

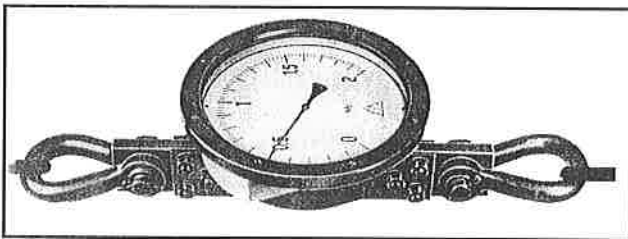
Erőmérő cellák típusai és tulajdonságai, I. rész

Dr. Thamm Frigyes Ph.D., – Dr. Borbás Lajos*

A műszaki berendezések fejlődése, valamint a technológiai folyamatok finomodása egyre több üzemi mérlegelést, egyes szerkezeti elemek között ébredő erők mérését kívánja meg. Az ilyen erőmérő eszközök egy része a gyártóberendezésekbe integrálva folyamatos üzemben van, másik részük kísérletek során időlegesen, esetleg csak egyes alkalmakkor kerül üzembe. A kétféle alkalmazási mód a mérőberendezések iránt eltérő követelményeket támaszt, ami eltérő kiviteli formák kialakulásához vezetett, olyannyira, hogy ma már nem könnyű áttekinteni a készen kapható típusok sokféleségét, és a különleges kísérleti célokra szükségessé váló egyedi berendezések lehetséges típusait. Jelen dolgozat célja az adott terjedelem keretén belül bemutatni a főbb kiviteli formákat, ezáltal megkönnyítve az eligazodást és az esetleges típusválasztást.

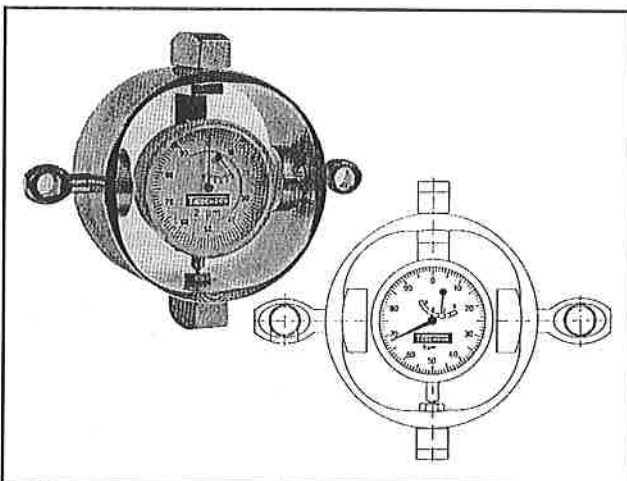
Történelmi áttekintés

Az elektronikus nyúlásmérés bevezetéséig az erőmérő berendezések csak mechanikai alapon a karos és rugós mérlegek elvén működtek. Legismertebb kiviteli formáik a vasútállomásokon és gyáruvarokon felállított hídmérlegek, valamint még egészen századunkban a hatvanas évekig gyártott mérőrugók (1. ábra) voltak.



1. ábra. NDK-gyártmányú mérőrugó az 1960-as évekből (VEB Messgerät und Armaturenwerk Magdeburg)

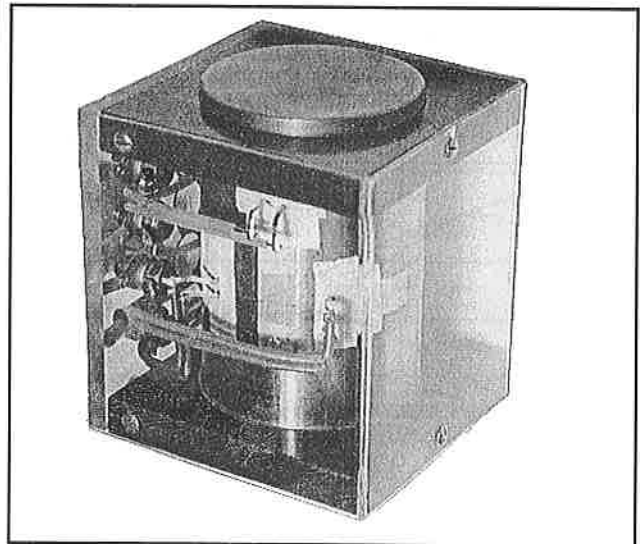
Laboratóriumi célokra, bár ma már igen szűk körben, használatosak az úgynevezett gyűrűs erőmérők (2. ábra), amelyekben egy átmérője mentén húzott acélgyűrű átmérőváltozását mérjük az erő irányában vagy arra merőlegesen.



