

7. előadás: Építőipari tűrések és geometriai minősítésének alapjai. *

Az épületszerkezetek minőségét több szempontból vizsgálhatjuk. Beszélhetünk anyagminőségről (pl. szilárdság), a szerkezeti elemek geometriai minőségéről (alak, illesztés, méretek), a tartóságról, stb. A geodéziai mérések – a geodézia definíciójából adódóan – jellemzően az épületszerkezetek geometriai minősítéséhez használhatóak fel, de geodéziai mérések segítségével vezethetők le különféle szerkezetek szilárdságtani paraméterei is (pl. hidak próbaterhelésénél mért lehajlásokból a teher ismeretében megítélhető a szerkezet szilárdsága). Látható tehát, hogy az épületszerkezetek minőségének ellenőrzéséhez elengedhetetlen a geodéziai mérések mélyreható ismerete.

A kivitelezés geometriai pontosságát számos tényező befolyásolja:

- milyen geometriai pontossággal készülnek el az előre gyártott szerkezetek (gyártási pontosság)
- milyen geometriai pontossággal végezzük el a szerkezetek helyének kitűzését (kitűzési pontosság)
- milyen geometriai pontossággal végzik el a szerkezeti elemek összeszerelését (szerelési pontosság).

A teljes geometriai pontosság e tényezők együttes hatására alakul ki. Az épületszerkezetek geometriai szempontból értelmezett minőségének értékeléséhez be kell vezetnünk egy pontossági mérőszámot, amit tűrésnek fogunk nevezni. A következőkben a tűrés (tűrésmező) fogalmát fogjuk áttekinteni.

7.1. A tűrés fogalma

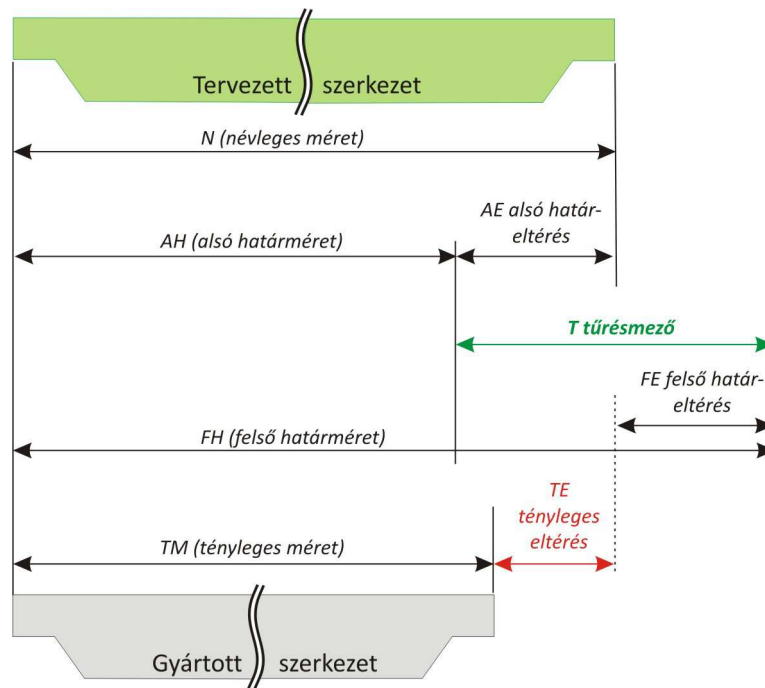
Az építőipari tűrés fogalma egy épületelem gyártásának a példájával érzékeltethető legjobban. Legyen a feladat egy N elméleti mérettel (alapmérettel, „kell” mérettel) megadott épületelem (pl. vasbeton gerenda) előállítására. A gyártási folyamat különböző szabályos és véletlen hibái miatt az azonos típusú épületszerkezetek is eltérő méretekben készülnek. Egy kiválasztott elemnek a gyártás befejezése után megállapított mérete a TM tényleges méret („van” méret).

Az épületelem rendeltetése szerint felhasználható, ha a tényleges mérete egy adott AH alsó határméretnél nem kisebb és egy ugyancsak adott FH felső határméretnél nem nagyobb: $AH \leq TM \leq FH$. Ilyenkor azt mondjuk, hogy a tényleges méret az alsó és a felső határméret közötti T tűrésmezőben van, ahol $T = FH - AH$.

