



**BUDAPESTI MŰSZAKI és GAZDASÁGTUDOMÁNYI
EGYETEM**

**KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS
JÁRMŰMÉRNÖKI KAR**

VASÚTI JÁRMŰVEK ÜZEME ÉS DIAGNOSZTIKÁJA

Egyetemi jegyzet

**Járműdiagnosztikai mérések, ellenőrzések,
karbantartási stratégiák. 1/1. rész**

Készítette:

**Dr. Benedek Teofil
ny. egyetemi docens**

**B U D A P E S T
2 0 1 9**

Tartalom :

1. Diagnosztikai alapok
 - 1.1 Alapfogalmak
 - 1.2 Karbantartási stratégiák
2. A diagnosztika mérési-ellenőrzési folyamata
 - 2.1 A mérendő fizikai mennyiségek
 - 2.2 A méréshez használt érzékelők
 - 2.2.1 A nyúlásmérő bélyeg
 - 2.2.2 Induktív elmozdulás-érzékelő
 - 2.2.3 Gyorsulás-érzékelők
 - 2.2.4 Erő érzékelők
 - 2.3 A mérőerősítők.
 - 2.4 A lépték meghatározása, a léptékfelvétel módja
 - 2.5 A döntéshozatal.
3. A diagnosztika mérési-ellenőrzési folyamatának gyakorlati végrehajtása
 - 3.1 A mérési-ellenőrzési folyamat TMK jellegű karbantartásnál
 - 3.2 A mérési-ellenőrzési folyamat állapotfüggő karbantartás esetén
 - 3.3 A mérési-ellenőrzési folyamat vegyes (TMK és állapotfüggő) karbantartásnál

Felhasznált irodalom:

1. Dr. Zobory I.: Járműüzem, megbízhatóság és diagnosztika. Egyetemi jegyzet, Budapest, 2010.
2. Dr. Nagy I.: Műszaki diagnosztika I. Delta-3N Kft, Paks. 2006.
3. Dr. Dömötör F.: Rezgésdiagnosztika. Főiskolai Kiadó, Dunaújváros. 2008.
4. Thamm, F., Ludvig, Gy., Huszár, F., Szántó, I.: A szilárdságtan kísérleti módszerei. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. 1968.
5. Hottinger Baldwin Messtechnik. Product Catalogue 1999. Magyarországi képviselő: 2101. Gödöllő, Remsey krt. 9. Pf: 81.
6. Jens Trample Broch: Messungen von mechanischen Schwingungen und Stößen. Die Anwendung der Brüel & Kjaer Meßsysteme. Brüel & Kjaer, Denmark. 1970.
7. HBM Media Library. Technical documentation for customers. 2012. october
8. Dr. Benedek, T.: Vasúti Járműméréstechnika és Labor. Egyetemi jegyzet. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2018.
9. Solf, W., Mannitz, K.: Konzept für die Instandhaltung und Behandlung der Inter-CityExpress-Triebzüge im Heimat-Betriebswerk Hamburg. ZEV + DET-Glasers Annalen 114. (1990) Nr 9/10 September/Oktober.
10. Schmidt, W.: Radsatzdiagnose im ICE-Betriebswerk Hamburg. ZEV + DET-Glasers Annalen 114. (1990) Nr 9/10 September/Oktober.
11. Radsatz-Diagnosesystem Argus II. Hegenscheidt-MFD GmbH.
12. Schreiber, L.: Messung gekrümmter Flächen mit berührungslose Verfahren. Springer-Verlag. Berlin, 1989.
13. Radsatz-Diagnosesystem Argus II. Hegenscheidt-MFD GmbH.
14. Schreiber, L.: Messung gekrümmter Flächen mit berührungslose Verfahren. Springer-Verlag. 1989.
15. Dr. Zobory, I., Dr. Győry, J., D. Benedek, T.: Vasúti Járműrendszer Diagnosztika. II. A futóműdiagnosztikai mérések fejlesztési lehetőségei, a Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszéken fejlesztés alatt álló futóműdiagnosztikai mérőállomás és próbapad. Egyetemi jegyzet. Budapest, 2018.
16. Görbicz S. – Sasi I. – Vadászy P.: Vasúti járművek minősítő mérései. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.

1. Diagnosztikai alapok

1.1 Alapfogalmak

Ez a Jegyzet a **Járműüzem, Megbízhatóság és Diagnosztika** c. szaktárgy harmadik részéhez, a **Diagnosztika**-hoz készült. A jegyzetben ismertetjük a járműdiagnosztikában használatos alapfogalmakat, majd bemutatjuk a jelenlegi járműdiagnosztikai gyakorlatot. Megvizsgáljuk az üzemkészség fogalmát, majd egy vasúti jármű példáján meghatározzuk a jármű üzemkészségét. A jegyzetben ezután áttekintjük a járműüzem komplex szimulációjának lehetőségeit, az üzemszimuláció módszerének alapjait, végül bemutatjuk a járműrendszer szimulációs modelljének felépítését. Ez a szaktárgy az elmúlt években önálló szaktárgy volt és vasúti járművek diagnosztikájával foglalkozott, a jegyzet eddig elkészült részeiben is elsősorban vasúti járművek diagnosztikai problémáinak elemzésével foglalkoztunk.