2. ábra. Laboratóriumi célokra használatos gyűrűs erőmérő (Tiedemann)

* Budapesti Műszaki Egyetem

Ezek nagy tömegei és méretei a dinamikus folyamatok vizsgálatát gyakorlatilag lehetetlenné tették, ezen túlmenően, a teher alatti viszonylag nagy méretváltozásuk következtében statikailag határozatlan keretekbe való beépítésüket legalább is megnehezítették. A nyúlásmérő ellenállás megjelenése ezért ezeket a szerkezeteket egy csapásra túlhaladottá tette. Helyettük megjelentek az első mérőcellák, amelyek kezdetben a már ismert mérőrugóra vagy egyszerű hengeres testre felragasztott ellenállásokból álltak. Egy ilyen primitív, az 50-es években házilag készített cellát mutat a 3. ábra.

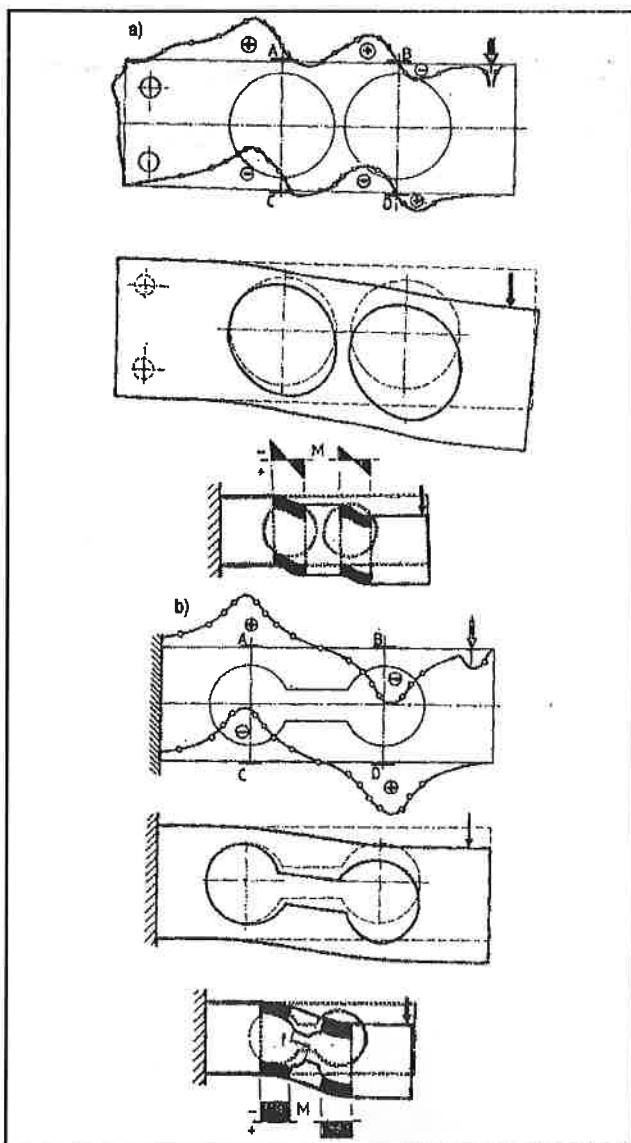


3. ábra. Primitív, korai erőmérő (kb. az 1950-es évekből)

A gyakoribb típusokról jó összefoglaló található pl. [1]-, [2]-ben. Ezek a mérőeszközök kiküszöbölték ugyan a mechanikus kijelzés pontatlanságait, azonban teher alatti besüllyedésük változatlanul nagy volt. Annak felismerése, hogy a nyúlásmérő ellenállás nem elmozdulást, hanem helyi nyúlást mér, tette lehetővé olyan erőmérőcella-alak megalkotását, melyekben a megbízható méréshez szükséges viszonylag nagy nyúlások csak a cella igen kis, gyengített szakaszán léptek fel, ezáltal biztosítva a cella nagy merevségét. Ezek az új szerkezeti elemek általában az 1950-60-as években bejelentett szabadalmak alapulvételével készültek, és ezért a gyártók a cella tulajdonképpeni alakját – többnyire légmentes – burkolattal látták el, felismerhetőségüket ezáltal elfedve, de egyúttal elfedve a cellának a helyi gyengítés miatt járulékos ('parasita') igénybevételekkel szembeni kényes viselkedését is. A fentiekben említett szabadalmak védettségi ideje időközben lejárt, így ma már mód van a cellaalakok részletesebb bemutatására is.

A ma használatos főbb cellatípusok

Számos cella működésének az alapját a 4. ábrán bemutatott szerkezetek képezik. Az egyik végén befogott, másik végén a merendő erővel terhelt konzol nagy furatokkal van gyengítve. Az 'a' kivitel furatai különállóak, a 'b' kivitel furati közötti gát át van vágva. A nyúlásmérő ellenállásokat a konzol alsó és szélső széljára ragasztják, az A-D helyekre. Mindkét esetben feszültségoptikai vizsgálattal meghatároztuk a feszültségeloszlást a tartó szélső széljában, valamint véges elem számítással a konzolnak a teher alatti alakváltozását (erős túlzással). A gyengítéssel kívüli tartószakaszok gyakorlatilag merevnek tekinthetők, így a gyengített szakasz alakváltozását első közelítésben az alsó két ábra