Valamely méret és az alapméret előjeles különbségét méreteltérésnek nevezzük. A tényleges eltérés a tényleges méret és az alapméret különbsége: $TE = TM - N$. A felső határeltérés (a még elfogadható legnagyobb szerkezeti elem eltérése az elméleti mérettől) a felső határméret és az elméleti méret különbségeként számítható: $FE = FH - N$, ami pozitív mennyiség. Elméletileg kivételes esetben zérus értéket is felvehet, ha az elméleti méretnél nagyobb szerkezeti elem gyártása nem megengedett. Az alsó határeltérés az alsó határméret és az alapméret különbsége, azaz: $AE = AH - N$. A definícióból eredően az alsó határeltérés negatív szám, de kivételes esetben akár zérus értéket is felvehet.

A tűrésmező kifejezhető a felső és az alsó határeltérések különbségeként (az abszolút értékük összegeként) is: $T = FE - AE = |FE| + |AE|$. A tűréssel kapcsolatos fogalmakat a 3-1. ábra szemlélteti.

*A 7. előadás anyagát összeállította dr. Rózsa Szabolcs



3-1. ábra. A gyártási tűrés fogalomrendszere

A tűrésmező az alpmérethez viszonyítva általában szimmetrikus: $FE = -AE$, de előfordulhatnak aszimmetrikus tűrésmezők is. A tűrésmező megadása számszerűen az alsó és a felső határeltérésekkel történik:

$$\text{pl.: } L = 12,000 \begin{matrix} + 0,024 \\ - 0,036 \end{matrix} m$$

Az épületszerkezetek geometriai minőségének megítéléséhez a továbbiakban a tűrésmezőt fogjuk felhasználni. Abban az esetben, ha pl. az előre gyártott szerkezeti elem tényleges mérete a tűrésmezőbe esik, akkor a gyártás geometriai szempontból megfelelő minőségű.

Nyilvánvaló, hogy két azonos célra, azonos anyagból és azonos gyártási technológiával készült szerkezeti elem közül a nagyobb méretű elem gyártásában nagyobb tűrés engedhető meg. Az is belátható, hogy a szerkezet jellegét (anyagát és rendeltetését) is figyelembe kell venni a tűrés megállapításakor: két ugyanolyan méretű acél és vasbeton tartógerenda közül az acélgerendát kisebb tűréssel kell gyártani; az áthidaló gerendát pedig pontosabban kell elkészíteni, mint az ugyanolyan méretű beton támfalat.

Az építési tűrések tehát a mérettől és az anyagtól illetve rendeltetéstől függő tűrés rendszerre alkotnak, amelyben bármely tűrés a méretet figyelembe vevő t alaptűrés és az anyagot és rendeltetést figyelembe vevő p pontossági szorzó szorzataként írható fel:

$$T = p \cdot t \tag{3-1}$$

Az alaptűrés az L méret függvénye. A szabványban megadott összefüggés:

$$t = 23,5 \cdot \frac{L + 1790}{L + 42000} \tag{3-2}$$

ahol az L méret milliméterben értendő, a t alaptűrést is milliméterben kapjuk meg. A szabvány az alaptűrés tizedmilliméterre kerekített értékét táblázatban adja meg a különböző, általában kerek L méretekre.

| | | | | | |
|----------|-----|------|------|--------|--------|
| L [mm] | 100 | 1000 | 4000 | 12 000 | 28 000 |
| t [mm] | 1,0 | 1,5 | 3,0 | 6,0 | 10,0 |

3-1. táblázat. Az alaptűrés értéke néhány jellemző méret esetén.

Megjegyezzük, hogy a szabványban $L_{max}=28\,000$ mm méretig táblázatos formában is megtalálhatjuk ezeket az értékeket, e méret felett a (3-2) egyenlettel kell kiszámítani az alaptűrés értékét. A szerkezet jellegétől függő pontossági osztályba sorolás alapja egy mértani sorozat. A szabvány tíz pontossági osztályt különböztet meg, az osztályok jelölésére kisbetűk használatosak a -tól k -ig. A szabványban közölt kerekített értékek a 3-2. táblázatban találhatóak.

| pontossági osztály | a | b | c | d | e | f | g | h | i | k |
|--------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| p | 0,25 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 1,6 | 2,5 | 4,0 | 6,0 | 10 | 16 |

3-2. táblázat. Az alaptűrés értéke néhány jellemző méret esetén.

