

A kis alakváltozások elvének alkalmazása közelítő számítások kidolgozásához

The application of small deformations theory in developing approximate computations

OROSZ Árpád

Abstract

Alongside the state of the art robust computational methods that are constantly evolving it is still essential that simple, easy to use practical approximations that satisfy safety criteria are available for use. This paper postulates that employing the small displacements theory well known from mechanics good approximations can be attained just considering conditions of equilibrium. In engineering structures in the construction industry, it is sufficient to determine the stresses with few percentage points of accuracy. The accuracy ultimately determined by the structural model chosen, the computational method utilized, and the reliability of the basic reference data used.

Keywords: small deformations theory, engineering accuracy, structural modeling, computational method, safety

Kivonat

A korszerű nagy teljesítményű számítástechnikai módszerek megállíthatatlan fejlődése mellett is szükség van egyszerűen kezelhető, a gyakorlat és biztonság igényeit kielégítő pontosságú közelítő módszerekre. A dolgozat bemutatja, hogy a mechanikából ismert kis alakváltozások elvének alkalmazása esetén a közelítő módszerek kidolgozásához elegendő az egyensúlyi feltételek teljesítése. Az építőmérnöki tartószerkezetekben az igénybevételeket néhány százalékos pontossággal kell meghatározni. A pontosságot a valósághű erőtani modell, a számítási módszer, valamint a felhasznált alapadatok megbízhatósága határozza meg.

Kulcsszavak: kis alakváltozások elve, mérnöki pontosság, erőtani modell, számítási módszer, biztonság

1. BEVEZETÉS

Az emberi, de különösen a mérnöki tevékenység célja egy tökéletes, abszolút pontos létesítmény megvalósítása. Ezt a célt különböző, itt most nem részletezett okok miatt csak bizonyos pontossággal lehet elérni. A közvéleményben általánosan elterjedt fogalom, az úgynevezett „mérnöki pontosság”. A pontosság és a vele analóg gondosság igénye a mérnöki tevékenység minden területére, így a tervezés, a megvalósítás, a tudományos kutatás, az üzemeltetés területére kiterjed.

A jelen dolgozatban csak a tervezés, azon belül is csak az erőtani számítással kapcsolatos pontossági követelményeket, problémákat vizsgáljuk, az építőmérnöki szakterületre korlátozva.

2. A MÉRNÖKI FELADAT MEGOLDÁSA

Felvetődik a kérdés, ki is az a mérnök? Röviden az alábbiak szerint határozhatjuk meg:

„A mérnök a társadalomnak az a tagja, egy nagyszerű mesterség művelője, aki a természeti erőforrásokat a természettudományok segítségével, másokkal együttműködve, olyan alkotások, létesítmények megvalósítására fordítja, amelyek a társadalomcéljait szolgálják.”

Ezek megvalósításához a társadalom tulajdonában lévő eszközöket használja, ezért a rendeltetés szerinti működésükért felelősséggel tartozik. A felelősség arra kényszeríti, hogy munkáját gondosan és pontosan végezze.

2.1. A társadalmi igény meghatározása, felmérése

A mérnöki feladat megoldásának első lépése különösen gondos előkészítést igényel. A jelenlegi helyzet mellett, a fejlődés iránya, gyorsasága meghatározó jelentőségű, ezért ezt tapasztalt szakértőkre kell bízni.

2.2. A létesítmény szerkezeti rendszere kialakításának megválasztása.

A tapasztalat szerint végtelen sok megoldás létezik, és ezek közül kell kiválasztani a valamilyen szempont szerint meghatározott optimumot. Ezek lehetnek üzemeltetési, funkcionális, szerkezeti rendszer, erőtani, pénzügyi, tartóssági, megvalósítási idő iránti, technológiai, fenntartási stb. igények. Az optimum közelében több, lényegében azonos értékű megoldás található. Az ezek közötti választáshoz jelentős tapasztalatra van szükség és közelítő módszerek alkalmazhatóak. Egy pályázathoz csak egy kiemelt változathoz kell részletesebb igazolást kidolgozni. E vizsgálat során például az erőtani számításokat már pontosnak tekintett módszerekkel kell elvégezni.

A pontossági igény

A pontosság a valóságtól való eltérés mértéke. Miben mérjük a pontosságot? A mértékegységekben való meghatározás az összehasonlítást lehetetlenné teszi, ezért a legegyszerűbb és általánosan használható a százalékban való meghatározás. Az építőmérnöki területen a tartószerkezetek erőjátékának vizsgálata során a pontossági igény 3-5 százalékban a szerkezeten megjelenő alakváltozások esetében egy nagyságrenddel szigorúbbak a követelmények, és ez 1-2 ezrelékben határozható meg.

