

Bezkontaktní neinvazivní měřicí, diagnostické a kontrolní metody se prudce rozvíjí zejména v posledních dvou desetiletích, především z důvodu stále vyšších požadavků kladených na kvalitu výroby a intenzivního rozvoje moderních prvků a systémů v oblasti elektroniky, fotoniky, mikro a nanotechnologií. V poslední době je snaha tyto metody využívat nejen ve vědě, ale i v průmyslové či stavební výrobě pro rychlou bezkontaktní kontrolu kvality výrobků nebo materiálu, popř. pro odhalování jejich vad jak v procesu výrobní kontroly tak v provozu – tím je rozvíjena problematika výrobní kontroly a defektoskopie. Jedná se velmi perspektivní problematiku, která se stále rozvíjí a kde lze i do budoucna očekávat mnohé pokroky.

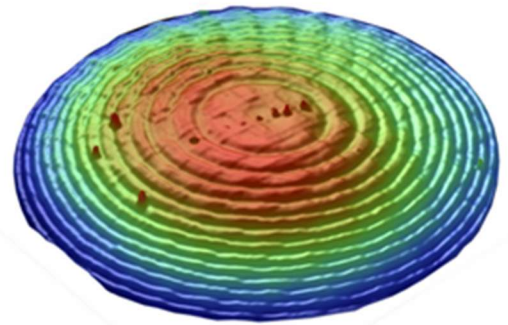
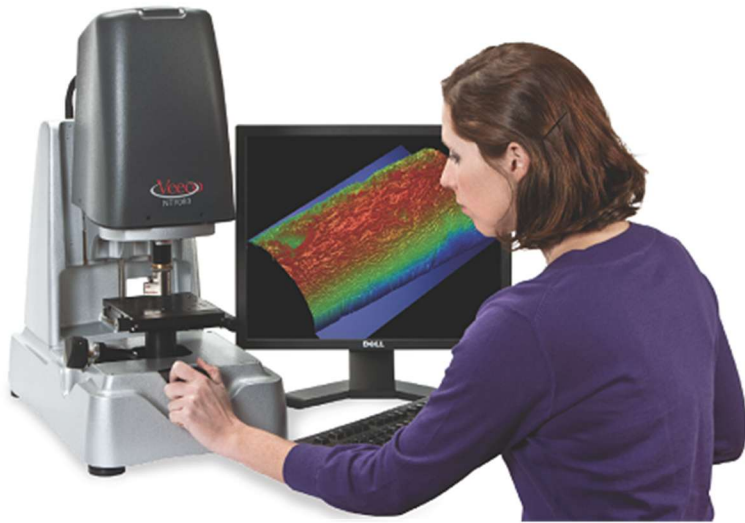
Cílem předmětu je podrobné seznámení s fyzikálními principy fungování a aplikacemi různých bezkontaktních metod, které se dají využít v oblasti experimentální mechaniky, materiálového inženýrství, průmyslové kontroly a defektoskopie. V současné době existuje velké množství rozličných bezkontaktních měřicích a diagnostických metod, které především využívají optického záření. Nicméně samozřejmě existují další metody využívající jiné typy EM záření nebo akustických a ultraakustického vlnění jako neinvazivní sondy pro zkoumání vlastností materiálů a konstrukcí (např. mechanických, termických, elektromagnetických, optických, chemických, geometrických parametrů). Předmět se primárně zaměřuje na metody běžně využívané ve vědecké nebo průmyslové praxi.

Pro studium doktorského předmětu **Bezkontaktní metody v experimentální mechanice** je doporučeno si zapsat též předmět [Optika a optoelektronika](#), který vytváří solidní základ pro snadné pochopení vykládané problematiky a porozumění měřicím a diagnostickým metodám, jež fungují na různých fyzikálních principech.

