

1. előadás: Fizikai távmérés. Mérnöki távmérők. A távmérési eredmény feldolgozása

A fizikai távmérés végrehajtásakor a mérendő távolságot valamilyen fizikai jelenség felhasználásával és fizikai mennyiségek megméréseivel határozzuk meg. A távméréshez az elektromágneses hullámok terjedését használhatjuk fel. A távmérést modulált fény (elektrooptikai távmérés) vagy modulált rádióhullám (mikrohullámú távmérés) segítségével hajthatjuk végre.

A **moduláció** annyit jelent, hogy a vivőhullámra valamilyen **mérőjelet** „ültetünk”, és a mérőjel „vizsgálata” teszi lehetővé a távolság meghatározását.

A rendszerek között megkülönböztethetünk ún. **egy utas** (az adó a mérendő távolság egyik végpontján, míg a vevő a mérendő távolság másik végpontján helyezkedik el), illetve **két utas** (az adó és a vevő egységet egyesítő **mérőműszer** a mérendő távolság egyik végpontján áll, míg a másik végponton egy **visszaverő berendezést** helyezünk el). A továbbiakban a távmérés módszerei közül csak a modulált fényt felhasználó elektrooptikai távmérés kérdéseivel foglalkozunk.

A visszaverő berendezés fénytávmérő esetén egy speciális üveg**prizma**, amely egy fényvisszaverő anyaggal bevont üvegekocka testátlóra merőlegesen lemetszett sarka. Az így kialakuló három, egymásra kölcsönösen merőlege felületről a beérkező mérőjel önmagával párhuzamos irányban verődik vissza, így visszajut az azt kibocsátó mérőműszerbe. Így a prizmat elegendő csak közelítőleg a műszer irányába fordítani.

A modern műszerekben a távmérést akár visszaverő berendezés nélkül is végre tudják hajtani. Ehhez az szükségeltetik, hogy a vivőjel nagy energiasűrűségű és koherens legyen. Koherencia alatt azt értjük, hogy a kisugárzott jel keresztmetszetében a hullámok fázisa azonos. Ezeknek a feltételeknek a lézersugarak megfelelnek. A lézerfény a tárgyak felületéről visszaverődve olyan energiasűrűséggel jut vissza a mérőműszerbe, hogy a jel egyrésztől észlelhető, másrésztől távmérésre is felhasználható.

A modulált fény a mérendő távolság kétszeresét futja be. A mérőműszerbe visszaérkező modulált fényről leválasztják a mérőjelet: ez a **demoduláció**. Ezután a moduláló mérőjelet és a demodulált jelet összehasonlítják.

Ha a mérőjel egyetlen **impulzus**, akkor annak „vizsgálata” azt jelenti, hogy megmérjük az impulzus ún. futási idejét, azt az igen rövid időtartamot, amely alatt az impulzus oda-vissza befutja a mérendő távolságot. Ez az **időméréses** távmérés.

Ha a mérőjel periódikusan változó **folyamatos szinuszjel**, akkor annak „vizsgálata” azt jelenti, hogy megmérjük a moduláló és a demodulált jel rezgésállapotának (fázisának) különbségét. Ez a **fázisméréses** távmérés.

A gyakorlatban előfordul az előbbi két módszer kombinációja is. A modern kézi távmérők a kibocsátott lézerfényt egy szinusz hullám alakú impulzussorozattal modulálják, majd az impulzussorozat fáziseltéréseit mérik.

1.1. Távmérés időméréssel

A módszer leírásakor már említett t futási idő megmérése után a távolság a

$$D = \frac{t \cdot v}{2}$$

képlettel számítható ki, ahol v a fény ismertnek tekintett terjedési sebessége. A fény valóságos terjedési sebessége a levegő t_{van} hőmérsékletétől és p_{van} nyomásától függ, ezért a távmérő számológépe a v sebességnek valamilyen t_{kell} és p_{kell} értékre kiszámított nagyságát használja, az eltérést pedig utólag, meteorológiai javítás (lásd később) számításával vesszük figyelembe.

Látszólag egyszerű működésük ellenére a mérnöki célú impulzus-fénytáv mérők csak az 1980-as évek elején jelentek meg, mert a távmérés megvalósításához impulzus-üzeműben működő, tehát nagy fényenergiát igen rövid idő alatt kisugárzó fényforrás, gyors kapcsoló és feldolgozó áramkörök és kellően pontos időmérő eszköz szükséges.