2.3. Az erőtani vizsgálat

2.3.1. Az erőtani számítási modell

A tervezés egyik legfontosabb része a teherviselő szerkezet erőjátékának, biztonságának meghatározása. Ehhez a mérnök a matematika eszközeit használja. A szerkezet kialakítása alapján egy egyszerűsített, idealizált úgynevezett matematikai modellt alkot, és a számításokat ezen hajtja végre. Ez a modellalkotás rendkívül nagy tapasztalatot igényel, ugyanis többféle modellt lehet kialakítani, és a valóságot az adott esetben legjobban megközelítőt kell alkalmazni. A kiválasztott matematikai modellen végrehajtott számításnak azonban csak egy megoldása van. A számítási módszerek különbözőek lehetnek, így analitikus, iterációs, grafikus stb. eljárásokat lehet alkalmazni, azonban csak egy megoldás létezik, mindegyik ugyanazt a végeredményt szolgáltatja. A mérnöki szerkezet erőtani vizsgálatában alkalmazott eljárások az alábbi részekre épülnek:

2.3.2. Számítási módszerek, eljárások

Az ó és középkori tapasztalaton alapuló módszerek után, néhány száz évvel ezelőtt kialakultak és rendkívül gyorsan fejlődtek az egyszerű analitikus, grafosztatikus, majd erő és mozgás módszerek, később megjelent a végelesemes módszer a számítástechnika és ez alapvető változást jelentett. A fejlődés rendkívül gyors, a megbízhatóság, pontosság jelentősen növekedett és a több dimenziós eljárások is megjelentek.

2.3.3. Terhek és hatások

A számítási módszerekben alkalmazott terheket és hatásokat a szabályzatok részletesen meghatározzák, ezek közül egyet emelünk ki, nevezetesen a mozgó teherből származó dinamikus igénybevételek meghatározását. Az átlagos építőipari szerkezetek esetében a pontosabb – a tömeg, a sebesség stb. figyelembevételével - kidolgozott módszerek helyett azt az egyszerűbb módszert alkalmazzák, amely szerint a statikus igénybevételeket egy a szabályzatokban meghatározott dinamikus tényezővel megszorozzák. Ezek a dinamikus tényezők átlagos értékek és így közelítések, pontatlanságot tartalmaznak. Pontosnak tekinthető dinamikai vizsgálatra, csak kiemelt jelentőségű létesítmények esetében van szükség. Dinamikai jellegű a földrengésből származó hatások számítása.

2.3.4. Az alkalmazott anyagok

A felhasznált anyagok előállítási technológiái, szilárdsági és egyéb tulajdonságai jelentősen fejlődtek. Itt a beépített anyagok minőség ellenőrzésének fejlesztése a feladat. Tervezés esetén a szabályzati előírásokat, ellenőrzés során a beépített anyagokat kell figyelembe venni.

2.3.5. A biztonság

A biztonság és a kockázat egymás reciprokai. Biztonságos valami akkor, ha a meghibásodás valószínűsége egy bizonyos szintet nem halad meg. A biztonsági szintek pl. az alábbiak: ideiglenes 3~5 évre épülő létesítménynél minden ezredik (10^3), a 100 évre épülő átlagos létesítmény esetén minden tízezredik (10^4), a 100 évnél hosszabb időre készülő kiemelt létesítmény esetében minden százezredik (10^5) tönkremenetelle valószínűsíthető. A szintekbe való besorolást, a biztonsági tényezőket és alkalmazásuk módját a szabályzatok, előírások tartalmazzák. A kezdeti egységes biztonsági tényezőt felváltó osztott biztonsági tényező módszer jelentős fejlődést hozott, de a pontosságot ezek megválasztása határozza meg. A biztonsági tényező a tönkremenetelt jelzi, törés, azaz tönkremenetel esetén ez elég jól meghatározható, a használhatóságot jelző határ megállapításánál viszont szubjektív tényezők is jelentkezhetnek.

