

LASERSKA TEHNIKA V GEODEZIJI

dr. Aleš Breznikar

FGG-Oddelek za geodezijo, Ljubljana

Prispelo za objavo: 23-05-1996

Pripravljeno za objavo: 21-06-1996

Izvleček

V prispevku je podan pregled načinov uporabe laserske tehnike pri reševanju različnih geodetskih nalog. Opisan je osnovni princip delovanja laserja ter prednosti laserske svetlobe v primerjavi z običajnimi izvori svetlobe.

Ključne besede: laser, interferometrija

1 UVOD

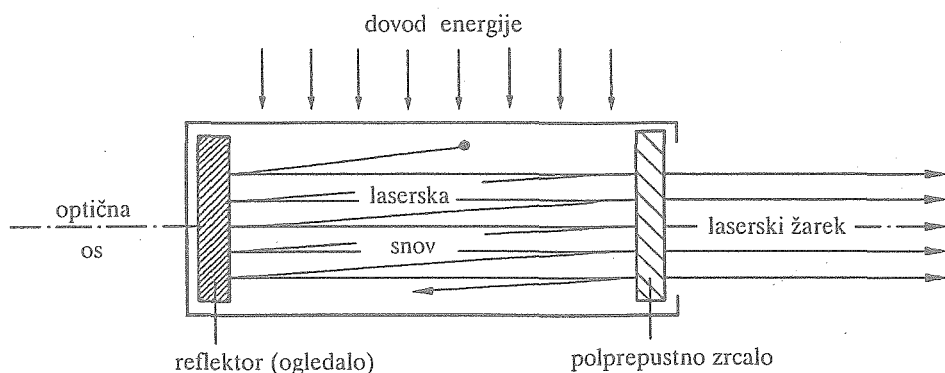
V zadnjih dveh desetletjih so laserji postali zelo pomembni svetlobni izvori, ki jih zaradi specifičnih lastnosti lahko uporabljamo na zelo različnih tehničnih področjih. Srečujemo jih v vojaški tehniki, strojništvu, elektroniki, gradbeništvu, medicini, pa tudi na drugih področjih. Tudi v geodeziji omogoča uporaba laserja pri določenih nalogah zelo uspešno reševanje problemov. Laserji imajo v primerjavi z običajnimi izvori svetlobe nekaj zelo uporabnih prednosti, ki pri določenih nalogah pomenijo velik prihranek časa in gospodarnost pri izvedbi določene naloge.

2 OSNOVNE LASTNOSTI LASERSKE SVETLOBE

Običajno je laser zgrajen na naslednji način (Slika 1): V lasersko snov, ki se nahaja med dvema zrcaloma, od katerih je eno polprepustno, dovajamo energijo, ki v tej snovi izbije fotone in privede atome v vzbujeno stanje. Ti atomi potem deloma spontano prehajajo v osnovno stanje, pri čemer emitirajo fotone energije – svetlobo. Ta svetloba se odbija med zrcaloma tako, da nastane stoječe svetlobno valovanje določene valovne dolžine. Pri vsakokratnem prehodu skozi lasersko snov se svetloba s stimulirano emisijo ojači. Večkratni odboj svetlobe na vzporednih zrcalih izloči žarke, ki se ne širijo v smeri pravokotno na zrcali, hkrati pa ojača vzporedne žarke določene valovne dolžine, ki so pravokotni na zrcali. Svetloba, ki izhaja skozi polprepustno zrcalo je vzporedna, enobarvna in koherentna in predstavlja laserski žarek. Takšno valovanje je mogoče z zbirno lečo fokusirati na izredno majhno območje, kjer nastane izredno velika gostota energijskega toka.

Laserski žarek ima v primerjavi z običajnimi svetlobnimi izvori naslednje karakteristične lastnosti, ki jih lahko s pridom uporabimo pri merskotehničnih nalogah:

1) monokromatska svetloba, ki jo dobimo v laserju, je konstantne valovne dolžine. Pri helijneonskem laserju, ki je pri merskih instrumentih največkrat uporabljen, znaša 632,8 nm.



Slika 1: Osnovni princip delovanja laserja

2) Laserska svetloba je časovno in prostorsko koherentna. Časovna koherentnost pomeni, da fazi valovanj, ki sta oddani z iste točke v dveh zaporednih časovnih intervalih, korelirata. Prostorska koherenca pa pomeni, da korelirata fazi dveh valov, oddani istočasno z dveh različnih točk svetlobnega izvora.

