

# **Geodézia 11.**

## **Távolságok meghatározása**

**Tarsoly, Péter**

---

## **Geodézia 11.: Távolságok meghatározása**

Tarsoly, Péter

Lektor: Homolya, András

Ez a modul a TÁMOP - 4.1.2-08/1/A-2009-0027 „Tananyagfejlesztéssel a GEO-ért” projekt keretében készült. A projektet az Európai Unió és a Magyar Állam 44 706 488 Ft összegben támogatta.

v 1.0

Publication date 2010

Szerzői jog © 2010 Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

### **Kivonat**

Ez a modul a távmérés történetével, a geometriai-optikai valamint a fizikai távmérés alapjaival, módszereivel és redukcióival foglalkozik.

Jelen szellemi termék a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény védi. Egészének vagy részeinek másolása, felhasználás kizárólag a szerző írásos engedélyével lehetséges.

---

# Tartalom

11. Távolságok meghatározása .....	1
1. 11.1 Bevezetés .....	1
2. 11.2 Távolságok mérése .....	1
3. 11.3 A hossz mérés .....	2
4. 11.4 A geometriai-optikai távolság-meghatározás .....	5
5. 11.5 A fizikai távmérés .....	6
5.1. 11.5.1 A távmérőműszerek általános felépítése .....	7
5.2. 11.5.2 Az időméréses távmérés .....	9
5.3. 11.5.3 A fázisméréses távmérés .....	10
6. 11.6 A légkör energia csökkentő hatása .....	12
7. 11.7 Elektromágneses hullámok terjedési sebessége a légkörben .....	13
8. 11.8 A távmérés hibaforrásai .....	16
9. 11.9 A távmérés redukciói .....	20
10. 11.10 A távmérés rövid története .....	21
11. 11.10 Összefoglalás .....	21

---

## A táblázatok listája

11-1. Táblázat .....	15
11-2. Táblázat .....	15

---

# 11. fejezet - Távolságok meghatározása

## 1. 11.1 Bevezetés

Ebben a modulban Ön megismerkedik a geometriai-optikai és a fizikai távmérés alapjaival, módszereivel és redukcióival. A modul részletesen tárgyalja az időmérésen és fázismérésen alapuló távmérők elvét, valamint az elektro-optikai távmérőműszerek felépítését. Részletesen kifejtésre kerül a légkör energiacsökkentő hatása, valamint az elektromágneses hullámok légköri terjedésének néhány törvényszerűsége. A modul végén kifejtjük a távmérés redukcióit, valamint röviden áttekintjük a távmérés történetét.

**Ebből a modulból az olvasó megismerheti:**

- a geometriai-optikai távmérést
- a fizikai távmérést
- a légkör energiacsökkentő hatását
- az elektromágneses hullámok légköri terjedésének törvényszerűségeit
- a távmérés redukcióit és rövid történetét

**A modul elsajátítása után képes lesz:**

- megfogalmazni a geometriai-optikai távmérés lényegét
- részletesen bemutatni az időmérésen és fázismérésen alapuló fizikai távmérést
- bemutatni a távmérőműszerek általános felépítését
- megfogalmazni az elektromágneses hullámok légköri terjedésének főbb törvényszerűségeit
- meghatározni a légkör energiacsökkentő hatását
- alkalmazni a távmérés redukcióit
- összefoglalni a távmérés rövid történetét

## 2. 11.2 Távolságok mérése

A geodéziai gyakorlatban a szögek mérése mellett hangsúlyosan fontos szerephez jut a távolságok meghatározása is. De mi is valójában a távolság? A két pont között szalaggal vagy mérőállomással megmért ferde távolság? Vagy a vízszintesre, vagy az alappfelületre, esetleg a vetületre redukált távolságot kell tényleges távolság-eredménynek tekinteni? A kérdés megválaszolása nem egyszerű, azt döntően befolyásolja a feladat célja és a meghatározásnál elérni kívánt pontosság is. Alappont meghatározásnál, például ha külpontosan mérünk, akkor a külpont-központ távolsága alatt mindig a vízszintes távolságot értjük, de ha már egy szomszédos pontra irányzunk, akkor arra minden esetben ferde távolságot rögzítünk (és zenitszöget). A további számításokhoz ezt a nyers ferde távolságot még át kell alakítanunk, és egy többlépcsős redukció eredményeként fogjuk megkapni azt a „tényleges” távolságot, amellyel aztán számolni fogunk.

**Vízszintes mérések szempontjából két pont távolsága minden esetben a két pont alappfelületi megfelelője közötti legrövidebb ívhossz, azaz a két pontot összekötő legrövidebb felületi vonal hossza.** Tételezzük fel, hogy az alappfelületet egy gömbbel helyettesítjük. Illesszünk a két pontra egy függőleges síkot, ez a sík a gömb felületéből a két pontra illeszkedő legnagyobb gömbi kört fogja kimetszeni. Ennek a legnagyobb gömbi körnek a két pont közé eső ívhossza lesz a két pont közötti távolság.

A földmérési feladatoknál a terepen **ferde távolságokat** mérünk. A terepen mért távolságokat **redukálni kell az alapfelületre**. Az átszámítást megkönnyíti az, ha a ferde távolságot először egy, a tényleges terep közelében elhelyezkedő, az **alapfelülettel párhuzamos gömbfelületre** számítjuk át. Az így kapott távolság az **alapfelület felett** helyezkedik el egy **M magasságban**, és **vízszintes távolságnak** nevezzük. A távolság két végpontján átmenő gömbsugarak összetartóak, hiszen a gömb középpontjában metszik egymást, ezért a **vízszintes távolság nagysága függ az alapfelület feletti magasságtól**. A számításokat alsógeodéziában nem az alapfelületen, hanem a vetületi síkban végezzük, ezért az alapfelületi távolságokat át kell számítanunk **vetületi távolsággá**. Az átszámítás módja az, hogy az alapfelületi távolságot megszorozzuk egy ún. **hossztorzulási tényezővel**, amely az adott vetületet az adott mérési helyen jellemzi.

A távolság-meghatározás lehet közvetlen vagy közvetett. A **közvetlen távolság-meghatározás** azt jelenti, hogy a megmérendő távolság kijelölt egyenesre mentén valamilyen ismert hosszúságú mérőeszközt (pl. mérőszalag) ismételt (szalagfekvés) végigfektetünk, és ilyen módon **hosszméréssel** határozzuk meg a távolságot. A **távolság közvetett meghatározásakor a távolsággal geometriai vagy fizikai kapcsolatban álló mennyiségeket mérünk** (pl. elektromágneses sugárzás hullámhosszát) és a távolságot a **kapcsolatot kifejező képletekkel** írjuk le. A közvetett távolság-meghatározást **távmérésnek** nevezzük.

### 3. 11.3 A hossz mérés

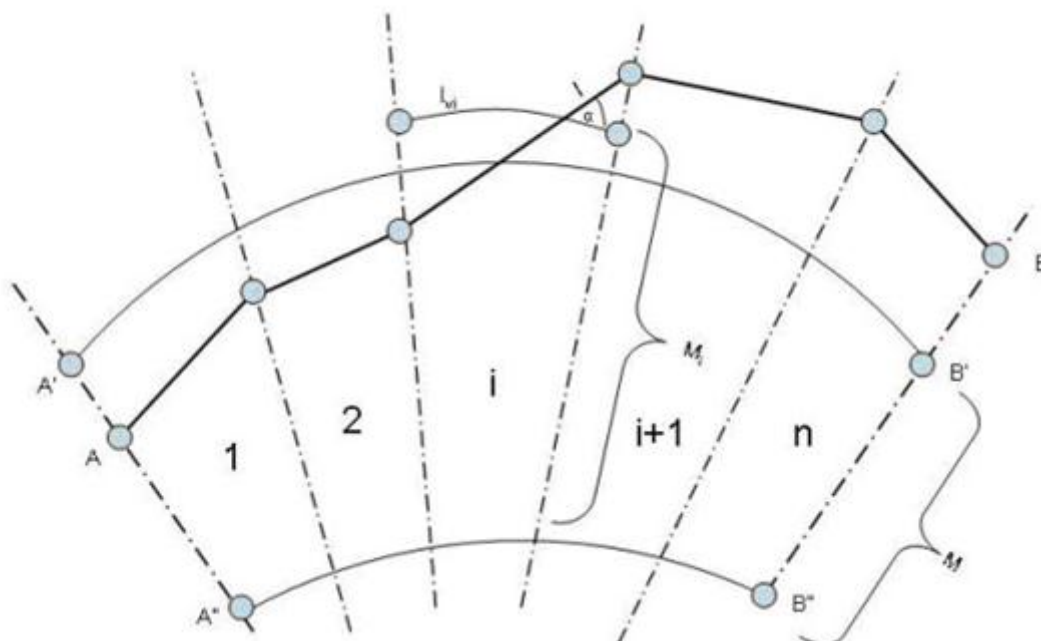
Hosszméréskor a meghatározandó távolság **két végpontjára illesztett függőleges sík és a terep metszéspontjának törtvonalas közelítő hosszúságát** mérjük meg a mérőeszköznek ismételt végigfektetésével. Egyenesek kitéréséről és a szalagmérés végrehajtásáról már volt szó a korábbi modulokban, így ezt a munkafolyamatot a továbbiakban ismertnek tekintjük.

Két pont, A és B távolságát akarjuk meghatározni mérőszalaggal. Első közelítésben legyen a két pont távolsága a mérőszalag hosszának egész számú többszöröse, azaz  $t = n \cdot l$ , ahol **n a szalagfekvések száma** és **l pedig a mérőszalag hossza**. Válasszuk ki az egyik tetszőleges szalagfekvést, és számítsuk ki a **vízszintesre redukált szalaghosszat**:

$$l_{vi} = l \cdot \cos \alpha_i$$

11.1. egyenlet

ahol  $\alpha$  a magassági szöglet jelenti (11-1. ábra).



11- 1. ábra A ferde távolság redukálása a vízszintesre és az alapfelületre (Krauter,2002)

Ha az egyes szalagfekvéseket egyesével redukálnánk, akkor a különböző  $M_i$  magasságok miatt  $n$  darab redukiót kellene számolni, amely nagyon időigényes dolog lenne. Belátható azonban, hogy a **végpontok átlagos  $M$  magasságában elképzelt vízszintes távolság megegyezik az összes vízszintesre redukált szalagfekvés összegével**. Így ha összegezzük a szalagfekvéseket és ezt az összeget redukáljuk az alapfelületre, akkor  $n$  darab redukió helyett csak egyet kell számolni.

