

DR. CSONKA PÁL, a műszaki tudományok doktora*

A KÉPLÉKENYSÉGTAN ALKALMAZÁSA AZ ÉPÍTŐMÉRNÖKI GYAKORLATBAN

Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának Építéstudományi Bizottsága 1966. május 25-én ankétot rendezett „*A képlékenységtan alkalmazása az építőmérnöki gyakorlatban*” címmel. Az ankét célja a képlékenységtan elméletének áttekintése és alkalmazási feltételeinek kritikai ismertetése volt.

Az ankétan az elnöki megnyitón és zárszón felül nyolc előadás és több hozzászólás hangzott el, melyek a mérnöki képlékenységtannak az építőmérnöki munkakör különböző területein való alkalmazási lehetőségeit és feltételeit behatóan taglalták.

Az ankét iránt megnyilvánult széles körű érdeklődésre és a képlékenységtan egyre fokozódó jelentőségére való tekintettel indokoltnak látszik az ankétan elhangzott előadásoknak az előadók által készített összefoglalók alapján való rövid ismertetése.

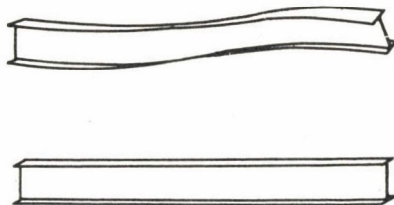
1. CSONKA PÁL, a műszaki tudományok doktora „*A képlékenységtan jelentősége a mérnöki gyakorlatban*” című bevezető előadásában a képlékenységtannak, mint a szilárdságtan egyik újabb ágazatának fontosságát emelte ki, s a képlékenységtani szemlélet jelentőségét fejtegette. Rámutatott arra, hogy bár a képlékenységtan módszerei csak lassan — nemegyszer öntudatlanul, vagy éppen más alkalmasabb megoldás híján kényszerűségből — vonultak be a mérnöki gyakorlatba, e tudományág a mérnöki szerkezetek szilárdságtanának ma már épp oly fontos fejezetét alkotja, mint maga a rugalmasságtan.

A képlékenység a szerkezeti anyagok igen értékes tulajdonsága. Egyáltalán csak ez teszi lehetővé összetett szerkezetek építését, illetve szerkezeti elemek közt feszes kapcsolat létesítését. De a szerkezeti anyagok képlékeny volta a szerkesztő mérnök szempontjából is igen előnyös. Ez ad pl. lehetőséget arra, hogy a bemetszéssel, vagy furattal gyengített rudakon az illető gyengítés körzetében fellépő *feszültségcsúcstól* eltekintsünk. Ugyanez az anyagtulajdonság teszi lehetővé a szerkezetekben levő *kezdeti feszültségek* figyelmen kívül hagyását. Ezáltal vált lehetségessé pl. a háborús események során meggörbült acélgerendáknak kiegyenesítés után az ép gerendákkal azonos feltételek mellett újra való felhasználása (1. ábra). Az acél, illetve vasbeton anyag képlékeny volta igen előnyösen jelentkezik többtámaszú folytatólagos tartók esetében is, mert ez — legalábbis bizonyos határok közt — feleslegessé teszi a *támaszsüllyedések* figyelembevételét.

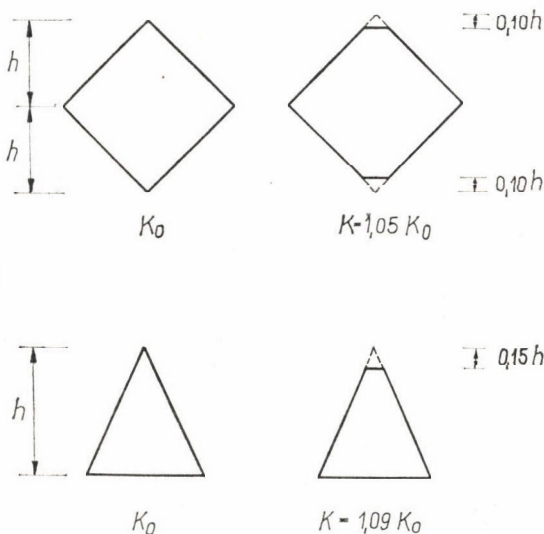
A képlékenységtan számos esetben *ésszerű magyarázatot* ad oly jelenségekre, melyek a klasszikus rugalmasságtan elveivel nem magyarázhatók. Igen

* Az MTA Építéstudományi Munkaközössége, Budapest.

viassás a helyzet pl. háromszögszelvényű, vagy élükre állított négyszögszelvényű gerendák esetében (2. ábra), ha azok keresztmetszetének a semleges tengelytől legtávolabb fekvő részeit eltávolítjuk. Ez a keresztmetszetcsonkítás