4. ábra. Két nagy furattal ellátott befogott konzol két kiviteli formája az A-D helyekre ragasztott nyúlásmérő ellenállásokkal:

a) a furatok nem érnek egymásba; b) a furatok közötti gát átvágva
 felső sor: feszültségeloszlás a konzol szélső szálaiban feszültségoptikai vizsgálat alapján

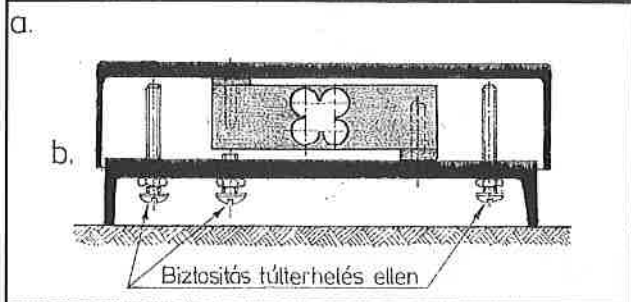
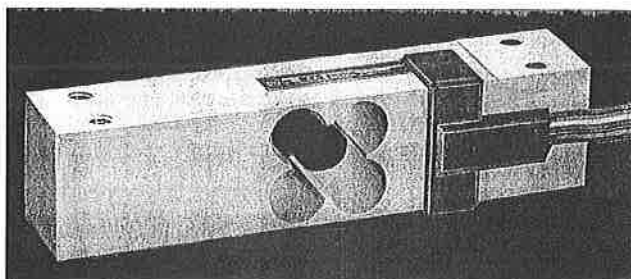
középső sor: a konzol alakváltozása 60 szoros nagyításban (véges elem számítás alapján)

alsó sor: a két eset közötti eltérés magyarázata: a merevnek tekinthető tartórészek (fehér) és a furatok alatti és feletti, rugalmasnak tekinthető tartórészek (fekete) alakváltozásának jellege alapján

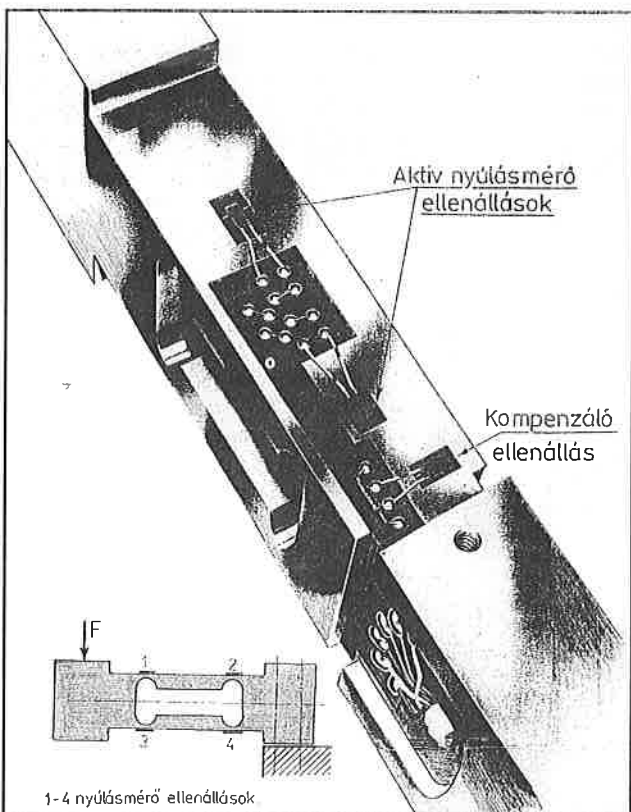
mutatja, az alakváltozás jellegéből kikövetkeztetve az M hajlító nyomaték eloszlását is. Amint azt a feszültségeloszlás ábrái mutatják, az 'a' kivitel esetén a nyúlásmérő ellenállások nyomtérki zérus helyekre kerülnek, ezért a szerkezet az így felragasztott nyúlásmérő ellenállásokkal erőmérésre alkalmatlan. A 'b' kivitelnél az ugyanoda felragasztott mérőellenállások a nyomtérki csúcspontok helyére kerülnek, ráadásul a megfelelően – teljes hídba – bekötött négy ellenállás mérési eredményét a terhelő erő kisebb irányváltozása sem hamisítja meg. Egy ilyen elven működő mérőcellát mutat az 5. ábra.

Mivel a terhelő erő alatti tartószakasz irányváltozás nélkül önmagával párhuzamosan tolik el, a cella önmagában alkalmas mérleg elemeként működni, a mért erő (súly) értéke független a terheknek a mérleg asztalán elfoglalt helyétől. A gyengített tartószakasz nyilván kényes a cella túlterhelésére, ezért az ábra alsó felén látható mérleg besüllyedését a berajzolt elemek segítségével kell határolni. Egy hasonló kivitelű cellán a nyúlásmérő ellenállások bekötését és nyomtatott huzalozását a 6. ábra mutatja.