Mindenekelőtt a diagnosztika alapfogalmait mutatjuk be, ebben segítségül hívtuk az Irodalomjegyzékből az [1], [2] és [3] műveket.

A „**Járműdiagnosztika**” szó azt jelenti, hogy a jármű aktuális műszaki állapotát kell felmérni abból a célból, hogy az üzemzavarok bekövetkezését előre lehessen jelezni, vagy hogy az üzemzavart még a kezdeti, viszonylag kevés károsodást okozó állapotában lehessen felfedezni és a szükséges javításokat végrehajtani. Ezért a műszaki állapot felmérését lehetőleg sűrű időközökben volna célszerű elvégezni. Ha erre nincs mód valamilyen oknál fogva, és a járművek javításával megvárjuk az üzemzavarok bekövetkeztét, akkor a jármű előbb-utóbb olyan állapotba kerül, hogy gyakorlatilag mindig javítani kell rajta valamit. Emellett sok üzemzavar – pl. egy alkatrész törése – még jelentős egyéb károsodást, sérülést, stb. okozhat a sérült gépalkatrész környezetében.

A műszaki állapotot úgy tudjuk felmérni, hogy **méréseket és más ellenőrzéseket végzünk** az alábbi területeken:

- kopásnak kitett alkatrészek méretének ellenőrzése (a járműkerék abroncsának futófelülete, lengéscsillapítók szelepei, stb.);
- a jármű üzemével kapcsolatos adatok ellenőrzése (a jármű gépezetének össz- és részhatásfokai, fajlagos energiafogyasztása, vonóerő-sebeség jelleggörbéje, stb.);
- rugók és csillapítók jelleggörbéjének ellenőrzése (pl. gumirugók anyagának keményedése miatt, lengéscsillapítók szelepeinek kopása következtében, stb.);
- bizonyos alkatrészek törésének, vagy egyéb üzemzavarának felderítése (pl. laprugók főlaptörése, duplex csavarugók belső rugójának törése, stb.);
- stb.

A felsorolt mérések és ellenőrzések végrehajtásához a legtöbb esetben több-kevesebb szétszerelési munka szükséges. Hordrugók és lengéscsillapítók jelleggörbéjének méréséhez, illetve ellenőrzéséhez a jármű egész futóművét szét kell bontani, miután a járművet daruval felemelték. A vasúti járműkerék-profilok ellenőrzése során még a kerék aktuális gördülőkör-átmérőjének látszólag egyszerű megmérése is sok esetben

igen nehézkes a zsúfolt felépítésű hajtott forgóvázak esetében. A szétszerelések miatt természetesen a járművet hosszabb-rövidebb időre ki kell vonni a forgalomból is.

A modern járműüzem azt igényli, hogy egyrészt a ***járművek műszaki állapotának időbeli változása megfelelően követve legyen***, másrészt hogy az esetleges üzemzavarok, vagy más okok által igényelt javítási műveletek várható időpontja a lehetőség szerint előre jelezve legyen, továbbá a javítások lehetőleg modulcserével legyenek végrehajtva. A járműpark jó kihasználása érdekében fontos, hogy a járművek ellenőrzési ideje megfelelően rövid legyen a forgalomban eltöltött időhöz viszonyítva, továbbá, hogy az ellenőrzések-mérések a lehetőségek szerint ne igényeljenek olyan szétszerelési munkát, amit csak javítóműhelyben lehet elvégezni. Végül a szükséges alkatrészcsereket úgy kell megszervezni, hogy azok a jármű nagyobb szerkezeti egységeinek – az ú. n. moduloknak – a cseréjével legyenek végrehajtva, pl. a vasúti futómű valamely hibája esetén az egész forgóváznak – a „futómű-modulnak” – a jól megszervezett, magas fokon gépesített cseréje szükséges. Ez természetesen megköveteli a megfelelően kialakított javító csarnokot és kellő mennyiségű tartalékmodul tárolását is.

1.2 Karbantartási stratégiák

A karbantartási stratégia azoknak az intézkedéseknek az összességét és időrendjét jelenti, amelyek a jármű meghibásodásának megelőzését, valamint a meghibásodás megszüntetését teszik lehetővé. Időrendben a következő a következő stratégiák alakultak ki:

2.1 Operatív karbantartás (= üzemeltetés meghibásodásig). A járművet a meghibásodások alapján tartották karban, vagyis akkor javították, amikor valamelyik részegysége elromlott.