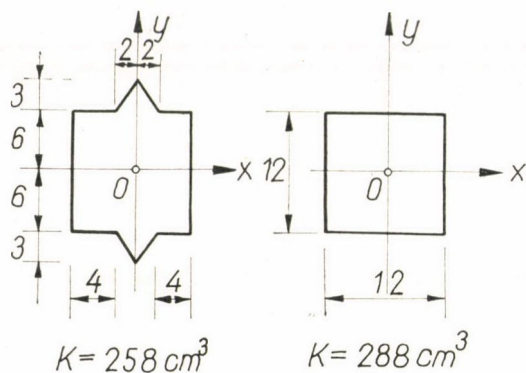
1. ábra



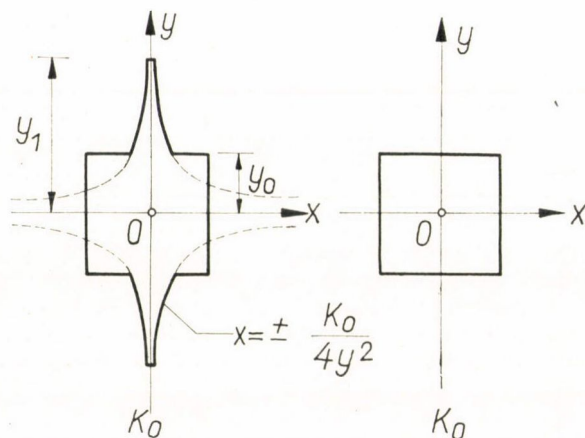
2. ábra

ui. a rugalmasságtan szerint a szóban forgó szelvények nyomatékbiro képességének növelését idézi elő, holott a valóságban e művelet által a nyomatékbiro képességnek csökkennie kell. Hasonló a helyzet a 3. ábrán feltüntetett keresztmetszetek esetében is. A 4. ábrán látható keresztmetszet esetében pedig, a rugalmasságtan elméletét alkalmazva, az a furcsaság adódik, hogy a keresztmetszet nyomatékbiroása nem függ attól, hogy a törzsszelvényből kiálló keresztmetszetrészeket részben, vagy egészben eltávolítjuk-e, vagy sem. Igen viassás állapotot szemléltet az 5. ábra is. Itt a gerenda középső szakaszán a gerendakeresztmetszet J_0 tehetetlenségi nyomatékának megnövelése, tehát a tartó megerősítése a rugalmasságtan tanítása szerint azt eredményezi, hogy a szélső tartószakaszok egyes keresztmetszetei kedvezőtlenebb helyzetbe kerülnek, holott a valóságban ez által a művelet által a tartó teherbiro képessége nem csökkenhet. Rendkívül viassás a 6. ábrán feltüntetett szegecskötés visel-

kedése is. E szerkezet teherkövetítő képessége ui. a rugalmasságtan szemlélete szerint (6a. ábra) nem növekszik, ha a kötés céljára két szegecs helyett több szegecsset alkalmazunk, ami pedig a mindennapi tapasztalatokkal ellen-



3. ábra



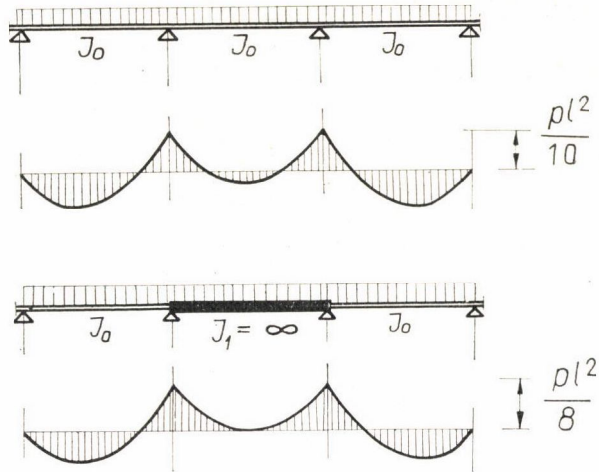
4. ábra

kezik. Ebben az esetben is a képlékenységtan szemlélete a szerkezet teherbíró képességét illetően a tapasztalatokkal egyező, vagy inkább egyező eredményt szolgáltat (6b. ábra).

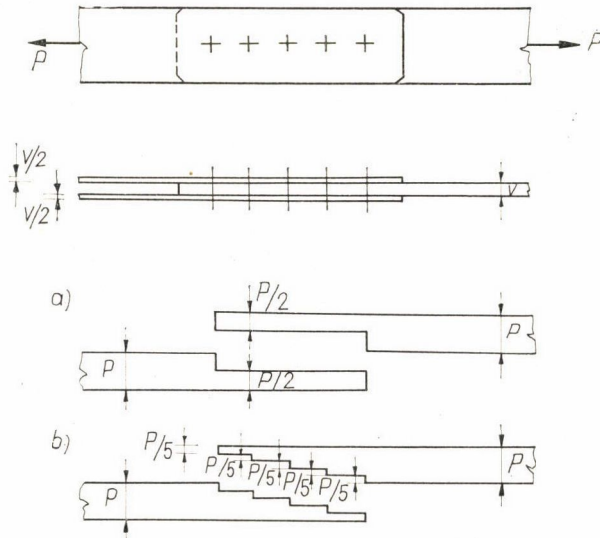
A gyakorlat szempontjából igen nagy jelentőségű az a körülmény, hogy a képlékenységtan aránylag egyszerű lehetőséget nyújt statikailag határozatlan szerkezetek erőjátékának szabályozására. Ámbár ez a lehetőség erősen korlátozott, mégis alkalmas arra, hogy a tervezés során optimum feltételeket érvényesíthessünk, pl. különféle gazdaságossági követelményeknek eleget tegyünk.