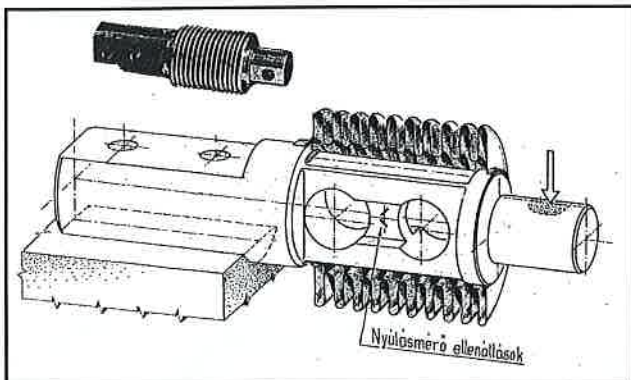
A 4. ábra 'a' kivitelének a furatok közötti gátjában igen erős nyíró igénybevétel éred. Amennyiben erre a helyre nyírást érzékelő, a tartó hosszirányával 45° -ot bezáró irányban elhelyezett nyúlásmérő ellenállásokat helyezünk, erőmérésre alkalmas cellát kapunk. Ennek kiviteli formáját a 7. ábra mutatja. A csúsztató feszültség értékét még nagymértékben növelni lehet, ha a gát falvastagságát a tartó szélső szálához képest lecsökkentjük. Mivel itt is négy mérőellenállást ragasztanak fel, (mindkét oldalra két-két példányt) a teljes hídba kötött elemek ellenállása csak a nyíró erőt, - tehát a mértékadó terhet érzékeli. Teljesen hasonló elven működik a 8. ábrán látható 'S' alakú mérőcella, melynek működési elvét az ábra 'a' része, két kiviteli formáját a 'b' rész mutatja.



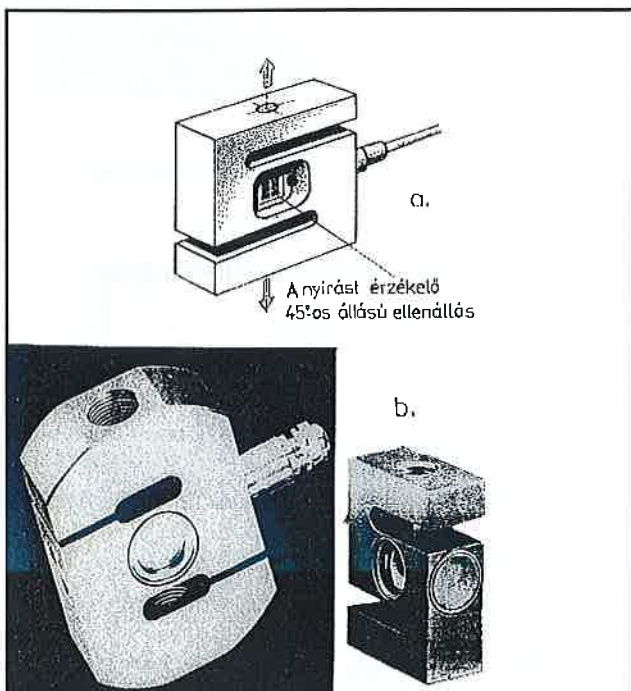
5. ábra. A 4. ábra "b" modelljének megfelelő erőmérő cella (felül, Hottinger PW 2C3) és egy azzal felszerelt asztali mérleg vázlatja (alul), feltüntetve a cella túlterhelését korlátozó csavarokat



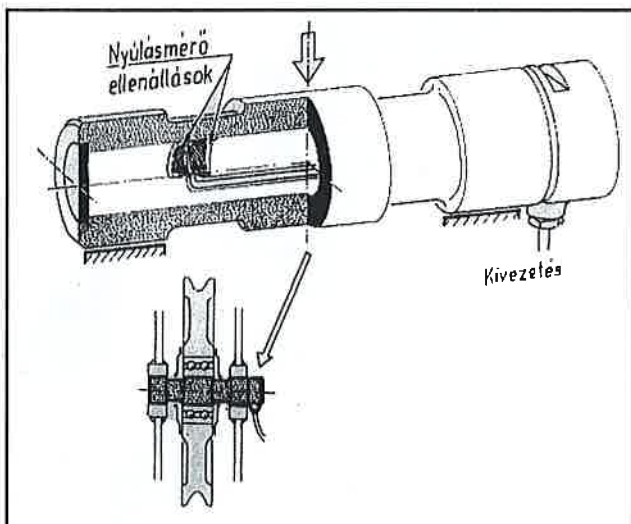
6. ábra. Az 5. ábra kiviteléhez hasonló cella nyomtatott áramkörös huzalozással (Huntleigh)



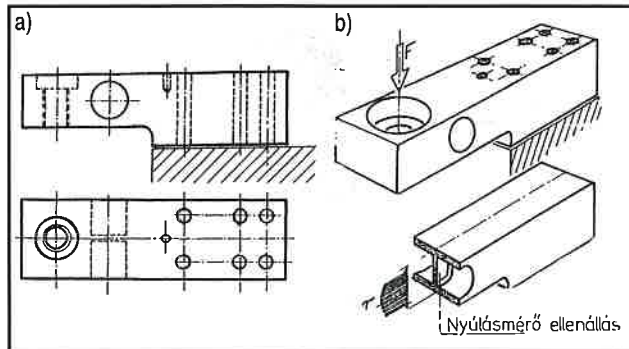
7. ábra. A 4. ábra "a" esetét megvalósító mérőcella a furatok közötti gyengített gátra ragasztott ellenállásokkal. Vázlat, és egy tényleges kivitel.