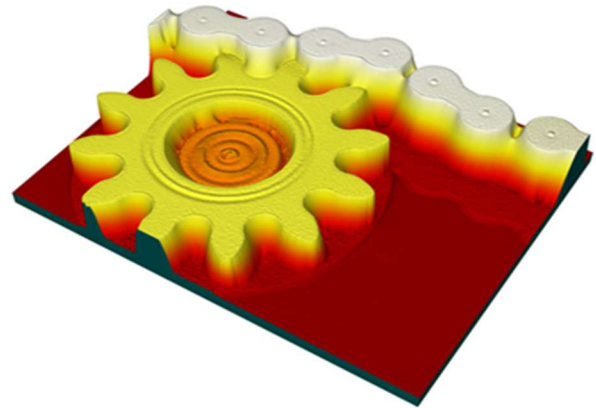
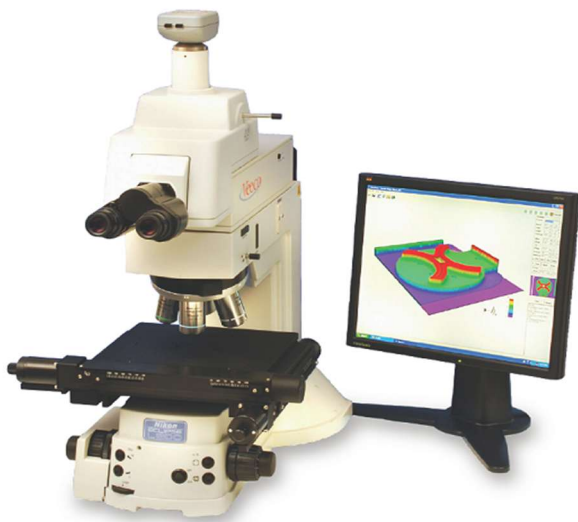
V oblasti experimentální mechaniky, materiálového inženýrství, průmyslové kontroly a defektoskopie nás primárně zajímá určování geometrických rozměrů, topografie povrchů, analýza posunů, deformací a napětí, určování vnitřní struktury, měření dynamických změn (vibrací a rychlostí) vyšetřovaných objektů. Pro tyto úlohy se dají využít různé měřicí a vyhodnocovací metody, o kterých studenti v rámci tohoto předmětu získají základní informace - např. o následující problematice:

Bezkontaktní metody měření mikro a makrotopografie povrchů

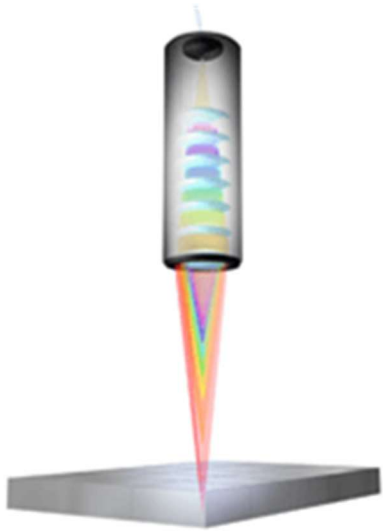
Kvantitativní zjišťování tvaru povrchů různých objektů v mikroskopickém i makroskopickém měřítku je velmi častou úlohou, která se vyskytuje ve vědě i průmyslu. Absolutní měření tvaru nebo relativní porovnávání s nějakým referenčním tvarem se dá principiálně provádět pomocí různých měřicích metod, jež fungují na odlišných fyzikálně-technických principech. Velmi často se pro tuto problematiku využívají interferometrické metody, které aplikují princip dvousvazkové nebo vícesvazkové optické interferometrie pomocí monochromatického nebo polychromatického optického záření. Lze měřit jak opticky hladké tak i opticky drsné povrchy a určovat drsnost povrchů. V praxi probíhá buď snímání celé měřené oblasti v reálném čase nebo se provádí skenování vyšetřovaných vzorků.



Dalšími metodami jsou mikroskopické metody, např. konfokální skenovací mikroskopie, holografické mikroskopie nebo skenovací optická mikroskopie blízkého pole (SNOM). Tyto metody umožňují charakterizovat povrchy s vysokou přesností ve velmi malých oblastech.



