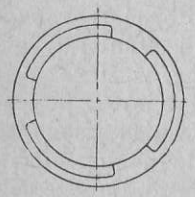


Obr. 290.

Na obr. 289 je znázorněno uložení ve dvou vlisovaných vložkách, z nichž spodní nese také váhu otočné části; je-li váha veliká, je možné a někdy i nutné provést odlehčení popsanými způsoby. U Wildových theodolitů je uložení velmi jednoduché: válcový čep v trubkovém, rovněž ocelovém ložisku (obr. 290), váha alhidadové části je nesena prostě věncem kuliček; limbus je na postrk a otáčí se jednoduše na vnější válcové ploše trubkového ložiska. Vysoké přesnosti, jichž u nás dosahujeme těmito theodolity, jsou důkazem, že tato konstrukce je dobrá — je-li dobře provedena.

V novějším provedení je styk čepu s ložiskem omezen na úzký proužek dole, nahoře je čep veden jen kuličkami; toto uložení je určitější a méně ohrožené event. pozdějšími deformacemi nitridovaného čepu a ložiska.

Nesnadné je uložit desku (platformu) kruhových strojů dělicích. Požadavky na těsnost jsou zde o to ještě vyšší, že chyby uložení nelze kompensovat, jak je uvedeno u theodolitů (a samozřejmě i u jiných úhloměrných strojů).

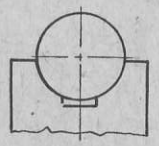


Obr. 291.

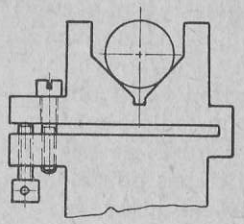
Bylo řečeno, že nutná vůle v uložení, utěsněná jen mazadlem, představuje hranice, přes něž nelze stupňovat přesnost dělicích strojů. Užívá se všech popsaných způsobů uložení a vždy je třeba velikou váhu desky nést pružinami nebo kuličkovým ložiskem. Poněvadž bočné síly jsou mizivě malé, lze užít částečného (parciálního) uložení válcového jako na obr. 291. Pak jsou možné stahovací pánve jako na obr. 211, po př. uložení mezi třemi posuvnými klíny, jako byla „kuželice" (horní ložisko běhounu) ve starých mlýnech. Parciální ložisko je celkem snadná a pohodlná cesta, jak dosáhnout těsnosti; jedinou podmínkou je dokonalá okrouhlost čepu, která však nečiní velké obtíže.

Přesná uložení horizontální

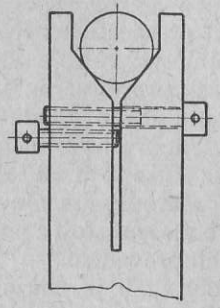
To je uložení dalekohledu na čepech každého theodolitu, uložení dalekohledu otočně kol jeho optické osy u některých typů strojů nivelačních, ve velkých rozměrech uložení velikého a těžkého dalekohledu u strojů pasážních. Zde se většinou užívá ložisek parciálních (obr. 292), velmi často dokonce lo-



Obr. 292.



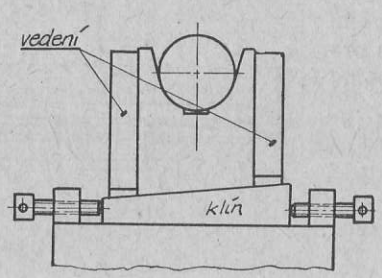
Obr. 293.



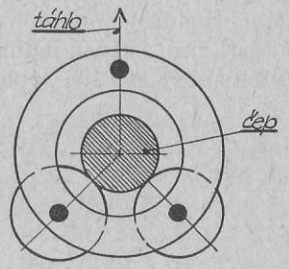
Obr. 294.

žisek, s nimiž je čep ve styku jen ve dvou přímkách, ne-li bodech (obr. 293, 294). Zde ovšem je zvláště veliké nebezpečí, že se opotřebením změní poloha osy, proto jen u theodolitu vystačíme bez odlehčení ložisek. Odlehčuje se obyčejně tak, že největší část váhy je nesena ložisky pomocnými, jejichž přesnost nemusí být valná, nevelký zbytek váhy pak nesou přesná ložiska, obyčejně parciální. Na obr. 296 je vidět provedení obvyklé u pasážních strojů; hřídel spočívá na dvou kolečkách, uložených v rámu, který je táhlem spojen s vahadlem, na jehož druhém konci je závaží složené z kotoučů (aby se stupeň

odlehčení dal měnit). Dnes lze místo koleček užít velikého ložiska kuličkového nebo válečkového. Ojediněle (reflektor ⌀ 2,5 m observatoře Mt. Wilson) bylo užito dutých železných plováků (bubnů), plovoucích na rtuti; tření je zde ovšem minimální, konstrukce však vychází trochu neohrabaná. Pro zajímavost je možno dodat, že takto na rtuti bývají uloženy otočné (ovšem kolem vertikální osy) optické systémy majáků námořních a leteckých.



Obr. 295.

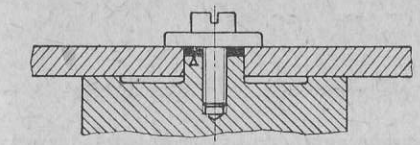


Obr. 296.

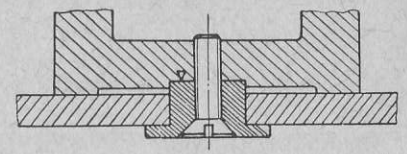
Skoro vždy se žádá, aby bylo možné postavit osu přesně horizontálně tím, že lze v malých mezích měnit výšku jednoho z ložisek. U theodolitů a podobných strojů se užívá konstrukce podle obr. 293, kde proříznutím je dosaženo pružné poddajnosti, častěji, dnes snad výhradně, provedení podle obr. 294 s ložiskem rozštípnutým svislým řezem; rektifikace se v obou případech provádí dvěma šroubky, které působí proti sobě. U pasážních strojů se žádá výšková rektifikace zvlášť jemná a proto se ložisko podpírá posuvným klínem, na který tlačí šrouby podle obr. 295.

Otočná uložení plochá

Vertikální letmá uložení, ať kuželová nebo válcová, mají a musí mít jistou výšku. Chceme-li nebo jsme-li nuceni touto výškou šetřit, užijeme uložení plochých, kde váha otočné části je nesena rovinnou ložiskovou plochou a



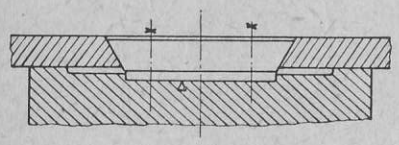
Obr. 297.



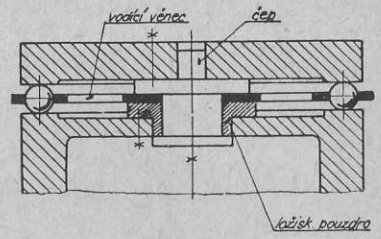
Obr. 298.

centrování obstarává zcela krátký čep poměrně malého průměru, který také brání, aby se otočná část nezdvihla. Příklady jsou znázorněny na obr. 297 a 298; axiální vůli lze vymezit přibroušením ploch označených trojúhelníčkem. Je-li čep kuželový (obr. 299), lze vymezit vůli axiální i radiální. Přesnost

těchto uložení může být velmi dobrá, tření zde však působí na velikém poloměru, proto chod není právě lehký, zejména ztuhne-li mazadlo chladem. Výborně se tomu odpomůže, použije-li se tu kuliček; uložení pak dostává charakter točnice, známé z otočných jeřábů a z otáčedel železničních: uprostřed je vodicí čep, na obvodu valivé uložení velkého průměru. Takovou točnicí je vlastně již kuličkové axiální ložisko na obr. 260 nebo 261 a 262. Větší přesnosti se dosáhne, užije-li se středního čepu (obr. 300), pak ovšem kuličkám připadá jenom úloha nést váhu otočné části, proto aspoň jedna dráha pro kuličky musí být plochá, lépe obě, poně-



Obr. 299.

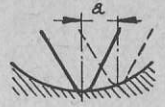


Obr. 300.

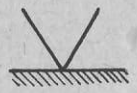
vadž rovinné plochy lze vyrobit mnohem přesněji. Kuličky je pak třeba vést, na př. deskou (pertinax, hliníkový plech) na obr. 300, která se sama otáčí v plochém uložení mezi čepem a ložiskovým poudzrem. Rovinné plochy lze vybrousit a vylapovat přesně na zlomky mikronu a s tříděnými kuličkami se dosáhne uložení, jež vyhovuje vysokým požadavkům. Při větších zatíženích se užije drah z oceli a kalených, pro malé zatížení stačí třebas i materiál měkký (mosaz), zejména užije-li se kuliček většího průměru (8—10 mm) a ve větším počtu. Podobné točnice užil Wild u nových theodolitů, které vyrábí továrna Kern ve Švýcarsku, a výšku stroje dále zmenšil tím, že nahradil obvyklé stavěcí šrouby vačkami; přesný theodolit se tak stal strojem velmi nízkým, drasticky kontrastujícím s věžovitou stavbou mikroskopových theodolitů klasického typu. Vyskytly se také konstrukce, kde bylo užito kuličkového ložiska jako na obr. 300, ale vodicí čep byl nahrazen cylindrickým uložením jako na obr. 289

Obr. 301.

Obr. 302.



Obr. 303.



Obr. 304.

a 290. Taková konstrukce není výhodná, poněvadž nemá zmíněnou malou konstrukční výšku, je však i nesprávná potud, že je neurčitá, poněvadž přeurčená: není-li rovinná dráha pro kuličky dokonale kolmá k ose válcového ložiska, nenesou kuličky stejnoměrně a na cylindrické uložení tedy působí bočné nežádoucí síly.

Břitová uložení

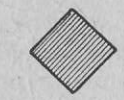
Tento způsob dává — při poměrně značné únosnosti — minimální tření, umožňuje však úhlové pohyby jen asi do 30°. Je to typické uložení pro váhy všech druhů, dávno již k tomuto účelu užívané, vhodné však i pro jiné účely v jemné mechanice. Břit je vytvořen průsečíkem dvou rovin na prismatickém tělese různého profilu (obr. 305—310). Roviny svírají nejčastěji úhel 60°, někdy 90°, málokdy větší. Podle zatížení na centimetr délky břitu je hrana ostrá, lehce zakulacená, u zatížení vysokých pak je poloměr křivosti 0,1 mm, 0,2 mm i více. Často, zvláště u břitů precisních, ještě se vybrousí dvě uzounké plošky (obr. 306), takže úhel α je pak 110—120°; tím se nosnost břitu zvýší a další výhodou je úspora práce při broušení a leštění břitu. Břit spočívá na lůžku, zvaném pánvice (pánvička, pánev). Při pohybu se břit po pánvičce válí jako váleček, kterým je již z dílny nebo kterým se stává následkem deformace při zatížení; lze tedy břity považovat za ložiska valivá. Pánvičce dáváme profil podle obr. 302 nebo 304. Profil na obr. 301 se nedělá, nedá se dobře realisovat, a shodují-li se poloměry křivosti břitu a pánvičky, uložení není již valivé, nýbrž čepové s mnohem větším třením. Běžné je provedení podle obr. 302. Zde však poloha břitu k pánvici není určitá, poněvadž břit může být vysunut o míru a na obr. 303, a nesklouzne doprostřed, pokud není překročen třecí úhel. Z toho vyplývá zásada, že na vahadlo nebo na jiné páky dáváme břity, nikoliv pánvičky; jinak by byly délky ramen proměnné. Za druhé břit takto vysunutý a spočívající tak na nakloněné rovině, vyvodí moment ve směru šipky. Proto je tato forma pánviček možná a užívá se jí u vah hrubších (krámských, mostních, decimálních) i jemnějších, jako na příklad lékárnických, není však upotřebitelná pro váhy nejpřesnější: analytické, komparační, mikrováhy. Tam je možná jedině pánvička rovinná (obr. 304), která se kromě toho dá velmi přesně vyrobit. Rovinnou pánvičkou není břit nijak centrován, to však nevadí u těchto vah, opatřených vždy zařízením aretačním, kterého užíváme, kdykoliv co na misky dáváme nebo ubíráme, a které vždy posadí břit na pánvičku přesně na totéž místo.

Obr. 305.

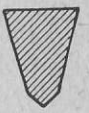
Obr. 306.

Obr. 307.

Obr. 308.



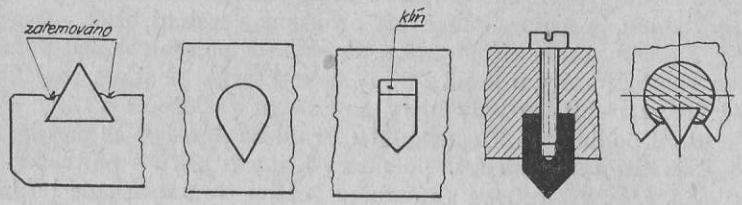
Obr. 309.



Obr. 310.

Je-li břit krátký, nazývá se po vahařsku „zrno". Nejčastěji užívaný profil zrna je trojúhelník (obr. 305, 306) a speciální profil podle obr. 308, dodávaný jako tyčovina z huti. Méně časté jsou profily podle obr. 309, 310; profilu na obr. 307 se užije tam, kde je velké namáhání v ohybu. Je-li třeba břitu dlouhého, dosedajícího na koncích, čili „břitové osy", užije se pro menší délku prostě tyčky některého z uvedených profilů, pro větší délku však tyče čtyřhranného průřezu, jejíž konce jsou opracovány do břitu (na př. obr. 323).

Břity a pánvičky jsou u méně přesných vah z dobré nástrojové oceli a kalené. Je dobře, je-li pánvička skelně tvrdá a břit o něco málo měkčí, poněvadž „zaříznutí" břitu je větší zlo než malé otupení. U precisních vah dáváme přednost pánvičkám vybroušeným z kamenů (achátu, karneolu a pod.), což podle některých autorů je kombinace nejvýhodnější, vhodná i pro váhy nejpřesnější. Nicméně u těch jsou často břity rovněž z kamene, zejména u vah analytických, kde ocelový břit snadno rezaví v korosivní atmosféře chemické laboratoře. Veliká zrna a zejména břitové osy se dělají často z měkké oceli a pro břit se navaří proužek oceli nástrojové.

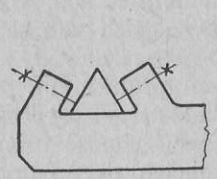


Obr. 311. *Obr. 312.* *Obr. 313.* *Obr. 314.* *Obr. 315.*

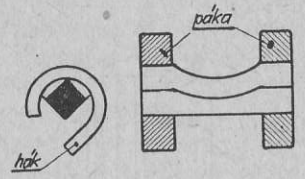
Namáhání břitu se volí podle citlivosti a velikosti vah. Váhy analytické mívají zatížení 0,1 až 0,3 kg na 1 cm délky břitu. Jemnější váhy s nosností 1—5 kg mívají 1—5 kg/cm, obyčejné krámské váhy a decimálky 5—50 kg/cm, váhy největší, mostní až 1000 kg/cm. Je jasné, že veliká zatížení vyžadují ostří silně zakulacené a tím se jednak snižuje citlivost, jednak místo dotyku se stává nejistým, což může vést k citelným chybám u pák krátkých; proto neradi volíme poměr ramen větší než 50 :1, a pro větší převody volíme raději páky dvě spojené za sebou. Snižování specifického zatížení volbou velké délky břitů má své meze, poněvadž dlouhé břity (a po příp. i pánvice) se ohybovým momentem prohýbají a nenesou po celé délce. U vah se proto počítá s postupným otupováním břitů, a pokud slouží veřejné potřebě, musí být periodicky cejchovány. Oprava je možná přibroušením břitů a odchylky břitů od původní společné roviny, jež vznikly broušením, lze vyrovnat opatrným malým přihnutím pák. Jak malé je tření břitového uložení, je patrné z úředních cejchovních předpisů: chyba nových vah nesmí být větší než 0,05% při plném zatížení a 0,1% při zatížení na desetinu nosnosti; u vah „precisních" (cejch s hvězdičkou) smí být chyba nejvýše 0,02% nosnosti u vah menších do 5 kg nosnosti a 0,01% u vah větších. U vah nejdokonalejších je přesnost, vyjádřena velmi vhodně poměrem nosnosti k citlivosti, od 2×10^6 (běžné analytické váhy) do 100×10^6, ba až 500×10^6 (nejpřesnější složité váhy pro komparaci normálů). Všechny přesné váhy jsou nejjednoduššího typu, t. j. jednoduché rovnoramenné vahadlo se třemi břity.

Krátké břity se upevňují obyčejně tím, že se zasadí nebo zalisují do rybinové drážky podle obr. 311 a zatemují; temováním lze polohu břitu v malých mezích upravit. Delší zrna fungující jako břitové osy, pákou procházejí a jsou

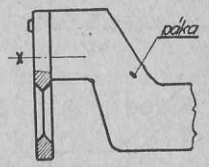
u menších vah těsně zasazena nebo zaražena (obr. 312) a vždy ještě zatemována. Méně často se použije podélného klínu (obr. 313), nejspíše ještě u břitových os dlouhých a procházejících pákami zdvojenými (obr. 323); málokdy najdeme spojení šroubem podle obr. 314. U velikých vah a u velikých zařízení siloměrných (příklad: zařízení, jež nese model ve větším aerodynamickém tunelu) se užívá podle potřeby a situace i jiných způsobů strojnických. Jistou obtíž činí upevnění břitů kamenných, které pro křehkost nelze zarazit ani pevněji zatemovat; musíme se tu spokojit těsným zasazením a po příp. zatmelením do kovové vložky (břitová osa na obr. 315), kterou pak můžeme



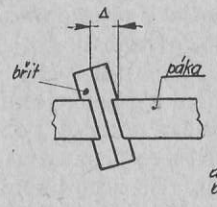
Obr. 316.



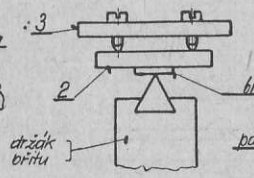
Obr. 317.



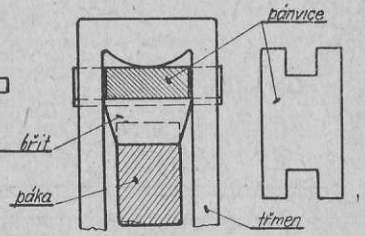
Obr. 318.



Obr. 319.

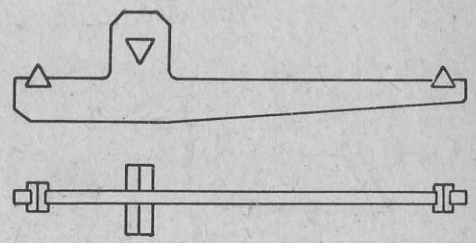


Obr. 320.



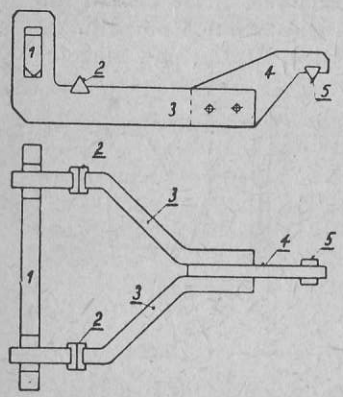
Obr. 321.

upevnit ve vahadle. U přesných vah se užívá upevnění, která dovolují polohu břitu při justování (seřizování) v malých mezích měnit. Jednoduché zařízení je znázorněno na obr. 316, kde s pomocí čtyř tlačných šroubků lze zrno posunovat a postavit rovnoběžně s břitovou osou. U vah analytických je kamenné zrno zasazeno do držáku spojeného s vahadlem systémem rektifikačních šroubků. (Tato zařízení nejsou u nás připuštěna pro váhy podléhající cejchovní kontrole.) Zpravidla leží břity vahadla nebo převodní páky více nebo méně přesně v jedné rovině. Důležitou podmínkou je rovnoběžnost břitů. Je-li břit zasazen šikmo, může se rameno páky měnit v mezích, označených trojúhelníčkem na obr. 319, podle toho, kde pánvička na břit doléhá. Toto „střídání"

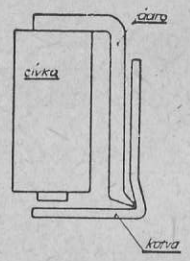


Obr. 322.

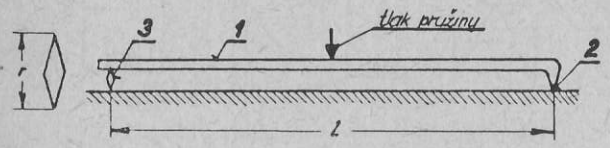
může vést až k dvojjakým údajům měřicího systému. Z tohoto důvodu a proto, aby břit byl rovnoměrně zatížen, dáváme pánvičce jistou pohyblivost kolem osy kolmé k břitu a ke směru síly. U obyčejných vah tlačí na pánvičku vyklenutá plocha třmenu jako na obr. 321. U analytických vah (obr. 320) je kamenná pánvička *1* zasazena v destičce *2*, na kterou přenáší sílu dva zahrocené šroubky zavrtané v příčce, k níž je připevněn závěs misky; šroubky sedí v kamenech podle obr. 236. U větších vah lze užít kuličkového kloubu podle obr. 269. U nejpřesnějších vah se břitová osa dělá vždy s břitem průběžným, poněvadž nelze vytvořit dva přesně souosé břity na koncích osy; pánvička pak je rozdvojena, lépe však je, je-li z jednoho kusu, který lze snadno opticky přesně obrousit do rovinnosti.



Obr. 323.

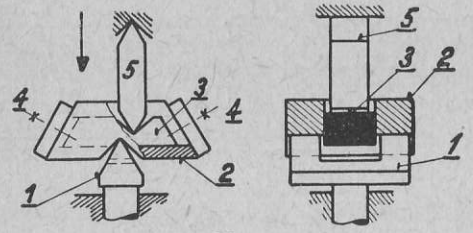


Obr. 324.



Obr. 325.

Nemají-li váhy aretační zařízení, je nutno omezit axiální pohyby břitů, resp. pánvic. Obyčejně je zrno ukončeno plochami šikmými (obr. 321), takže břit je ukončen dvěma hroty, které leží s malou vůlí mezi dvěma doraznými ploškami: ocelovými destičkami, zavrtanými šrouby nebo prostě, jak vidíme na obr. 321, mezi vnitřními plochami třmenu. Pro menší nároky lze místo přímkových užít břitů obloukových. Na obr. 317 je břit vytvořen obloukovým vypilováním zrna, jako se to dříve dělalo všeobecně a jak se to ještě dnes dělá u malých ručních vážek. Přesnější obloukový břit dostaneme vhodným vyvrtáním ocelové destičky, jak je znázorněno na obr. 318. V obojím případě pánvičku i závěs misky zastupuje pouhý ocelový hák (obr. 317);



Obr. 326.

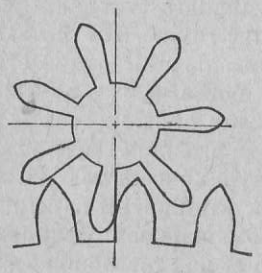
konstrukce tato je jednoduchá a laciná, odpadají starosti s rovnoběžností břitů, ale styk je skoro bodový a nosnost tedy neveliká.

Břitových uložení se užívá u vah všech druhů a velikostí, ale také u různých mechanismů jiných; dříve se takto zavěšovala kyvadla hodin, dnes jenom reversní kyvadla k absolutnímu stanovení zemského zrychlení. Několik příkladů užití břitů je znázorněno na obr. 322—326. Na obr. 322 je vidět normální provedení převodní páky (stejně se provede i vahadlo); tvar páky je dán podmínkou, že všechny tři břity mají ležet v jedné rovině. Na obr. 323 je rozvidlená páka („sáně") můstkových vah, uložená na uklínované břitové ose. Příklad břitu zcela hrubého (a měkkého) je uložení kotvy obyčejného telefonního relé (obr. 324). Na obr. 325 je Martensův přístroj, jímž se měří pružné deformace tyčky ve zkoušecím stroji; tyč *1* je pružinou tlačena tak, že ostřím *2* se lehce zařízne do zkoušeného kusu, druhým koncem pak přitlačuje ostrohranný hranůlek *3* kosočtverečného průřezu. Prodlouží-li se zkoušený kus o dl, pootočí se hranůlek o úhel přibližně dl/r; toto malé pootočení ukazuje lehká ručka nebo je na hranůlku zrcátko a odečítá se pak methodou zrcadlovou (viz dále) až na zlomky mikronu. Jiné použití břitů k přesnému měření je v Hirthově „Minimetru", kterým se stanoví malé odchylky seriově vyráběných částí. Na měřenou součást dolehne tykadlo *1* (obr. 326), jehož ostrý a rozvidlený konec sedí v drážkách korýtka *2*. V korýtku je pánvička *3*, v níž sedí ostří vzpěrky *5*, jejíž druhé ostří sedí v pánvičce pevně uložené. S korýtkem *2* je spojena lehká dlouhá ručka a nezakreslená pružinka, vyvinujíc moment ve směru šipky, udržuje vše v záběru. Převodový poměr lze nastavit a bývá 100—200. Zde máme případ neobvyklý tím, že pánvičky jsou na páce; je však třeba uvážit, že zde nejde o minimální tření, pánvičky lze tedy provést podle obr. 301, a je dosaženo výhody, že převodový poměr lze snadno nastavit posouváním pánvičky tlakovými šroubky *4*.

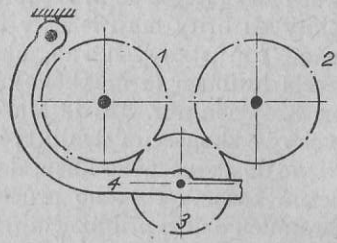
Ozubená kola

Jako ve strojnictví užíváme i v jemné mechanice ozubených kol všeho druhu, čelních, šroubových, kuželových a šnekových. Pro konstrukci zde platí obecné zásady strojnické: ozubení evolventní, materiál podle požadavků: ocel povrchově kalená, litina, bronz, texgumoid, pro malá kola často mosaz, pro pastorky a šneky ocel. Namáhání bývá většinou malé, vysoké otáčkové rychlosti se vyskytují zřídka. Zvláštní kapitolou jsou ozubené převody v hodinových strojích, kde se setkáváme napořád s vysokými převodovými poměry, vesměs do rychla. V každých kapesních hodinkách je mezi hřídelem nesoucím sekundovou ručičku a stoupacím kolem převod 10 : 1, počet zubů 60 : 6, v kvalitnějších strojích 70 : 7. V kyvadlových hodinách první převod (od bubínku pro šňůru k minutovému hřídeli) bývá 144 : 12 až 180 : 12 = 15. Tyto malé pastorky by s evolventním ozubením nebyly možné, zuby by byly „podříznuté". Proto se v hodinářské technice užívá ozubení *cykloidního*, a to s boky zubů přímými, radiálními; je to zvláštní případ hypocykloidy, vytvoře-

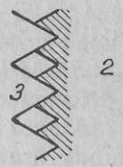
né odvalováním kružnice po roztečné kružnici dvojnásobného poloměru. Není to ozubení zvlášť výhodné, neboť zuby jsou u kořene zeslabeny, ale výroba je snadná. Ozubení vypadá jako na obr. 327; pastorek z pevnějšího materiálu má zuby zřetelně tenčí než kolo. Epicykloidy na ozubeném kole jsou obyčejně nahrazovány kruhovými oblouky, zuby pastorku jsou někdy (je-li poháněn pastorek) proti theoretické formě na špičce zkráceny, zkomoleny; tím se sice



Obr. 327.



Obr. 328.



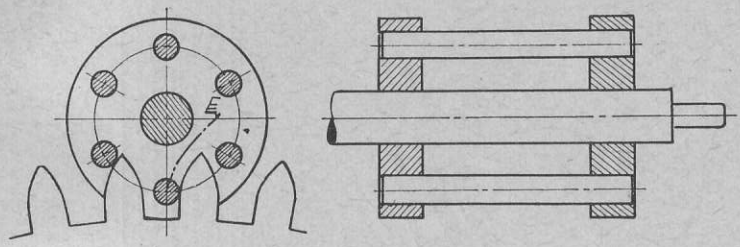
Obr. 329.

zkrátí záběrová křivka, ale zmenší se o něco ztráta třením. Pastorky jsou vždy z oceli, kalené, ozubená kola v hodinářství vždy z tvrdé mosazi. Je zajímavé, že tato soukolí v hodinách nejsou nikdy mazána, dokonce se činí různá opatření, aby se na pastorek olej nedostal. Mazání podle zkušenosti zvětšuje opotřebení; tato zkušenost není fysikálně plně objasněna. Je známo, že kombinace mosazi s vyleštěnou oceli je příznivá a k mazání stačí podle všeho adsorbované vrstvička vody; ve vakuu se soukolí snadno zadírá, nehledě ani k vysýchání oleje v ložiskách, proto kolečkové hodiny nemohou být v evakuovaném pouzdru. Cykloidní ozubení, jak je známo, vyžaduje, aby vzdálenosti os hřídelů byly přesně dodržovány.

Někdy užíváme ozubených kol ve funkci zubových spojek, na př. v přesných tachometrech nebo v „chronografech" (hodinářské označení pro hodinky, které mají velkou sekundovou ručku jako stopky), jako na obr. 328. Kolečko *1*, na jehož hřídeli je malá sekundová ručka, stále zabírá s kolečkem *3*, uloženým v páčce *4*. Stisknutím knoflíku koná páčka malé výkyvy, takže kolečko *3* je střídavě vtlačeno do záběru s kolečkem *2*, stejně velkým jako *1*, nebo ze záběru vysunuto; na hřídeli kolečka *2* je velká sekundová ručka. Je jasné, že zuby koleček *3* a *2* musí být zahrocené, aby okamžitě zapadly do záběru, a dále, že jejich rozteč musí být co nejmenší, aby vtlačení do záběru způsobilo jen malou chybu. Na přesné formě zubů mnoho nezáleží, poněvadž jich je v záběru velký počet a tvar zubů je proto trojúhelníkový; kolečka *1* a *3* dokonce mívají rozteč dvakrát větší než *2*, takže záběr vypadá jako na obr. 329.

V hrubších strojích se často užívá ozubení *cevového*. Pastorek je vytvořen ze dvou mosazných kotoučků naražených na hřídel (obr. 330), do jejichž vývrtů jsou vsazeny kulaté tyčinky (cévy) z ocelii zajištěné rýhováním čel kotoučků (srov. obr. 11). Valením roztečné kružnice pastorku po roztečné kružnici kola vzniká epicykloida *E*. Křivka zubů by měla být ekvidistantou

této epicykloidy (vzdálenou o poloměr cévy), obyčejně se však nahrazuje kruhovým obloukem. Záběrové poměry jsou dosti příznivé, i když pastorek má obyčejně jen 6 cév, výroba je levnější než pastorků masivních, ovšem opotřebení je větší; u hrubších, před prachem obyčejně nevalně chráněných strojů je výhodou, že nečistoty se ze záběru snadno vytlačí a mohou se hromadit v mezerách pastorku — proto se cévového ozubení (s pastorky o větším počtu cév) užívá leckdy u hodin věžních. Toto ozubení je méně citlivé na malé chyby ve vzdálenosti os hřídelů.



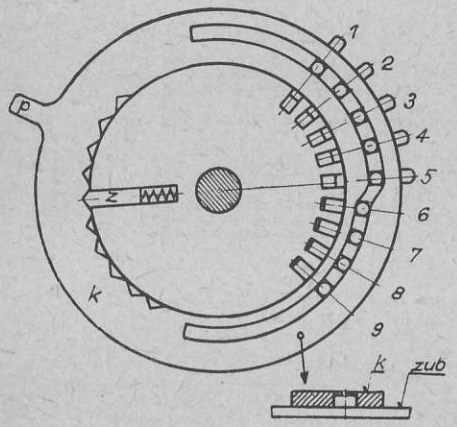
Obr. 330.

Nezbytná vůle v zubech nečiní obtíže, když se kola otáčejí stále v témže smyslu, může však být velmi nežádoucí, jde-li o menší pohyby v obou směrech, střídavé. Pak — přenášené síly jsou obyčejně malé, často nepatrné — užijeme jemného ozubení a třebas i šikmého, a ovšem kol přesně frézovaných a centrovaných. Někdy si pomáháme ještě tím, že poháněné kolo opatříme spirálnou pružinou, které dáme předpětí, takže ozubení je stále v jednostranném záběru. Vratné pružiny se užívá ve všech měřicích přístrojích, kde na hřídeli ručky je pastorek, do něhož zabírá ozubený segment; pružinka je na hřídeli ručky.

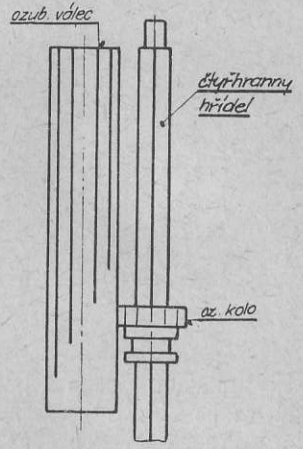
Často užijeme *ozubené tyče*, s níž zabírá pastorek s malým počtem zubů, na jehož hřídeli je velký rýhovaný knoflík (točítko). Ozubení je obyčejně šikmé, aby záběr byl hladký, ozubení evolventní nebo cykloidní; tyč bývá mosazná, pastorek vždy ocelový. Toho druhu je na příklad hrubý posuvný pohyb tubusu mikroskopu nebo pohyb okulárové trubice (nebo vnitřní zaostřovací čočky) dalekohledu. Ozubené tyče lze užít jen tehdy, kdy se nežádá taková jemnost nastavení, aby bylo nutno užít šroubu nebo ustanovky.

Důležitý je dále *převod šnekový*. Tímto převodem se buď silně redukuje otáčková rychlost, nebo se vyvozují malé úhlové pohyby (analogie s pohybovým šroubem). V druhém případě lze šnek uložit tak, aby se dal vysunout ze záběru; hrubý pohyb lze provést rychle rukou, jemné nastavení pak šnekem (sextanty, theodolity pilotovací). Jsou-li šnek a ozubení přesně provedeny, může šnek dostat dělený bubínek, na němž lze odečítat zlomky otáčky; na příklad má-li šnekové kolo 360 zubů a bubínek je rozdělen na 60 dílků, lze číst úhlové minuty a odhadovat i jejich desetiny. Šnekový převod je základem kruhových dělicích strojů (viz dále).

Z neobvyklých ozubení se někdy užije ozubených kol *neokrouhlých*, je-li třeba převodového poměru proměnného. Výpočet je vždy pracný a obtíže činí také realisace v dílně; užijeme takového převodu jen tehdy, nemůžeme-li pomoci jinak (vačkou a pod.). Neokrouhlých ozubených kol bylo užito na příklad v cirkumzenitálu Nušl—Fričově. Častěji se užívá ozubených kol *částečných, parciálních*, tedy pouhých ozubených segmentů, které během otáčky



Obr. 331.



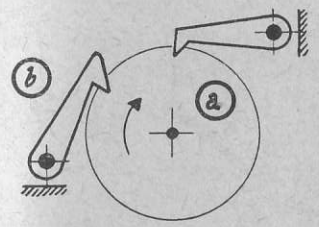
Obr. 332.

zaberou do ozubeného kola a zase ze záběru vyjdou; tím se ozubené kolo otočí o tolik zubů, kolik zubů má segment. S podobnými převody se shledáme na př. u dělicích strojů, ale nejvíce se jich užívá u strojů počítacích, kde je třeba segmentů s počtem zubů, proměnným od nuly do devíti. Tato úloha se řeší dvojím způsobem. Nejstarší řešení, Leibnizovo na obr. 332, je stupňový válec, na němž je devět zubů nestejně širokých a který pohání počítací kolo s deseti zuby; toto kolo může zaujmout deset poloh na čtyrhranném hřídeli a podle polohy se otočí o příslušný počet zubů, když válec udělá jednu otáčku. Segment s čelním ozubením a s proměnlivým počtem zubů zavedl Odhner (obr. 331); zuby jsou radiálně posuvné a potřebný počet zubů vysune prsten *k* podle toho, jak dalece otočíme (kolo stojí v základní poloze) výstupek *p*, potom otočením kola jednou dokola se nastavené číslo přenese na počítací kolo s deseti zuby; *z* je zajištění, aby prsten *k* zůstal stát jen v jedné z desíti poloh.

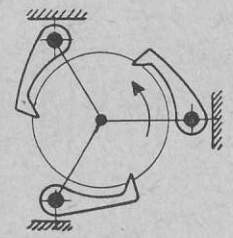
Mechanismy západkové

Západka a rohatka, prvky známé ze strojnictví, vyskytují se v jemné mechanice často; západka je většinou namáhána v tlaku (obr. 333a), Někdy se hodí háková západka, namáhaná v tahu (a ovšem i v ohybu, obr. 333b). Je-li

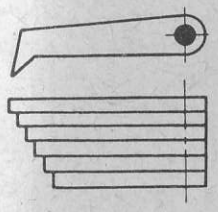
žádáno, aby rohatka byla zadržována po malých úhlových intervalech, rohatka buď musí mít veliký počet zubů, nebo se užije několika západek, které postupně do rohatky zapadávají. Západky mohou být uspořádány kolem rohatky (obr. 334) nebo — je-li dost místa ve směru osy — rohatka se volí široká, a do ní pak zapadá několik západek otočných kol společného čepu,



Obr. 333.

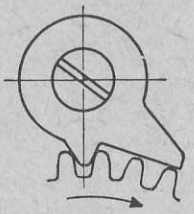


Obr. 334.

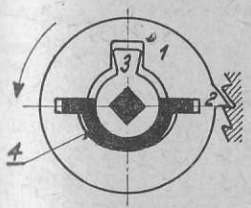


Obr. 335.

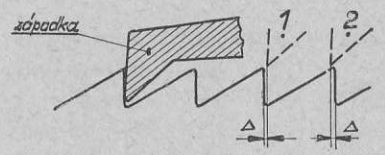
Obr. 336.



Obr. 337.



Obr. 338.

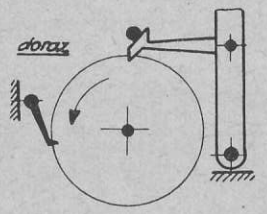


Obr. 339.

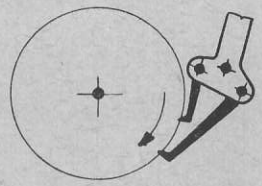
ale nestejně dlouhých (obr. 335). V obojím případě je efekt takový, jako by rohatka měla rozteč tolikrát menší, kolik je západek, a při tom ozubení rohatky zůstává robustní a odolné.

V hodinářství se naopak žádá u mechanismu natahujícího hnací pružinu („péro"), aby západka dovolila rohatce couvnout, poněvadž se tím zmírní veliké namáhání, které může vzniknout v pružině při neopatrném natahování. Nejjednodušší řešení je podle obr. 336: západka má podlouhlý otvor pro čep (čep je obyčejně osazený šroub podle obr. 54). V kapesních hodinkách se

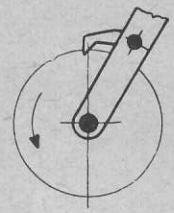
nejčastěji užívá západky podle obr. 337, která dovoluje, aby rohatka couvla (jako rohatka funguje ozubené ocelové natahovací kolo, nasazené na hřídeli pérovníku), dokud totiž ostruha nedolehne na špičky zubů; místo nakreslené ostruhy bývá též druhý zub. Na obr. 338 je příklad západkového ústrojí nehlučného (Zénith): rohatka zde je nehybná a s vnitřním ozubením, západka



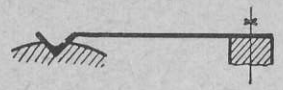
Obr. 340.



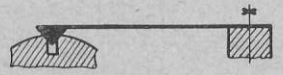
Obr. 341.



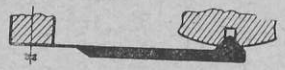
Obr. 342.



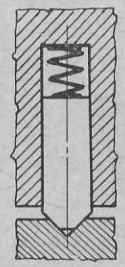
Obr. 343.



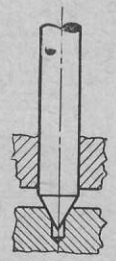
Obr. 344.



Obr. 345.



Obr. 346.



Obr. 347.

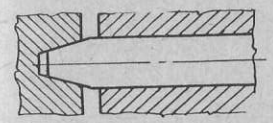
je na hřídeli ve tvaru kotoučku *1* se zubem *2* a v otvoru kotoučku sedí s vůlí unašeč *3*; vůle je vyplněna vyčerněnou součástí *4* potud, že kotouček *1* se může radiálně posouvat tak, jak je třeba, aby zub *2* zabral do rohatky nebo vyšel ze záběru. Pohyb zubu *2* je nucený; začneme-li otáčet natahovacím hřídelem, vysune se zub *2* ze záběru, přestaneme-li, hnací pružina snaží hřídelem točit opačně a ihned západku zasune.

Dosud se mluvilo o západce jako o součásti zádržné. Západka s rohatkou mohou také působit jako *ústrojí podávací* pro mnoho účelů. Západka opět může působit tlakem nebo tahem a může postrkovat rohatku o jednu nebo více roztečí. Na obr. 339 je západka podávající o dvě rozteče; aby západka bezpečně zaskočila, musí pohyb do pravé krajní polohy činit o hodnotu Δ více než dvě rozteče, nesmí však být větší než tři rozteče zmenšené o Δ. Za těchto podmínek, a je-li levá krajní poloha vždy přesně tatáž, podává rohatka s přesností, která záleží jen na jejím přesném provedení a uložení. Proto se toto ústrojí hodí tam, kde je třeba podávat o přesně stejné intervaly,

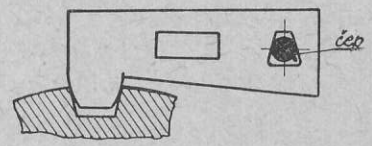
na př. pro automatické mikrotomy nebo dělicí stroje. Podávat takto lze stejně dobře i ozubenou tyč, jak je to provedeno u Amslerova strojku k rýsování centimetrových rysek na tyčích pro tahové zkoušky. Pokud se podává o malý úhel, může být páka se západkou, uložena kdekoli, obr. 340. Zpětnému otáčení rohatky brání druhá západka zádržná, která může odpadnout, má-li rohatka dostatečné tření (ev. uměle způsobené brzdicí pružinou). Je-li pohyb západky rychlý (na př. u elektrických hodinových číselníků, dostávajících minutové impulsy), je nebezpečí, že rohatka setrvačností přeběhne; tu se konec západky nechá šikmou plochou narážet na pevný doraz (obr. 340). Na obr. 341 je užito dvou západek, podává se dvakrát častěji a zádržné západky není třeba. Konečně, má-li se podávat o velké úhly, dá se západka na páku (nebo na kotouč) soustřednou s rohatkou (obr. 342).

Zařízení indexovací, zajišťovací

Přicházejí v úvahu, mají-li být určité úhlové polohy otočné části přesně definovány a zajištěny. Někdy stačí zajištění zcela lehké a jde skoro jen o to, aby polohy bylo při ručním otáčení zřetelně cítit. Otočná část má na obvodě zářezy, je-li poloh velký počet, je to pak ozubené kolo s rovnými souměrnými zuby. Jako zajišťovacího orgánu (indexu) lze užít pouhé ploché pružiny, na konci vhodně prolisované (obr. 343), o málo lepší je pružina podle obr. 344 s hranolem přinýtovaným, připájeným nebo přivařeným, nejsolidnější je masivní index podle obr. 345, jen u kořene zeslabený, aby pružil. Konec pružiny nesmí doléhat na dno zářezu; buď je zaoblen jako na obr. 343, nebo je dno zářezu probráno jako na obr. 344 a 345.



Obr. 348.



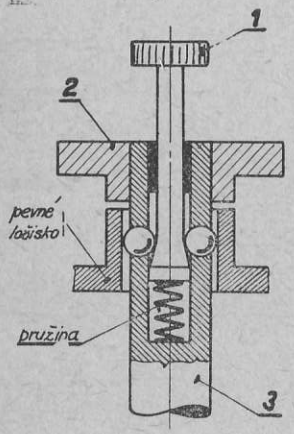
Obr. 349.

Někdy užijeme indexu posuvného a pružinou přitlačovaného (obr. 346, příklad použití je znázorněn na obr. 331), průřezu čtyřhranného nebo kruhového. V popsaných příkladech index vyskočí z drážky při určité obvodové síle, zajištění není samosvorné, ale postačí, aby na př. zajistilo objektivový revolver mikroskopu nebo revolverový doraz. Velké síle odolá kulatý posuvný kolík nebo čtyrhranná závora (jako u zámků), přesněji však zajistí polohu posuvný klín na obr. 348; je-li těsný ve svém vedení, hodí se i pro stroje obráběcí. Pro frézování malých ozubených koleček jsou vhodné kruhové dělicí desky, do nichž jsou vyvrtány v soustředných kružnicích různé počty dírek, do vývrtů zapadá kuželový index podle obr. 347, posuvný nebo častěji upevněný na pružině podle obr. 345. Soustruhy pro mechaniky mívají tako-

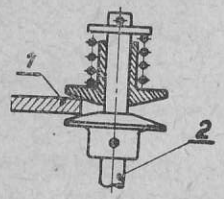
vou dělicí desku přišrouvovanou na řemenici vřetena, počet vývrtů na jednotvých kružnicích je na př. (fa Kärger) 24—35—38—46—54—78—96—100——102—132—168—360; přesnost desky stačí na frézování koleček a na rytí hrubších dělení. — Jako index může fungovat též páka. Na obr. 349 je znázorněno zajištění hlavy rýsovacího přístroje „Isis" (zajištění úhlů 0, 15, 30° . . .). Záběr je zřejmě bez vůle, stejně i uložení páky, poněvadž otvor pro čep je klínový a páka je přitlačována pružinou. Potřebujeme-li zajištění energické a přece ne samosvorné, můžeme zmenšit tření (a opotřebení) tím, že konec páky opatříme kolečkem, které zapadá do zářezů; tak je na př. zajištěna řádkovací rohatka ve všech psacích strojích.