Irjuk fel a vízszintesre redukált  $i$ -dik szalaghosszat a következőképpen:

$$l_{vi} = l + \delta_{vi}$$

11.2. egyenlet

ahol a  $\delta_{vi}$  az  $i$ -dik szalaghossz vízszintes redukiója. A redukált szalaghosszak összege a vízszintes távolság a két végpont átlagos  $M$  magasságában:

$$t_v = \sum_{i=1}^n (l + \delta_{vi}) = n \cdot l + \sum_{i=1}^n \delta_{vi}$$

11.3. egyenlet

ahol az első tag a tényleges ferde távolság, a második tag pedig a **távolság vízszintes redukiója**. A  $\delta_{vi}$  számítása a következő képlettel történik:

$$\delta_{vi} = l_{vi} - l = l \cdot \cos \alpha_i - l$$

11.4. egyenlet

A gyakorlatban nem  $\alpha$  magassági szöget, hanem a szalagfekvések végpontjainak  $\Delta m$  magasságkülönbségét ismerjük. Ezzel módosul  $\delta_{vi}$  számítása:

$$\delta_{vi} = -\frac{\Delta m^2}{2l} - \frac{\Delta m^4}{8l^3}$$

11.5. egyenlet

A képlet második tagját csak kivételes esetekben szoktuk figyelembe venni, hiszen 20 méteres szalaghossz esetén, ha a végpontok magasságkülönbsége 3 méter, akkor éri csak el az 1 milliméteres értéket.

A vízszintes távolságot még redukálnunk kell az alapfelületre. Az alapfelületi távolság és az alapfelületnek tekintett  $R$  sugarú gömb felett  $M$  magasságban elhelyezkedő vízszintes távolság aránya:

$$\frac{t_\varepsilon}{t_v} = \frac{R}{R+M} = \frac{1}{1+\frac{M}{R}} \approx 1 - \frac{M}{R}$$

11.6. egyenlet

Az alapfelületi távolság képlete:

$$t_\varepsilon = t_v - t_v \cdot \frac{M}{R}$$

azaz

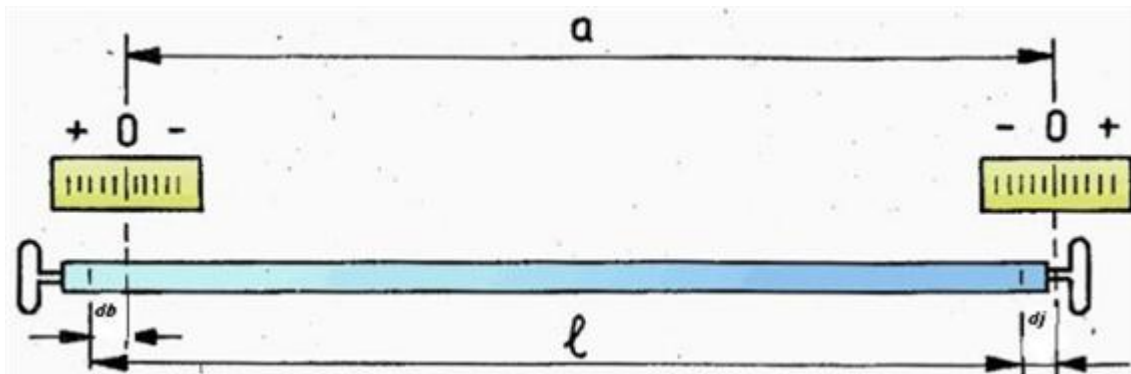
$$t_\varepsilon = t_v + \Delta_\varepsilon$$

11.7. egyenlet

A  $\Delta_\varepsilon$ -t alapfelületi redukióknak nevezzük. Csak az érdekesség kedvéért megjegyezzük, hogy az  $R=6380$  km sugarú alapfelület felett  $M=100$  méter magasságban elhelyezkedő 100 méteres távolság alapfelületi redukiója - 1.6 milliméter. (Krauter, 2002.)

Hosszmérésnél a megméréndő távolságot közvetlenül összehasonlítjuk a mérőszalag hosszával. Gyárilag a mérőszalagra ráírnak egy hosszértéket (pl. 20.000 vagy 50.000 méter), amelyet **névleges értéknek** nevezünk. A hossz mérés helyes elvégzéséhez ismernünk kell a szalag **tényleges hosszát**. Azt a munkafolyamatot, amellyel meg lehet határozni a szalag tényleges hosszát, **komparálásnak** nevezzük.

A komparálás céljára **sík és vízszintes felületet** alakítunk ki, amelyen a mérőszalag **névleges hosszának megfelelő távolságban milliméter osztású fémlamezeket** rögzítünk. A fémlamezek zérus osztásvonása közötti távolság a komparáló alapvonal hossza, amelyet valamilyen pontosabb műszerrel határozunk meg (11-2. ábra).



Komparálásnál a mérőszalag végvonásainál egy időben kell leolvasni egy **db baloldali és egy dj jobboldali értéket előjelhelyesen**. A mérőszalag és a komparáló alapvonal hossza közötti eltérés egyetlen mérésből:

$$d = db + dj$$

11.8. egyenlet

A leolvasásokat **5-10-szeres** ismétlés számmal kell elvégezni olyan módon, hogy **d értékében** a változás maximum **0.3 milliméter** lehet. Az egyes mérések előtt a mérőszalagot kis mértékben **el kell mozgatni**, ezzel lehet csökkenteni a leolvasás **becslés hibájának** az előfordulását. A mérési eredményekből a számtani közép:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n}$$

11.9. egyenlet

majd a mérőszalag tényleges hossza:

$$l = a + \Delta$$

11.10. egyenlet

A mérőszalag hossza függ a **húzóerőtől és a hőmérséklettől** is. A komparálást állandó feszítőerő -10kN, amely 10kg tömeg súlyának felel meg - mellett kell végrehajtani, amelyet dinamóméterrel lehet biztosítani. A komparálás közben meg kell mérni a szalag hőmérsékletét, és a komparálási jegyzőkönyvben utalni kell arra, hogy a szalag tényleges hossza milyen hőmérsékleti értékre vonatkozik.

A komparálás eredményei alapján kiszámítható a **mérőszalag**:

- komparálási javítása  $d_k = l - (l)$ , ahol  $l$  a tényleges és  $(l)$  a névleges hossz
- hőmérsékleti javítása  $dt = \alpha \cdot (t_m - t_k) \cdot (l)$ , ahol  $t_m$  a szalag hőmérséklete méréskor,  $t_k$  a szalag hőmérséklete komparálásakor,  $(l)$  a szalag névleges hossza,  $\alpha$  pedig a szalag anyagának hőtágulási együtthatója (ha a mérőszalag acélból van, akkor  $\alpha = 1.1 \cdot 10^{-5} / ^\circ \text{C}$ ).

A komparált mérőszalaggal végzett mérésből kiszámítható a **távolság**:

- névleges értéke  $(t) = n \cdot (l) + l_m$ , ahol  $(l)$  a szalag névleges hossza,  $n$  a szalagfekvések száma,  $l_m$  pedig a maradék távolság, amely rövidebb, mint egy szalaghossz
- komparálási javítási tényezője:  $\Delta_k = d_k \cdot (t) / (l)$
- hőmérsékleti javítási tényezője:  $\Delta_t = d_t \cdot (t) / (l)$ .

Gondosan végzett szalagméréssel +/- 2-3 milliméteres középhibát lehet elérni 100 méterenként, ehhez azonban megfelelő mérőpályát kell kialakítani, a két végpont közötti egyenest a szalagfekvéseknek megfelelő hosszokban jelölt töréspontokkal műszerrel kell kitűzni, pontosan ismerni kell a szomszédos töréspontok



magasságkülömbőségét, a szalagot dinamóméterrel kell megfeszíteni, meg kell mérni a szalag mérés közbeni hőmérsékletét, gondoskodni kell arról, hogy a szalagfékvések közötti áthelyezéskor a szalag kezdővonása az előző szalagfékvés végvonásához kerüljön, továbbá a távolságot oda-vissza irányban kell megmérni. A feldolgozásnál az **oda és a vissza mérést külön kell kezelni**, és mind a kettőre meg kell határozni a **(t) névleges hosszt**. A komparálási és hőmérsékleti javítási tényező ismeretében a **tényleges ferde távolság**:

$$t = (t) + \Delta_x + \Delta_t$$

11.11. egyenlet

A tényleges ferde távolságot ki kell számítani mind az oda, mind a vissza irányban, majd számítani kell ezeknek **vízszintes redukcióját**, majd az ilyen módon előállt oda-vissza irányban értelmezett vízszintes távolságok számtani középértékét. A mérőpálya átlagos magasságának ismeretében számítható az alapfelületi javítás és az alapfelületi távolság, amely a további számítások kiinduló adata lehet. A ma használatos elektrooptikai távmérőkkel 100 méternél nagyobb távolságon is jobb középhiba érhető el, mint +/- 2-3 milliméter, ráadásul a mérés nem igényel semmi különösebb előkészítést, és időtartama mindösszesen néhány másodperc. Ezzel magyarázható az, hogy a közvetett távolság-meghatározás szinte teljesen háttérbe szorította (néhány feladat kivételével) a hosszmérét.

## 4. 11.4 A geometriai-optikai távolság-meghatározás

A **közvetett távolság-meghatározás** lehet **geometriai** vagy **fizikai távolság-meghatározás**. A geometriai távolság-meghatározás mára már idejét múlt, ezért ezzel a témakörrel csak néhány mondat erejéig fogunk foglalkozni, míg a fizikai távmérés a ma használatos modern módszer, ezért ezzel részletesen fogunk foglalkozni.

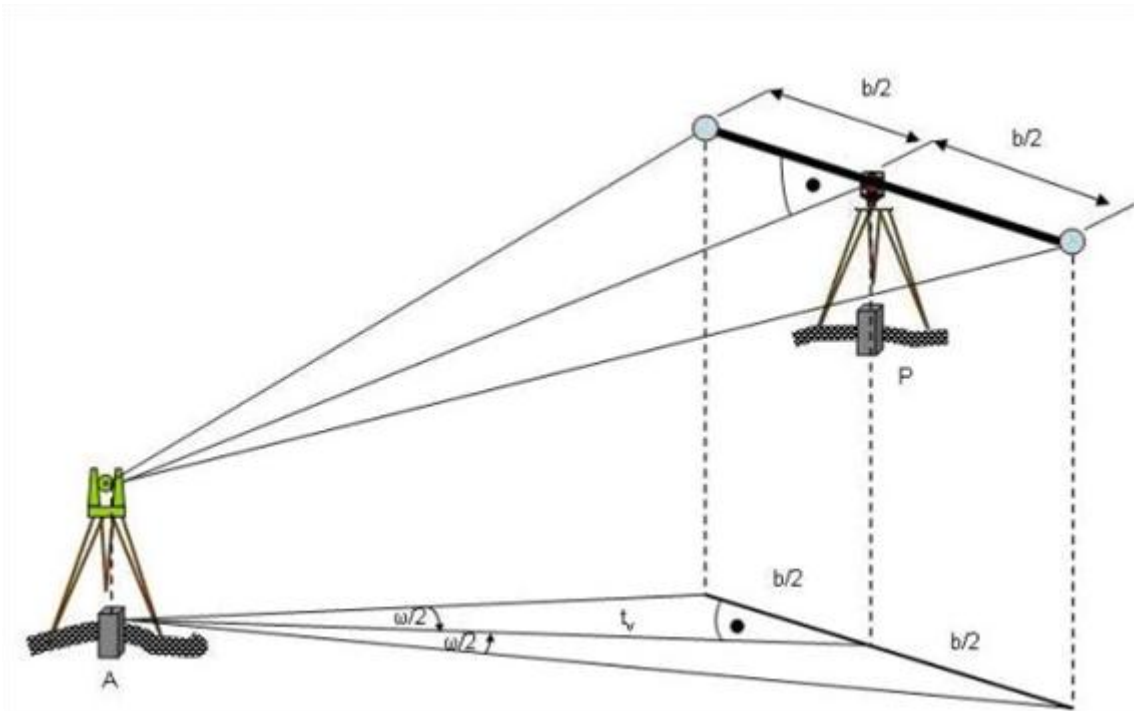
A geometriai-optikai távolság-meghatározás lényegében egy síkháromszög meghatározását jelenti. Ez a **síkháromszög vízszintes helyzetű és általános alakú**, ha a mérendő távolságon **hosszmérést nem tudunk végezni** (pl. a távolság két végpontja egy folyó két partján van). Ilyenkor a háromszög egy másik oldalát és két szögét mérjük meg, a keresett távolságot pedig szinusz-tételből számítjuk.

