

Geometrické tolerancie

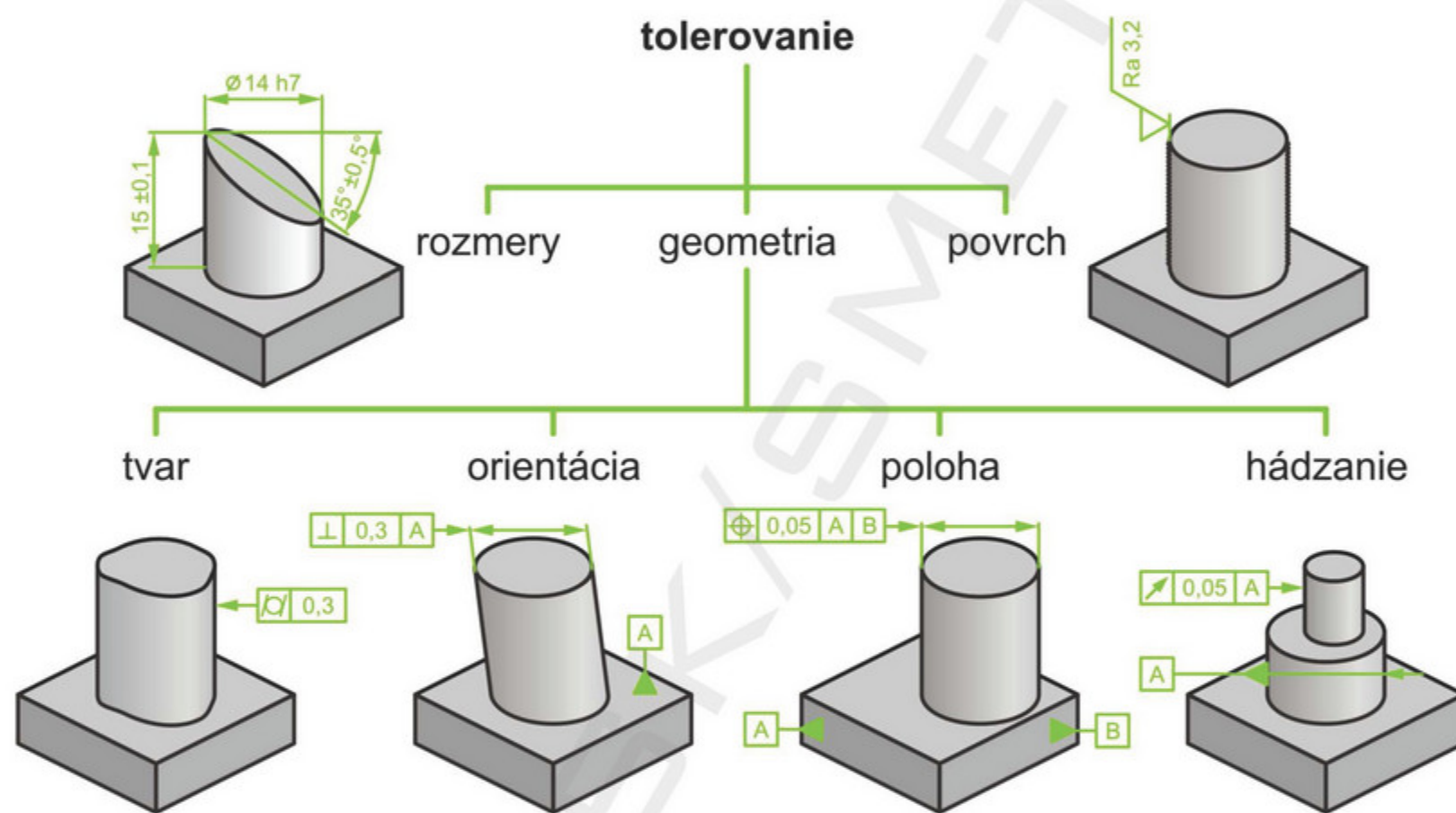
Na splnenie predpísanej funkcie sa súčiastka musí vyrobiť s určitou presnosťou a jej skutočná geometria charakterizovaná rozmermi, tvarom, orientáciou, polohou, hádzaním a drsnosťou musí ležať v prípustnom rozsahu danom toleranciou (Obr.7.1).

Pri definovaní pojmov treba rozlišovať pojmy **odchýlka** a **tolerancia**. Odchýlky sú výsledkom výroby a zisťujú sa meraním. Tolerancie sú hranice, ktoré predpisuje konštruktér a určuje nimi, aké maximálne (dovolené) odchýlky môžu pri výrobe nastať.

Tolerancia je lineárny rozmer, ktorý charakterizuje tolerančnú zónu. Tolerancia aplikovaná na prvok definuje tolerančnú zónu, v ktorej sa musí tento prvok nachádzať.