Převody třecí

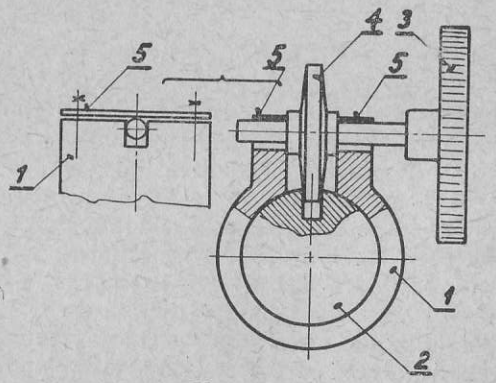
Poněvadž třecí převody probírá každá kniha o součástech strojů (na př. náš Technický průvodce, Části strojů II.), omezíme se jen na několik speciálních případů a na aplikace typické pro jemnou mechniku. Na obr. 350 je dvojí řízení otočného kondensátoru: jemný pohyb malým knoflíkem *1*, při čemž kuličky tvoří třecí satelitový převod, a rychlý hrubý pohyb velkým knoflíkem *2*, nasazeným na hřídeli kondensátoru *3*; při hrubém pohybu kuličky klouzají. Kondensátor lze ovládat také převodem znázorněným na obr. 351: na hřídeli kondensátoru je plechový kotouč *1*, sevřený dvěma kuželovými flanšemi, z nichž jedna je na hřídeli knoflíku *2* pevná, druhá posuvná a tlačená šroubovou pružinou (hřídel pro flanše může být čtyrhranný). Na obr. 352 je třecí převod, který nahrazuje pastorek a ozubenou tyč. Část *1* je vedena na tyči *2* a posouvá se po ní, otáčí-li se velkým knoflíkem *3*. Na hřídeli knoflíku je třecí kolečko *4*, otáčející se v zářezech části *1* a tlačené do drážky v tyči *2* plochými pružinami *5*. Tlak pru-



Obr. 350.

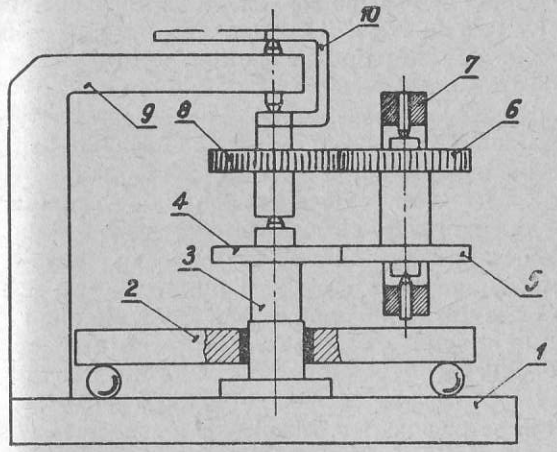


Obr. 351.

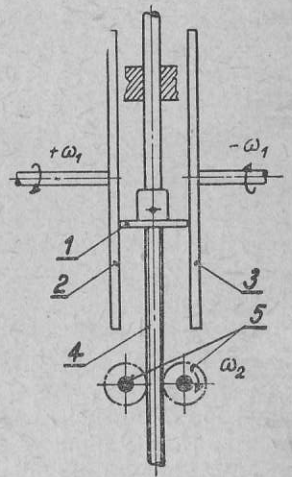


Obr. 352.

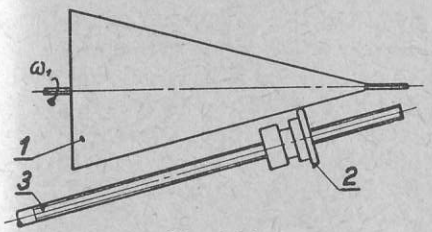
žin vyvozuje sice tření mezi částmi *1* a *2*, ale třecí kolečko vyvozuje sílu větší vlivem jeho klínového profilu. — Převodů s třecími plochami rovinnými, kuželovými a kulovými se užívá k řešení různých úkolů. Na obr. 353 je znázorněn strojek, jímž se zaznamenávají chyby čelního ozubeného soukolí (Phy-



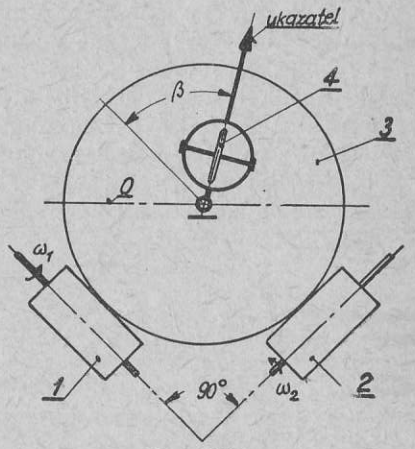
Obr. 353.



Obr. 355.



Obr. 354.



Obr. 356.

sikalisch-Technische Reichsanstalt v Berlíně); ozubený převod se srovnává s převodem třecím čelním, který je považován za správný a tvoří srovnávací standard. Na soklu *1* se otáčí točnice *2* (srov. obr. 300), vedená pevným čepem *3*, na němž je nasazeno čelní třecí (ocelové, broušené) kolo *4*. Druhé třecí kolo *5* je spolu s jedním ozubeným kolem *6* otáčivé ve výkyvném rámu *7*, který má ložiska na točnici *2*; pružiny tlačí rám a tím třecí kola do záběru. Druhé ozubené kolo *8* se otáčí v konci čepu *3* a v rameni *9*, spojeném

se soklem *1*. Kdyby ozubená kola byla dokonalá (a průměry třecích kol se rovnaly průměrům roztečných kružnic ozubených kol), kola *5* a *6* by se při otáčení točnice prostě odvalovala po kolech *4* a *8* a kolo *8* by se nepohnulo. Chyby ozubení však vyvolávají malé pohyby kola *8* a s ním spojeného ramena *10*. Toto rameno může nést dlouhého lehkého ukazatele nebo pisátko. Přesnější budou záznamy, nechá-li se rameno *10* působit na otočné zrcátko a pohyby ramena *10* se tak ve velkém zvětšení zaznamenávají na pás citlivého papíru, který se odvinuje úměrně pohybu točnice.

Třecím převodem lze sledovat a měřit měnící se poměr dvou otáčkových rychlostí. Je-li jedna z těchto rychlostí konstantní — udržovaná brzdicím regulátorem, jako na př. u gramofonových strojů —, máme tachometr (obrátkoměr). Provedení na obr. 354 užívá kužele *1*, který pohání třecí, gumou obložené kolečko *2*. Kolečko je nasazeno na matku, která se pohybuje na šroubu *3*. Kužel i šroub jsou poháněny dvěma různými rychlostmi a kolečko *2* si automaticky vyhledá takovou polohu na kuželi, aby od kužele dostávalo stejnou otáčkovou rychlost, jakou má šroub. Jiné provedení téhož principu je na obr. 355. Zde je třecí kolečko *1* sevřeno a unášeno dvěma kuhovými deskami *2* a *3*, které se otáčejí stejnou rychlostí ω_1 proti sobě. Kolečko je spojeno se šroubem *5*, který zabírá se dvěma šnekovými kolečky *5*, z nichž jedno je poháněno rychlostí ω_2. I zde si třecí kolečko vyhledá polohu, která záleží na poměru ω_1/ω_2. V obou případech se poloha třecího kolečka převádí pákovým nebo ozubeným převodem na ukazatele (ručku).

Mechanismus na obr. 356 zjišťuje poměr dvou otáčkových rychlostí prostým vektorovým sčítáním. Koule *3* spočívá na dvou válcích *1* a *2*, otáčejících se úhlovými rychlostmi ω_1 a ω_2. Otáčí-li se jeden válec, otáčí se koule kolem osy rovnoběžně s osou onoho válce. Otáčejí-li se oba válce stejnou rychlostí, koule se otáčí kolem osy vodorovné *0*. Při nestejné rychlosti se koule otáčí kolem obecně šikmé osy. Směr této osy zjišťuje kolečko *4*, uložené v rámu otočném kolem osy *5* (kolmé k nákresně) a opatřené ukazovací ručkou; je jasné, že podobné kolečko podpírá kouli zezadu, aby správně dosedala na válce. Otáčí-li se jen válec *2*, kolečko *4* a ručka se postaví rovnoběžně s osou válce *1* a naopak. Obecně výchylka β ručky je dána vztahem

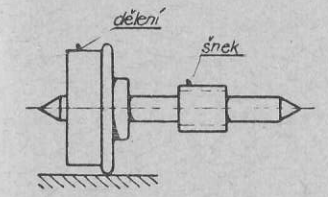
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\omega_1}{\omega_2}. \qquad (8)$$

Mechanismy integrační

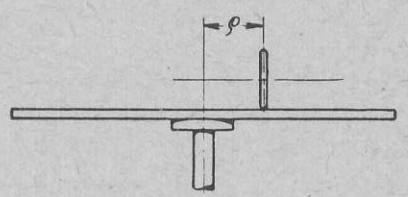
Úloha integrovat nějakou veličinu se vyskytuje často v technice měřicí a regulační. Někdy jde o to, integrovat věc již danou, na př. změřit plochu nějakého obrazce, určit jeho moment setrvačnosti nebo vyčíslit členy Fourierovy řady pro danou periodickou křivku. Jindy jde o plynulou integraci veličiny stále měřené, na př. o integraci rychlosti podle času nebo o dvojí integraci zrychlení podle času, v obojím případě proto, abychom dostali dráhu. Z uvedených příkladů je vidět, že integrováním určujeme veličinu, kterou nemůžeme nebo nechceme měřit přímo. Je mnoho měřicích přístrojů, které svou podstatou jsou již přístroje integrující, na př. hodiny a všechna průtoková měřidla (vodoměry, plynoměry, elektroměry, voltametry a pod.).

Úloha není vždy jednoznačná: jsou případy, kdy máme na vybranou mezi přímým měřením a integrováním. Na příklad dráhu lodi můžeme zjistit integrací (podle času) rychlosti, měřené Pitotovou trubkou, nebo ji přímo měříme vrtulkou, poháněnou relativním proudem vody. Jindy je taková integrace jediným východiskem. Na př. dráhu dálkové rakety (jako byla za války německá V-2) neumíme měřit přímo; je však snadné zamontovat do rakety měřič zrychlení čili akcelerometr, a dvojím integrováním jeho údajů podle času dostat dráhu. Příznivou okolností zde je, že integrování je operace poměrně přesná; je dobře vzpomenout si, oč přesnější je grafická integrace než grafické derivování. Jde-li na př. o stanovení silně proměnné rychlosti, přesnější bude integrovat podle času údaje akcelerometru nežli derivovat čáru dráha-čas, získanou na př. značkovací methodou.

Strojovou integraci lze provádět methodami různými, dnes se rozmáhá upotřebení method elektrických. Nás zde zajímají methody čistě mechanické a probereme si z nich ty, kde je využito tření. Užíváme dvou způsobů zásadně odlišných: proměnného třecího převodu a rejdovacího kolečka (rejdovací v tom smyslu jako přední kola vozu). Třecí převod může být druhu známého ze strojnictví, kde troucí plochy se po sobě odvalují, nebo se třecí („integrační") kolečko relativně pohybuje po podložce různými směry, t. j. odvaluje se i smýká. Jde obecně o mechanismy jemné, a poněvadž pohyby se přenášejí třením, je třeba užít ložisek s malým třením (hrotových a kuličkových), aby nedocházelo ke klouzání a tím k nepřesnostem v přenosu.



Obr. 357.



Obr. 358.

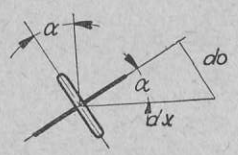
Na obr. 357 je znázorněno integrační kolečko, jakého se užívá u planimetrů a integrátorů k měření statického momentu plochy, momentů setrvačnosti, po př. momentů vyššího stupně. Je to přesně opracovaný kotouč, nejlépe z kalené nerezavějící oceli, naražený na ocelový hřídelík zakončený hroty, které se otáčejí v ložiskách podle obr. 250. Vedle kolečka je naražen bubínek z bílého celuloidu, na válcové ploše opatřený dělením zpravidla na 100 dílů; desetidílným vernierem lze odečítat tisíciny otáčky. Celé otáčky udává počítací kolečko, poháněné šnekem, který je v celku s hřídelíkem. U obyčejného planimetru stačí počítat do deseti, šnek je dvouchodý a počítací kolečko má 20 zubů; u precisních planimetrů bývá šnek jednochodý a počítací kolečko o 50

zubech nese celuloidový kotouček rozdělený na 50 dílů. Takového integračního kolečka lze užít různým způsobem. Nejjednodušší způsob je znázorněn na obr. 358, kde kolečko je poháněno kruhovou deskou; osa kolečka protíná otočnou osu desky a kolečko se může po desce radiálně posouvat. Je-li úhlový pohyb desky φ, je jasné, že odvalení kolečka (měřené v délkových jednotkách na jeho obvodu) je dáno výrazem

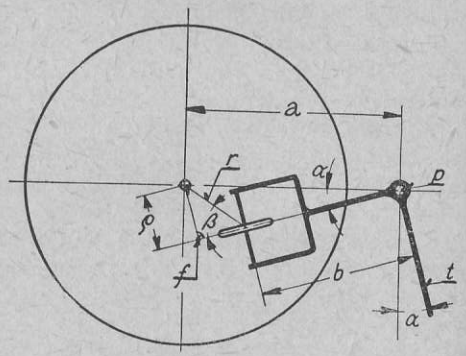
$$0 = \int \varrho \cdot d\varphi \qquad (9)$$

Zařídíme-li to tak, aby poloměr ϱ byl úměrný rychlosti, a poháníme-li desku hodinovým strojem, je odvalení kolečka úměrné uražené dráze. Je-li kolečko spojeno s pístem indikátoru a spočívá-li na horní základně bubínku indikátoru, integruje (sečítá) indikovanou práci, vykonanou pístovým strojem. Má-li se integrovat dvakrát (uvedený příklad rakety), je otáčením prvního integračního kolečka přes vhodný převod posouváno kolečko druhé. Místo ploché desky lze užít kužele (obr. 364); theorie je stejná, nevýhodou kužele je, že nelze integrovat hodnoty záporné. Kužele a desky podle obr. 358 bylo užito u prvních planimetrů.

Pohybuje-li se integrační kolečko obecným směrem (obr. 359), integruje složky pohybu rovnoběžné s jeho rovinou. Posun kolečka lze rozložit na složku rovnoběžnou



Obr. 359.



Obr. 360.

s osou, na kterou kolečko nereaguje (smýká se), a na složku kolmou k ose kolečka; o tuto složku $d0$ se kolečko odvalí a celkové odvalení bude tedy

$$0 = \int \sin \alpha \cdot dx. \qquad (10)$$

U obyčejného polárního planimetru a u jednodušších integrátorů se kolečko pohybuje přímo po výkrese; přesnost poněkud trpí růzností a nerovností papíru. Přesnější výsledky dává mechanismus, který vidíme na obr. 360; integrační kolečko je poháněno otáčející se deskou jako na obr. 358, ale není posuvné, nýbrž je uloženo ve vidlici výkyvné kolem osy p. Otočí-li se deska o $d\varphi$, odvalení kolečka bude podle předešlého $r \cdot \sin \beta \cdot d\varphi$, čili takové, jako by kolečko bylo posunuto ve směru své roviny do bodu f, a celkové odvalení bude tedy

$$0 = \int r \cdot \sin \beta \cdot d\varphi = \int \varrho \cdot d\varphi = \int a \cdot \sin \alpha \cdot d\varphi. \qquad (11)$$

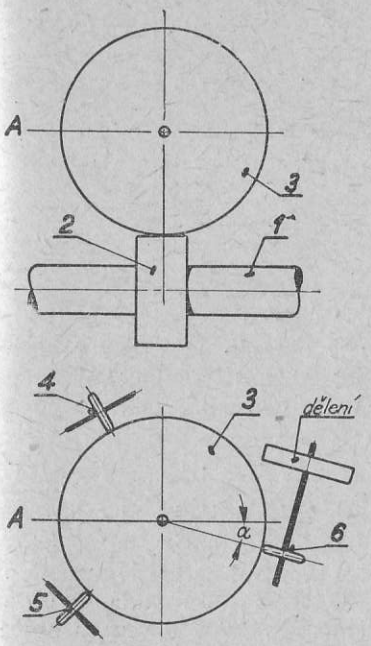
Zákonitost je tedy jako v předešlém případě. Výhodou zde je, že se kolečko pohybuje stále po stejné, papírem potažené ploše a že odvalení může být

mnohem větší, poněvadž deska je poháněna ozubeným převodem do rychla. Tento mechanismus, navržený již Ponceletem, najdeme na precisních planimetrech polárních i lineárních; další výhodou je, že deska není uložena letmo, nýbrž oboustranně na hrotech.

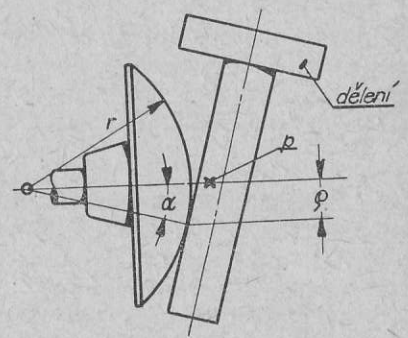
Jedna (hnací) z třecích ploch může být také kulová, jako na obr. 362, ve tvaru kulového úseku, který pohání váleček opatřený děleným bubínkem. Jak je vidět z obrázku, celkové odvalení válečku bude

$$0 = \int \varrho \cdot d\varphi = \int r \cdot \sin \alpha \cdot d\varphi. \qquad (12)$$

Tedy opět závislost sinusová a systém vhodný pro planimetry, zejména lineární s vedením v přímce podle obr. 190 (kulový segment lze jednoduše poháněť ozubením na jednom z vodicích kol). Přesnost je značná, kovové třecí plochy jsou však trochu choulostivé a výroba ne laciná. Při změnách úhlu α je záhodno, aby se váleček po segmentu nesmýkal, což by se stalo, kdyby se rám, v němž je váleček hroty uložen, natáčel kolem osy jdoucí středem koule; natáčí-li se kolem osy označené křížkem (a kolmé k nákresně), váleček se po kouli prakticky jen odvaluje. Jinou formu tohoto převodu (obr. 361) navrhl Hele-Shaw a pro integrátory aplikuje Coradi. Zde je úplná,



Obr. 361.

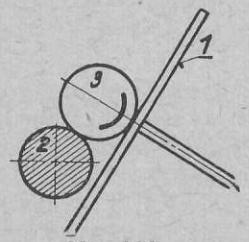


Obr. 362.

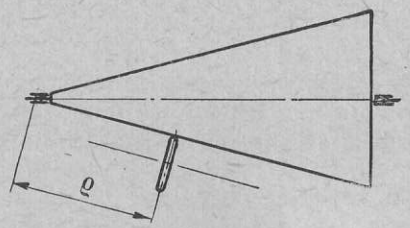
skleněná (jemně broušená, ale nevyleštěná) koule *3*, spočívající na válci *2* na hřídeli *1*; hřídel *1* je nápravou vozíku na obr. 190. Koule je vedena třemi kolečky *4*, *5*, *6*; z nich jedno je na kouli pružně přitlačováno, kolečko *6* (opatřené děleným bubínkem) provádí integraci a všechna kolečka jsou uložena v rámu otáčivém kolem svislé osy. Poháněna válcem *2*, koule se otáčí kolem osy *A*. Pro hodnotu odvalení platí přirozeně zase rovnice (12). Při změnách úhlu α se kolečka nesmýkají, neboť berou kouli s sebou. Místo jednoho mohou být dvě kolečka integrační, jejichž roviny jsou na sebe kolmé a která pak měří hodnoty

$$\int r \cdot \sin \alpha \cdot d\varphi \quad \text{a} \quad \int r \cdot \cos \alpha \cdot d\varphi.$$

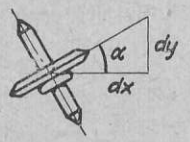
Toho je užito v harmonickém analysátoru Henriciho, vyráběném Coradim. Další užití koule je znázorněno na obr. 363; kruhová deska *1* je šikmá a v úžlabí mezi ní a válcem *2* leží koule *3*, vidlicí posouvatelná; mechanismus je matematicky totožný s případem na obr. 358.



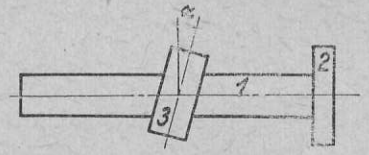
Obr. 363.



Obr. 364.



Obr. 365.



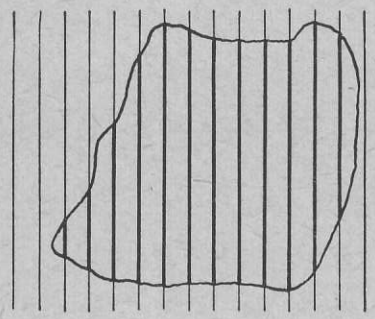
Obr. 366.

Rejdovací kolečko integrační (obr. 365) je uloženo otáčivě v rejdovací vidlici; spočívá na výkresu, a aby se zmenšila možnost smyku, kolečko má ostrý okraj. Posune-li se vidlice ve směru osy x, kolečko ji donutí k posunu ve směru osy y o délku

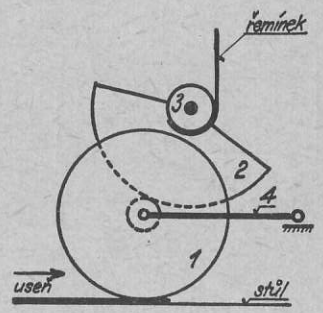
$$\triangle y = \int \operatorname{tg} \alpha \cdot dx. \qquad (13)$$

Takové kolečko umožnilo konstrukci integrafů, t. j. strojů, které k dané čáře nakreslí křivku integrální. Jiné provedení téhož principu je znázorněno na obr. 366: dlouhý válec *1* se posunuje ve směru své osy; na něj je pružně přitlačován váleček *3*, lehce otáčivý v rámu, který se může naklánět na obě strany kolem osy kolmé k nákresně. Nakloněný váleček *3* vynutí otáčení válce *1*, které závisí na $tg\ \alpha$ jako v předešlém případě a které se odečte na děleném bubínku *2*. Tohoto systému se běžně užívá u leteckých sextantů k automatickému stanovení průměrného čtení: pohyby zrcátka, jimiž se pozorovatel snaží udržet koincidenci hvězdy s bublinou libely, způsobují naklánění válečku *3* a válec *1* je posouván hodinovým strojem po určitou dobu (na př. 40 s); číselné poměry jsou voleny tak, aby po skončeném zaměření bylo možno na bubínku a na počítacím kotoučku přímo číst úhlové stupně a minuty.

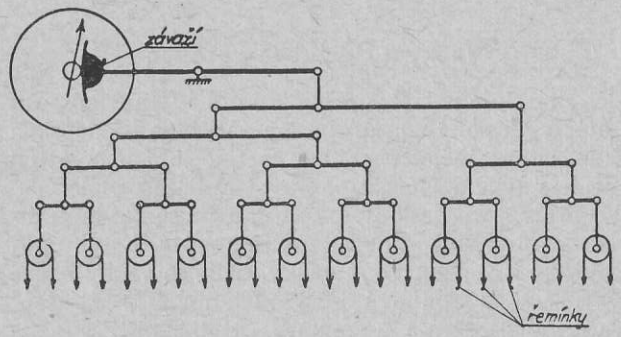
Každé integrační kolečko musí být přitlačováno konstantní silou, ať již vahou nebo pružinami. Tak je tomu u obyčejného planimetru, kde integrační kolečko tvoří jednu ze tří podpor, na nichž spočívá váha pojezdné části. Obyčejně však je třeba dát kolečko do rámu, která je v jistých mezích a bez vůle výkyvný. Tak na obr. 360 vidlice s kolečkem nemůže být pevně spojena s ramenem *t*, nýbrž musí s ním být skloubena, nejlépe podle osy rovnoběžné s tyčí *t*; tato pohyblivost je ostatně nutná již proto, aby integrační kolečko mohlo sledovat nerovnosti a nepřesnosti desky.



Obr. 367.



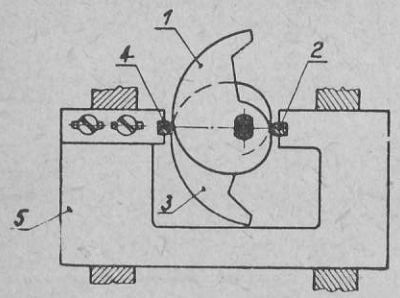
Obr. 368.



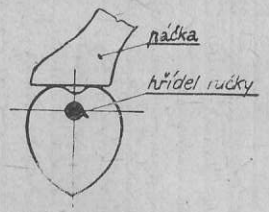
Obr. 369.

Integrační mechanismy zcela jiného druhu jsou samočinné stroje, jimiž se v koželužnách měří plocha usní. Základem je známá grafická methoda proužková: má se stanovit součet úseček silně vytažených na obr. 367. Každou tuto úsečku měří mechanismus znázorněný na obr. 368. Třecí kolo *1* je uloženo ve výkyvném vodiči *4* a v klidu spočívá na stole stroje. Přijde-li pod kolo *1* useň (posunována podávacími válečky jako prkno ve válcové hoblovačce), zdvihne kolo, takže jeho pastorek zabere do ozubeného segmentu *2* a kolo *1* se začne otáčet. Tím se otáčí i kladka *3*, spojená se segmentem *2*, a navinuje tenký kulatý řemínek. Aby se segment nevrátil, když kolo *1* odpadne, zabírá do jeho zubů zpětná západka. Dva sousední mechanismy mají řemínek společný, který je veden přes sčítací kladku. Pohyby těchto kladek jsou pak se-

čítány pákovým systémem (obr. 369), jehož poslední člen nese ozubený segment, který pohybuje ručkou na velkém číselníku. Jakmile useň projde, zůstane ručka stát, plocha se odečte, potom se pohybem páky vypnou zmíněné západky, a tím se celý mechanismus vrátí do nulové polohy. Přesnost



Obr. 370.



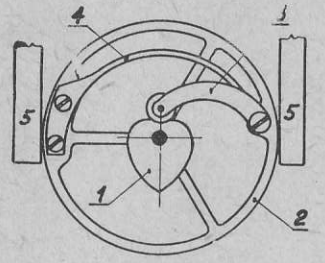
Obr. 371.

stroje záleží zřejmě na rozteči třecích kol, která však z konstrukčních důvodů nemůže být menší než asi 40 mm. To dává přesnost, která stačí v praxi, ale nedosahuje přesnosti velikých planimetrů, kterých se k měření usní rovněž užívá.

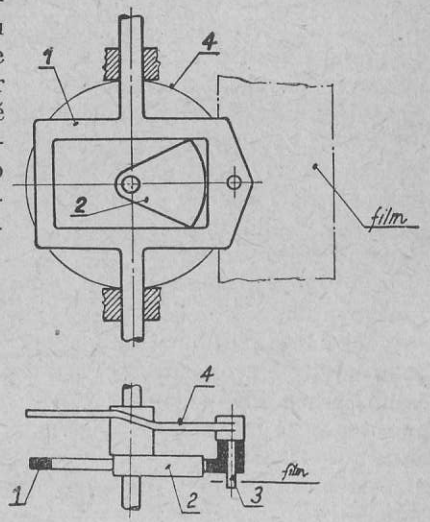
Vačky a drážkové kotouče

Užíváme jich tam, kde je třeba, aby mezi otáčivým nebo posuvným pohybem jedné a otáčivým pohybem druhé součásti byla předepsaná funkční závislost. V zásadě je lhostejné, která z obou částí je poháněna částí druhou. Má-li se otáčením hřídele nějaká součást posouvat radiálně, bude mít vačka obrys Archimedovy spirály, resp. je-li otáček více, užije se kotouče, do jehož bočné plochy je vyfrézován příslušný počet závitů spirály. Kdyby posuvný pohyb měl být rovnoběžný s otočnou osou vačky, užije se vačky bočné nebo válce, do něhož je vyfrézována šroubová drážka. Na obr. 370 je znázorněno, jak se spirálnými vačkami zaostřuje u komory „Rolleikord". Vačka *1* tlačí na fibrový špalíček *2*, vačka *3* na špalíček *4*; jsou-li vačky stejné, dosáhne se posuvného pohybu rámečku *5* s vůlí, kterou lze vymezit posunem špalíčku *4* vzhledem rámu *5*. Hřídel prochází napříč komorou, má vačky na obou koncích a oba rámečky *5* jsou spojeny s deskou, jež nese objektivy. — Všechny stopky mají zařízení podle obr. 371, jímž lze po skončeném měření vrátit ručky do nulové polohy; na hřídeli ručky je vačka tvaru srdíčka a nulovací páčka rovnou plochou tlačí na vačku a tím ji vrátí do nakreslené polohy. Ještě elegantnější je mechanismus na obr. 372, který najdeme ve stopkách, zvaných „ratrapánky": sekundová ručka je dvojitá, druhou, pomocnou ručku lze kdykoliv zastavit, odečte se čas a po uvolnění skočí pomocná ručka zase do zákrytu s ručkou základní (franc. „aiguille rattrapante", odtud název). Na hřídeli základní ručky, na němž je naražena srdčitá vačka, otáčí se volně dlouhý náboj lehkého ocelového kolečka *2*, jež nese pomocnou ručku. Vazbu

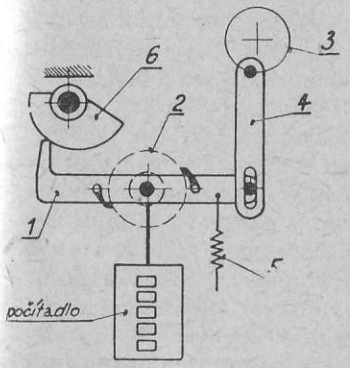
mezi ručkami obstarává páčka *3*, otočná na kolečku *2* a přitlačovaná pružinou *4*; ve výřezu páčky *3* je otáčivě uložena malá kladička (rubínová), jež tlačí na vačku *1*. Stisknutím knoflíku kleště *5* sevřou a blokují kolečko *2* a pomocná ručka stojí, zatím co se vačka otáčí, sledována kladičkou; druhým stisknutím se kleště uvolní a součásti skokem zaujmou zase nakreslenou vzájemnou polohu. Mechanismus je subtilní, což je vidět z toho, že kolečko *2* mívá průměr 7—8 mm. V tomto a v předešlém případě srdčitý tvar se skládá ze dvou spirál přibližně logaritmických (aby srdíčko bylo špičaté). — Na obr. 373 je znázorněn mechanismus na podávání filmu (v přijíma-



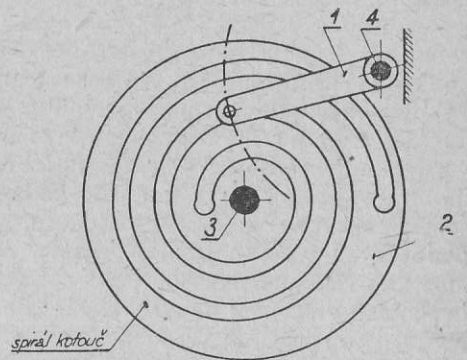
Obr. 372.



Obr. 373.



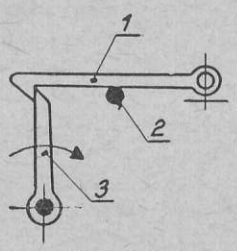
Obr. 374.



Obr. 375.

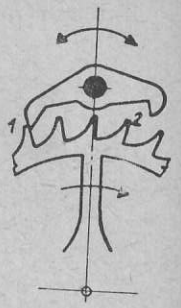
cím stroji), jak ho užili již bratři Lumièrové. Rámec *1* je veden v přímce a v něm se otáčí trojboká vačka *2*, která mu dává pohyb střídavý s prodlevami v úvratích. V rámci *1* je posuvný unášecí kolík *3*, ovládaný dvoustrannou bočnou vačkou *4*. Konec kolíku tedy opisuje protáhlý obdélník: vnikne do dírky ve filmu, strhne film dolů, vysune se z dírky a vrátí se nahoru.

Na obr. 375 je nakresleno, jak je nakláněno zrcátko v leteckých sextantech: je upevněno na páce *1*, která čípkem zasahuje do spirálné drážky v kotouči *2*, jímž pozorovatel pohybuje, když měří. Poněvadž se čípek nepohybuje radiálně, nýbrž po kružnici a vyžaduje se přímá úměrnost úhlových pohybů kotouče a páky, spirála nebude přesně Archimedova. Výpočet spirály by byl ovšem pracný, ale obtížnější by byla její realisace ve výrobě. V tomto případě — a v mnoha jiných podobných — lze si výpočet ušetřit a spirálu lze snadno a přesně realisovat, sestavíme-li frézovací strojek, který prostě napodobuje to, co se děje, když se užívá mechanismu. Na ose *3* si představme upínací desku, která nese kotouč, do něhož řeže drážku fréza uložená v rameni, jehož délka a vzdálenost osy *4* od osy *3* jsou přesně takové jako u sextantu. Stačí pak, budou-li na hřídelích *3* a *4* šneková kola a budou-li jejich šneky navzájem spřaženy vhodným převodem: fréza automaticky vyřízne spirálu již korigovanou.



Obr. 376.

Obr. 377.



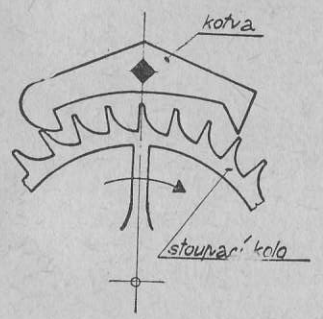
Obr. 378.

Vačky lze také použít jako plynule proměnlivého dorazu. Příkladem je integrační mechanismus na obr. 374. Kývající páčka *1* otáčí s pomocí dvou západek (analogie s obr. 334) rohatkou *2* a ta pak kuželovými kolečky otáčí obyčejným počitadlem. Páka *1* dostává pohyb od kliky *3* přes ojničku *4*, která má pro jeden z čepů podlouhý otvor. Jedna úvrať (z níž páčka je tažena pružinou *5*) je určena klikou, druhá je proměnná a je dána vačkou *6*, na niž narazí nos páky *1*. Takto je proveden přístroj, který integruje práci vykonanou letadlovým motorem. Klika je poháněna od motoru, její otáčky odpovídají tedy dráze. Vačka je natáčena tlakoměrem, který měří absolutní tlak v přívodním potrubí motoru; závislost tohoto tlaku a momentu, který vyvinuje motor, je známá pro typ motoru a podle ní se formuje vačka. Podobným způsobem lze sečítat množství materiálu, jež prošlo dopravním pásem. Několik podpěrných válečků pásu je neseno pákovým systémem, který odpovídá mostním váhám. Váha se přenáší nakonec na kyvadlo (sklonnou váhu), které je spojeno s vačkou; pohyb kliky *3* je odvozen od pohybu dopravního pásu. Na rozdíl od integračních mechanismů již popsaných tento mechanismus provádí integraci nikoliv plynule, nýbrž po konečných stupních.

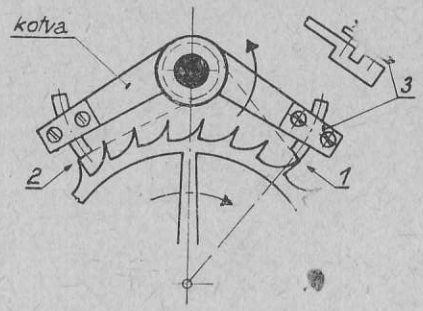
Zarážky a hodinové kroky

Zarážka je součást, jež se tvarem podobá západce a jež má zadržovat jinou otočnou část. Na obr. 376 je znázorněna zarážka *1*, otočná na čepu a v klidu spočívající na pevném dorazu *2*. Otočná součást *3* pohybem ve směru šipky

zarážku zdvihne, je zachycena a může vyklouznout teprve tehdy, když byl dán povel zdvižením zarážky. Kromě otočné zarážky se často užívá zarážky pružinové podle obr. 377. Zarážek v různých formách se užívá hlavně v hodinářství, ale také v různých jiných mechanismech, jež pracují automaticky; pružinová zarážka je základem kroku námořních chronometrů. Na obr. 378 je znázorněna zarážka dvojitá: v nakreslené poloze drží zarážka zub *1* rohatky; uvolní-li tento zub, zarážka druhým svým koncem zachytí zub *2*. Vykoná-li zarážka pohyb sem a tam, pootočí se kolo o jednu rozteč. Tento mechanismus může dostat různé tvary a sloužit jako počítadlo, řídit posun vozíku psacího stroje a pod.



Obr. 379.

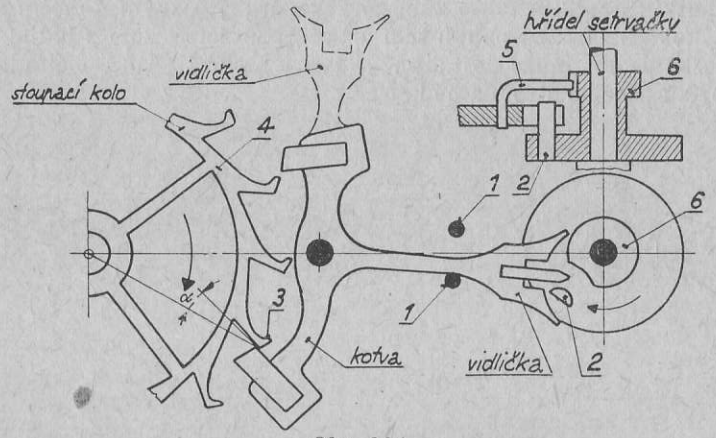


Obr. 380.

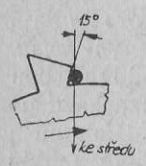
Dá-li se zarážce tvar jako na obr. 379, máme nejjednodušší *krok* pro hodiny. Zde kolo — říkáme mu *stoupací kolo* — pohání zarážku, zvanou nyní *kotva*. Stoupací kolo uvádí kotvu do pohybu, jehož rychlost je dána obvodovou silou kola a momentem setrvačnosti kotvy. Takto se pohybuje palička každého budíku a takto jsou regulovány časy fotografických závěrek typu „Compur"; přesnost není veliká, poněvadž kotva nemá určitou dobu kyvu (chybí jí direkční moment), ale u závěrky odchylky +10% jsou přijatelné. Jinak ovšem, je-li kotva spojena s kyvadlem, jak to udělal již R. Hooke; pak tento „anglický hák", jak tomu říkali staří hodináři, umožňuje hodinám chod přesný až na několik sekund denně, je-li kyvadlo těžké, a dobře kompensované. Z obrázku je jasné, že po vyklouznutí zubu, poněvadž kyvadlo dokončuje svůj kyv, stoupací kolo je donuceno trochu couvnout. Tento krok je tedy „vratný" a tlak stoupacího kola ustavičně vyvozuje moment, který se přičítá k direkčnímu momentu kyvadla; doba kyvu se tím trochu zkracuje, a co je horší, toto zkrácení není konstantní, poněvadž nemohou být přesně konstantní síly ve hře (proměnlivé tření).

Graham podstatně zlepšil kotvový krok modifikací na první pohled nepatrnou, zřejmou na obr. 380. Zde špičatý zub *1* lehkého stoupacího kola právě vyklouzl a zub *2* dopadl na *válcovou* plochu levého zubu kotvy. Kyvadlo s kotvou se pohybuje dále ve směru šipky, ale stoupací kolo je v klidu, špička zubu *2* se jen tře po klidové válcové ploše kotvy — krok Grahamův je „klidný"

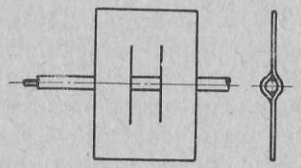
Při zpětném pohybu kotvy stoupací kolo setrvá v klidu, dokud zub *2* nesklouzne po šikmé plošce kotvy, dávaje tak impuls kyvadlu. Kotva může být ocelová, se zuby kalenými a dobře vyleštěnými, obyčejně však je z mosazi (jak je nakresleno) a ocelové zuby jsou zasaženy a drženy destičkami *3*; v nejlepším provedení jsou do konců zubů vsazeny a zašelakovány vložky safírové. Jak je vidět, kyvadlo není ani na okamžik volné, neboť buď dostává



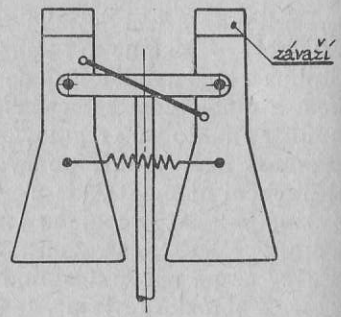
Obr. 381.



Obr. 382.



Obr. 383.



Obr. 384.

impuls, nebo přemáhá tření kotvy; ale hra sil, teoreticky těžko sledovatelná, je náhodou tak příznivá, že chod hodin může být přesný až na jednu desetinu sekundy za den, a při tom krok tento je jednoduchý a snadno vyrobitelný nejjednoduššími prostředky. Teprve kroky novější, složitější a výrobně mnohem obtížnější zřetelně předstihly výkony kroku Grahamova, dnes přes 200 roků starého; používáme ho dodnes pro všechny lepší hodiny, kdežto kotva podle obr. 379, často vyrobená z pouhého proužku plechu (upevněného podle obr. 19), slouží v hodinách hrubších.

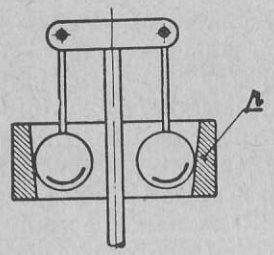
Zajímavá je aplikace kotvy pro kapesní hodinky, která byla navržena již dávno (Mudge 1765), ale všeobecně byla zavedena teprve v tomto století, když výrobní technika pokročila. Je to *volný krok kotvový*, který se vyznačuje

tím, že setrvačka je vždy jen na okamžik spojena s krokem, jinak kmitá zcela svobodně. Na obr. 381 je znázorněna t. zv. švýcarská forma kroku, které se dnes užívá ovšem v celém světě. Kotva je v celku s vidličkou, jež obstarává občasné spojení se setrvačkou, a rubínové zuby kotvy (sr. obr. 32) hranolové formy jsou nastaveny v úhlu α (12—15°) k poloměru stoupacího kolečka; tlak stoupacího kola proto kotvu přitahuje a vidlička pružně doléhá vždy na jeden nebo druhý dorazný kolík *1*. Nakreslen je okamžik, kdy impulsní kámen *2* se pohybuje ve směru šipky a blíží se k vidličce; kámen vnikne do vidličky, strhne ji s sebou, tím je vybaven zub *3* stoupacího kola a ten sklouzne po zubu kotvy, které dá hnací impuls. Jakmile zub *3* unikne, druhý zub kotvy zachytí zub *4*. Současně vyběhne kámen *2* z vidličky, která setrvačností v pohybu pokračuje, až je zastavena kolíkem *1*. Zajištění kotvy v krajních polohách pouhým účinkem „tažného" úhlu α není dost bezpečné, proto je do vidličky zaražen prstík *5* a na hřídeli setrvačky je pojistný kotouček *6* s výřezem. Osy stoupacího kola, kotvy a setrvačky jsou nejčastěji v jedné přímce; v náramkových hodinkách, kde je třeba šetřit místem, najdeme někdy vidličku vytvořenou prodloužením ramena kotvy, jak je čárkovaně naznačeno na obr. 381. Kotva má pohyb obyčejně 10°. Amplituda setrvačky u kvalitních hodinek bývá asi $\pm 220°$, tedy celý pohyb asi 440° a z toho úhel mezi vstupem a výstupem kamene *2* z vidličky činí jen 40°, někdy i jen 30°. Setrvačka je tedy asi 95% celého času volná; proto je tento krok nejlepší pro kapesní a náramkové hodinky a v kapesních chronometrech dociluje přesnosti několika málo desetin vteřiny za den. Ovšem vyžaduje výborné dílenské provedení. Proto u hrubších strojů, jako jsou budíky, je vhodnější forma zjednodušená podle obr. 382. Kotva má místo zubů dva tenké ocelové kolíčky (rovnoběžné s hřídelem) a zuby stoupacího kola mají zjednodušený tvar; stoupací kolo zároveň omezuje pohyb kotvy, dorazné kolíky tedy odpadnou. Tento krok uspokojivě funguje i při hrubém provedení, které je ostatně v souladu s obvyklým viklavým uložením setrvačky podle obr. 236.

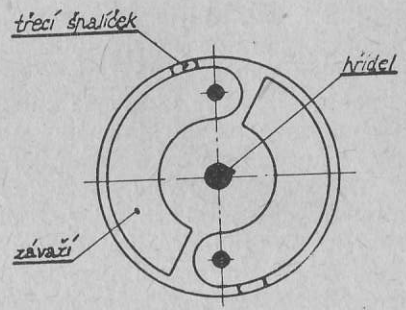
Regulátory otáčivé rychlosti

U různých „hodinových" strojů, které nejsou určeny k měření času, je třeba poměrně stálé otáčkové rychlosti. Užíváme regulátorů, které — na rozdíl od regulátorů turbin a jiných strojů — neřídí přívod energie, nýbrž prostě přebytečnou energii maří, absorbují (absorpční regulátory) a mění v teplo. Nejjednodušší je pouhý větrníček podle obr. 383, který ovšem stačí jen pro bicí stroje hodin nebo pro Morseovy přístroje, kde na otáčkové rychlosti mnoho nezáleží. Mnohem lepší je regulátor znázorněný na obr. 384 (Foucaultův); větrníček je tvořen rameny pružinového regulátoru, máme tedy větrníček jaksi proměnného průměru. Často se užívá regulátorů třecích, jako na obr. 385; rychlost lze regulovat axiálním posunem prstence *p*. Podobně funguje regulátor na obr. 386; i zde lze rychlost regulovat posunem pevného bubínku, v němž se otáčejí závaží, je-li bubínek uvnitř kuželový. Gramofonové stroje jsou všeobecně řízeny třecím regulátorem podle obr. 388.