A szabvány ajánlásszerűen megadja a különböző építményrészek pontossági osztályba sorolását: például a beton alap a h - k , a nyersen maradó monolit vasbetonszerkezet az f - g pontossági osztályba sorolandó az építőipari tűrések szempontjából. Ennek megfelelően pl. egy 12 m méretű beton alap 36-96 mm-es tűréssel, egy ugyanakkora vakolatlan monolit vasbeton szerkezeti elem 15-24 mm-es tűréssel készítenendő el.

7.2. Megengedett szerkezeti kitűzési eltérések

Mint ahogyan azt már korábban említettük, épületszerkezetek teljes tűrése (T) három tényező eredőjeként határozható meg:

$$T^2 = T_{gy}^2 + T_{sz}^2 + T_k^2, \quad (3-3)$$

ahol T_{gy} a gyártási, T_{sz} a szerelési és T_k a kitűzési tűrés. Jól látható, hogy az egyes hatások a középhibák terjedéséhez hasonlóan összegeződnek.

A gyártási és szerelési tűrést érdemes az építési tevékenységből adódó T_e értékbe összevonni, ekkor:

$$T^2 = T_e^2 + T_k^2. \quad (3-4)$$

A T_k kitűzési tűrést a T tűrésből érdemes levezetni. Általános elv, hogy a kitűzési tűrés a teljes tűréshez képest gyakorlatilag elhanyagolható legyen. A T_k kitűzési tűrést az építési tevékenységből adódó T_e tűrés u -szorosának vesszük fel ($T_k = u \cdot T_e$), és a kitűzési tűrést elhanyagolhatónak tekintjük, ha $T - T_e \leq d \cdot T_e$, ahol d tetszőlegesen választható kis szám. Ekkor felírható, hogy:

$$u = \sqrt{(1+d)^2 - 1^2} = \sqrt{2d + d^2}. \quad (3-5)$$

A fenti egyenletből meghatározhatóak d függvényében az u paraméter értékei. Néhány összetartozó értékpár:

| | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|
| d | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,10 | 0,20 |
| u | 0,14 | 0,20 | 0,32 | 0,45 | 0,66 |

3-3. táblázat. A kitűzési tűrés hatása a teljes tűrésre (felső sor) és a kitűzési tűrés aránya az építési tűrés függvényeként (alsó sor)

A táblázatból megállapítható, hogy ha a kitűzés miatt a teljes tűrés 5%-os növekedését engedjük meg, akkor a kitűzési tűrés az építési tevékenységet jellemző tűrés 32%-a, míg 10% növekedés esetén 45%-a.

A kitűzés pontossági követelményeit célszerű az építési tűrésrendszerhez kapcsolni. Ha valamely építmény kitűzési tűrését egy ugyanolyan méretű, de két pontossági osztállyal pontosabb építmény építési tűrésével tekintjük egyenlőnek, akkor u értéke 0,40-nek adódik (hiszen a pontossági osztályhoz tartozó szorzótényezők egy mértani sorozat elemei). Ekkor $d=0,08$, azaz a kitűzés miatt a teljes tűrés 8%-al nő meg. Megjegyezzük, hogy az M2 Mérnökgeodéziai Tervezési Segédlet is hasonlóképpen rendelkezik, hiszen az u együttható értéke általában 0,4 (szélső értékei 0,25 és 0,60).

Szimmetrikus tűrésmezőt feltételezve a megengedett kitűzési eltérés a tűrésmező fele, tehát a megengedett szerkezeti kitűzési eltérés:

$$t_k = \frac{T_k}{2} \tag{3-6}$$

A kitűzések pontossági osztályai

A kitűzési munkákat az M2 Mérnökgeodéziai Tervezési segédlet pontossági osztályokba sorolja. A besorolás alapja a t_k megengedett szerkezeti kitűzési eltérés. A pontossági határok a vízszintes és magassági kitűzésekre vonatkozóan eltérőek.