Az ezen az elven működő kézi távmérők hatótávolsága 100 méteres nagyságrendű, pontosságuk pedig 2-3 mm, és igen előnyös tulajdonságuk, hogy a megközelítőleg 650 nm hullámhosszúságú lézerdíóda által kibocsátott mérősugár nagy energiasűrűségének köszönhetően a sík felületről visszaverődő fény mennyiség is elegendő a méréshez.

Hasonló távmérő eszközöket helyeznek el a modern mérőállomásba is, egyes változataival akár 1 km-nél nagyobb távolságok is megmérhetőek külön visszaverő berendezés nélkül.

1.2. Távmérés fázisméréssel

1.2.1 Az állandó mérőfrekvenciával történő mérés elve

A folyamatos szinuszos mérőjel ismert frekvenciája f , tehát a műszer az időegység alatt f mérőjel-periódust állít elő. A fény ismertnek tekintett v terjedési sebessége azt jelenti, hogy a mérőjel az időegység alatt v távolságot tesz meg. Ha v távolságon f periódus fér el, akkor egyetlen periódus „hossza” (a mérőjel hullámhossza)

$$\lambda = \frac{v}{f}.$$

A mért távolság nagyságától függ, hogy a fény által megtett úton (a távolság kétszeres hosszán) hány egész hullám fér el: legyen az ismeretlen hullámszám N . A fennmaradó D' távolságrész kisebb a hullámhossznál:

$$2D = N\lambda + D', \text{ tehát } D = N \frac{\lambda}{2} + \frac{D'}{2}.$$

Jelöljük $\frac{D'}{2} < \frac{\lambda}{2}$ értékét D_m -mel. Minthogy $\frac{D'}{\lambda} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$, $D_m = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \frac{\lambda}{2}$, ahol $\Delta\varphi$ a kilépő (a moduláló) és a visszaérkező (a demodulált) jel fáziskülönbsége. A fázismérési távmérés alapképlete tehát:

$$D = N \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \frac{\lambda}{2}.$$

A távolság meghatározásához meg kell mérnünk a $\Delta\varphi$ fáziskülönbséget, valamint meg kell határoznunk az N egész számot.

A napjainkban általánosan használt automatizált távmérőkben a fáziskülönbség mérése időmérésre van visszavezetve. Két villamos jel fáziskülönbsége úgy is meghatározható, ha meg-

mérjük a két jel azonos fázisú pontjainak megjelenése között eltelt t időt. Ha ismerjük a jelek T periódusidejét, akkor nyilvánvaló, hogy $\frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{\tau}{T}$.

Az N szám meghatározásához általában több $\frac{\lambda}{2}$ ún. léptéket kell használni. Közülük a legkisebb a finom mérés léptéke, döntően ez a lépték határozza meg a távmérés pontosságát. A legnagyobb lépték az egyértelmű távolságmérés felső határa. Ha például a finom mérés léptéke 10 m, és a fázismérés pontossága a fázisciklus 2-3 tízezred része, akkor a maradéktávolság megmérése 10 m-nél kisebb és 2-3 mm pontosságú eredményt ad. Ha a durva mérés egyetlen léptéke 1000 m, akkor a durva mérés eredményéből a 100 m-ek és a 10 m-ek számával kiegészíthető a finom mérés 10 m-nél kisebb eredménye. Ha a távmérő hatótávolsága engedi, 1000 m-nél nagyobb távolságokat is mérhetünk, de a kijelzett eredmény a távolság 1000 m-nél kisebb része lesz, az 1000 m-ek számát tehát ismernünk kell.

1.2.2. A változó mérőfrekvenciával történő mérés elve

A változtatható mérőfrekvencia elvén működő műszerekben a mérőfrekvencia viszonylag tág határok között változtatható. A frekvenciasáv alsó szélén egy olyan f_0 frekvenciaértéket választunk, amely mellett a moduláló és a demodulált jel között nincs fáziskülönbség, azaz:

$$D = N_0 \frac{\lambda_0}{2}.$$

Ha elkezdjük növelni a mérőfrekvencia értékét, akkor előállítható egy következő frekvencia (f_1), amelynél szintén eltűnik a moduláló és a demodulált jel közötti fáziskülönbség. A következő ilyen frekvencia esetén az egész ciklusok száma eggyel nagyobb lesz:

$$D = N_1 \frac{\lambda_1}{2}, \text{ ahol } N_1 = N_0 + 1.$$

Az f_0 és f_1 frekvenciák ismeretében λ_0 és λ_1 számítható. Így a fenti három egyenletből N_0 , N_1 és D értéke meghatározható.