Tolerančná zóna je priestor ohraničený jednou alebo niekoľkými geometricky presnými čiarami alebo povrchmi. Podľa charakteru prvku a spôsobu jeho kótovania môže byť tolerančnou zónou napr. plocha kruhu alebo medzikružia, plocha medzi dvoma rovnobežnými priamkami alebo rovinami, priestor valca atď.

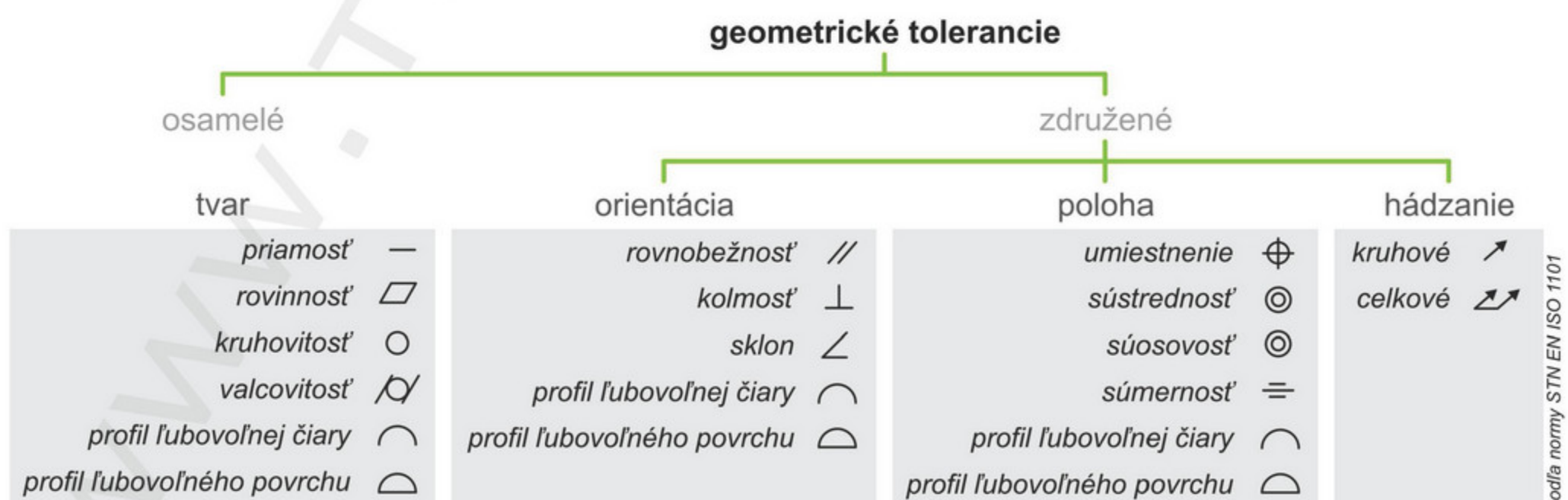
Prvok je určitou špecifickou časťou výrobku (bod, čiara alebo povrch). Môže byť integrálny (napr. vonkajší povrch valca) alebo odvodený (napr. stredná čiara alebo stredný povrch).



Obr.7.1 Tolerovanie

Reálne objekty vyrábané podľa výrobných dokumentácií musia dodržať okrem presnosti rozmerov aj geometrickú presnosť. Spoločne sa všetky druhy tolerancií tvaru, orientácie, polohy a hádzania nazývajú **geometrické tolerancie**. Určujú dovolené odchýlky tvaru, orientácie, polohy alebo hádzania prvku od jeho ideálneho teoretického tvaru, orientácie, polohy alebo hádzania. Uplatňujú sa nezávisle od rozmerov súčiastky, či už dĺžkových alebo uhlových.

Geometrické tolerancie a ich predpis sú popísané v norme STN EN ISO 1101 z roku 2006 [46], ktorá v celom rozsahu nahrádza predošlé normy STN 01 4401 a STN 01 3137 z roku 1981. Podľa tejto normy sa delia do štyroch kategórií (Obr.7.2).



Obr.7.2 Rozdelenie geometrických tolerancií

Odchýlka rozmeru je rozdiel medzi skutočným (nameraným) a menovitým rozmerom.

Odchýlka tvaru je odchýlka tvaru skutočného prvku od jeho menovitého tvaru.

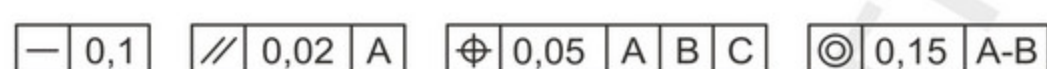
Odchýlka orientácie je odchýlka skutočného prvku od jeho menovitého tvaru a orientácie. Orientácia je vzťahovaná k jednej alebo viacerým základniam.