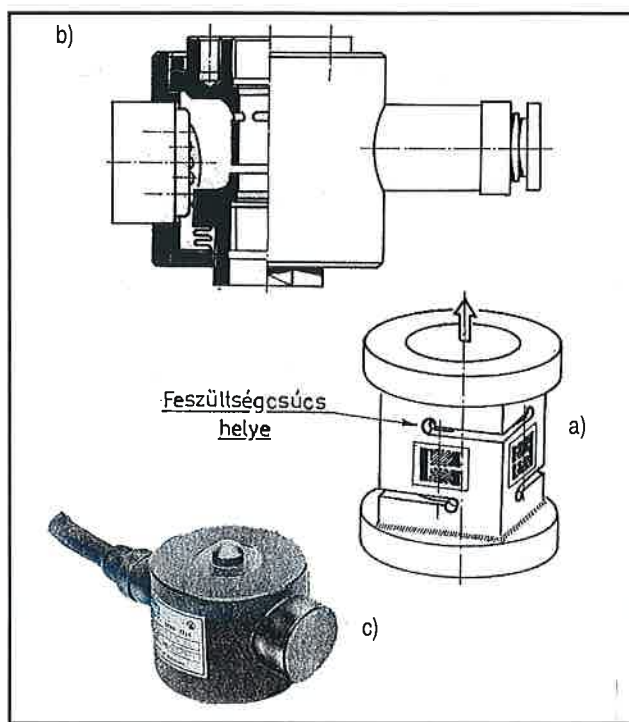
8. ábra. „S”- alakú mérőcella nyírásra érzékeny ellenállásokkal: a) vázlat; b) két kiviteli alak (Soemer)



9. ábra. Henger alakú mérőcella kötélskorongok számára nyírásra érzékeny ellenállásokkal



10. ábra. Hasáb alakú konzolos mérőcella, a) méretvázlat, b) az ellenállások elhelyezése

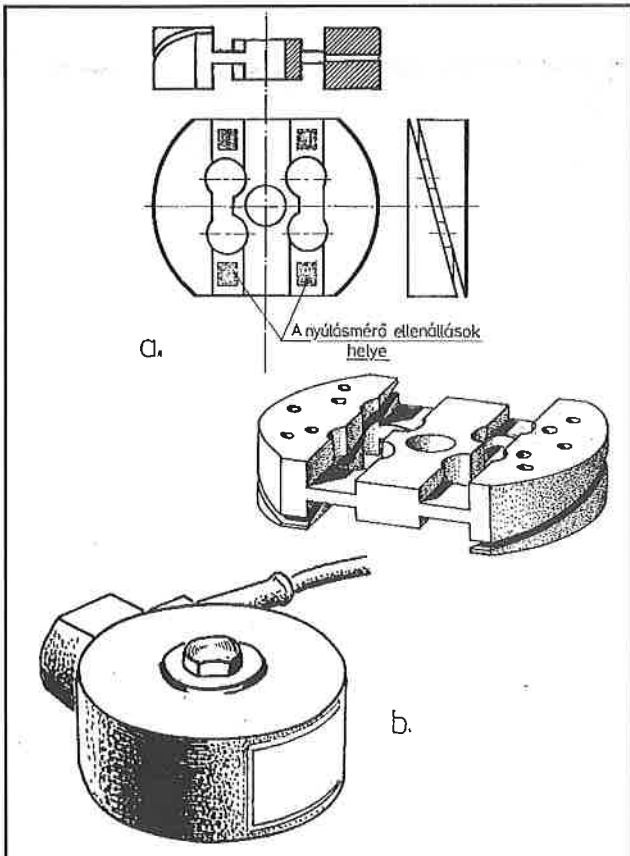


11. ábra. Hengeres házba helyezett mérőcella iránytörés nélküli teherátadáshoz, nyírásra érzékeny ellenállásokkal: a) elvi vázlat; b) metszet (húzó erőre); c) egy tényleges kivitel (nyomóerőre) (Kaliber Műszer- és Méréstechnika, Budapest)

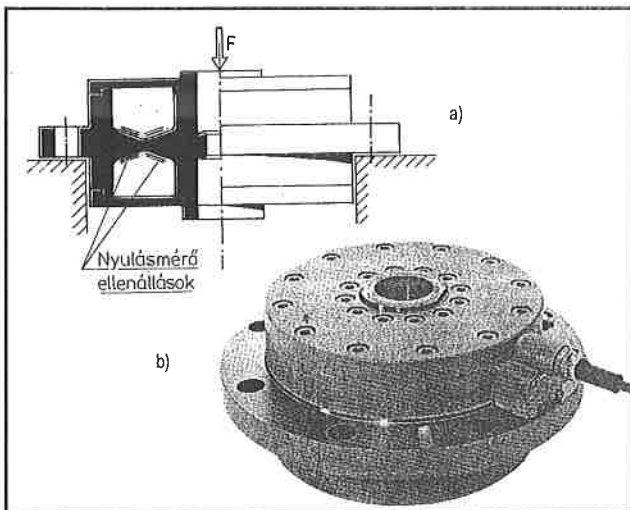
Ugyanúgy működik a 9. ábrán bemutatott, főleg darukon, és egyéb emelőgépeken alkalmazott cellatípus, valamint a széles körben alkalmazott konzolos cellatípus (10. ábra) is.