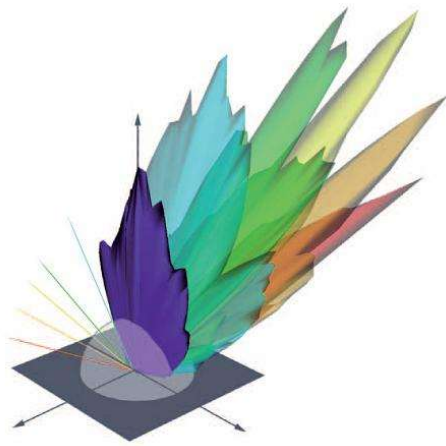
Na bázi konfokálního principu s při měření s polychromatickým zdrojem záření pracují též senzory, které využívají spektrální informace pro velmi přesné měření výšky povrchu. Tuto metodu je možné měřit i tloušťky vrstev nebo vzdálenosti.



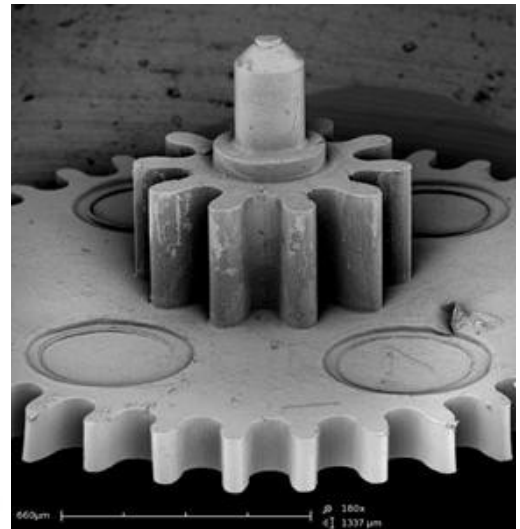
Tvar povrchu lze získat i pomocí fotogrammetrických metod a metodami laserového skenování. Jiné metody a přístroje pracují na principu optické deflektometrie či projekčních technik. Tyto metody umožňují měření 3D topografie v reálném čase s dostatečnou přesností, což je možno využít u průmyslových systémů kontroly.



Pro kvantitativní měření drsnosti povrchů, jejíž určování je důležité v průmyslové praxi, se často též používají optické rozptylové metody založené na měření intenzity rozptýleného světla po odrazu na měřeném povrchu.

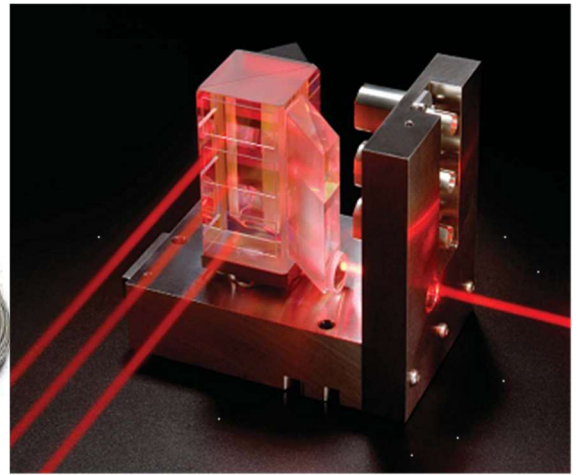


Kromě optických metod samozřejmě existují i další bezkontaktní metody charakterizace povrchů a jejich tvaru. Jedná se zejména o metody elektronové mikroskopie (SEM – Scanning Electron Microscopy, TEM – Transmission Electron Microscopy). Tyto metody umožňují zkoumat mikrostrukturu povrchů různých typů materiálů.