Odchýlka polohy je odchýlka skutočného prvku od jeho menovitého tvaru, orientácie a polohy. Poloha je vzťahovaná k jednej alebo viacerým základniam.

Na výkrese sa geometrické tolerancie predpisujú tolerančnými rámcami. Tolerančný rámec musí byť spojený s tolerovaným prvkom odkazovou čiarou zakončenou šípkou, ktorá vychádza z jednej zo strán rámčeka (Obr.7.3a). V ľavom poli rámčeka sa uvádza značka geometrickej tolerovanej charakteristiky, v druhom poli rámčeka je udávaná číselná hodnota tolerancie a ak je potrebné, pripájajú sa ďalšie polia, ktoré uvádzajú písmeno alebo písmená označujúce základňu, sústavu základní alebo spoločnú základňu (Obr.7.4).

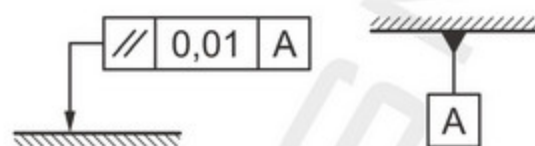


Obr.7.3 Ukážka tolerančného rámčeka na výkrese
a) označenie tolerovaného prvku b) označenie základného prvku, základne



Obr.7.4 Ukážky tolerančných rámciekov s rôznou kombináciou polí

Základňa vzťahovaná na tolerovaný prvok sa označuje písmenom veľkej abecedy zapísaným v rámciku s pripojeným vyplneným alebo prázdny trojuholníkom (Obr.7.3b). To isté písmeno sa uvádza aj v tolerančnom rámciku tolerovaného prvku, ktorého vzťah k základni sa toleruje (Obr.7.5).



Obr.7.5 Ukážka tolerančných rámciekov predpisu tolerancie rovnobežnosti na výkrese

Všeobecné tolerancie

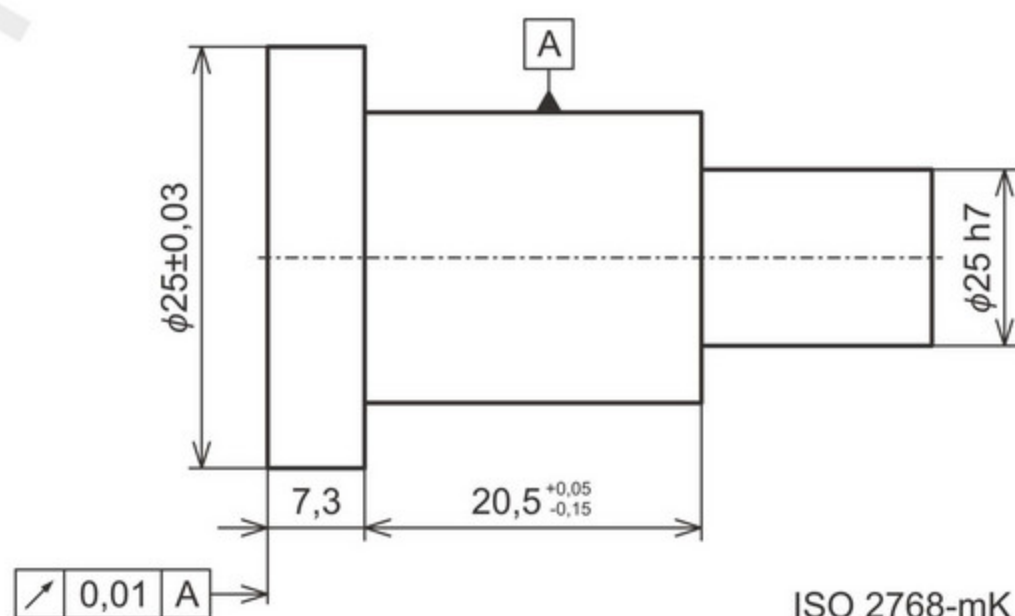
Každému rozmeru a tvaru súčiastky musia byť okrem nominálnej (menovitej) hodnoty predpísané aj dovolené hranice, v ktorých by sa rozmer mal nachádzať, nakoľko nikdy nie je možné vyrobiť rozmer úplne presne na nominálnu hodnotu. Pri hodnotách, ktoré z funkčného dôvodu vyžadujú úzke tolerancie, je dovolená tolerancia predpísaná jednotlivo a priamo pri menovitom rozmere. Pre menej dôležité prvky súčiastky postačujú tzv. všeobecné tolerancie.

Norma ISO 2768 stanovuje predpis všeobecných tolerancií pre tolerancie dĺžkových a uhlových rozmerov (ISO 2768-1) a tiež pre geometrické tolerancie (ISO 2768-2). Pre dĺžkové a uhlové tolerancie udáva norma štyri triedy presnosti: f (jemná), m (stredná), c (hrubá), v (veľmi hrubá). Pre geometrické tolerancie zoraďuje norma hodnoty do troch tried presnosti H, K a L a predpisuje ich pre jednotlivé geometrické charakteristiky jednotlivo (čiže napr. pre priamosť a rovinnosť, pre kruhovitosť, pre súosovosť atď.)