A rugalmasságtani és képlékenységtani szemlélet merőben eltér egymástól a szerkezetek biztonságának megítélése tekintetében is. A rugalmasságtan ui. ezen kérdés vizsgálatakor a szerkezet tényleges állapotát a lokális tönkremenetelt előidéző állapottal hasonlítja össze, a képlékenységtan viszont a szer-

kezet egészének tönkremenetelét előidéző állapotot fogadja el összehasonlítási alapul. Ez a felfogásbeli különbség főképp statikailag határozatlan szerkezetek esetében jelentős.



5. ábra



6. ábra

Fel kell hívni a figyelmet arra is, hogy a képlékenységtan akkor vonult be a mérnöki gyakorlatba, amidőn a rugalmasságtan elveit már széles körben általánosan alkalmazták. Bevezetésével egyidejűleg világszerte egyes olyan újabb elvek kerültek alkalmazásra, melyek tulajdonképp a rugalmasságtan ke-

retében is érvényesíthetők lettek volna. Ilyen újítás volt például az egységes biztonsági tényező helyett *osztott biztonsági tényezők* alkalmazása, vagyis a biztonsági tartaléknak a terhelési és anyagjellemzők közt való szétosztása, továbbá a figyelembe veendő terheknek *valószínűségi számítási megfontolások* szerint való súlyozása. Az erőtani vizsgálatoknak ez a finomítása lehetővé tette, hogy a számítások eredményei a tényleges viszonyokat hívebben tükrözzék, mint a rugalmasságtanra alapított régebbi vizsgálatok.

Rá kell mutatnunk arra is, hogy szilárdsági ismereteink a képlékenységtan kiépítésével lényegesen bővültek, és ugyanakkor tervezés vonalán igen számottevő *egyszerűsítések* váltak lehetségessé. Ezek a vívmányok a mérnöki gyakorlat szempontjából alapvető jelentőségűek. Nem hagyható azonban figyelmen kívül, hogy a képlékenységtan jelenleg használatos fejezetei egyszerűsítő olyan feltevéseken alapulnak, melyek a valóságnak csupán durva közelítéssel felelnek meg. Ezért *a képlékenységtanból levont következtetések csak a feltevések érvényességi körén belül tekinthetők megbízhatóknak.*

Az imént tett megállapítás fokozottan vonatkozik a szilárdságtanban egyre jelentősebb szerepet betöltő *stabilitás vizsgálatokra.* Ily vizsgálatokban a szerkezeti anyag alakváltozási diagramjának törtvonallal való helyettesítése általában nem engedhető meg, helyette az alakváltozási diagram görbe voltának, s az alakváltozásoknak az ún. másodrendű elmélet szerint való pontosabb figyelembevétele szükséges.

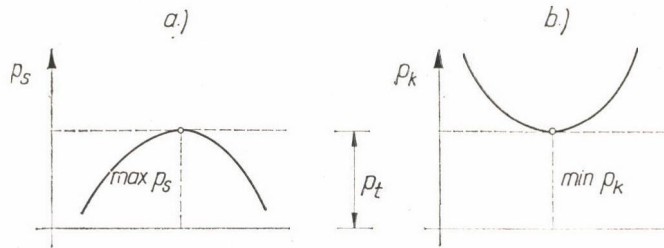
A képlékenységtan érvényességi körének bővítése szempontjából felette kívánatos lenne a mérnöki képlékenység elméletének térbeli feladatok körére való kiterjesztése is. A technikai haladás érdekében nem mellőzhető a képlékenységtannak az anyagok reológiai tulajdonságait is figyelembe vevő továbbfejlesztése, a szívós és nem ideálisan képlékeny anyagok szilárdságtanának a gyakorlat igényeit figyelembe vevő kiépítése és mindezek kísérleti ellenőrzése sem. Csak *ezáltal válik majd lehetővé a szerkezetek erőjátékának az eddiginél hívebb megismerése, a méretezési eljárások további tökéletesítése, s végeredményben a gazdaságosság, valamint a biztonság követelményeinek egyidejű ésszerűbb érvényesítése.*

2. HAVIÁR GYŐZŐ, a műszaki tudományok doktora „*A képlékenységtan magyar művelői*” című előadásában főleg a magyar szerzőknek, köztük Kazinczy Gábornak, Kármán Tódornak és Nádai Árpádnak a mérnöki képlékenységtan kifejlesztése terén szerzett érdemeit méltatta. Előadását e folyóirat jelen száma teljes egészében közli, miért is annak részletes ismertetésétől e helyen eltekinthetünk.

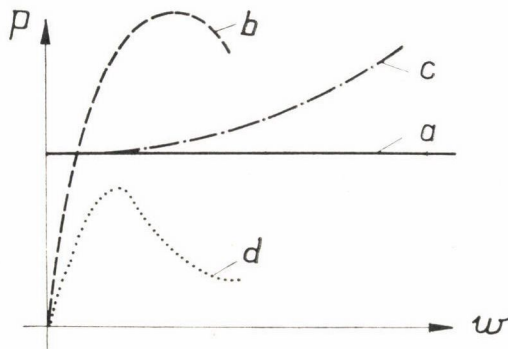
3. KALISZKY SÁNDOR, a műszaki tudományok doktora „*A képlékenységtan alapvető tételei*” című előadásában egyrészt a matematikai, másrészt a technikai képlékenységtan alapvető tételeit, s azok alkalmazási feltételeit ismertette.