3. A MÉRTÉKADÓ, ILLETVE A HATÁRIGÉNYBEVÉTELEK MEGHATÁROZÁSA

A kiválasztott erőtani modellen ki kell számítani az igénybevételek, alakváltozások stb. alapértékeit. A szabályzatokban előírt biztonsági tényezőkkel és csoportosítással a mértékadó, illetve határigénybevételek (tervezési értékek) meghatározhatóak. Ezek tehát nem valóságos, hanem fiktív, számított értékek, mennyiségek. Nagyságukat, pontosságukat az alkalmazott tényezők, csoportosításuk rendszere határozza meg. A változatos tényezők és csoportosítás miatt a pontossági követelmény meghatározása bizonytalan. A pontossági igény, mint korábban említettük, 3-5 %-ban határozható meg. Amennyiben a számításnál a bemenő adatok valószínűségi változók, akkor a pontosság is az.

4. ALAKVÁLTOZÁSOK, ELMOZDULÁSOK, FESZÜLTTSÉGEK

4.1. A kis elmozdulások elve

Általános esetben a külső teher hatására létrejövő alakváltozások és feszültségek közötti összefüggések meghatározása bonyolult feladat. A mechanikából, illetve az elemi szilárdságtanból ismert a kis elmozdulások elve, amely lehetővé teszi közelítő feltevések bevezetését, és a számítások egyszerűsítését. Ilyen például a hajlított tartónál a sík keresztmetszetek feltevése, amely Bernoulli-Navier törvény néven ismert. A kis elmozdulások elvének alkalmazását az elemi szilárdságtanban azzal indokolják, hogy egy híd, illetve tartó gerenda lehajlása a feszítávolsághoz viszonyítva nagyon kicsiny, a feszítávolság ötszázad- egy ezredénél is kisebb. Kis alakváltozásnak tekintjük, tehát az 1-2 ezrelék vagy ennél kisebb elmozdulásokat (Kaliszky et.al. 1990)

4.2. Egyenes hajlítás

Az elemi szilárdságtanban, ha csak „tisza hajlítás” működik, azaz a nyíróerő zérus, akkor a normál-feszültséget a jól ismert képlettel lehet meghatározni, azaz

$$\sigma = \frac{M}{J} y = \frac{M}{K} \quad (1.)$$

Itt feltételezték a Bernoulli-Navier elv, azaz a kis elmozdulások elvének érvényességét. A képlet levezetése során csak egyensúlyi feltételeket használtak, azaz az alakváltozásokat elhanyagolták.

4.3. Hajlítás és nyírás

Összetett igénybevételek, azaz M hajlítónyomaték és Q nyíróerő egyidejű működése esetén az elemi szilárdságtanban az alábbi összefüggést vezették be:

$$\tau_{yz} = \frac{Q S_x}{J_x s} \quad (2.)$$

a képletnek a levezetése során felhasználták a tiszta hajlítás esetén érvényes összefüggést (1) (Kaliszky et al 1990). Ez logikai ellentmondást jelent, mert feltételezték, hogy valami nincs, és az így kapott eredményt alkalmazták annak a meghatározására, hogy mekkora az, ami nincs. Itt is érvényesnek tekintették a sík keresztmetszet elvét.

4.4. A csavarás

Ezzel kapcsolatban csupán annyit emelünk ki, hogy itt is érvényesnek tekintik a kis alakváltozások elvét, azaz a keresztmetszet öblösödésének a hatását nem vizsgálják. Az így kapott képlet

$$\tau_z(r) = \frac{T}{I_0} r \quad (3.)$$

Az 1., 2., 3. képletek tehát tulajdonképpen közelítések, azonban pontosságuk a gyakorlati igényeket kielégíti, ezért általánosan használtak és a gyakorlatban már pontosaknak tekinthetők.