Ennek a karbantartási módnak az a legfőbb hiányossága, hogy egy bizonyos üzemidő után sűrűsödnek a meghibásodások, illetve üzemzavarok, a jármű üzemidejének egyre nagyobb részét tölti a műhelyben, javítás alatt.

Mivel sok alkatrésztörés jelentős kárt, illetve sérülést okozhat, pl. egy motorban az egyik henger dugattyúcsapszegének törése az egész motor tönkremenetelét is okozhatja, a meghibásodás, illetve üzemzavar bekövetkeztének bevétele jelentős járulékos károkat is okozhat a járműben.

Mindezek miatt ezt a karbantartási módot hamar felváltották hatékonyabb karbantartási stratégiák.

2.2 Tervszerű megelőző karbantartási rendszer. A jármű karbantartási műveleteit előre meghatározott időpontokban hajtják végre. Ezt karbantartási formát nevezik tervszerű megelőző karbantartásnak (TMK) is.

A karbantartási időrendet a meghibásodások előfordulási átlagidejéből leszűrt tapasztalatok alapján alakították ki, így olyan többszintes karbantartási rendet lehet kialakítani, amelyben a kisebb ellenőrzéseket sűrűbben, a nagyobb szétszerelést igénylő karbantartási műveleteket ritkábban hajtják végre.

Ennek a karbantartási rendszernek *kétségtelen előnye a tervezhetőség*. Hátránya viszont az, hogy egy szétszerelés, illetve ellenőrzés eredménye vagy az, hogy még nem kellett volna a szerkezetet szétbontani, vagy az, hogy ezt már korábban kellett volna megtenni. A felesleges szétszerelések további hátránya, hogy kényesebb, összetett szerkezetek (pl. egy dízelmotor) felesleges szétszerelése olyan károsodást okozhat, mint egy jelentősebb üzemidejű használat.

Mindezekből látszik, hogy olyan karbantartási rendszerre van szükség, amely az egész szerkezet (jármű) állapotának időbeni változását nyomon követi, és akkor jelzi a beavatkozás szükségességét, amikor a meghibásodás valószínűsége már valóban nagy.

2.3 Állapotfüggő karbantartási rendszer. Ez a karbantartási rendszer nyomon követi minden jelentősebb szerkezeti egység üzemi állapotának változását, és jelzi, amikor a karbantartási beavatkozás valóban szükséges.

Ez a karbantartási rendszer első látásra ideálisnak tűnik. Az alkalmazásának azonban az a feltétele, hogy az egész szerkezet (jármű) minden jelentős részegysége fel legyen szerelve olyan érzékelőkkel, amelyek folyamatosan érzékelik a szerkezeti egység üzemi állapotát (pl. a kopásának mértékét), továbbá fel kell szerelni egy olyan automatikus adatgyűjtő rendszert, amely rendszeresen, beállítható időközökben mintát vesz az érzékelők jeléből, és ezeket a mintákat olyan tároló berendezésben tárolja, amelyből bármikor megfelelő számítógépes eszközzel (pl. hordozható számítógéppel) a tárolt adatokat ki lehet olvasni a kiértékelés céljából.

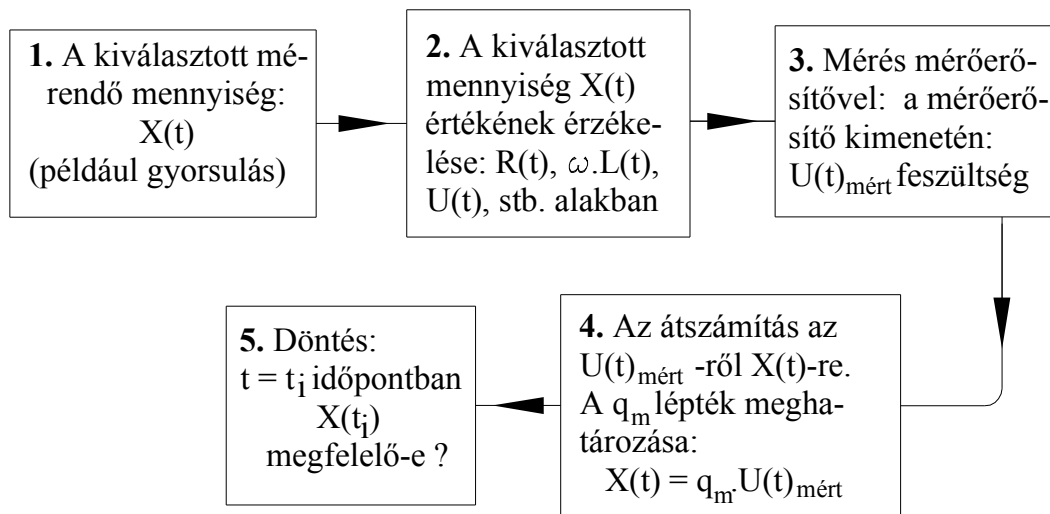
A [2] irodalmi forrásmű megemlíti még a „megelőző karbantartást” és a „kockázat alapú karbantartást” is, mint az állapotfüggő karbantartás továbbfejlesztett változatait. Ezekről részleteket lehet találni [2]-16. oldalán.