Všeobecné tolerancie sa predpisujú na výkrese v titulnom bloku alebo tesne vedľa neho nasledovne

$$\text{ISO 2768 mK} \quad (7.1)$$

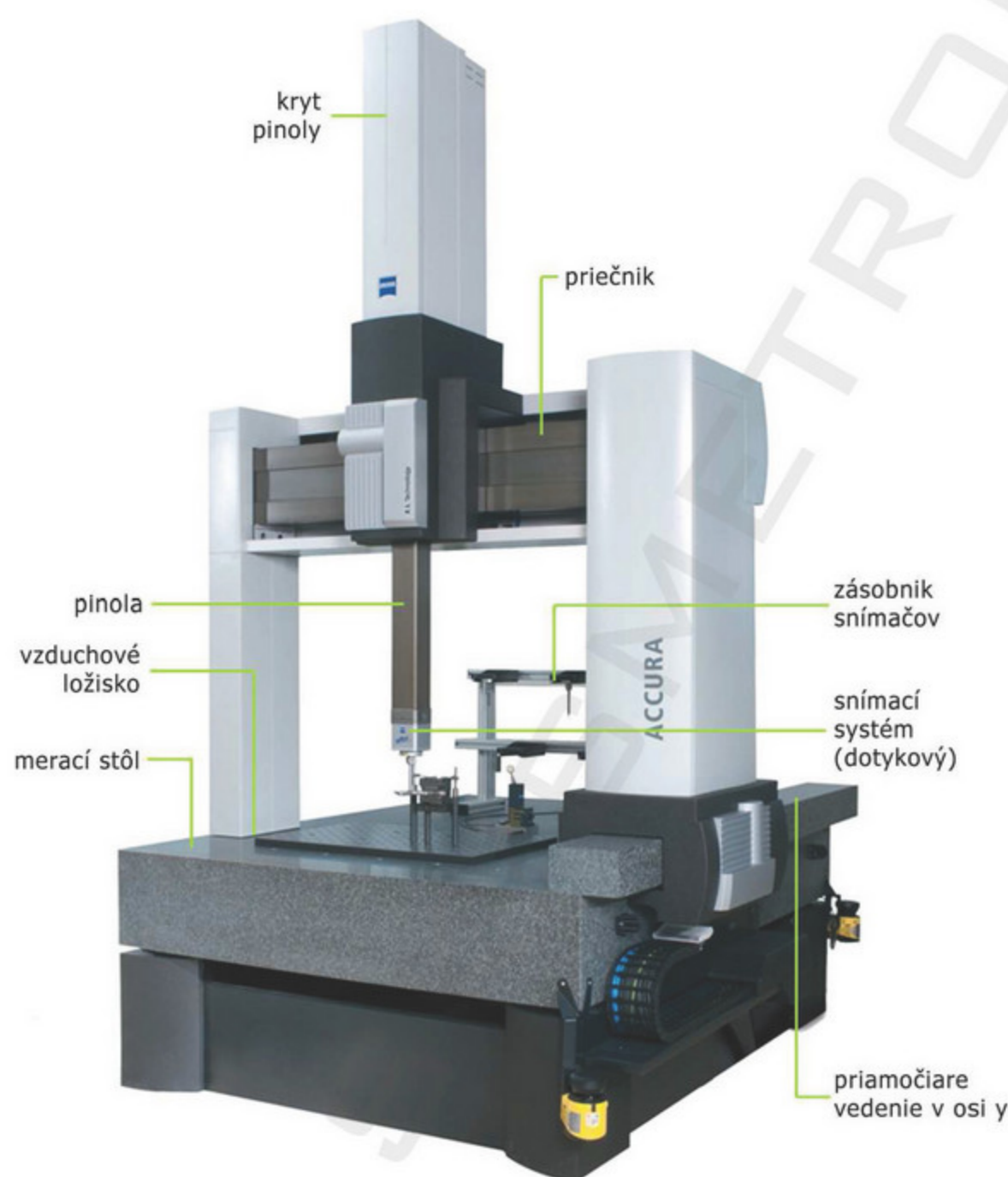
Kde **m** určuje triedu presnosti tolerancií dĺžkových a uhlových rozmerov a **K** určuje triedu presnosti geometrických tolerancií (Obr.7.6).