A technológiai folyamatokba integrált (többnyire tartályok tartólabái alá helyezett) mérőcellákat a központos teherátadás érdekében hengeres házban helyezik el, és olyan cellakiképzést alkalmaznak, amelyek lehetőleg kis sugárirányú cellaméreteket eredményez. Erre példa a 11. ábrán bemutatott mérőcella, amelyik szintén nyírt keresztmetszetre helyezi a mérőellenállásokat. Ennek a szerkezeti kivitelnek a hátránya az a nagy feszültségcsúcs, ami a cellatest bemarásainak lekerekítési sugarainál lép fel. Ennek a csúcshőfeszültségnek az értéke lényegesen magasabb, mint a nyúlásmérő ellenállások által érzékelt csúszató feszültség. Az igen magas csúcshőfeszültség káros hatásait úgy szüntetik meg, hogy a cellatestet még a hitelesítés előtt csúcsértékig terhelik. Az ekkor a feszültségcsúcs közvetlen környezetében fellépő képlékeny alakváltozás olyan maradó feszültségeket ébreszt, amelyek a következő, azonos irányú terhelési ciklusban fellépő feszültségcsúcsok értékeit letörik. Ezért az ilyen cella csak egyező értelmű (vagy húzás, vagy nyomás) erő mérésére alkalmas, bár kialakítása egyébként mindkét igénybevételi mód mérésére alkalmassá tenné.

Mivel sok esetben kívánatos a cella magasságának csökkentése,



12. ábra. Lapos, hengeres mérőcella (Kaliber):
a) a tulajdonképpeni mérőelem; b) a cella külső képe

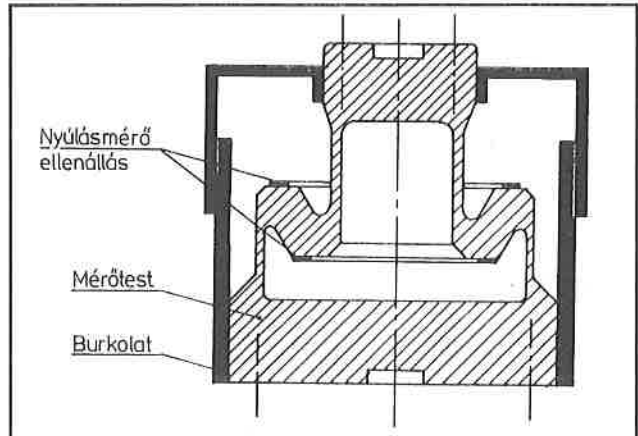


13. ábra. Nagy pontosságú mérőcella, szakítógépek számára
(Hottinger): a) keresztmetszet; b) kivitel

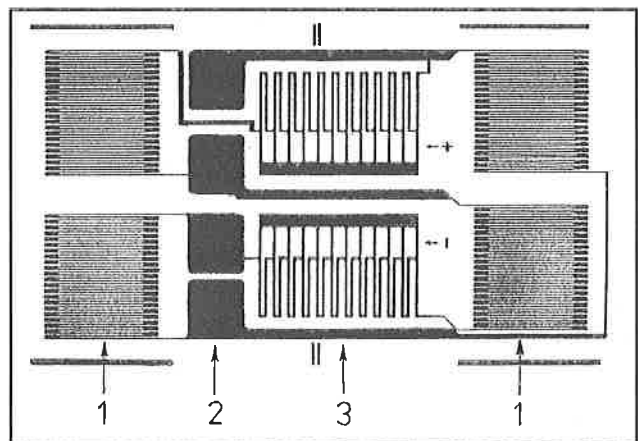
ezért a kisebb erők mérésére dolgozták ki a 12. ábrán látható mérőtestet, melynek nyúlásmérő ellenállásait a csavart tartószakasz felszínén helyezték el.