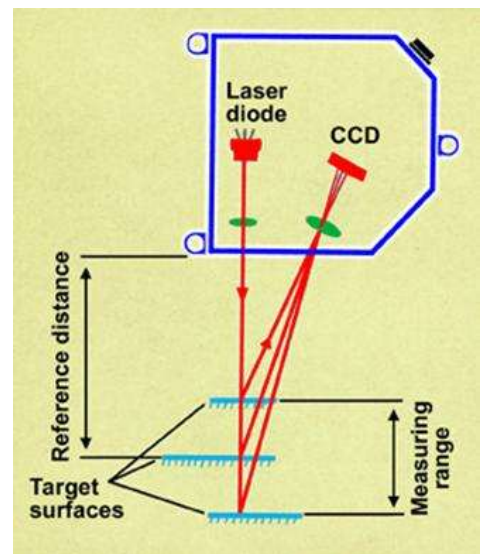


Bezkontaktní metody měření vzdáleností, tloušťky a vnitřní struktury vrstev materiálu

Důležitou úlohou ve vědě a technice je přesné měření vzdálenosti. K tomu lze využít celé spektrum metod. Vysoce přesné jsou metody založené na interferenci elektromagnetických vln. Tyto metody využívají buď optické nebo mikrovlnné spektrum a jsou široce používány např. pro přesná měření délek v průmyslu nebo pro měření délek v geodézii.



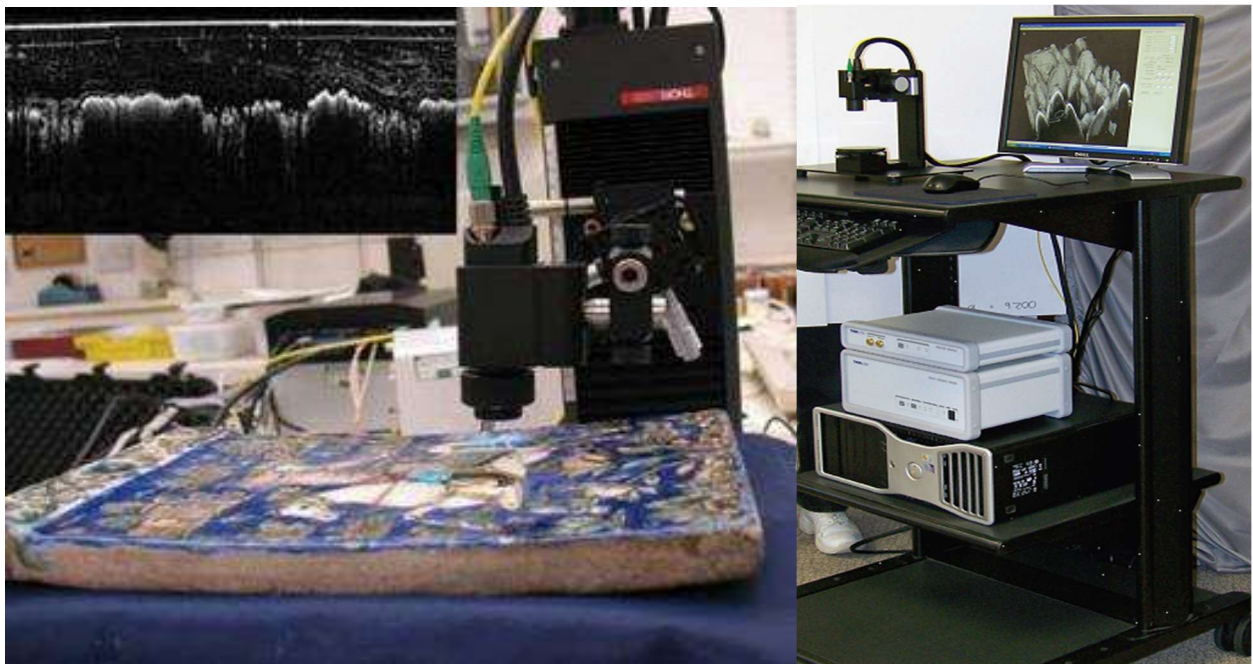
Triangulační metody měření vzdáleností využívají čistě geometrického principu a laserových svazků. Záznamem pozice stopy odraženého svazku na fotodetektoru (CCD, PSD) a známé geometrické konstrukce senzoru lze zjistit velmi přesně vzdálenost povrchu, na němž se svazek odráží.