Ha tudnánk hosszmérést végezni, de bonyolultsága miatt el akarjuk kerülni, akkor a síkháromszöget **különleges alakúra** vesszük fel. Az ilyen háromszög egyik oldala lényegesen rövidebb, mint a másik két oldal. A háromszög rövid oldalát optikai műszerrel vagy annak valamely tartozékával jelöljük ki. A háromszög általában **derékszögű**; a **rövid oldalt alapvonalnak**, a vele **szemközti szöget** pedig **távmérőszögnek** (disztométeres szög) szoktuk nevezni. Az optikai távmérés lehet:

- **belső alapvonalú**: ha az alapvonal egyik végpontja a műszerálláspont, és a vízszintes alapvonal a műszer része
- **külső alapvonalú**: ha az alapvonal nem a műszerálláspont, hanem a mérendő távolság másik végpontjához csatlakozik, maga az alapvonal tehát nem része a műszernek, hanem egy a mérőfelszereléshez tartozó vízszintes vagy függőleges lécen kerül szabatos vonások között kijelölésre.

Ha a **távmérőszög állandó**, akkor az **alapvonal hossza változik** a mérendő távolság szerint. A változó alapvonalhosszat egy beosztott lécen, úgynevezett **távmérőlécen** lehet leolvasni. Ha az **alapvonal hossza állandó**, akkor a **távmérőszög nagysága változik** a mérendő távolság szerint. A **távmérőszöget** ebben az esetben **teodolittal** kell megmérni, az állandó nagyságú **alapvonalat** pedig egy vízszintes helyzetű ún. „**bázisléc**” végpontjai jelölik ki.

Tekintsük az 11-3. ábrát, amely összefoglalóan mutatja a korábban gyakran alkalmazott **bázisléces távmérés** lényegét. A B ponton elhelyezett b hosszúságú **bázisléc vízszintes, merőleges a mérendő távolságra, és felezőpontja a P pont függőlegesébe esik**. Ezt a helyzetet a bázislécre szerelt **szelencés libella, irányzó dioptra és vetítő segítségével** állíthatjuk elő.



11-3. ábra A bázisléces távmérés alapelve

Teodolittal megmérjük az  $\omega$  távmérőszöget. A távmérés pontossága majdnem kizárólag a szög megmérésének pontosságától függ, ezért a távmérőszöget másodperc teodolittal, többszörös ismétléssel kell meghatározni. Mivel vízszintes szöget mérünk, ezért azonnal a vízszintesre redukált távolság számítható:

$$t_v = \frac{b}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\omega}{2}$$

11.12. egyenlet

Az 11-3. ábrán látható elrendezést 75 méteres távolságig használták, és ezzel a módszerrel elérhető középhiba kb. +/- 1 cm volt. Amennyiben a megméréendő távolság nagyobb volt, mint 75 méter, úgy a távolságot két részletben határozták meg olyan módon, hogy a bázisléccet először a távolság felezőpontjában állították fel.

## 5. 11.5 A fizikai távmérés

A **fizikai távmérésnél** a mérendő távolságot valamilyen **fizikai jelenség felhasználásával** vagy **fizikai mennyiségek megmérésével** határozzuk meg. A leggyakrabban a távméréshez az **elektromágneses sugárzást** használják fel. Az elektromágneses sugárzás hullámhossz tartománya nagyon széles, ebből a geodézia csak **két szűk sávot** használ fel:

- a centiméteres hullámhosszú rádióhullámokat: az ilyen módszert nevezik **mikrohullámú- vagy rádiótávmérésnek**
- a mikrométeres hullámhosszú látható fény vagy a hozzá közeli infravörös tartományba eső hullámokat: az ilyen módszert nevezik **fénytávmérésnek**, vagy elterjedtebb néven **elektrooptikai távmérésnek**.

A továbbiakban a geodéziai gyakorlatban elterjedtebb elektrooptikai távméréssel foglalkozunk. Minden távmérési módszer alapja az, hogy valamilyen mérőjelet ültetnek egy vivőjelre. Az **időméréses távmérésnél** a **mérőjel egyetlen impulzus vagy impulzus-sorozat lehet**. Ha ismerjük az impulzust hordozó **vivőjel terjedési sebességét**, akkor meg tudjuk mérni annak **futási idejét**, azaz azt az időtartamot, amely idő alatt a vivőjelre ültetett mérőjel a megméréendő távolságot befutja. A **fázisméréses távmérésnél** a mérőjel egy **periódikusan változó szinuszos jel**. Ennek a távmérési módszernek az az alapja, hogy a megméréendő távolság **mind a két végpontján** meg kell mérnünk a **mérőjel rezgésállapotát**, azaz a kiinduló állapothoz tartozó **rezgésállapot változást**. A távmérés eredménye ebben az esetben nagyon hasonló lesz a hossz méréshez. A megmért távolság **két részből tevődik össze**: a távolság befutásakor lejátszódott **teljes fázisciklusok számából**, és egy **maradék távolságból**, amely nem más, mint egy **fázisciklus tört része**, azaz a megmért fáziskülönbség. Ha ezt a vegyes

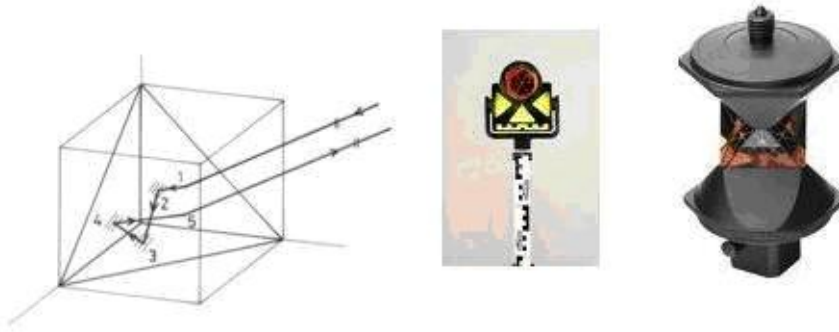
számot **megszorozzuk egyetlen fázisciklus lejátszódási idejével**, akkor megkapjuk a **futási időt**, ezzel ezt a módszert lényegében visszavezettük időméréses távmérésre.

A mérőjel vivőhullámra való ültetése azt jelenti, hogy a **mérőjellel megváltoztatjuk a vivőjel amplitúdóját**. Ezt a folyamatot **amplitúdó-modulációnak** nevezzük. A **mérőjel a moduláló jel**, a vivőjel és a mérőjel összetételéből származó **összetett jel, pedig a modulált jel**. A végponton elhelyezett **visszaverő berendezés**, a prizma a jelet visszatéríti a műszer felé. Visszaérkezéskor a moduláció ellentettje, az ugynevezett **demoduláció** folyamata zajlik le. Ekkor a mérőjel leválik a vivőjéről, és a **fényingadozást egy fotódióda áramingadozássá alakítja át**. A demodulált jel a modulált jelhez képest időkésséssel keletkezik (vagy fáziskéséssel a fázisméréses távmérésnél), a távmérés feladata lényegében ennek az **idő- vagy a fáziskésésnek a meghatározása**. A mérőjel tehát a távolságot **kétszer futja be**, oda és vissza irányban, azaz ezzel a **kétutas módszerrel** közvetlenül a futási idő kétszerese határozható meg. A kétszeres futási idő ismeretében természetesen kiszámítható a távolság egyszeri megtételéhez szükséges idő, majd ezzel összefüggésben a távolság is. A **kibocsátott jel** egyrészt a távolság kétszeres befutása miatt, másrészt a visszatérítő berendezés okozta energiacsökkenés miatt **gyengül**, ezért ennek a kétutas módszernek a **hatótávolsága korlátozott**.

## 5.1. 11.5.1 A távmérőműszerek általános felépítése

A távmérő műszerek általános felépítését az alábbi alfejezetben és az 11-5. ábra alapján tekintjük át (Krauter,2002.). A távmérőműszerek az alábbi szerkezeti egységekből épülnek fel:

- **mérőjelgenerátor**: kvarckristály által vezérelt elektromos rezgéskeltő. Feladata a mérőjel előállítás és a frekvencia stabilitása. Az egyértelmű távolságmeghatározás érdekében a mérőjelgenerátor több mérőléptéket állít elő, amelyek egymásnak tízszeres többszörösei.
- **segédjelgenerátor**: a mérőjel frekvenciájához hasonló frekvenciájú felsorozatot állít elő, hogy a keverés után előállított jel kis frekvenciájú legyen.
- **sugárforrás**: egy olyan félvezető dióda, melynek feladata az infravörös vivőhullám előállítása. A diódát a mérőjel gerjeszti az amplitúdó-moduláció elve alapján.
- **belső optikai út**: a mérősugár útjába helyezett eltérítő prizmarendszer, amely a mérősugarat a műszeren belül a vevő fotódiódára irányítja. A belső optikai út azért fontos, mert az elektronikus egységek jelkésleltető hatása által okozott szabályos hibát ennek segítségével lehet kiküszöbölni. A távméréssel egyidőben ennek a belső optikai útnak a hosszát is megmérjük. Amennyi idő alatt a hullám a belső optikai utat befutja, az megegyezik az elektronikus egységek jelkésleltető hatásával.
- **visszaverő berendezés**: a megméréndő távolság műszerrel átellenes végpontján állítják fel, feladata a mérősugár visszairányítása a műszerhez. A visszaverő berendezés általában egy jó minőségű üvegből készített prizma (lehet fólia is vagy esetleg közvetlenül a megméréndő objektum felülete is), amely egy kockának a testátlóra merőlegesen lemetezett sarka. A beeső fény visszaverődés után a prizmából pontosan a beesés irányába verődik vissza, így a prizmával elegendő csak közelítően megirányozni a műszert. A prizma esetén fontos követelmény, hogy a kocka eredeti három oldala szabatosan merőleges legyen, és mindhárom oldal sík legyen. A prizmák előregedő alkatrészt nem tartalmaznak, így hosszú időn keresztül, akár más távmérő esetén is felhasználhatók. Az üvegprizmák drága volta miatt, egyéb megoldások is kialakultak az üvegprizmák egyszerűbb, olcsóbb pótlására. Az első megoldás, hogy a prizmákat olcsóbb anyagból készítik el, elsősorban műanyagból. A műanyag prizmákat a "macskaszem" alakjának megfelelően készítik. Formájukat tekintve 3-5 mm élhosszúságú, elől foncsorozott kockasarkokból tevődnek össze, átmérőjük 3-5 cm. Előnyük, hogy olcsóbbak, mint az üvegprizmák, de a műszer hatótávolsága jelentősen csökken, és általában nem haladja meg a néhány száz métert. Üvegprizmák helyett elterjedtek még a mérőfóliák is. Ez esetben egy papír vagy műanyag alaplappra műanyag gömböket visznek fel, amelyek között gyantával öntik ki. A mérés hatótávolsága ebben az esetben is lecsökken 100-200 méterre, ezenkívül az összeadóállandójuk is más, mint a műszerhez rendszeresített prizmák esetében, ráadásul nem minden típusú műszer képes fóliára mérni. A sötétebb színűek kedvezőtlenebbek, kedvezőbbek a világos, élénk színű fóliák. Az irányzásra készített jelek a fóliákon különbözőek lehetnek, vannak olyanok, amelyeket szabatosan lehet irányozni, és vannak olyanok is, amelyeket nem. Egyes különleges műszerek képesek távolságot mérni közönséges falfelületre is. Ebben az esetben semmilyen külön visszaverőeszközre nincs szükség. Ez különleges előnyt jelent hozzá nem férhető távolságok esetén, azonban jelentősen csökkenti a mérhető távolságot. Ez általában csak lézer vivőhullám esetében valósítható meg, a mérhető távolság a több tízméteres, esetleg a százméteres tartományba esik. Ezek a műszerek képesek az irányzásához viszonyított 20-30° alatti felületről is távolságot mérni.