A korszerű elektronikus szakítógépek erőmérő celláinál követelmény, hogy a cella mérőtestének alakja körszimmetrikus legyen. Két ilyen cella alakot a 13., valamint a 14. ábra mutat. A 13. ábrán bemutatott megoldáson a mérőellenállások körkörösén vannak elhelyezve, míg a 14. ábrán bemutatott mérőtest a tengelyszimmetrikusan billenő gyűrű elvén alapul. [2]

Erőmérő cellák céljaira a nyúlásmérő ellenállásokat gyártó cégek különleges nagy pontosságú ellenállásokat kínálnak. Ilyenek a Vishay Transducer-Class, valamint a Hottinger K-sorozat bélyegei, amelyek



14. ábra. Nagy pontosságú mérőcella, anyagvizsgáló gépekhez
(Schenk), keresztmetszet



15. ábra. Vékony rétegű, a cellatestre közvetlenül felgőzölt áramkör, amely a teljes mérőhidat, és a korrigáló ellenállásokat is tartalmazza
(Hottinger): 1. mérő ellenállások; 2. csatlakozó forrcsúcs; 3. korrigáló ellenállások

hőmérsékletfüggése és kúszási tulajdonságai olyanok, hogy kompenzálják a mérőtest anyagának hőfok- és időtartam függő viselkedését. Az ellenállások felragasztása a cellatestre általában melegen keményedő epoxigyantákkal történik. A cianakrilát típusú gyorsragasztók itt nem használhatók, mivel idővel ridegedésre hajlamosak.

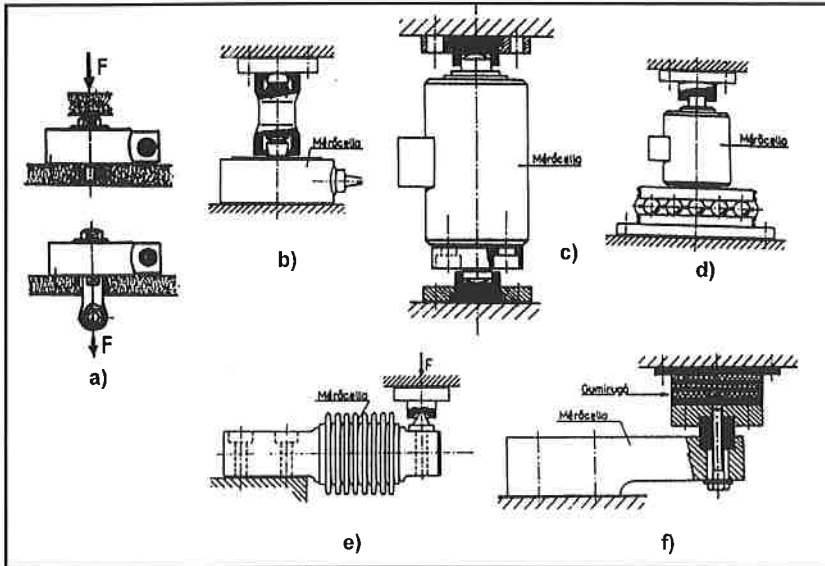
Az ellenállások szerves anyagból lévő hordozója, valamint a ragasztóréteg anyagai kúszásra hajlamosak. Az ebből eredő káros hatások kiküszöbölésére dolgozták ki az úgynevezett vékonyrétegű nyúlásmérő ellenállásokat. Ezeket a mérőtestre nem ragasztással rögzítik, hanem a vezető réteget egy, a cellatestre felvitt keramikus szigetelő rétegre felgőzölik. A nyúlásmérő ellenállás ellenállás-értékének szórását az úgynevezett trimmelő ellenállásokkal egyenlítik ki. Ezek párhuzamosan kötött vezetődarabokból állnak, melyek egyes szakaszait a kívánalmaknak megfelelően lézerrel átégetik, ezzel állítva be a kívánt pontos ellenállás értéket. Vékonyrétegű ellenállások esetén ezeket a vezetődarabokat az aktív ellenállásokkal együtt gőzölik fel (15. ábra), ezáltal biztosítva az ellenállások pontos helyét is [3], [4].

Mérőcellák alkalmazási területei

Az alkalmazási területek két fő csoportba oszthatók:

– A termékfejlesztés és ellenőrzés során végzett egyedi mérésekre, a szerkezetekre ható ismeretlen nagyságú erőhatások nagyságának és időbeli eloszlásának meghatározására.

– Az ipari folyamatokba beépített erő- és súlymérés anyagmennyiségek meghatározására, valamint ellenőrzőgépekre és szállítóberendezésekre ható terhek folyamatos ellenőrzésére.



16. ábra. Mérőcella bekötési módjai a mérendő szerkezetben nem kívánatos járulékos erőhatások és befeszülések elkerülésére:

- a) egyszerű csuklós csatlakozás fent nyomás, lent húzás esetén; b) íngás csatlakozás külön taggal; c) íngás csatlakozás, a hosszú cella maga működik íngaként; d) sokgyólyós alátámasztás; e) konzolos mérőcella gömbcsuklós csatlakozás; f) gumirugós teherátadás a cellára.