Obr.7.6 Vzor predpisu rozmerových a geometrických tolerancií na výkrese

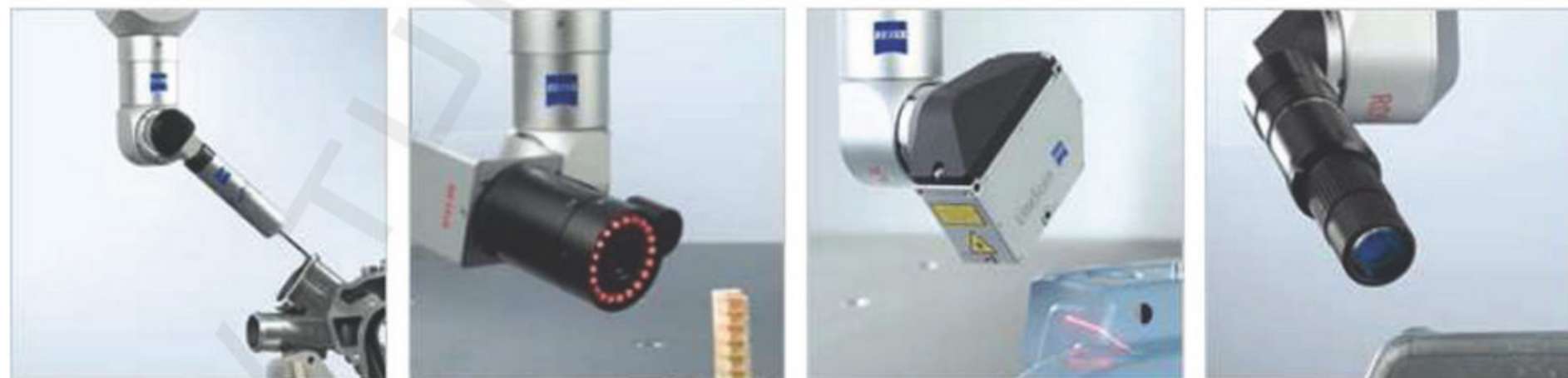
Súradnicová meracia technika

V súčasnej dobe je už v oblasti strojárstva a automobilovej výroby značne zastúpená moderná súradnicová meracia technika, ktorá ponúka univerzálne využitie pri kontrole tvarovo rôznorodých súčiastok. Univerzálnosť spočíva v tom, že využitím jediného súradnicového meracieho stroja (CMM – Coordinate Measuring Machine) (Obr.7.7) je možné merať dĺžkové rozmery, uhly, vyhodnocovať odchýlky tvaru a polohy a to dotykovo i bezdotykovo (Obr.7.8). Dnešné CMM ponúkajú možnosť využívať viacero snímacích systémov. Týmto strojom sa vraví aj multisenzorové CMM.



Obr.7.7 Popis základných častí súradnicového meracieho stroja

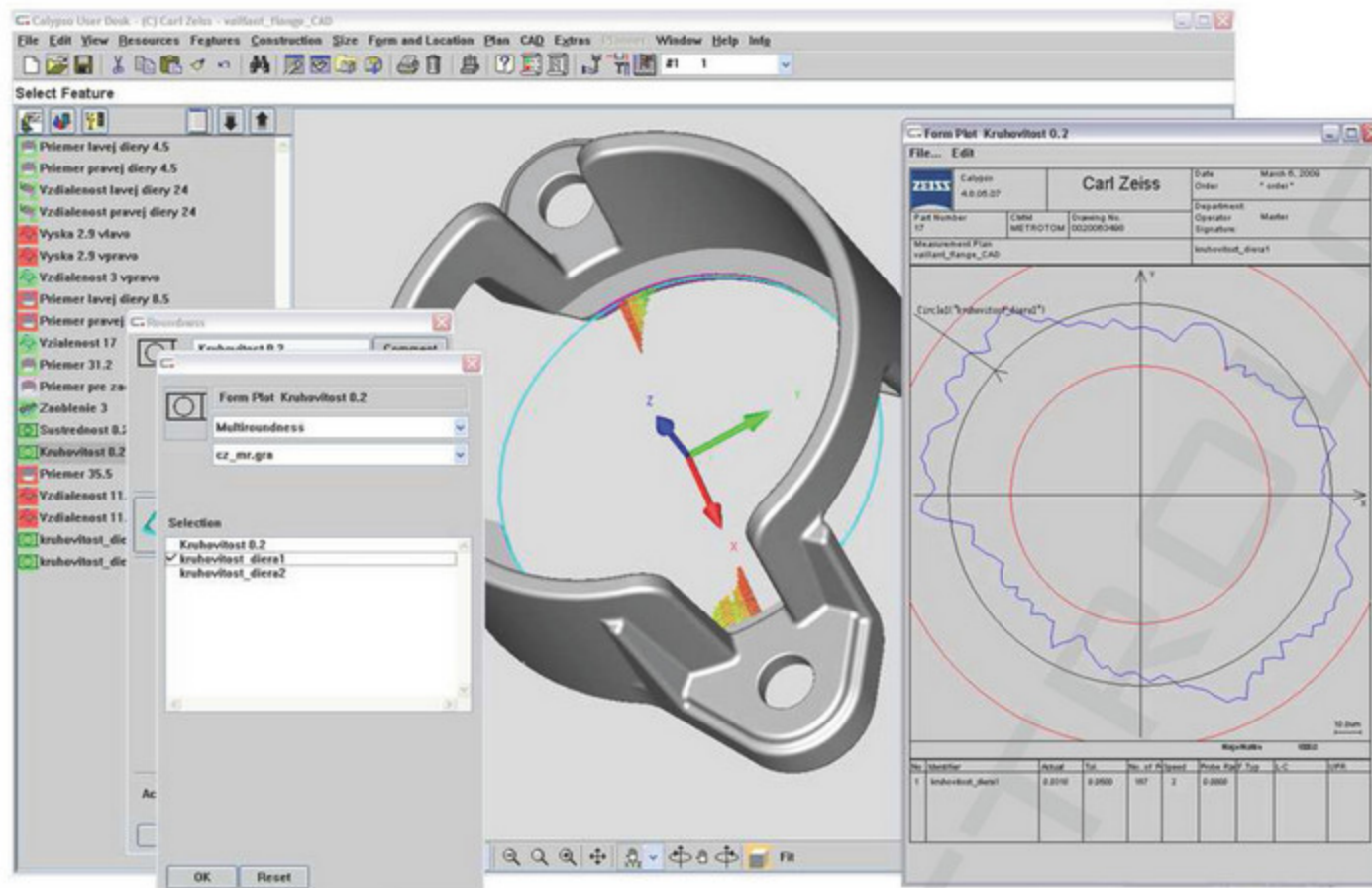
Medzi ponúkané typy snímacích systémov patria dotykové spínacie (jednotlivé snímanie bodov), dotykové skenovacie (spojité snímanie bodov), bezdotykové kamerové (identifikácia hrán), optické bodové (bezdotykové spínacie), laserové priamkové, atď.