A mérés optimális pontosságának eléréséhez célszerű a műszer frekvenciatartományának teljes kihasználása. Ezért az f_0 kezdőfrekvencia beállítása után a mérőjel frekvenciáját addig növeljük, amíg a frekvenciasáv felső szélénél egy olyan frekvenciát nem találunk, ahol ismét eltűnik a két jel közötti fáziskülönbség. Eközben megszámloljuk azon közbenső mérőjelek számát, amelyeknél zérus fáziskülönbséget észleltünk. Legyen ez a szám m . Ha ismerjük f_{m+1} értékét, akkor a távolságra felírható az alábbi egyenlet:

$$D = (N_0 + m + 1) \frac{\lambda_{m+1}}{2} = N_0 \frac{\lambda_0}{2},$$

amelyből N_0 kifejezhető:

$$N_0 = \frac{(m+1)\lambda_{m+1}}{\lambda_0 - \lambda_{m+1}}.$$

Ugyanez a frekvenciákra felírva:

$$N_0 = \frac{(m+1)f_0}{f_{m+1} - f_0}.$$

A fenti tört értékét egész számra kerekítve megkaphatjuk az egész ciklusok számát az f_0 frekvencián, amelyből a mérendő távolság értéke meghatározható. A változó mérőfrekvencia elvén működő műszerek általában nagyobb pontosságú eredményt adnak, mivel a frekvenciasáv felső részének megfelelő hullámhossz dm-es nagyságrendű. Ilyen műszer a Kern Mekometer távmérő, amellyel akár 8 km-es távolságokat is meg lehet mérni 0,2 mm + 0,2 ppm középhibával (1 ppm 1 mm-nek felel meg 1 kilométeren).

1.3. A mérnöki távmérők jellemzői

A kis hatótávolságú (mérnöki) távmérők általános jellemzői:

- legalább 1 km-es, általában 3-5 km-es hatótávolság (a visszaverő felület nagyságától is függ);
- a távolságtól független, 2-3 mm-es távmérési alaphiba, amely kilométerenként 2-5 mm-rel növekszik;
- kis tömeg (1-3 kg), kis méretek, kis elektromos fogyasztás (beépített tölthető áramforrás);
- „gombnyomásra” induló és néhány másodpercig tartó távmérés, ami távolságok közelítő kitűzéséhez tovább gyorsítható (a pontosság rovására);
- az eredmények rögzíthetősége automatizált feldolgozáshoz.

A kis hatótávolságú (mérnöki) távmérőket korábban külön egységként a teodolit távcsővére kellett felhelyezni (rátét távmérők). Így biztosítható volt a teodolit és a távmérő irányvonalának párhuzamossága. A távmérők méretének csökkenésével ezek az eszközök ma már az **integrált mérőrendszer** (ún. mérőállomás) részeit képezik. A mérőállomás elektronikus teodolittól álló szögmérő egysége révén egyidejű irány- és távmérésre alkalmas. Az ilyen műszereket leggyakrabban a részletpontok vízszintes helyzetének és magasságának egyidejű meghatározására használjuk. Ezekről a műszerekről később esik szó.

1.4. A hagyományos és a lézeres elektrooptikai távmérők összehasonlítása

A lézeres távmérés nagy energiasűrűsége teszi lehetővé a visszaverő berendezések nélküli távmérést. Ugyanakkor ez az energiasűrűség az egyik korlátja is a technológiának. A túl nagy energiasűrűségű lézertény jelent az emberi szemre, így biztonsági okokból a lézeres távmérők teljesítményét korlátozzák. A korlátozott teljesítmény kisebb hatótávolságot eredményez az infravörös tartományban végzett hagyományos elektrooptikai távméréshez képest. Utóbbi előnye emellett a nagyobb pontosság, valamint az, hogy a prizmának köszönhetően környező objektumokról történő véletlen visszaverődések kizártnak tekinthetők. Ugyanakkor a lézeres távmérés előnye, hogy segítségével lehetővé válik a megközelíthetetlen pontok bemérése (pl. távvezetékek, veszélyes üzemekben elhelyezkedő pontok, stb.).