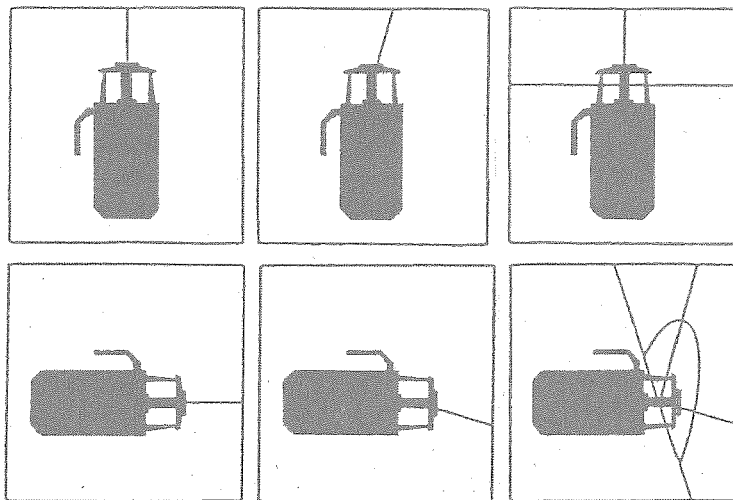
3) Divergenčni kot je zelo majhen. To pomeni, da je gostota energije laserskega žarka tudi na večji razdalji še vedno velika. S pomočjo optike lahko zagotovimo, da je snop laserskega žarka vzporeden tudi na daljše razdalje in je s tem premer laserskega žarka skoraj konstanten (tudi na več 100 m).

Prvi dve lastnosti sta pomembni predvsem za interferometrično merjenje razdalj oziroma premikov. Na ta način je mogoče izmeriti dolžine, oziroma razlike dolžin z natančnostjo nekaj mikronov na razdalji 20 m oziroma v izjemnih primerih tudi do 50 m. Tretja lastnost pa omogoča uporabo laserskega žarka kot aktivni cilj pri grezenju, usmerjanju, pri merjenju višinskih razlik, pa tudi kot izvor velikih energetske gostote za merjenje dolžin brez reflektorjev in za označevanje ciljev pri uporabi brez dotikalnih metod merjenja. Aktivna os ima to prednost, da lahko na poljubnem mestu vzdolž laserskega žarka s pomočjo tarče ali fotoelektričnega detektorja izmerimo odmik brez prisotnosti osebe za merskim instrumentom.

3 RAZLIČNI NAČINI UPORABE LASERJA

3.1 Laser kot izvor svetlobe za aktivno os

Široko področje uporabe ima laser pri merskotekničnih delih za izvedbo gradbenih del. Pri tem se laser uporablja kot svetlobni izvor v instrumentu za določanje ploskev ali za določanje smeri (Slika 2). Proizvajalci te vrste opreme v večini primerov izdelujejo instrumente, ki omogočajo oboje hkrati. Z dodatkom rotacijske prizme je žarek usmerjen in z rotacijo opisuje ravnino. Poleg tega je možno nastaviti laserski žarek v poljubni smeri oziroma v poljubni ravnini.



Slika 2: Različne možnosti izvedbe laserskega žarka kot aktivne osi

Konec 80-tih let je bila razvita tudi elektronska laserska nivelmanska lata, pri kateri ni potrebno detektorja ročno premikati po lati. Pri tej nivelmanski lati so po celotni dolžini nameščeni elektronski detektorji. Vrednost odčitka na mestu, kjer laserski žarek zadene lato, se izpiše na ekranu v digitalni obliki. Nivelmanska lata omogoča uporabniku direkten odčitek višine od pete late ali pa določanje višinske razlike glede na predhodno izmerjeno izhodiščno točko.

Moderna laserska tehnika nudi gospodarne izvedbe meritev tudi pri polaganju cevovodov in pri usmerjanju strojev za kopanje tunelov. Pri polaganju cevovodov namestimo laser s pomočjo posebnih stojal direktno v cev. Smer laserskega žarka naravnamo na projektirani nagib, potem pa uravnavamo cevovod tako, da na koncu cevi dobimo željeni odčitek. Laserske naprave pri takšnih gradbenih delih so običajno izdelane v robustni izvedbi in so neobčutljive na vremenske pogoje (vodotesnost). Upravljanje z lasersko napravo je enostavno. Instrument horizontiramo z dozno libelo, končno horizontiranje pa opravi instrument sam s pomočjo kompenzatorja.