A *matematikai képlékenységtan* alapegyenletei a matematikai rugalmasságtan alapegyenleteihez hasonlóan három csoportra, nevezetesen egyensúlyi, összeférhetőségi és fizikai egyenletekre oszthatók. Az egyensúlyi és az összeférhetőségi egyenletek a rugalmasságtan megfelelő egyenleteivel azonosak, a fizikai egyenletek pedig a képlékenypotenciálmélet segítségével vezethetők le. Valamennyi egyenletben az eltolódások és az alakváltozások sebessége szerepel, tényleges nagyságuk tehát csak a terhelési folyamat ismeretében hatá-

rozható meg. Az elméleti vizsgálatok során nagy nehézséget okoz, hogy a feszültségeket és alakváltozásokat a szerkezet rugalmas és képlékeny tartományaiban más-más egyenletek szabják meg, sőt még maguknak az egyes tartományoknak a határa sem ismeretes előre. Ennek ellenére a matematikai képlékenységtan értékes eredményeket ért el különféle síkbeli alakváltozási álla-



7. ábra



8. ábra

potban levő testek vizsgálata terén, s igen érdekesek a prizmatikus rudak csavarásával kapcsolatos eredmények is.

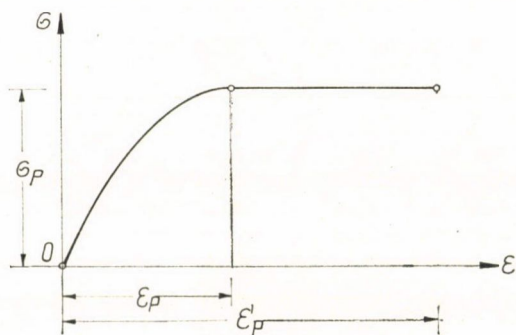
A *technikai képlékenységtan* legjelentősebb fejezete az ún. *töréselmélet*. Ez az egyparaméteres teherrel terhelt statikailag határozatlan szerkezetek törőterhelésének meghatározására szolgál és két szélsőérték-tételen alapszik. A két tétel egyike, a *statikai alaptétel*, a törőteher alsó korlátértékeinek meghatározását teszi lehetővé (7a. ábra); a másik tétel, a *kinematikai alaptétel*, a törőteher felső korlátértékeinek meghatározására alkalmas (7b. ábra). E tételek ismeretében különféle szerkezetek pontos, vagy közelítő úton való *ellenőrzése* vagy *tervezése* egyaránt elvégezhető (7. ábra).

A képlékenységtan alapján történő ellenőrzés, vagy tervezés esetében különösen fontos szerepük van az *alakváltozásoknak*, mert azok a rugalmas alakváltozásoknál nagyobbak és egy részük a tartóban tehermentesítés után is visszamarad. Az ellenőrzés, illetve tervezés során azonban sok esetben tekintettel kell lenni az alakváltozásoknak az erőjátékra való visszahatására is. Egyes jellegzetes eseteket erő-eltolódás diagramok segítségével a 8. ábra szem-

léltet. Itt az *a*) görbe az elsőrendű elméletnek megfelelő viszonyokat ábrázolja, a *b*) görbe a vasbeton lemezben kialakuló befeszülés hatását érzékelteti, a *c*) görbe pedig az acél lemezekben létrejövő membrán húzóerőknek teherbírást növelő hatását szemlélteti. Ezekben az esetekben a másodrendű hatás elhanyagolása a biztonság javára szolgál ugyan, de esetleg túlméretezést eredményezhet. Viszont a *d*) görbe oly szerkezetre vonatkozik, mely zömmel nyomásra van igénybe véve. E szerkezeten az alakváltozások az erőjátékot kedvezőtlenül befolyásolják, ezért hatásuk nem hagyható figyelmen kívül.

A szerkezetek képlékeny teherbírási tartaléka általában csak *maradó alakváltozások* árán használható ki, miértis, a szerkezet állapotát tekintve, nem érdektelen a várható maradó alakváltozások nagyságának ismerete. Ezeknek a maradó alakváltozásoknak különösen váltakozó helyzetű terhek esetében van nagy jelentőségük, mert ezekben nagyságuk esetleg korlát nélkül növekedhetik, és ez a szerkezet tönkremenetelét eredményezheti. Viszont leeső vagy lökésszerű teherrel terhelt védőjellegű szerkezeteken a szerkezeti anyag képlékeny alakváltozási képessége a teherbírási szempontjából igen előnyös kihatású.

4. PALOTÁS LÁSZLÓ, a műszaki tudományok doktora „*A vasbeton-elmélet képlékenységtani alapjai*” című előadásában azt a kérdést fejtegette, lehet-e és mely körülmények közt lehet a képlékenységtan elveit vasbetonszerkezetek esetében alkalmazni.



9. ábra

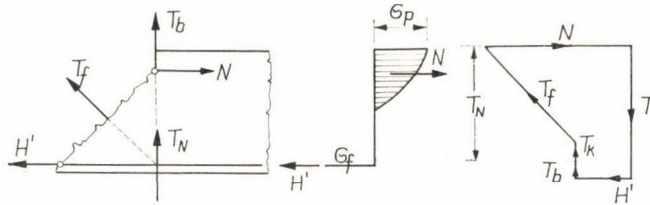
A vasbeton két anyagnak: a betonnak és a belégyazott acélbetétnek a kombinációja. Képlékeny tulajdonságai tehát a két anyag viselkedésétől függenek.