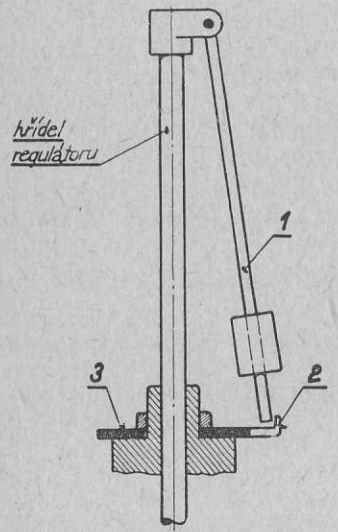
Dvě nebo tři závaží *1* jsou nesena listovými pružinami *2*. Průhyb pružin posouvá destičku *3* a přitlačuje ji k měkkému brzdicímu špalíčku *4*; rychlost se reguluje natáčením páky *5*, jež nese špalíček *4*. Přesnost je při jednoduché a laciné konstrukci poměrně dobrá, podle zkušenosti asi $\pm 0{,}05\%$, což stačí nejen pro gramofony, nýbrž i pro páskový chronograf (je dobře si připomenout, že interval jednoho půltónu činí v temperovaném ladění $\sqrt[12]{2} = 1{,}06$). — Zcela jiný, a prý výborný je regulátor znázorněný na obr. 387, jehož se užívá



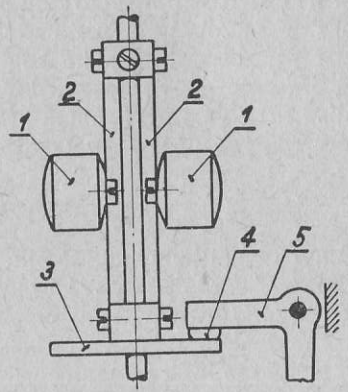
Obr. 385.



Obr. 386.



Obr. 387.



Obr. 388.

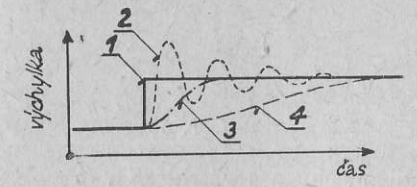
v bubnových chronografech továrny Warner & Swasey; pracuje přetržitě tak, že stoupnutím rychlosti se více vychýlí jediné rameno *1* a zachytí za nos *2* volně otáčivého prstenu *3*, čímž odpor náhle stoupne.

Je mnoho regulátorů ještě složitějších, u nás na příklad pěkná konstrukce Nušl—Fričova, ale žádný z nich nemá chybu menší než asi $\pm 0{,}1\%$. Řídí-li

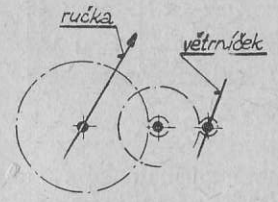
proto regulátor otáčení dalekohledu, když se fotografuje hvězdná obloha, je třeba cíl stále (po několik hodin!) sledovat hledacím dalekohledem a chyby hodinového stroje ručně opravovat („pointování"). Vysoké přesnosti lze dosáhnout jedině tím, že se užije zjevů oscilačních, kmitů. Stroj se pohání synchronním motorkem. Nezáleží-li na absolutní hodnotě otáčkové rychlosti, lze motorek napájet ze střídavé sítě. Před válkou byly chyby frekvence v pražské síti v mezích asi $\pm 0{,}5\%$, v Berlíně jen $\pm 0{,}1\%$; důležité je, že frekvenče se mění velmi pomalu a že okamžitou její hodnotu lze snadno (synchronními hodinami a stopkami) zjistit. Pro vyšší požadavky je třeba zdroje s mnohem stálejší frekvencí. To může být *ladička*, udržovaná v kmitání elektronkami (viz Horák, Praktická fysika); je-li ladička udržována na stálé teplotě (v thermostatu), lze dosáhnout stálosti kmitů s chybou 10^{-6} až 10^{-7}. Ještě přesněji drží frekvenci kmitající (vlivem piezoelektrického zjevu) tělísko vybroušené z *křišťálu*, obyčejně tyčinka nebo prsten. Je-li kmitající křemen uzavřen v zatavené nádobce a udržován na optimální teplotě s chybou $\pm 0{,}002^0$ C, představuje normál frekvence s chybou pouze 10^{-7} až 10^{-8}. Frekvence křemene je poměrně vysoká, kolem 100 000, energie jeho kmitů malá. Proto je nutno užít okruhů zesilovacích a okruhů snižujících po stupních frekvenci na hodnotu vhodnou pro motorek (1000 sec^{-1}). Je to složitá elektrická aparatura s řadou elektronek a kontrolních měřicích přístrojů, ale synchronní motorek takto napájený pak představuje hodiny rovnocenné nejlepším strojům kyvadlovým, jichž sice nedosahuje spolehlivostí, které však předčí svou nezávislostí na pohybech zemské kůry. Za zmínku stojí, že v Americe byl učiněn pokus (není ovšem známo, jak prakticky úspěšný), kmitající křemen ještě řídit — synchronisovat — *kmity atomů* v molekulách čpavku. Je tedy možné, že v budoucnosti nám budou atomární děje standardem, etalonem, nejen délkovým, nýbrž i časovým.

Zařízení tlumicí

Každý ukazující (ručkový) nebo zapisující měřicí přístroj představuje oscilátor, t. j. systém schopný kmitání, poněvadž má jistou hmotu a nezbytně je přítomna i direkční síla. Takový měřicí systém reaguje na náhlé zvětšení



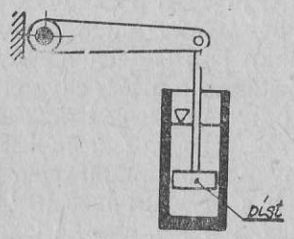
Obr. 389.



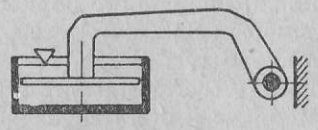
Obr. 390.

měřené hodnoty vždy zakmitáním (obr. 389). Je-li čára *1* průběh měřené veličiny, bude výchylka systému dána čarou *2*, je-li útlum nevelký, čarou *3*, je-li tlumení kritické — aperiodické, a čarou *4*, je-li tlumení zvlášť silné. Je dále

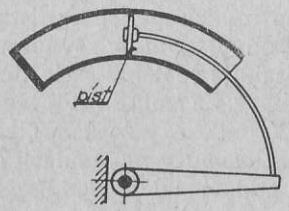
známo z theorie kmitů, že veličinu rychle se měnící může sledovat jen systém s dostatečně vysokou vlastní frekvencí. Takovéto systémy mají často útlum (odporem vzduchu a jinak) dostatečný, jindy však, a u systémů s malou vlastní frekvencí pravidelně, jsme nuceni užít vhodného tlumicího zařízení. Podmínkou však je, že tlumení musí být *progresivní*, t. j. musí být nulové při nulové rychlosti měřicího ústrojí. Naproti tomu nezáleží na tom, stoupá-li tlumení úměrně rychlosti nebo kvadrátu této rychlosti. Z předešlého již vyplývá, že tření, jako síla zhruba konstantní, zde se nehodí.



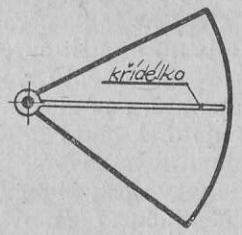
Obr. 391.



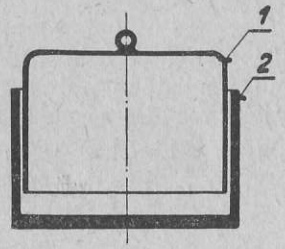
Obr. 392.



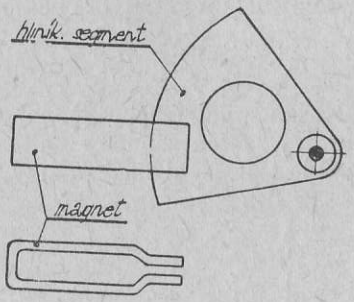
Obr. 393.



Obr. 394.



Obr. 395.



Obr. 396.

Tlumení mechanické s ozubenými kolečky a s větrníčkem (obr. 390) má značné tření a hodí se proto nejvýše pro přístroje, které se silně chvějí, na př. pro centrifugální tachometry. Velikou tlumicí sílu dává válec s netěsněným pístem, naplněný kapalinou (obr. 391); při větších výchylkách vyvozuje bočná složka váhy pístu tření; proto uděláme píst lehký. Toto tření odpadá u provedení podle obr. 392, které je ovšem vhodné jen pro malé výchylky

pístu. První provedení najdeme na př. u známých automatických (sklonných) vah, kterých se dnes běžně užívá v obchodech. Potíže bývají s kapalinou: voda se vypařuje a zanechává usazeniny, oleje se zase rády rozlézají po celém stroji. Stačí-li malá tlumicí síla, užijeme čistotnějšího tlumení vzduchového, buď ve formě zahnutého „válce" jehož se píst nedotýká (obr. 393), nebo ve formě pouzdra, v němž se s malou vůlí otáčí křídlo (obr. 394). Obou systémů lze ostatně ve vhodné úpravě užít i pro kapaliny.

Analytické váhy se opatřují tlumicím zařízením podle obr. 395; nádoba *2* je nehybná, lehký zvon *1* (lisovaný z plechu) je zavěšen buď pod miskou vah, častěji nad miskou. Tlumení (při pomalých pohybech citlivých vah) je dáno v podstatě jen třením vzduchu proudicího mezi nádobami *1* a *2*, máme zde tedy případ tření „viskosního", t. j. úměrného rychlosti. Stejnou charakteristiku má zařízení na obr. 396, jehož se hojně užívá u elektrických měřicích přístrojů. Pohybem hliníkového segmentu nebo kotouče mezi póly permanentního magnetu vznikají v hliníku vířivé proudy, jejichž intensita je úměrná úhlové rychlosti segmentu.

Mnoho měřicích přístrojů má tlumení vlastní a zvláštní tlumicí zařízení nepotřebuje. Na př. galvanometry s pohyblivou cívkou jsou tlumeny vířivými proudy, jež vznikají pohybem v magnetickém poli v hliníkovém rámečku cívky, který tvoří závit na krátko spojený. K tomu se ještě přičítá tlumení dané proudem indukovaným v cívce, jehož síla ovšem závisí na odporu vnějšího okruhu galvanometru. Hydraulické siloměrné systémy (na př. zkoušecí stroje Amslerovy) mohou dostat libovolně velké tlumení tím, že se zaškrtí (po př. regulačním ventilem) spojovací potrubí mezi pracovním válcem a tlakoměrem. — Velikost tlumení je věcí kompromisu; kmitání je nepohodlné a skresluje správné údaje. Tlumení ovšem skresluje také, a je-li přílišné, nejsme si jisti, zda ručka už ukazuje novou hodnotu. Obvykle se snažíme o tlumení skoro aperiodické, tak aby ručka jen jednou málo přeběhla.

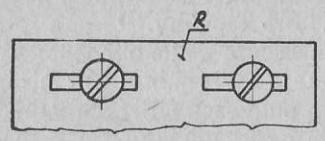
Zařízení rektifikační

Měřicí stroje často musí vyhovět podmínkám geometrického nebo kvantitativního rázu: dvě osy mají být spolu rovnoběžné nebo na sebe kolmé, dvě součásti mají mít určitou vzdálenost; rameno páky má mít předepsanou délku nebo být v předepsaném poměru k rameni druhému; pohyblivá součást má mít určitý kmitočet, mikroskop má mít určité zvětšení; převod na ručku je třeba upravit tak, aby údaje ručky souhlasily s hotovým číselníkem, hodiny je třeba vyregulovat tak, aby ukazovaly sluneční čas, atd.

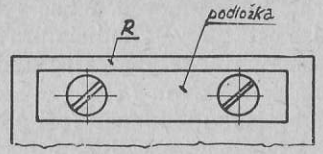
Někdy nelze tyto podmínky při výrobě stroje splnit vůbec; jindy nelze je splnit s přesností tak vysokou, jakou stroj potřebuje. Na stroji, který je v provozu, mohou časem — vlivem namáhání, otřesů, opakovaných změn teploty — nastat změny, a tím nesprávnosti a nepřesnosti. Proto se napořád setkáváme se zařízeními, která umožňují, aby stroj byl při výrobě i později ve službě seřízen, aby vyhověl podmínkám. Této práci říkáme *rektifikace*, v optických továrnách *justování* nebo *justáž* (Rusové: justirovka), v hodinářství se užívá

termínu *regláž* (kterou dělá reglér). Těchto zařízení je velké množství, zde budou uvedeny jen typické případy. Většinou jde o malé posuny části proti sobě nebo o malé pohyby úhlové; proto se také užívá většinou šroubů.

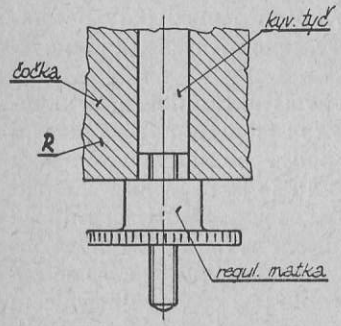
Nejjednodušší je použít velikých nebo podlouhlých otvorů pro upevňovací šrouby (obr. 397); rektifikace není ovšem ani přesná, ani pohodlná a je nebezpečí, že utažením šroubů (které nikdy nedolehnou po celém obvodě hlavy najednou) zase se změní poloha části *R*. Toto nebezpečí je menší, je-li těchto šroubů více a utahujeme-li současně po částech všechny, a zejména tehdy, mají-li šrouby společnou podložku (obr. 398).



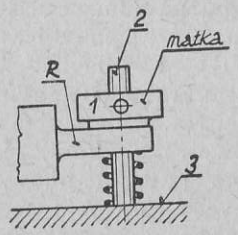
Obr. 397.



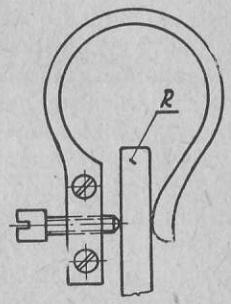
Obr. 398.



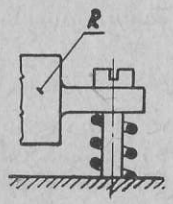
Obr. 399.



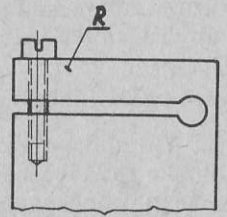
Obr. 400.



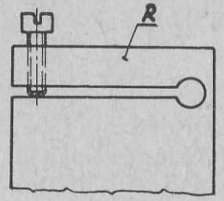
Obr. 401.



Obr. 402.

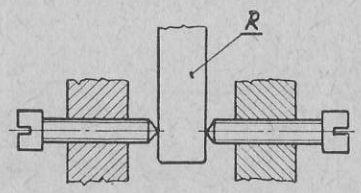


Obr. 403.

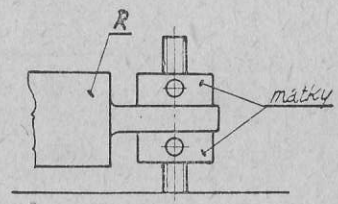


Obr. 404.

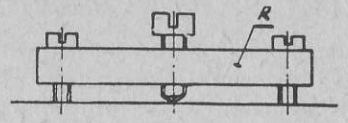
Rektifikuje-li se šroubem nebo matkou, je zapotřebí nějaké síly, která pohyblivou část tlačí do styku se šroubem. Může to být váha oné součásti, jak je tomu u kyvadla (obr. 399), kde těžká čočka spočívá na regulační matce. Často je to pružina, jako na obr. 400, kde šroubová pružina tlačí na pohyblivou část, označenou (jako ve všech obrazcích) *R* proti rektifikační matce *1*; šroub *2* je zavrtán do pevné části *3*. Místo matky lze užít rektifikačního šroubku, obr. 402. Na obr. 401 je pěkné zařízení, jehož se užívá u nejjemnějších hodinek k řízení regulační ručky. Matka pro pohybový šroubek a vratná pružina jsou z jednoho kusu oceli; zařízení funguje přesně jen za předpokladu, že regulační ručka nejde ztuha a hlavně že nepruží. Někdy lze malou pohyblivost, potřebnou k rektifikaci, zjednat tím, že součást stroje se rozřízne a řez se podle potřeby šroubkem zúží (obr. 403) nebo se tlakovým šroubkem rozšíří (obr. 404). Spolehlivost popsaných zařízení je tím větší, čím silnější je pružina a čím tíže jde šroub v závitu.



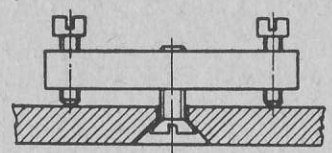
Obr. 405.



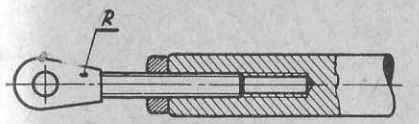
Obr. 406.



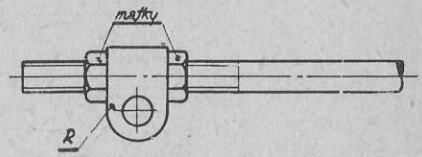
Obr. 407.



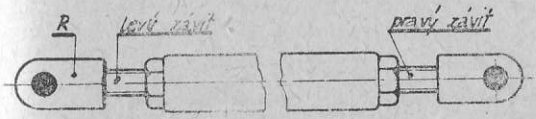
Obr. 408.



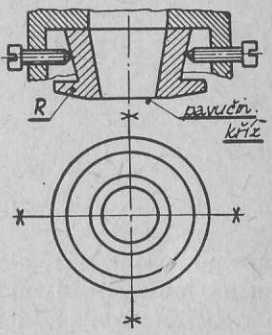
Obr. 409.



Obr. 410.

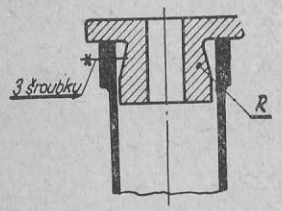


Obr. 411.

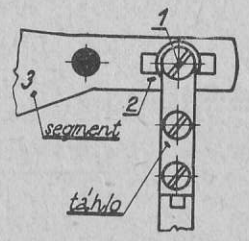


Obr. 412.

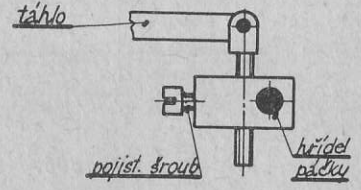
Nejbezpečnější, i když méně pohodlné, je užít dvou šroubů (obr. 405) nebo dvou matek (obr. 406), působících proti sobě; šrouby lze důkladně utáhnout, po příp. ještě nějak zajistit. Proto způsoby na obr. 293 a 294 jsou lepší než způsoby na obr. 403 a 404. Je-li žádána možnost malého pohybu rotačního i translačního, užijeme dvou šroubků tažných a jednoho tlačného (obr. 407)



Obr. 413.

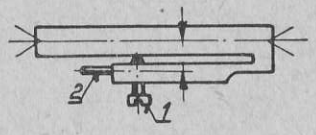


Obr. 414.



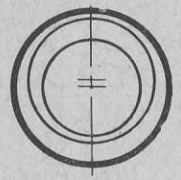
Obr. 415.

nebo naopak dvou tlačných a jednoho tažného (obr. 408). Jsou-li krajní šrouby tři, lze část *R* naklánět ve všech směrech; tak se rektifikuje na př. krabicová libela. — Jde-li o táhlo, jehož délku je třeba nastavit, lze toto táhlo složit ze dvou kusů, tyčky a trubky, a spojení provést sevřením jako na obr. 137. Bezpečnější je způsob znázorněný na obr. 409, ovšem nejmenší možná změna délky se rovná polovici stoupání závitu. Jemně lze délku nastavit provede-

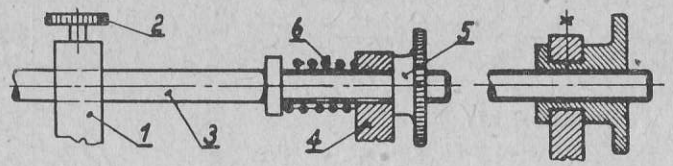


Obr. 416.

Obr. 417.



Obr. 418.



Obr. 419.

Obr. 420.

ním podle obr. 411, které odpovídá letadlovému napínáku; zajištění je zde nutné, buď přitužnými matkami, nebo ještě lépe způsobem znázorněným na obr. 127. Je-li síla táhlem přenášená malá, lze připustit excentrické její působení a užít volné hlavy sevřené mezi dvěma matkami (obr. 410).

Má-li být součást posuvná ve všech směrech po rovné ploše, užijeme tří nebo čtyř šroubků, které tlačí na šikmé plošky nebo na kuželovou plochu, čímž je

součást zároveň na onu rovinnou plochu přitlačována. Tak se rektifikuje podle obr. 412 poloha prstenu s pavučinovým křížem v záměrném dalekohledu; čtyři šroubky jsou sice nadbytečné, ale usnadňují rektifikaci jednou jen ve vodorovném, po druhé ve svislém směru. Nesnadnější a tápavější je rektifikace třemi tlačnými šrouby, jako je na obr. 413 nastavení závěsu zrcadlového galvanometru (aby visící cívka nikde neškrtala).

U měřících ručkových přístrojů se často vyžaduje, aby bylo možno měnit převod z měřicího orgánu na ručku. To se provede změnou některé převodové páky, na př. v manometrech, je táhlo otočné na čepu *1*, který lze přestavit ve výřezu páky *2*, spojené s ozubeným segmentem *3*, a někdy i délku táhla lze seřídit způsobem zřejmým na obr. 414. V leteckých přístrojích bývá provedení podle obr. 415, ovšem nejmenší posuv je o polovinu stoupání závitu. Velmi jemnou rektifikaci dovoluje páčka na obr. 416, rozříznutá a rozevíraná šroubkem *1*, čímž se mění vzdálenost mezi čípkem *2* pro táhlo a osou páky; tento způsob najdeme v aneroidech i jinde.

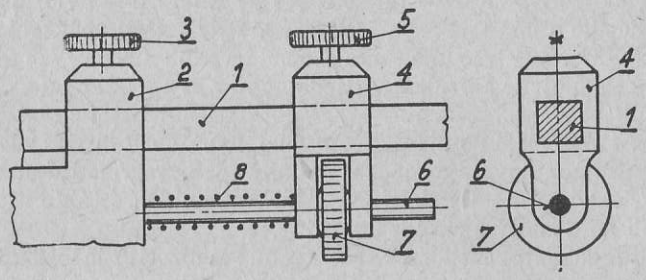
Příležitostně se užije rektifikace excentrem. Na obr. 417 je ložisko pro uložení hřídelíku vyvrtáno excentricky v kulatém kousku mosazi, který má zářez pro šroubovák a je v rámu přístroje držen buď závitem ztuha jdoucím, nebo je lehce, t. j. ještě otočně, zanýtován. Takto se na př. seřizuje záběr mezi ozubeným segmentem a pastorkem ručky v leteckých měřicích přístrojích nebo hloubka záběru kotvy v kyvadlových hodinách. Všestranný pohyb v rovině, jehož bylo na obr. 412 dosaženo tlačnými šroubky, dá se realisovat též dvěma excentry v sobě, obr. 418; takto se někdy rektifikuje poloha dalekohledového objektivu. Příklad, jak lze excentrem vymezovat vůli, byl zházorněn na obr. 152.

Ustanovky

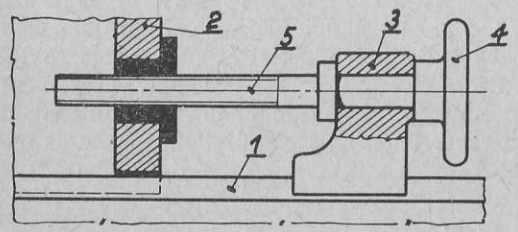
Ustanovky přicházejí v úvahu tam, kde při měření je třeba jemně a přesně nastavit polohu části, která má velký rozsah pohybu. Mikrometricky jemného pohybu lze snadno dosáhnout šroubem, šroub však pracuje pomalu, a je právě charakteristické pro ustanovku, že dovoluje hrubý a rychlý pohyb rukou, při čemž je z činnosti vypjata. Pak následuje jemné konečné nastavení šroubem. Na př. alhidada úhloměrných strojů je otočná o celých 360°, ale konečné zacílení se provede s přesností zlomků sekundy. Ustanovek se užívá pro pohyby úhlové i posuvné a zde uvedeme několik typických příkladů.

Jednoduchá forma ustanovky délkové znázorněna je na obr. 419; *1* je pohyblivá část, kterou lze tlačným šroubem *2* spojit s tyčí *3*. Uvolníme-li šroub *2*, můžeme část *1* posunout rychle a zhruba do žádané polohy, potom šroub *2* utáhneme a matkou *5*, která se opírá o rám stroje *4*, provedeme přesné nastavení. Pružina *6* působí proti matce, vše je v jednostranném závěru, vůli v závitu tedy není cítit. Pružina musí být tak silná, aby bezpečně přemohla tření části *1*. Je-li toto tření veliké (na př. u velkého stroje), ustanovka jde těžce, neboť matka musí překonávat součet tření části *1* a síly vyvozené pružinou. V tom případě od pružiny upustíme a matku uložíme na př. do dvoudílného

ložiska (obr. 420). Na obr. 421 je znázorněna ustanovka pro posuvnou tyč planimetru nebo integrátoru. Čtyřhranná tyč *1* je vedena v rámu stroje *2* a lze ji zhruba nastavit po uvolnění šroubů *3* a *5*. Jemný pohyb obstará šroubek *6* pevně navrtaný do rámu, když utažením šroubu *5* byla fixována část *4*, v jejímž vybrání leží matka *7*. Vůle je odstraněna pružinou *8*; nestačí-li síla pružiny, zařízení funguje dále, ovšem s vůlí. Ustanovka k pohybu těžkého



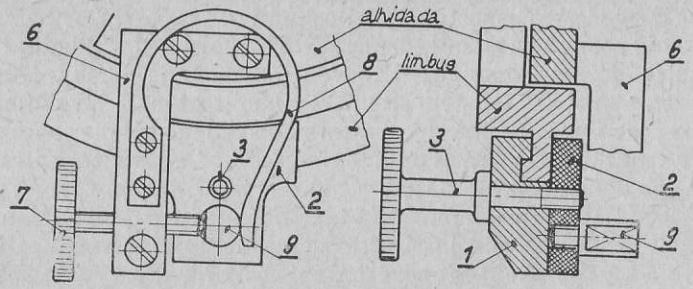
Obr. 421.



Obr. 422.

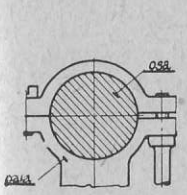
koníka na měřicím stroji je znázorněna na obr. 422. Na loži (rámu) *1* je veden koník *2* a stojánek *3*, který lze fixovat v každé poloze (na př. podle obr. 152 nebo 168). Jemný pohyb se provede ručním kolečkem *4* a pohybovým šroubem *5*, jenž má matku v koníkovi. Zde se plně uplatňuje vůle v závitu i uložení šroubu; v praxi to mnoho nevadí, poněvadž při měření je třeba koníkem pohybovat vždy týmž směrem (na obr. doleva).

Ustanovky úhloměrných strojů jsou dvojího typu. Ustanovka *obvodová* má tvar krátkého klouzátka, které se posunuje po okraji děleného kruhu čili

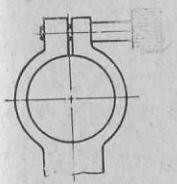


Obr. 423.

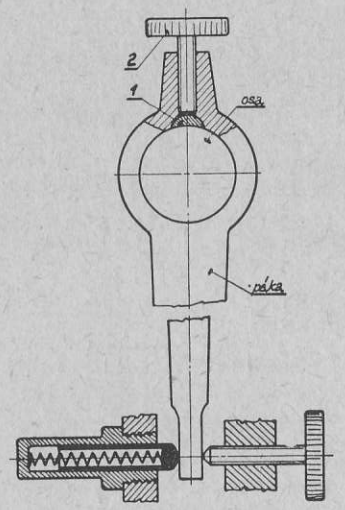
limbu. Ustanovka *osová* objímá otočnou osu nebo vnější válcovou plochu ložiska této osy. Příklad obvodové ustanovky je na obr. 423. Po okraji limbu se posouvá klouzátko, složené ze dvou čelistí *1* a *2*, které lze šroubem *3* sevřít. Čelist *2* nese kolík *9*, o nějž se s jedné strany opírá pohybový šroub *7* (který má matku v části *6* přišroubované na alhidádu), s druhé strany pružina *8* (přišroubovaná na část *6*). Je-li šroub *3* uvolněn, lze alhidadou točit a při tom



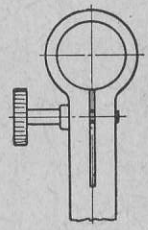
Obr 424.



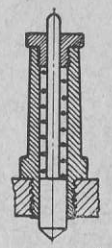
Obr. 425.



Obr. 426.



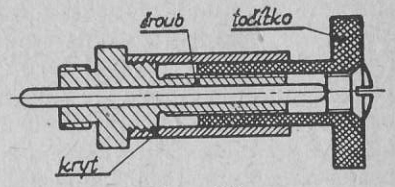
Obr. 427.



Obr. 428.

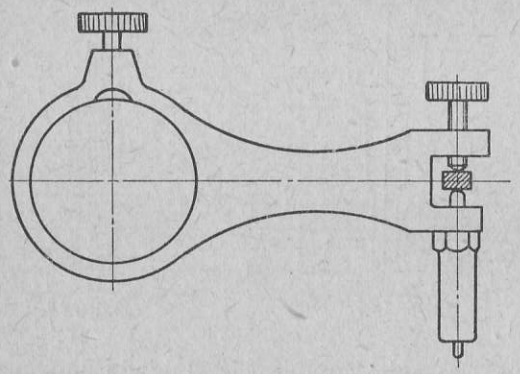
čelisti *1* a *2* klouzají po limbu. Utažením šroubu *3* je alhidada fixována a možný je jen jemný pohyb šroubem *7*. Obvodových ustanovek, dříve oblíbených, dnes užijeme jen z nouze; nevýhodné je, že klouzátko se pohybuje po plochách vystavených zaprášení a že nesčetněkrát opakované svírání může vést nakonec k roztažení materiálu a tím k deformacím limbu.

Základní součástí osové ustanovky je páka otočná kolem příslušné osy. Na této ose lze páku fixovat, buď tak, že rozříznutou hlavu páky sevřeme šroubem (obr. 424, 425, 427), nebo zabrzdíme (obr. 426) špalíčkem *1*, na který tlačí šroub *2*. Druhý způsob je dnes běžný, dobře vyhovuje, konstrukce je jednoduchá a snadná pro výrobu. Prvnímu způsobu se vytýká, že po dlouhém užívání se funkce stává nespolehlivou. Závažnější je, že sevření rozříznuté hlavy je nezbytně provázeno malými tangenciálními pohyby mezi hlavou a osou. Proto sevření může způsobit malé pootočení osy vzhledem k páce; to nevadí u strojů s jednou ustanovkou, ale způsobuje chyby u strojů repetič-

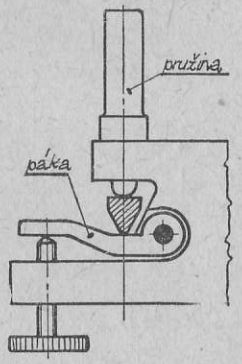


Obr. 429.

ních. Bez této vady ostatně není úplně ani ustanovka podle obr. 426 (špalíček *1* má vůli a o šroubu je vždy radno předpokládat, že hází), a proto repetiční methoda se nehodí a neprovádí pro precisní theodolity. Výhodou prosté brzdy na obr. 426 je i to, že šroub *2* můžeme umístit kdekoli, tak aby byl pohodlně na dosah. Pohybový šroub a proti němu tlačící pružina mohou být na rámu stroje a mohou se opírat o konec páky jako na obr. 426, nebo jsou na konci páky a opírají se o kolík upevněný v rámu (obr. 430), nebo jsou na pohyblivé části, je-li ustanovka na pevném ložisku jako na obr. 279, 282. Kterého způsobu užijeme, záleží na poměrech. Zásada je, že práce s ustanovkou má být pohodlná a skoro bezděčná. Nejlépe je, jestliže se poloha točítek pro pozorovatele nemění; je-li jeho poloha pevná, mají i točítka zůstávat na místě, pohybuje-li se pozorovatel kolem stroje (na př. u theodolitu), je lépe, pohybují-li se točítka s ním.



Obr. 430.

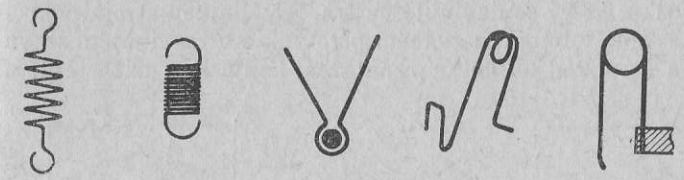


Obr. 431.

Pohybový šroub ustanovky je vždy jemný, stoupání řádu 0,3 mm; matka je obyčejně rozříznutá jako na obr. 121. Jemné šrouby trpí prachem a rychlejším opotřebením; lze je zakrýt, ovšem za cenu složitější konstrukce (obr. 429). Vratná pružina je dnes vždy šroubová, z drátu vinutá a netlačí přímo, nýbrž prostřednictvím tyčinky jako na obr. 428, nebo pístku jako na obr. 426. Uložení hlavy ustanovky je vidět na příkladech obr. 279, 282, 286, 287. Není-li ustanovka axiálně držena limbem nebo jinou součástí (obr. 279, 286, 287), užijeme prstence připevněného šroubky (obr. 282) nebo prstencové matky; pro ustanovku podle obr. 424 stačí vytočit drážku. — Ustanovka pracuje tím jemněji, čím jemnější je šroub a čím delší je rameno. Moderní theodolity mají malé dělené kruhy a ustanovka vyjde krátká; nechceme-li užít šroubů příliš jemných, pomůžeme si tím, že šroub nenecháme působit přímo, nýbrž přes páku s poměrem ramen asi 3 : 1 (obr. 431). Na str. 97 bylo pojednáno o šnekovém převodu, který funguje též jako ustanovka; jeho nevýhodou je, že ozubení trpí prachem, před kterým není dokonalé ochrany.

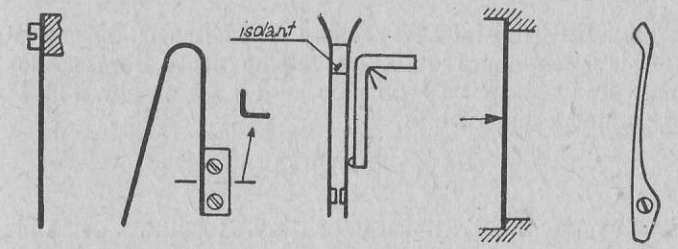
Pružiny

Pružiny užijeme, je-li třeba vyvozovat *trvale* tah nebo tlak, na př. aby se způsobilo tření. Častěji volíme pružinu, aby nějakou součást vracela do původní polohy, na př. západku; taková *vratná* pružina akumuluje tedy práci. Plně využíváme této akumulační schopnosti u pružin *hnacích*, jako je na příklad „péro" v hodinách. Stejně důležitá je pružina jako orgán *siloměrný*; velká většina ručičkových měřicích přístrojů neukazuje nic jiného než deformaci měřicí pružiny. Konečně pružná ohebnost pružiny dovoluje realisovat *pružinové klouby*, které jsou bez vůle a bez tření. Pro všechny tyto aplikace budou v dalším uvedeny typické příklady.



Obr. 432. *Obr. 433.* *Obr. 434.* *Obr. 435.* *Obr. 436.*

Pružiny prvé a druhé skupiny jsou často vinuty z drátu, obyčejně ze strunového ocelového všech tlouštěk, málokdy z mosazného nebo z bronzového. Užíváme pružin tlačných (příklad: ustanovky) a tažných, které jsou ukončeny háky podle obr. 432, malé a jemné pružinky mívají háky podle obr. 433. Materiál těchto šroubových pružin je namáhán kroucením. Ohybové namáhání je u pružiny na obr. 434, která je držena osazeným šroubkem (obr. 54) a opírá se svými konci o pevnou a pohyblivou část stroje. Je-li pružina navlečena na př. na hřídel nějaké páčky, dostane tvar jako na obr. 435 (event. s více závity), konce se podle potřeby vyhnou nebo vytvoří jako háčky. Drátěnou pružinu lze také vetknout (obr. 436) zatemováním, po př. zapájením.



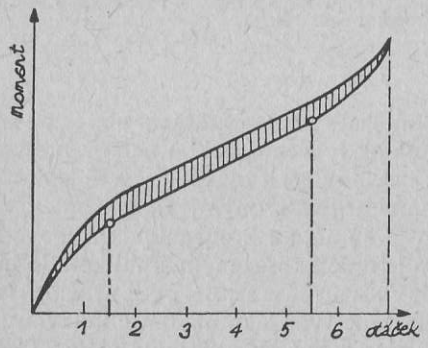
Obr. 437. *Obr. 438.* *Obr. 439.* *Obr. 440.* *Obr. 441.*

Často užíváme pružin páskových nebo listových, obyčejně upevněných na jednom konci (obr. 437), málokdy opřených na koncích (obr. 440). Upevnění je možné šrouby, nýty, zasazením a zatemováním (obr. 480), pouhým sevřením (bez vrtání pružiny) příložkou jako na obr. 484, vzácně pouhým připájením. Na obr. 438 je znázorněna pružina opatřená ohnutou upevňovací patkou,

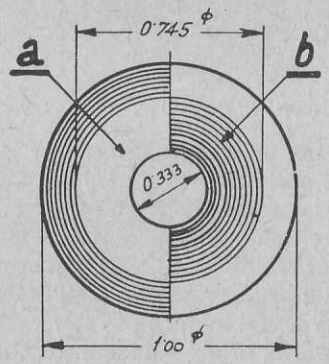
na obr. 439 jsou kontaktní pružiny relé (obr. 324); pružiny jsou odděleny isolačním materiálem a je jasné, že také upevňovací šrouby nebo nýty musí být isolovány navlečenou trubičkou. V kvalitním hodinářství (a v puškařství) se užívá masivních pružin rozmanitých tvarů, na př. jako na obr. 441 nebo obr. 401, připevněných dvěma šroubky nebo šroubkem a kolíčkem; tyto pružiny jsou pečlivě kaleny, přesto rády praskají, a výroba je poměrně drahá. Drátěné pružiny jsou levné a náhradní pružina se snadno zhotoví.

Hodinové pružiny

Přenosné hodiny všech druhů a přesnosti jsou poháněny pružinou, vždy ve tvaru pásku, který se navinuje na trn. S výjimkou strojů nejhrubších je pružina uzavřena v bubínku zvaném pérovník a v rozvinutém stavu přiléhá s předpětím na obvod bubínku; po natažení hodin je pružina těsně navinuta



Obr. 442.



Obr. 443.

na trn (obr. 443). Aby střední část pružiny tolik netrpěla, má se průměr trnu rovnat třetině světlosti pérovníku. Největšího počtu obrátek dosáhneme, jsou-li poměry před natažením a po něm jako a a b na obr. 443. Pak počet otáček, který máme k disposici, je

$$n = 0{,}079\,\frac{D}{t} \qquad (14)$$

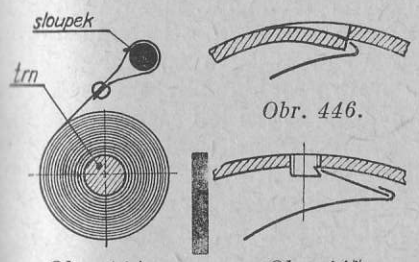
kde D je průměr pérovníku a t tloušťka pružiny. Rozvinutá délka je přibližně

$$L \doteq 0{,}35\,\frac{D^2}{t} + D\,. \qquad (15)$$

Průměrný hnací moment je podle zkušenosti přibližně (v g · cm)

$$M = K\frac{b \cdot t^3}{L}\,n, \qquad (16)$$

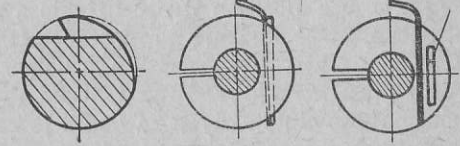
kde b je šířka pružiny v mm a $K = 10 - 14 \times 10^6$. Průběh momentu natahovacího a hnacího je znázorněn na obr. 442. Zdánlivá hysterese je způsobena hlavně třením závitů navzájem, které může vést až k slyšitelným skokům a projevit se vlnami na čáře. Proto má být pružina vyleštěna; tím se ostatně i oddálí vznik únavových trhlin; avšak pružiny hodinek praskají takřka pravidelně, přes všechny pokroky ocelářství, neboť móda plochých strojků



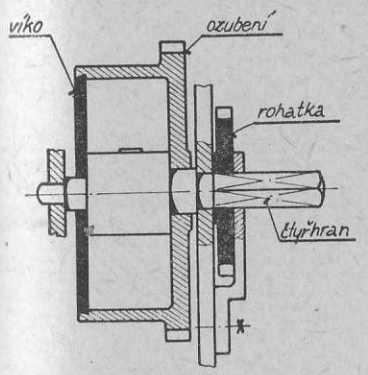
Obr. 444.

Obr. 446.

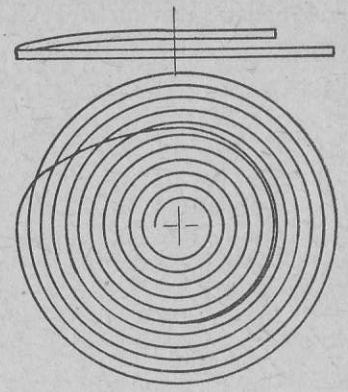
Obr. 447.



Obr. 448. Obr. 449. Obr. 450.



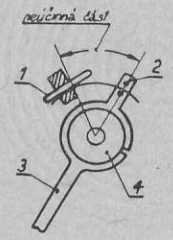
Obr. 445



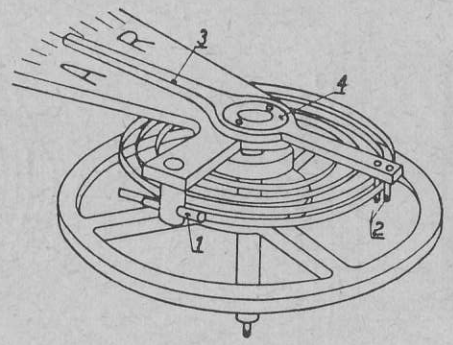
Obr. 451.

nutí konstruktéra ,aby připouštěl namáhání značně přes mez pružnosti. Mnohem lépe se chovají pružiny z „Nivaroxu". V nejhrubším provedení je pružina volná (obr. 444), kličkou zachycená na sloupku stroje. Hnací ozubené kolo je na trnu otočné a s ním spojené západkou a rohatkou; to znamená, že při natahování nejenže stroj není poháněn, nýbrž je třením poháněn zpět. Proto u všech lepších strojů najdeme zavřený pérovník (obr. 445), otáčivý na trnu a opatřený ozubením, které pohání stroj. Při natahování nezmizí pohon stroje, lze tedy natahovat v libovolných intervalech, po případě i nepřetržitě, jako je tomu u některých hodin natahovaných Ferrarisovým motorkem nebo u náramkových hodinek s natahováním samočinným. Perovník je uzavřen vmáčnutým víkem a vnější konec pružiny je zaklesnut dirkou, častěji zahákován přehybem (obr. 446) nebo opřen kouskem pružiny (obr. 447) o ozub do lubu zavrtaný nebo z mosazné stěny vyražený (obr. 446). Vnitřní konec má

vždy čtyrhranný otvor a je zachycen ozubem z trnu vyfrézovaným (obr. 448), u budíku jen vyseknutým (asi jako zub rašple). Na čtyřhranu trnu je záchytná rohatka; v hodinkách zastává rohatku samo natahovací ocelové kolečko, západka je nejčastěji jako na obr. 337. Pružina je z kvalitní oceli, pečlivě zakalená a vyleštěná. Průřez může být 0,14 × 1,0 mm v dámských hodinkách, 0,4 × 15 mm v námořním chronometru, 1 × 30 mm i více u strojů velikých, na př. pro gramofon nebo chronograf. — Jak je vidět na obr. 442, průběh hnacího momentu je silně proměnný a to nepřispívá k přesnosti chodu hodin. Proto se u kvalitních strojů užívalo a zčásti podnes užívá zařízení zvaného stavítko, které omezuje počet otáček trnu proti pérovníku obyčejně na čtyři. Tím jsou z křivky vyřazeny oba konce a použije se jen její části mezi body *A* a *B*; pružina a převody se volí tak, aby hodiny šly asi 32 hod., při pravidelném natahování každých 24 hodin je kolísání momentu ještě zmenšeno. Námořní chronometry vyrovnávají moment ještě dokonaleji: na pérovník se navinuje řetízek, odvinovaný z t. zv. šneku, jehož poloměr se mění tak, aby součin z poloměru a tahu řetízku byl stálý. — Pro hodiny nepřenosné ovšem je nejlepší pohon závažím, který dává přesně konstantní hnací moment.



Obr. 452.



Obr. 453.