K měření vzdálenosti a změny pozice se též často využívají i různé neoptické senzory, založené např. na změně kapacity. Tyto kapacitní senzory umožňují vysoce přesně určit změny polohy kontrolovaného povrchu.



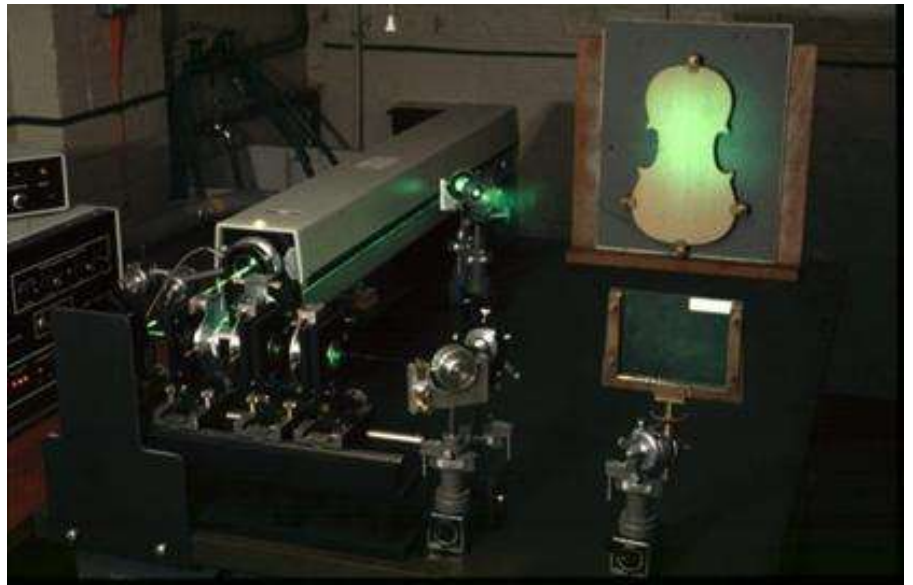
V současnosti je velmi progresivně se rozvíjející metodou optická koherenční tomografie, což je interferometrická metoda, která umožňuje pomocí optického záření určit vnitřní strukturu vyšetřovaných materiálů, jež musí být alespoň částečně propustné pro optické záření. Metoda využívá nízkokoherenčních zdrojů záření a dá se využít i v materiálovém inženýrství a nedestruktivním testování v průmyslu.



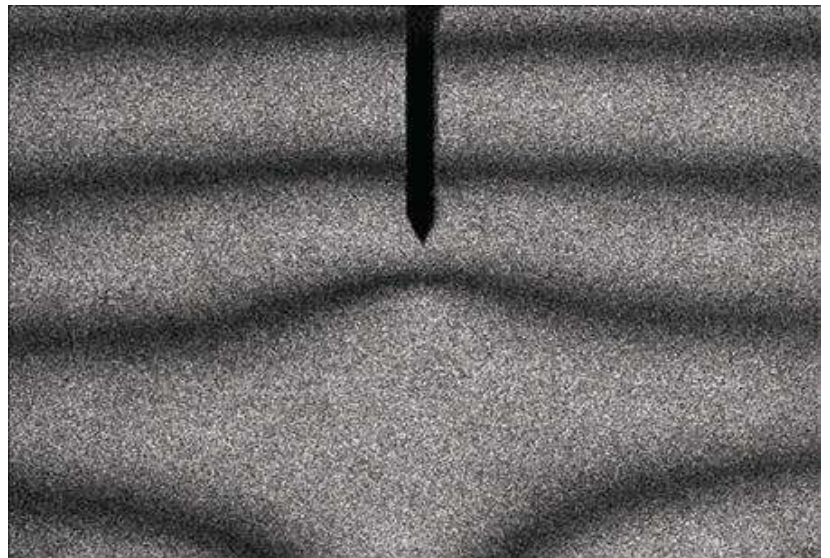
Bezkontaktní metody měření deformací, posunů a napětí

Velmi důležitou problematikou v oblasti experimentální mechaniky je kvalitativní i kvantitativní analýza posunů a deformací a napětí vznikajících v různých materiálech a konstrukcích. V

praxi existuje velké množství bezkontaktních optických metod, které umožňují deformace a posuny měřit nebo vizualizovat. Přetvoření a napětí jsou poté obvykle vypočítávány z hodnot posunutí. Jednou ze starších metod je tzv. holografická interferometrie, která umožňuje kvantitativně analyzovat statické i dynamické deformace těles pomocí holografického principu.