| Vízszintes kitűzésekre vonatkozóan | | Magassági kitűzésekre vonatkozóan | |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| pontossági osztály | t_k [mm] | pontossági osztály | t_k [mm] |
| A | $t_k < 1,0$ | E | $t_k < 0,5$ |
| B | $1,0 \leq t_k < 10,0$ | F | $0,5 \leq t_k < 2,0$ |
| C | $10,0 \leq t_k < 20,0$ | G | $2,0 \leq t_k < 5,0$ |
| D | $20,0 \leq t_k$ | H | $5,0 \leq t_k$ |

7.3. Megengedett elhelyezési kitűzési eltérések

A kitűzések során meg kell különböztetnünk egyes épületszerkezeti elemek kitűzését a teljes építmény elhelyezési kitűzésétől. Könnyen belátható, hogy általában a szerkezeti kitűzéseket nagyobb pontossági igény jellemzi, mint a teljes építmény elhelyezési kitűzési pontosságát, ezért az M2 Mérnökgeodézia Tervezési Segédlet szerint a vonatkozó megengedett szerkezeti kitűzési eltérések betartása biztosítja a létesítmény megfelelő pontosságú elhelyezését is.

7.4. A megengedett kitűzési középhiba

A korábbi előadásokon megismertük a geodéziai mérések megbízhatóságának meghatározási módszereit. Az egyetlen mennyiségre végzett mérések alapján ki tudjuk számítani azok középhibáját, míg több különféle mérés együtteseként (pl. poláris pont: irány-, és távolságmérés) meghatározott geometriai paraméterek középhibáját a hibaterjedés törvényét alkalmazva határozhatjuk meg. Az építmények kitűzése során azonban a tűrés nem középhiba jellegű mennyiség, hanem a geometriai paraméterekben megengedhető legnagyobb eltérések függvénye. Annak érdekében, hogy a kitűzést a vonatkozó pontossági osztályoknak megfelelően el tudjuk végezni, meg kell határozzuk a geodéziai mérésektől elvárt megbízhatóságot, azaz a geodéziai mérések középhibáját.

Induljunk ki a t_k megengedett (akár elhelyezési, akár szerkezeti) kitűzési eltérésekből. Tételezzük fel, hogy méréseink szabályos hibáktól mentesek és a normális eloszlást követik. Ebben az esetben a 3σ szabálynak megfelelően 99,73%-os valószínűséggel:

$$3m \leq t_k \text{ és } m \leq \frac{t_k}{3}. \quad (3-7)$$

Így tehát a 3σ szabály segítségével összefüggést teremthetünk a méréseink elvárt legnagyobb középhibája és a megengedett kitűzési eltérés között.

A (3-7) összefüggés azonban nem veszi figyelembe azt a tényt, hogy a kitűzéseket nem egyetlen méréssel hajtjuk végre, hanem a kitűzési mérést szükségképpen követi egy ellenőrző mérés is. Ha feltételezzük, hogy mindkét mérés azonos pontosságú, akkor:

$$\frac{m}{\sqrt{2}} \leq \frac{t_k}{3}, \text{ azaz: } m \leq \frac{\sqrt{2}}{3} t_k \approx \frac{t_k}{2}. \quad (3-8)$$

A megengedett kitűzési középhiba ismeretében a kitűzés megtervezhető. A kitűzés tervezésekor:

- kiválasztjuk az alkalmasnak ítélt kitűzési eljárást (derékszögű kitűzés, poláris kitűzés, stb.);
- kiválasztjuk a kitűzésre alkalmasnak ítélt mérőfelszerelést (teodolit, mérőszalag, elektronikus mérőállomás, stb.)
- a kiválasztott mérőfelszerelés gyári dokumentációja vagy korábbi mérési tapasztalataink alapján ismerjük a mérőfelszereléssel meghatározott eredmények középhibáit. A kitűzési eljárás és a geometriai viszonyok ismeretében – a hibaterjedés törvényét felhasználva – meghatározhatjuk, hogy a pont mekkora 'a priori' középhibával tűzhető ki. Ha a kiszámított középhiba nem nagyobb a megengedett kitűzési középhibánál (3-8 képlet), akkor a kitűzés az adott módszerrel és a kiválasztott mérőfelszereléssel elvégezhető.

Ha az 'a priori' középhiba a megengedettnél nagyobb, akkor vagy pontosabb mérőfelszerelést választunk, vagy geometriailag kedvezőbb feltételeket biztosítunk (pl. továbbá, a kitűzendő ponthoz közelebbi alappontokat hozunk létre).