A jelenlegi járműdiagnosztikai gyakorlatban előfordul mind a TMK, mind az állapotfüggő karbantartási rendszer, illetve ezek különböző kombinációi.

Amint azt a következőkben látni fogjuk, a jelenlegi karbantartási gyakorlat áttekinthetése során, a villamos berendezések érzékelendő jeleinek érzékelése, leolvasása, tárolása, stb. viszonylag egyszerűen megoldható. A nem-villamos berendezéseken (dízelmotor, stb.) érzékelendő jelek nem-villamos mennyiségek (hajtó nyomaték, fordulatszám, stb.) *külön átalakító-érezelők felszerelését igényli*. Ezeknek a beszerzésére, felszerelésére már a tervezés során kell gondolni.

2. A diagnosztika mérési-ellenőrzési folyamata

A jármű karbantartásának mérési ellenőrzési folyamata során az a feladat, hogy ha adva van egy $X(t)$ időben változó fizikai mennyiség, amelyet mérni, illetve ellenőrizni kell, akkor hozzá kell kapcsolnunk egy $U(t)_{\text{mért}}$ villamos feszültséget, amit a későbbiekben lehet digitalizálni, tárolni, visszajátszani, stb. Ha már ki van jelölve az ellenőrzendő fizikai mennyiség (például méret, elmozdulás, gyorsulás, stb.), a diagnosztikai mérési-ellenőrzési folyamat a fizikai mennyiség érzékelésével folytatódik, és a megmért érték alapján meghozott döntéssel ér véget. Ezt a folyamatot öt lépésre lehet felbontani, ez az öt lépés az 1. ábrán látható.



1. ábra. A mérési-ellenőrzési folyamat lépései.

A mérési-ellenőrzési folyamat első lépése az $X(t)$ mérendő mennyiség **megválasztásával** kezdődik. Az $X(t)$ általában valamilyen fizikai mennyiség. Az ilyen mennyiségek két fő csoportra oszthatók: az első csoportba a közvetlenül megmérhető, illetve érzékelhető mennyiségek tartoznak, ilyenek például az elmozdulás, a gyorsulás. A második csoportba a közvetlenül nem érzékelhető mennyiségek tartoznak, mint például a mechanikai feszültségek (σ húzó-nyomó és a τ nyíró feszültség), ezek helyett az alkatrészeknek a feszültségek okozta deformációját (felületi hosszváltozását) tudjuk érzékelni, majd a hosszváltozásból számítással kell a mechanikai feszültséget meghatározni (ezt a műveletet esetenként a 4. lépésben ismertetett lépték-meghatározással tudjuk helyettesíteni). Ilyen lehet az alkatrészeket terhelő erőhatás is, ezt is számítással kaphatjuk meg az érzékelt felületi nyúlásból.

Viszonylag ritka esetben előfordulhat, hogy villamos feszültséget kell megmérni, a korszerű mérőerősítők erre is fel vannak szerelve.

A folyamat második lépése az érzékelők megválasztása. Az érzékelő olyan eszköz, amelynek a bemenetén a mérendő $X(t)$ fizikai mennyiséget érzékeli és a kimenetén az $X(t)$ -vel analóg módon változó villamos mennyiség jelenik meg. Ezek a mennyiségek általában az időben változnak, ezért jelöljük $X(t)$ -vel. Az érzékelők kimenetén megjelenő villamos jellemző lehet az ohmos ellenállás $R(t)$ (nyúlásmérő bélyeg esetén), az induktivitás ($\omega.L(t)$) (induktív elmozdulás-érzékelő esetén), vagy előfordul,

hogy közvetlenül $U(t)$ villamos feszültség jelenik meg a kimeneten (lézeres elmozdulás-érzékelő esetén).

A folyamat harmadik lépésében a mérőerősítő segítségével az érzékelők különféle kimenő jelét villamos feszültséggé egységesítjük, meghatározva azt az $U(t)_{mért}$ feszültséget, ami a mért $X(t)$ fizika mennyiséghez tartozik.