Obr.7.8 Typy systémov meracej hlavy: dotykový skenovací (Zeiss RDS VastXXT), optický kamerový (Zeiss RDS ViSCAN), laserový čiarový (Zeiss RDS LineSCAN) a optický bodový (Zeiss RDS DTS)

CMM Contura G2 na Katedre biomedicínskeho inžinierstva, automatizácie a merania TU v Košiciach je portálový typ súradnicového meracieho stroja, ktorý sa pohybuje v kartézskom súradnom systéme (navzájom kolmé osi X, Y a Z), osadená je polohovacou otočnou hlavou RDS, ktorá umožňuje meranie v 20 736 polohách. Hlava sa natáča v dvoch osiach po 2,5°. Na RDS hlavu sa osadzujú meracie hlavy (tzv. sondy). Disponujeme dotykovou skenovacou hlavou VastXXT a tiež bezdotykovou kamerovou hlavou ViSCAN.

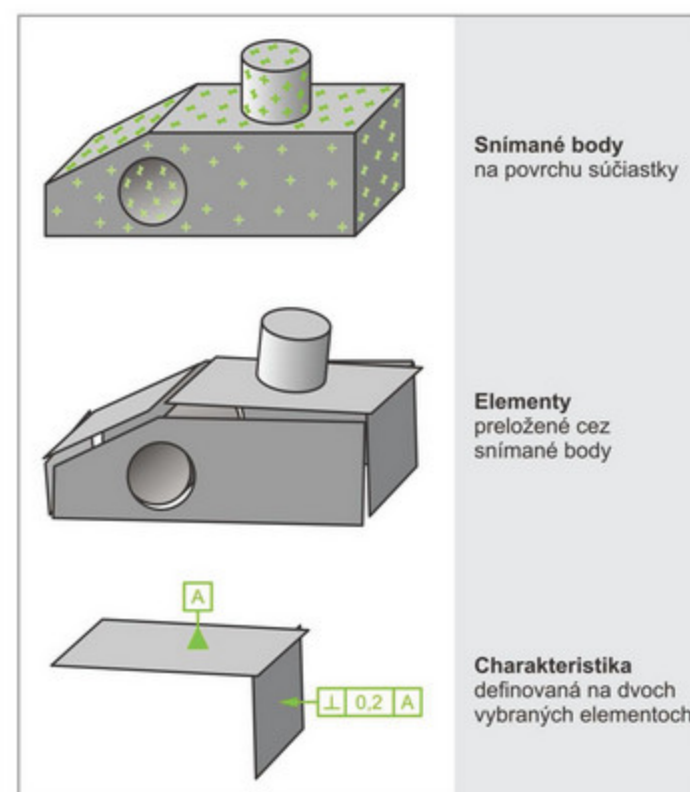
Súradnice snímaných bodov sa prenášajú cez riadiacu jednotku do počítača, kde sa prostredníctvom programu Calypso dáta zbierajú a ďalej spracovávajú (Obr.7.9). Calypso je merací softvér založený na CAD grafickom rozhraní a používa sa pre všetky CMM firmy Carl Zeiss, či už používajú dotykové alebo bezdotykové spôsoby merania. Vytváranie meracieho plánu (tzv. programovanie) je intuitívne a plne grafické. Definované elementy, ich stratégie a charakteristiky sa zadávajú prostredníctvom menu alebo ikon, čo zvyšuje časovú úsporu a tiež zjednodušuje celý proces vytvárania programu.