Az *acélanyagok* közül csak a kimondott folyási határral bíró, nem nagyszilárdságúak elégítik ki a mérnöki képlékenységtannak az anyagok rugalmas-képlékeny voltára vonatkozó feltevéseit. A nagyszilárdságú acélok (mint pl. a feszítő huzalok) nem tekinthetők rugalmas-képlékeny anyagnak.

A *betonanyagok* közül is csak a nem nagyszilárdságú fajták felelnek meg — legalábbis gyakorlatilag — a képlékenységtan követelményeinek. Csak ezek rendelkeznek ui. elég nagy képlékeny tartalékkal ($\varepsilon'_p - \varepsilon_p$) ahhoz, hogy az acélbetétek folyása miatt bekövetkező elfordulást, illetve összenyomódást a beton összemorzsolódása nélkül, tehát veszélytelenül követni tudják (9. ábra).

A fenti megállapításokból egyértelműen következik, hogy a képlékenységtan elvei feszített betonszerkezetek számítására egyáltalán nem alkalmasak, közönséges vasbetonszerkezetek esetében azonban ésszerű korlátok közt alkalmazásra kerülhetnek.

A központos nyomásra igénybe vett közönséges vasbetonszerkezetek teherbíróképességének (határteherbírásának) meghatározására világszerte a



10. ábra

képlékenységtani szemléletnek megfelelő ún. *addíciós elvet* alkalmazzák. Ennek az eljárásnak a helyes voltát kísérleti eredmények igazolják.

A hajlításra igénybe vett közönséges vasbetontartók *nyomatékbírásának* számítását is számos helyen, így hazánkban is, a képlékenységtan elvei szerint végzik. A törés határállapotnál a beton nyomott szélső szálának teljes törési összenyomódását (ε'_p) és az acélbetét folyását előidéző nyúlást (ε_f) tekintik.

A hajlításra igénybe vett közönséges vasbetontartók *nyírásvizsgálata* során a 10. ábrán idealizáltan felvázolt ferde metszetből lehet kiindulni, s fel lehet tételezni, hogy a beton hajlító-nyomó szilárdságának elérésekor a tartó nyomott övének van még bizonyos nyírásfelvevő képessége (T_b).

Az előadás további részeiben az előadó annak a kérdésnek a vizsgálatára tért át, mekkora alakváltozástöbbletre képes valamely statikailag határozatlan vasbeton rúdszerkezet a képlékeny csukló környezetében, feltéve, hogy a beton szélső nyomott szála a képlékeny csukló kialakulásakor még nem érte el a teljes képlékeny összenyomódást. Megállapítása szerint minél szilárdabb a beton, annál kisebb a belőle készített szerkezet képlékeny tartaléka. Ha a beton B 400-as, vagy ennél is jobb minőségű, a beton képlékeny tartaléka igen kicsiny, úgyhogy a beton önmagában véve nem elegendő a képlékeny csukló helyén létrejövő elfordulások és többletígyenbevételek viselésére. Ilyen esetekben a nyomott övbe acélbetéteket kell beágyazni, illetve álcuklószerű megoldáshoz kell folyamodni.

Általában megállapítható, hogy a vasbeton szerkezetek területén a töréselmélet alkalmazhatóságának kísérleti megalapozása jelenleg még nem tekinthető kielégítőnek.

A töréselmélet — legalábbis egyelőre — *nem teszi feleslegessé, sőt egyenesen megköveteli a statikailag határozatlan szerkezetek rugalmas elméletének beható ismeretét is.*

5. BÖLCSKEI ELEMÉR, a műszaki tudományok doktora „*A képlékenységtan alkalmazása a vasbetonszerkezetekre*” című előadásában abból a tényből indult ki, hogy a vasbeton szerkezetek mindkét alapanyaga — az acél is, meg a beton is — legalábbis bizonyos mértékben képlékeny tulajdonságú. Ebből

a körülményből következik, hogy a képlékenységtan elméleti megállapításai a vasbeton szerkezetekre is vonatkoztathatók, amint ezt az elmúlt évtizedekben világszerte végrehajtott kísérletek is igazolják.

A vasbeton szerkezetek, mint ismeretes, akkor kerülnek törési határállapotba, ha acélbetétük folyása következtében a húzott övükben a repedések erősen megnyílnak, vagy pedig a nyomott övükben a beton összemorzsolódik. A repedések fokozatos megnyílása folytán rúdszerkezetek esetében képlékeny csuklók (töréspontok), felületszerű tartószerkezetek esetében pedig képlékeny élek (törésvonalak) keletkeznek. Ennek a körülménynek a felismerése a vasbeton rúdszerkezetek, lemezek és héjak számítását nagymértékben egyszerűsíti.

A *vasbeton rúdszerkezetek* — gerendák, keretek és ívek — teherbírásának meghatározásakor egymástól eltérő módon kell kezelni a statikailag határozott és határozatlan szerkezeteket.