7.5. A geometriai minősítések alapjai

A megépült építőipari szerkezetek minőségellenőrzésének egyik fontos része a szerkezetek geometriai minősítése. A geometriai minősítés során különféle paramétereket vizsgálhatunk:

- pillérek függőlegessége;
- falak síklapúsága és függőlegessége;
- élek függőlegessége;
- födémek síklapúsága;
- elemek egyenessége, párhuzamossága, derékszögűsége, stb.

A következőkben néhány geometriai minősítési eljárást tekintünk át.

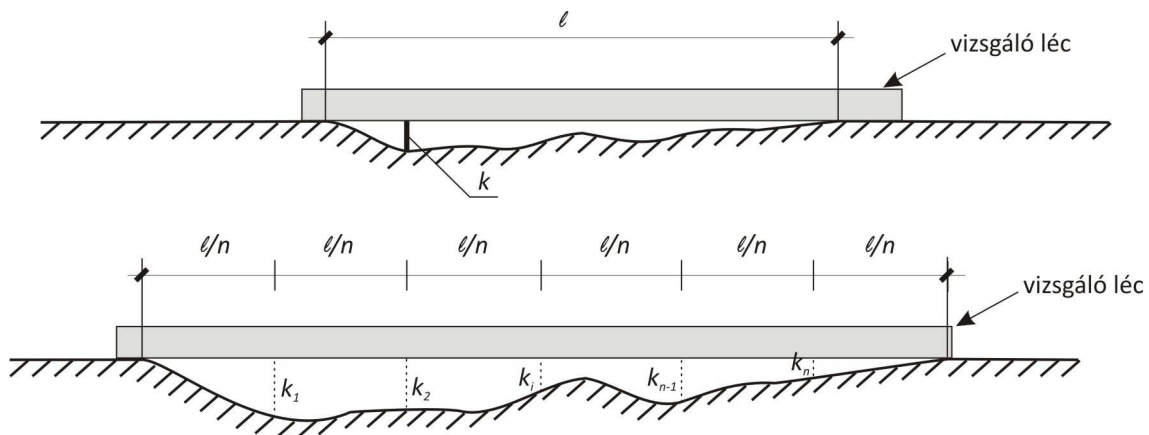
Síktól való eltérés

A síktól való eltérést kétféleképpen vizsgálhatjuk. Beszélhetünk helyi síklapúság vizsgálatról, amikor a felületet csak egyenesek mentén vizsgáljuk. Emellett teljes síklapúság vizsgálatot is végezhetünk, amikor egy felületi rácsháló mentén bemért pontjai alapján egy kiegyenlítő síkot határozunk meg, majd a tényleges falfelület és e kiegyenlítő sík eltérései alapján ítéljük meg a felület síklapúságát.

Helyi síklapúság vizsgálata

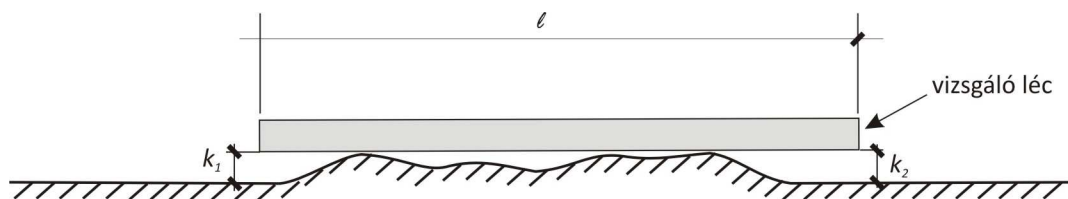
Homorú felület vagy él esetén a vizsgáló lécet a homorú rész fölé kell helyezni és a vizsgáló lécs és a felület vagy él közötti legnagyobb húrmagasságot kell megmérni (k). A húrmagasság (k) értékét a homorú felület vagy él mérés szerinti hosszának (l) megfelelő követelményértékkel kell összehasonlítani. A követelményértékeket az épületszerkezet jellegétől és anyagától függő pontossági osztályoknak kell megfeleltetni.