Obr.7.9 Prostredie programu Calypso

Pri meraní na súradnicových meracích strojoch je nutné pochopiť postupnosť tvorby meracieho plánu (tzv. programu). Každý meraný objekt je zložený z množstva **elementov** – teoretických útvarov (prvkov) ako bod, priamka, rovina, kružnica, valec, guľa atď. (Obr.7.10 vľavo), na ktorých je možné vyhodnocovať niekoľko parametrov, tzv. **charakteristík**. Charakteristiky môžu popisovať jeden element (polomer, dĺžka, súradnica polohy, odchýlka rovinnosti atď.) alebo môžu definovať vzťah medzi elementmi (vzdialenosť, odchýlka kolmosti, uhol, atď.). Príklad definovania elementov pre vyhodnotenie odchýlky kolmosti je na Obr.7.10 vpravo.

Teoretický útvar	Definovanie v priestore	Minimálny počet bodov pre definovanie	Príklad z praxe
Bod	vektor umiestnenia	1	roh hranola (priesečník 3 rovín)
Priamka	bod smerový vektor	2	hrana hranola (priesečník 2 rovín)
Rovina	bod normálový vektor	3	rovina hranola
Kružnica	bod normálový vektor polomer	3	rozstupová kružnica dier
Guľa	bod polomer	4	upínacia časť ťažného zariadenia
Valec	bod smerový vektor polomer	5	osadenie hriadeľa
Kužel	bod smerový vektor uhol kužela	6	trň pre upínanie fréz
Toroid	bod normálový vektor polomer prstenca polomer kružnice	7	zaoblenie prechodu



Obr.7.10 Základné geometrické útvary (vľavo) a definovanie elementov a charakteristík (vpravo)

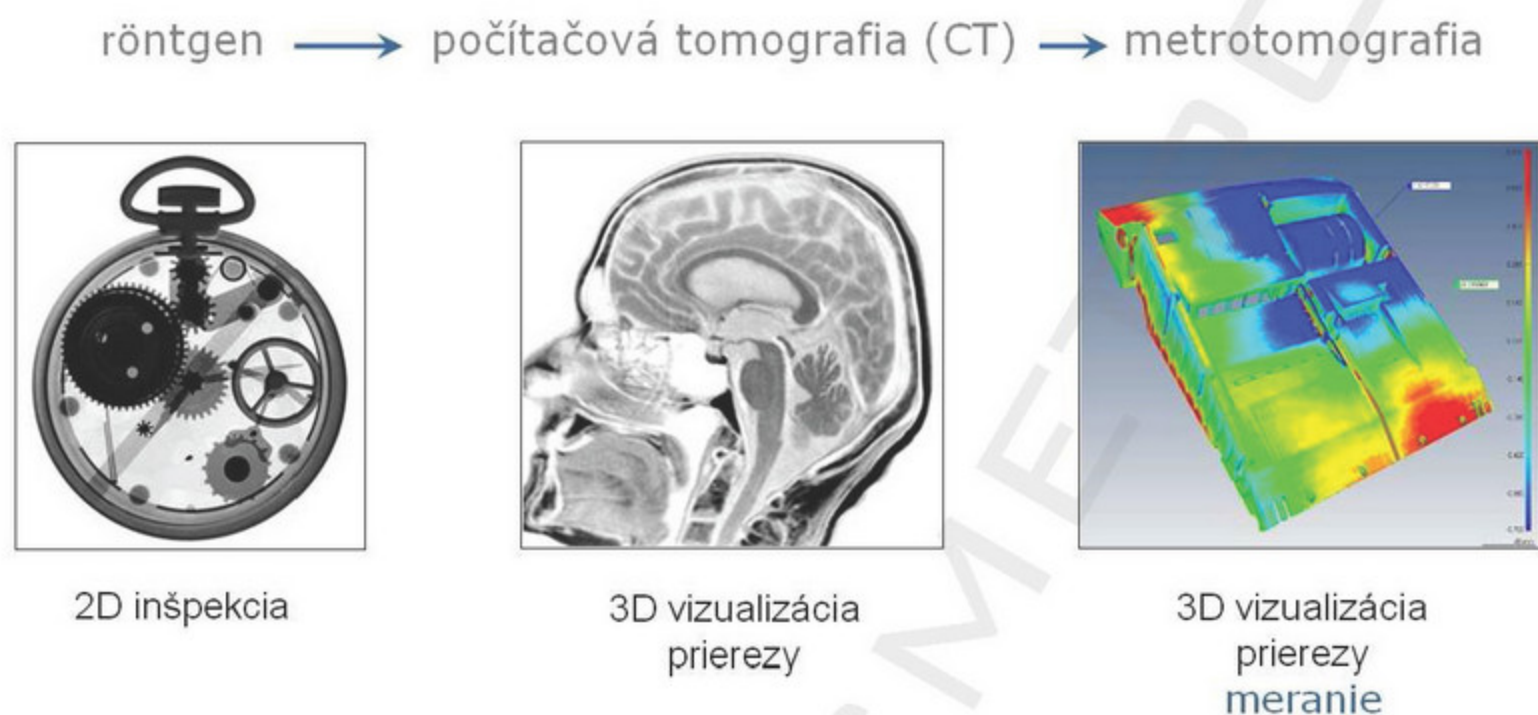
Na jeden element (napr. kružnicu) sa môže vzťahovať viacero charakteristík (napr. priemer, súradnica stredu, odchýlka kruhovitosti, ...) alebo sa pri viacerých elementoch (napr. dve roviny) definuje jedna spoločná charakteristika (napr. uhol medzi rovinami alebo odchýlka kolmosti).