A *statikailag határozott* rúdszerkezetek keresztmetszeteinek igénybevétele az egyensúlyi feltételek egyértelműen meghatározzák. Ezért az ily szerkezeteken bármely keresztmetszet teherbírásának kimerülése a szerkezet egészének tönkremenetelét jelenti, mert az igénybevételek kedvezőbb átrendeződésére semmi lehetőség sincs. Így a szóban forgó szerkezeteken képlékeny teherbírási többlet mindössze abból adódik, hogy a keresztmetszeteken a feszültségmegoszlás a rugalmasságtan szerinti feszültségmegoszlástól eltér.

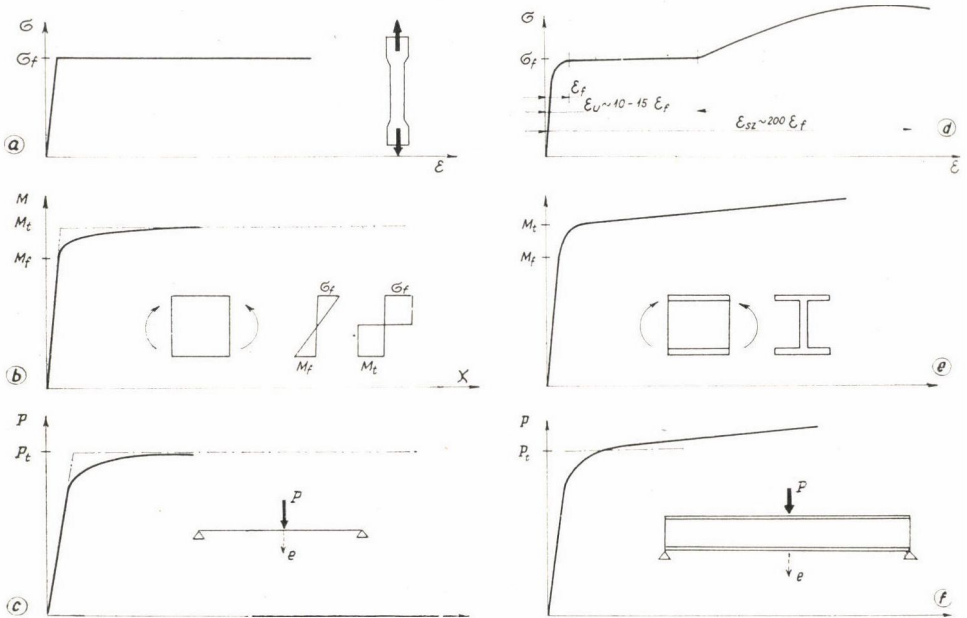
A *statikailag határozatlan* rúdszerkezetek helyzete egészen más. E szerkezetek erőjátékát az egyensúlyi feltételek nem határozzák meg egyértelműen, ezért képlékeny csuklók kialakulása révén mód van az igénybevételek kedvezőbb átrendeződésére is: a teher mindaddig növelhető, amíg annyi képlékeny csukló nem alakul ki, amennyi a szerkezet egészét, vagy annak egy részét labilissá teszi. Ehhez a statikai határozatlanság fokszámát legalább eggyel meghaladó számú csukló keletkezése szükséges. Ezért a statikailag határozatlan rúdszerkezetek esetében mód nyílik arra, hogy a statikailag lehetséges nyomatéki ábrák közül azt válasszuk ki, amely valamely minimumfeltételnek eleget tesz, feltéve, hogy a tartót ennek megfelelőleg vasaljuk.

A *vasbeton lemezek* teherbíró képessége a törési határállapot alapján aránylag egyszerűen számítható. A képlékenységtannak részletesen kidolgozott, és kísérletekkel is igazolt fejezete foglalkozik az efféle szerkezetek számításával. E célra a képlékenységtan statikai és kinematikai alaptételei használhatók fel. Közülük a statikai alaptétel a törést előidéző terhelés alsó korlátjainak meghatározását, a kinematikai alaptétel pedig a törést előidéző terhelés felső korlátjainak meghatározását teszi lehetővé. A két eljárás közül lemezfeladatok tárgyalására főleg az utóbbi tétel alkalmas. E tétel szerint a folyási mechanizmus megindításához olyan külső teher működtetése szükséges, mely le tudja győzni a képlékeny élek mentén ébredő törőnyomatékoknak az élek elfordításával szemben kifejtett ellenállását. Ezen terhelés intenzitását a virtuális elmozdulások elvének segítségével, vagy másképpen az energiamódszerrel határozhatjuk meg. A szóban forgó eljárás tetszés szerinti alakú és támasztású lemezekre tetszés szerinti terhelés esetében egyaránt alkalmazható.

A vasbeton *héjszerkezetek* képlékenységtan elvei alapján történő számítására újabban szintén kezdeményezések történtek. Eljárásokat dolgoztak ki dongahéjak, henger alakú tartályok, kúpfelület alakú héjak, gömbkúpok és más forgásfelületek számítására, de sok probléma ez idő szerint még mindig megoldatlan.

Összefoglalólag megállapítható, hogy a vasbeton szerkezeteknek a képlékenységtan elvei szerint történő számítása terén az utóbbi két évtizedben jelentős előrehaladás történt. E számítási módot a gyakorlat különféle feladatok megoldására alkalmazta és segítségével több olyan elméleti kérdést oldott meg, melyek rugalmasságtani alapon ezideig nem voltak megoldva, vagy megoldásuk módja nem volt a gyakorlat számára hozzáférhető módon kidolgozva.