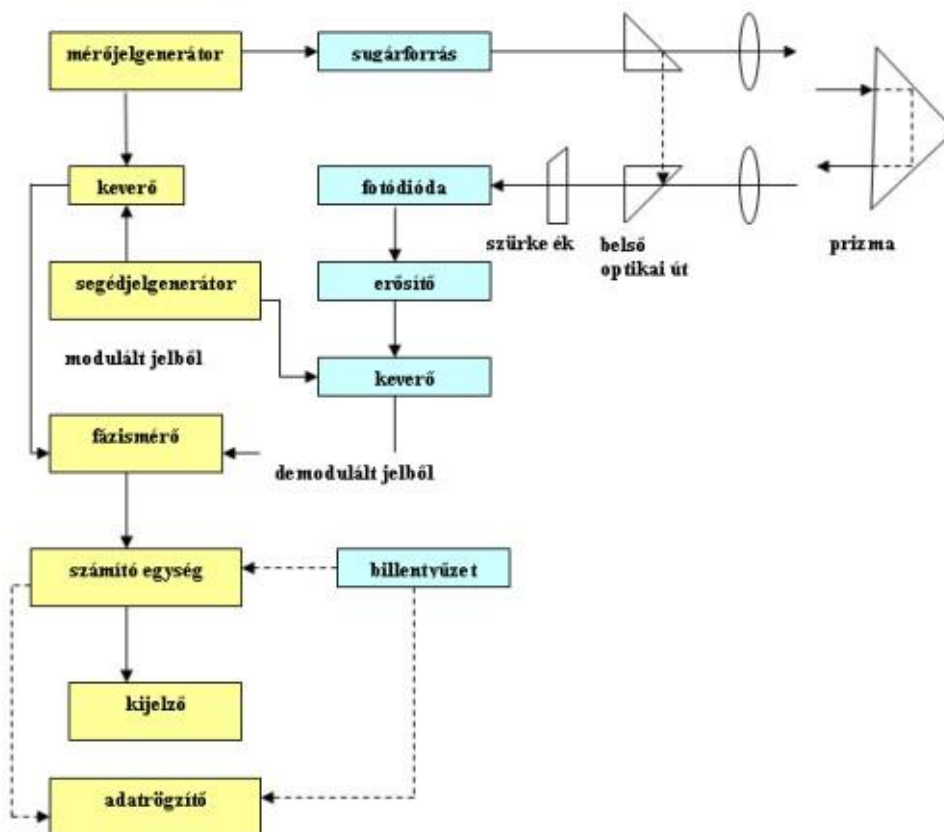


11-4. ábra Prizma sugármenete, egyszerű prizma és 360°-os prizma

- **szürke ék:** a vevő fotodiódát védi a túlságosan erős sugárzástól.
- **fotodióda:** feladata a demoduláció, azaz a mérőjel leválasztása a vivőjéről, és a fényingadozás átalakítása áramingadozássá.
- **erősítő:** a fotodióda gyenge jelét erősíti a megfelelő szintre.
- **keverők:** a moduláló és a demodulált jelet keveri össze a segédjelgenerátor által előállított jellel, majd ennek az összetett jelnek csak azt az összetevőjét engedi át, amelynek frekvenciája a két jel frekvenciájának különbsége. Ezzel érik el, hogy a kibocsátott jel kisfrekvenciás legyen.
- **fázismérő:** feladata a keverők által előállított kisfrekvenciás jel fáziskülönbségeinek meghatározása
- **számító egység:** a fázismérő berendezéstől és a billentyűzetről kapott adatokkal számítja a távolságot, kiírja a kijelzőre és eltárolja a műszer memóriájába.

A távmérőműszerek általános műszaki jellemzői az alábbiak:

- legalább 1 km-es, általában 3-5 km-es hatótávolság a visszaverő prizmarendszer felületének nagyságától
- 100-400 méteres távmérési hatótávolság fóliára és direkt reflex üzemmódban, azaz közvetlen felületre mérve
- távméréstől független 1-5 mm-es távmérési alaphiba, amely kilométerenként 1-5 mm-el növekszik
- kis súly és kis méret, távmérő berendezés a távcsőbe és az alhidádéba építve
- alacsony elektromos fogyasztás, hosszú mérési idő
- differenciálható távmérési üzemmódok: normál, követő, gyors, precíz
- ferde távolság és zenitszög mérése után automatizált vízszintes távolság és magasságkülönbség számítása.



11-5. ábra Távmérő műszer vázlatos felépítése (Krauter, 2002).

## 5.2. 11.5.2 Az időméréses távmérés

A műszer által kibocsátott **elektromágneses hullám** a mérendő távolság másik végpontján elhelyezett berendezésről **visszaverődik**, és visszajut a műszerbe. A kibocsátás és a visszaérkezés között eltelt idő,  $t_{\text{futási idő}}$  megmérésével a távolság kiszámítható:

$$2D = v \cdot t_{\text{futási idő}}$$

azaz

$$D = \frac{v}{2} \cdot t_{\text{futási idő}}$$

11.13. egyenlet

ahol  $v$  a fény ismertnek tekintett terjedési sebessége a légkörben. A fenti képletet az **időméréses távmérés alapképletének** nevezzük. A futási idő meghatározásához meg kell keresnünk a **mérő-impulzusnak azt a pontját**, amelynek **kibocsátását és beérkezését is egyértelműen mérni tudjuk**. A kibocsátott és beérkező impulzus legkönnyebben azonosítható pontja a két **impulzusfüggvény maximuma**. A vevőben előáll mind a két függvény derivált függvénye; a két derivált függvény zérus értéke indítja el és állítja meg az időmérő eszközt. Az impulzus véges hossza ellenére nincs legkisebb mérhető távolság. Akár néhány centiméteres távolságok is mérhetőek; az impulzus alakját egy átmeneti jeltároló őrzi: akkor, amikor az impulzus eleje már beérkezett, de a vége még el sem indult. A mérés feldolgozása csak a teljes impulzus beérkezése után indul meg. Az időméréses távmérés elvén működő műszereknél a mérőjelnek olyan nagy az energiasűrűsége, hogy 100-200 méteres távolságig a céltárgyról visszaverődő jelmennyiség is elég; 300-400 méteres távolságig pedig visszaverő berendezésként fólia is használható. A mérés megvalósításához impulzus-üzemmódban működő, nagy fényenergiát rövid idő alatt kibocsátani képes fényforrásra van szükség, továbbá gyors kapcsoló és feldolgozó áramkörökre. Természetesen az is követelmény, hogy mindezeknek a berendezéseknek kicsi legyen a súlya, hogy az ilyen mérőeszközzel felszerelt műszer terepen könnyen mozgatható legyen. Az időmérés elvén

működő távmérők csak az 1980-as évek elején jelentek meg a gyakorlatban, míg a fázisméréses távmérők sorozatgyártása már az 1940-es években beindult, polgári célra pedig már az 1960-as években.

### 5.3. 11.5.3 A fázisméréses távmérés

A távolság meghatározásához a mérőjelnek a távolságot kétszer kell befutnia. Ha a fény **terjedési sebessége** a légkörben  $v$ , az időegység alatt előállított mérőjel-periódusok száma, azaz a **frekvencia**  $f$ , akkor egyetlen ciklus alatt a fény:

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

11.14. egyenlet

távolságot tesz meg. Ezt a **távolságot nevezzük a fény hullámhosszának**. A futási idő alatt  $N$  darab egész fázisciklus játszódik le, azaz  **$N$  darab egész hullám** fér el a megméréndő távolság kétszeresén. Az egész számú fáziscikluson mellett azonban meg kell még határozni az úgynevezett **maradék távolságot** is, amely nem más, mint az egész fázisciklusok után fennmaradó **csonka ciklus**, amelynek hossza rövidebb, mint egy egész. Jelöljük  $D_{\text{csonka}}$  szimbólummal a maradék távolságot:

$$\frac{D_{\text{csonka}}}{\lambda} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$$

11.15. egyenlet

A fény a megméréndő távolság kétszeresét futja be:

$$2D = N \cdot \lambda + D_{\text{csonka}}$$

11.16. egyenlet

azaz

$$D = N \cdot \frac{\lambda}{2} + \frac{D_{\text{csonka}}}{2}$$

vagyis

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

11.17. egyenlet

Az 11.17-es képletet a **fázisméréses távmérés alapképletének** nevezzük. A fázisméréses távmérés alapképlete nagyon hasonló a hossz mérés alapképletéhez. Hosszmérésnél a megméréndő távolság  $n$  darab egész szalagfekvésből állt és egy szalagfekvésnél rövidebb maradék távolságból; fázisméréses távmérésnél pedig a megméréndő távolság áll  $N$  darab egész fázisciklusból, és egy maradék távolságból áll, amely lényegében egy csonka ciklus, azaz rövidebb, mint egy egész fázisciklus.

A fázisméréses távmérés alapképletében szereplő  $\lambda/2$  **hosszat** a **táv mérés léptékének** nevezzük. Nagysága függ a frekvenciától, valamint az ismertnek tekintett  $v$  terjedési sebességtől.

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f}$$

11.18. egyenlet

A fázisméréses távmérésnél technikailag a távolság kétféleképpen határozható meg:

- **Állandó mérőfrekvencia módszere:** a mérőhullám hossza az időben nem változhat, és  $\Delta\varphi$  megmérésével határozzuk meg a maradék távolságot.
- **Változtatható mérőfrekvencia módszere:** a hullámhossz változtatásával a maradék távolságot nullává tesszük.