A folyamat negyedik lépésében meg kell találnunk az arányossági tényezőt a mért fizikai jellemző $X(t)$ függvénye és a $U(t)_{mért}$ feszültség függvénye között:

$$X(t) = q_m U(t)_{mért} ,$$

A folyamat ötödik, utolsó lépésében végrehajthatjuk a szükséges diagnosztikai döntést, mivel ha ismerjük a mért fizikai mennyiséghez tartozó q_m léptéket, az $U(t)_{mért}$ feszültség minden $U(t_j)$ értékéhez meg tudjuk határozni a mért fizikai mennyiség hozzá tartozó $X(t_j)$ értékét.

A következőkben ezeket a lépéseket részletesebben is tárgyaljuk.

2.1 A mérendő fizikai mennyiségek

Amint azt az előbbieken vázlatosan már említettük, a diagnosztikai gyakorlatban sokféle fizikai mennyiséget kell megmérni. A legtöbbször előforduló mennyiségek az alábbiak:

a/ Kopások ellenőrzése. A kopások általában egy alkatrész méretét csak igen csekély mértékben változtatják meg. Emiatt a kopások okozta méretcsökkenés helyett annak valamilyen következményét mérjük, például a dízelmotor dugattyúgyűrűinek kopása következtében csökken a motor leadott forgató nyomatéka, ez már mérhető megfelelő érzékelővel. De ha az ilyen motort nagyobb töltéssel járatják a csökkent forgató nyomaték ellensúlyozására, az elfogyasztott gázolaj mennyiségének növekedését mérve, ez is figyelmeztethet a dugattyúgyűrűk kopására, amit egyébként is gyakorlatilag lehetetlen lenne mérni.

Olyan esetben viszont, amikor a megkopott alkatrész jól hozzáférhető, például a vasúti járművek kerekeinek a futókörmérője, akkor megfelelő érzékelőre, illetve mérési módszerre van szükség egyrészt a kerékátmérő mérésére, másrészt a kerékprofil alakjának regisztrálására. Ugyanis előírás, hogy az egy kerékpárhoz tartozó két kerék átmérőjének különbsége nem lehet nagyobb 0,5 mm-nél, másrészt a kerékprofil alakja (pontosabban a névleges gördülősíkban a kerékprofil érintőjének meredeksége) fontos adat a vasúti jármű kritikus sebessége szempontjából, mert időről-időre meg kell határozni, hogy a vizsgált jármű maximális üzemi sebessége még megfelelő mértékben kisebb, mint a pillanatnyi állapothoz tartozó kritikus sebesség értéke.

b/ Repedések, törések ellenőrzése. A repedések az alkatrész méretét olyan csekély mértékben változtatják meg, hogy a méretellenőrzés helyett más módszert kell alkalmazni, például az egyszerű szemrevételezést. Itt felhasználhatjuk hogy az alkatrészt bevonó festék általában nem tudja követni az alkatrész deformációját és megreped. Szerencsés esetben a vázszerkezet nyíró alakváltozása miatt a repedés helyéhez társul olyan pont, ahol a tartó övlemezésének zsugorodása miatt a festés felgyűrődik, ez jelentősen megkönnyítheti a repedés helyének felfedezését.

A törések esetében más a helyzet. Vannak olyan alkatrészek, amelynek a törése az alkatrész környezetében jelentős károsodását okozza, ezért ez minden diagnosztikai ellenőrzés nélkül is eléggé feltűnő. Ilyen eset lehet például a belsőégésű motorok forgattyús mechanizmusában, vagy a vezérlés szeleprendszerében bekövetkezett törés.

Más esetekben az alkatrész törése csak a jármű üzemében okoz változást. Ilyen eset lehet például ha kettős (duplex) hordrugókban a belső csavarrugó törik. Ekkor a hordrugó merevsége lecsökken, aminek következtében a jármű futása megváltozik, támolygó, vagy bőlintó parazita lengéseket kezd végezni. Ilyen esetben a jármű futásában ugrásszerűen bekövetkezett, bár csekély mértékű változás alapján gyanakodhatunk a rugótörésre.

Hasonló az eset, ha lengéscsillapítók szelepe törik, vagy kopik, kifárad az anyaga. Ezt a jármű lengésében bekövetkező olyan változás jelezheti, hogy a lengések lecsillapodása időben egyre jobban elnyúlik.

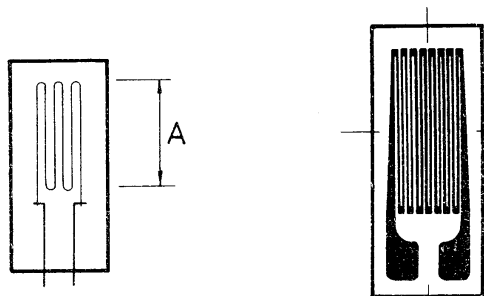
c/ A jármű üzemi jellemzőinek ellenőrzése. Ilyen üzemi jellemző lehet a jármű gépezetének összhatásfoka, az egyes segédgépek részhatásfoka, az üzemanyag-, vagy villamos energia-fogyasztás, a jármű futásminősége (főleg vasúti járművek esetében), stb. A felsorolt jellemzők közül csak a belsőégésű motorok gázolajfogyasztása mérhető meg közvetlenül, a többi jellemző csak közvetve mérhető.