Pro chronometrii stejně důležitý je *vlásek*, jemná spirálná pružinka, která spojena s malým setrvačníkem čili *setrvačkou*, tvoří mechanický oscilátor, jehož kmity počítá a jemuž energii ztracenou odpory stále dodává hodinový stroj. Spojení mezi strojem a setrvačkou obstarává krok, dnes (kromě námořních chronometrů) zpravidla kotvový podle obr. 381 a 382. Vlásek má v méně kvalitních strojích tvar Archimedovy spirály, počet závitů bývá kolem 14; takový „plochý" vlásek se rozvinuje a svinuje vždy excentricky, což není žádoucí pro přesnou regláž. Proto již v minulém století zavedl Bréguet formu lepší (obr. 451), které se pro lepší hodinky užívá všeobecně: vnější konec spirály je náhle nebo povlovněji zahnut vzhůru a ke středu a přechází v kousek kružnice soustředné s osou; takový vlásek, dobře reglérem upravený, pak „dýchá" pěkně koncentricky. Námořní chronometry mají vlásek z pásku vinutého ve šroubovici, poněvadž na axiálních rozměrech se

tam nemusí šetřit. Vnější konec vlásku je uklínován kuželovým kolíčkem (obr. 453), vnitřní je stejným způsobem upevněn v rozříznutém prstýnku (obr. 449), nasunutém na hřídel setrvačky; velké vlásky jsou často zasazeny do výřezu v prstýnku a upevněny zásekem (obr. 450, sr. obr. 19). V jemné regláži mají velkou úlohu křivky, jimiž je vlásek k zakotvení přiveden; o těchto koncových křivkách je celá literatura theoretická a návodová, z níž se však čtenář nic nedozví, jak to vyhlášení regléři doopravdy dělají.

Materiál pro vlásky je nekalená ocel nebo bronz pro hrubší stroje, pro kvalitní stroje elinvar nebo lépe Nivarox ve spojení se setrvačkou nekompensovanou (monometalickou), pro stroje antimagnetické palladium, pro stroje nejpřesnější speciální kalená ocel ve spojení se setrvačkou kompensovanou. Výroba vlásků (a stejně hnacích pružin) je záležitostí speciálních továren; vlásek bývá uváděn jako drastický příklad, jak lze hodnotu materiálu nesmírně zvýšit zpracováním.

Celkové uspořádání vlásku a setrvačky je naskizzováno na obr. 453. Vlásek, upevněný kolíčkem *1*, prochází mezi dvěma kolíčky *2*, které jsou zasazeny v regulační ručce *3*; ta je rozříznutá a otáčí se s třením kolem kruhové destičky *4*, v níž je krycí kámen ložiska podle obr. 230, 231. Kolíčky *2* vyřazují počátek vlásku z činnosti (obr. 452), a poněvadž doba kyvu systému setrvačka-vlásek je

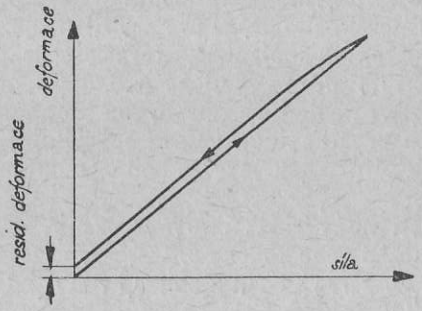
$$T = \text{konst.} \sqrt{\frac{I}{L}} \qquad (17)$$

(*L* — rozvinutá délka vlásku), lze pootočením ručky chod hodin regulovat (polohy *A*vance — *R*etard). — Mezi vláskem a kolíčky jsou stálé relativní pohyby, a tedy i tření, což vnáší nepravidelnosti do chodu. Námořní chronometry proto nemají tuto regulaci a chod se upravuje malými změnami momentu setrvačnosti *I* setrvačky; ve Švýcarsku bylo provedeno vetknutí mezi dvěma válečky, jejichž pootočením lze vlásek prodloužit nebo zkrátit.

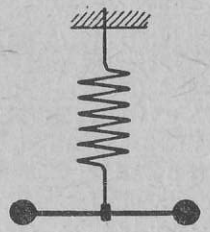
Měřicí pružiny

Měřicí pružiny mohou přímo měřit hledanou veličinu: jakoukoliv sílu nebo moment, (různé dynamometry neboli siloměry), odstředivou sílu (tachometry), sílu zrychlující (akcelerometry), tlak kapaliny (aneroid, tlakoměry). Často však je měření nepřímé a měřicí pružina je konečným článkem řetězu příčin a následků. Na př. teplotu můžeme měřit thermočlánkem, v němž — jako funkce teploty — vzniká elektromotorická síla, budící — podle Ohmova zákona — proud v cívce galvanometru; tento proud působí na cívku momentem, jehož velikost měří jemná spirálná pružina a výchylka této pružiny je pak — poněvadž řetěz se řídí přesnými zákony — měřítkem teploty. Pružina nějakého galvanometru nebo oscilografu je velmi často oním konečným článkem, poněvadž mnohé veličiny, o elektrických nemluvě, lze dnes s výhodou převést na měření napětí nebo proudu: síly, rychlost, zrychlení, tlak plynu, malé pohyby, pružné deformace zkoušených strojích součástí, teplotu, intensitu osvětlení, velikost hluku atd.

Je jasné, že přesnost a neproměnnost měřicího přístroje závisí z velké části na vlastnostech pružiny, hlavně na zjevech *hysteresních*. Jestliže zatěžujeme pružinu a pak ji odlehčujeme, dostaneme obecně křivku znázorněnou na obr. 454. Deformace při odlehčování jsou větší a po úplném odlehčení zůstane residuální deformace; tato deformace po několika hodinách nebo dnech z největší části zmizí (dopružování). Trvá-li měření delší dobu, řekněme půl



Obr. 454.



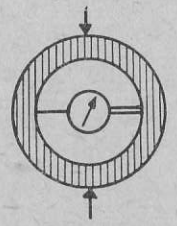
Obr. 455.

hodiny, sečítají se nám tyto residuální, číselně neznámé deformace s deformacemi novými — do měření se dostává nejistota, přesnost měření klesá. Někdy si můžeme pomoci tak, že přístroj cejchujeme, napodobujíce při tom očekávaný časový průběh zjevu. Na př. letadlový barograf cejchujeme před výškovým letem i po něm, snižujíce a zvyšujíce tlak vzduchu podle časového plánu, odpovídajícího rychlosti výstupu a sestupu letadla. Gravimetr, sestrojený v Carnegie Institution dává chybu řádu 5×10^{-6}, ale chyba se dá snížit na 1×10^{-6}, provede-li se měření podle vhodného a vyzkoušeného časového plánu. Prvním požadavkem na pružinu tedy je, aby hysterese byla co nejmenší. Je-li pružina namáhána trvale (na př. v aneroidu, barografu), uplatňuje se creep, nulová poloha se mění, přístroj je třeba periodicky srovnávat s normálem. U pružin nejjemnějších (na př. závěsných pásků) často dochází ke změnám nulové polohy spontánním (když pružina není zatížena!) a nepravidelným, způsobeným patrně molekulárními pohyby v materiálu; bývá to zejména u pružin tvářených za studena, mírným vyhřátím se věc značně zlepší. Z užívaných materiálů mívají citelnou hysteresi a creep bronzy, pakfong a tvrdé zlato, mnohem lépe se chovají měď, bronz a nikl s přísadou beryllia, mnohdy dobře vyhovuje pružinová ocel tepelně zpracovaná, ještě o něco lepší a na teplotě prakticky nezávislý je Nivarox. Velmi malou hysteresi i creep má tepelně zpracovaný wolfram, z něhož je měřicí pružina ve zmíněném gravimetru. Rekord mezi všemi materiály má tavený křemen, u kterého splývá mez pružnosti v kroucení s mezí pevnosti; jeho creep je mnohonásobně menší než creep kteréhokoliv kovu, dopružování rovněž nejmenší.

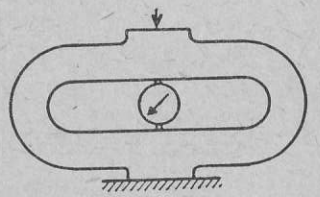
Tvary měřicích pružin jsou rozmanité, podle žádaného účelu. Síly od několika gramů nahoru lze měřit tažnou šroubovou pružinou podle obr. 432.

Výpočet známými methodami není právě přesný a pomáháme si buď tím, že podle potřeby změníme převod na ručku, nebo tím, že pružinu zvenčí válcovitě obrušujeme. Konce šroubových pružin se při deformaci vždy trochu proti sobě otáčejí, jak ukazuje zábavný pokus na obr. 455: Závaží na příčce se umístí tak, aby frekvence kmitů podélných a torsních byla stejná a pak si tyto kmity periodicky vzájemně předávají energii — vazbu zde obstarávají

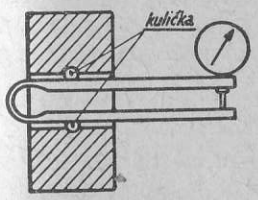
Obr. 456.



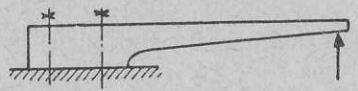
Obr. 457.



Obr. 458.



Obr. 459.

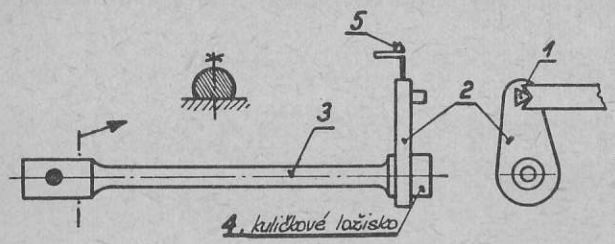


Obr. 460.

Obr. 461.

právě uvedené torsní pohyby. To nevadí u pružin tažných, poněvadž koncové háky dávají potřebnou pohyblivost. U tlačné pružiny mohou vzniknout nepravidelnosti, poněvadž dosedající konce mohou více nebo méně klouzat; neurčitost zmizí, užijeme-li uložení na kuličce podle obr. 456 nebo ještě lépe kuličkového axiálního ložiska. Pro velké síly volíme masivní pružiny, na př. prsteny podle obr. 457; měřicími hodinkami měříme buď vodorovný, nebo svislý vnitřní průměr, sílu na prsten přenášíme nejlépe kuličkami. Na obr. 458 je znázorněna pružina pro cejchování zkoušecích strojů; deformace je měřena přímo malými hodinkami, přesněji lze ji měřit, zvětšíme-li ji kleštěmi podle obr. 459. Deformace těchto pružin je malá, několik málo milimetrů, zato vlastní kmitočet je vysoký. Jde-li nám o vysoký kmitočet (má-li pružina sledovat rychle se měnící síly), užijeme i pro menší síly pružiny masivní, na př. na ohyb namáhané pružiny podle obr. 460, kterou najdeme v indikátorech pro rychloběžné pístové stroje. K měření malých momentů užíváme pružinek spirálních, vlásků: v galvanometrech tyto vlásky obstarávají též přívod proudu do cívky, jsou tedy z bronzu a připájeny; pájení má vypadat jako na obr. 461a; steče-li pájka po pružině jako na obr. 461b, vznikne citelná elastická hysterese, poněvadž měkká pájka

je materiál takřka jen plastický. — Někdy se hodí zkrutná tyč; provedení na obr. 462 užil pisatel pro padostroj ke zkoušení podvozků v továrně „Letov". Měření sil je hydraulické a malý měřicí píst působí krátkou vzpěrkou na břit *1*, naražený do duralové páky *2*, která je pak nařažena na drážkovaný konec zkrutné tyče *3* (sr. obr. 22); tento konec je otočný v kuličkovém ložisku *4*, druhý konec tyče je zesílen a přišroubován k rámu stroje. Výkyv pisátka *5* je asi 8 mm, zapisuje se na začazené sklíčko. Kmitočet je asi 140 c; příčné ohybové kmity tyče, které se objevily, byly odstraněny nepravidelně rozloženými třemi kluznými ložisky, jimiž tyč prochází s nepatrnou vůlí. Pružinou snad nejpřesnější je tyč namáhaná tahem, ovšem deformace je třeba silně zvětšovat. Jeden podobný dynamometr na 25 t, autorem navržený v „Avii", měl citlivost 10 kg a dopružování nepozorovatelně malé.



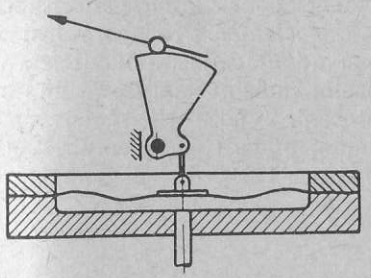
Obr. 462.

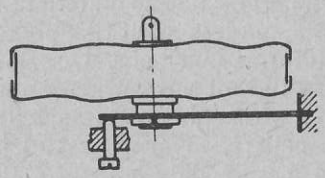
Tlakoměrné pružiny

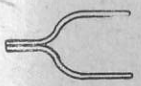
Tyto pružiny fungují současně jako snimač i měřič tlaku kapaliny nebo plynu. V nejjednodušší formě je to pouhá *membrána*, pevně a těsně šrouby přitažená k přírubě (obr. 463). Rovná membrána jeví často nepravidelnosti („lupání"), daleko lepší je membrána soustředně zvlněná, které se již dávno užívá v provozních manometrech (obr. 463); malý průhyb se přenáší táhlem na ozubený segment otáčející ručkou. Není-li tlak veliký (ne přes 1 kg/cm²), lze dvě zvlněné membrány spojit podle obr. 464; takových *bubínků*, krabic, kapslí nebo „dóz" užil Vidi pro aneroid, dnes jich užíváme pro různé manometry, zejména pro letecké rychloměry, variometry, benzinoznaky, ukazatele kursu a j. Výhodné je, že odpadá těžké přírubové spojení a deformace je dvojnásobná. Původně byly bubínky považovány spíše za měchy a větší část tlaku byla vyvažována vnější pružinou. Dnes užijeme vhodného bronzu a silnějších stěn, a je-li bubínek dobře proveden, dává výsledky v praxi postačující i bez vnější pružiny. Původní způsob spájení, znázorněný na obr. 464, není správný, pájky je mnoho (a na namáhaných místech), což zvyšuje hysteresi. Dáváme přednost (zejména pro aneroidy) spojení podle obr. 465. Ještě lepší výsledky slibují bubínky z oceli, tvaru na obr. 465, ne však spájené, nýbrž elektricky svařené (fa Negretti & Zambra). Je-li třeba většího zdvihu, spojí se dohromady, několik bubínků jichž prostory komunikují (obr. 466). Jsou-li bubínky evakuované (aneroidy, absolutní tlakoměry), je připojena krátká trubička, která se pak zapájí cínem. Aby bylo možno ručku přístroje nastavit, bývají bubínky matkou připevněny na silné pružině, která s pří-

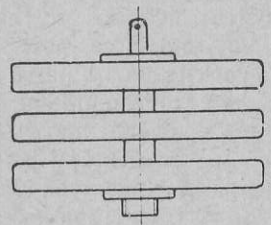
pětím tlačí na rektifikační šroubek (obr. 464); na druhé straně je připájena malá vidlička, k níž je drátěným čípkem připojeno převodní táhlo z tenkého plechu.

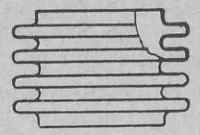
Místo spojených bubínků lze užít kovového měchu, znázorněného na obr 467; takovýto „*sylfon*" je však handikapován tím, že musí být vyroben z materiálu spíše velmi tažného než dokonale pružného. Tyto měchy nejsou valně

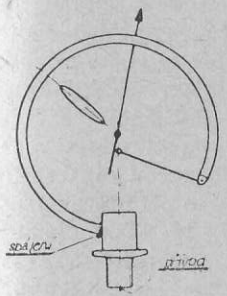

Obr. 463.

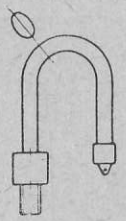

Obr. 464.


Obr. 465.


Obr. 466.


Obr. 467.


Obr. 468.


Obr. 469.

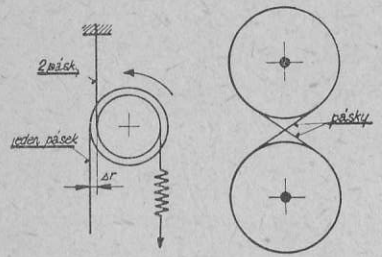
Obr. 470.

oblíbeny ani s vnější pružinou, zato se jich hojně užívá v různých servomotorových a regulačních zařízeních, kde fungují jako dokonale těsný válec s pístem. — Zato velmi důležité pro měřicí účely je *Bourdonovo péro*. Je to trubice oválného průřezu, tím sploštělejšího, čím menší tlak má měřit, a ohnutá do části kružnice; vnitřním přetlakem se zmenšuje toto ohnutí, konec trubice se vychyluje a výchylka přenesená na ručku je přibližně úměrná

přetlaku. Pro menší tlaky je trubice zahnuta jako na obr. 468; přímé spojení s ručkou je běžné u manometrů přesných, kontrolních, u provozních dáváme přednost převodu jako na obr. 463 a kruhové stupnici. Pro vysoké tlaky je tvar jako na obr. 469. Někdy se setkáme s trubicí svinutou do spirály o několika závitech nebo naopak s pouhým krátkým segmentem. Pro tlaky asi do 70 kg/cm² se trubice dělají z měděných slitin, pro vyšší tlaky (sta atmosfer) z oceli, po příp. z plného materiálu vyvrtané, kalené. Nesnáze může činit volba materiálu, má-li se měřit tlak plynu silně *korosivního*. Pro laboratorní účely se též hodí forma podle obr. 470; Bourdonova trubice je šroubovitě zkroucena, vnitřním tlakem se rozkrucuje a na horním vodicím čepu lze příjmo upevnit zrcátko k přesnému čtení (malých) pootočení. Výpočet Bourdonových pružin je dost nejistý, továrny, pokud je známo, pracují podle empirických dat; pokus o therii podal Lorenz v Z. d. VDI., roč. 1919.

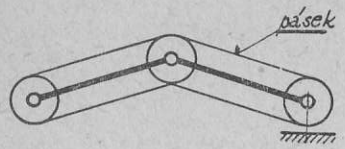
Pružné pásky a vlákna

Přesné měření nepatrných momentů se řeší zavěšením měřicího orgánu na úzký kovový pásek, tenký drátek nebo na vlákno. Na obr. 471 je znázorněn závěs zrcadlového galvanometru: cívka se zrcátkem visí na pásku upevněném nahoře na otočné hlavě, aby se dala nastavit nulová poloha; pásek tvoří jeden přívod proudu, druhý tvoří jemná šroubová pružina. Pásek je z fosforového bronzu, zlaté slitiny, někdy mědi, a velmi tenký (na př. 0,02 × 0,3 mm); pro nejcitlivější galvanometry se dnes užívá křemenných vláken, přívod proudu obstarávají dva úzké proužky pozlátka. Pro přístroje méně citlivé a zejména provozní je výhodnější závěs mezi dvěma pásky, které přirozeně fungují jako přívody proudu, a jsou napjaty pružinkou (obr. 472); příčinou menší citlivosti není napětí pásků (to zvětší konstantu řádově o pět procent), nýbrž to, že pásky jsou dva a krátké. Pro závěsy dlouhé lze užít tenkých drátků; takto byly zavěšeny torsní váhy, jimiž určil Cavendish gravitační konstantu a tím i hmotu země a sluneční soustavy. Pro nejjemnější závěsy se dříve užívalo Wollastonových drátků

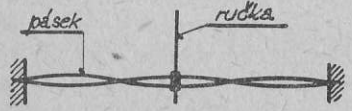


Obr. 473.

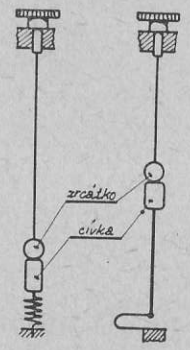
Obr. 474.



Obr. 475.

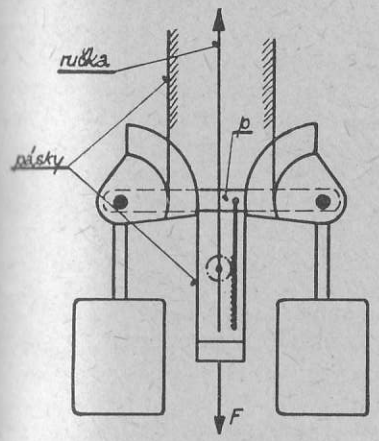


Obr. 476.

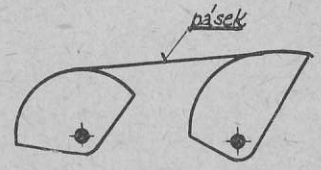


Obr. 471. Obr. 472.

nebo i hedvábných vláken, dnes převládla vlákna křemenná, která lze učinit vodivými povlakem platiny (kathodicky ve vakuu). Vlákna mohou nahradit břity pro jemné mikrováhy; vážky Petersonovy, zavěšené na křemenných vláknech, mají sice nosnost jen 0,1 g, zato však rekordní přesnost 10^8 až 10^9.



Obr. 477.



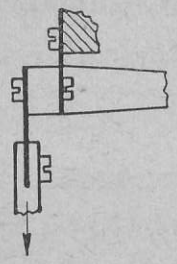
Obr. 478.

Použitelnost kovových pásků je rozmanitá. Na obr. 473 je zařízení, jímž se přesně a bez vůle zvětšují malé pohyby; zatáhne-li se za spodní pásek, váleček se otočí tak, jako by to byla páčka o rameni $\triangle r$, a tak lze dosáhnout zvětšení až 350. Jiné řešení (Johansson) na obr. 476 užívá pásku zkrouceného. Pro převádění malých úhlových pohybů lze místo ozubených kol užít pásků. Na obr. 474 je převod 1 : 1, na obr. 478 převod nelineární, který lze takto snadno realisovat; vždy je třeba, aby pásky nebyly poškozené a aby kotouče nebyly znečištěny prachem a pod. Kreslicí přístroje Paulin mají místo paralelogramů (obr. 201) páskový systém, obr. 475; pásky se napínají tím, že se rozpěrné tyče prodlouží rektifikačními matkami. Elegantní aplikace pásků jsou sklonné váhy systému Toledo, i u nás vyráběné. Kyvadla jsou dvě, celý mechanismus je souměrný a tím necitlivý na malé chyby v postavení vah (obr. 477); aby svislý pohyb příčky p byl úměrný síle F, jsou větší segmenty nekruhové. Užitím pásků a malých kuličkových ložisek se tření tak zmenší, že citlivost měřicího systému je pod 0,1 % rozsahu.

Pružinové klouby

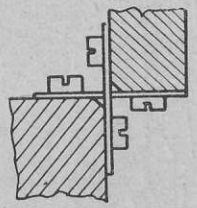
Tyto klouby jsou vhodné tam, kde úhlové pohyby jsou malé a kde nevadí direkční moment vyvolaný deformací kloubu. Tření zde přirozeně odpadá a uložení je bez vůle. Několik příkladů bylo již vlastně uvedeno: na obr. 345, 377, 459, 476 jsou součásti, které konají úhlové pohyby a jsou neseny jen pružinami. Páky v měřicích přístrojích mohou být uloženy podle obr. 479; pružiny jsou zde taženy, lze však užít i pružin tlačených, zalisovaných a zatemovaných, jako na obr. 480. Přesně osu otáčení určuje a síly (ovšem neveliké) všech směrů přenáší kloub se zkříženými pružinami na obr. 481; pružiny jsou buď tři vystřídané, nebo, je-li šířka kloubu veliká, dva páry zkřížených pružin. Ještě dokonalejší, ale pro výrobu mnohem pracnější je kloub se třemi

systémy pružin, ležicích v rovinách, které se kříží v úhlu 60°. Jsou-li pohyby nepatrné, stačí kloub podle obr. 482, vyfrézovaný z kusu oceli a schopný přenášet veliké tahy i tlaky; často je upotřeben pro převodové páky síloměrného

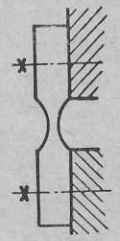


Obr. 479.

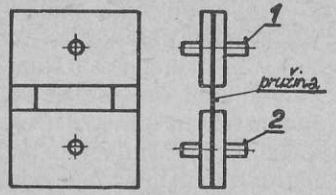
Obr. 480.



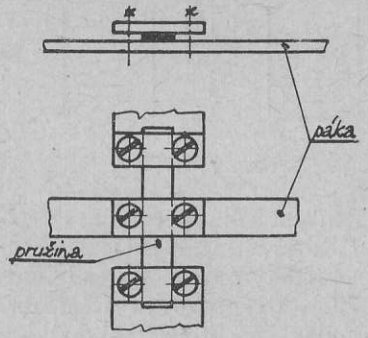
Obr. 481.



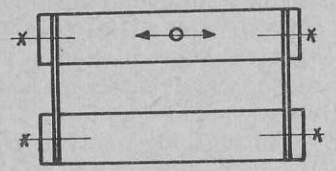
Obr. 482.



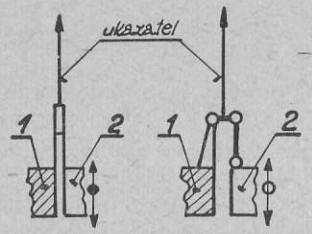
Obr. 483.



Obr. 484.

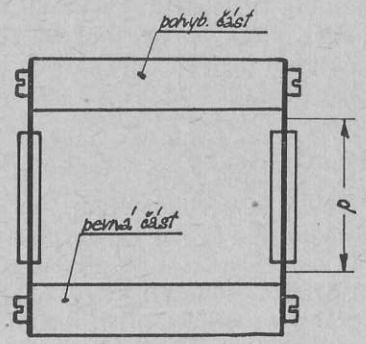


Obr. 485.



Obr. 486.

Obr. 487.



Obr. 488.

zařízení v aerodynamickém tunelu. — Kyvadla všech slušnějších hodin se pohybují v pružinovém závěsu, obr. 483; dvě slabé pružiny (0,05—0,1 mm, u věžních hodin až 0,3 mm) jsou zanýtovány mezi přesně rovnými plechy, kolíkem *1* závěs spočívá na pevné konsole, na kolík *2* se zavěsí rozvidlený hák na konci kyvadlové tyče. — Na obr. 484 je páka jemného relé uložena na páskové pružině torsní, držené příložkami, která zároveň funguje jako pružina vratná.

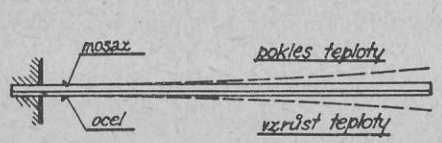
Přibližně přímé vedení na obr. 202 lze nahradit vedením dvěma pružinami, obr. 485. Pohyb je translační proto, že obě pružiny totožné a týmž způsobem upevněné mají také totožné ohybové čáry. Vedení je bez vůle, přesné a hodí se na př. pro uložení tykadla v komparátoru. Za zmínku stojí, že toto zařízení může sloužit jako dobrý pružinový dynamometr, reagující prakticky jen na síly (na obrázku) vodorovné. Je-li třeba pohybu delšího, vyšly by pružiny dlouhé a málo stabilní; pomůžeme si tím, že pružiny vyztužíme přišroubovanými nebo přinýtovanými příložkami (obr. 488). Odchylku od přímky vypočítáme z rovnice (3) do níž za R bereme míru p.

Pěkné zařízení k zvětšení malých pohybů mezi součástmi *1* a *2* je na obr. 486. Na každou součást je připevněna krátká pružinka, mezi konci pružinek je upevněn ukazatel; zařízení funguje jako náhradní mechanismus, znázorněný na obr. 487. Lze tak dosáhnout zvětšení 300; pohyb ručky lze na př. projekčním mikroskopem zvětšit stokrát, takže celkové zvětšení je 30 000, t. j. pohyb 1 mikron vyvolá pohyb světelné značky o 30 mm. Aplikováno pro komparátor N. P. L. ke kontrole koncových měrek. Týž mechanismus, jak již bylo uvedeno, představuje úplný dynamometr bez pohyblivých částí, bez ložisek, dokonale spolehlivý (část *2* vedeme podle obr. 485).

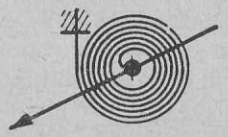
Namáhání pružin

Pružiny šroubové ve strojnictví bývají namáhány na 35 kg/mm², někdy (pružiny ze speciálních ocelí) se jde výše — na 70 kg/mm², na př. u letadlových podvozků. Pro měřicí pružiny je to mnoho, není radno jít přes 15 kg/mm², podle možnosti je ještě lépe zůstat na 10 kg/mm². Pružiny vinuté ze *strunového* drátu jeví zřetelnou hysteresi již při 10 kg/mm². Tytéž pružiny vyhoví zpravidla velmi dobře, necháme-li je stejnoměrným zahřátím naběhnout do barvy fialové nebo tmavě modré, což se ostatně doporučuje pro všechny pružiny vyrobené touto methodou, užitečnou i pro laboratorní improvisaci. Stejně dimensujeme *zkrutné tyče*. Pružiny *tyčové* lze namáhat tahem (po příp. tlakem) bez obav na 20 kg/mm². Stejně vysoko lze namáhat pružiny *ohýbané*. Dlužno dodat, že uvedené hodnoty jsou brány opatrně; chování pružin závisí silně na jejich zpracování a v důležitých případech je nejlépe provést soustavné zkoušky, zejména tehdy, jde-li o seriovou výrobu nebo jsme-li nuceni pružinu namáhat silněji. Namáhání hnací pružiny hodinové je dáno poměrem D/t (viz str. 128), který bývá 70—120, čím vyšší — tím lépe. Nejsme-li vázáni rozměry (nejhorší případ: ploché hodinky), volíme pružinu tenkou a širokou. Výpočet namáhání je lépe neprovést, poněvadž stejně vyjdou namáhání nepřípustně vysoká. Namáhání vlásku je sice opakované a sinusové, ale vždy malé a nestojí za výpočet; důležitější je, že v první době (asi 1 rok) vlásek molekulárními změnami zřetelně zvyšuje svůj modul pružnosti a že tím vzniká t. zv. trvalá akcelerace.

Výpočtu jsou těžko přístupny membrány, bubínky a též Bourdonova péra. Pracuje se proto podle empirických dat. U nás se zabýval soustavnými zkouškami bubínků Ing. Dr Duda, který používal zkoušecího zařízení své konstrukce. Namáhání pružinových kloubů vychází pravidelně malé, na př. u závěsů kyvadlových je řádu 10 kg/mm². Rovněž nízké je namáhání páskových závěsů galvanometrů. Zmíněný pásek bronzový má průřez 0,006 mm²;



Obr. 489.



Obr. 490.

připustíme-li namáhání 8 kg/mm², snese pásek 48 g a tolik neváží žádný cívkový systém. Poměrně vysoko se jde (a může jít) u tenkých křemenných vláken; tabulka jejich pevnosti byla uvedena na str. 29. Bezpečnost stačí pětinásobná, je-li přístroj opatřen aretačním zařízením a je-li vlákno zavěšeno na jemné listové pružince.

Bimetalické pásky

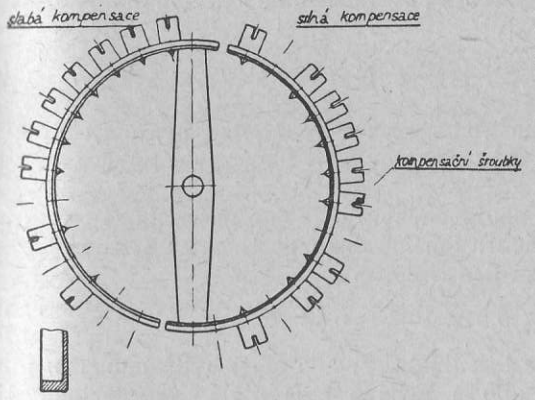
Spojíme-li dva pásky z materiálů o nestejné tepelné roztažnosti (obr. 489), obdržíme pásek, jehož zakřivení se pochopitelně mění s teplotou. Pásek je obecně ve stavu vnitřního napětí; značné je napětí ve spojovací ploše, nestačí proto snýtování, nýbrž pásky musíme na tvrdo spájet nebo svařit. Theorie učí, že tloušťky pásků mají být v převráceném poměru modulů pružnosti, v praxi se dávno pro kombinaci mosaz-ocel užívá poměru 3 : 2. Tato kombinace se udržela u kompensačních setrvaček, jinak speciální továrny dodávají pásky z ferro-niklových slitin, svářené ve válcích a citlivější. Aplikace „bimetalů" jsou mnohostranné. Pásek na obr. 489 může svým pohyblivým koncem působit na nějaké regulační zařízení, uzavírat topný proud, jde-li o udržování stálé teploty, nebo pohybovat ručkou, čímž máme kovový, nepříliš přesný teploměr. Citlivost pásků se udává změnou poloměru křivosti, pro praxi je pohodlnější údaj ohnutí pásku vetknutého, dlouhého 100 mm a tlustého 1 mm; hodnota bývá 0,11 až 0,13 na 1° C. Obecně pro délku L a tloušťku t mm je ohyb na konci pásku přibližně

$$h = 0{,}000012 \cdot L^2/t \text{ (mm)}. \qquad (18)$$

Potřebujeme-li velký pohyb, dáme dlouhému pásku tvar spirály (obr. 490). Známé jsou teploměry tohoto druhu; je lhostejné, který konec spirály je zakotven a který nese ukazatele. Jako orgány měřicí jeví bimetaly citelnou hysteresi a změny nulové polohy; je to přirozený důsledek neustálých vnitřních napětí.

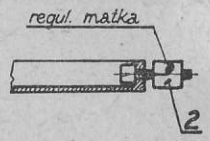
Kompensace

V mnohých případech je v měřicí technice třeba rušivé vnější vlivy (změna teploty, tlaku vzduchu a pod.) vhodným zařízením více nebo méně odstranit tím, že je nějakým opačným účinkem vyrovnáváme čili kompensujeme. Nejčastěji jde o vlivy teplotní, které jsou zvláště závažné v chronometrii.

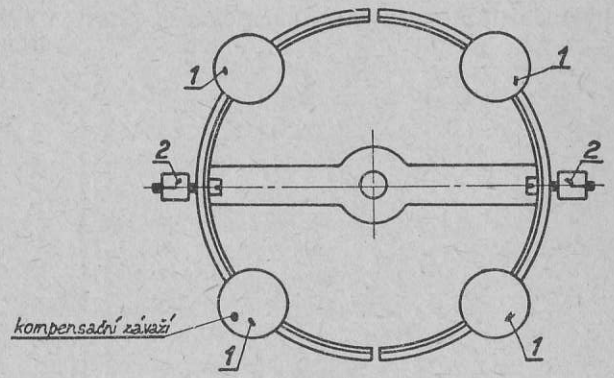


Obr. 491.

Veliký je vliv teploty na chod hodin se setrvačkou a s vláskem: 11 sekund za den na každý stupeň Celsiův. Z toho asi 10 sek je zaviněno poklesem modulu pružnosti vlásku. Jak vyplývá z rovnice (17), kompensovat lze dvojím způsobem: změnou účinné délky vlásku nebo změnou



momentu setrvačnosti setrvačky. Prvního způsobu — bimetalický pásek působící na regulační kolíčky *2* na obr. 452 — dnes se již neužívá, nýbrž kompesujeme tak, jak to zavedl před půldruhým stoletím Earnshaw: věnec setrvačky je bimetalický, uvnitř (v celku s rameny) ocelový, vně mosazný a na dvou místech rozříznutý. Zvýšením teploty se tedy volné konce věnce ohýbají dovnitř, moment setrvačnosti se zmenšuje. Aby účinek byl větší a dal se regulovat, je větší část hmoty věnce tvořena kompensačními závažíčky. Ta mají v kapesních hodinách tvar šroubků (obr. 491), kterých je méně, než je vývrtů se závitem ve věnci. Je-li tedy kompensace nedostatečná, stěhuje reglér šroubky k rozříznutému konci (na obr. 491 pravá strana), je-li přílišná, stěhuje je k rameni (levá strana). Veliké a těžké setrvačky námořních chronometrů mají kompensační závaží po věnci posuvná; na obr. 492 jsou kromě těchto závaží *1* patrné matky



Obr. 492.

2, rozřezané a napružené, jimiž lze provést zmíněnou změnu momentu setrvačnosti.

Doba kyvu kyvadla (v chronometrii se z praktických důvodů udává vždy trvání poloviční periody!) je

$$T = \pi \cdot \sqrt{L/g}, \tag{19}$$

kde L je redukovaná délka, t. j. délka ekvivalentního kyvadla matematického, daná výrazem

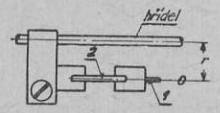
$$L = \frac{I}{D} = \left(\int r^2 \cdot dm\right) : \int r \cdot d\,m \tag{20}$$

kde m je hmota, r její vzdálenost od závěsu (v praxi stačí uvažovat tyč kyvadla jako hmotnou přímku a čočku jako hmotný bod; chyba bývá v mezích 0,2%).

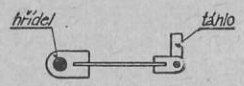
Změna doby kyvu kyvadla zhotoveného z jednoho materiálu se tedy (relativně) rovná polovině koeficientu tepelné roztažnosti; pro kyvadlo železné je změna asi $5{,}5 \times 10^{-6}$, což za den činí

$$86\,400 \times 5{,}5 \times 10^{-6} = 0{,}48 \text{ sec.}$$

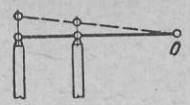
To je přípustné pro hodiny hrubé, jinak kyvadlo musí být kompensováno. To lze provést jen tak, že kyvadlo je uděláno z materiálů různé roztažnosti. Užívalo se kombinace ocel — zinek, ale upustilo se od ní, protože konstrukce byla složitá a zinek jevil značný creep. Šťastná byla myšlenka Grahamova,



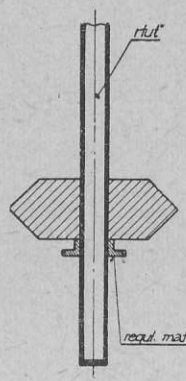
Obr. 493.



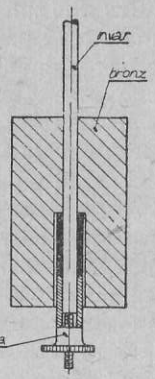
Obr. 494.



Obr. 495.



Obr. 496.

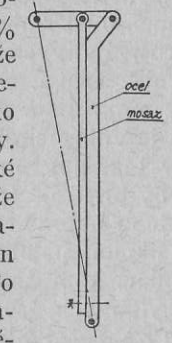


Obr. 497.

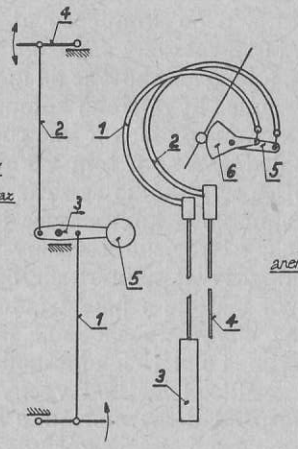
kombinace ocel—rtuť. Kyvadlo má ocelovou tenkou tyč a dole místo čočky dvě i více skleněných nádobek, lépe jedinou železnou nádobku se rtutí (váha řádu 6 kg). Ještě lepší je způsob udaný Grahamem, ale bezvadně realisovaný Rieflerem pro nejpřesnější stroje: kyvadlová tyč, delší než obvykle, je z tenkostěnné ocelové trubky a do dvou třetin naplněná rtutí (obr. 496). Zlepšení je v tom, že rušivý vliv i kompensující vliv je rozložen po většině

délky kyvadla, kompensace je proto dobrá, i když teplota podél kyvadla je trochu proměnná. Dnes se užívá všeobecně invaru, nejlépe v provedení znázorněném na obr. 497. Čočka je podepřena ve svém těžišti kompensační trubkou, sestavenou z kousku ocelového a mosazného; jejich poměrné délky se určí podle roztažnosti jednotlivé invarové tyče. To, co bylo řečeno o invaru na str. 18, uplatňuje se zvláště nepříjemně u kyvadel; nejpravidelněji se chová tyč z taveného křemene, se kterou je jiná starost — aby kyvadlo nebylo překompensováno.

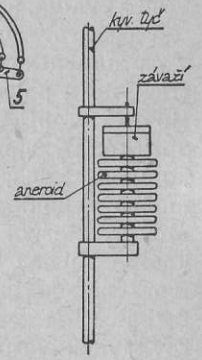
Modul pružnosti měřicích pružin se zmenšuje o 0,02—0,03%, stoupne-li teplota o 1° C, tedy o 0,2—0,3% při změně o 10° C. To může vadit tam, kde změny teploty jsou značné. Jako příklad uvedeme aneroidy. Pro účely meteorologické stačí kompensovat tím, že bubínky nejsou plně evakuovány, takže zbylý plyn mění tlak s teplotou. To stačí pro přístroj podléhající malým tlakovým změnám, ale nestačí pro letecký výškoměr, měřící v rozmezí tlaku aspoň 760 a 300 mm Hg. Pak je nutno zavést kompensaci tím, že se mění některé rameno v převodu z pružiny na ručku. Na obr. 493 je čípek *1*, na nějž působí táhlo, nesen bimetalickým páskem *2* a změnami teploty se tedy mění rameno r; stupeň kompensace lze po příp. měnit natáčením pásku kolem osy *0*. Někdy je třeba opravy additivní, t. j. přesunovat nulovou polohu, a pak můžeme páčku udělat jako na obr. 494; účinek bimetalu je takový, jako by se měnila délka táhla, rameno se nemění.



Obr. 498.



Obr. 499.



Obr. 500. Obr. 501.

Jestliže dvě tyče nestejně roztažené spojíme pákou (obr. 495), pak — za předpokladu, že roztahování je úměrné změně teploty — existuje bod *0*, který výšku nemění. Toho se dá užít pro konstrukci táhla neproměnné délky (obr. 498); podobných pákových konstrukcí se dříve užívalo též pro kompensace kyvadel a přesných měřítek geodetických.*) Konstrukce však bývá členitá, tření značné, což snadno vede ke „skokům" (i vlákno chladnoucího rtuťového teploměru se smršťuje často viditelnými skoky!). Jiná kompensace táhlového řízení je na obr. 499; jsou-li táhla *1* a *2* stejně dlouhá, změny teploty způsobí pootočení páky *3*, ne však pohyb řízené páky *4*, a dáme-li závaží *5* na druhou stranu, stačí místo táhel dráty (řízení semaforů).

* Na obr. omylem zaměněna označení mosaz—ocel!

Na obr. 500 vidíme dálkový rtuťový teploměr. Na Bourdonovo péro *1* mají vliv nejen objemové změny rtuti v nádobce *3*, nýbrž i změny ve spojovací trubičce. Vzniklou chybu kompensuje druhá kapilára *4*, souběžná s prvou a působící na Bourdonovo péro *2*, které natáčí pákou *5*, která je otočná kolem osy ručky a nese uložení převodového segmentu *6*. Takových pákových diferenčních mechanismů užíváme v měřicí technice často. — Na kyvadlo má vliv též barometrický tlak; stoupnutí o 10 mm Hg zpozdí hodiny průměrně o 0,18 sek za den. Tento vliv lze eliminovat tím, že hodiny se dají do vzduchotěsného pouzdra, nebo kompensovat tím, že se na kyvadlovou tyč upevní aneroid (obr. 501), zatížený závažím; aneroid je nejúčinnější, je-li blízko závěsu kyvadla, a jeho účinnost se dá měnit změnou závaží.

V elektrotechnice bývá třeba kompensovat změny vodivosti nebo indukce v permanentních magnetech a jiné rušivé vlivy; to se dělá methodami elektrickými a pojednává se o tom v knize Trnka, Elektrické měřicí přístroje. Rovněž v optice se setkáme se zařízeními, jimiž se kompensují rušivé vlivy optické. Význam slova kompensace je vůbec široký. Mluvíme o přístrojích kompensačních, které jsou zařízeny tak, aby opakovaným měřením bylo možno vykompensovat některé chyby přístroje (příklad: kompensační planimetr, kterým měříme s pólem jednou napravo a po druhé nalevo a tím kompensujeme chybu způsobenou šikmou polohou integračního kolečka). Konečně mluvíme i o měřicích methodách kompensačních, zejména v elektrotechnice: na rozdíl od method výchylkových, jsou to methody *nulové*, vyrovnávací. Na příklad thermočlánku lze užít dvojím způsobem: buď ve spojení s galvanometrem, jehož výchylka je pak funkcí teploty, nebo elektromotorickou sílu thermočlánku vyrovnáváme — kompensujeme — silou opačného znaménka, kterou přesně nastavíme ocejchovaným potenciometrem, a galvanometr pak funguje jako jazýček u vah.

Optické pomůcky

Jak již bylo řečeno, jemnou mechaniku nelze odloučit od optiky. Proto zde budou zopakovány základní věci z geometrické optiky a základní poučky o ostatních optických pomůckách, s nimiž se stále setkáváme u měřicích strojů. Pro další studium možno doporučit předně příslušné kapitoly v Nachtikalově Fysice, dále knihy:

Hajda — Vogel — Král: Praktická optika,

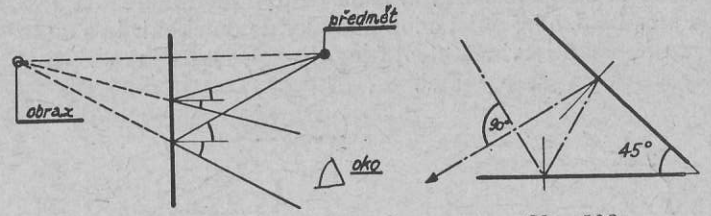
J. Hajda: Technická optika,

Mazurek: Základy praktické optiky.

V *geometrické optice* se nestaráme o *fysikální* podstatu světla; předpokládáme, že světlo se šíří přímočaře, a chod paprsků sledujeme methodami geometrickými, v podstatě jednoduchými, v praxi ovšem často velmi pracnými. To stačí pro optické pomůcky, jako je záměrný dalekohled nebo odečítací mikroskop, nestačí však pro mikroskopy silně zvětšující (tam je důležitý ohyb světla) nebo pro interferometr nebo polarimetr, kterézto přístroje jsou založeny právě na vlnové povaze světla.