Az **állandó mérőfrekvencia** elvén működő távmérésnél a fáziskülönbség mérése időmérésre van visszavezetve. A fázismérő a **moduláló** és a **demodulált jel azonos fázishelyzetű pontjainak a megjelenése közötti időtartamot** méri impulzusszámlálással. Általában két számláló működik: az egyik tartalma az egész fázisciklusok számával növekszik, a másik pedig a fáziskülönbséggel (Krauter, 2002.).

$$D_{\text{csonka}} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{n}{N} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

11.19. egyenlet

Ennél a módszernél **nem az eredeti modulált és demodulált jel közötti fáziskülönbséget mérik**, hanem a keverők egy **alacsonyabb frekvenciát** állítanak elő interferenciával olyan módon, hogy az eredő jelnek (modulált vagy demodulált jel, és a segédjelgenerátor által előállított jel keveréke) csak azt az összetevőjét engedik át, amely a két összetevő jel különbsége. Ezzel azonban a fáziskülönbség változatlan marad.

A **táv mérés léptéke** és a **megméréendő távolság között** az alábbi kapcsolatok állhatnak fenn:

- A léptéket nagyobbra választjuk, mint a megméréendő távolság, ekkor az egész fázisciklusok száma, az N nulla lesz. A **táv mérés nem pontos**, hiszen a fáziskülönbség meghatározásában elkövetett kis hiba is nagy távolsághibát okoz, viszont a kapott **távolság egyértelmű** lesz.
- A léptéket kisebbre választjuk a megméréendő távolságnál. Ekkor a táv mérés **pontos lesz**, de **nem lesz egyértelmű**, mert nem tudjuk, hogy a csonka fázisciklushoz a léptéknek még hányszorosát kell hozzáadni.

Egyetlen léptékkel a távolságot tehát vagy pontosan vagy egyértelműen lehet meghatározni, ezért a távmérésnél mindig **többféle léptéket** használnak. A legkisebb léptéket **finom léptéknek** nevezik, és ennek nagyságától függ a távmérés pontossága. A legnagyobb léptéket **durva léptéknek** nevezik, ez határozza meg, hogy mekkora távolságig lesz a távmérés egyértelmű. Ha ez nagyobb, mint a távmérő hatótávolsága, akkor a távmérés mindig egyértelmű. A durva lépték általában a távmérési eredmény kilométeres, száz méteres és tízméteres tagjának a meghatározásában vesz részt; a finom lépték pedig a tízméteres tagnál kisebb számjegyek meghatározásában. Ha a mérési eredmény 1258.258 méter, akkor 1250 métert határozunk meg a durva léptékkel, és 8.258 méter pedig a finom léptékkel.

A **változtatható mérőfrekvencia** elvén működő műszerekben a frekvencia tág határok között változtatható a megméréendő távolság függvényében. A távmérés folyamatában először keresni kell egy olyan  **$f_0$  értéket**, ahol a csonka fázisciklusok száma, vagyis a **maradék távolság nulla**. Ebben a helyzetben meg kell mérni  $f_0$  frekvencia pontos értékét.

$$D = N \cdot \frac{\lambda_0}{2} = N \cdot \frac{v}{2f_0}$$

11.20. egyenlet

Növeljük a frekvenciát a frekvenciasáv felső széléig. Mindeközben a frekvencia k-szor teljesíti azt a feltételt, hogy a maradéktávolság nullával legyen egyenlő. Mérjük meg az  $f_{k+1}$ -dik frekvencia értékét. Ekkor

$$D = (N + k + 1) \cdot \frac{\lambda_{k+1}}{2} = (N + k + 1) \cdot \frac{v}{2f_{k+1}}$$

11.21. egyenlet

Az 11.20-as és at 11.21-es képletekből:

$$N = \frac{(k+1) \cdot f_0}{f_{k+1} - f_0}$$

11.22. egyenlet

Amely értéket ha egész számra kerekítjük és visszahelyettesítjük 11.20 és 11.21-be, akkor abból a D távolság értéke kiszámítható.

Az állandó mérőfrekvencia elvén működő műszerek elterjedtebbek, mert terepi körülmények között könnyebben megoldható volt a frekvencia állandó értéken tartása, mint annak változtatása. Elmondható azonban az is, hogy a

változtatható mérőfrekvencia elvén működő műszerek pontosabbak, így térhódításuk a technika fejlődésével a jövőben várható.

## 6. 11.6 A légkör energia csökkentő hatása

A fizikai távmérők által kibocsátott elektromágneses hullámok a légkörben haladva futják be a mérendő távolságot. A hullámterjedés közege, a **levegő nem homogén**. A fizikai távmérés a légkör legalsó részében a troposzférában történik, a **talaj feletti légrétegben**. A mérőhullámok talaj feletti magassága általában néhány méter, ritkán haladja meg a néhány száz métert, esetleg kilométert. Ebben a levegőrétegben az összetétel lényegében azonos: 78 térfogat százalék nitrogén, 21 térfogat százalék oxigénből áll. A fennmaradó egy százalék összetétele: hidrogén, széndioxid, ózon, porszemek és más különféle szennyező anyagok. A légáramlások következtében ez keveredik, és különböző helyeken más és más értékű jellemzői lesznek az elektromágneses sugárzás terjedése szempontjából.

A fizikai távmérők vevőhullámának szempontjából a légkörnek két hatása fontos:

- a) Légkör hatására bekövetkező **energiavesztés**, mely elsősorban a mérhető legnagyobb távolságot befolyásolja.
- b) A légkör hatása a hullám **terjedési sebességére**, melyet, mint távolság korrekciót, mint meteorológiai redukciót veszünk figyelembe.

Ebben a fejezetben a légkör jel csökkentő hatásával foglalkozunk és a következő fejezetben adjuk meg a terjedési sebesség változásának hatását a távmérés eredményére.

A távmérő által kibocsátott elektromágneses sugárzás csak **részben érkezik vissza a vevőhöz**. A vett jelnek olyan erősségűnek kell lenni, hogy az kiértékelhető legyen. Ha nem éri el azt a szintet, akkor a műszer nem képes megmérni a távolságot és a mérési folyamat leáll, amit a műszer hibaüzenettel jelez, ezért gyakorlati szempontból is fontos számunkra, hogy ismerjük az erősség csökkenésének okait.

A troposzférában történő áthaladás során **csak a deciméteres és annál rövidebb hullámok gyengülnek**. A jelcsökkenés elsődleges okai a légkörben köd és esőcseppek formájában jelenlévő víz. Ha a vízmolekulák elnyelik az elektromágneses sugarakat (különösen a rádióhullámokat), polarizációs áramok jönnek létre, melyek kisugárzást hoznak létre a tér minden irányába. A milliméteres és az infravörös hullámtartományban **a víz és az oxigén molekulák** az elektromágneses sugárzás hatására rezgő és forgó mozgást végeznek és, ha ez egyezik saját rezgőszámukkal, akkor elnyelik a közölt energiát, átalakítják belső molekuláris energiává.

Infravörös sugárzás esetén **a vízgőz, ózon és széndioxid elnyelő hatása is jelentős**. Ebben a sávban jelentős a **lebegő por, víz és füst részecskéiben való szóródás is** (Csepregi, 2005).

A fizikai távmérők esetében fontos szerepe van a vevőhullám hullámhossz megválasztásának. A **rádióhullámok** (néhány centiméteres, illetve milliméteres hullámok) esetén előny, hogy **párában, ködben, esőben is lehetőség van nagy távolság megmérésére (50 km)**. A kisebb összelátási akadályok (fa lombzata) nem hiúsítják meg a távmérést. **Nem szükséges szigorú összelátás** a távolság kezdő és végpontján elhelyezett műszerek között, csak közelítően kell a két műszert egymás felé irányozni. Ezzel szemben hátrányként jelentkezik, hogy a rádióhullámok az **elektromosan vezető felületekről visszaverődnek**, így több esetben nehéz megállapítani, hogy a közvetlen **egyenesen, vagy egy tört út menti távolságot mértük-e**. Hátrányként jelentkezik, hogy a két végponton elhelyezendő berendezéseknek közel azonos felépítésűnek kell lenni.

Az **elektrooptikai távmérők esetén** a kibocsátott sugárzás az infravörös (nem látható fény) tartományba esik. Ennek terjedési tulajdonságai jól megegyeznek a látható fény tulajdonságaival, ezért az infravörös sugárzás jelvesztése is hasonló a látható fényéhez. **Közvetlen összelátás szükséges** a két végpont között, azonban visszaverő berendezésként elég egy passzív prizma is. A mérést zavarja, ha a mérési program alatt valami (pl. falevelek, autó, járókelők stb.) megszakítja az összelátást. Ha mégis ilyen akadály lépne fel, akkor a mérési program várakozik, és az akadály megszűnése esetén tovább folytatódik. Hosszabb idejű akadályoztatás esetén a mérési program leáll egy hibaüzenettel (nincs jel), és a távmérést újra kell indítani.

Az első elektrooptikai távmérők esetén, az 1970-80-as években, a jel megszakadása igen veszedelmes volt, mert minden fénysugár-szakadás esetén újra kellett kezdeni a mérést. Ez sokszor a mérés elhúzódtásához vezetett, több esetben a mérés elvégzésének a lehetetlenségében jelentkezett. A korszerű műszerek esetében csak a mérési program szakad meg és az akadály megszűnése után tovább, folytatódik.



Az egyes elektrooptikai távmérőkkel mérhető legnagyobb távolságot a műszerismertető megadja, ez azonban függ a légköri körülményektől is. A látástávolságnak optimális esetben háromszorosának kell lennie a távmérő hatótávolságának.

A műszer **hatótávolsága** elsősorban a **műszer által kibocsátott energia mennyiségétől függ**, ezt azonban a gyártó cég határozza meg tőlünk függetlenül. Ezen kívül **hatótávolság közvetlen kapcsolatban van a látótávolsággal**. A látótávolság az a távolság, amelyről egy megfelelő méretű sötét-fekete tárgyat meg tudunk különböztetni környezetétől. Például mely távolságról láthatjuk egy távoli hegy fő vonalait. Kedvezőtlen, kellemetlen párás, ködös időben ez jelentősen lecsökkenhet, egyes esetekben - ködös időben - néhány tíz méterre is. Tiszta, páramentes időben – eső után - ez az érték természetesen jelentősen megnő. A műszergyárak a műszer hatótávolságát általában az átlagosan jó látási viszonyokra adják meg, ami 23 km-es látótávolságnak felel meg. Ennél jobb látási viszonyok mellett valamivel nagyobb távolságot is lemérhetünk.

A **hatótávolság növelhető még a prizmaszám növelésével is**. Ez azonban a prizma egy síkon fekvését követeli meg, és csak a műszergyár típusának és felszerelésének megfelelően növelhető.

## 7. 11.7 Elektromágneses hullámok terjedési sebessége a légkörben

A fény légüres térben meghatározott sebessége ismert. Ezt az értéket 1983-ban az új méter-meghatározás az alábbi értékben állapította meg.