Hagyományos elektrooptikai távmérés (infravörös tartomány)	Lézeres elektrooptikai távmérés
<p>Előnyök:</p> <ul style="list-style-type: none"> - egyértelmű visszaverődési pont - nagyobb hatótávolság - nagyobb pontosság 	<p>Előnyök:</p> <ul style="list-style-type: none"> - megközelíthetetlen pontok bemérése is megtörténhet (elérhetetlen pontok, veszélyes objektumok) - nincs szükség figuránsra
<p>Hátrányok:</p> <ul style="list-style-type: none"> - visszaverő berendezést igényel - szükséges figuráns vagy robot mérőállomás alkalmazása 	<p>Hátrányok:</p> <ul style="list-style-type: none"> - a visszaverődési pont nem egyértelmű, a sugár egy felületről verődik vissza, melynek nagysága függ a sugár irányától és a felületi normálistól - a visszaverődés történhet az irányvonalban elhelyezkedő tárgyról (belógó falevél, elhaladó gépjármű, stb.) - kisebb hatótávolság - kisebb pontosság

1. táblázat Az infravörös tartományban és a lézertényvel végzett elektrooptikai távmérés összehasonlítása

A lézeres távmérés hátránya, hogy a lézersugár visszaverődése nem egyetlen pontról történik, hanem a mérőjel divergenciájának következtében, egy felületről. A felület alakja és mérete függ az irányvonal és a mérendő felület helyzetétől. Az irányvonalra merőleges felület esetén kör alakú a visszaverődési felület, míg ettől eltérő helyzetben ellipszis alakot vesz fel. Így például falsarkok mérésénél szabályos hibával terheltek a mérések. A lézeres távmérés esetén történhetnek szándékolatlan visszaverődések is, amikor az irányvonalba más tárgy is beleesik (pl. falevél, elhaladó gépjármű, stb.). Ezért fokozottan ügyelni kell arra, hogy idegen tárgy ne essen az irányvonalba.

1.5. A fázis-, és impulzustávmérés módszerével működő lézeres távmérők összehasonlítása

A közvetlen visszaverődésen alapuló lézeres távmérés megvalósítása történhet mind a fázismérés, mind pedig az impulzustávmérés módszerével. Általánosan kijelenthető, hogy a fázismérésen alapuló rendszerek nagyobb pontosságúak, ugyanakkor kisebb hatótávolságúak, hiszen folyamatos, viszonylag hosszú ideig tartó lézeres mérést végeznek. A hosszabb ideig kibocsátott lézertény miatt annak energiáját csökkenteni kell, hogy az ne okozzon veszélyt a környezetre.

Ezzel szemben az impulzustávmérők másodpercenként akár 20.000 impulzust is képesek kibocsátani oly módon, hogy azok energiája ne tudjon akumulálódni. Így egyetlen impulzus energiája nagyobb lehet, mint a fázisméréses lézertávmérők esetén.

Fázismérés	Impulzus távmérés
Előnyök: - nagyobb pontosság	Előnyök: - nagy hatótávolság - jelszakadásnak kis hatása van
Hátrányok: - érzékeny a jelszakadásra (pl. forgalom) - kisebb hatótávolság	Hátrányok: - kisebb pontosság

2. táblázat A fázis-, és az impulzustávmérés elvén alapuló lézeres távmérők összehasonlítása

1.6. A távmérési eredmény feldolgozása

A távolságként kijelzett eredmény még nem a ferde távolság számértéke, azt javítani kell az összeadó-állandó, a szorzóállandó és a meteorológiai javítás értékével.