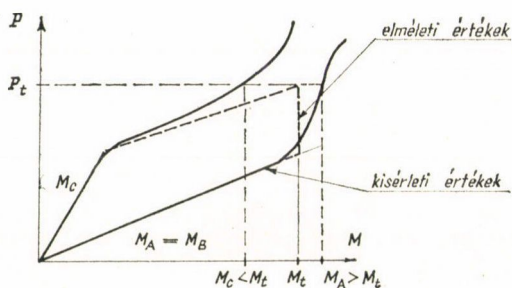
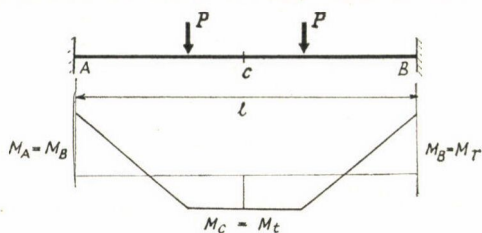
6. HALÁSZ OTTÓ, a műszaki tudományok kandidátusa „A képlékenységtan alkalmazása acélszerkezetekre” címen tartott előadást. Ebben elsősorban azt a kérdést vizsgálta, mennyiben alkalmazható a törési elmélet acélszerkezetek méretezésére.



11. ábra

A törési elméletnek a húzó-nyomó diagramra, a rúdelem alakváltozására és a hajlított tartó erő-elmozdulás összefüggéseire vonatkozó feltételezéseit (11a ÷ 11c ábrák) az ugyanilyen jellegű kísérleti adatokkal (11d ÷ 11f ábrák) összehasonlítva, megállapítható, hogy a keményedés a képlékeny csukló elméletileg feltételezett tulajdonságait és az elméletileg elképzelt törési jelenséget módosítja. Így a számított törőteher csak arra vonatkozóan szolgáltathat tájékoztatást, mikor kezdődik meg az elmozdulásoknak gyakorlatilag megengedhetetlen mértékű növekedése. Statikailag határozatlan tartókon a keményedés a nyomaték-átrendeződés folyamatát is lényegesen befolyásolja; emiatt a törés stádiumában a nyomatéki maximumoknak elméletileg feltételezett kiegyenlítődése a valóságban nem következik be (12. ábra). E jelenséget a méretezéskor figyelembe kell venni.

Hajlításra igénybe vett, statikailag határozatlan gerendatartókon, a nyomatékátrendeződés létrejöttének előfeltétele, hogy a képlékeny csuklók elfordulási képességét a kifordulás, ill. a nyomott öv horpadása ne csökkentse a szükséges érték alá. Hengerelt szelvények esetében elméleti és kísérleti vizs-



12. ábra

gálatok szerint ez a veszély célszerű távolságban alkalmazott oldalirányú megtámasztásokkal és az öv szélesség-vastagság arányának korlátozásával kiküszöbölhető. Magasabb gerincű szegecselt vagy hegesztett tartók esetében e kérdés nincs kellően tisztázva, és így a törési elmélet alkalmazását egyelőre nem lehet az említett tartókra kiterjeszteni.

A törési elmélet alapvető feltételezése szerint a szerkezet alakváltozásainak az egyensúlyi állapotra való visszahatását elhanyagoló ún. elsőrendű elmélet egészen a törésig érvényben marad. E feltételezés azonban karcsúbb, nyomott és hajlított acélszerkezetek esetében tarthatatlan, mert ezeken a másodrendű hatások jelentősek. Ezeket a hatásokat is figyelembevevő, ún. másodrendű képlékenységtani eljárások ezideig csak egyes alapesetekre — főleg különálló nyomott és hajlított elemekre — nyertek kidolgozást. A további kutatások ez irányban folyamatban vannak, de máris megállapítható, hogy az el nem hanyagolható másodrendű hatások folytán, valamint a fellépő instabilitási jelenségek miatt a törési elmélet eredeti alakjában általában csak a magasépítésben szereplő, hengerelt szelvényű, többtámaszú acéltartókra és egyes különle-

ges keretszerkezeti feladatokra alkalmazható. A töréselméletnek egyéb feladatokra való kiterjesztése a másodrendű hatásokat is figyelembe vevő módszerek kidolgozását teszi szükségessé.

7. KÉZDI ÁRPÁD, a műszaki tudományok doktora „*A képlékenységtan alkalmazása szemcsés közegekre*” című előadásában felhívta a figyelmet arra, hogy a szemcsés közegek mechanikájában a képlékenységtan alkalmazása egyrészt igen régi keletű, másrészt igen széles körű. Földépitmények állékony-ságát, a földnyomás értékét, talajok teherbírását stb. a mérnök a képlékenységtan módszereivel vizsgálja: *a képlékenységtan számos eljárása éppen a szemcsés anyagok vizsgálata kapcsán született meg.*

A talajmechanikai alkalmazás szempontjából is az első kérdés a törési — folyási feltétel rögzítése. Bár újabban több, a valóságos viselkedést jobban megközelítő törési feltétel került javaslatba, még ma is a Coulomb—Mohr-féle feltétel alkalmazása a legáltalánosabb.