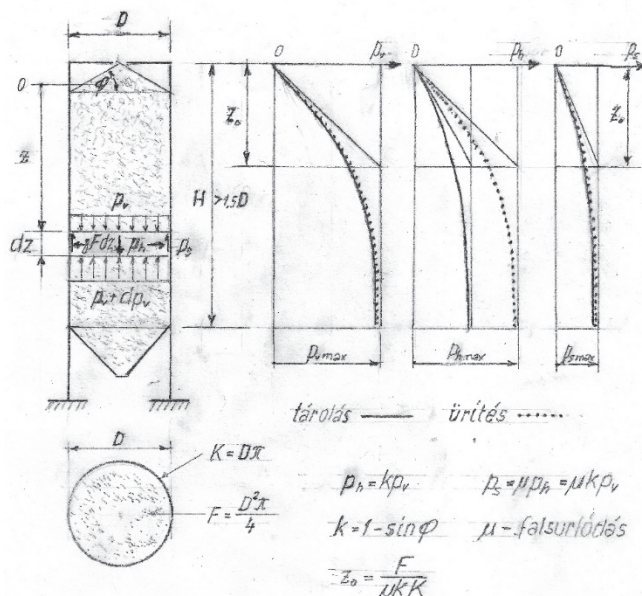
5. PÉLDÁK

5.1. A silónyomások

Janssen 1895-ben modellkísérletek alapján megállapította, hogy a silóban tárolt anyag súlyának egy része a cella fenéklemezén keresztül, a másik része a falon való súrlódással közvetlenül adódik át az alapozásra. A silóban nyugalomban lévő anyag esetén a nyomásviszonyok számítással való meghatározására az ábrán látható cellán egy d magasságú elemi részre ható nyomások egyensúlyára az alábbi egyenletet írta fel. (Bölcskei-Orosz 1971)

$$F\gamma dz + p_v F - (p_v + dp_v)F - p_s K dz = 0 \quad (5.1.)$$

- γ a tárolt anyag térfogatsúlya
- A függőleges nyomás: p_v
- A vízszintes nyomás: $p_h = k p_v$ ahol $k = 1 - \sin\varphi$ a földnyomás elméletből ismert tényező
- A súrlódó nyomás: $p_z = \mu p_h = \mu k p_v$ ahol μ a falsúrlódási tényező



1. ábra A silónyomás

Az ábra jelöléseivel felírt egyensúlyi egyenlet három ismeretlent tartalmaz. Bevezetve a $z_0 = \frac{F}{\mu k \gamma}$ mennyiséget, és felhasználva a p_h és p_s előzőek szerinti meghatározását, rendezés után az alábbi elsőrendű differenciálegyenletet kapjuk, amely csak egy ismeretlent, a p_v függőleges nyomást tartalmazza.

$$\frac{dp_v}{dz} = \gamma \left(1 - \frac{1}{z_0 \gamma} p_v \right) \quad (5.2.)$$

A kezdeti feltétel a $z=0$ helyen $p_v=0$, így a megoldás

$$p_v = z_0 \gamma \left(1 - e^{-\frac{z}{z_0}} \right) \quad (5.3)$$

$Z = \infty$ esetében a legnagyobb nyomások

$$\begin{aligned} p_{vmax} &= \gamma z_0 \\ p_{hmax} &= k \gamma z_0 \\ p_{smax} &= \mu k \gamma z_0 \end{aligned} \quad (5.4)$$

Az 5.2. egyenlet tehát csak egyensúlyi feltételeket tartalmaz, az alakváltozásokat nem veszi figyelembe, a kis alakváltozások elvének alkalmazásával, így ez tulajdonképpen egy közelítő számítási modell, az 5.3 megoldás azonban a gyakorlat számára pontosnak tekinthető. Azt, hogy ez a modell elfogadható az bizonyítja, hogy a megoldás valóságghűen adja meg a nyomások tényleges, exponenciálisan csökkenő eloszlását. A megoldás, azaz a számítási eljárás pontosságát akkor az úgynevezett bemenő adatok, a γ , a k , és a μ tényezők határozzák meg. A természetes nagyságban gabonasilókon végrehajtott kísérletek szerint tárolás esetében $k_t = 0,5$, $\mu_t = 0,4$ ürítéskor $k_{\bar{u}} = 1$ és $\mu_{\bar{u}} = 0,2$ tényezőkkel a számított értékek a mérési eredményekkel jó egyezést mutattak.

Megjegyezzük, hogy az ürítési állapotban a pontos vizsgálathoz a mozgásban lévő anyagra vonatkozó dinamikai egyenleteket kellene alkalmazni, ami nyilvánvalóan bonyolult lenne.

A felvázolt közelítés hasonló a tartószerkezetek esetében alkalmazott eljáráshoz, ahol dinamikus hatásokat úgy vesszük figyelembe, hogy a statikus értékeket egy dinamikus tényezővel megszoroyyuk. Az előzőek alapján nyilvánvaló, hogy a modell meghatározása alapvető jelentőségű, mert ha a jelenség a hatások leírására alkalmas, akkor a hozzá kapcsolt számítási módszerekben már közelítéseket, feltételezéseket is lehet alkalmazni. A silónyomásokkal kapcsolatos kísérleti eredményeket az (Orosz-Simurda 1985) (Orosz-Simurda-Varga 1990) (Orosz 2001) (Dulácska-Bódi 2018) dolgozatok részletesen ismertetik.