Az **összeadó-állandó** ideális értéke zérus. Ettől akkor tér el, ha a távmérő elektromos zéruspontja és a visszaverő berendezés optikai zéruspontja nincs a műszer és a prizma állótengelyén, méréskor tehát nincs a mérendő távolság végpontjainak függőlegesében. Az összeadó-állandó gyári értékének esetleges változását úgy ellenőrizhetjük a legegyszerűbben, ha egy távolságot először egészben mérünk meg (D), majd egy belső pontján felállva két részletben (D_1, D_2) is. Az összeadó-állandó $c = D - (D_1 + D_2)$. A módszer hátránya, hogy bármelyik távmérés esetleges hibája az összeadó-állandó értékét is terheli, ezért a távolságot több osztóponttal szokás részekre osztani és a résztávolságokat minden kombinációban megmérni. Ez öt osztópont (hat szakasz) esetén 21 távolság megmérését jelenti. A hat ismeretlen szakaszhoz és az összeadó-állandó értékét 21 mérésből kell kiszámítani, az ellenőrzés tehát biztosított.

A **szorzóállandó** ideális értéke az egység. Ettől akkor tér el, ha a finom mérés frekvenciájának tényleges f_{van} értéke eltér a gyári f_{kell} értéktől. Az eltérés miatt a távmérő nem a távolságszámításhoz szükséges f_{kell} értéket állítja elő.

Ha a $\Delta f = f_{kell} - f_{van}$ frekvenciaeltérés szakmühelyben igazítással nem szüntethető meg, akkor ki kell számítani, és szorzóállandóként be kell állítani a $k = 1 + \frac{\Delta f}{f_{kell}}$ mennyiséget. A szorzóállandó terepen végzett mérésekből is meghatározható, de ehhez a kellő pontossággal ismerünk kell az alapvonal szakasz hosszait. A 21 mérés feltételrendszerében ekkor csak az összeadóállandó és a szorzóállandó értéke lesz ismeretlen.

Már utaltunk rá, hogy a távolság kiszámításakor a számológép a terjedési sebesség egy meghatározott értékét veszi figyelembe. Ez az érték a levegő t_{kell} hőmérséklete és p_{kell} nyomása által meghatározott. Ha távméréskor a levegő hőmérséklete t_{van} , nyomása pedig p_{van} , az eltérésből a **meteorológiai javítás** szorzótényezőjét kell kiszámítani (ez nem szorzóállandó, mert t_{van} és p_{van} értéke folyamatosan változhat).

A fizikából ismert, hogy a levegő hőmérsékletének 1 °C-nyi emelkedése a fény terjedési sebességét (és vele együtt a lépték hosszát) a megfelelő mennyiség 1 milliomodrészével növeli, míg a légnyomás 1 Hgmm-nyi emelkedése 0,4 milliomodrész csökkenést okoz. Ha a $(t_{kell} - t_{van})$ hőmérsékletkülönbség pozitív, akkor a hőmérséklet a „kell” állapothoz képest csökkent, a lépték kisebb lett, a mérési eredmény viszont nagyobb, mert a kisebb lépték többször „fér el” a távolságon.

A nagyobb mérési eredményt tehát °C-onként az eredmény 1 milliomodrészével csökkenteni kell, a $(t_{kell} - t_{van})$ hőmérséklet-eltérés hatása:

$$(t_{kell} - t_{van}) \cdot (-1,0) \cdot 10^{-6} = (t_{van} - t_{kell}) 10^{-6}.$$

Ugyanezzel a gondolatmenettel a $(p_{kell} - p_{van})$ légnyomáseltérés hatása $0,4 \cdot (p_{kell} - p_{van}) 10^{-6}$. Az együttes hatás figyelembe vételéhez a meteorológiai javítás szorzótényezőjeként a $1 + [(t_{van} - t_{kell}) + 0,4 \cdot (p_{kell} - p_{van})] 10^{-6}$ értéket kell a számológépbe állítani.

Az összeadó-állandó, a szorzóállandó és a meteorológiai javítás együttes figyelembe vételével a távmérés D_{van} eredményéből a ferde távolság $D = c + k \cdot m \cdot D_{van}$

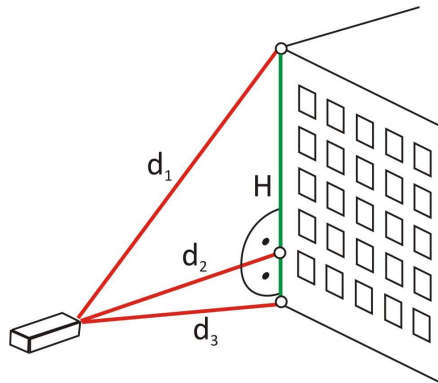
1.7. A gyakorlatban alkalmazott néhány távmérőeszköz bemutatása

1.7.1. Kézi távmérők

A kézi lézeres távmérők kivitelétől függően 50-100 méteres hatótávolsággal jellemezhetőek. Ez a hatótávolság speciális visszaverő berendezés esetén akár 200 méterre is növelhető. A távmérések pontossága néhány mm nagyságrendű.