A képlékenységtan síkbeli problémája a csúszólapok általános elméletével oldható meg. A feszültségek hiperbolikus differenciálegyenletei az egyen-súlyi és a törési feltételtől kiindulva vezethetők le: ezek karakterisztikái a csúszóvonalak. A feszültségeket a differenciálegyenletek megoldásai szolgál-tatják. Az említett differenciálegyenletekből az ún. Kötter-féle egyenlet is levezethető: ez görbementi koordináták segítségével összefüggést ad meg a csúszólap görbülete és a csúszólapon működő feszültség között. Az egyenlet megoldásai speciális esetekben sok gyakorlati problémában nyújtanak tájé-koztatást.

Az összenyomhatatlanság feltételezése szigorúan véve csak kohéziós anyagokra adhat megoldást, mert a surlódással bíró anyag törés esetén térfo-gatát változtatja. Ebből a tényből a csúszólapok matematikai alakjára követ-keztetések vonhatók le.

Az alakváltozások vizsgálata a Mohr-féle alakváltozási körrel oldható meg. A számítások legcélszerűbben közvetlenül a sebességmező alapján végez-hetők el. Kimutatható, hogy a csúszóvonalak mentén a tényleges hosszválto-zás értéke zérus. Az alakváltozásokat a sebességkomponensekkel kifejezve, megkaphatók az alakváltozási karakterisztikák, a teljes sebességmező, s a térfogatállandóságnak és a főirányok egybeesésének figyelembe vételével a karakterisztikus irányok, végül a csúszóvonalak és az elmozdulási sebességek közötti összefüggés. Az eredményből kitűnik, hogy nemcsak a sebességkomponensek deriváltjainak, hanem maguknak a sebességkomponenseknek érté-kében is diszkontinuitás léphet fel.

A teljes síkbeli folyási probléma általában csak közelítően, véges diffe-renciákkal oldható meg, egyes különlegesen egyszerű esetekre azonban anali-tikus megoldás is rendelkezésre áll.

8. PEREDY JÓZSEF, tudományos munkatárs „*A szerkezettervezés közvetlen módszerei*” című előadásában a szerkezettervezés különleges módszereivel foglalkozott. Rámutatott arra, hogy a mérnöki szilárdságtan hagyomá-nyos módszerei általában csak adott, vagy felvett méretű szerkezetek visel-kedésének meghatározására és teherbíró képességük ellenőrzésére irányulnak. Lehetséges azonban olyan eljárások kifejlesztése, amelyek a szerkezettel szem-ben támasztott követelményekből kiindulva módszeresen vezetnek el a meg-tervezendő szerkezeti méretek meghatározásához. Újabban egyre többen fog-

lalkoznak ilyfajta közvetlen szerkezettervező módszerek kidolgozásával. E módszerek általában nincsenek szorosan a képlékenységtan elveihez kötve, ha azonban a szerkezeti anyag képlékeny, akkor a közvetlen tervezés során ez a körülmény is célszerűen figyelembe vehető.

Jellegzetes közvetlen szerkezettervezési feladat pl. rudanként állandó keresztmetszetű keretek esetében a legkisebb anyagigényű szerkezet kiválasztása. Ismeretesek azonban közvetlen szerkezettervező módszerek változó keresztmetszetű rudakból álló rúdszerkezetek tervezésére is. Ha pl. valamely többtámaszú tartó statikailag lehetséges nyomatékábrái közül kikeressük azt, amelyiknek a területe abszolútértékre nézve legkisebb, s a keresztmetszeti méreteket keresztmetszetről keresztmetszetre változóan úgy állapítjuk meg, hogy a nyomatékábírások a nyomatékábrát „burkolják”, akkor sok esetben az adott teher elviselésére alkalmas legkisebb anyagigényű szerkezethez jutunk. Erről a szerkezetről bizonyos feltételek mellett az is bebizonyítható, hogy benne az adott teher hatására csak kismérvű képlékeny alakváltozások várhatók.

Sikerrel használhatók fel közvetlen szerkezettervező módszerek felület-szerű szerkezetek (lemezek, héjak) méretezésekor is, bár ez esetben a számítások általában oly körülményesekké válnak, hogy elvégzésükhöz korszerű elektronikus számítószerkesztők igénybevétele szükséges. Ezek segítségével viszont a közvetlen szerkezettervezés során mind a teherbírási követelményeket, mind pedig a gazdaságossági szempontokat nagy pontossággal lehet figyelembe venni, s mód nyílik a megoldandó feladatok körének többirányú bővítésére is.

Az anketon az előadottakhoz többen is hozzászóltak. *Illéssy József* felhívta a figyelmet arra, hogy a számítógépek alkalmazása számos oly képlékenységtani feladat megoldását teszi lehetségessé, melyek eddig nem, vagy csak nagy nehézséggel voltak megoldhatók. *Sasvári Andor* a védőtetők képlékeny viselkedésének fontosságára mutatott rá. *Székely Hugó* a képlékenységtan módszereinek a merevvasbetétes szerkezetek méretezésekor való alkalmazásáról tett említést, *Menyhárd István* és *Kollár Lajos* pedig az ankét anyagának közzététele érdekében emelt szót.

Az ankét *Palotás László* elnöki zárószavaival ért véget.

Beérkezett 1966. július hóban.