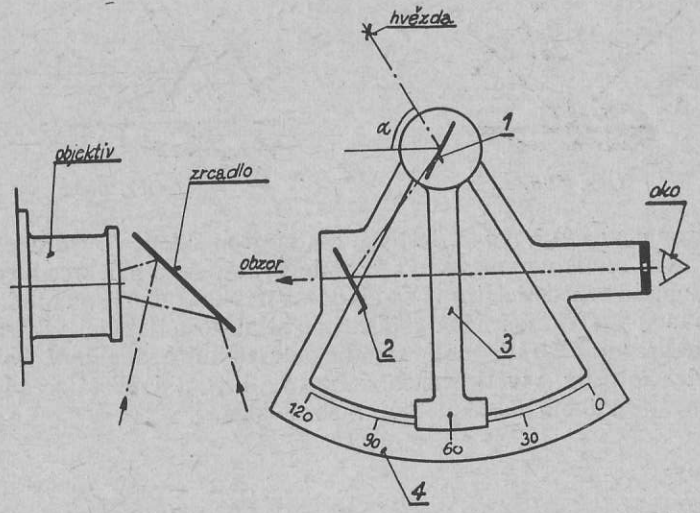
Rovinné zrcadlo

Ze známého zákona o rovnosti úhlu dopadu a úhlu odrazu vyplývá konstrukce obrazu na obr. 502. Obraz je k rovině zrcadla souměrný s předmětem, stranově převrácený („zrcadlový obraz") a dokonalý — zrcadlo je jediný optický přístroj zobrazující bez vad. Dvě zrcadla svírající úhel 45° odchylují paprsek dvojím odrazem o 90° (obr. 503); malé pootočení nezmění tento úhel, proto můžeme takovým úhlovým zrcadlem v geodesii vytyčovat pravé úhly. Zrcadla nakloněného v úhlu 45° se užívá ve fotografii k převrácení obrazu při reprodukci (obr. 504) a v zrcadlových komorách, ať starších „jednookých" nebo novějších „dvouokých", jako je naše „Flexaret".



Obr. 502.

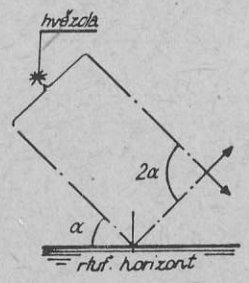
Obr. 503.



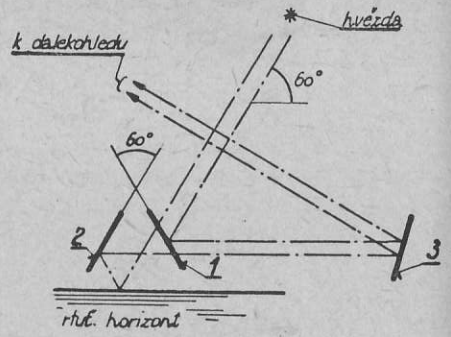
Obr. 504. Obr. 505.

Důležitou aplikaci představuje zrcadlový *sextant*, kterým námořníci měří výšku hvězd nad obzorem. Na pohyblivé palubě nelze užít úhloměrného stroje s pevným stativem; je třeba stroje, který se drží v ruce a kterým lze současně zacílit na hvězdu a na obzor. Paprsky hvězdy se odrazí od pohyblivého („indexového") zrcadla *1* (obr. 505). a po druhé od pevného zrcadla *2* do oka

(ve skutečnosti se díváme slabým dalekohledem); paprsky od obzoru jdou přímo vedle zrcadla *2*. Pozorovatel otáčí alhidádou *3* se zrcadlem *1* tak dlouho, až obrazy hvězdy a obzoru splynou; pak otočení alhidády je $\alpha/2$, a vernierem se odečítá na dělení *4*, které zaujímá šestinu kruhu (odtud název stroje), ale je číslováno od nuly do 120°, aby se četl přímo výškový úhel α. Je-li mlhavo a není-li obzor vidět, lze si pomoci umělým horizontem rtuťovým nebo klidnějším olejovým. Zacílíme na paprsky jdoucí přímo od hvězdy (obr. 506) a paprsky odražené hladinou, úhel mezi oběma směry je 2α. Obr. 507 je princip Nušl—Fričova *cirkumzenitálu*, kterým lze přesně určit okamžik, kdy hvězda před kulminací a po ní dosáhla jisté výšky, na př. 60°; tímto přenosným strojem bylo u nás dosaženo výsledků stejně přesných, jako dříve velikými a pevně uloženými stroji pasážními. Jsou tu dvě pevná zrcadla *1*, *2*, rtuťový horizont a zrcadlo *3*, odrážející obojí paprsky do dalekohledu s mikrometrem. Jak z chodu paprsků je vidět, stroj funguje v podstatě jako sextant, předem nastavený na jistý výškový úhel.



Obr. 506.



Obr. 507.

Zrcadla mohou být kovová, leštěná, častěji jsou skleněná. Odrazná vrstva (stříbrná nebo hliníková) může být na zadní straně skla, pak zrcadlo dává při šikmém dopadu nežádoucí druhý slabší odraz na skle, nebo je na přední straně a pak kovová vrstva, zejména stříbrná, trpí atmosférickými vlivy. Z toho důvodu nahrazujeme rádi malá zrcadla odraznými hranoly. V konstrukci velkých dalekohledů, osvětlovacích, zařízení a j. jsou důležitá zrcadla *zakřivená*, kulová, parabolická, eliptická, hyperbolická.

Hranoly

Prochází-li paprsek rozhraním mezi dvěma prostředními opticky různými, láme se podle zákona Snellova (obr. 508):

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (21)$$

kde n_1, n_2 jsou indexy lomu obou prostředí. Jednotkový index lomu má vakuum a prakticky i vzduch (1,00029), optická skla mají indexy lomu 1,46—

—1,92. Je lhostejné, kterým směrem světlo jde, a říkáme, že se světlo láme ke kolmici dopadu, vchází-li do prostředí opticky hustšího, a naopak. Je-li jedním prostředím vzduch, zákon zní:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n, \qquad (22)$$

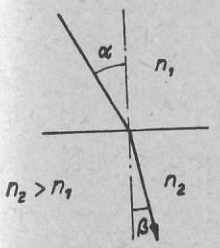
kde n je index hustšího prostředí (skla). Rovnice (21) je fundamentální a celá geometrická optika je jen její aplikace. Důležitý je úhel β, k němuž přísluší úhel $\alpha = 90°$. Tento *mezný* úhel — je dán vztahem

$$\sin\alpha = 1 \qquad \sin\beta = \frac{1}{n}. \qquad (23)$$

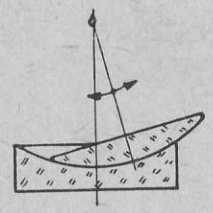
Překročí-li se tento úhel, paprsky se ze skla vůbec nedostanou ven, nýbrž se beze zbytku odrazí zpět; to je *úplný odraz*, totální reflexe. Mezný úhel je pro různé optické materiály různý:

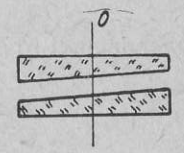
korunové sklo	$n = 1{,}51$	$\beta = 41{,}5°$
těžké flintové sklo	1,72	34,2°
diamant	2,4	24,5°.

V praxi užíváme hojně *hranolů*. Buď jich užíváme k tomu, abychom paprsky odchýlili o žádaný úhel, pak mluvíme o *klínech;* potřebujeme-li klín s lá-

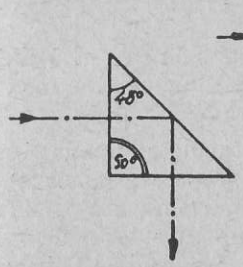


Obr. 508.

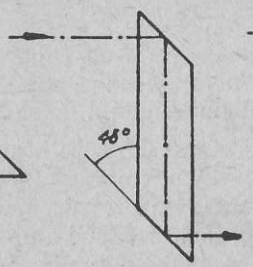

Obr. 509.



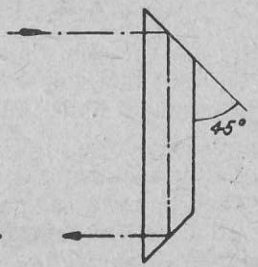
Obr. 510.



Obr. 511.

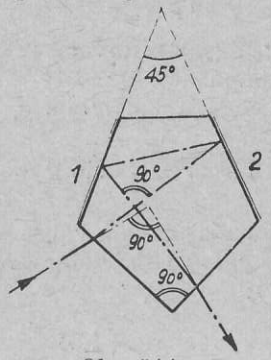


Obr. 512.

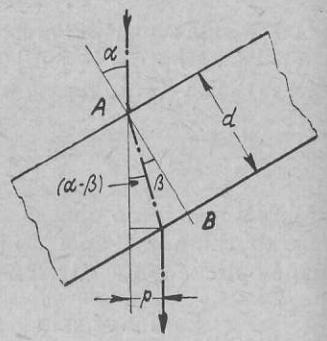


Obr. 513.

mavostí proměnnou (dálkoměry), sestavíme jej ze dvou čoček z téhož skla (obr. 509), kulových nebo válcových, nebo (obr. 510, diasporametr) ze dvou klínů, které lze kolem osy *0* natáčet v opačném smyslu. Nebo využijeme totální reflexe v *hranolech odrazných*. Nejjednodušší je hranol pravoúhlý (obr. 511), nahrazující úplně a výhodně malé zrcadlo. Na témže principu je založen hranol rhombický (obr. 512), kterým paprsek posuneme bez další změny, nebo hranol lichoběžníkový (obr. 513), který paprsek posunuje, vrací zpět a převrací obraz. Zrcátka na obr. 503 lze nahradit podle obr. 514 *pentagonálním* hranolem; zde však odraz není úplný a plochy *1* a *2* jsou proto postříbřeny.



Obr. 514.



Obr. 515.

Zvláštní případ klínu je *planparalelní deska*, obr. 515. Obraz 508 se při výstupu světla ze skla opakuje v opačném smyslu a výsledek je ten, že paprsek zachovává původní svůj směr, ale je posunut stranou o délku p, kterou dostaneme tím, že promítneme tloušťku desky d

$$p = \overline{AB} \sin(\alpha - \beta) = \frac{d \cdot \sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \tag{24}$$

nebo zavedeme-li rovnici (22)

$$p = d \cdot \sin \alpha \left[1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right]. \tag{24a}$$

Pro malé úhly lze psát

$$p \doteq d(\alpha - \beta) \doteq d \cdot \alpha (1 - 1/n). \tag{25}$$

Posunutí je úměrné úhlu dopadu a pro obyčejné sklo ($n \doteq 1{,}5$)činí $\alpha\, d/3$. Aplikuje se všude tam, kde v měřicí technice potřebujeme záměrnou přímku nebo obraz posunout o měřitelnou hodnotu.

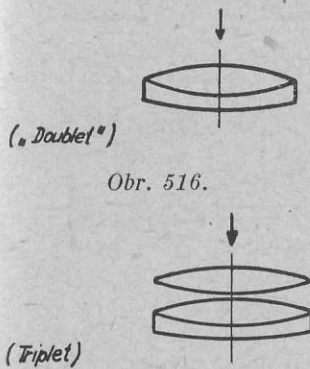
Kromě uvedených jsou ještě různé složitější hranoly a hranolové systémy, jimiž vytváříme spektrum, převracíme obrazy (hranolová kukátka), odchýlujeme svazky paprsků se současným převrácením obrazu atd. Materiál je vždy bezvadné optické sklo, přesně broušené a opticky dokonalé vyleštěné; úhlové tolerance jsou někdy jen pouhé sekundy, a výroba je tedy nesnadná a drahá.

Čočky

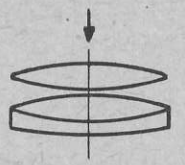
Všechny optické přístroje obsahují čočky různého druhu a v různém sestavení. Pro nás má zvláštní význam *čočka spojná*, obecněji řečeno taková kombinace čoček, která se navenek chová jako spojka (více nebo méně zbavená optických vad jednoduché čočky), a tedy je schopna vytvořit reálný obraz předmětu — reálný v tom smyslu, že může být zachycen na stínítku nebo na fotografické desce a být předmětem pro další spojný systém. Pro zobrazování platí tyto předpoklady: a) paprsek rovnoběžný s osou se láme do ohniska; b) paprsek jdoucí ohniskem se láme do směru s osou čočky rovnoběžného; c) paprsek jdoucí středem čočky se neláme vůbec. Pak zobrazování tenkou spojkou vypadá jako na obr. 520; z podobnosti trojúhelníků lze odvodit známý vztah

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \tag{26}$$

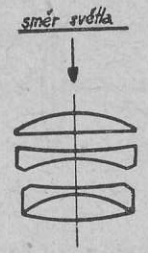
platný pro čočky tenké, přibližně i pro čočky achromatické (obr. 516), méně přesně ovšem pro tříčočkový systém podle obr. 517, tím méně pro spojné



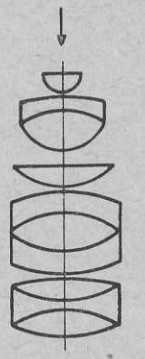
Obr. 516.

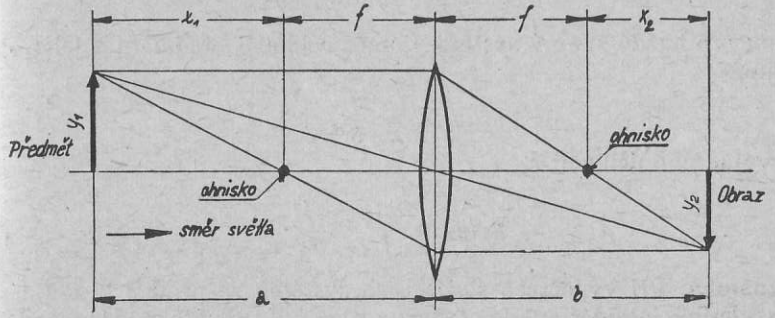


Obr. 517.



Obr. 518.


Obr. 519.

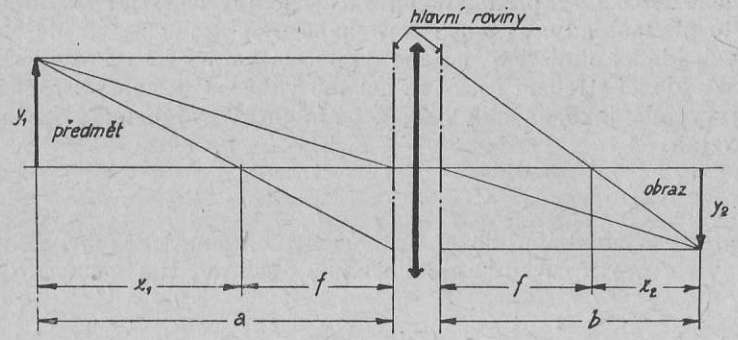


Obr. 520.

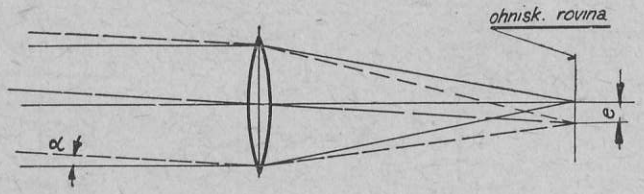
systémy podle obr. 518 (známý objektiv „Tessar"), nebo dokonce podle obr. 519 (apochromatický objektiv pro mikroskop).

Pak věc vypadá jako na obr. 520a: Rovnice (26) platí, ale vzdálenosti nutno měřit od *hlavních rovin* opt. systému. Často neznáme polohu hlavních rovin; pak měříme od rovin ohniskových, t. j, zavedeme

$$x_1 = a - f \quad a \quad x_2 = b - f.$$



Obr. 520a.



Obr. 521.

Po úpravě dostaneme Newtonovu rovnici

$$x_1 \cdot x_2 = f^2, \tag{26}$$

platnou pro každý spojný systém. Poměr velikosti předmětu a jeho obrazu je zřejmě

$$y_1/y_2 = \frac{a}{b}, \tag{28}$$

nebo vyjádřeno délkami x_1, x_2

$$y_1/y_2 = \frac{x_1}{f} = \frac{f}{x_2}. \tag{29}$$

Poznámka: Při výpočtech složitějších systémů se přihlíží k znaménkům délek; kladný je směr světla, tedy na obr. 520 přední ohnisková délka a hodnota a jsou záporné (viz citovanou knihu Mazurkovu).

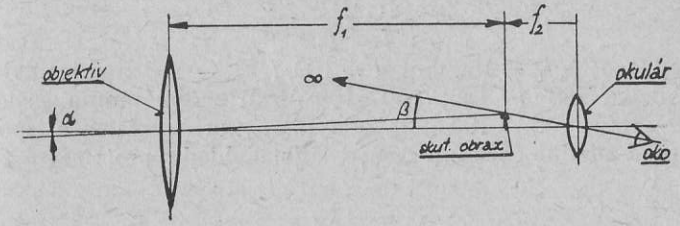
Důležitý je případ bodu vzdáleného, prakticky ležícího v nekonečnu. Je-li svazek paprsků rovnoběžný s osou, zobrazí se bod v ohnisku spojného systému; je-li svazek paprsků nakloněn k ose v malém úhlu α (obr. 521), obraz bodu vznikne opět v ohniskové rovině, ale ve vzdálenosti od osy rovné

$$e = f \cdot \operatorname{tg} \alpha \doteq f\,\alpha. \tag{30}$$

Dalekohled

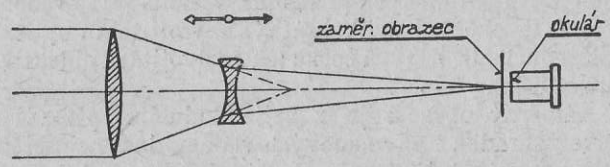
Dalekohled (teleskop) je nejen důležitý přístroj pozorovací, nýbrž také nejpřesnější pomůcka k zamíření nebo k zacílení. V úvahu přichází dalekohled hvězdářský (Keplerův), obr. 522. Obraz vzdáleného předmětu vzniká (viz obr. 521) blízko ohniskové roviny objektivu a tento obraz pozorujeme a zvětšujeme si *okulárem*, fungujícím jako lupa. Zvětšení příčné nebo úhlové, které nás zde zajímá, je dáno zorným úhlem, v němž předmět vidíme prostým okem, tedy

$$Z = \frac{\beta}{\alpha} \doteq \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{f_1}{f_2}. \tag{31}$$



Obr. 522.

Dalekohled má objektiv s velkou, okulár s malou ohniskovou délkou. Předmět vidíme převrácený, což většinou nevadí; pohodlnější a někdy účelné je mít obraz vzpřímený, což se dřív dálo dalšími čočkami (terestrický okulár), dnes pravidelně převracejícím systémem hranolovým. Okolností základně důležitou je, že obraz vytvořený objektivem je reálný; lze tedy do roviny obrazu dát vhodnou zaměřovací značku (ohniskový obrazec), kterou vidíme ostře zároveň s předmětem; střed značky a střed objektivu pak definují záměrnou osu (přímku) dalekohledu.



Obr. 523.

Je-li předmět v menší vzdálenosti, padne jeho obraz za ohniskovou rovinu, vidíme jej neostře a musíme tedy zaostřit (fokusovat) tím, že značku

i s okulárem posuneme podle potřeby k sobě. Proto je značka montována (způsobem jako na obr. 412) v okulárové trubici, přesně vedené a posouvané točítkem a ozubenou tyčí, event. hrubým závitem; v této trubici je okulár (resp. jeho oční čočka) ještě posuvný, aby si pozorovatel zaostřil značku podle svého zraku. Toto fokusování není přesné, posuzujeme-li jen ostrost, neboť oko se do jisté míry přizpůsobí a vidí ostře předmět i značku, i když jejich roviny přesně nesplývají; chyba se však ukáže, jakmile hlavou trochu pohybujeme napříč, neboť obrazy ležící v různých rovinách se proti sobě pohybují.

Vedení okulárové trubice je choulostivé místo (prach, voda!), proto se dnes běžně užívá zaostřování vnitřního (obr. 523); objektiv má poměrně malou ohniskovou délku a za ním je posuvná rozptylka, která posune reálný obraz tím dále k okuláru, čím je sama blíže objektivu. Ekvivalentní ohnisková délka takového dvoučočkového systému je

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d} \tag{32}$$

a sečná dálka je (pro vzdálený předmět)

$$b = \frac{f_2 (f_1 - d)}{f_1 + f_2 - d} \tag{33}$$

Má-li přední čočka $f_1 = 150$ mm, $d = 100$, $f_2 = -100$ mm, je ekvivalentní ohnisková délka $150 \cdot (-100)/(150-100-100) = 300$ mm a sečná dálka $-100\ (150-100)/-50 = 100$ mm. Hlavní rovina ekvivalentní spojky leží tedy 100 před přední čočkou; zkrácení dalekohledu proti staré formě je 100 mm.

Obr. 524.

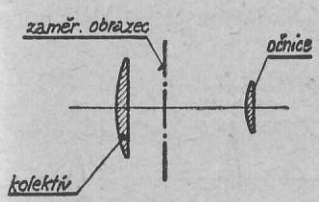
Obr. 525.

Obr. 526.

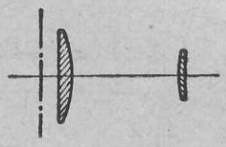
Záměrný obrazec je tedy pevný a zaostřujeme tím, že měníme ekvivalentní ohniskovou délku systému objektiv-rozptylka (analogie „frontálního" zaostřování mnohých fotografických přístrojů). Výhoda je, že vedení zaostřovací čočky je kryté, dalekohled vyjde krátký, naproti tomu optický systém je mnohem dražší, poněvadž přibývá čočka (často dvojitá) a objektiv opticky namáhaný se provádí jako triplet.

Ohniskový záměrný obrazec je v nejjednodušším případě pouhý kříž (obr. 524), dříve výhradně z pavučinových vláken, dnes nejčastěji leptaný na skleněné destičce. Leptání dává volnost užít obrazců prakticky libovolných. V theodolitech se běžně užívá „dálkoměrného kříže" podle obr. 525, jehož krátké vodorovné čárky definují určitý zorný úhel; zacílíme-li na svislou nivelační lať, vytknou tyto čárky na tyči délku úměrnou vzdálenosti stroje od

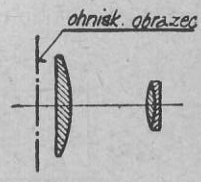
latě. Pro methodu koincidenční (dalekohled svisle posuvný nebo před objektivem opatřený otočnou planparalelní deskou) se hodí značka podle obr. 526. Značka na skle má nevýhodu, že s ní vidíme ostře i prach na skle usazený; pomůžeme si tím, že značku přikryjeme druhou destičkou dostatečně tlustou, aby nebylo vidět ostře prach i značku zároveň (tato ochrana je ostatně nutná pro obrazce zhotovené fotograficky).



Obr. 527.



Obr. 528



Obr. 529.

Okulár dalekohledu je vždy složený. Pro měřicí účely stačí jednodušší formy na obr. 527—529. První je okulár Huygensův, ze dvou čoček z téhož skla a nestejně silných, zvaný negativní, o němž se v literatuře někdy tvrdí, že v něm nelze užít záměrného obrazce. To není správné, neboť přední čočka (kolektiv) reálný obraz pouze o něco zmenší a posune směrem k objektivu (tím, že svazek paprsků stáhne), čili obraz — opět reálný — vzniká za kolektivem a tam se také umístí záměrný obrazec. Huygensova okuláru se ostatně často užívalo pro dalekohledy theodolitů. Dnes dáváme přednost formě Ramsdenově (obr. 528, okulár positivní), kde záměrný obrazec je před kolektivem, zdokonalené zejména tím, že očnice je vytvořena jako dublet (obr. 529). Okulár Ramsdenův funguje jako dobrá lupa, Huygensův nikoliv, ledaže jej obrátíme. Je zajímavé, že oba byly vytvořeny již dávno a empiricky, a přesto jsou to nejlepší možné kombinace dvou prostých čoček. O tom více najde čtenář v Nachtikalově Fysice.

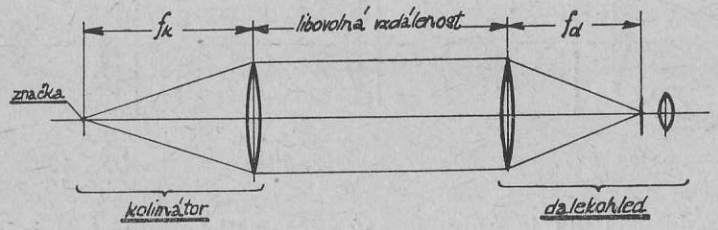
Zvětšení dalekohledu, dané rovnicí (31), má své meze dané tím, že ostrost reálného obrazu je omezená; nadbytečné („jalové") zvětšení již neukáže více podrobností a světelnost obrazu se při tom zmenšuje. Rozlišovací schopnost (množství detailů) objektivu je úměrná jeho půměru, nezávisí na jeho ohniskové délce. Největší upotřebitelné zvětšení je podle různých autorů v mezích

$$Z_{max} = 1{,}5 - 2{,}5\ D, \tag{34}$$

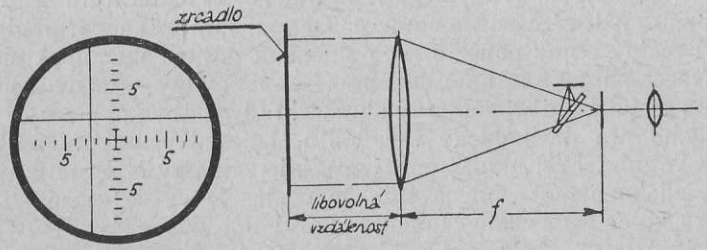
kde D je průměr objektivu v mm. Tedy pro $D = 50$ je největší rozumné zvětšení 75, dalším stupňováním se mnoho nezíská, ledaže by pozorovatel měl sníženou rozlišovací schopnost oka; obyčejně se užívá zvětšení mnohem menších, než udává rovnice (34). Záměrné dalekohledy mívají zvětšení 15—40. Na průměru objektivu záleží přirozeně i světlost obrazu; to je důležité pro pozorování noční, ovšem světelný objektiv znamená optickou komplikaci, větší objem, váhu i cenu.

Kolimátor

Vhodně osvětlená značka, umístěná v ohniskové rovině objektivu, je zobrazena podle rovnice (26) v nekonečnu (obr. 530). Toto zařízení, kolimátor, promítá tedy rovnoběžným svazkem paprsků, jako by značka byla umístěna v nekonečnu. Postavíme-li paprskům do cesty dalekohled zaostřený na nekonečno, vidíme značku, nechť je mezi kolimátorem a dalekohledem vzdálenost jakákoliv. Toho užijeme, je-li proměnná vzdálenost mezi dělením a okulárem, na př. u některých měřicích strojů. Nakloní-li se kolimátor o *malý* úhel α, přicházejí paprsky k dalekohledu šikmo a obraz se posune podle obr. 521 a rovnice (30). Takto lze s velikou přesností (až na 2—3″) zjišťovat souosost při montáži strojů; stejně lze tak kontrolovat přímost vedení velkých obráběcích strojů, při čemž kolimátor je na krátkých saních, pojíždějících po zkoušeném vedení. Přesnost obvyklého stroje (s vodorovnou upínací deskou) na frézování ozubených kol můžeme zkoušet tak, že do středu upínací desky postavíme přesný theodolit, a otáčejíce desku zub po zubu, pokaždé zacílíme na značku kolimátoru vedle stojícího; máme tak nekonečno v omezené dílně, excentrické postavení theodolitu nevadí a přesnost měření je dána hlavně jakostí theodolitu (chyba až jen 2″).



Obr. 530.



Obr. 531. *Obr. 532.*

Každý dalekohled obsahuje oba prvky kolimátoru: objektiv a záměrný obrazec. Proto může dalekohled sám sobě dělat kolimátor. Objektivem je záměrný obrazec promítnut z ohniskové roviny do nekonečna, ale přesné rovinné zrcadlo, postavené v libovolné vzdálenosti (obr. 532), paprsky vrátí, aby

znovu vytvořily reálný obraz; ten se kryje s původním obrazcem, stojí-li zrcadlo kolmo na směr paprsků. Promítaný obraz je třeba osvětlit; v obr. 531 je značka *1* umístěna stranou, vhodně osvětlena a objektiv ji promítne po odrazu na planparalelním, event. lehce postříbřeném skle *2*. Vrácené paprsky projdou destičkou *2* a vytvoří obraz v rovině *3*, který okulárem vidíme. Je-li značkou *1* pouhý kříž a v rovině *3* jsou zkřížené stupnice, vypadá pole jako na obr. 531. Odchylka zrcadla způsobí posun kříže, daný rovnicí (30), který lze na stupnicích odečíst. Lze tedy zrcadlem zjišťovat přímočarost vedení jako prve kolimátorem. Upotřebitelnost takového *autokolimačntho dalekohledu* je ještě větší: lze jím kontrolovat kolmost a rovinnost předmětů, mají-li zrcadlící plochy (koncové měrky, destičky, hranoly, klíny); nerovinnost plochy se projeví rozmazáním obrazu. Další aplikace bude uvedena později.

Mikroskop

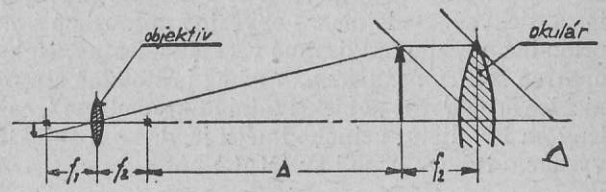
Objektiv opět vytvoří reálný, tentokrát zvětšený obraz předmětu, který pozorujeme okulárem jako v dalekohledu. Úhlové zvětšení je součin ze zvětšení objektivu, daného rovnicí (29), a zvětšení okuláru, definovaného rovnicí:

$$Z = \frac{250}{f_2} \text{ (mm)}, \tag{35}$$

kde f_2 je ekvivalentní ohnisková délka okuláru. Je to konvenční zvětšení: předmět je v ohnisku lupy, normální oko je akomodované na nekonečno. Celkové zvětšení bude tedy

$$Z = \frac{\triangle}{f_1} \cdot \frac{250}{f_2} \tag{36}$$

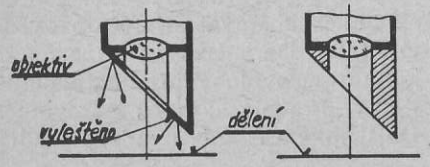
Objektiv mikroskopu má malou ohniskovou délku. $\triangle$ je optická délka tubusu, dnes normalisovaná na 170 mm, takže objektivy jsou (a stejně okuláry) označeny číslem, které udává zvětšení; kombinace objektivu č. 25 s okulárem č. 6 dává tedy celkové zvětšení 150.



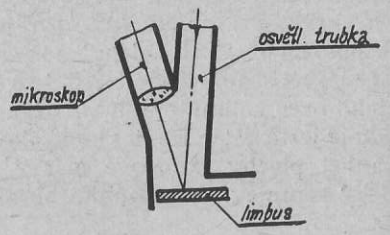
Obr. 533.

Pro naše účely stačí zvětšení 50—100, málokdy více, a optické požadavky nejsou vysoké; jako objektiv stačí mnohdy pouhý dublet (obr. 516), k němu okulár podle obr. 527—529. Osvětlení průhledných předmětů (na př. skleněného dělení) nečiní potíže. Osvětlení předmětu neprůhledného vyžaduje někdy zvláštních opatření. Užijeme-li denního světla rozptýleného, stačí u odečítacích mikroskopů šikmá zrcadlící plocha pod objektivem (obr. 534) nebo odrazné tělísko bílé, na př. ze sádry, obr. 535; je-li dělení zakryto, lze světlo přivést osvětlovací trubkou podle obr. 536. Moderní tendence je nespoléhat na denní světlo a mnohé měřicí přístroje mají osvětlení stupnic nízkovoltovými

žárovkami. Elektrické osvětlení je ostatně nutné, má-li se se strojem pracovat v noci (triangulační měření), a výhodné pro práci na příklad v dole. Silná zvětšení (metalografické mikroskopy) vyžadují *vertikálního iluminátoru*, buď se skleněnou šikmou destičkou (obr. 537), nebo s osvětlovacím hranolem

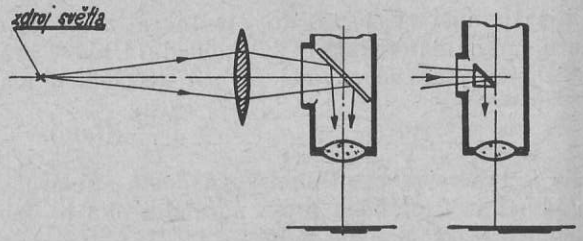


Obr. 534. Obr. 535.



Obr. 536.

(obr. 538), který zakrývá skoro polovinu objektivu. Povytáhneme-li okulár mikroskopu, vytvoří druhý a zvětšený reálný obraz, který lze pak zachytit na stínítku nebo na fotografické desce. Takové *projekční mikroskopy* jsou důležité pro dílenskou kontrolu drobných přesných součástí v jemné mechanice a v hodinářství; fotografických mikroskopů se užívá dávno v metalografii. Veliká zvětšení ovšem přinášejí mnoho problémů optických, konstrukce objektivů jsou složité, výroba je nesnadná a drahá; mikroskopie se považuje za obtížné odvětví optiky, které vyžaduje značných vědomostí teoretických i praktických. Dodejme, že obyčejný mikroskop s mírným zvětšením je velmi příhodné měřidlo pro drobné věci jako drátky, čípky, malé vrtáčky atd., je-li opatřen *měřicím okulárem*, v němž je stodílná stupnice 10 mm dlouhá. Stupnici lze ocejchovat „objektivním mikrometrem", což je jeden milimetr rozdělený na 100 dílků; nejpohodlnější je, dáme-li objektivu zvětšení přesně 10, ať výtahem tubusu nebo i zvláštním nástavkem.



Obr. 537. Obr. 538.

Prostředky k stanovení svislé a vodorovné polohy

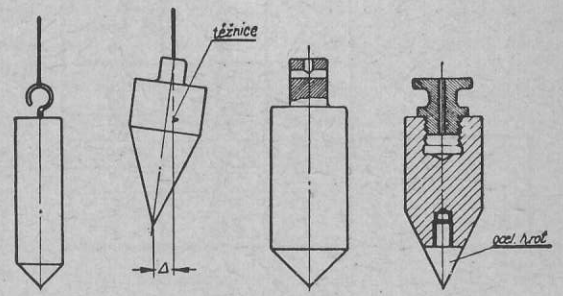
Úloha postavit stroj „do vodováhy" se vyskytuje často při montážích i při měřeních a požadovaná přesnost je někdy vysoká (zlomky úhlových sekund). Pro lepší představu je dobře si uvědomit, že

arc $1^0 = 0{,}01745 = 1/57{,}30$ na 1 metr 17,45 mm
arc $1' = 0{,}000291 = 1/3438$ na 1 metr 0,291 mm
arc $1'' = 0{,}00000485 = 1/206265$ na 1 metr 0,00485 mm.

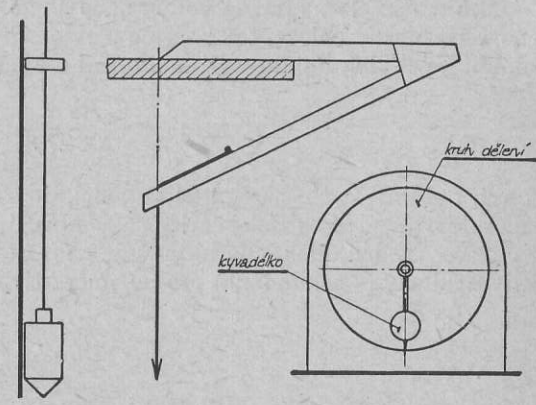
Oba prostředky, olovnice a libela, ač jsou konstruktivně odlišné, spočívají na témže principu a oba neudávají nic jiného než směr zemského zrychlení. Proto oba selhávají na vozidle nebo na letadle, kde se k zemskému zrychlení vektorově přičítá zrychlení vodorovného pohybu.

Olovnice

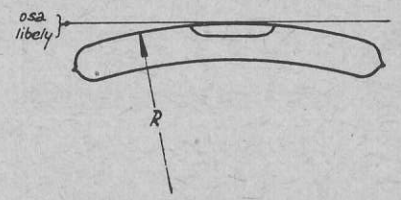
Prostředek nejstarší, podnes užívaný a přesnější, než se mnohdy myslí. Pokud svislou polohu posuzujeme podle směru závěsné šňůry, je lhostejné, co je na šňůře zavěšeno: šňůra se postaví svisle a v jejím prodloužení leží i těžiště závaží (obr. 540); stačí obyčejná olovnice podle obr. 539. Máme-li však olovnicí promítat nějaký bod, způsobí hmotná nesymetrie závaží chybu patrnou na obr. 540. Proto lepší olovnice mají závaží soustružené; šňůra je uzlem zachycena jednoduše ve vývrtu, znázorněném na obr. 541, lépe v provrtaném šroubu (nebo matkou) podle obr. 542. Svislost stěn se lépe posoudí je-li šňůra provlečena kotoučem téhož průměru jako závaží (obr. 543). Bod na měřickém stole se na zemi promítá olovnicí podle obr. 544. Theodolit se postaví (centruje) nad bodem rovněž olovnicí, zavěšenou pod svislou osou stroje. Spojí-li se olovnice s úhlovou stupnicí, lze odečíst sklony. Příhodná je forma na obr. 545, kde olovnicí je kyvadélko, jež visí na malém kuličkovém ložisku; přístroj udá sklon podložky asi na $0{,}1^0$. Jsou podobné přístroje přesnější, jež udávají úhlové minuty.



Obr. 539. Obr. 540. Obr. 541. Obr. 542.

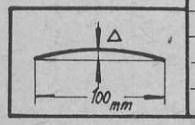


Obr. 543. Obr. 544. Obr. 545.



Obr. 546.

Přesnost olovnice záleží hlavně na její délce. Dosáhneme přesnosti 1′, jestliže polohu šňůry 1 m dlouhé určíme s chybou 0,15 mm, což s použitím lupy je snadné, je-li šňůra tenká; dosažená přesnost bývala až 20″. Hlavní nedostatek olovnice je, že je to pramálo tlumené kyvadlo, jehož kyvy znepříjemňují a zdržují práci. Proto ji rádi nahradíme libelou a pro centrování theodolitu malým lomeným dalekohledem, jehož záměrná přímka je v ose stroje.



citlivost úhl. sek.	R m	Δ pro 100 mm mm
60″	6·87	182
30″	13·73	91
20″	20·6	61
10″	41·2	30
5″	82·4	15
2″	206	6
1″	412	3

Obr. 547.

Libela

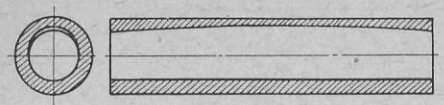
Původně libela (Thévenot 1661) byla pouhá skleněná trubka (obr. 546), ohnutá do kruhového oblouku a nezcela naplněná vodou nebo lihem. Jako se ustálí závaží olovnice v nejnižší možné poloze, tak zaujme plovoucí bublina libely nejvyšší možnou polohu. Výchylka bubliny při naklonění o úhel α'' je

$$\sigma = \frac{R \cdot \alpha}{206\,270} \qquad (37)$$

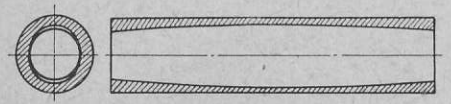
Pohyb bubliny se čte na krátké stupnici, do skla vyleptané, která dříve mívala interval jedné pařížské čárky (2,26 mm), dnes 2 mm. Úhel α, jenž způsobí výchylku o jeden dílek, charakterisuje *citlivost* libely. Z rovnice (37) vychází citlivost libely (v sekundách) pro poloměr křivosti R (m)

$$\beta = \frac{412}{R}. \qquad (38)$$

Na obr. 547 je tabulka libel různé citlivosti. Hrubé libely mívají 60—120′, přesné strojnické 20″ (0,1 mm na metr délky), v geodesii 20—15—10—5″, na strojích astronomických až 1″.



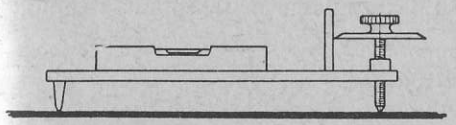
Obr. 548.



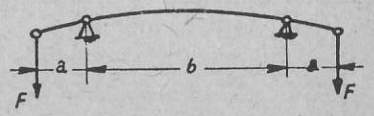
Obr. 549.

Ohnutá trubka se hodí jen pro hrubší libely. Jemnější libely jsou ze skleněné trubky vybroušeny, obyčejně jednostranně, jak ukazuje přehnaně kreslený obr. 548, někdy dvoustranně jako na obr. 549 (dvouosá, reversní libela nivelačního stroje). Brousí a leští se na kovových trnech. Méně citlivé libely se mohou brousit na rotujícím hřídeli, uloženém ve dvou ložiskách a zatíženém

na převislých koncích závažími; ohybový moment mezi ložisky (obr. 551) je $a \cdot F$, konstantní, hřídel se proto prohne do kruhového oblouku a na něj se navlékne několik trubek k broušení. Vnitřek musí být vyleštěn, aby tření bubliny bylo minimální. Broušení nejcitlivějších libel je individuální práce, kterou málokterý brusič ovládá. Dříve se libely uzavíraly zatmelenými skleněnými zátkami; nebyl však nalezen tmel natrvalo těsný, proto dnes oba

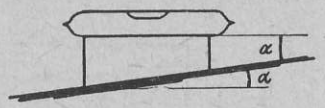


Obr. 550.

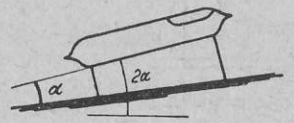


Obr. 551.

konce libely zatavujeme a smiřujeme se s tím, že konce jsou deformovány a k měření nepotřebné. Náplň libely bývá éter, sirouhlík, lehké uhlovodíky a směsi látek, které jsou továrním tajemstvím. Důležité je, aby sklo náplni odolávalo, jinak se po létech vyluhováním zdrsní povrch skla a libela se stává nepotřebnou. Je-li trubka vybroušena a vyleštěna, zataví se jeden konec, druhý se vytáhne do špičky, trubka se naplní, ohřeje, aby páry náplně vyhnaly vzduch, a zataví se; bublina je tedy vytvořena nasycenými parami náplně.

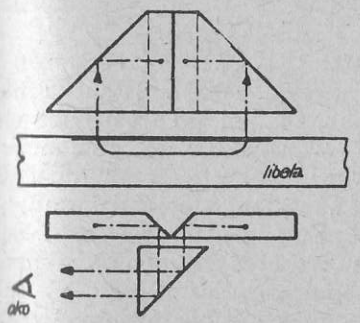


Obr. 552.



Obr. 553.

Citlivost libely se zkouší příležitostně tak, že ji dáme na pravítko, které podkládáme koncovými měrkami. O nic přesnější, ale mnohem pohodlnější je zvláštní přístroj k tomuto účelu, *libeloměr*, obr. 550. Je to pravítko nebo rám, spočívající na jednom konci na dvou nožkách a na druhém konci na mikrometrickém šroubu (jako na obr. 131). Tak lze polohu libely měnit rychle o známé hodnoty a zjistit nejen citlivost, nýbrž také libelu ocejchovat jako úhloměrné zařízení (a tím zjistit pravidelnost výbrusu). Libeloměrem lze zamontovanou libelu rektifikovat.

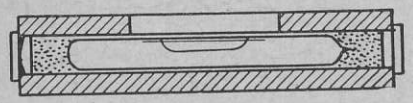


Obr. 554.

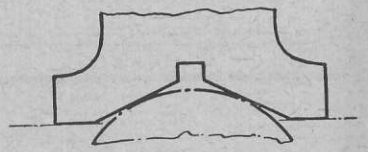
Obr. 555.

Obr. 556.

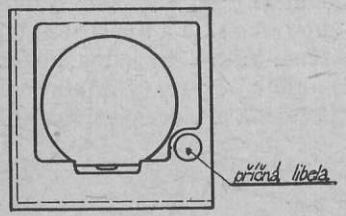
Je-li libela urovnána, je její osa vodorovná (v. obr. 546), ale spodek je nakloněn o malý úhel α (obr. 552). O tom se přesvědčíme, otočíme-li libelu o 180° (obr. 553): chyba se objeví v dvojnásobné hodnotě. Opravíme tedy polovinu výchylky bubliny šroubkem libeloměru, druhou polovinu rektifikačním zařízením libely a postup opakujeme, až je libela urovnána v obou polohách. Tato manipulace — *otočení, přeložení, proložení o 180°* má základní význam v měřicí technice, neboť takto postupujeme při rektifikaci strojů geodetických i jiných měřidel.



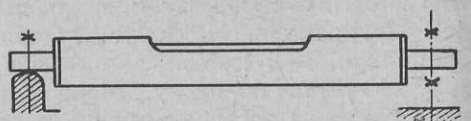
Obr. 557.



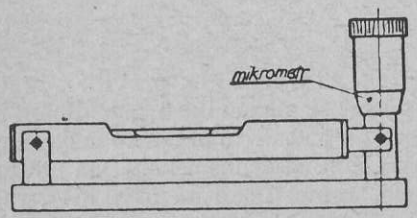
Obr. 558.



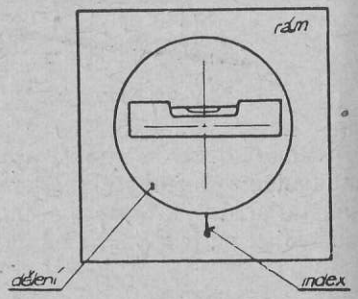
Obr. 559.



Obr. 560.



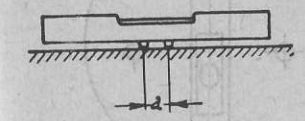
Obr. 561.