5.2. A mélyalappal gyámolított alaplemezek

5.2.1. Cölöpökkel gyámolított alaplemez

A cölöpök kiosztása lehet ritka vagy sűrű. A hazai gyakorlat a szerkezettervező szoftverekkel, a rugalmasan ágyazott lemezhez és cölöpökhöz iterációval felvett ágyazási tényezővel és cölöp rugókkal dolgozik. Ezek nem talajfizikai paraméterek, nem állandóak, és csak egy pontban érvényesek. Az iterációt több pontban kell végrehajtani, amihez nagyteljesítményű számítógépek szükségesek. Ezzel a pontosnak nevezhető geotechnikai modellel nem foglalkozunk, részletes ismertetés található a (Lödör-Móczár 2018) dolgozatban.

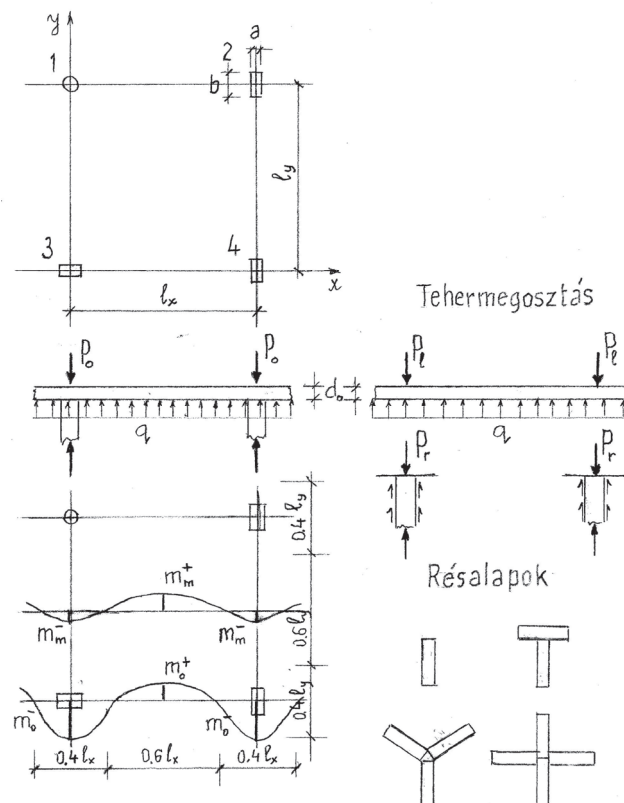
5.2.2. Réspillérrel gyámolított alaplemezek

Az alaplemez gyámolítására sikeresen alkalmazhatóak a réseléssel előállított réspillérek, ugyanis a munkagödör körülhatárolásához szükséges technológia a helyszínen rendelkezésre áll, erre is felhasználható. Az alapozási rendszer kidolgozói elsősorban a megvalósítási technológia fejlesztésére törekedtek, hogy a vasalás szerelése egyszerű, minél kevesebb fajta vasátmérő és vasalás fajta legyen, csökkenjen a helyszíni élőmunka, az anyag és a munka árak optimálisan alakuljanak. Azt az alapelvet fogadták el, amely szerint az „az elmélet

a gyakorlat szolgálóleánya”. Részletesen tárgyalják a témát (Orosz 2014,2016) (Orosz-Nagy-Zábrádi-Horváth-Répánszki 2017) (Orosz.Nagy 2018) (Nagy- ay2019) dolgozatok.

A „tartószerkezeti modellnek” nevezhető módszer a tehermegosztás elvére épül, oly módon, hogy a vasbeton alaplemezt választja alapul, ugyanis ennek teherviselő képessége a gyakorlat igényeit kielégítő pontossággal számítható. Az átlagos 50-50%-os tehermegosztás esetére (meghatározott teherre) a lemez mérete, vasalása mind hajlítónyomatékra, mind átszűrődásra jól meghatározható. A teljes teher és a lemezteher különbségére kell méretezni a mélyalapokat, így mindkettő jól kihasznált gazdaságos szerkezeti elem lesz. Az alaplemez igénybevételeit a szakirodalomban található fix alátámasztású síklemezekre kidolgozott táblázatokból számíthatóak. Az alaplemez tehát fix alátámasztású fordított fődémként vizsgáljuk. Ezt az indokolja, hogy jelentős a felszerkezet merevítő hatásának változása, ugyanis már az építés idején oly mértékben nő a szerkezet merevsége, hogy az korlátozza a tehernövekedésből származó alakváltozásokat. Ennél a módszernél tehát elhanyagoljuk a rugalmas ágyazásból származó mozgásokat. A megépült létesítményeken végzett mérések 1/1000 nagyságrendű alakváltozásokat 1 cm-nél kisebb süllyedés különbségeket jeleztek, azaz a kis alakváltozások elve érvényesnek tekinthető. Nagy előnye ennek az alapozási rendszernek, hogy a tervezés közben megváltozott oszlopterhek esetében az alaplemez vasalás által jól meghatározott teherviselő képessége változatlan maradhat, nem kell vasalási tervet átdolgozni. A többlet teher a réspillérekre hárítható, a tervek is csak ki mértékben módosulnak.