2.2 A méréshez használt érzékelők.

A mérés technikai gyakorlatban nagyon sokféle szerkezetű érzékelő létezik, a legtöbbet alkalmazott érzékelő-típusok közül néhányat mutatunk be. Bemutatjuk az egyes érzékelők felépítését, valamint azt a folyamatot, ahogyan az érzékelő a mérendő fizikai mennyiség ΔX megváltozására valamilyen fizikai mennyiség ΔU , ΔR , $\Delta(\omega \cdot L)$, $\Delta(1/\omega \cdot C)$, stb. megváltozásával reagál.

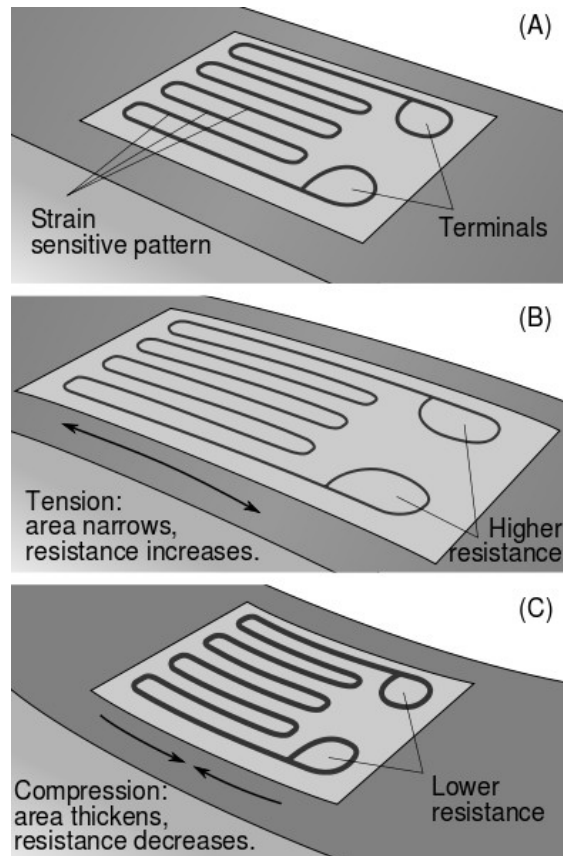
2.2.1 A nyúlásmérő bélyeg.

A nyúlásmérő bélyeg talán a legtöbbet alkalmazott érzékelő (szenzor) típus. Vázlatos felépítése az alábbi:



2. ábra. A nyúlásmérő bélyeg felépítése.

A 3. ábrán néhány képet mutatunk be az interneten hozzáférhető kiadványokból, amelyek elsősorban a nyúlásmérő bélyegek elvi felépítését mutatják be.



3. ábra. Nyúlásmérő bélyegek képei (katalógusból).

A nyúlásmérő bélyegek műanyagba ágyazott ellenálláshuzalok kötegéből állnak, a bélyeget megfelelő műgyanta ragasztóval lehet felragasztani a vizsgált fémmatrészekre. Nagyon kicsi hosszváltozásokat képesek érzékelni, például fémek (főleg acél) felületének a terhelő erők hatására bekövetkező megnyúlását lehet velük megmérni. Fontos jellemzőik:

mérőhossz: a 2. ábrán az „A” hossz, az ellenálláshuzalköteg hossza. Ezen a hosszúságon belül az alkatrész megnyúlását a bélyeg átlagolja.

ellenállás terheletlen állapotban: R_0 : a legtöbb bélyegnél $R_0 = 120 \Omega$

ellenállás terhelt állapotban: $R = R_0 + \Delta R = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0}\right) = R_0 \cdot (1 + r)$

ahol r a bélyeg fajlagos ellenállásváltozása: $r = \frac{\Delta R}{R_0}$

ahol k a bélyegtényező: $k \approx 2.0$, a bélyegcsomagokon három tizedesjegy pontossággal feltüntetik. Ennek felhasználásával az ε hosszirányú nyúlás és a bélyeg r fajlagos ellenállása között az összefüggés:

$$r = k \cdot \varepsilon$$

Összevetve az előbbi kifejezéssel:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k \cdot \varepsilon, \text{ innen: } \Delta R = R_0 \cdot k \cdot \varepsilon = f(\varepsilon)$$