Ha az előbbieken ismertetett mérés nem szolgáltat kellő részletességű adatot, akkor nem egy, hanem több húrmagasságot kell meghatározni. Ebben az esetben a vizsgáló lécs mentén azonos távolságoként kell a húrmagasságokat megállapítani. Az értékelésnél a k_1, k_2, \dots, k_n értékek számtani közepét kell figyelembe venni.



3-2. ábra. Síklapúság vizsgálata homorú felület esetén

Domború felület vagy él esetén a vizsgáló lécet a domború felület fölé kell helyezni, ki kell támasztani és a vizsgáló lécs mindkét végénél meg kell mérni a vizsgáló lécs és a felület vagy él közötti k_1, k_2 távolságot. A mért értékek összegének a felét kell a mérőlécs hosszának (l) megfelelő követelményértékkel összehasonlítani.



3-3. ábra. Síklapúság vizsgálata domború felület esetén

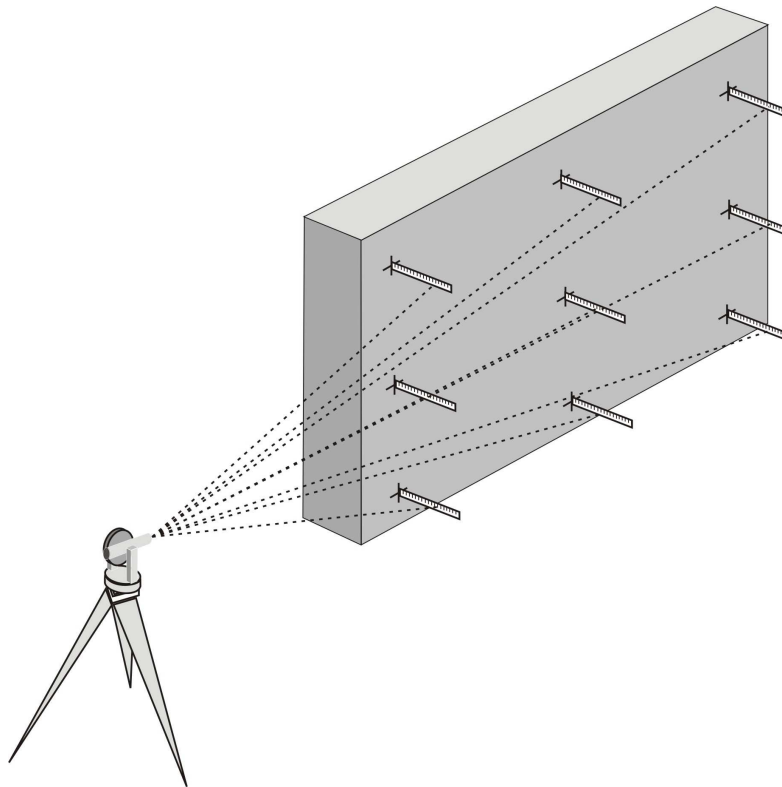
Teljes síklapúság vizsgálata

Függőleges helyzetű elemen (pl. falsík) teodolit segítségével előállítunk a vizsgálandó felülettel párhuzamos, attól kb. 30 cm-re egy függőleges referencia síkot (erős napsütésben az

oldalrefrakció hatásának elkerülése miatt min. 50 cm-es távolságot kell tartani). A 3-4. ábrának megfelelően a vizsgálati pontokra vízszintes helyzeti, mm beosztású mérőlécet helyezünk el, majd leolvasásokat teszünk az álló irányzsal segítségével a mérőlécen. A mérést két távcsőállásban hajtjuk végre. A minimális tárgytávolságot haladja meg a 10 métert.

Vízszintes helyzetű elemen szintezőműszert használunk. A szintezőműszerrel előállított vízszintes referenciasíkhöz képest határozzuk meg a vizsgálati pontok távolságát, az azokra elhelyezett függőleges helyzeti mérőlécekre (szintezőlécekre) tett leolvasások segítségével.