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s.}$$

A légkörben a terjedési sebesség megváltozik és a levegő törésmutatója függvényében

$$v = \frac{c}{n}$$

11.23. egyenlet

értékű lesz, ahol  $n$  a levegő törésmutatója.

A törésmutató értéke függ:

$$n = f(p, t, e, \lambda)$$

**ahol:  $p$  a légnyomás**

**$t$  a hőmérséklet**

**$e$  a párányomás**

**$\lambda$  a hullámhossz**

A légnyomást barométerek segítségével mérjük. A **mechanikus barométerek igen kényesek a rázkódásra, de általában pontosabbak, mint az elektronikusak**. Mértékegységük a Hgmm (higanymilliméter), vagy másnéven torr. Másik mértékegység a hPa (hektoPascal), vagy más néven mbar (milibar). A két különböző mértékegység között az átszámítást a

$$760 \text{ torr} = 1013,25 \text{ hPa}$$

képlettel végezhetjük el.

A **hőmérséklet mérése hőmérőkkel történik**. A hagyományos higanyos hőmérők még pontosabbak, mint az elektronikusak. **Magyarországon a Celsius fok a majdnem kizárólagos egység**, azonban angolszász országokban gyakori a Fahrenheit fok használata. Tudományos vizsgálatokban a Kelvin fokot használjuk.

$$C^{\circ} = (5/9)(F^{\circ} - 32) \quad F^{\circ} = (9/5)C^{\circ} + 32 \quad K^{\circ} = 273,15 + C^{\circ}$$

ahol a  $-273,15 \text{ C}^{\circ}$  (0 K) az abszolút 0 fok. Ennek reciprokát gyakran használjuk

$$1/273,15 = 0,003661$$

a meteorológiai számításoknál. A levegő hőmérsékletét mindig azon a helyen kell mérni, ahol a távmérés történik.

A **párányomás értéket általában nem mérjük közvetlenül**, hanem a **száraz és nedves hőmérsékletből számítjuk**. A leggyakoribb a száraz és nedves hőmérséklet mérése úgy, hogy két higanyos hőmérőt egymás melletti foglalatba helyezve, egy motor segítségével levegőt áramoltatunk rájuk úgy, hogy az egyik hőmérő higanytartálya mellett, szabadon áramlik el a levegő, míg a másikat egy vizes vattával vesszük körül. Az elsőt nevezzük **száraz hőmérőnek**, a másodikat **nedves hőmérőnek** hívjuk. A nedves hőmérőn mért hőmérséklet mindig kisebb, mint a száraz hőmérővel mért, mert a nedves hőmérőnél párolgás van az áramló levegő miatt, és ez hőelvonással jár, ami a levegő hőmérsékletét csökkenti. A két hőmérsékletből számíthatjuk a **párányomás értékét a Sprung képlet** szerint az

$$e = E_w - (t - t_w) \frac{k}{755} p \quad \text{és} \quad \log E_w = \frac{\alpha \cdot t}{\beta + t_w} + \gamma$$

11.24. egyenlet

ahol

$e$  a párányomás torr-ban

$E_w$  a telített levegő párányomása torr-ban,

$t$  a száraz hőmérséklet (Celsius fok)

$t_w$  a nedves hőmérséklet (Celsius fok)

$p$  a légnyomás (torr)

és a további állandók (víz feletti értékre vonatkozóan)

$$k = 0,5 \quad \alpha = 7,5 \quad \beta = 237,3 \quad \gamma = 0,6609$$

az  $E_w$  10 alapú logaritmusát a Magnus-Tetens empirikus képlete alapján számíthatjuk, a fenti képlet második részével (Csepregi, 2005).

A **levegő törésmutatóját két lépésben határozhatjuk meg**. Először az elektrooptikai hullám hossza alapján számítjuk a levegő törésmutatóját Barrell és Sears (1939) képletével (Csepregi, 2005).

$$(n_{cs} - 1) \cdot 10^{-6} = N_{cs} = 287,604 + 3 \frac{1,6288}{\lambda} + 5 \frac{0,0136}{\lambda}$$

11.25. egyenlet

összefüggéssel. Az elektrooptikai távmérőkben használt infravörös fény hullámhossza 0,9  $\mu\text{m}$ . Ez a levegő ún. csoport törési indexét adja meg, mert a kibocsátott elektromágneses sugárzás nem teljesen homogén, vannak kismértékben eltérő hullámhosszú sugarak is (lényegében több szín keveréke). A megadott összefüggés  $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p = 760 \text{ torr}$  és száraz levegőre vonatkozik 0,03 % széndioxid tartalom mellett. Ezt nevezik normál atmoszférának.

A **normál atmoszférára vonatkozó törésmutatót** ezután át kell számítani a pillanatnyi hőmérséklet ( $t \text{ }^\circ\text{C}$ ) légnyomás ( $p$  torr) és párányomás ( $e$  torr) ismeretében a **jelenlegi levegőre** a

$$n = \frac{N_{cs}}{1 - \alpha} \cdot \frac{p}{760} - \frac{0,055}{1 - \alpha} e$$

11.26. egyenlet

összefüggéssel.

A 4.26-dik képlet a csoport törésmutató értékének beírásával:

$$n = \frac{300,2307793}{1 - \alpha} \cdot \frac{p}{760} - \frac{0,055e}{1 - \alpha} \quad \alpha = 0,003661$$

11.27. egyenlet

A Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Szövetség (IUGG) 1960 évi Helsinkiben tartott ülésén a 11.27-dik képletet ajánlotta alkalmazni. Más összefüggések is ismertek a törésmutató kiszámítására, azonban ezek a képletek csak igen kis eltérést mutatnak a gyakorlatban. A megadott összefüggések segítségével csak a **levegő pontbeli (a mérés helyének megfelelő) törésmutatóját tudjuk meghatározni**. A mért **távolság vonalán azonban változik a törésmutató értéke**, és a távolság számításában az átlagos törésmutatóra is szükségünk van. Ezt úgy határozhatjuk meg, hogy a távolság mentén, több helyen mérjük a légkör állandóit. Általában a leggyakoribb esetekben 1-2 km távolságig elegendő a távolság egyik pontján a műszer mellett mérni a távolságot. Szabatos távmérés (milliméter és ez alatti középhiba esetén), valamint 1-2 km felett mindkét ponton mérjük a meteorológiai adatokat, és ha lehetőségünk van, közben is.

A **meteorológiai adatok megmérésének hibája meghatározza a törésmutató hibáját**. A parciális deriváltak képzése alapján az alábbi összefüggést írhatjuk fel a törésmutató hibájára (Csepregi, 2005).

$$dN = 0,4dp - 1,0dt - 0,05de = 0,4dp - 1,0dt - 0,06dt_v$$

11.28. egyenlet

### 11-1. táblázat - Táblázat

Mennyiség 1 egységgel való hibámérésének hatása	A hiba hatása a távolságra
A légnyomás 1 Hgmm nagyságú hibája esetén	A távolság hibája 0,4 mm kilométerenként
A hőmérséklet 1 C° nagyságú hibája esetén	A távolság hibája 1,0 mm kilométerenként
A párányomás 1 Hgmm nagyságú hiba esetén	A távolság hibája 0,05 mm kilométerenként
A nedves hőmérséklet 1 C° nagyságú hibája esetén	A távolság hibája 0,06 mm kilométerenként

Ez azt jelenti, hogy az együtthatók a mért mennyiség 1-egységnyi változása esetén megadják a távolság hibáját mm/km egységben.

Tekintettel arra, hogy a párányomás és a nedves hőmérséklet fénytáv mérő esetén csak igen kis mértékben befolyásolja a mért távolságot, ezért ezt a gyakorlatban általában nem szoktuk mérni. A **meteorológiai javítás** tehát:

$$ppm = 27896 + \frac{0,387p}{1 + 0,00366t} \quad p[\text{Hgmm}] \quad t[\text{C}^\circ]$$

11.29. egyenlet

Különböző műszerek esetén a képlet első tagja attól függően változik, hogy a gyártó cég mit tekint az átlagos levegő törésmutató indexének. **A mai műszerek már számítják a redukció értékét, ha beállítjuk a hőmérsékletet és a légnyomást**. Korábban táblázatok és nomogramok szolgálták a ppm érték meghatározására.

Néhány jellemző adat az átlagos levegő törésmutató indexének (11.29. képlet első tagja) megadására különböző műszertípusok esetében (Csepregi, 2005):

### 11-2. táblázat - Táblázat

Geodiméter	275		Nikkon	275
Leica (Wild)	281,8		Pentax	279,75
Sokkia	278,96		Topcon	279,66
Zeiss (Oberkochen)	255,1		Az adatok műszerenként is változhatnak	

## 8. 11.8 A távmérés hibaforrásai

A távmérőműszer gyári alapbeállításainak megváltoztatása nélkül mért távolság még nem közvetlenül a ferde távolság lesz, hanem egy előzetes nyers távolság, amelynek redukálását a valódi ferde távolság kinyeréséhez még el kell végeznünk az összeadóállandó, a szorzóállandó és a szorzótényező értékével.

Az **összeadóállandó** a távmérés egyik legfontosabb hibája, amely minden mérési eredményt ugyanolyan mértékben terhel. A hiba eredete a műszer és prizma felépítéséből egyaránt adódik. A műszer esetén a hiba abból ered, hogy a műszer elektromos nulla pontja (ahonnan a távolságmérés indul) nem esik egybe a műszer állótengelyével. A prizma esetében a hiba abból ered, hogy a visszaverődési pont és a prizma állótengelye nem esik egybe. Az összeadóállandó tehát két részből áll, egy műszerállandóból és egy prizmaállandóból.

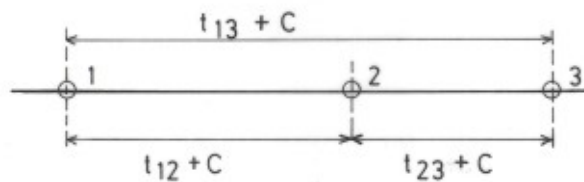
$$t = t_m + c_m + c_p = t_m + c \quad \text{és} \quad c = c_m + c_p$$

11.30. egyenlet

A műszer és prizma összeadó állandója együtt jelentkezik, csak a kettő együttes értékét lehet meghatározni.

A **műszer összeadóállandója nem állandó érték**, a műszer egyes elektromos alkatrészeinek öregedése, ezek jellemzőinek megváltozása az összeadó állandót is megváltoztatja, ezért időszakonként ellenőrizni kell a műszer összeadóállandóját. A **prizma összeadóállandója nem változó mennyiség**, mivel nem tartalmaz öregedő alkatrészt, csak a prizma méretétől és foglалásától, beépítési módjától függ.

Az összeadóállandó meghatározásának legegyszerűbb módja, hogy az 11-6. ábrának megfelelően lemérjük egy jó mérőszalaggal a  $t$  távolságot (amelyet hibátlannak tekintünk), és a műszerrel is meghatározzuk ezt. Ez a megoldás csak egyszerűbb esetekben használható, a hosszmerés (szalaggal végzett mérés) bizonytalansága miatt.