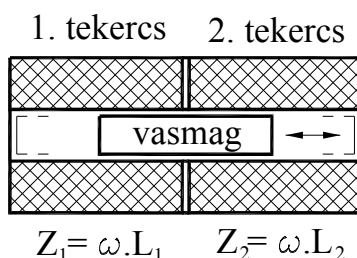
A nyúlásmérő bélyegek alkalmazásánál gondot kell fordítani az esetleges hőmérséklet-változások hatására. Ha a bélyeg felmelegszik, megnyúlik, ezt éppolyan ellenállásváltozásként érzékeli, mintha a fémalkatrész terhelés hatására megnyúlt volna. A gyárak olyan fémötvözeteket kísérleteztek ki az ellenálláshuzalok számára, amelyek bizonyos hőmérséklet határok között elhanyagolható mértékben változtatják az ellenállásukat a hőmérsékletváltozás hatására.

Ha a fémalkatrész felmelegszik, ennek következtében megnyúlik, ezt a bélyeg ugyancsak terhelésnek értelmezi. Ezen megfelelő kapcsolásokkal segíthetünk. A [8] forrásműben mindkét hőmérsékletváltozási probléma megoldására számos lehetőséget találhatunk.

2.2.2 Induktív elmozdulás-érzékelő

Az induktív elmozdulás-érzékelő az egyik legelterjedtebb elmozdulás-érzékelő. Működésének alapjait részletesen bemutatja a [4] irodalmi forrásmű, ennek alapján mutatjuk be vázlatosan az induktív elmozdulás-érzékelő működését.

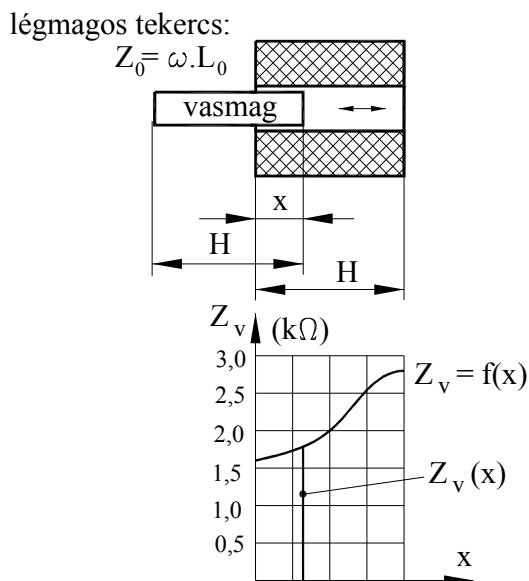
Az érzékelő működésének az az alapja, hogy ha egy tekercsbe vasmagot tolunk be, a tekercs induktanciája (ωL) megnő. A gyakorlatban alkalmazott érzékelők általában több tekercset is alkalmaznak, A lehetséges tekercs-vasmag elrendezések közül az a változat az egyik legelterjedtebb, amelyik két sorba kapcsolt tekercset tartalmaz, egyetlen, közös elmozduló vasmaggal (4. ábra).



4. ábra. Az induktív elmozdulás-érzékelés elve.

Ha a közös vasmag bármelyik irányban kitér, a megfelelő tekercs-fél impedanciáját úgy változtatja meg, hogy az egyik tekercs-fél belsejébe behatoló vasmag megnöveli a tekercs induktivitását, ugyanakkor a másik tekercs-fél induktivitása csökken, és ha a vasmag teljesen elhagyta a tekercset, a tekercs eredeti, vasmag nélküli induktivitása változatlan marad.

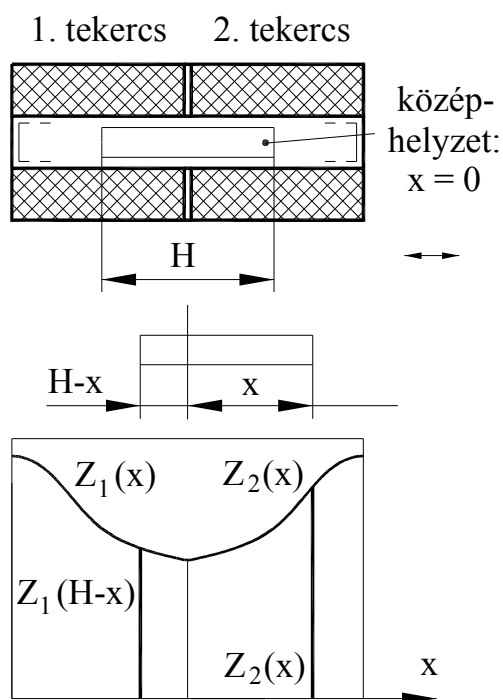
Az 5. ábrán mutatjuk be, hogy a tekercsbe behatoló vasmag hatására hogyan növekszik meg a tekercs induktivitása. Az ábra a [4] forrásmű 6.3 ábrája alapján készült.