3.2 Merjenje razdalj brez prizme

Zaradi visoke gostote energije laserskega žarka je mogoče meriti razdalje z instrumenti, ki imajo laserski izvor svetlobe, brez reflektorja na cilju. Od ravnih trdih ali pa tudi tekočih površin se namreč še vedno odbije dovolj laserske svetlobe, da jo lahko instrument registrira in izvednoti. Pri takšnem načinu merjenja deluje instrument v impulznem načinu. Na osnovi merjenega časa potovanja impulza od instrumenta do cilja in nazaj, in hitrosti valovanja instrument izračuna razdaljo. S takšnim načinom merjenja je mogoče reševati naloge, ki jih z običajnimi razdaljemerji, kateri potrebujejo prizmo na ciljni točki, ne moremo izvesti oziroma z velikimi stroški in trdom. To so predvsem naloge:

- merjenje premikov nedostopnih točk: v kamnolomih, dnevnih kopih, na plazovitih območjih

- ☐ meritve v notranjosti zgradb
- ☐ meritve profilov v velikih jamah
- ☐ ne dotikalni način izmere volumna tekočine v velikih posodah
- ☐ izmera dolžin do površin, na katere ni mogoče namestiti prizme (polirane površine ali kovine v tekočem stanju).

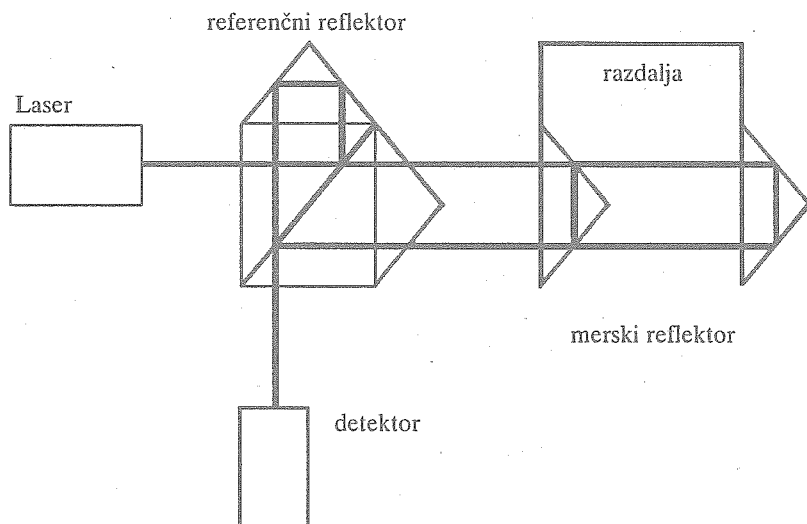
Na trgu je navzočih kar nekaj laserskih razdaljemetrov, ki jih proizvajalci ponujajo v različnih izvedbah:

- ☐ kot ročne razdaljemere, ki jih med merjenjem držimo v rokah
- ☐ kot razdaljemere na stativu
- ☐ kot na teodolite natakljive instrumente.

Merjenje razdalj brez prizme je omejeno do 1 000 m, pri čemer je doseg odvisen od naslednjih parametrov: hrapavosti površine, barve površine, strukture, položaja površine glede na pravokotnost merskega žarka. Proizvajalčeve deklaracije o natančnosti laserskih razdaljemetrov so med 5 in 20 mm. Pri tem je pomemben tudi divergenčni kot laserskega žarka, ki se giblje med 1 mradom pa do 2,4 mrada (3,5" – 8,2"), kar pomeni, da je na 100 m snop laserskega žarka širok od 100 do 250 mm. Laserske razdaljemere lahko uporabljamo tudi s prizmi, pri čemer se doseg zelo poveča.

3.3 Interferometri

Pri interferometričnem merjenju razdalj izkoriščamo monokromatičnost in koherentnost laserskega žarka. Osnovna zgradba Michelsonovega interferometra je prikazana na sliki 3.