Megjegyezzük, hogy az alapozási rendszer fejlesztése mintegy három évtizede kezdődött, abban az időben még nem léteztek az úgynevezett pontosabb számításához szükséges számítástechnikai eszközök és módszerek, így a hagyományos eljárásokra kellett támaszkodni. A tapasztalat szerint, sem a megbízót, sem a közreműködőket nem érdekelte az igénybevételek számításai módszere, az ár és a határidő volt a döntő.



2. ábra Réspillérekkel gyámolított alaplemez számítási elvei

Alapfeltételek :

$$\frac{l_x}{l_y} = 0.8 - 1.25 \text{ között, } d_0 = \frac{l}{10} - \frac{l}{20} \text{ között, } d_0 > 40 \text{ cm} \quad a_{min} = 0.4l$$

A teljes oszlopterher: P_0 ,

A résekre hat: $P_r = \alpha P_0$

A lemezre hat: $P_l = (1 - \alpha)P_0$ $\alpha = 0.3 - 0.7$ között $\text{javasolt } \alpha \cong 0.5$

$$\begin{aligned}
 \text{A talajreakció :} & \quad q = \frac{P_l}{l_x l_y} \\
 \text{A nyomaték :} & \quad m = c q l_x l_y = c P_l \\
 \text{Oszlopsáv :} & \quad m_0^- = -0.15 P_l \quad m_0^+ = 0.05 P_l \\
 \text{Mezősáv :} & \quad m_m^- = -0.04 P_l \quad m_m^+ = 0.05 P_l
 \end{aligned}$$

A számítás lépései:

- alaplemez felvétele, igénybevételei, vasalása
- tehermegosztás meghatározása,
- átszűrődés és
- repedéskorlátozás vizsgálata.

A résalapok elrendezése az 2. ábrán látható, méretezésükre geotechnikai módszereket kell alkalmazni, ezeket itt nem ismertetjük.

Megjegyezzük, hogy a szakirodalomban található táblázatokban szereplő c tényezőket a repedezettség és a merevségváltozás figyelembevételével határoztuk meg.

6. A SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK ÉTÉKELÉSE, MEGÍTÉLÉSE

Mind a pontos, mind a közelítő módszerek esetén alapvető követelmény, hogy a gyakorlat igényeit ki-elégítő pontosságú eredményeket szolgáltatassanak. A pontosnak tekintett eljárások esetében a korábban megadott pontossági követelmények a mérvadóak. Közelítés esetén a 10%-os eltérés még megengedhető. Ennél nagyobb eltérés már becslésnek tekinthető.

A közelítő módszerek között vannak olyanok, amelyek elsősorban matematikai jellegűek, és a megoldásokat pl. Fourier sorok segítségével határozzák meg. Ezek általánosan használható eljárások. és a gyakorlat számára elegendő pontosságú eredményt szolgáltat a sor első néhány tagjának a figyelembevétele. Ennek a módszernek az előnye, hogy a sor több tagjának a beszámításával, a megoldás pontossága fokozható.

Más típusú közelítő, vagy akár pontosnak tekintett módszerek megítélése már lényegesen bonyolultabb. A szerző, mint egyetemi hallgató 1951-52-ben részt vett Korányi Imre professzor úr előadásain, aki akkor az egységes biztonsági tényezős módszerről, az osztott biztonsági tényezős módszerre való áttérést ismertette. Hangsúlyozta, hogy az egységes tényezős módszer jó és megfelelő, mert az ezzel számított hidak és építmények állnak, és biztonsággal viselik a terheket. Az áttérésre azért van szükség, mert figyelembe lehet venni a terhek és hatások jellegét, az építőanyagok minőségének a számítási módszereknek a fejlődését. Az osztott biztonsági tényezőket úgy kell megválasztani, hogy az új szerkezetekben a felhasznált anyagok 10%-kal csökkenjenek. Ennél nagyobb eltérés hazardírozásnak tekinthető. Lényegében azt az álláspontot, véleményt képviselte, hogy a számítási módszerek megbízhatóságát meggyőzően a megépült létesítmények bizonyítják, a szerző ezzel teljes mértékben egyetért. Megjegyezzük, hogy elsőként az 1951-es Magyar Szabványban jelent meg az osztott biztonsági tényezős módszer.