Elementy sú pri súradnicovej meracej technike definované ako reprezentatívne teoretické prvky (geometrické útvary) preložené cez snímané body. Napríklad na definovanie roviny potrebujeme minimálne 3 snímané body (čiže 9 kartézskych súradníc), cez ktoré vieme jednoznačne preložiť rovinu. Ak máme zosnímaných viac bodov reálneho rovinného povrchu, v Calypse sa bodmi preloží rovina ako regresný prvok (najčastejšie metódou najmenších štvorcov).

Počítačová tomografia v metrologii

Počítačová tomografia je inšpekčná metóda, ktorá sa už niekoľko desaťročí využíva v oblasti medicíny na diagnostiku vnútorných orgánov. Vďaka röntgenovému žiareniu, ktoré prechádza tuhými látkami je možné získať informáciu o oblastiach ktoré sú pre ľudské oko nepozorovateľné. Počítačová tomografia predstavuje sofistikovaný spôsob získavania dát, kedy počas rotácie snímacieho systému (pri medicínskych tomografoch) prípadne meraného objektu (pri priemyselných tomografoch) sa postupne zaznamenávajú röntgenové obrazce, z ktorých výpočtová technika vytvorí virtuálny trojrozmerný objekt reprezentujúci reálny snímaný útvar. Touto technológiou sa získavajú nedeštruktívnym spôsobom informácie nie len o vonkajšej geometrii, ale i o objeme objektu (Obr.7.11).

Dnešné priemyselné tomografy sú navrhované pre snímanie s vysokou presnosťou. Vďaka tomu sa ich využitie rozšírilo z diagnostickej oblasti až do oblasti metrologie, kde ponúkajú pridanú hodnotu vo forme presných meracích prístrojov na kontrolu tvarovo veľmi komplikovaných súčiastok, ktoré doteraz nebolo možné merať inou technológiou. Ide väčšinou o súčiastky s oblasťami nedostupnými pre konvenčnú meraciu techniku či už dotykovú (dotykové sondy) alebo bezdotykovú (kamerové či laserové sondy).



Obr.7.11 Počítačová tomografia (CT)

Priemyselná tomografia vo všeobecnosti ponúka tieto možnosti využitia (Obr.7.12)

- testovanie
- kvalita spojov v zostavách,
- analýza pórovitosti,
- analýza porúch a defektov,
- inšpekcia materiálu,
- meranie rozmerov vonkajších i vnútorných prvkov,
- spätné inžinierstvo (získanie CAD modelu z reálnej súčiastky),
- porovnávanie celkovej geometrie menovitej s reálnou (zosnímanou).



Obr.7.12 Možnosti využitia počítačovej tomografie

Výstupom zo snímania je mračno bodov. Je to hustá sieť bodov v priestore, kde každý bod nesie informáciu o tom, akú priepustnosť žiarenia (hustotu materiálu) mal objekt v danom mieste. Podľa tejto informácie je možné oddeliť jednotlivé zložky (napr. vzduch, plasty, kovy atď.) a pracovať s prvkami samostatne. Pri načítaní mračna bodov do softvéru pre meranie je možné rýchlo vyhodnotiť ľubovoľné dĺžkové rozmery, uhly, odchýlky tvaru či polohy aj v skrytých oblastiach.