A műszert a mérendő távolság egyik végéhez illesztjük, majd a látható lézertérrel a mérendő távolság másik végét megirányozva a műszerrel mérhetjük a távolságot. A szigorúan vett távolságmérések mellett egyszerűbb számítási funkciókat is beépítenek a műszerekbe. A távolságok egyszeri meghatározása mellett végezhetünk minimális/maximális távolság meghatározását, ahol a műszertől a legközelebbi vagy legtávolabbi pont távolságát méri meg a műszer. A mért távolságokkal alapvető számításokat is el tud végezni a műszer (összegzés, terület és térfol-

gat számítás). Ezen felül közvetett távolságmérést is elvégezhetünk, ahol a Pitagorasz-tétel segítségével a számíthatóak a nem mérhető oldalak (6-1. ábra). Az ábra jelöléseinek megfelelően a H magasság a két derékszögű háromszög mért átfogói és a vízszintes távolság (d_2) alapján számítható.



6-1. ábra: Építménymagasság mérése kézi lézeres távmérővel

Különbféle szerkezetek elhelyezésénél jól használható a távolság kitűzése funkció. Egy előre megadott távolságvérték beállítása után elkezdődik a távolságmérés. A megfelelő távolság elérését a műszer hangjelzéssel jelzi.

Egyes műszereknél a kültéri célpontok pontos irányzását a lézerfény környezetének felnagyított digitális fényképe segíti elő.

Fejlettebb modellekben beépített dőlésérzékelő is található, amely a műszer vízszintes irányhoz viszonyított dőlését méri néhány tizedfok pontossággal. Ezáltal mind a vízszintes irányvonal beállítását, mind pedig a ferde távolságok vízszintesre redukálását is lehetővé teszi. A beépített dőlésmérő segítségével korlátozott pontosságú magasságmeghatározásra is képes a műszer.

A kézi távmérők tehát leginkább a mérőszalagok modern megfelelői. Nagy előnyük, hogy megközelíthetetlen pontokra is végezhetünk távolságméréseket segédszemélyzet nélkül is.

1.7.2. Az elektronikus tahiméterekbe (mérőállomások) épített távmérők

Az elektronikus tahiméterek egy elektronikus teodolit és elektrooptikai távmérő integrálásával alakult ki. A modern műszerekbe jellemzően mind az infravörös tartományban működő, visszaverő berendezést igénylő távmérőket, mind pedig a visszaverő berendezést nem igénylő lézeres távmérőket is beépítik. Előbbi nagyobb hatótávolságával (3-5 km), valamint nagyobb pontosságával (1-3 mm + 1-5 mm/km) lehetővé teszi a nagyobb kiterjedésű munkaterületeken vagy alaphálózatok kialakítása során végzett méréseket.

A lézeres távmérőegység hatótávolsága általában 1-200 m nagyságrendű, de léteznek olyan mérőállomások is, ahol akár 1,2 km távolságig is mérhetünk prizma nélkül. A lézeres távmérők pontossága 3mm + 3mm/km-re tehető.

A mérőállomásokban a távmérő egységeket ma már kizárólag a távcsőbe helyezik el oly módon, hogy a távmérőjel az irányvonallal egybe esik.

Köszönhetően annak, hogy ezek a műszerek egy elektronikus teodolitot, valamint a hozzá tartozó számológépet is tartalmazzák, így a műszerek automatikusan javítják a távmérés szabályos hibáit (összeadó állandó, szorzó állandó, meteorológiai korrekció), majd a mért zenitszög alapján meghatározzák mind a vízszintes távolságot, mind pedig a megírányzott pont és a fekvőtengely magasságkülönbségét.

A mérőállomások még további koordináta és magassági számítások elvégzésére, illetve egyéb feladatokra is alkalmasak, amelyről a későbbi előadásokon lesz szó.