A tartószerkezetek számítási pontossági igényeinek meghatározása során figyelembe kell venni az alábbiakat. Az ó és középkorban a tapasztalat volt az elsődleges, az újkori 17-20-ik századi elméleti fejlődés során előfordult, hogy az elmélet megelőzte a gyakorlatot. A kétirányban teherviselő lemezelmélet évtizedekkel megelőzte a gyakorlati alkalmazást. Manapság viszont azt tapasztaljuk, hogy a megvalósítási technológiák fejlődése megelőzi az elméleti vizsgálatokat. A réselési, vagy paneles építési módszer kényszerítette az elméleti fejlesztést, igazolást. A technológiák igényei a gyorsaság, az anyag és a munka aránya, a költségek, a hatékonyság stb. az elsődlegesek, és az igénybevételek meghatározásának módszere másodlagos. A biztonság számításával való igazolása viszont kötelező, és a tervezés nélkülözhetetlen része. Az is igaz, ha egy gyakorlott tervező 5-6 (hasonló) szerkezetet megtervezett, akkor egy újabbat minimális számításal el tud készíteni. Mindezek alapján alakult ki a dolgozat szerzőjének az a véleménye, hogy az „elmélet a gyakorlat szolgálóleánya”. Ez mérnöki szemszögből nézve elfogadható, de az elméleti vizsgálatokra továbbra is szükség van, mert a természeti jelenségek megértéséhez és a hozzájuk való alkalmazkodáshoz a biztos alapok nélkülözhetetlenek. Nyilvánvaló, hogy a létesítmény előírt biztonságának számításal való igazolására szükség van.

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

- Az utóbbi évtizedekben a tartószerkezetek erőtani vizsgálatára új, rendkívül hatékony módszerek jelentek meg, amelyek használatához fejlett számítástechnikai eszközök és ismeretek szükségesek. Ezek lehetővé teszik a korábban kezelhetetlen összetett jelenségek figyelembevételét, a pontosság növelését. Ez a fejlődés megállíthatatlan és szükséges, azonban a bonyolult eredmények gyakorlatban való alkalmazása nehézkessé vált. Szükség van tehát egyszerű, jól kezelhető, de megbízható közelítő módszerekre.
- A közelítő módszereket célszerűen annak kell készítenie, aki a bonyolult elméleti eljárást kidolgozta. Ugyanis ő tudja legjobban, hogy melyek azok a tényezők, amelyek hatása a végeredményre jelentős, illetve csekély. A pontosnak tekinthető elméleti vizsgálat így alaputatásként, míg a közelítő módszer kidolgozása alkalmazott kutatásként értelmezhető és ezek együttműködésének szükségességét is jelzi.
- A tartószerkezetek erőjátéka vizsgálatához szükség van egy elméleti modellre, amely pontosnak tekinthető, ha egyensúlyi és alakváltozási feltételekre épül. Az így meghatározott modellen végzett vizsgálat azonban bonyolult, a gyakorlatban nehezen alkalmazható.
- Az építőmérnöki gyakorlatban alkalmazott tartószerkezetek megengedett, eltűrt alakváltozásai 1-2 ezred nagyságrendűek, ezért az elemi szilárdságtanban alkalmazott kis alakváltozások elve felhasználható. Így az alakváltozások hatásának elhanyagolásával, csupán az egyensúlyi feltételek figyelembevételével a gyakorlat igényeit kielégítő pontosság érhető el. A kis alakváltozások elve tehát nem csak keresztmetszetre, hanem a tartószerkezetre is kiterjeszhető.
- A mérnöki számítások pontosságát a modell megválasztása döntően meghatározza, ez gyakorlatot és tapasztalatot igényel. Ezt már a mérnökképzésben is célszerű gyakoroltatni, nevezetesen úgy, hogy megadott modellen és terhekkel- minden számítás nélkül alakhelyes igénybevételi és alakváltozási ábrákat kell készíteni. A modell megváltoztatásával, ezt megismételve, a változás elemzését el kell végezni. Ilyen feladatoknak a vizsgákon való számonkérése a felkészülést ösztönzi.
- A tartószerkezetek számítására és megvalósítására szolgáló, jelenleg alkalmazott módszerek hatékonyságát, ezt bizonyítja, hogy a megvalósított létesítmények állnak és kellő biztonsággal működnek, azaz a legmeggyőzőbb bizonyítékokat a megépült szerkezet szolgáltatja.
- A bemutatott 1.sz. példa azt igazolja, hogy elegendő pontosságú eredményt szolgáltat az a modell is, amely egy matematikai módszerrel meghatározott egyensúlyi feltételekkel felépített differenciálegyenlet.
- A 2.sz. példa azt bizonyítja, hogy közelítő módszer kidolgozásához, a modell megválasztása az erőjáték és a mérési adatok elemzése és tapasztalata alapján is lehetséges.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Általánosan ismert, hogy a mechanikában a keresztmetszetek erőtani vizsgálata a kis alakváltozások elvének alkalmazása esetén, csupán egyensúlyi feltételekkel is lehetséges. A dolgozat bemutatja, hogy ez a módszer a szerkezetekre is kiterjeszhető, és ezáltal olyan közelítő módszereket lehet felépíteni, amelyek csak egyensúlyi feltételeket tartalmaznak. Nyilvánvalóan, ehhez az szükséges, hogy a szerkezet elmozdulásai, alakváltozásai egy meghatározott értéknél kisebbek legyenek. A számítástechnika megállíthatatlan fejlődése miatt ezek a „pontos” módszerek egyre bonyolultabbak, és különleges eszközöket igényelnek. Szükség van tehát olyan egyszerűsített módszerekre, amelyek a gyakorlati igényeket kielégítő „mérnöki pontosságú” eredményeket szolgáltatnak. A bemutatott példák építőipari szerkezetek, más szakterületen külön vizsgálatra van szükség.