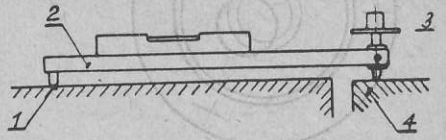
Obr. 562.

Bublina má být velká, tím větší, čím citlivější libela, neboť s rostoucí citlivostí se zmenšuje složka vztlaku, pohybující bublinou, kdežto tření bubliny o sklo se nemění. Proto rozměry libel vzrůstají s citlivostí. Hrubá libela může mít trubku ⌀ 6 mm při délce 50 mm, nejcitlivější trubku ⌀ 25 mm a délku 250 mm. Taková libela je citlivá na mechanické namáhání, které ji deformuje, i na sálavé teplo; přiblížíme-li k jejímu konci ruku, shledáme po chvíli, že bublina se posunuje k ruce — roztažením skla se vrchol zakřivení posunuje ke zdroji tepla. Odečítání polohy bubliny podle stupnice není valně přesné; je tu chyba paralaxy, způsobená tloušťkou skla, a srovnáváme dvě různorodé věci (okraj bubliny a čárky na skle). Pokrokem bylo proto zavedení hranolových

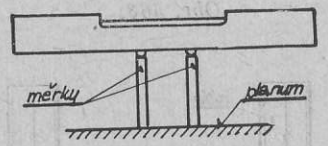
odraznych systémů, jejichž příklad je na obr. 554 Cnod paprsků je na obrázku patrný. Výsledek je ten, že vidíme oba konce bubliny jako na obr. 555, po urovnání libely jako na obr. 556. Přesnost je zdvojnásobena tím, že se konce bubliny pohybují proti sobě, a dále tím, že posuzujeme splývání — koincidenci dvou věcí stejnorodých (okrajů bubliny). Požadovanou přesnost dostaneme proto libelou asi pětkrát méně citlivou, která je mnohem menší, lacinější a méně choulostivá. Zde se po prvé setkáváme s aplikací *principu koincidenčního*, v měřicí technice základně důležitého. — Délka bubliny se mění s teplotou, poněvadž kapalina se mnohem více roztahuje než sklo; má-li se tato závada zmírnit (užije-li se hranolového systému), vyplní se asi polovina obsahu libely tyčkou skleněnou, vloženou před zatavením.



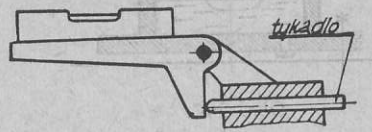
Obr. 563.



Obr. 564.



Obr. 565.

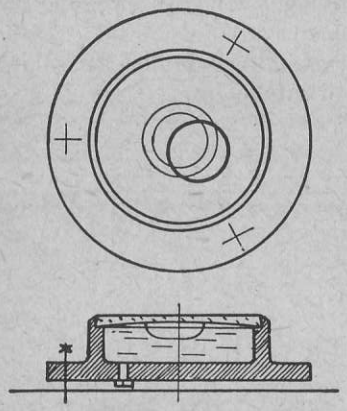


Obr. 566.

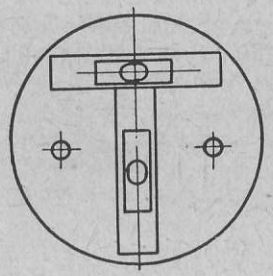
Montáž libely se řídí účelem; libela slouží jako samostatný přístroj nebo je součástí nějakého stroje. Pro hrubší účely montážní je trubka zatmelena (nejčastěji sádrou) do kovového pouzdra podle obr. 557, vespod přesně opracovaného, rektifikační zařízení tu není. Větší strojnické libely mají spodní plochu podle obr. 558, aby se daly posadit na hřídel, pro kontrolu správné polohy mají ještě malou libelu příčnou. Universálně upotřebitelná je libela podle obr. 559, jejíž litinový rám má obrobeny všechny čtyři strany. Je-li libela namontována, je její trubka uložena v ochranné trubce (obr. 560), ta pak je upevněna způsobem, který připouští rektifikaci podle obr. 400, 402, 406, nebo dvěma šroubky, jako tomu je na obr. 293, 294. Citlivější libela není pevně zatmelena, poněvadž nestejná roztažnost skla a kovů by ji deformovala, nýbrž poddajně uložena na př. v korku, a podle možnosti i ochranná trubka se dává do nějakého pouzdra (na př. u nivelačních strojů do pouzdra odlitého v celku s trubkou dalekohledu a chránícího i hranolový systém). Tato péče o libelu je nutná — všechna měření v geodesii a v astronomii spočívají na libele!

Libeloměrem lze přesně měřit sklony; pohodlnější je úprava na obr. 561, kde jeden konec libely je spojen se svislým mikrometrem. Veliký rozsah má sklonoměr, znázorněný na obr. 562, kde libela je na otočném a děleném kotouči. Podobný přístroj Zeissových závodů, opatřený skleněným děleným kruhem

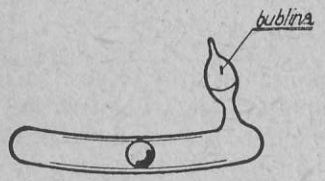
(a přiměřeně citlivou libelou), má přesnost čtení asi 30″. V obou případech libela slouží za ukazatele nulového, stejně v zařízení na obr. 564, kterým lze přesně zjistit odchylky nějaké desky od roviny. Desku ohmatáváme hrotem *1*, posuvným po přesném pravítku *2*, a v každém bodě urovnáme libelu svislým mikrometrickým šroubem *3*, spočívajícím na pevné podložce *4*; přesnost záleží na dokonalosti pravítka *2* a na citlivosti libely. Zařízením na obr. 566 lze zjistit, že tykadlo měřicího stroje zaujalo jistou polohu.



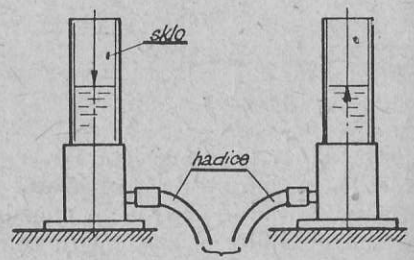
Obr. 567.



Obr. 568.



Obr. 569.



Obr. 570.

Dobře vybroušené libely můžeme užít jako úhloměru. Na obr. 563 je taková libela, spočívající na zapuštěných kuličkách. Libelu klademe na body rovinné desky, které mají rozteč a a odečítáme; ze čtení můžeme pak nakreslit vrstevkový plán oné desky (k tomuto měření můžeme také užít zrcadla a autokolimačního dalekohledu). Stejné libely lze užít k porovnávání čili komparaci koncových měrek; normální a zkoušenou měrku postavíme na dokonale rovinnou desku („planum", jak říkají optikové) a na ně posadíme libelu (obr. 565). Přesnost je značná: pro $a = 20$ mm, odchylka libely o 1″ znamená rozdíl měrek 20/206000 mm čili 0,1 mikronu.

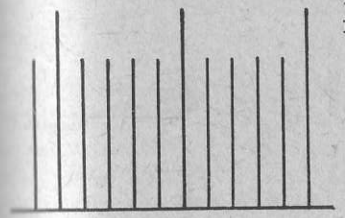
Pro hrubé horizontování theodolitů a pro stroje, kde stačí méně přesné horizontování, užívá se libely *krabicové* (obr. 567). Skleněné víko je vybroušeno do plochy kulové a střední poloha je vyznačena jedním nebo dvěma kroužky; citlivost bývá 1—2′. Poněvadž krabičku nelze tmelemutěsnit dokona le, dělají se také libely celé za skla, zatavené. Rektifikuje se třemi šroubky (obr. 407, 408). Místo krabicové libely se užívá též libely *křížové*, složené ze dvou malých libel na sebe kolmých (obr. 568), která je pro práci pohodlnější, zvláště je-li jedna z libel rovnoběžná se spojnicí dvou stavěcích šroubů (horizontování je pak snažší, protože je systematické).

Pro údaje zcela hrubé (1/4°) se užívá u leteckých zatáčkoměrů skleněné ohnuté trubky, v níž se s malou vůlí pohybuje ložisková kulička (obr. 569); kapalinovou náplní je dosaženo tlumení skoro aperiodického, přívěšek na obrázku patrný pojme bublinu. Konečně slovem libela se někdy označuje přístroj, který vidíme na obr. 570, dvě spojité nádoby spojené gumovou hadicí. Přístrojem lze zjistit, jsou-li dvě vodorovné plochy (třeba nepřístupné pro stroj nivelační) v téže výši, a přesnost lze stupňovat, posuzujeme-li výši kapaliny (vody) ne podle rysek na skle, nýbrž podle hrotů, které se hladiny dotýkají shora nebo lépe zespodu; přístroj kontrolujeme tím, že obě nádobky postavíme vedle sebe na vodorovnou plochu.

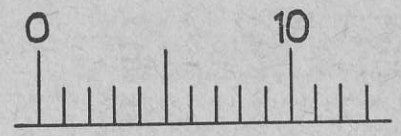
Dělení

Dělení lze podle účelu rozdělit na dvě kategorie. Předně na dělení odečítací, na nichž čteme přímo veličinu strojem měřenou nebo hodnotu, k níž hledanou veličinu najdeme výpočtem nebo odečteme z cejchovní čáry. Druhá kategorie jsou dělení pomocná, orientační nebo *posiční*, která jsou na to, abychom části stroje přivedli do předepsané nebo žádané vzájemné polohy (dělení na tyči planimetru, úhlové dělení na suportu soustruhu).

Podle vzniku rozeznáváme dělení *absolutní*, která lze strojem předem zhotovit, a dělení relativní, *empirická*, která lze provést teprve na hotovém stroji po ocejchování. Někdy (pro stroje laboratorní) i zde užijeme dělení předem zhotoveného, pro snažší výrobu rovnoměrného, ale jinak libovolného, a hledanou hodnotu najdeme pak v cejchovní čáře; může to znamenat velikou úsporu práce při



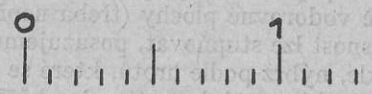
Obr. 571.



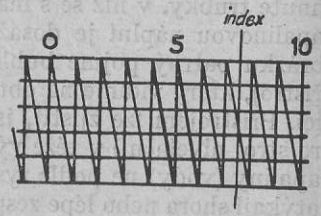
Obr. 572.

výrobě stroje, ztráta času při měření vůbec nevznikne, jde-li o stroj, který je třeba čas od času přecejchovat, a při měření pak užívat tabulky nebo grafu oprav. Od přístrojů provozních ovšem vyžadujeme, aby měřenou veličinu udávaly přímo. Ve velkovýrobě přístrojů hrubších se stupnice někdy udělají předem a potom seřízením přístroje se snažíme dosáhnout

toho, aby čtení souhlasilo s hodnotami skutečnými. Dělení absolutní jsou zpravidla rovnoměrná (milimetry, stupně), empirická jsou mnohdy nerovnoměrná; často však konstrukcí převodového ústrojí hledíme dosáhnout stupnice aspoň zhruba rovnoměrné. Všechna tato dělení mohou být přímá, *délková* čili lineární, nebo obloukové, *úhlová* čili *kruhová*. Kruhových dělení užíváme samozřejmě u strojů úhloměrných, většinou však i pro stroje ukazující, ručkové; je konstrukčně snažší (a dává menší tření) udělat ukazatele otočného než posuvného a stroj s kruhovou stupnicí má nad to menší rozměry.

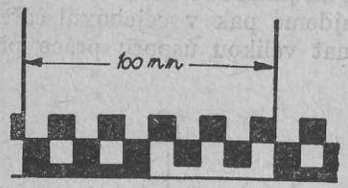


Obr. 573.

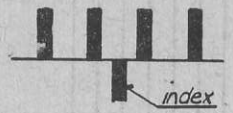


Obr. 574.

Dělení se liší vzdáleností čárek („intervalem"), jejich tloušťkou a délkou a očíslováním. Interval je dán rozměry (měřítkem) stupnice a přesností žádanou nebo od dotčeného přístroje žadatelnou. Intervalem je dána též délka čárek; dnes neděláme již dlouhé čárky, jaké najdeme často na starých strojích (obr. 571). Pokusy potvrdily, že pravděpodobnost omylu je nejmenší, nepřesahuje-li délka čárek tři poloviny intervalu (obr. 572); lepší je formát čtvercový, pro volné dělení jsou nejlepší čárky ještě kratší (obr. 573, příklad na obr. 601). Rovněž zmizela měřítka transversální (obr. 574), nesnadná pro výrobu a celkem zbytečná, protože desetinu intervalu odhadne bezpečně každý, kdo je zvyklý na logaritmické pravítko, pokud ovšem čárky nejsou nesmyslně tlusté jako na obr. 576. Zato se udržela všeliká podivná dělení na nivelačních latích (příklad na obr. 575), ale dnes přecházíme rovněž (aspoň pro přesné nivelace) k jemným dělením čárkovým.



Obr. 575.

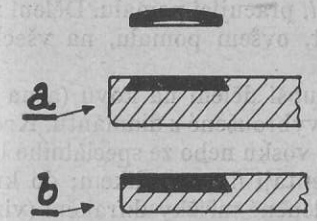


Obr. 576.

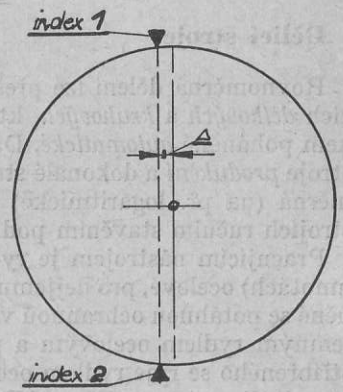
Tloušťka čárek je i několik milimetrů u strojů provozních, 0,1 až 0,2 mm na přesnějších měřidlech dílenských a rýsovacích, pouze 0,01—0,05 mm na jemných a jen 0,001—0,005 mm na nejjemnějších děleních; obecně čím přesnější dělení, tím tenší čárky, i když jde o velký interval, na př. o milimetrové měřítko.

Materiál měřítek je rozmanitý; dřevo na měřítka hrubá, papír pro číselníky budíků, ale i pro měřicí přístroje elektrické. Krásně se čtou stupnice z bílého

celuloidu, který stačí na př. na bubínky integrátorů, pro délková přesnější měřítka leda nalisovaný za horka na kovový podklad, zdrsněný třeba rašplovým sekem (v. str. 23). Jinak je pro přesné účely jen kov a sklo. Kovová lesklá měřítka se nečtou dobře, daleko lepší je matný povrch stříbřený, niklovaný, chromovaný, též hliník bílý po leptání. Do čárek rytých strojem se zatře barva, obyčejně černá. Na optických strojích najdeme hrubší posiční dělení bílá na černém podkladě; není to výhodné, bílé čárky se zašpiní. Přesná úhlová dělení jsou obyčejně jemně ryta na proužku stříbra, zatemovaném do mosazného limbu (obr. 577), jsou vyleštěna, zapuštěna černí a matně lakována.



Obr. 577.



Obr. 578.

Empirická dělení, hotovená individuálně, jsou ručně malována barvou nebo smaltem (je-li podklad smaltový, na př. číselníky hodinek), na papíře rýsována tuší (elektrické přístroje); černé hliníkové číselníky se pokryjí černým lakem a vyrytím se obnaží hliník, často se ještě nanáší svítící barva.

Skleněné kruhy zkoušel u nás již v minulém století J. Frič a zavedl je do svých polarimetrů. Pro pozorování v průhledu jsou čárky vyleptány a začerněny, sklo je průhledné nebo opálové. Moderní novinkou jsou zrcadlící kruhy postříbřené, s čárkami průhlednými nebo neprůhlednými (Wild). Užívá se také dělení zhotovených fotografickou cestou na skle. Technika jemnozrnných emulsí pokročila tak, že lze obdržet slušné kruhové dělení s intervalem 1° a o průměru 50 mm zvětšením z negativu průměru 1 mm. Příkladem je dílenský úhloměr Zeissových závodů, jehož skleněný kruh průměru asi 3 cm je dělený na šestiny stupně; přístrojek, jehož chyba nepřekračuje 3′, je příhodný tím, že jeho hlava má tak malý průměr. Dělení se dá fotograficky provést také na hliníkovém plechu speciálně preparovaném. Konečně pro přístroje nejhrubší se užívá tištěných stupnic papírových (budíky, manometry a j.).

Přesnost děleného kruhu může být znehodnocena jeho *excentricitou*, která způsobí chybu (△ na obr. 578) sinusového průběhu. Výstřednost 10 mikronů způsobí na kruhu ⌀ 160 mm chybu ½ minuty. Chyba je tedy — za předpokladu přesného provedení — snesitelná, pokud čteme minuty, těžko však žádat

centrování v mezích $\pm 0{,}4\ \mu$, nutné pro odečítání sekund. Nesnáz obejdeme tím, že odečítáme na dvou protilehlých místech; chyby čtení jsou stejné, ale opačného znaménka, proto aritmetický střed rozdílů $\alpha_1 - \beta_1$, a $\alpha_2 - \beta_2$ je správný. Staré theodolity mívaly i čtyři verniery, meridiánové kruhy astronomů mají zpravidla šest odečítacích mikroskopů. Tím se ovšem, kromě uvedené kompensace, zmenšuje pravděpodobnost chyby způsobené postupnou chybou dělení (viz str. 172).

Dělicí stroje

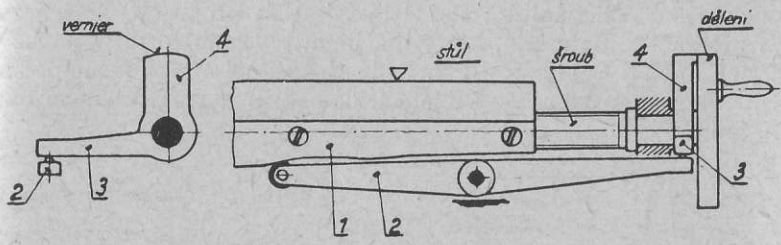
Rovnoměrná dělení lze přesně a poměrně rychle hotovit na strojích dělicích *délkových* a *kruhových*, které mohou být jednoduché *ruční* nebo motorkem poháněné *automatické*. Dále rozeznáváme méně přesné, zato výkonnější stroje *produkční* a dokonalé stroje *precisní*, pracující pomalu. Dělení nerovnoměrná (na př. logaritmické) lze provést, ovšem pomalu, na všech těchto strojích ručním stavěním podle tabulky.

Pracujícím nástrojem je rydlo, pro hrubší dělení na kovu (a na měkčích hmotách) ocelové, pro nejjemnější dělení vybroušené z diamantu. Kruhy skleněné se potáhnou ochrannou vrstvičkou z vosku nebo ze speciálního laku, ryjí jemným rydlem ocelovým a pak se vyleptají fluorovodíkem; do kruhu postříbřeného se ryje rydlem ocelovým. Skleněné mřížky difrakční (viz str. 52) se ryjí diamantem. Bezvadně nabrousit a nastavit jemné rydlo dovede jen velmi zkušený specialista. Rychlost práce závisí na žádané přesnosti a na čistotě dělení. Stroje produkční dělají až 80 čárek v minutě, precisní stroje nejvýše 20, nejjemnější dělení lze rýt rychlostí jen 2—3 čárek v minutě. Přesnost zaručená továrnami bývá 0,01—0,02 mm, resp. 20—30″ u strojů produkčních a 0,002 mm, resp. 1″ u strojů precisních. Čím přesnější má být dělení, tím menší musí být síly jež působí na rydlo, a tedy tím jemnější čárky; nejlépe se využije přesnosti dělicího stroje, ryje-li se do vosku na skle. Je méně zřejmé, ale zkušenosti je potvrzeno, že pomalá práce dává čistší a hladší čárky. Výroba přesných dělení je zdlouhavá práce. U precisního theodolitu je limbus rozdělen často na šestiny stupně; dělá-li stroj 6 čárek v minutě, bude dělení trvat $6 \times 360/6 = 360$ minut čili plných 6 hodin! Stroje dělicí samy jsou velmi drahé, proto hledíme vystačit s dělením řidším a potřebné přesnosti čtení dosáhnout vhodným mikroskopem. Výhodou strojů automatických je, že mohou pracovat bez dohledu, tedy i přes noc; spolehlivé počítadlo zastaví stroj po vyrytí poslední čárky. Precisní dělicí stroje jsou právem považovány za vrcholné výkony přesné mechaniky; vyžadují nejpečlivější obsluhy, ochrany před otřesy a před rychlými změnami teploty.

Délkové stroje dělicí

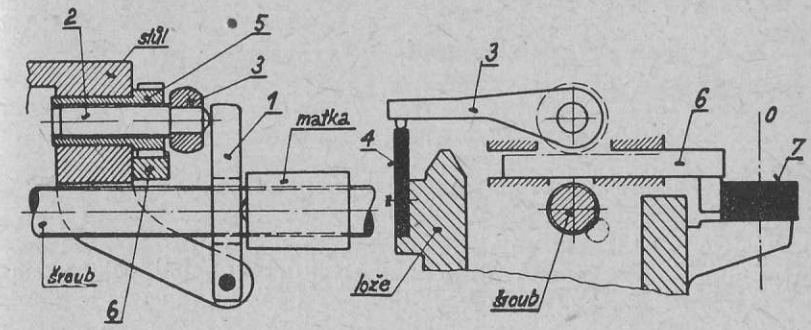
Princip je prostý: dělený předmět je upevněn na stole, který je přesně veden na loži stroje; vedení je jako na obr. 172 nebo 173, odlehčené často kolečky, viz str. 62. Stůl je posouván šroubem, který má u přesných strojů stoupání

1 mm, u strojů produkčních větší, na př. 5 mm. Je jasné, že přesnost stroje je dána hlavně dokonalostí tohoto šroubu; matka šroubu, spojená se stolem, bývá dělená a rozevírací, aby se šroub zbytečně nevyběhával (na přesnosti matky záleží mnohem méně). Na loži je připevněn stojan, který nese rycí mechanismus, stavitelný svisle a napříč. U krátkých strojů najdeme často uspořádání opačné: stůl je nehybný a rycí ústrojí je na saních.



Obr. 579.

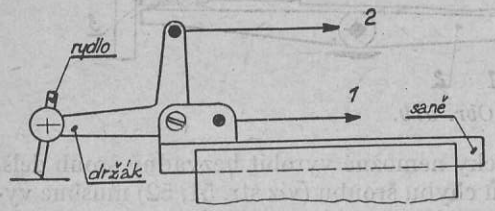
Zkušenost ukázala, že je prakticky nemožné vyrobit bezvadný šroub delší než asi 300 mm. Zbylou postupnou chybu šroubu (viz str. 51, 52) musíme vyloučit *korekčním zařízením*, které u strojů ručních (a u souřadnicových vrtaček) je provedno takto (obr. 579): Stůl nese lištu („šablonu") *1*, jejíž dolní okraj odpovídá křivce chyb (obr. 125); šablonu sleduje konec páky *2*, která tlačí na rameno *3*, spojené s vernierem *4*, otočným na prodloužení dělicího šroubu. Mechanik tedy nastavuje na děleném bubínku podle vernieru hodnoty nominální; potřebná oprava se provádí samočinně malým natáčením vernieru,



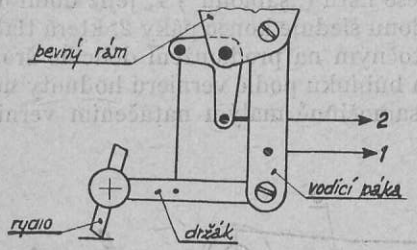
Obr. 580.

čili podávání šroubu není rovnoměrné. Proto se toto řešení nehodí pro stroje automatické, kde automatické podávání musí být rovnoměrné. Potřebné korekce se dosáhne malými pohyby matky vzhledem k stolu mechanismem na obr. 580. Matka dělicí netlačí na stůl, nýbrž na páku (banjo) *1*, jedním koncem skloubenou se stolem, druhým opřenou o jemný korekční šroub *2*. Tento šroub má rameno *3*, které sleduje okraj korekční lišty *4*; jeho matka *5* je ve

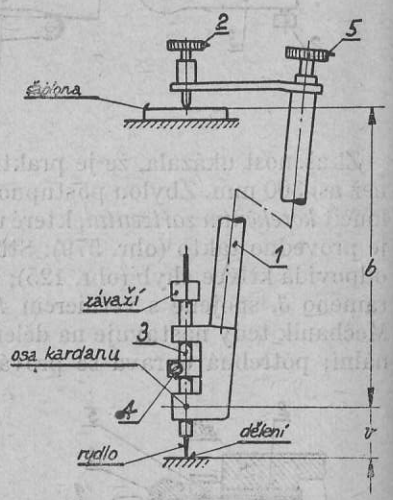
stole otočná a ozubením zabírá do ozubené tyče *6*, která je posuvná a sleduje přesné pravítko *7*. Je-li pravítko *7* rovnoběžné s vedením stolu, matka *5* se nehýbe a šroub *2* samočinně koriguje postupnou chybu dělicího šroubu. Natočíme-li pravítko o malý úhel kolem osy *O* (uprostřed pravítka), natáčí se matka úměrně s pohybem stolu; výsledek je takový, jako by se trochu změnilo stoupání dělicího šroubu. Tuto progresivní opravu aplikujeme, jestliže dělíme měřítko, které má být správné při teplotě jiné než teplota 20° C (při níž má správnou délku dělicí šroub); stejně tak, jestliže při teplotě jiné než 20° C dělíme předmět z materiálu, který má jinou tepelnou roztažnost než dělicí šroub (ten mívá $\alpha = 11{,}5 \times 10^{-6}$). Jednodušeji, ale o něco méně přesně dosáhneme obou oprav pouhou šablonou, dáme-li jí možnost malého náklonu kolem vodorovné osy.



Obr. 581.



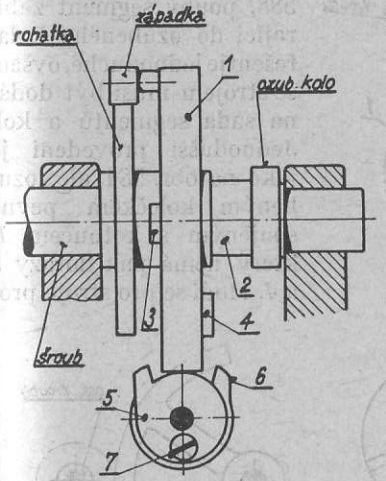
Obr. 582.



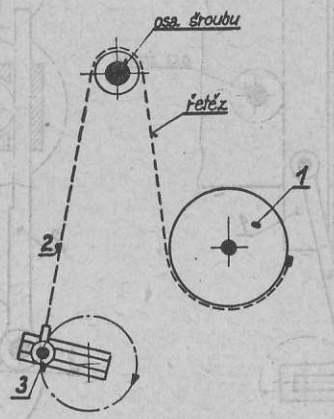
Obr. 583.

Rycí ústrojí se provádí velmi různými způsoby, avšak všem je společné, že nástroj je upnut v držáku, který je lehce a těsně otočný v hrotech (obr. 581, 582). Nástroj je podle potřeby přitlačován výměnnou pružinou. Má-li se rýt jemná stupnice na skle, zamontuje se zvláštní držák, velmi lehký a uložený v jemných hrotech. Pohyb „do řezu" dostává držák buď tak, že je uložen na saních (obr. 581), nebo na konci výkyvné páky obr. 582; pohyb obstarávají táhla *1*. Táhlem *2* je rydlo spuštěno, udělá čárku, je táhlem *2* zdviženo a vrátí se; rydlo tedy opisuje zhruba obdélník. Vedení sáňové je robustnější, vedení pákové jde lehčeji, avšak obou lze užít pro stroje precisní. Komplikace působí, že se v každém dělení periodicky střídají čárky delší a kratší. Proto pohyb saní nebo páky je vymezen dorazy, a to výměnnými (revolverovými). Ke stroji patří sada těchto dorazů a střídacích rohatek. U ručního stroje je pohyb táhel odvozen od ruční páky, u automatických strojů od kliky poháněné motorkem.

Hrubší dělení se číslují známým dílenským pantografem; u nás jsou rozšířeny „gravírky" fy Deckel v Mnichově. Jemná dělení, která se čtou mikroskopem, mají číslovaný každý stupeň, aby v zorném poli byla aspoň dvě čísla. Tyto číslice mají výšku řádu 0,2 mm a rylí se *jednopákovým pantografem* (obr. 583). Páka *1* je dole uložena v těsném křížovém kloubu (hroty), nahoře nese posuvný kolík *2*, jímž se sledují číslice vyryté do mosazných šablonek. Rydlo je zasazeno do těsně posuvné tyčinky *3* a doléhá svou vahou na rytý



Obr. 584.

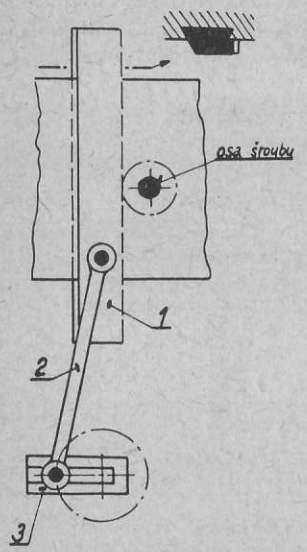


Obr. 585.

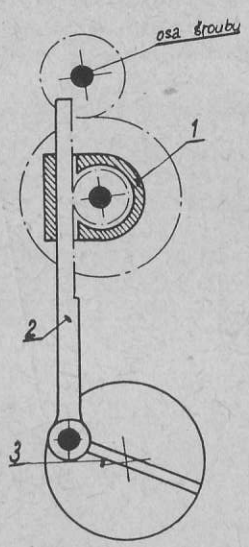
předmět; otočením knoflíku *5* se rydlo zdvihne. Zmenšení je dáno poměrem *v/b* a dá se nastavit tím, že změníme výšku tyčinky *3* (po uvolnění šroubku *4*). Pantograf lze rychle namontovat na dělicí stroj. Má-li být nákladného dělicího stroje využito, je lépe provádět zdlouhavé číslování na laciném stroji zvláštním; je to jakýsi hrubý stroj dělicí, ruční a opatřený jen popsaným pantografem.

Podávací ústrojí se provádí většinou s malými obměnami podle obr. 584. Šroub je podáván přesnou rohatkou, do níž zapadá západka nesená kotoučem *1*. Kotouč *1* je na šroubu volný a dostává střídavý pohyb kluznou spojkou od ozubeného kolečka *2*, rovněž na šroubu volně otočného. Úhlový pohyb kolečka *2* je větší než podávání šroubu, a proto pohyb kotouče *1* je omezen nosy *3* a *4*, v kruhové drážce stavitelnými. Poněvadž je třeba, aby kotouč *1* mohl vykonat celou otáčku, po př. i více otáček, jsou dorazy *5* a *6* pro oba nosy pohyblivé. Na dorazu *5* je ozubení (nezakreslené), do něhož zabírá závit na obvodu kotouče *1*. Druhý doraz *6* lze proti dorazu *5* pootočit po uvolnění šroubu *7*. Tímto nastavením a nastavením nosů *3* a *4* lze pohyb západky měnit v libovolných mezích. Má-li rohatka 100 zubů, lze rýt v intervalech 1/2, 1/4, 1/5, 1/10, 1/20, 1/25, 1/50, 1/100 mm, jiné intervaly vyžadují rohatky další. Ozubené kolo *2* může být poháněno ozubenou posuvnou tyčí *1* (obr. 586),

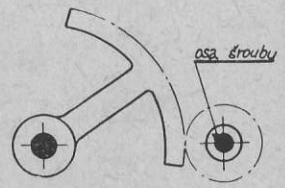
která dostává ojničkou *2* pohyb od kliky *3*, nebo ojnička *2* je sama ozubená (obr. 587) a je vedena otočnou objímkou. Kolečko *2* může být také řetězové (obr. 585) a klika *3* pak tahá drobný válečkový řetěz *2*, který je s druhé strany tažen pérovníkem *1*. Ve všech třech případech má klika *3* poloměr proměnný (čep přestavitelný v drážce), aby se omezilo opotřebení kluzné spojky. Zcela odlišné je podávání na obr. 588, pouhý segment zabírající do ozubeného kola; řešení je jednoduché, ovšem se strojem musí být dodána sada segmentů a kol. Jednodušší provedení je jako na obr. 584, ale s ozubeným kolečkem pevně spojeným s kotoučem *1*, který nemá pak dorazy *3* a *4*. Hodí se pro stroje pro-



Obr. 586.



Obr. 587.



Obr. 588.

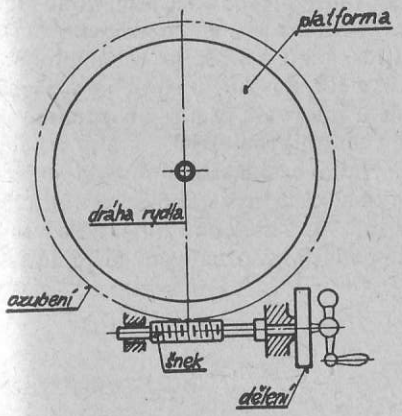
dukční, ale bylo provedeno firmou Heyde dokonce i pro stroj precisní. Ozubené kolečko se pak uvádí do střídavého pohybu přesně udělaným ústrojím jako na obr. 586, 587; firma Heyde užila ozubeného segmentu jako na obr. 588, který se však pohybuje střídavě klikou a ojnicí; ve všech těchto případech je nutné, aby se klikový čep dal jemně (šroubem) nastavit na potřebný poloměr. U všech soustav je podávání přetržité a v přestávkách rydlo ryje čárky.

Dělicí stroje jsou robustně stavěny z litiny pečlivě stabilisované, nejpřesněji opracované a zvláštní péče je věnována zhotovení šroubu z vybraného materiálu, tepelně zpracovaného, event. stabilisovaného. Malé strojky pro délku 300 mm váží asi 80 kg, největší stroje pro délku 1200 mm asi 800 kg. K výstroji precisního stroje patří jeden nebo dva mikroskopy se šroubovým okulárem, takže stroj může sloužit jako komparátor ke kontrole délkových měřítek.

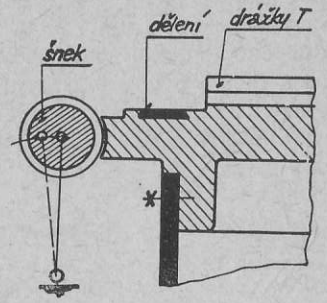
Dělicí stroje kruhové

Dělený předmět je upnut na kruhové vodorovné desce (platformě), která je na obvodu ozubená (obr. 589) a je podávána šnekem. Je jasné, že přesnost stroje závisí hlavně na dokonalosti ozubení a šneku. Platforma malých strojů

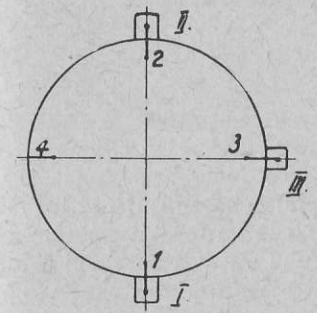
bývá mosazná, na velkých strojích bývá ze speciální litiny, podrobené umělému stárnutí. Průřez okraje platformy je znázorněn na obr. 590. K upínání tu jsou radiální drážky nebo velký počet vývrtů se závitem. Do kraje je zapuštěn stříbrný proužek s kontrolním dělením, po příp. druhý proužek, na nějž si uživatel může vyrýt dělení pro vlastní potřebu, na př. proto, aby zjistil stav stroje. Pod okrajem je vidět korekční šablonu. Platforma se otáčí v přesném uložení kuželovém nebo válcovém, bývá odlehčena pružinami, jež působí na kuličkové ložisko. Na těsnosti tohoto uložení mnoho záleží; lze říci, že ulo-



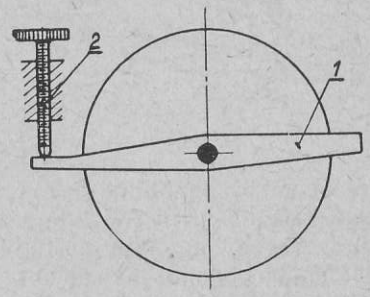
Obr. 589.



Obr. 590.



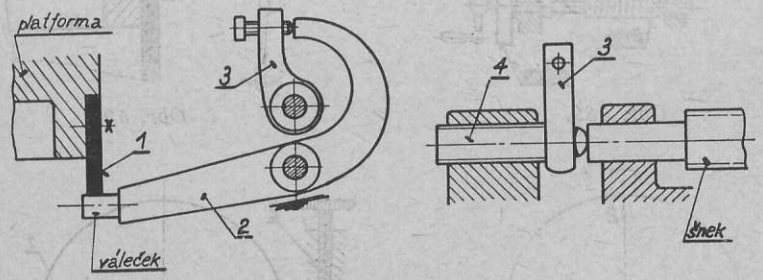
Obr. 591.



Obr. 592.

žení platformy představuje mez, přes kterou bude těžké stupňovat přesnost kruhových dělicích strojů. Na ozubení nestačí zdaleka přesnost obvyklých frézek. Je třeba frézovat zuby individuálně a zdá se, že továrny vyřezané ozubení ještě dále zlepšují postupy, o nichž se ovšem v tisku nereferuje. Východiskem je tedy dělení původní, *mateřské*, zhotovené rozdělením úhlu 360°. To se dříve dělalo ručně; byla to práce úmorná a přesnost nemohla být veliká (Grahamův kvadrant o poloměru 2500 mm, dělený po 5′, měl chyby až 8″). Moderní methoda (de Chaulnes v 17. stol.) užívá mikroskopů způsobem znázorněným

na obr. 591. Na kruh posadíme dvě značky proti sobě *1, 2* a na ně zaměříme mikroskopy *I, II*. Nyní kruh otočíme o 180° a bude souhlasit na př. *I.* s *2.*, ne však *II.* s *1.* Polovinu chyby opravíme posunem jedné značky, druhou polovinu posunem záměrného obrazce v jednom mikroskopu. Když bylo dosaženo koincidence v obou polohách kruhu, víme, že značky i mikroskopy svírají úhel 180°. Nyní posadíme značku *3* a analogickým postupem rozdělíme úhel 180° na dva díly. Oba mikroskopy představují přesné kružidlo, jímž kruh dělíme dále na menší díly, dokud díl není menší než nejmenší vzdálenost mikroskopů. Pak můžeme dělit jaksi na přeskáčku, na př. 90° rozdělíme na 9 a pak na 10 dílků. Máme-li násobky úhlů 9° a 10°, dostaneme jejich nanášením nakonec stupně. Nebo se zastavíme na př. u intervalu 5° a ten rozdělíme pomocným ramenem *1* (obr. 592), na které tlačí mikrometrický šroub *2* (nebo stůl dobrého dělicího stroje délkového). Nakonec instalujeme rycí mechanismus a dělení (které existovalo jen ve značkách a v tabulce pro stavění mikrometrického šroubu) vyryjeme na připravený stříbrný pásek. To vše je práce zdlouhavá a nesnadná a nemusí se podařit; v příznivém případě jsou chyby v mezích asi $\pm 0{,}5''$.



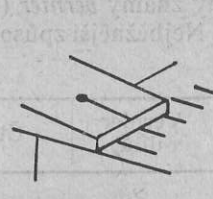
Obr. 593.

Vyfrézované ozubení bude (jako každá kopie) méně přesné než toto dělení mateřské. Lokální chyby (od zubu k zubu) lze, zdá se, opravit zmíněnými tajnými procesy, zbylou chybu postupnou je třeba opravit korekční šablonou, u stroje ručního podobně jako na obr. 579. U stroje automatického se to provede malými axiálními pohyby šneku, převodem na obr. 593. Šablona *1* pohybuje pákou *2*, ta pak ramenem *3* na jemném šroubu *4*, který se opírá o šnek, tlačený pružinou. Šnek je uložen v rámu, jehož vykývnutím vyjde ze záběru (obr. 590). Pak lze platformou volně otáčet, což je nutné při centrování předmětu; přesné centrování je důležité a provádí se jemnou dotykovou pákou. Ozubení a šnek je třeba všemožně šetřit; dělí-li se pouhý kruhový segment, nechává se platforma raději oběhnout dokola, aby opotřebení zubů zůstávalo stejnoměrné. K automatickému podávání slouží opět mechanismy již popsané; známá Société Génevoise (Sip) užívá způsobu znázorněného na obr. 586, fa Heyde v Drážďanech svého způsobu (obr. 588). Rovněž rycí ústrojí je podobné, nesené nosníkem, který přemosťuje platformu, a je natáčivé, aby mohlo

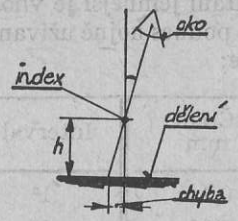
rýt na plochách rovných, kuželových a válcových. Produkční stroje pro menší předměty mají dělicí zařízení jednodušší, bez korekčního zařízení, které se podobá známé dělicí hlavě pro frézky. K výstroji kruhového dělicího stroje patří dva, po příp. čtyři šroubové mikroskopy, kterými lze kontrolovat jakékoliv dělení, buď ozubením platformy, nebo srovnáním s dělením kontrolním, event. i toto kontrolní dělení lze přezkoušet. Stavba těchto strojů je rovněž robustní, na př. stroj „Sip" pro předměty do ⌀ 1000 mm váží asi 1000 kg.

Odečítací prostředky

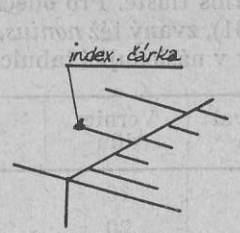
Přesnost odečítání má být taková, aby odečtení nezvýšilo chyby. Na druhé straně nemá smysl stupňovat jemnost čtení vysoko nad mez danou přesností přístroje nebo přesností délkového neb úhlového dělení. První podmínce lze snadno vyhovět u dělení empirických, poněvadž přesnost přístrojů vzácně bývá lepší než 0,1%, většinou považujeme za uspokojivou přesnost 1%,



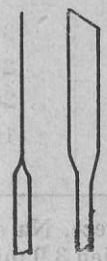
Obr. 594.



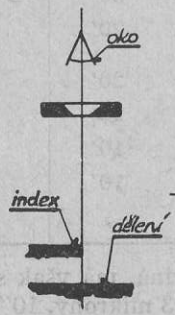
Obr. 595.



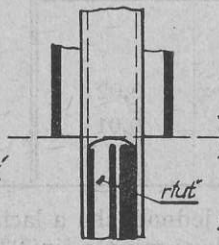
Obr. 596.



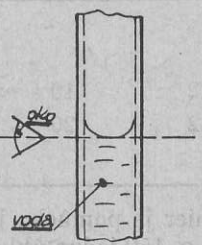
Obr. 597.



Obr. 598.



Obr. 599.



Obr. 600.

leckdy se musíme spokojit s přesností 2—5%. Naproti tomu dělení provedená přesnými dělicími stroji vyžadují odečítacích pomůcek velmi jemných — mikroskopů.

Častou příčinou chyb bývá *paralaxa*. Je-li odečítací hrot, značka, obecně *index* nad dělením, vzniká chyba paralakční tím větší, čím je index výše položen a čím šikměji hledíme (obr. 595). Proto hledíme výšku *h* zmenšit, na př.

tím, že ukazatel (ručka) se pohybuje těsně nad stupnicí, nebo usnadníme pozorování kolmo ke stupnici, na př. nožovou ručkou (obr. 597), zrcadlem vedle stupnice (el. přístroje) nebo je-li index nehybný, určíme oku směr clonou s otvorem nebo malou slabou lupou (obr. 598); těmito způsoby lze dosáhnout přesnosti čtení až 0,05 mm. Totéž platí pro čárkový index a ovšem i pro vernier; dáváme index na destičku skosenou skoro do ostří (obr. 594) nebo ležící v rovině dělení (obr. 596). Máme-li určit polohu něčeho s dělením nesourodého, na př. výšku kapalinového sloupce, pomáháme si nějakým zařízením záměrným („vizírem"); barometr se obyčejně odečítá s pomocí posuvné trubky (obr. 599), jejíž kraje uvedeme pohledově v dotyk s vypuklým meniskem, stejně hladinu vody nebo lihu (obr. 600), a odečteme vernierem spojeným se záměrným zařízením. V laboratoři je pro podobné účely vhodný též *kathetometr*, t. j. záměrný dalekohled přesně vodorovný a posuvný podél svislého dělení (viz Horákovu Praktickou fysiku).

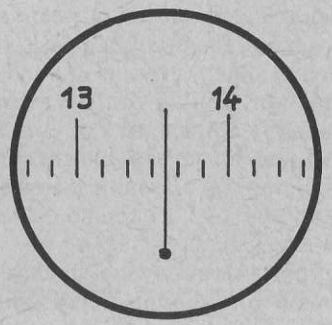
Desetiny intervalu dělení lze s trochou cviku bezpečně odhadovat, nejsou-li čárky příliš tlusté. Pro odečítání jemnější je vhodný známý *vernier* (P. Vernier, 1631), zvaný též *nonius*, podnes hojně užívaný. Nejběžnější způsoby jsou uvedeny v následující tabulce:

Interval mm	Vernier dílů	Čtení mm	Interval	Vernier dílů	Čtení
1	10	0,1	1°	20	3′
1	20	0,05	1°	30	2′
1	50	0,02	30′	30	1′
0,5	10	0,05	20′	20	1′
			20′	40	30″
			20′	60	20″
0,2	10	0,02	10′	30	20″
0,2	20	0,01	10′	60	10″

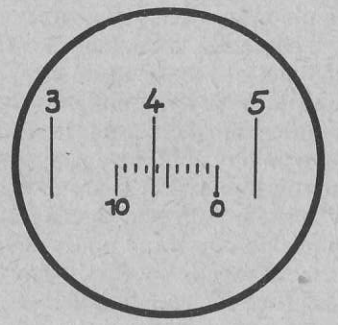
Vernier je pomůcka jednoduchá a laciná, má však své meze. Na obvodu kruhu ⌀ 150 jedna úhlová minuta činí 23 mikrony, 10″ činí jen 3,9 mikronu. Na takovém mnohadílném vernieru je posuzování koincidence již nejisté, i když užíváme lupy; na obr. 594 vadí paralaxa, na obr. 596 zase vždy viditelná spára. Zajímavé je, že zde je překročena rozlišovací schopnost oka, která je (jde-li o dva body) asi 1′, kdežto koincidenci dvou čárek proti sobě oko dovede posoudit s ostrostí nejméně šestkrát větší. Proto *princip koincidenční*, s nímž jsme se setkali již u libel, umožňuje nejpřesnější odečítání vůbec.