Az előadás anyaga az ajánlott irodalomban:

Krauter: Geodézia; 5.3.3 fejezet rész

1.8. Az előadáshoz kapcsolódó számpéldák

1. példa

Az ábra szerinti elrendezésben, közel vízszintes terepen, azonos magasságban és egy egyenesben, állítsunk fel három műszerállványt. A középső műszerállvány $1/3 - 2/3$ arányban ossza meg a teljes távolságot. Az 1 ponton felállítva a műszert, a 3 ponton pedig a távmérő prizmát, megmérjük az s_{13} távolságot. Ez után a műszert átállítjuk a 2 pontra, a távmérő prizmát pedig elvisszük előbb az 1 majd a 3 pontra és megmérjük az s_{12} és az s_{23} távolságot.



Az összeadó állandó (c) számítása:

$$s_{13} = 98,325 \text{ m} \quad s_{12} = 31,459 \text{ m} \quad s_{23} = 66,845 \text{ m}$$

$$(s_{12} + c) + (s_{23} + c) = (s_{13} + c)$$

$$c = s_{13} - (s_{12} + s_{23}) = 98,325 - (31,459 + 66,845) = +0,021 \text{ m} = +21 \text{ mm}$$

2. példa

Egy elektrooptikai távmérő összeadó-állandójának meghatározásakor (az előző példában megismert hitelesítéskor szokásos három szakasz megmérése során) az alábbi eredményeket kaptuk: 802,468 m, 400,020 m és 402,528 m. A mérő alapfrekvencia 150 Hz-cel nagyobb a gyári kb. 30 MHz-es értéknél. A zérus meteorológiai javításhoz tartozó értékpár (kell érték): $+9 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet és 740 Hgm légnyomás.

A keresett távolság megmérésekor a hőmérséklet $+1 \text{ }^\circ\text{C}$, a légnyomás 765 Hgm volt, és a távmérő 2001,222 m értéket jelzett ki. A mérősugár irányának megfelelő zenitszög: $z = 87-57-28$, a munkaterület átlagos tengerszint feletti magassága 555 m, a vetületi méretarány-tényező helyi értéke $m = 0,999\ 934$. Mekkora a vetületi távolság? ($R = 6380 \text{ km}$).

A kiinduló adatok: $D = 802,468 \text{ m}$; $D_1 = 400,020 \text{ m}$; $D_2 = 402,528 \text{ m}$;

$$f_{van} = f_{kell} + 150 \text{ Hz}; f_{kell} = 30 \text{ MHz}; t_{van} = +1 \text{ }^\circ\text{C}; t_{kell} = +9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p_{van} = 765 \text{ Hgm}; p_{kell} = 740 \text{ Hgm}; D_{mért} = 2001,222 \text{ m};$$

$$H_{át} = 555 \text{ m}; z = 87-57-28; m = 999\ 934; R = 6380 \text{ km}$$

Az összeadó állandó: $c = D - (D_1 + D_2) = \mathbf{-0,080 \text{ m}}$

A szorzóállandó: $k = 1 + \frac{\Delta f \text{ [Hz]}}{f_{kell} \text{ [MHz]}} \cdot 10^{-6}$, ahol $\Delta f = f_{kell} - f_{van} = \mathbf{-150 \text{ Hz}}$

$$k = 1 - \frac{150}{30} \cdot 10^{-6} = 1 - 5 \cdot 10^{-6} = \mathbf{0,999 \ 995}$$

A meteorológiai javítás szorzótényezője:

$$m_{met} = 1 + [(t_{van} - t_{kell}) + 0,4 \cdot (p_{kell} - p_{van})] \cdot 10^{-6} = \mathbf{0,999 \ 982}$$

A ferde távolság: $D_{ferde} = c + k \cdot m_{met} \cdot D_{mért} = \mathbf{2 \ 001,096 \text{ m}}$

A vízszintes távolság: $D_v = D_{ferde} \cdot \sin z = \mathbf{1 \ 999,825 \text{ m}}$

Redukció az alapfelületre: $\Delta_g = -\frac{H_{átl}}{R} \cdot D_v = \mathbf{-0,174 \text{ m}}$

Az alapfelületi távolság: $D_g = D_v + \Delta_g = \mathbf{1 \ 999,651 \text{ m}}$

A vetületi távolság: $D_{vet} = m \cdot D_g = \mathbf{1 \ 999,519 \text{ m}}$