HIVATKOZÁSOK

- Bölcскеi. E.-Orosz. Á.:(1972) *Vasbetonszerkezetek. Faltartók, lemezek, tárolók. Tankönyvkiadó Budapest 1972*
- Dulácska. E.-Bódi. J. (2018) *A Vasbeton silók repedései és egyéb problémái Vasbetonépítés 2018/2 pp 36-40*
- Kalishky. S.-Kovács. M. -Szilágyi. Gy.:(1990) *Mechanika II.Szilárdságtan Tankönyvkiadó Budapest 1990*
- Lödör. K.-Móczár.B.:(2018) *Cölöppel gyámolított lemezalap vizsgálata geotechnikai végeelem modellezés Budapest 2018 Magyar Mérnöki Kamara, Geotechnikai Tagozat*
- Nagy. J.-Orosz. Á.: (2019) *Az ötlettől az alapozási rendszerig Kézdi Árpád konferencia pp 183-203*
- Orosz. Á.-Simurda. L.:(1985) *Vasbeton gabonasilókkal kapcsolatos vizsgálatok, mérések, kutatások Mélyépítéstudományi szemle 1985/3 pp. 113-117*
- Orosz. Á.-Simurda. L.- Varga J.:(1990) *Design Problems of Reinforced Concrete Silo Walls. Proceedings of the University Adelaide Ausztrália 1990.*
- Orosz. Á.: (2001) *Vasbeton silók javítási módszerének megválasztása BME Hidak és Szerkezetek Tanszék Tudományos Közleményei 2001 pp 145-150*
- Orosz. Á.:(2011) *Gondolatok a mérnöki tevékenységről és a mérnöki pontosságról. Erdélyi Magyar Tudományos Társaság Kolozsvár Románia XV. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia 2011 pp 412-418*
- Orosz. Á.: (2014) *Réspillérekkel gyámolított vasbeton alaplemez átszűrődésének egyszerűsített vizsgálata, a tóruszvasalás alkalmazása. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság XVIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Csíksomlyó 248-252. old. 2014*
- Orosz. Á.: (2016) *Mélyalappal gyámolított alaplemezek. BME Hidak és Szerkezetek Tanszék Tudományos Közleményei 2016*
- Orosz. Á. – Nagy. J.- Zábrádi E.- Horváth A.- Répáczki I.:(2017) *Foundatio slabs supported by spot footing. FIB Conference Tokaj 2017.*
- Orosz. Á.-Nagy. J.: (2018) *Réspillérekkel gyámolított alaplemezek erőjátéka, átszűrődása, és a tóruszvasalás alkalmazása 1-2 rész Vasbetonépítés 2018/3 1. rész. 2018/4 2. rész*
- Összefoglaló jelentés a Vízép megbízásából az Óbuda Gate irodaház fenéklemezein mért talpfeszültségekről és alakváltozásokról, *Kézirat 2000*