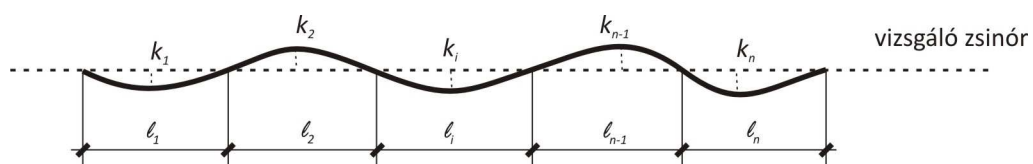
Megjegyezzük, hogy a bemutatott módszerekkel nem csak teljes síklapúság mérése hajtható végre, hanem a helyi síklapúságot is vizsgálni tudjuk (pl. a vizsgálati pontok a falsíkon egyetlen függőlegesen helyezkednek el).



3-4. ábra. Síklapúság vizsgálata teodolittal

Élek és felületi vonalak eltérése az egyenestől

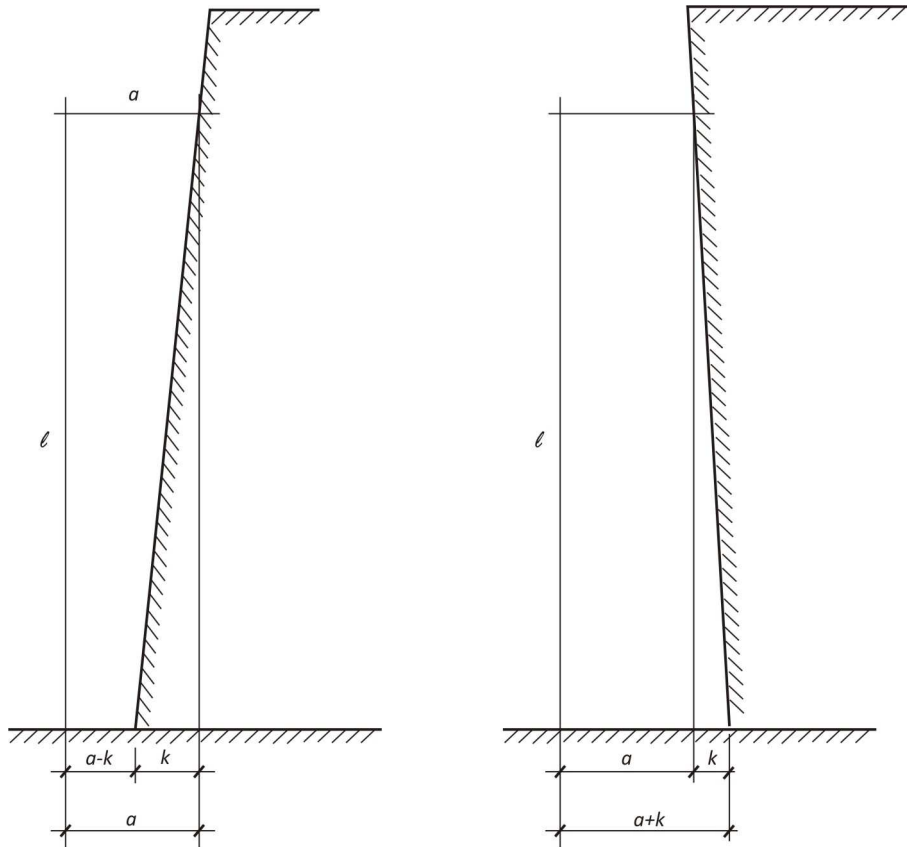
A vizsgálandó él vagy felületi vonalat zsinórral, vagy a távcső irányvonalával előállítva meghatározzuk a referencia egyenes és az él/felületi vonal legnagyobb eltéréseit (k_i) és a hozzájuk tartozó húrhosszúságokat (l_i). Az így kapott l_i , k_i értékpárok alapján végezzük a minősítést az előbbieken leírt módon a pontossági osztályok figyelembevételével.



3-5. ábra. Élek és felületi vonalak egyenestől való eltéréseinek vizsgálata

Függőlegestől való eltérés

A felületek, élek függőlegestől való eltérését függővel (vagy optikai vetítéssel) és mm pontosságú mérőléccel kell vizsgálni. A függőlegestől való eltérés $+k$ és $-k$ mértékét mm pontossággal kell megállapítani és az l magasságnak megfelelő követelményértékekkel kell összehasonlítani.



3-6. ábra. Felületek, élek függőlegestől való eltérésének vizsgálata

Az előadás anyaga az ajánlott irodalomban:

Krauter: Geodézia; 12.1 alfejezet