Az első csoportba eső mérések céljai és a hozzá szükséges mérőberendezések igen eltérőek lehetnek, olyannyira, hogy gyakran nem használhatók a műszeripar által készített (kínált) és az előzőekben bemutatott erőmérő cellatípusok. A mérés megtervezésekor magát a mérőelemet is el kell készíteni a megfelelő csatlakozó elemekkel együtt. Ugyanakkor a mérés magas színvonalú szakmai vezetés és ellenőrzés mellett folyik le, és általában korlátozott időtartamú. Jól képzett kezelő személyzet van jelen, amelyik a mérés során előforduló fennakadások okait felderíteni, és gyorsan kijavítani képes. Ilyen körülmények között

mérés eredményeket. Ezek kivédésére a celláknak a szerkezetekbe való beépítésekor gondolni kell az elmozdulási lehetőségekre, amire néhány kivételi formát a 16. ábra mutat. Különösen a tartálylábak alá szerelt mérőcellák esetén előfordulhat az is, hogy a tartály töltések során kiszóródó anyag úgy ráakad a cella környezetére, hogy a keletkező anyag tömeg részét vesz a tartály súlyának viselésében, ezáltal meghamisítva a mérési eredményeket. Kerülni kell ezért a cellák környékén olyan nagyobb vízszintes felületeket, amelyekre a lehulló anyag különösen könnyen rakódik rá.

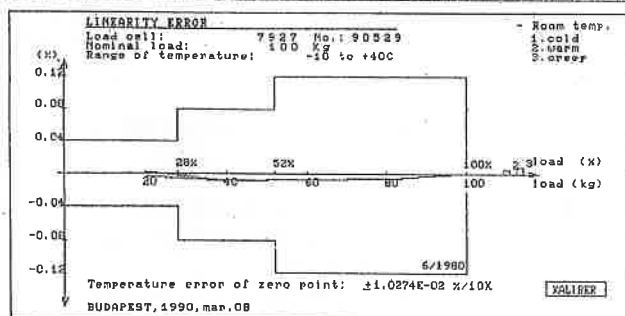
Gondot okozhat a nedvesség és vegyi anyagok káros hatása is. Ennek kivédésére szokásos a cella mérőelemét légmentesen védeni, amire a 7., 9., és 11. ábrák mutatnak példákat. A védelem tényleges hatékonyságát kísérlettel kell meghatározni, amihez a legtöbb gyártó az *Ingress Protection (IP)* rendszerben egyezett meg. Ez a nedvesség elleni védelem vizsgálatára különböző előírásokat ad meg, melyek közül az *IP 67* az érzékelőnek fél óráig 1 m mély vízbe való áztatását írja elő, és ennek letelte után az érzékelőknek hibátlanul kell működniük.

Hasonlóan számolni kell a hőmérséklet-ingadozással is. Erre való tekintettel célszerű a cellák viselkedését különböző hőfokon bevizsgálni. Különösen károsak a helyi hőmérséklet-gradiensek, mert előfordulhat, hogy a cellában elhelyezett mérőellenállások közötti hőfokkülönbség elrontja a cella hőkompenzációját.

A mérőcellákat tartalmazó mérőrendszer működését zavaró, a mérési pontosságot rontó tényezőket, és az ellenük való védekezést részletesen ismerteti Vervuren [5].

A mérőcellákat gyártó cégek az általuk gyártott cellákhoz vizsgáló- és adatlapot szolgáltatnak. Ez a cella adatain kívül tartalmazza a mért hibagörbéket is. Az adatlapra egy példát a 17. ábrán mutatunk be.

| MEASURING CERTIFICATE | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| KÁLBER Mérő és Méréstechnika 1134 Budapest, Rózsafa u. 13-17. HUNGARY; Telefon: 408-570 Telex: 224666 | | |
| Type: 7927 | Measuring range: 100KG | Works number: 98/529 |
| Characteristics: | | |
| Isolation resistance: | 10000 | Mohm |
| Input resistance: | 349 | Ohm |
| Output resistance: | 351 | Ohm |
| Zero position: | 3.5E-02 | % |
| Temp. dependence of the zero: | -1.0274E-02 | %/10K |
| Linearity error: | -7.99634E-03 | % |
| Cell factor: | 1.9999 | mV/V |
| Creep: | 0.000-0.008 | % |
| Marks of the cable joint: | Feed: + blue - yellow | Out: + black - white |



17. ábra. Példa erőmérő cella vizsgálati és adatlapjára.

Irodalom

- [1] Schulze, K.H.: Experimentelle Messtechnik im Maschinen- und Stahlbau. VEB Verlag Technik Berlin. 1988.
- [2] Keil, S. - Jaschinski, A.: Dehnungsmessstreifen in Messwertaufnehmern. Messen + Prüfen Automat. 14/1978/10. szám 655...661. o.
- [3] Ort, W.: The latest in Foil Strain Gages Versus Thin Film Strain Gages. VDI-Berichte Nr. 313. (1978) 283...289. o.
- [4] Paul, H.: Load Cells of Small Nominal Load using Thin Film Strain Gauges. Az IMEKO TC-3 Műszaki Bizottsága által rendezett "Measurement of Force and Mass" konferenciájának kiadványa. MATE Szeged. 1990. 223...234. o.
- [5] Vervuren, W.: Load Cells and their Environment. IMEKO TC-3 Konferencia kiadványa (MATE, Szeged, 1990) 189...195. o.