Pohodlnější a nejméně dvacetkrát přesnější odečítání umožňuje *odečítací mikroskop*. Užíváme dvou způsobů zásadně odlišných: buď dělení odečteme v zorném poli mikroskopu, nebo v zorném poli provedeme jen koincidenci

záměrné značky s čárkou dělení. Prvního druhu je prostý mikroskop čárkový neb indexový (obr. 601; čtení je 13°35′); odečítání je snadné, s minimální možností omylu, ale dělení musí být husté, tedy poměrně drahé. V tom směru není lepší mikroskop *vernierový* (noniový), poněvadž vernier vyžaduje určité délky; desetidílný vernier by se nevešel do zorného pole na obr. 601. Výhodný a velmi

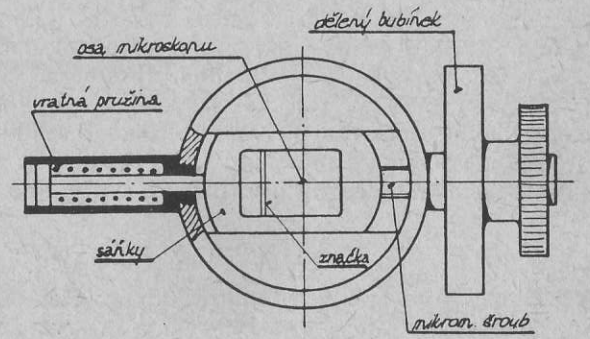


Obr. 601.

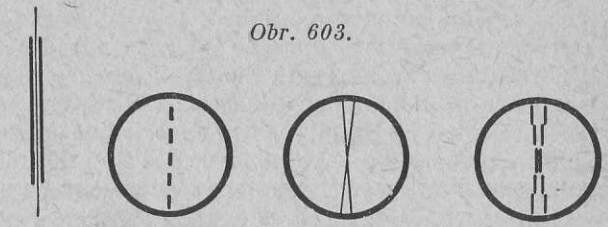


Obr. 602.

užívaný je mikroskop *stupnicový* (obr. 602; čtená hodnota 4,62), v jehož okuláru je stupnice dlouhá jako interval dělení. Na obrázku lze dobře odhadovat setiny intervalu; šedesátidílnou stupničkou lze číst minuty (a odhadovat ještě půlky minut) na kruhu děleném na pouhé stupně. Přesnost těchto mikroskopů má svou mez v tom, že s rostoucím zvětšením se zhoršuje obraz dělení; porovnáváme pak dvě věci nerovnocenné: ostrou černou stupničku se šedivým a ne dost určitým obrazem dělení.



Obr. 603.



Obr. 604. *Obr. 605.* *Obr. 606.* *Obr. 607.*

Nejpřesnější výsledky dávají mikroskopy *koincidenční;* jsou opět dvojího druhu. Buď jdeme s pohyblivou značkou za čárkou dělení, nebo naopak optickými prostředky posuneme čárku dělení do koincidence s pevnou znač-

kou; v obojím případě odečteme velikost potřebného pohybu. První typ, *šroubový mikroskop*, pochází ze 17 století, všeobecně se ho užívá a lze říci, že teprve umožnil přesná měření v geodesii, astronomii a technice. Princip je patrný na jednoduché formě na obr. 603. Trik je v tom, že oko dovede s neuvěřitelnou přesností posoudit, je-li čárka přesně mezi dvěma jinými čárkami (obr. 604). Oko ovšem neposuzuje zorný úhel obou mezer, nýbrž jako fotometr posuzuje množství světla, procházející oběma mezerami; není ani třeba, aby čárky byly tenké, stačí, jsou-li ostré a hladké a mezery co nejužší. Značka je na skleněné destičce zasazené v malých sáňkách, které jsou s jedné strany taženy mikrometrickým šroubem (viz též obr. 132), s druhé vratnou pružinou. Měření je analogické práci se stupničkou na obr. 602. Pohybujeme značkou z nulové polohy zpět, až dosáhneme koincidence, a velikost tohoto pohybu měříme mikrometrickým šroubem. Celé obrátky šroubu lze číst na malé stupnici v zorném poli, buď pevné jako na obr. 602, častěji spolu se značkou pohyblivé (a pak odečítané podle pevné značky).

Jako příklad uvedeme předběžný výpočet šroubového mikroskopu pro čtení milimetrového měřítka. Objektiv má ohniskovou délku 25 mm, pro zvětšení osminásobné bude optický interval podle rovnice (36) $8 \times 25 = 200$ mm. Reálný obraz intervalu dělení bude tedy 8 mm a jemu bude odpovídat 10 otáček mikrometrického šroubu stoupání 0,800 mm. Celé otáčky čili desetiny mm se čtou na stupničce, setiny a tisíciny na bubínku šroubu, kde lze odhadovat ještě desetiny mikronu. Zvětšení okuláru bude asi osminásobné, celkové zvětšení 64. To jsou hodnoty průměrné, pro přesná měření dáváme mikroskopu rozměry větší, komparátory a meridiánové kruhy mívají mikroskopy dlouhé celkem asi 80 cm. Desetina mikronu je nejzazší mez, stěží dosažitelná opakovanými měřeními (viz Nussberger: Metronomie délek); to je vidět i na definici československého prototypového metru, jehož délka při 0° C je

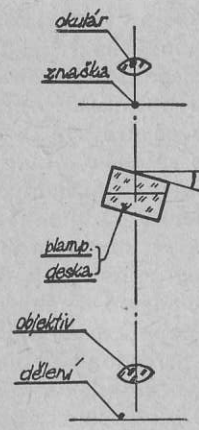
$$(1\ \mathrm{m} + 0{,}1\ \mu) \pm 0{,}1\ \mu.$$

Podobné rozměry by měl mikroskop pro čtení kontrolního dělení na platformě dělicího stroje; při ⌀ 700 mm je interval 10′ dlouhý 1 mm; na stupničce se čtou minuty a bubínek je rozdělen na 60 sek. Kruh theodolitu ⌀ 160 mm, rozdělený opět po 10″, lze odečítat objektivem se zvětšením 8,6; reálný obraz intervalu dlouhý 2 mm činí 5 otáček šroubu o stoupání 0,400 mm a bubínek je rozdělen na 120 sekund. — Záměrnou značkou jsou nejčastěji dvě čárky (obr. 604) nebo jediná čárka přerušovaná (obr. 605). Je-li mikroskop určen ke kontrole různých dělení s různě tlustými čarami, užije se značky na obr. 606 nebo lépe značky na obr. 607.

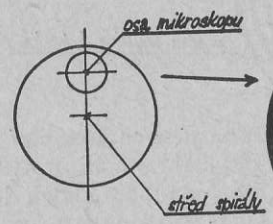
V uvedených příkladech je dobře považovat uvažovaná zvětšení objektivu za horní mez. Dnes spíše užijeme zvětšení menších a vyrovnáme to volbou silného okuláru. Tak na př. pro čtení na milimetrovém měřítku bychom volili raději optický interval = 150. To dává zvětšení šestinásobné, a délku reálného obrazu 6 mm, kterou bychom rozdělili 10 otáčkami šroubu stoupání 0,6 mm. Okulár by stačil se zvětšením 10. Velká délka intervalu připouští

objektiv ještě slabší: Na př. zvětšení 4, a stoupání šroubu 0,4 mm. Zde je dobře uvážit výrobní možnosti; mikrometriké šrouby o stoupání 0,5 mm a většíms lze velmi přesně a lacino brousit na speciálních bruskách. Proto bychom mohli užít zvětšení objektivu jen 4, a délku 4 mm rozdělit 5 otáčkami šroubu; stupnička by zůstala desetidílná, ale bubínek šroubu by se rozdělil na 200 dílů, které by ovšem byly již trochu malé.

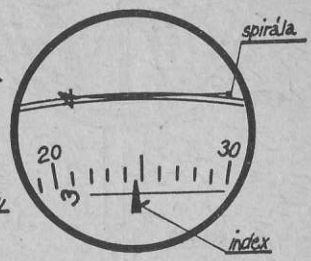
U uvedeného teodolitu, stačí-li přesnost na 1″, můžeme vše zjednodušit tak, že volíme zvětšení objektivu malé, na př. 3,44, aby délka reálného obrazu byla 0,8 mm a tu rozdělíme jedinou otáčkou šroubu, jak to dělával Fennel; stupnička pak odpadne vůbec, a na bubínku, rozděleném na 60 dílů, lze snadno odhadovat sekundy.



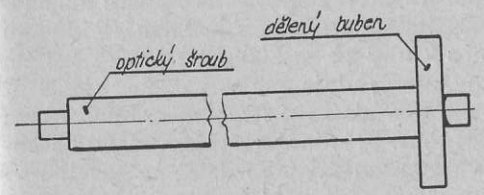
Obr. 608.



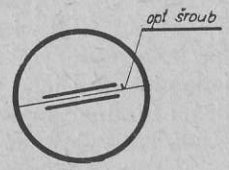
Obr. 609.



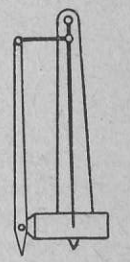
Obr. 610.



Obr. 611.



Obr. 612.

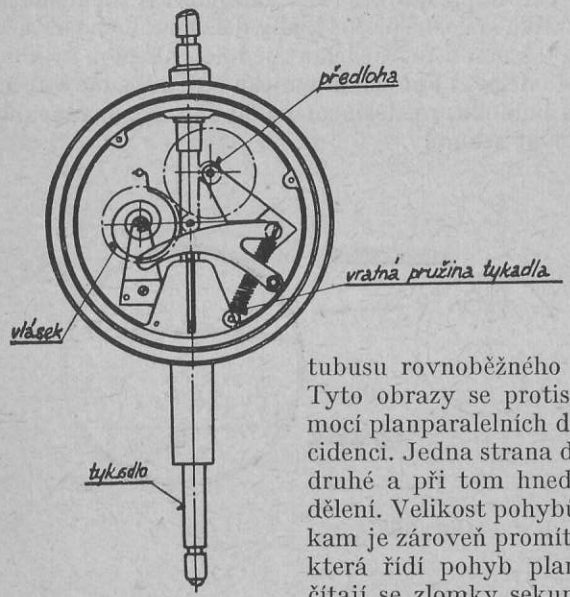


Obr. 613.

Pohyblivou značku lze také realisovat dvojitou Archimedovou spirálou na otočné skleněné desce, excentrické k ose mikroskopu (obr. 609); koincidence se zjedná otáčením desky (obr. 610), na níž je hned dělení, aby bylo lze odečíst zlomek intervalu. Skleněný kotouč má vybroušený důlek, jímž se otáčí na pevně uložené ocelové kuličce; je veden a na kuličku tlačen třemi kolečky, z nichž jedno je pohyblivé a tlačené pružinou (Zeiss). Kotouč má kovovou obrubu jemně ozubenou, do níž zabírá pastorek s točítkem.

Úhlová dělení jsou ve všech uvedených případech hustě číslována; milimetrová dělení měřicích strojů se nečíslují a celé milimetry se čtou na zvláštním hrubém milimetrovém měřítku.

Druhý způsob koincidenčního mikroskopu se realisuje tak, že paprskům se dá do cesty planparalelní deska (obr. 608), jejímž nakláněním se obraz vytvořený objektivem posunuje, až se dosáhne koincidence s pevnou značkou; pohyb desky je odvozen od děleného bubínku. Pro normální mikroskop nedává tento princip výhodu, konstrukce nevychází pěkně. Avšak elegantním způsobem užil posouvání obrazu *H. Wild* pro své theodolity se skleněnými kruhy: obrazy protilehlých míst dělení jsou dlouhým a několikrát lomeným mikroskopem přeneseny do tubusu rovnoběžného s dalekohledem theodolitu. Tyto obrazy se protisměrným pohybem — s pomocí planparalelních destiček — přivedou ke koincidenci. Jedna strana dělení tedy dělá index straně druhé a při tom hned vypadne vliv excentricity dělení. Velikost pohybů se čte vedle obrazů dělení, kam je zároveň promítnuto dělení spirálové desky, která řídí pohyb planparalelních destiček; odečítají se zlomky sekund a práce je pohodlná, poněvadž pozorovatel zůstává u okuláru dalekohledu. Dosažitelná přesnost s kruhem ⌀ 140 mm je aspoň stejná, jako se starými stroji s kruhy až ⌀ 300 m. Optický systém není ovšem jednoduchý a jeho justování vyžaduje znalosti stroje.



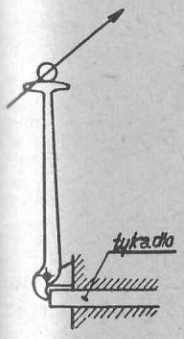
Obr. 614.

Berlínská firma Lindner opatřuje své souřadnicové stroje mikrometrickým *šroubem optickým*. Na vyleštěný válec (obr. 611) je diamantem vyryta šroubovice o stoupání 2 mm a bubínek s válcem spojený je rozdělen na 200 dílů po 10 mikronech. Sáně jsou posouvány ozubenou tyčí. Zlomky milimetru se nastaví na bubínku, sáněmi se najede zhruba podle měřítka, přesně podle koincidence v mikroskopu (obr. 612), který představuje optickou matku. Výhoda je, že se zde šroub neopotřebovává.

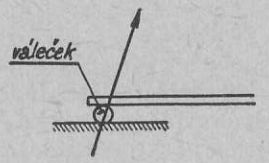
Zvětšování malých pohybů

Zvětšování malých pohybů potřebujeme k měření malých pohybů a malých deformací měřicích pružin nebo zkoušených konstrukcí, ale také k zjištění malých délkových rozdílů, srovnáváme-li na př. měrky mezi sebou nebo měrky s předmětem. Úlohu lze řešit užitím nejrůznějších principů.

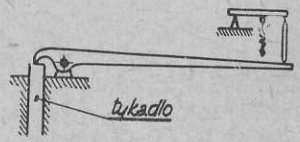
Mechanické způsoby byly zde již z části uvedeny: nerovnoramenná páka „Minimetru“ (obr. 326), přístroj Martensův (obr. 325), váleček s pásky (obr. 473), rozkrucující se pásek na obr. 476, dvě pružinky na obr. 486. Lze také užít pákového převodu dvojitého; na obr. 613. je uspořádání známého tensometru Huggenbergerova, jehož zvětšení je asi 1200. V laboratoři i v dílně jsou užitečné měřicí hodinky (indikátor), jejichž tykadlo, provedené jako ozubená tyč, pohybuje přes předlohu ručkou, která oběhne dokola při posuvu o 1 mm; vůle je odstraněna vláskem spojeným s ozubeným kolem zabírajícím s pastorkem na hřídeli ručky (obr. 614), neboť vlásek nesnese více než jednu otáčku, pak se zhroutí do klubíčka. Ozubený převod lze kombinovat s pákovým, na př. podle obr. 615 (Passametr Zeiss).



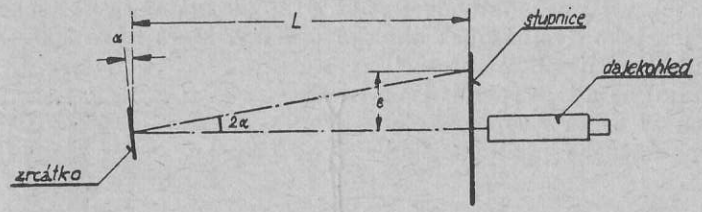
Obr. 615.



Obr. 616.



Obr. 617.



Obr. 618.

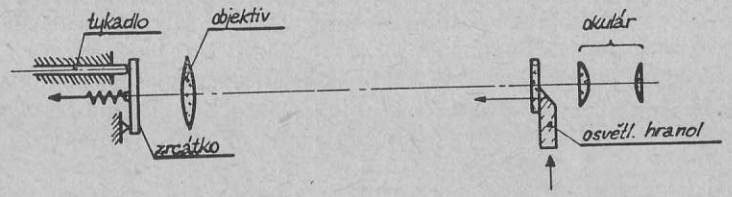
Na obr. 616 je ručka (nebo zrcátko) na malém válečku, pohybovaném třením; účel je tentýž jako u spolehlivějšího přístroje Martensova (obr. 325).

Ze způsobů *optických* je důležitá methoda zrcadlová (Poggendorfova), obr. 618; dalekohledem pozorujeme — odrazem od otáčivého zrcátka — milimetrovou stupnici. Je-li stupnice rovinná, je posun e

$$e = L \cdot \operatorname{tg} 2\alpha, \tag{37}$$

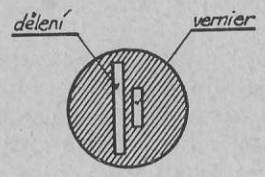
kde α je pootočení zrcátka. Pro malé α je závislost lineární, pro větší úhly lze užít oprav uvedených ve Valouchových tabulkách. Přesnost je značná, neboť zde máme jakousi nehmotnou ručku o délce 2L a odečítáme na desetiny milimetru. Vzdálenost L nelze příliš zvětšovat, neboť se zhoršuje obraz v dalekohledu a zejména ve vytápěné místnosti se uplatňuje neklid obrazu, způsobený pohyblivými vrstvami vzduchu nestejné teploty a tím nestejného indexu lomu; L bývá 1—2 metry. Užití u pevných instalací i jako universální

methody v laboratoři. Místo dalekohledu bývá často lampa a čočkový systém, promítající na stupnici světelnou značku, obyčejně světlý kruh přepažený stínovou čárkou. Zrcátko se upevňuje přímo na otočnou součást jako u Martensova přístroje, nebo na ně tlačí posuvné tykadlo (obr. 619) přímo, nebo ještě prostřednictvím zvětšující páky podle obr. 617 (dílenské přístroje pro měření vyrobených částí). Velmi přesné výsledky dává „*Optimetr*", původně

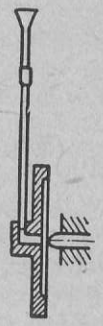


Obr. 619.

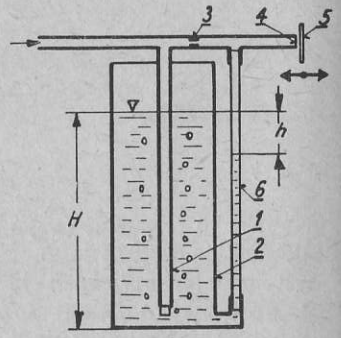
Zeissových závodů, dnes vyráběný po celém světě. Je to autokolimační dalekohled (obr. 619), v jehož ohniskové rovině je destička (obr. 620), na níž jsou jsou vedle sebe jemné dělení a vernier; rektifikací dosáhneme, aby zrcadlem vrácený obraz dělení byl v dotyku s vernierem, přímo pozorovaným okulárem. Dělení je zvenčí osvětleno odrazným hranolem. Přesnost je asi 0,2-mikronu (na tykadle), větší než methody na obr. 618; zde máme sice optickou ručku dlouhou jen jako dvojnásobek ohniskové délky, která bývá 200—250 mm, ale odhadujeme desetkrát přesněji (setiny mm). Další výhoda jsou malé rozměry celku v sobě uzavřeného a chráněného před vnějšími vlivy.



Obr. 620.



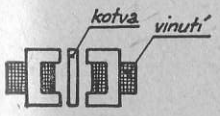
Obr. 621.



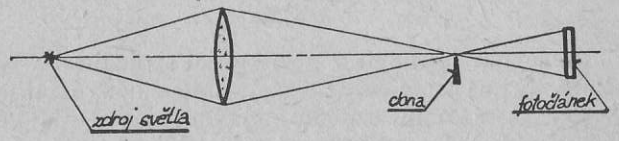
Obr. 622.

Optické methody lze kombinovat s mechanickými. Na zvětšující páku je možno dát vhodnou značku, jejíž polohu lze pak sledovat mikroskopem stupnicovým nebo koincidečním; nebo mikroskopickou stupnici na skle a tu pozorovat mikroskopem; na př. komparátor N. P. L. pro koncové měrky má mechanické zvětšení 350 ústrojím dle obr. 486 a pohyb ručky se promítá zvětšením 50, takže rozdíl měrek 1 mikronu dává pohyb světelného indexu o 17,5 mm.

Principu *hydrostatického* je užito u libely a aplikací na obr. 565 a 566. Jiný způsob, užitý pro dílenské měřicí stroje jako nulový indikátor, obr. 621, je plochá krabice uzavřená membránou (jako na obr. 463), na niž tlačí tykadlo. Stoupne-li kapalina znovu ke značce, je tykadlo znovu v téže poloze — nezměnila-li se mezitím teplota, nebo zařízení funguje také jako (nežádoucí) kapalinový teploměr. Na podkladě *aerodynamickém* pracuje známé měřidlo



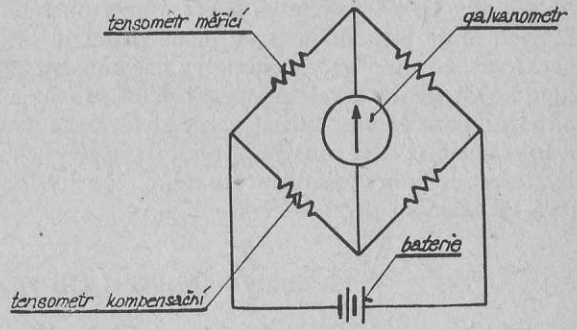
Obr. 623.



Obr. 624.

„Solex", původně vytvořené k měření malých vyvrtů. Vzduch, přiváděný v nadbytku, uniká v bublinkách trubkou *1*, zasahující do vody v nádobě *2*, a tím je tlak jeho udržován na hodnotě dané výškou vodního sloupce *H*. Vzduch proudí kalibrovaným otvorem *3* a uniká přesně opracovaným ústím trubky *4*, v jehož těsné blízkosti je pohyblivá rovinná destička *5*. Pohybem jejím se mění tlak v trubce *4*, což je vidět na sloupci v manometru *6*. Citlivost je značná, bylo dosaženo zvětšení až 60 000.

Obr. 625.



Obr. 626.

Veliké možnosti dávají methody *elektrické*, schopné sledovat pohyby libovolně rychlé. Velmi citlivá je „indukční váha", na obr. 623: dvě malé stejné cívky se železnými jádry, mezi nimiž se s malou vůlí pohybuje železná kotvička; její výchylka zmenší vzduchovou mezeru jednoho a zvětší druhého jádra a tím změní i indukční odpory cívek, napájených střídavým proudem. Cívky jsou v můstkovém zapojení; měřit je možno methodou nulovou nebo výchylkovou. Použijeme-li elektronkového nulového indikátoru, můžeme zjistit pohyby kotvičky řádu 0,02 mikronu. Kombinovaná methoda optická a elektrická je na obr. 624: proud světla žárovky je stažen spojkou a do nejužšího místa svazku paprsků zasahuje nožová clona; malý pohyb clony způsobí velké změny v množství světla dopadajícího na fotočlánek, spojený s galvanometrem.

Zvláštní význam ve výzkumu získaly elektrické *odporové tensometry* (strain gauges). Odporový drátek několik setin mm tlustý je na př. ve formě na obr. 625 uložen a bakelitem zalepen mezi dva lístky jemného papíru. Tento odpor, dlouhý 6—25 mm, nalepí se speciálním lakem na vyšetřovanou součást. Namáháním se součást prodloužuje nebo zkracuje a s ní i tensometr, jehož odpor se tím mění. Změna odporu R a délky L jsou u používaných odporových materiálů v poměru

$$dR/R : dL/L = 0{,}5 \div 3. \qquad (38)$$

Tensometr je zapjat v můstkovém spojení (obr. 626). Poněvadž drátek a zkoušený kus nemají obecně stejnou tepelnou roztažnost, mohly by vzniknout chyby, které kompensujeme stejným tensometrem ve vedlejší větvi můstku, umístěným vedle vyšetřované součásti a nalepeným na kus materiálu, z něhož je součást. Měřit lze methodou nulovou (nejpřesnější) nebo výchylkovou a lze voličem rychle po sobě připojovat větší počet tensometrů na společnou měřicí aparaturu; byla provedena aparatura, která zaznamená údaje 600 tensometrů během dvou minut. Citlivost je řádu 10^{-6}, což znamená namáhání v oceli řádu 0,02 kg/mm², v duralu 0,007 kg/mm². Důležité je, že připojením elektronkových okruhů a kathodového oscilografu lze zaznamenávat i rychle se střídající namáhání dynamická. Létá letadlo, v jehož konstrukci je nalepeno několik tisíc tensometrů a které nese potřebnou zapisující aparaturu; po mořích pluje torpedoborec, v jehož trupu je 15 000 těchto tensometrů. Lze očekávat, že odporové tensometry nás konečně poučí, jaké je skutečné namáhání konstrukcí v trvalém a praktickém provozu. Choulostivý bod je nalepení odporů; namáhaná součást svoje deformace vnucuje násilím tensometrům a toto násilí se děje prostřednictvím smykových napětí v lepidle. Elastická hysterese lepidla způsobí proto zdánlivou hysteresi tensometru, která může podstatně snížit přesnost měření.

Methody zapisovací čili registrační

Těchto method se užívá v různých případech.

a) Měříme rychlé změny: indikování pístových strojů, zkoušky dynamické, přechodné zjevy proudové, elektrické atd.

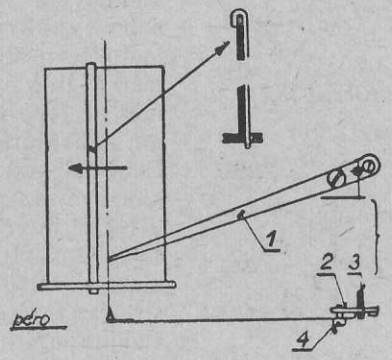
b) Měříme na mnoha místech. po příp. nedostupných: měření v letadle, v automatické kontrole, složitá měření s málo pozorovateli.

c) Měříme nepřetržitě: záznam tlaku vzduchu, teploty, výšky hladiny; kontrolní měření v provozu.

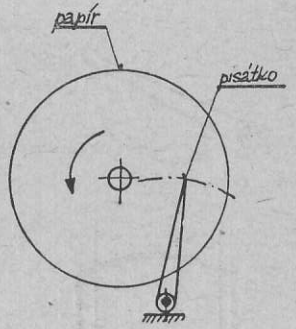
d) Je třeba spolehlivého a trvalého dokladu: měření ve výrobě (kontrola procesů tepelných), v dopravě (rychlost lokomotivy, těžního stroje atd.).

Nejprostší a hojně užívaný je záznam *inkoustem* na papíru, který je ovinut kolem bubnu (obr. 627), nebo je to kotouč (obr. 628; oblíbeno v Americe), nebo libovolně dlouhý pás (obr. 630). Pohybuje-li se pisátko v oblouku (obr. 627, 628), je vyčíslování grafu nepohodlné a vyžaduje papíru s rastrem nebo šablon; je-li třeba hledat střední hodnoty, je nutno graf překreslit před

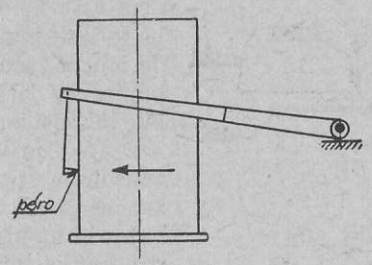
planimetrováním, není-li po ruce speciální planimetr. Přímkové vedení péra na obr. 630 nebo vedení, jehož se užívá na indikátorech, zvyšuje tření a vůle v mechanismu. Velmi dobrý je způsob na obr. 629, s pákou kolem bubínku rozvidlenou, na níž visí lehký třmen s pérem. Některé přístroje (automatické přístroje kompensační) mají přirozeně přímý pohyb pisátka. Výhodné je, je-li souřadnice grafu úměrná měřené hodnotě; tomu lze s dostatečnou přes-



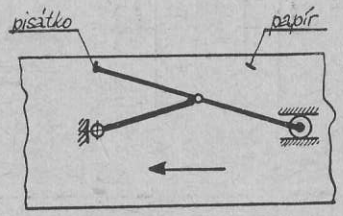
Obr. 627.



Obr. 628.



Obr. 629.

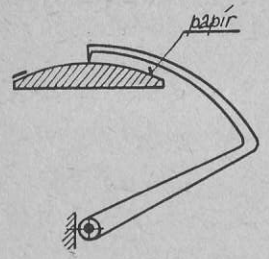


Obr. 630.

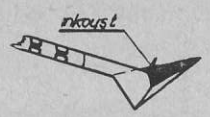
ností vyhovět, je-li úhlový pohyb pisátka malý, nebo si pomáháme vhodnou konstrukcí převodu, jinak vyčíslování je nepohodlné, a přímé planimetrování nepřípustné. Způsob na obr. 631 je dokonalý, je-li úhlová výchylka páky úměrná měřené hodnotě; papírový pás, pohybující se kolmo k nákresně, je veden přes desku zakřivenou válcovitě kolem osy páky, péro se tedy pohybuje v přímce a úměrně měřené hodnotě.

Péro může být z plechu podle obr. 633 nebo trubičkové; na obr. 634 je péro ze skleněné kapiláry, které si bere inkoust z korýtka zakřiveného podle dráhy péra, a používané pro systém na obr. 630. Péro má být přitlačováno lehkým a konstantním tlakem k papíru. Na obr. 627 psací páka *1* z tenkého hliníkového plechu je přišroubována na rameni *2* a tlak na péro lze regulovat šroubkem *4*. Péro na obr. 634 spočívá břitem na psací páce a je lehce přitlačováno záva-

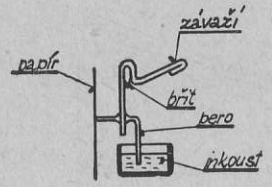
žím. Inkoust je obyčejně vodní roztok vhodného barviva s trochou pojidla (cukr) a důkladnou přísadou glycerinu; čáry proto nevyschnou, nýbrž inkoust pomalu vsákne do papíru, což může vést k rozšíření čar. Pro krátkodobé záznamy lze použít obyčejného inkoustu a obyčejného psacího péra.



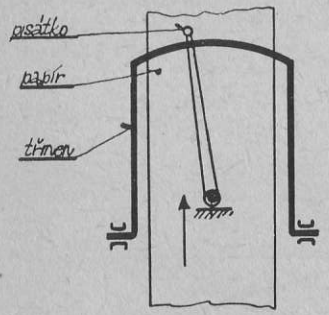
Obr. 631.



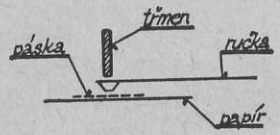
Obr. 633.



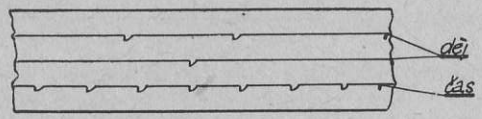
Obr. 634.



Obr. 632.



Obr. 635.



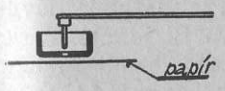
Obr. 636.

Papír se pohybuje buď plynule s časem, hodinovým strojem nebo synchronním motorkem, nebo úměrně jiné veličině měřené (typ diagramů indikátorových). Poněvadž práce s inkoustem je nečistá, užívá se jiných způsobů, které však znamenají větší tření: stříbrný hrot na speciálním papíru, tužka na papíře, hrot na tmavém papíře potaženém vrstvičkou bílého vosku; malé tření má hrot na začazeném papíru (v letadlech, kde inkoust zmrzne).

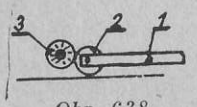
Psaní na papíře způsobuje poměrně značné tření, které nemohou překonávat měřicí přístroje vyvinující jen malý moment, na př. galvanometry. Pomáháme si tím, že pisátko necháme se pohybovat nad papírem; občas třmen, poháněný hodinovým strojem nebo motorkem, přitlačí ručku a udělá tečku (obr. 632). Místo péra může být úzká hranka, kterou třmen úderem otiskne přes barevnou pásku na papír (obr. 635); tento způsob umožňuje záznam z více míst, neboť volicí mechanismus zapíná po řadě jednotlivá místa a současně podstrkuje pásky různých barev. Značky lze udělat také malým válečkem *2*, který dostává barvu od malého válečku *3* z plsti (obr. 638); jindy se užije elektrické jiskry (obr. 639).

Hojně užíváme methody *značkovací*, je-li třeba kromě děje zaznamenat i čas. Na to jsou *chronografy;* papír, obyčejně ve formě pásku, je odvinován

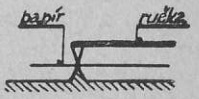
a posunován hodinovým strojem a na pásku píší dvě nebo více per, spojených s kotvami elektromagnetů. Každé péro píše nepřetržitou čáru, na níž krátký proudový impuls způsobí vlnku (obr. 636). Jeden z elektromagnetů dostává časové impulsy od kontaktních hodin. Ostatní péra zaznamenávají vyšetřované děje; na týž pás může zapisovat křivku libovolný měřicí mechanismus. Methoda je všestranná a počet per může jít do desítek. Značkováním času se



Obr. 637.

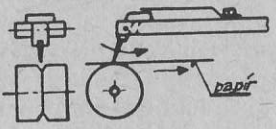


Obr. 638.



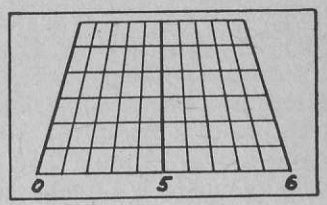
Obr. 639.

snažíme časově koordinovat údaje několika samostatných registrujících přístrojů. Značkování lze dělat také elektrickou jiskrou (obr. 639), válečkem na obr. 638, barvou dle obr. 637 (jehla položí na papír malou kapičku), nebo — s vynaložením větší síly — bodlem na obr. 640, které je výkyvné ve směru šipky, aby netrhalo papír. Vzájemná poloha značek se proměřuje nejpohodlněji průhledným měřítkem a trojčlenkou se propočítá (rychlost papíru není trvale konstantní!), což odpadne, měříme-li sbíhavým měřítkem na obr. 641.

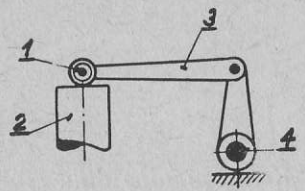


Obr. 640.

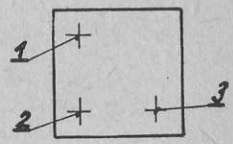
Obr. 642.



Obr. 641.



Obr. 643.



Obr. 644.

Záznam veličin rychle se měnících vyžaduje vysoký vlastní kmitočet měřicího systému. To nutí zmenšovat měřítko grafů až na několik milimetrů výšky a je třeba jemnějších čar, než píše péro. Účelné je psát na podkladě průhledném, aby bylo možno malé grafy zvětšovat promítnutím na citlivý papír. Výborné výsledky dá záznam jehlou nebo štětinkou na začazeném skle; methoda vyžaduje trochu zkušenosti, lze však dosáhnout záznamů, z nichž v obyčejném zvětšováku dostaneme na tvrdém bromostříbrném papíře kopie s ostrými černými čarami na čistě bílém podkladě při zvětšení desetinásobném i větším. Ještě menší grafy (1—2 mm vysoké) lze psát jehlou na sklíčku slabě chemicky postříbřeném. Jiná možnost je záznam na čistém, t. j. nepolévaném, celuloidovém filmu; neostrá jehla nechává vytlačenou rýhu, jejíž průřez je na obr. 642 a která po promítnutí na bromostříbrný papír se —

následkem lomu světla — objeví jako tenká bílá čára na tmavém podkladě. Nevýhoda je, že na černém grafu je těžko psát poznámky, výhoda, že lze zaznamenávat děje rychlé a déle trvající. Obdobný je záznam diamantem na skle opticky broušeném, vhodný pro pohyby zcela malé (několik desetin mm).

Žádné tření není spojeno se záznamem *fotografickým*. Na pás citlivého papíru lze zachytit stín kapalinového sloupce nebo pohyblivé clony, obyčejně však se zapisuje světelným bodem, vytvořeným zmíněnou již projekční lampou a odchylovaným zrcátkem jako na obr. 618. To je methoda dávno užívaná ve smyčkovém oscilografu, vhodná pro nejrůznější jemné měřicí systémy a dávající dostatečně ostré čáry. Je-li třeba zaznamenat funkční souvislost dvou měřených veličin, podepřeme zrcátko podle obr. 644, takže jedna z veličin vyvolává natáčení podle osy 12, druhá podle 23. Analogický způsob mechanický je na obr. 643, kde píšící hrot dostává pohyb od rovného konce tyče *2*, po němž se posunuje účinkem ramena *4* (Maderův mikroindikátor). Současný záznam více přístroji vede při vyčíslování často k omylům v časové koordinaci záznamů. Dobrá methoda je užít přístrojů ukazujících (které jsou přesnější), sestavených na nějakém panelu, a přístroje v intervalech prostě fotografovat. Máme pak údaje bezpečně synchronisované, a přidáme-li k přístrojům hodiny, též přesně časově umístěné. Interval mezi snímky mohou být (podle rychlosti děje) minuty nebo sekundy, přístroj může být automatický; takto bylo (při zkoušení letadel v letu) fotografováno 40 měřicích přístrojů.

Konec prvního dílu.

II. ČÁST — HODINÁŘSKÁ TECHNIKA

I. O času a jeho určování

Tato kapitola by si zasloužila celou knihu. My však se omezíme jen na nejnutnější pojmy a definice, a místo, které jsme tak ušetřili, věnujeme důkladnějšímu studiu techniky měření času, studiu chronometrie.

Proto pomineme otázku jistě důležitou a zajímavou: co je to vlastně čas? Řešení její je záležitostí fysiků a filosofů a také psychologů. Nepomineme úplně, ale jen letmo uvedeme ty kapitoly z astronomie, které jsou podkladem časoměry, určování času a dnešní světové časové služby. Doporučuji čtenáři, aby si přečetl příslušné kapitoly v knize Schneiderově, a chce-li poznat více, najde to v knihách o astronomii; přijde si na své, neboť tyto věci jsou zajímavé a zajímavě zamotané.

Živým tvorům je pojem času jakoby vrozen, jejich jednání se řídí jakýmsi časovým plánem. Vzpomeňme na přesný přílet a odlet stěhovavých ptáků, na psa, který zná čas žrádla i pánova návratu. Ještě nápadnější je to u některých druhů hmyzu; činnost směřující k zplození a zaopatření potomků je u nich řízena neúprosnou časovou posloupností, kterou hmyz s dojemnou poslušností sleduje, i když se situace změnila a dodržování plánu ztratilo tím smysl.

U člověka první, primitivní dělení času bylo dáno jistě střídáním dne a noci; to určovalo životní rytmus, určovalo čas k činnosti a čas k odpočinku. Druhým zjevem opakujícím se, *periodickým*, byly proměny Měsíce. Zjev to krásný a tajemný, který dal vznik mnoha pověrám a bájím, který však od počátku činil nesnáze tím, že doba od úplňku do úplňku není celistvým počtem dní.

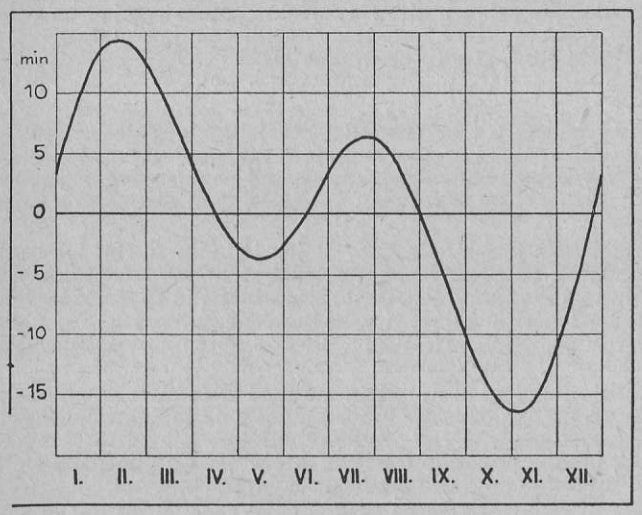
Tyto věci se postupně vyjasňovaly, když se lidé před tisíciletími počali zabývat astronomií. Astronomové ovšem záhy poznali další časovou periodu pro sebe důležitou, *hvězdný den*, dobu od jednoho vrcholení určité hvězdy k vrcholení druhému. Seznali však také brzy, že tento hvězdný den nemá nic společného s dnem slunečním, ani s měsícem, ani s rokem. Byl to dlouhý proces poznávání, přemýšlení a počítání, než lidstvo došlo k dnešní časoměře. Nemůžeme zde tento proces sledovat, spokojíme se tedy jeho výsledky.

Základním naším časoměrem je — z nedostatku lepšího — naše Země, její otáčení kolem vlastní osy, které působí, že se nám hvězdná obloha otáčí nad hlavou směrem opačným. Hvězdný den však neodpovídá přesně době jedné otočky, nýbrž je skoro o 0,01 sek kratší následkem précesního pohybu zemské osy (která opíše — jak osa dětského vlka — kužel za 26 tisíciletí); kromě toho nejsou ani jednotlivé pozorované hvězdné dny přesně stejné, poněvadž kromě précese zemská osa koná další pohyby nutační (pod vlivem různě se kombinující přítažlivosti Slunce a Měsíce). Ke všemu se otáčení země pozvolna zpomaluje následkem útlumu, vznikajícího ztrátou energie prouděním mořské vody při přílivu a odlivu (další účinek přitažlivosti Měsíce a Slunce). K dovršení všeho máme velice důvodné podezření, že ani samo otáčení Země není rovnoměrné.

V občanském životě počítáme z pochopitelných důvodů na dny sluneční. S těmi je to ještě horší. Den definovaný jako doba mezi dvěma po sobě následujícími kulminacemi Slunce, kolísá během roku o řadu minut. Proto bylo nutno zavést *střední den sluneční*, který je definován myšleným náhradním Sluncem, rovnoměrně obíhajícím v rovině zemského rovníku. Střední čas byl zaveden v Německu r. 1810, ve Francii 1816. Tohoto času užíváme také v technice a ve fysice. Rozdíl mezi vrcholením pravého a středního času, nazývaný starobylým názvem „časová rovnice“ (dnes bychom řekli oprava na střední čas), je ročně uveřejňován v astronomických příručkách. Jeho průběh ukazuje obr. 1.

V minulých dobách, kdy lidé měli zálibu v různých mechanických hříčkách,

byly vyráběny hodinky, jichž jediná ručka udávala pravý sluneční čas. Poněvadž hraničí na nemožnost udělat stroj, který by sledoval nepravidelný chod skutečného Slunce, dělalo se to jinak. V hodinkách byla vačka, udělaná dle časové rovnice, a pohyb od vačky odvozený se sečítal (nějakým diferenciálním mechanismem) s rovnoměrným pohybem hodinového stroje; jednodušší řešení bylo to, že vačka — která se otočila jednou za rok — natáčela číselníkem, tak že ručka rovnoměrně obíhající opět ukazovala pravý sluneční čas.



Obr. 1.

Je jasné, že slunce vrcholí na různých místech Země postupně, každý poledník má svůj sluneční čas. Za hodinu otočí se zeměkoule o 360 : : 24 = 15°, za minutu o 15′. Máme-li tedy hodiny nařízené na místní čas, na příklad Greenwichský, a zjistíme-li okamžik, kdy vyvrcholilo u nás Slunce, můžeme výpočtem (s pomocí astronomických tabulek k tomu účelu vydávaných) určit rozdíl zeměpisných délek mezi naším místem a poledníkem Greenwichským. Tohle bylo známo již počátkem šestnáctého století, ale chyběly dostatečně přesné hodiny. Snaha vytvořiti takové hodiny, podporovaná cenami vypsanými v různých zemích, vedla k zajímavé, napínavé a pro vývoj mimořádně významné kapitole dějin hodinářství, která nám dala námořní chronometr.

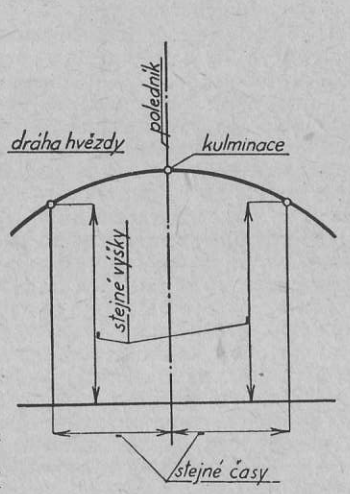
Za starých časů nevadilo, když každé město mělo svůj vlastní, místní čas. Vedlo to však k chaosu, když vývoj techniky přinesl mezinárodní železniční dopravu, telegraf a telefon. Nepodařilo se zavést jednotný, světový čas, byl však přijat a zaveden *čas pásmový*. Zeměkoule je rozdělena na pásma po 15° zeměpisné délky, mezi sousedními pásmy je tedy rozdíl přesně jedné hodiny. Většina zemí má jednotný čas pásma, v němž nebo kolem něhož leží, jen velmi rozlehlá území (SSSR, USA) mají více pásmových časů. Pro zajímavost uvádím časy různých míst ve srovnání s časem světovým, Greenwichským.

Londýn, Paříž	12 hod.	Moskva	15 hod.
Madrid, Brusel	12 hod.	Bombay	17 hod.
Monako, Lisabon	12 hod.	Irkutsk	19 hod.
Praha, Berlín	13 hod.	Šanghai	20 hod.
Stockholm, Oslo	13 hod.	Tokio	21 hod.
Ženeva, Řím	13 hod.	San Francisko	4 hod.
Kodaň, Pešť	13 hod.	Chicago	6 hod.
Kairo, Athény	14 hod.	New York	7 hod.
Helsinky	14 hod.	New Foundland	8 hod.