11-6. ábra Az összeadóállandó meghatározás egyszerű esete

A másik meghatározási lehetőség egy távolság közvetlen és két részben végzett mérésével valósítható meg. A 11-6. ábrának megfelelően egy egyenesen (vízszintes és magassági értelemben) kijelölünk három pontot.

Az ábra alapján felírhatjuk

$$t_{12} + c + t_{23} + c = t_{13} + c$$

11.31. egyenlet

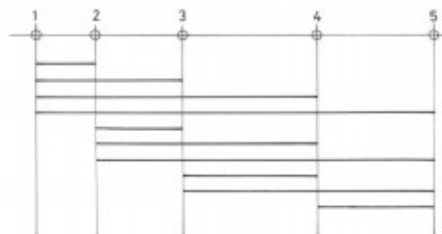
amiből

$$c = t_{13} - (t_{12} + t_{23})$$

## 11.32. egyenlet

A meghatározás előnye, hogy a meghatározás pontossága csak a műszer pontosságától függ. A fenti elrendezés hátránya, hogy csak a matematikailag szükséges mennyiségeket mérjük és nincs fölös mérésünk, és így nincs ellenőrzésünk a meghatározásra.

A fenti hárompontos megoldást javíthatjuk úgy, hogy egy egyenesen több pontot, célszerűen 5 vagy 7 pontot jelölünk ki, és minden kombinációban mérjük a távolságokat. (11-7. ábra)



11-7. ábra Összeadóállandó meghatározása minden kombinációban

Minden távolság ismeretében az összeadó állandót a

$$c = -\frac{\sum p_{ij} \cdot t_{ij}}{\sum p_{ij}} \quad \text{ahol:} \quad p_{ij} = n - 2(j - i)$$

## 11.33. egyenlet

képlettel számíthatjuk, ahol

- $t_{ij}$  az  $i$ . pontról a  $j$ . pontra mért távolság, mindig az alacsonyabb számú pontról a magasabb számúra értelmezve  $i < j$ .
- $p_{ij}$  a mért távolság súlya mindig egész szám, de lehet negatív is.
- $N$  a pontok száma.

Az összeadóállandó meghatározható még alapvonalon is. Ebben az esetben a szorzóállandóval együtt történik a meghatározás.

A műszer **szorzóállandója** a távmérő által előállított frekvenciától függ, ezért ezt a hibát gyakran nevezzük **frekvencia-hibának** is. A hiba eredete, hogy a műszer **nem azt a finom mérési frekvenciát állítja elő, ami tervezett, hanem attól eltérő értéket**. A frekvencia meghatározza a  $\lambda = v/f$  összefüggés alapján a hullámhosszat, azaz a mérőhullám hullámhossza nem a szükséges nemzetközi méter adott számú többszöröse. A hiba jellege olyan, mint mérőszalaggal történő mérés esetén, ha a mérőszalag hossza nem egyezik meg tényleges, nemzetközi méterben kifejezett értékével, hosszával.

A hiba **hosszabb időszakon keresztül állandó érték**, azonban a műszer belső elektronikus alkatrészeinek öregedése, hibája miatt változik. Ezért a használt műszereknél minden javítás után, de **legalább kétévenként ellenőrizni szükséges**.

A hiba meghatározását kétféle módon végezhetjük. Az egyik megoldása tisztán **fizikai-elektromos** úton történik. Laboratóriumban **frekvenciamérő berendezéssel** megméri a műszer frekvenciáját, és ebből határozzák meg a műszer szorzóállandóját. A megoldás hátránya, hogy szabatos frekvenciamérő berendezésre van szükség,  $10^{-6}$  -  $10^{-7}$  pontossággal.

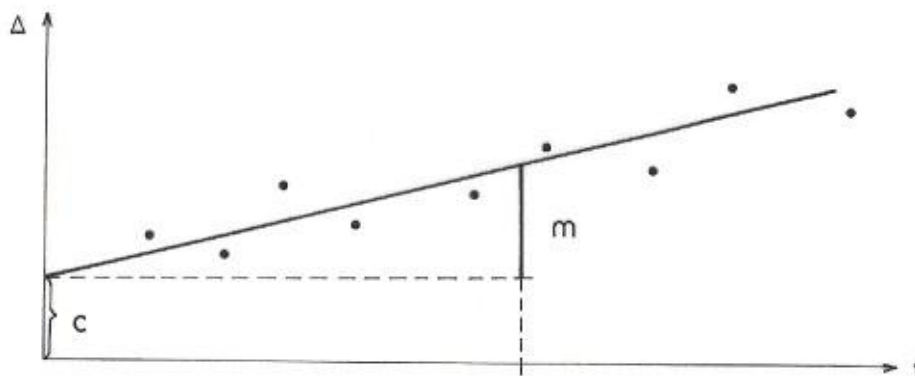
A másik megoldás az **alpvonalon történő meghatározás**. Alpvonal alatt, olyan geodéziai úton meghatározott vonalakat értünk, melynek **egy egyenesben** lévő pontjainak távolságát **szabatosan** (néhány tizedmilliméterre) meghatározták. Az alpvonalak hossza 5-800 métertől 1-2 km-ig terjed. A pontokat különleges állandósítással, általában **pillérekkel** valósítják meg. Egy alpvonalon általában 5-7 pillért helyeznek el.

A szorzóállandó meghatározása úgy történik, hogy az **alpvonal távolságait** (lehetőleg minden kombinációban) **lemérik a vizsgálandó műszerrel**. Képezzük az **alpvonal távolságok és a mért távolságok különbségét**:

$$\Delta_k = s_k - t_k$$

11.34. egyenlet

képletnek megfelelően, ahol  $s_k$  az alpvonal távolság,  $t_k$  pedig a mért távolság. Ezután egy  $\Delta = y$  és  $t = x$  matematikai koordináta rendszerben felrakjuk az összetartozó pontokat.(11-8. ábra)



11-8. ábra A szorzóállandó meghatározása

A pontthalmazra illeszthető

$$\Delta = m \cdot t + c$$

11.35. egyenlet

egyenes  $m$  **meredeksége**<sup>1</sup> a **táv mérő szorzóállandóját adja**, míg a  $c$  **tengelymetszet a műszer összeadó állandója**. Ezt egyszerűbb esetben grafikusán végezzük el, de ma már többnyire számítjuk regressziós egyenesként.

Gyakran a pontthalmazra nem egyenest, hanem egy hatványsort illesztnek, mely

$$\Delta = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + \dots$$

11.36. egyenlet

alakú (Csepregi, 2005). Gyakorlati tapasztalatok alapján a hatványsort nem érdemes 2-3 foknál magasabb fokszámra felírni. Sőt elméleti szempontból a második hatvány felírása sem indokolt határozottan. A következő oldalon egy alpvonalon végzett vizsgálat jegyzőkönyvét mutatjuk be(11-9. ábra).

### Táv mérő kalibrálás az Iszkaszentgyörgyi alpvonalon

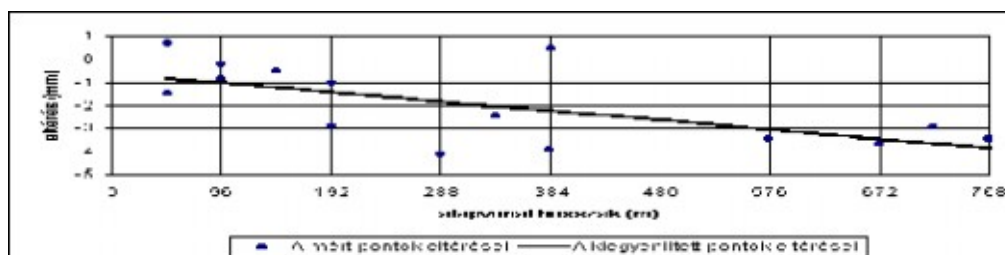
2003. április 1. Leica TC307 87053, eredeti egyes prizma

távolság	jele	mért	eltérés	kiegy. elt.	javítás	2x szórás
1	6	768,022	-0,43	-0,31	0,12	1,73
2	6	720,044	0,05	-0,34	-0,39	1,59
3	6	672,004	0,36	-0,37	-0,73	1,45
4	6	576,007	-0,43	-0,43	0,00	1,19

<sup>1</sup> Az egyenes meredeksége, az egyenes két tetszőleges adatpontja közötti függőleges és vízszintes távolságának a hányadosa, azaz megmutatja, hogy egy egységnyi X irányú változáshoz, mekkora Y irányú változás tartozik.

5	6	384,029	2,48	-0,54	-3,02	0,85
1	5	383,993	-2,91	-0,54	2,37	0,85
2	5	336,014	-1,43	-0,57	0,86	0,83
3	5	287,975	-2,12	-0,60	1,52	0,84
4	5	191,977	-1,91	-0,66	1,25	0,96
1	4	192,015	0,00	-0,66	-0,66	0,96
2	4	144,041	-3,52	-0,69	2,83	1,05
3	4	95,997	0,79	-0,72	-1,51	1,16
1	3	96,017	0,21	-0,72	-0,93	1,16
2	3	48,039	0,69	-0,75	-1,44	1,28
1	2	47,978	-0,48	-0,75	-0,27	1,28

szorzó állandó	0,6	szórása	1,7	mm/km
összeadó állandó	-0,8	szórása	0,7	mm
egy mérés szórása			1,6	mm



11-9. ábra Táv mérő kalibrálása az iszcai alapvonalon (Csepregi, 2005)

A harmadik lényeges hibaforrás a már korábban említett **meteorológiai javítás**, azaz a **szorzótényező**. A távmérés léptéke, amelyet a műszergyártók határoztak meg, csak a meghatározáskor mért  $n_{\text{kel}}$  törésmutató érték esetén lesz igaz. Ha változik a törésmutató, akkor ebben az esetben változik a lépték értéke is. A törésmutató értékét tehát meg kell határozni a mérés helyszínén a légnyomás és a hőmérséklet megméréseivel. Ezek ismeretében az 4.32-es képlettel szabatosan számítható a kilométeres meteorológiai javítás milliméterben, azaz a ppm érték. A ppm érték ismeretében a javított távolság:

$$t_{\text{met}} = t_{\text{mért}} + \text{ppm} t_{\text{mért}} \cdot 10^{-6}$$

11.37. egyenlet

Megjegyezzük, hogy a ppm érték számítása (újabb műszereknél) nem a mérőszemély feladata, hanem a műszer a hőmérséklet és légnyomás értékek megadása után automatikusan képezi azt, és figyelembe veszi a távmérési eredmény képzésénél.

A távmérés eredményeit még további hibák is terhelik, ezek azonban olyan jellegűek, hogy nem lehet (vagy igen bizonytalan) korrekcióként, redukcióként figyelembe venni őket.

Ezek közül az egyik legfontosabb a **fázishiba**. Ez a távmérők fázismérésének hibájából adódik. Jól kimérhető egy szabatosan ismert hosszúságú szakaszokból álló mérőpályán, ahol a prizmat a műszer alapléptékén belül eltoljuk, és minden pontra mérjük a távolságot. A hibátlan értékek és a mért távolságok eltérése eltolt szinuszhullámot mutat, ahol a hullám amplitúdója több milliméter nagyságrendű. A fázishiba a távolság nagyságával csökken, ezért nem vesszük figyelembe a mérések során.