Slika 3: Michelsonov interferometer

Laserski žarek se na referenčni prizmi razdeli tako, da del žarka pade direktno na detektor, drugi del – merski žarek pa teče k merski prizmi in se po odboju prav tako usmeri k detektorju. Pri tem pride do prekrivanja svetlih in temnih

interferenčnih pasov, kar predstavlja premik polovice valovne dolžine. Števec na izhodu detektorja šteje število minimalnih in maksimalnih intenzivnosti. Na podlagi tega lahko pot merskega žarka določimo z zelo visoko natančnostjo. Z uporabo dvofrekvenčnega laserja in z uporabo Dopplerjevega efekta lahko dosežemo natančnost nekaj nanometrov.

Na takšen način zgrajene interferometre uporabljamo za umerjanje komparatorjev. Pri tem je pomembno, da sta frekvenca in valovna dolžina laserskega žarka stabilni. Zato morajo biti atmosferski pogoji vzdolž poti laserskega žarka stabilni in čimbolj natančno registrirani. Najpomembnejši faktor, ki vpliva na doseženo natančnost merjenja z interferometrom, je prav natančnost zajemanja atmosferskih pogojev vzdolž laserskega žarka. Interferometer mogoča v povezavi z različnimi dodatnimi pripravami tudi merjenje premočrtnosti, pravokotnosti, hitrosti itd. Laserska interferometrija omogoča tudi spremljanje periodičnih nihanj. Reflektor je pritrjen na nihajoči se objekt, na primer na cerkveni zvonik, katerega zvon povzroča nihanje. Z interferometrom, ki je postavljen na stabilnem mestu, lahko tako registriramo nihanje zvonika. Vpliv atmosferskih pogojev je v tem primeru manj pomemben, ker merimo le majhne amplitude. Težave se lahko pojavijo zaradi vpliva atmosferske turbulence, kar pa lahko rešimo na ta način, da laserski žarek zaščitimo s posebno cevjo.

Uporaba interferometra

3.4 Drugi načini uporabe laserjev

Zelo široko uporabo laserjev lahko najdemo pri industrijskih meritvah, pri tako imenovani lasersko-optični triangulaciji. Omeniti velja uporabo laserskega žarka pri industrijskih merskih sistemih. Pri tem je eden teodolit merskega sistema opremljen z laserskim okularjem, tako da predstavlja laserski žarek vizurno os. Na merjenem objektu povzroči ta žarek svetlobno piko, ki služi kot ciljna točka za drugi teodolit merskega sistema. Na ta način lahko občutljive površine izmerimo brez dotika. Za avtomatske industrijske sisteme je laserska pika kot ciljna točka velika prednost, saj omogoča avtomatsko krmiljenje celotnega sistema meritev.

4 ZAKLJUČEK

Kot je razvidno iz opisanih primerov uporabe, omogoča laserska svetloba racionalnejšo izvedbo cele vrste geodetskih nalog, predvsem s področja inženirske geodezije. Medtem ko je pri nalogah iz področja interferometrije bistven poudarek na natančnosti meritev, je pri drugih pomembna racionalnost, oziroma gospodarnost izvedbe geodetskih meritev. Pomembno je tudi dejstvo, da laserji omogočajo avtomatizacijo izvedbe meritev. V določenih primerih lahko merski sistemi delujejo brez operatorjev za instrumenti.

Literatura:

- Henneche, F. et al., *Handbuch Ingenieurvermessung. Band 1 Grundlagen*. Heidelberg, Wichmann Verlag, 1994
- Kašpar, M., *Modern Laser Techniques for Aligning of Pipelines and Shield Control of Pipe-jacking Sets. 1st International Symposium of Laser Technique in Geodesy and Mine Surveying*. Zbornik del. Ljubljana, 1995, str. 88-96

Maurer, W., Schnaedlbach, K., *Laserinterferometry – Ten Years Experience in Calibrating Invar Leveling Staffs. 1st International Symposium of Laser Technique in Geodesy and Mine Surveying. Zbornik del. Ljubljana, 1995, str. 1-8*

Solarić, N. et al., *Semi-automatic Determination of Cross-section in the Tunnels by Means of the Hand-held Laser meter „Leica-disto“. 1st International Symposium of Laser Technique in Geodesy and Mine Surveying. Zbornik del. Ljubljana, 1995, str. 53-60*

Recenzija: Miroslav Logar (v delu)
prof.dr. Florjan Vodopivec