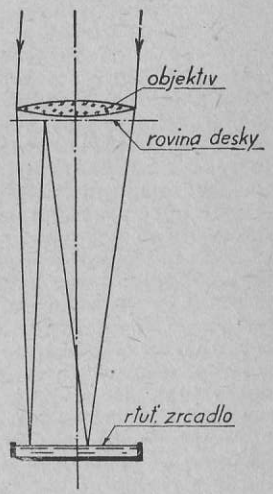
Výjimku činí Holandsko, majíc 11 hod. 20 min. (čas Amsterdamský).

Zjišťování času

Hvězdy jsou k tomuto účelu vhodnější než Slunce, jednak proto, že jejich pohyb na nebi je pravidelný, jednak proto, že i v silném dalekohledu se jeví jako ostré body. Možné jsou dvě methody pozorovací, obě dobré a obě známé již přes 2000 let. Obvyklejší je methoda *pasážní:* pozorujeme průchod („pasáž") hvězdy rovinou poledníku, t. j. svislou rovinou jdoucí osou zemskou a našim stanovištěm. Druhá je methoda *měření výšek:* měříme (v úhlech) výšky hvězdy nad obzorem a výškám odpovídající časy vypočítáme. Zvláště výhodná je methoda *stejných (korespondujících) výšek:* Určí se okamžiky, kdy hvězda dostoupila určité výšky před průchodem poledníkem a kdy sestoupila na tutéž výšku po průchodu; střed obou časů odpovídá okamžiku průchodu poledníkem. Methody výšek užíváme hlavně na lodích a letadlech, při čemž úhly měříme sextantem, který nepotřebuje pevně stát, nýbrž drží se v ruce. Věc objasňuje obr. 2.



Obr. 2.



Obr. 3.

Pro přesné zjišťování času bylo nutno vyvinout vhodné pomůcky. Arabové svými *astroláby* měřili čas s chybou asi jedné minuty; zavedením průzorů (dioptrů) chyba klesla asi na 10 sekund. Rozhodný pokrok učinil ve Francii J. Picard zavedením záměrného dalekohledu, t. j. Keplerova dalekohledu opatřeného nitkovým křížem; methoda stejných výšek dávala pak čas s chybou necelé sekundy. Dán Olaf Römer (hvězdář, který po prvé, r.1675, zjistil rychlost světla) učinil další krok, vynálezem *pasážního stroje* (1689), kterého užíváme na hvězdárnách dodnes. Je to dalekohled otáčivý přesně v rovině poledníku; dalekohledu dá se sklon odpovídající výšce hvězdy a průchod hvězdy lze pak přesně sledovat. Jde nyní o to, jak srovnat tento okamžik s údajem hodin, které mají být kontrolovány. Tuto úlohu rozřešila elektřina: pozorovatel stiskne kontakt a tím zaznamená okamžik průchodu na běžící pásek *chronografu*, na kterém, rovněž elektricky, se zaznamenávají pohyby kyvadla hodin; záznam chronografu se proměří a výpočtem se určí odchylka hodin. Zůstává zde však *osobní chyba* pozorovatele; ta činí průměrně asi 0,2 sek., což by samo nevadilo, ale tato chyba není stejná u všech lidí a i u téhož jedince kolísá podle jeho nervové kondice. Tuto nesnáz odstranil německý mechanik Repsold zavedením *neosobního mikrometru.* Místo pevné svislé nitky je v okuláru dalekohledu dvojitá nitka vodorovně pohyblivá. Úkolem pozorovatele je pouze udržovat hvězdu stále mezi oběma nitkami, což lidské oko dovede posoudit ku podivu přesně. Kontakt je dán pak samočinně mechanismem pohybujícím nitkami; přesnost se zvýší ještě tím, že se takto zaznamená řada poloh hvězdy na její cestě zorným polem dalekohledu.

K určení času pozorujeme vždy větší počet hvězd *základních*, které vyhovují svou světelností, a jichž poloha na obloze je zvláště přesně známa. Po několika

hodinách pozorování a výpočtů dostaneme tak čas s přesností asi 0,02 sek. Podobné přesnosti lze dosáhnout také methodou stejných výšek, užije-li se našeho cirkumzenitálu konstrukce Nušl-Fričovy. Přesnost 0,02 je jistě úctyhodná a přece dnes již nepostačuje, neboť odchylky moderních hodin ze dne na den činí pouhé tisíciny sekundy! Zlepšení lze očekávat od *zenitteleskopu*, přístroje fotografického, jímž v posledních letech dosaženo přesnosti překvapující, kolem 0,002 sek. Dlužno dodat, že na tyto přesnosti nestačí již starý páskový chronograf a že bylo proto nutno vytvořit nové, mnohem přesnější přístroje, jako jsou na př. chronografy jiskrové.

Schema zenitálního dalekohledu čili zenitteleskopu je na obr. 3. Je to svislá trouba, která nahoře nese vodorovný a otáčivý veliký objektiv. Pod objektivem jsou sáně, které nesou fotografickou desku. Ve spodku stroje je plochá mísa se rtutí položená tak hluboko, aby odražený odraz hvězdy padl právě do roviny fotografické desky. Svislý směr je dán hladinou rtuti, a poněvadž deska je v hlavní rovině objektivu, nemá ani nepřesnost v montáži objektivu vliv na měření. To je jedna výhoda zenitteleskopu na rozdíl od stroje pasážního, který naopak musí být pevně uložen a s největší přesností rektifikován.

Měření se provádí takto: když hvězda vstoupila do zorného pole, fotografická deska začne sledovat přesně její pohyb, neboť sáně jsou posunovány šroubem, kterým otáčí synchronní motor, napájený z křemenných hodin. Proto po vyvolání se objeví obraz hvězdy jako pouhý bod. Při pohybu sáně dají kontakt pro záznam na chronografu. Ten by ovšem nebyl nic platný, poněvadž nevíme, jak byla hvězda vzdálena od zenitu. Proto asi po dvaceti sekundách celá aparatura, t. j. objektiv, sáně i motor, se otočí kolem svislé osy o 180°. Zároveň se obrátí směr otáčení motoru. Tím deska znovu sleduje hvězdu, která se zobrazí na desce jako druhý bod. Při druhém pohybu sáně v témže místě dají druhý kontakt pro chronograf. Vzdálenost obou obrazů hvězdy se změří mikroskopovým mikrometrem. Celé měření je tedy zautomatisováno a jediným lidským úkonem je proměření desky. Zenitteleskop má ovšem proti pasážnímu stroji jednu nevýhodu: je odkázán na hvězdy, které procházejí zenitem nebo v nevelké vzdálenosti od zenitu, aby ještě byly zachyceny na desku. Je jasné, že rozměry desky jsou omezené, jinak by byla sáněmi zacloněna příliš velká část objektivu. Zdá se, že přesnost stroje je na hranici toho, co připouští neustálý neklid vzduchu.

Časová služba

Před příchodem radiotechniky neexistovala světová časová služba. Hvězdárny určovaly si čas každá pro sebe. Navigátoři na širém moři byli odkázáni pouze na své chronometry (velké lodi vozily nejméně tři chronometry), které si mohli zkontrolovat jen občas, když připluli na dohled některé z četných pobřežních časových stanic; tyto stanice, spojené drátem s nějakou hvězdárnou, oznamovaly čas optickým signálem, obyčejně pádem velké koule na stožáru, v noci zábleskem. Pro potřebu drah a pošt byl čas denně vysílán telegraficky. V některých velkých městech měli centrály s přesnými hodinami, řízenými z hvězdárny, a časový signál si mohl kdykoli vyslechnout každý majitel telefonu. Staří Pražané si pamatují jak bylo poledne oznamováno výstřelem z děla, dle signálu praporem ze staré hvězdárny v Klementinu, a znají v této souvislosti i různé vtipy o zednících a pod. Majitel přesných hodin stál tehdy před neřešitelným problémem, jak kontrolovat hodiny, jichž přesnost je větší, než přesnost jemu dostupných pomůcek k stanovení času.

To vše změnila radiotechnika. Stanovením času zabývá se dnes jen malý počet hvězdáren po světě, na tuto práci speciálně zařízených, zato je přesný čas vysílán množstvím vysílaček ze všech zemí a na všech vlnách; lze říci, že není místa na zeměkouli, kde by nebylo možno denně zachytit aspoň jeden časový signál. Vysílání začalo v roce 1910 a v těchto počátcích chyba signálu 1 sek nebyla

vzácností. Přesnost se však postupně zvětšovala, přibývalo vysílajících stanic, a vznikaly tím otázky, které bylo nutno řešit mezinárodními dohodami. Dnes se těmito otázkami zabývá Mezinárodní unie astronomická a její „Bureau International de l'Heure (zkratka B. I. H.) v Paříži.

Časové signály jsou vysílány vždy automaticky, buď přímo hodinami (na př. náš a Greenwichský signál), nebo automatickou aparaturou, kterou hodiny uvedou v chod. Obyčejné *signály jednoduché* (obyčejně šest sekundových bodů) stačí dobře pro kontrolu kapesních strojů, ne však hodin přesnějších, poněvadž srovnání nelze provést dost přesně, leda že bychom signál zaznamenávali oscilografem nebo — po usměrnění a zesílení — páskovým chronografem. Přesnější srovnání umožňují signály rytmické čili *koincidenční*, a to bez jakékoli aparatury. Stačí poslouchat tiky vlastních hodin a z přijímače rázy signálu a při tom jen zjistit, kdy oboje rázy splývaly. To je možné tím, že vysílané rázy jdou po sobě v intervalech 60/61 sek, tedy 61 ráz za minutu; signál není nic jiného než vernier (nonius), dobře známý z délkových a úhlových měřidel. Kdo se o věc zajímá, najde vše potřebné o signálech a jich příjmu v citované již knížce Schneiderově, kde je uvedena i praktická pomůcka k vyčíslení pozorování.

Jaká je přesnost uvedených signálů? Pražský signál, třebaže jenom odvozený ze signálů cizích, má chybu v mezích ± 0,1sek. Signály, které u nás lze dobře zachytit, totiž sovětské, francouzské a anglické (s americkými jsou potíže) mají *střední* chybu prakticky stejnou, totiž asi 0,01 sek.; to znamená, že jednotlivý signál může mít chybu i několika setin vteřiny, v nejkrajnějším, výjimečném případě až 0,1 sek. Chyby dodatečně zjištěné uveřejňuje „Bulletin Horaire", vydávaný B. I. H., který je dnes ovšem málokomu přístupný. Definitivní opravy signálů jsou uveřejňovány později, asi za rok, a na konec zbývá nejistota *menší než setina vteřiny*. Tedy přesnost obdivuhodná, a přece — regláž opravdu přesných hodin dle těchto signálů by byl proces při nejmenším strašlivě zdlouhavý. Nešťastnému majiteli takových skvělých hodin by patrně nezbylo nic jiného než přijímat všechny dosažitelné signály a takto zjištěné opravy svých hodin zpracovávat statistickou matematikou! Konečně ještě otázka: jak velké je zdržení časových signálů cestou? Elektromagnetické vlny mají na štěstí rychlost 300 000 km/sek. Posloucháte-li řečníka na př. z Moskvy, slyšíte ho dříve než jeho přímí posluchači v předních sedadlech.

II. Od prvních počátků k Huygensovi

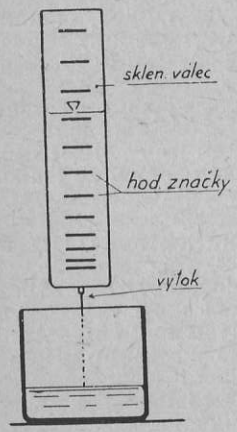
Za prastarých časů lidé netrpěli spěchem, a jistě to trvalo celé věky, než začali čas trochu přesněji odhadovat, nejprve asi dle výšky Slunce na obloze jako zjevu nejnápadnějšího, pak dle délky stínu a nakonec dle směru tohoto stínu. Tak ponenáhlu vznikly *sluneční hodiny*. Nejprve jako pouhé svislé tyče a sloupy, zvané gnomony (odtud nauka o slunečních hodinách se nazývá gnomonika). Číňané znali je prý 2000 roků př. Kr., ve Spartě byl gnomon postaven kolem r. 550 př. Kr. Čas byl měřen dle délky stínu gnomonu, což nebylo právě výhodné, poněvadž během roku se mění výška sluneční dráhy, a bylo nutno užívat korekčních tabulek. Pokrok znamenaly sluneční hodiny s děleným kruhem; byly známy již v VII. století př. Kr. Gnomon, původně snad svislý, byl později stavěn šikmo, rovnoběžně se zemskou osou; tím stal se pohyb stínu nezávislým na výšce Slunce.

Takové dokonalé hodiny sluneční sestávají z gnomonu směřujícího k světovému pólu (to jest velmi přibližně k Polárce) a z číselníku, který má nejlépe tvar půlkruhu, jehož rovina je kolmá ke gnomonu. Poledni značka je pak ve svislé rovině proložena gnomonem, další hodiny jsou v intervalech 15 stupňů. Dobře postavené velké sluneční hodiny jsou lepší časoměr, než by se mohlo zdát, neboť ukazují čas — samozřejmě s užitím časové rovnice — s chybou jedné až dvou

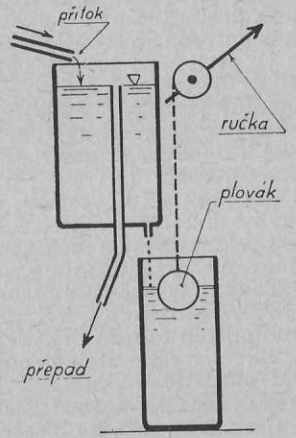
minut. Přesnost jejich je však omezena tím, že stín gnomonu není ostrý, poněvadž Slunce není svítící bod, nýbrž kotouč, který se nám jeví v zorném úhlu přes půl stupně.

Vodní hodiny

Sluneční hodiny mají ovšem jeden neodstranitelný nedostatek: neukazují v noci a při zamračeném počasí. Proto hledali lidé jiné časoměry, nezávislé na Slunci. Zkoušeli to s různými fysikálními ději, o nichž soudili, že probíhají rovnoměrně. Měřili noční čas dle toho, jak ubývalo svíčky, dle ubývání oleje ve specielní lampičce, a pod. Mnohem vhodnějším dějem byl však výtok kapaliny z úzkého otvoru. Toho bylo užito u *vodních hodin*, vynálezu velmi starého, známého Egypťanům a Číňanům před více než 3000 roky, později i jiným národům — Caesar našel vodní hodiny i u divokých Britanů.



Obr. 4.



Obr. 5.

Nejjednodušší tvar vodních hodin ukazuje obr. 4. Je to skleněná, válcová a značkami opatřená nádoba, postavená na stojanu. Z této nádoby vytéká voda malým otvorem do postavené nádoby. Nevýhodné je, že vzdálenosti mezi hodinovými značkami směrem dolů ubývá, tak že odečítání posledních hodin je nepřesné. Příčina je v tom, že výtoková rychlost se postupně zmenšuje, neboť je úměrná odmocnině výšky hladiny nad otvorem. Čtenář, který má rád matematiku, může si odvodit theorii těchto hodin. A nemusí se za takové cvičení stydět; vodními hodinami (jako před tím slunečními) zabývali se mnozí vynikající matematikové a Daniel Bernoulli, jehož rovnice zůstane základním kamenem moderní hydrodynamiky a aerodynamiky, dostal ještě v roce 1725 cenu za pojednání o zdokonalení vodních hodin.

Uvedenou nevýhodu nemá konstrukce pozdější podle obr. 5, ovšem za cenu komplikace konstruktivní a provozní. Voda vytéká do kalibrované nádoby z nádržky, ve které je udržována stálá hladina tím, že voda stále přitéká a její přebytek odchází přepadem. Je-li horní nádoba dost hluboká, je hydrostatický tlak velmi konstantní a tím také výtoková rychlost. Dělení na dolní nádobě je rovnoměrné, ovšem za předpokladu, že nádoba je válcová. Proto je možno na hladinu dát plovák a jeho pohyb přenést ozubenou tyčí nebo šňůrou na ručku. Takové hodiny byly stavěny často ve velkých rozměrech a v nádherném provedení, dokonce i s různými pohyblivými figurami a zvukovými efekty. Jejich stavbou byl ve starověku proslulý Ktesibios.

Vodních hodin bylo užíváno po celá staletí ještě v době, kdy již existovaly *hodiny kolečkové*. A to z důvodu docela dobrého — nebyly horší než slušné hodiny sluneční a byly rozhodně lepší než ty hodiny kolečkové. Neboť vodní hodiny čili *klepsydra* větších rozměrů jsou sice časoměr trochu nepohodlný, řekněme provozně, ale poměrně přesný (to platí zejména o tvaru dle obr. 5). Jejich „chod" se mění ponenáhlu jen korosí výtokového otvůrku, nebo je-li materiál odolný, vlivem usazenin z vody. Docela dobře dá se klepsydry užít — a také jí bylo tak užito — k fysikálním pokusům, k měření kratších časových

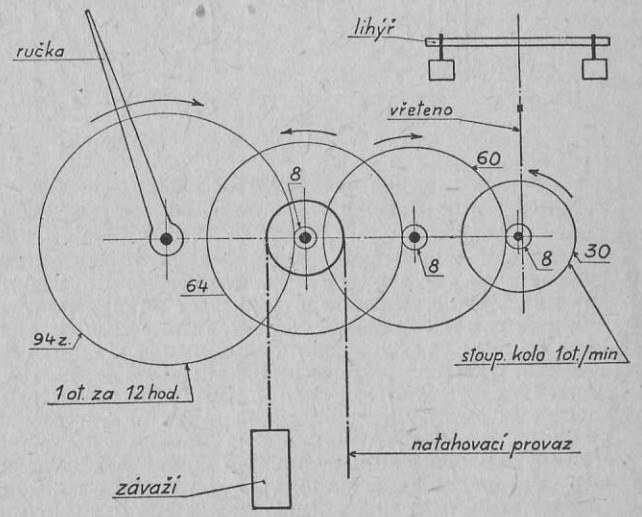
intervalů, počítaných na minuty. Vytékající vodu jednoduše malým žlábkem odchýlíme stranou, aby netekla do spodní nádoby. Odkloněním žlábku z cesty (to se může stát samočinně, na př. elektromagnetem) začíná měření času. Množství vody ve spodní nádobě dá se změřit zcela přesně vážením, a máme přístroj nejméně rovnocenný dobrým stopkám!

S vodními hodinami v základě souhlasí *hodiny přesýpací*, které jistě nemusím popisovat. Dnes jich užíváme nanejvýš při vaření vajec, ale byly doby, kdy se jich užívalo hojně. Znali je již Babyloňané i Řekové; středověk je vynalezl znova a v Norimberku jich výrobci dokonce měli vlastní cech. Dlouho se udržely na lodích, jednak k rozdělování služby, jednak k měření rychlosti plavby podivným přístrojem, zvaným „log". Přesýpacími hodinami byl odměřován čas při rytířských turnajích, ale nejužitečnější účel našli staří Řekové — odměřovali jimi čas řečníkům. —

Hodiny kolečkové

A tím se dostáváme k *hodinám kolečkovým*, abychom u nich již zůstali po mnoho kapitol. Jejich začátky nebyly slavné; byly to hrubé, neumělé, možno říci humpolácké stroje s nemožným regulátorem chodu, který vlastně ani regulátorem nebyl. Jejich chod byl podle toho: lze docela dobře věřit tvrzením, že úchylka o celou hodinu za den byla něčím skoro samozřejmým. Nemohly přesností konkurovat hodinám slunečním ani vodním. Jejich jedinou výhodou bylo to, že mohly být montovány na věže a později opatřeny strojem bicím, (který byl rozhodně vtipnější konstrukce než hodinový stroj).

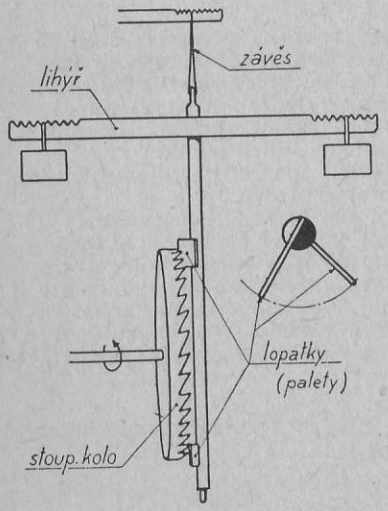
Nevíme bezpečně, kdy a kde vznikly. Objevily se v Evropě počátkem XIV. století a soudíme, že byly vynalezeny v Orientě. Ve starých knihách čteme o kolečkových hodinách ještě mnohem starších, ale tyto zprávy nutno brát opatrně. Ozubená kola byla známa již ve starověku a bylo jich nejednou užito v složitých vodních hodinách, o nichž jsme mluvili. Kolečkové hodiny v našem smyslu — snad by byl lepší název mechanické hodiny — vykazují dvě novinky: ozubené soukolí poháněné závažím, a čistě mechanické zařízení, které udržuje stroj v rovnoměrném chodu. Má se za to, že tohoto druhu byly proslulé hodiny, které r. 1232 daroval sultán Saladin císaři Jindřichu II. V letech 1340 až 1380 byla zřízena řada hodin, namnoze s bicím strojem v různých městech tehdejších kulturních zemí, většinou na kostelních věžích; byly to výrobky mnichů a jiných učených mužů. Ve XIV. století byl ve Francii vynalezen pohon pružinou; v hodinách z r. 1425 je užito dokonce již pružiny spojené se šnekem. Tím bylo možno stavět hodiny přenosné; postupným zmenšováním rozměrů dospělo se až k hodinkám kapes-



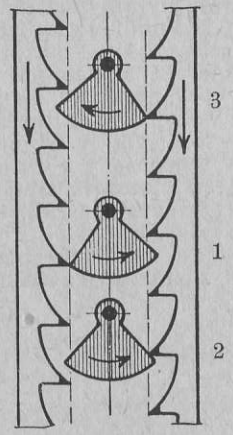
Obr. 6.

ním, ovšem ještě velmi tlustým, jichž výrobou na počátku XVI. stol. proslul Petr Henlein (Hele) v Norimberku. Zajímavé je, že všechny tehdejší hodiny, velké i kapesní, byly v podstatě téhož typu: měly týž krok a stejný (a stejně špatný) regulátor chodu.

Uspořádání takových starých hodin ukazuje obr. 6; jsou to jednoduché věžní hodiny francouzské z r. 1370. Poháněcí závaží visí na provaze navinutém na bubnu, který prostřednictvím západky a rohatky (jak to děláme dodnes) pohání ozubené kolo, které se otočí jednou za hodinu, při čemž kolík na kole upevněný způsobí jeden úder na zvon. Toho kolo pohání další hřídel, od něhož je poháněno kolo stoupací. Od bubnu je však také převodem 1 : 12 poháněn hřídel nesoucí jedinou, hodinovou ručku. Jednoduché je natahování hodin, které je nutné každý den: jak se provaz se závažím z bubnu odvíjí, navíjí se na buben zároveň provaz druhý, bez závaží, a taháním za tento druhý provaz lze hodiny natáhnout. Ozubená kola byla železná, průměru kolem půl metru, pastorky byly tyčinkové jako u dnešních budíků; počet zubů kol i pastorků je na obrazci udán.



Obr. 7.



Obr. 8.

Ale nejzajímavější částí hodin je ono stoupací kolo a „regulátor" chodu. Na obr. 7 je znázorněn tento mechanismus, jediný známý až do vystoupení Huygensova. Stoupací kolo je „korunové", t. j. pilovité zuby má na straně. Tyto zuby svými špičkami působí na dvě lopatky („palety"), upevněné na svislém vřeteni. Vřeteno nese vodorovnou příčku se dvěma závažími, zvanou lihýř. Původně bylo vřeteno uloženo dole v nožním a nahoře ve vodicím ložisku, později přišel neznámý čipera na to, že se tření dá podstatně změnit, zavěsí-li se vřeteno na provázek a jen dole se vede v ložisku. Provázek lze zaklesnout do některého zářezu konsoly, a tak měnit hloubku záběru lopatek; hořejšek vřetena není ovšem veden pevně, ale to celkem nevadí — ostatně někteří hodináři přidávali ještě druhé vodicí ložisko.

Stoupací kolo s oběma lopatkami tvoří dohromady mechanismus, kterému říkáme *krok („échappement")*. Funkce tohoto vřetenového kroku není z obr. 5 snad dost jasná. Můžeme ji však jasně pochopit z obr. 8, který představuje mechanismus konstruktivně odlišný, funkcí však totožný s předchozím. Stoupací kola jsou dvě (na společném hřídeli), zuby k sobě obrácená, a mezi nimi osciluje vřeteno, opatřené jedinou lopatkou, která je na výkresu svisle vyšrafována a znázorněna ve třech polohách. Zuby stoupacích kol působí jen svými špičkami, na výkresu vyčerněnými, a pohybují se shora dolů. Na obrazci můžeme sledovat, jak si obě stoupací kola lopatku podávají. V poloze *1* lopatka se pohybuje doprava a zub levého stoupacího kola se chystá vyklouznout. Jakmile zub vyklouzl ze záběru s lopatkou, obě stoupací kola, na okamžik volná, učiní krátký skok, a tím na pravou stranu lopatky dolehne zub pravého stoupacího kola. Lopatka, spojená se vřetenem a s lihýřem, pokračuje setrvačností ve svém

pohybu doprava, je však tlakem stoupacího kola (a třením) zastavena a uvedena do pohybu opačného, do leva (poloha *2*). Pohyb lopatky doleva pokračuje, až v poloze *3* zub pravého stoupacího kola vyklouzne ze záběru s lopatkou. Následuje opět malý skok stoupacích kol, na levou stranu lopatky dolehne zub levého kola, ten zastaví pohyb lopatky a donutí ji k pohybu doprava.

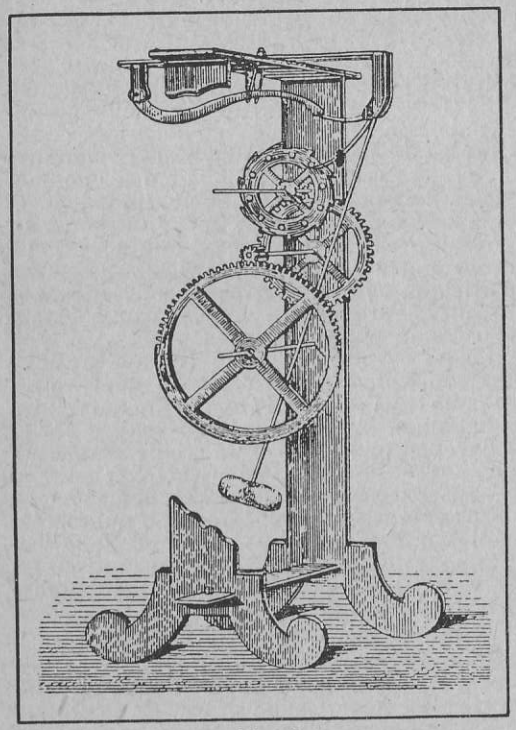
Promyslíme-li dobře funkci vřetenového kroku, přijdeme na poznatky základního rázu, které charakterisují nejen tento, nýbrž i ostatní kroky (které probereme později). Předně, při žádné poloze lopatky nemohou stoupací kola „proběhnout", mohou se jen pootočit o půl rozteče zubu při každém kyvu čili o jeden zub při každé celé periodě lihýře. Krok tedy funguje jako dokonalé počitadlo kyvů; stačí volit vhodné převodové poměry ozubených kol, aby některý hřídel se otočil přesně za hodinu, jiný za 12 nebo 24 hodin, atd. U hodin na obr. 6 musí lihýř konat sekundové kyvy, aby se ručka otočila jednou za hodinu. Za druhé lopatka přijímá od stoupacích kol popudy čili impulsy, jimiž je lihýř udržován v pohybu. Za třetí je tu otázka skoku, který následuje po vykouznutí zubu: ten není nutný theoreticky, je však prakticky nezbytný, aby se vyklouznuvší zub uklidil z cesty. Skok znamená ztrátu energie, je příčinou známého tikání kyvadlových hodin, ale také příčinou většího opotřebení součástí; může být tím menší, čím přesněji jsou tyto součásti provedeny, zejména ozubení stoupacího kola. Toto vše platí, jak ještě uvidíme, o každém kroku.

U vřetenového kroku lihýř není nikdy volný, je stále (mimo kratičký okamžik skoku) v záběru se stoupacím kolem — krok tento není volný. Druhou charakteristickou vlastností je návrat, couvnutí stoupacího kola, když lihýř dokončuje výkyv — máme zde případ kroku *vratného*. Krok na obr. 7 funguje stejně jako modifikace na obr. 8, a má proto také stejné vlastnosti. V této formě ho bylo všeobecně užíváno pro hodiny všech velikostí. Obyčejně stoupací kolo mělo lichý počet zubů a pak osa vřetene protínala osu stoupacího kola, byl-li počet zubů sudý, bylo nutno osu vřetene vysunout stranou o půl rozteče zubů. Vřetenový krok byl v XVII. století nahrazen kroky mnohem dokonalejšími. Uvážíme-li však jeho stáří, musíme se poklonit myšlence neznámého vynálezce. Tento krok byl ostatně dost dobrý pro počátky kyvadlových hodin a u hodinek kapesních se udržel ještě o dvě století déle.

Vřetenový krok nebyl zdaleka hlavní příčinou špatného chodu starých hodin, jako jí nebylo ani tehdejší hrubé provedení. Hlavní příčinou byl lihýř, který není nic více než pouhý setrvačník. Dostane-li lihýř impuls, bude se otáčet jedním směrem, až jej tření zastaví; nemá snahu vracet se do střední polohy (nehledíme-li k chabému a proměnlivému vlivu závěsného provazu na obr. 7), a proto nekoná kyvy jako na př. kyvadlo. Nemá tedy ani žádnou určitou, svou vlastní dobu kyvu, není to zkrátka žádný *oscilátor*, je to jen jakási brzda. Pouhým poslechem poznáme, že intervaly mezi jednotlivými skoky nejsou stejně dlouhé, jen jejich průměrná délka je jakž takž stejná. Doba kyvu celého mechanismu je závislá stejně na momentu setrvačnosti lihýře jako na velikosti hnacího závaží. Hodiny půjdou pomaleji, zvětšíme-li moment setrvačnosti lihýře tím, že jeho závaží zavěsíme do zářezů vzdálenějších od osy (obr. 7) a naopak. Půjdou rychleji, zvětšíme-li hnací závaží; staří hodináři měli pravidlo, které v dnešní mluvě praví, že počet kyvů za hodinu je úměrný odmocnině váhy hnacího závaží.

Z předešlého je jasné, že tento druh hodin nebyl schopen dalšího vývoje. Nepomáhalo valně ani lepší a přesnější provedení strojů, bylo třeba zlepšení zásadního a fysikálně odlišného. A k tomu došlo skutečně zásahem vědy fysikální, zásluhou dvou vědeckých hvězd první velikosti. Byli to Ital Galileo Galilei (1564—1642) a Holanďan Christian Huygens (1629—1695), kteří přišli na jednoduchou myšlenku nahradit lihýř skutečným oscilátorem, *kyvadlem*. Je příznačné, že musily na to přijít vědecké hvězdy první velikosti. Kyvadlo bylo lidem známo od nepaměti, kyvadlem je přece každá volně zavěšená věc, kostelní lampa, oběšenec i zednická olovnice. Historie dokonce tvrdí, že kyvadla užívali

arabští hvězdáři již v XV. století, ne-li dříve, ale — bez hodinového stroje. Vysvětlení leží v tehdejší naprosté neznalosti zákonů mechaniky. Je právě zásluhou Galileovou, že seznal a formuloval nejzákladnější z těchto zákonů, mezi nimi pak i základní poučky o kyvadle, zejména o jeho isochronismu čili stejnodobosti kyvů.



Obr. 9.

Není to z daleka jediná zásluha Galileova. Je o něm známo, že sestrojil dalekohled a tímto novým přístrojem spatřil na obloze mnoho nových věcí. Byly to objevy možno říci revoluční, které mu zaručily nesmrtelnost, ale přinesly také pronásledování římskou církví. Galileo unikl sice kacířské hranici, dožil však svůj život jako domácí vězeň. A na sklonku svého života, poloslepý stařec, diktoval synovi Vincenziovi návod na kombinaci kyvadla a kolečkového stroje, návod na konstrukci kyvadlových hodin. Po otcově smrti se syn — s pomocí jednoho zámečníka — do stavby hodin pustil. Ale stavbu nedokončil, neboť předčasně zemřel, a jeho hodiny se nedochovaly; pověst tvrdí, že je Vincenzio zničil v záchvatu horečky krátce před smrtí . . . .

Popis Galileových hodin se zachoval a spolu i jich obrazy, neznámo, jak dalece přesné (obr. 9). Vidíme, že kyvadlo je uloženo v čepech a se soukolím souvisí krokem konstrukce nové, úplně odlišné od kroku vřetenového. Nevíme přesně, byl-li tento krok vynalezen otcem nebo synem, je však tak pěkný a zajímavý, že se k němu v knize ještě vrátíme. Uložení kyvadla není ovšem nejlepší a dnes se nám nelíbí jeho veliká amplituda čili výkyv; nezapomínejme však, že Galileo neznal ještě přesné zákony kyvadla a považoval dobu kyvu za nezávislou na amplitudě. Za zmínku stojí ještě to, že Galileo užíval kyvadla k měření pulsu, a pak i to, že sestrojil počitadlo kyvů, kde kyvadlo lehkou západkou (udělanou ze štětiny) poháněl rohatku a soukolí. Podařilo se mu tedy uskutečnit dva rozhodné kroky ze tří kroků nutných. Ale neuskutečnil již krok třetí a poslední — udržování oscilátoru v pohybu. Tento rozhodující krok uskutečnil teprve Huygens, samostatně a trochu jiným způsobem.

A jako jsme viděli u Galilea, tak také Christian Huygens (vysl. Hajchens), fysik, astronom a matematik, současník Newtonův a starý mládenec, dokázal ve vědě více než revoluci v chronometrii. Je autorem undulační (vlnové) theorie světla, která ovšem přišla ke cti mnohem později pracemi Fresnelovými. Objevil tvar prstenu Saturnova. Zabýval se optikou a dodnes užíváme v mikroskopech Huygensových okulárů. Pro nás důležité jsou jeho práce týkající se kyvadla, a to nejen použití kyvadla, nýbrž i jeho přesnější theorie. Huygens se

vůbec pilně zabýval mechanickými kmity, thematem dnes velkého dosahu vědeckého i technického; vzpomeňme na „Huygensův princip“ v nauce o vlnění. Kyvadlem se začal zabývat asi v roce 1656 a r. 1658 vydal o užití kyvadla v hodinách malou knížku. V práci pokračoval a r. 1673 vychází v Paříži jeho latinsky psaná (on sám se po latinsku nazývá Hugenius) kniha „Horologium oscillatorium“, kde popisuje konstrukci svých hodin, a rozvádí theorii kyvadla a jeho isochronismu.

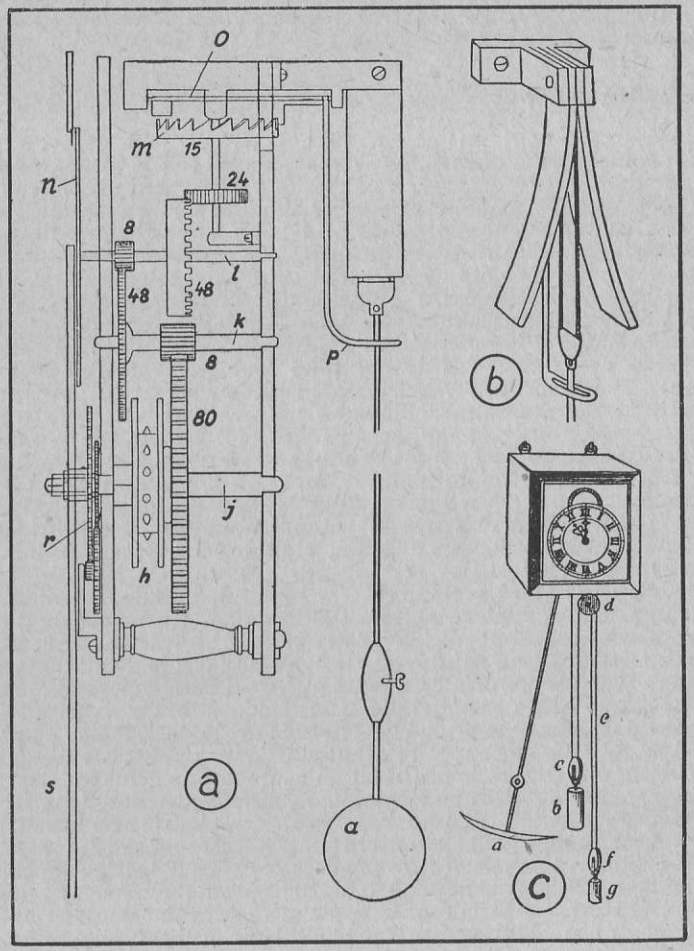
Hodiny Huygensovy

Huygensovy hodiny vidíme na obr. 10, dělaném dle jeho knihy, a to se všemi chybami (jenom většina písmen byla vynechána); i tak je to výkres na tehdejší dobu neobvykle přesný a jasný, ve shodě s velmi zevrubným Huygensovým textem. Už závažový pohon je nový: nekonečným provazem. Provaz *e* je veden přes kladku *h* pevně spojenou s hřídelem *j* a opatřenou v drážce zoubky, aby se zamezilo klouzání. Provaz je dále veden přes hladkou kladku, na níž visí hnací (větší) závaží *b* (obr. 10c), přes pevně uloženou kladku *d*, přes kladku spojenou s napínacím (malým) závažím *g* a konečně zpátky na kladku *h*. Hodiny se natáhnou zatažením za závažíčko *g*; je jasné, že kladka *d* se smí otáčet jen při tomto natahování — otáčení opačnému brání obyčejná rohatka a západka — a že je v drážce rovněž opatřena zoubky. Výhodou tohoto vtipného uspořádání — se kterým se v knize ještě setkáme — je to, že při natahování pohon hodin není přerušen, a že kladka *h* zaujímá v hodinovém stroji mnohem menší šířku než bubínek k navíjení provazu. Od hřídele *j* je v poměru 10 : 1 (počty zubů jsou na obrazci zapsány) poháněn mezihřídel *k*, který pohání v poměru 6 : 1 hřídel *l*; od tohoto je úhlovým ozubením v poměru 2 : 1 poháněno stoupací kolo *m* o 15 zubech. Poněvadž kyvadlo je sekundové, stoupací kolo se otočí jednou za půl minuty a hřídel *l* jednou za minutu. Tento hřídel místo sekundové ručky nese kotouč *n* s dělením, viditelný ve výřezu číselníku, v němž je také nehybný ukazatel.

Krok je obyčejný starý vřetenový — v tom ohledu byl Galileo dále. Vřeteno *o* je spojeno s vidlicí *p*, která objímá tyč kyvadla. Kuriosní je závěs kyvadla (obr. 10b), dva rovnoběžné provázky, které se pohybují mezi dvěma zakřivenými destičkami. Destičky jsou zakřiveny dle cykloidy, což je křivka, kterou opisuje bod kružnice valící se po přímce, tedy na př. bod na obvodě kola jedoucí lokomotivy. Čočka se proto nepohybuje v kružnici, nýbrž v evolventě cykloidy, kterou je — jak Huygens odvodil — rovněž cykloida, shodná s první. O této cykloidě dokázal Huygens, že je to „tautochrona“, křivka, která má zajímavou vlastnost: Bod, pohybující se bez tření po tautochroně účinkem tíže, koná kmitavý pohyb, jehož doba kyvu nezávisí na amplitudě. Huygens již věděl, že u jednoduchého kyvadla dlouhé kyvy jsou pomalejší než kratší; poněvadž vřetenový krok žádal velkou amplitudu, použil popsaného závěsu. Tato, theoreticky zajímavá, myšlenka se však neosvědčila a byla brzy opuštěna. Textilní materiál není vhodný, poněvadž je délkově proměnný, ocelový pásek je pak příliš tuhý, než aby se přimknul k vodicím destičkám, nehledě ani na zjevy adhesní (lepení) a na vliv eventuálních vniklých nečistot, jako je na př. prach. Dnes prostě dáváme kyvadlu amplitudu docela malou a dosahujeme tak mnohem přesněji stejnodobosti kyvu, snižujeme však zároveň podstatně hnací sílu kyvadla a tím i vliv hodinového stroje na kyvadlo.

Pro zajímavost uvedu ještě některé údaje z Huygensova popisu hodin. Hnací závaží váží 6 liber a vystačí na 30 hodin; tedy spotřeba energie byla značná, nepoměrně větší než u hodin dnešních, což je snadno vysvětlitelné jednak velikou amplitudou kyvadla, jednak hrubým provedením stroje. Huygens však správně poznamenává, že jeho hodiny jdou tím lépe, čím menší závaží jim stačí k pohonu. Minutová ručka je nasazena na hřídeli *j* a od ní je poháněna ručka hodinová obvyklým dnes ozubeným převodem *r*, umístěným pod číselníkem *s*.

Čočka kyvadla váží 3 libry, a aby odpor vzduchu byl co nejmenší, má tvar válečku na obou koncích zahroceného. Huygens dodává, že hodiny jdou tím pravidelněji, čím těžší je čočka. Nejzajímavější je však jeho údaj délky kyvadla: tři stopy. Ne však stopy pařížské či jiné, nýbrž stopy věčné, odvozené právě

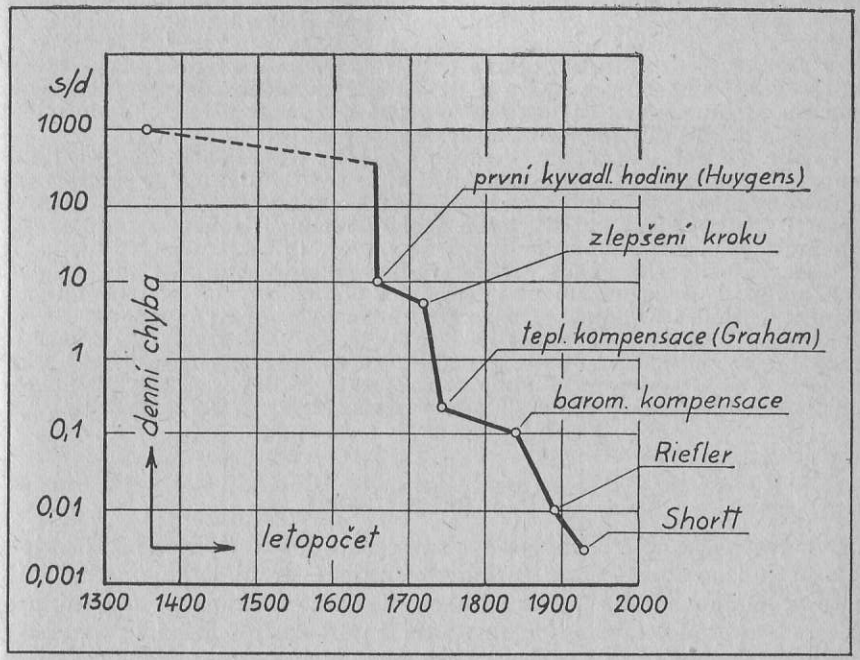


Obr. 10.

z délky sekundového kyvadla. Byl to návrh na zavedení všeobecné přirozené jednotky délky, snad první návrh svého druhu; a ne tak špatný návrh, uvážíme-li, že pozdější určení metru z délky poledníku se ukázalo potom chybným o 0,2 mm, zatím co délku sekundového kyvadla lze i jednoduchými prostředky určit s chybou několika málo setin milimetru!

Huygens se zabýval kyvadlem a hodinami nevěda, že ho již předešel Galileo. Temperamentně hájil prvorozenství svého duševního dítka, ale nakonec

loyálně uznal prvenství Galileovo, když byl doklady o něm přesvědčen. Takové případy se stávaly v dobách, kdy knihtisk byl ještě málo vyvinutý a kdy nebylo takřka vědeckých časopisů; tehdy se nové myšlenky rozšiřovaly neuvěřitelně pomalu, ba někdy upadaly v zapomenutí, aby byly později znovu objeveny. Drastickým příkladem je první slovanský chemik M. V. Lomonosov. Tento polyhistor, chemik, fysik, astronom, filolog a básník, spoluzakladatel ruské Akademie a ruské spisovné řeči, neměl vliv na vývoj vědy, ačkoli 40 roků před Lavoisierem formuloval zákon o zachování hmoty a byl blízko formulaci zákona o zachování energie. To vše znovu musilo být objeveno, protože v zapomenutí upadlo to málo, co o svých nových objevech Lomonosov publikoval.



Obr. 11.

Huygens neuvažoval jen o kyvadlových hodinách. Měl na mysli také zlepšení hodin přenosných a zlepšil je jednoduše tím, že k lihýři přidal spirálovou pružinu vracející lihýř do střední polohy. Tím se stal z lihýře oscilátor s určitou, vlastní dobou kyvu jako kyvadlo. I zde měl Huygens předchůdce, o nichž nevěděl. V Anglii Robert Hooke uvažoval o podobné pružině (a při tom objevil „Hookeův zákon", který je základem naší nauky o pružnosti), ve Francii byl to abbé Hautefeuille. Oba však dávali pružině nevhodné tvary, kdežto Huygens užil tvaru spirály, jak ho užíváme podnes.

Zavedení kyvadla a připojení pružiny k lihýři čili k setrvačce, jak dnes říkáme, byl pokrok základní a zásadní. Dříve stoupací kolo strkalo lihýřem násilně sem a tam; nyní se stává z hodin *oscilátor*, jehož pravidelné vlastní kyvy jsou pomocným zařízením počítány, a jemuž pomocné zařízení dodává tu trošku energie, kterou oscilátor ztrácí odporem vzduchu a třením. Tato definice hodin není žádná fráze, jak poznáme z prosté úvahy: Představme si