V současnosti velmi často využívanou metodou je tzv. spekl interferometrie (ESPI – Electronic Speckle Pattern Interferometry), což je opět interferometrická metoda umožňující měřit statické i dynamické deformace těles v prakticky reálném čase.



Často se pro měření deformací používají tzv. moiré metody, které jsou založeny na moiré efektu při superpozici periodických struktur (mřížek), nebo korelační metody, jež využívají

matematické vyhodnocování posunů na základě korelační analýzy zaznamenaných digitálních obrazů povrchu vyšetřovaného objektu. Méně často je pak využívána metoda digitální fotoelasticimetrie, která umožňuje analyzovat a kvantifikovat napětí, jež vznikají v konstrukci.

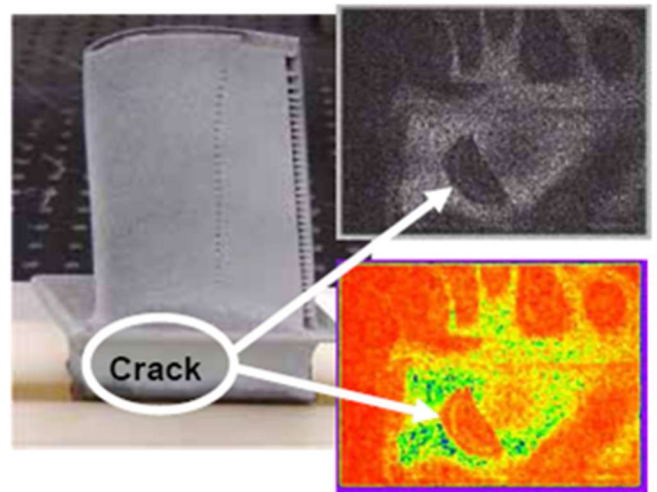


Pro mechanické zkoušení materiálů při tahových zkouškách lze využít laserové extenzometry, které velmi přesně a bezkontaktně dokáží měřit změnu délky vyšetřovaného vzorku. Tyto přístroje jsou modifikací klasických extenzometrů, kdy změna délky vzorku je měřena kontaktním způsobem.



Bezkontaktní metody měření vibrací a rychlostí pohybu

V mnohých aplikacích v praxi je důležité umět analyzovat nejen statické, ale i dynamické deformace vyšetřovaných objektů. K tomu může sloužit celá škála měřicích metod. Jednou z nich je digitální spekl interferometrie (ESPI – Electronic Speckle Pattern Interferometry), která umožňuje získat výsledky měření vibrací na celé oblasti v prakticky reálném čase.



Jinou metodou je využívání korelačních metod a vysokorychlostních digitálních kamer, jež využívají matematické vyhodnocování posunů na základě korelační analýzy zaznamenaných digitálních obrazů povrchu vyšetřovaného objektu a umožňují analyzovat vibrace předmětu v reálném čase.



Často se při měření dynamických deformací nebo rychlosti proudění tekutin používají metody, které aplikují Dopplerův jev a na jeho základě vyhodnocují kvantitativně vibrace

nebo rychlost pohybu částic v takutině. Pro měření vibrací se využívají metody laserové skenovací Dopplerovské vibrometrie.



Pro měření rychlosti proudění tekutin se mimo metod založených na korelačních technikách užívá tzv. Dopplerovská laserová anemometrie, jež umožňuje určit velikost a směr vektoru rychlosti částic tekutiny, na nichž se rozptyluje laserové záření. Určením změny frekvence pomocí interferometrických metod lze pak vypočítat rychlost pohybu částic.