A **fázishomogenitás hibája** akkor jelentkezik, ha nem a műszer által kibocsátott fénynyaláb közepével irányozzuk meg a távolság végpontját jelölő prizmat. Egyes műszerek hanggal (a hang erősségének növekedésével) vagy egy kis műszerrel jelzik a visszaérkező jel erősségét. Jó mérést csak akkor végezhetünk, ha az elektromos fénykúp tengelyével irányozzuk meg a prizmat. A fázishomogenitás hibáját úgy küszöböljük ki, hogy mindig a legnagyobb visszaérkező jellel irányozzuk meg a pontot a távméréskor. A prizmaival meg kell irányozni a távmérő műszert, erre leggyakrabban egy egyszerű dioptra szolgál a prizma burkolatán. A gyakorlatban ez a hiba néhány tíz fokos hiba esetén nem befolyásolja a mérés eredményét, de csökkenteni a prizma felületét és így kevesebb fény jut vissza a műszerbe. Ma már készítenek, úgynevezett körprizmákat – melyeket lényegében hat prizmából szerelnek össze - éa amelyek bármilyen irányból irányozhatók.

A **tápfeszültség értéke** lényegesen befolyásolja a mérés végrehajthatóságát, azonban nem befolyásolja a műszer mérési pontosságát. Nem megfelelő telepfeszültség alatt a távmérés nem végezhető el. A telepfeszültség alsó határértéke, ahol a műszer még engedélyezi a távmérést műszertípus függő, általában 9-12 Volt közé esik.

A távmérőműszer a távolságot a kezdő és végpont között, a **refrakció** által meghatározott ív mentén méri. Azonban úgy értelmezzük, mint a két pont közötti húr mellett mért távolságot. A kettő eltérése tíz kilométernél rövidebb távolságok esetén elhanyagolható.

## 9. 11.9 A távmérés redukciói

A méréseket a terepen végezzük, ezeket a távolság adatokat át kell számítani a számítás felületére. A távolságokat több lépésben számítjuk át. Az egyes átszámításokat **redukciók** formájában végezzük el. A redukciók általában kis értékűek, ezért igen fontos a redukciók értékét és előjelét figyelni. A redukciók egy részét már méréskor figyelembe vehetjük, ezért ügyelni kell, hogy ne hagyjunk ki valamelyik redukciót, de hiba az is ha valamelyik redukciót kétszer is számítunk.

A műszerrel meghatározott távolságot először **meteorológiai redukcióval** kell ellátni az 11.37-es képlet alapján

Ezt a távolságot térbeli ferde távolsággá alakítjuk a műszer **szorzó- és összeadóállandójának** figyelembe vételével. A meteorológiai redukcióval ellátott távolságot a

$$t_{ferde} = t_{met} + c + m \cdot t_{me}$$

11.38. egyenlet

képlettel számítjuk át a térbeli ferde távolság ívhosszára. Az ívhossz és a húrhossz közötti eltérés csak 30 km-nél éri el az 1 mm-t, ezért ez alatti távolságoknál figyelmen kívül hagyjuk.

A ferde távolságot **vízszintesre** kell redukálni, ezt kétféleképpen tehetjük meg. Az egyik lehetőség, ha ismerjük a két pont magasságkülönbségét, akkor a vízszintes távolság

$$t_{v'v'v} = \sqrt{t_{ferde}^2 - \Delta H^2} = t_{ferde} \cdot \sin z$$

11.39. egyenlet

összefüggéssel számítható. Azonban a második képlet a levegő sugártörése miatt csak kis távolságoknál, 300 m-nél rövidebb távolságoknál használható. Ennél nagyobb távolságoknál számítani kell előbb a magasságkülönbséget a refrakció figyelembevételével és utána az első képlettel számítjuk a vízszintes távolságot.

A vízszintes távolságot tovább kell redukálni a **geoidra**, azaz meg kell határoznunk a tengerszinten mért távolságot. Ezt

$$\Delta t_{geoid} = -\frac{H}{R} t_{v'v'v} \quad \text{és} \quad t_{geoid} = t_{v'v'v} + \Delta t_{geoid}$$

11.40. egyenlet



képletekkel végezhetjük el. További redukció, hogy a Föld gömbnek képzelt felületéről áttérjünk a számítás síkjára. Ez a **vetületi redukció** attól függ, hogy milyen vetületi rendszert használunk. Magyarországon az EOVT, az Egységes Országos Vetületi rendszert használjuk általában.

Erre a vetületre történő áttérés

$$\Delta t_{EOV} = \left( -70 + (X_{EOV} \cdot 10^{-5} - 200) \cdot 123 \right) \cdot 10^{-3} \cdot t_{geoid}$$

$$t_{EOV} = t_{geoid} + \Delta t_{geoid}$$

11.41. egyenlet

A vetületi redukció értéke -7....+20 cm között változik kilométerenként.

## 10. 11.10 A távmérés rövid története

**Fizeau** 1849-ben a fény terjedési sebesség meghatározására végzett kísérlete és a **Michelson** kísérlet 1887-ben is, módosított értelmezésben távmérésnek is tekinthető.

1923-ban a finn **Väsälä** kidolgozta a fény interferencia elvén működő távolság meghatározásra alkalmas mérés elvét és egy készüléket készített, melyet ma is használnak alapvonal mérésre (Väsälä-féle interferométer). A korszerű **elektrooptikai távmérés megoldása** a svéd **Bergstrand** elgondolása és kísérletei alapján **1948-ban valósult meg**. A műszert az **AGA cég** 1950-től szériában gyártotta. A műszer használata első formájában még rendkívül nehézkes volt mérete és súlya, valamint kezelésének körülményessége miatt. A folyamatos fejlesztés alapján **1967-ben Magyarországon is megjelentek az AGA Geodiméter-6 típusai**. Ennek nyomán a készülő alapponthálózat méréseinél egyre fontosabb szerepet kapott a távmérés. A cég azóta is készít (változó) Geodiméter/Trimble néven korszerű elektronikus műszereket.

Lényegében ugyanebben az időben folytak kutatások Dél-Afrikában is. **Wadley** vezetésével kialakult a **tellurometer elv**, amikor **rádióhullámok megjelölésével**, modulációjával végezték el a távolságmeghatározást. A Wadley tervei alapján készült műszer 1957-ben jelent meg. Ugyanezen elv alapján valósult meg **Magyarországon a GET-B1 távmérőműszer**, melyből több példány készült. Később, a 60-as évek elején a GET-A1 műszer prototípusát is kifejlesztették.

A műszerek fejlődésében igen fontos volt a **GaAs** (gallium arsenaid) **félvezető dióda megjelenése**, mely közvetlen amplitúdó modulációt tett lehetővé. Ezzel a fényforrással működő távmérőkben feleslegessé válik az egyik korábban legproblematikusabb rész, a modulátor. Az áramfelvétel jelentősen csökken, és ennek következtében jelentős súlycsökkenés érhető el. Az első műszer - mely ezzel a diódával megjelent - a **WILD gyár Di10** (Distomat) jelű műszere. Ez kis súlyával alig 10 kg felett, gyors, alig több mint 1 perces mérési idejével jelentős változást hozott a felmérési munkákban. Ezzel a műszerrel vált először lehetővé, hogy a részletpontokat megfelelő pontossággal, gyorsan és gazdaságosan mérjük be poláris mérési eljárással.

Az elektronika térhódításával a szögmérő műszerekbe is beépítették az elektronikus szögérzékelőket. Ez lehetővé tette az elektronikus távmérők és teodolitok összeépítését, és így létrejöttek az elektronikus tahiméterek és ezek fejlődésével kialakultak a mérőállomások. Az első **elektronikus tahimétert 1960-ban mutatták be a római olimpián**, ahol a dobószámok eredményeit **Reg Elta-14** jelű műszerrel (Zeiss Opton, Oberkochen) mérték meg (Csepregi, 2005).

## 11. 11.10 Összefoglalás

A modul során megismerkedtünk a geometriai-optikai és a fizikai távmérés alapjaival, módszereivel és redukcióival. Részletesen tárgyaltuk az időmérésen és fázismérésen alapuló távmérők elvét, valamint az elektrooptikai távmérőműszerek felépítését. Részletesen kifejtésre került a légkör energiacsökkentő hatása, valamint az elektromágneses hullámok légköri terjedésének néhány törvényszerűsége. A modul végén tárgyaltuk a távmérés redukcióit, valamint röviden áttekintettük a távmérés történetét.

### Önellenőrző kérdések:

1. Mi a különbség a hosszmérés és a távmérés között?
2. Milyen redukciókkal kell ellátni a hosszmérés mérési eredményét?

3. Hogyan történik a mérőszalag komparálása?
4. Ismertesse röviden az alábbi fogalmakat: geometriai-optikai távmérés, időmérésen és fázismérésen alapuló fizikai távmérés!
5. Hogyan épül fel egy távmérőműszer?
6. Milyen hatása van a légkörnek az elektromágneses hullámok energiájára?
7. Hogyan terjednek az elektromágneses hullámok a légkörben?
8. Melyek a távmérés hibaforrása?
9. Melyek a távmérés redukciói?
10. Foglalja össze röviden a távmérés történetét!

## Irodalomjegyzék

- Bácsatyai L.: *Geodézia erdő- és környezetmérnököknek*, Geomatikai Közlemények MTA FKK GGKI, Sopron, 2003
- Busics Gy.: *Adatgyűjtés I-2.*, NYME-GEO, Budapest, 2009
- Busics Gy.-, Csepregi Sz.: *Poláris részletmérés segédpontokkal*, Geodézia és Kartográfia, Budapest, 1997/3
- Csepregi Sz.: *Mérőállomások*, NYME-GEO, Székesfehérvár, 2005
- Csepregi Sz.: *Geodéziai alapismeretek I-II-III.*, SE-FFFK, Székesfehérvár, 1977
- Deumlich - Steiger: *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik*, Wichmann Verlag, Drezda, 2002
- Fasching A.: *A földmérés tan kézikönyve*. Magyar Királyi Pénzügyminisztérium, Budapest, 1914
- Fialovszky L.: *Geodéziai műszerek*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- Dr. Vincze Vilmos : *Geodéziai számítások*, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1959
- Gyenes R.: *A geomatika alapjai*, NYME-GEO, Székesfehérvár, 2006
- Hazay István (: *Geodéziai kézikönyv I-III.*, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1956-1960
- Krauter A.: *Geodézia*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002
- Martin D.,- Gatta G: *Calibration of Total Stations Instruments at the ESRF*, XXIII FIG Congress, München, 2006
- Oltay K.-, Rédey I.: *Geodézia*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1962
- Sárdy A.: *Geodéziai alapismeretek I-II.*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1985
- Sébor J.: *Geodézia I.*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1953
- Staiger R.: University of Applied Sciences, Bochum, Németország, 2009
- Yildiz F. : *3D modelling by advanced total station*, Selcuk University, Athén, 2007