5. ábra. Az induktív elmozdulás-érzékelő működési elve.

Az ábrán látható, hogy a tekercs induktivitásának (impedanciájának) megnövekedését a $Z_v = f(x)$ függvény írja le (a függvény részletes számítása [4]-ben megtalálható, amely egy konkrét méretű és menetszámú tekercsre vonatkozik). Az impedancia-növekedés csúcserőke akkor áll elő, ha a vasmagot teljes hosszúságában ($x = H$) betöljük a légmagos tekercsbe. Az impedancia minimuma az $x = 0$ betolásnál áll elő.

Mivel kétféle előjelű elmozdulást kell érzékelni, ezért a 4. ábrán látható módon két légmagos tekercset kell alkalmaznunk. A 6. ábra szemlélteti a kettős („1” és „2” jelű) tekercset és alattuk mindkét tekercshez tartozó $Z_1(x)$ és $Z_2(x)$ impedancia-növekedési görbét.

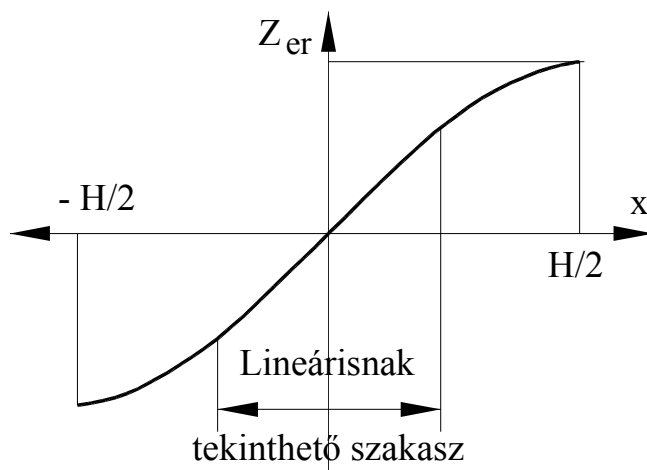


6. ábra. Két légmagos tekercs alkalmazása.

Ha az így kialakított érzékelőben a vasmag középhelyzetben van, a két tekercs impedanciája azonos. Tekintsük pozitív elmozdulási iránynak a két impedanciafüggvényen jelzett irányt. Az ábrán a vasmag olyan helyzetben látható, amikor a „2” tekercsbe x hosszúságban hatolt be, az „1” tekercsbe pedig $(H - x)$ hosszúságban. Ekkor az „1” tekercsnek az impedanciája $Z_1(H - x)$, ez a csökkenő, ezt tekinthetjük negatívnak. A „2” tekercsé $Z_2(x)$, ez az emelkedő, ezt tekinthetjük pozitívnak. Így az x elmozdulásra a két impedancia előjeles összege lesz a jellemző:

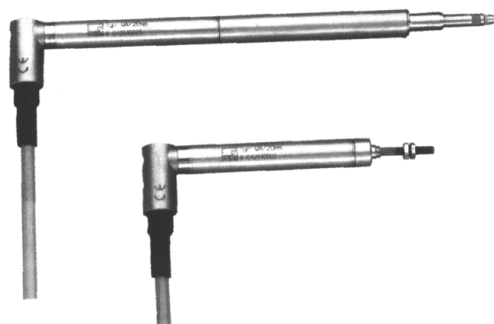
$$x = f(Z_{er}) = f(Z_2 - Z_1)$$

Amint már említettük, a 6. ábrán feltüntetett $Z_1(H - x)$ és $Z_2(x)$ impedancia-növekedési görbék a [4] forrásműben egy konkrét méretű és menetszámú tekercsre készültek. Felhasználva ezeket a görbéket, az illusztráció érdekében meghatároztuk a teljes lehetséges $-H/2 - +H/2$ elmozdulási tartományra a $Z_{er}(x)$ eredő impedanciát. Ezt a görbét a 7. ábrán láthatjuk.



7. ábra. A két tekercs eredő impedanciája a vasmag elmozdulásának függvényében.

Az ábrán látható $Z_{er}(x)$ görbén látható, hogy noha egészében véve nem lineáris, de van a görbének a középpont körül szimmetrikusan elhelyezkedő, jó közelítéssel lineárisnak tekinthető szakasza. Ebből adódik a lehetőség, hogy egy megadott tekercspár esetén ne használjuk ki a teljes $[-H; +H]$ elmozdulás-lehetőséget (egy megfelelően rövidebb vasmaggal), vagy a tekercset készítsük megfelelően hosszabbra. A Hottinger cég feltehetően ezt a lehetőséget választotta, amint a 8. ábrán látható **Hottinger** gyártmányú **WA** típusú, induktív elven működő elmozdulás-érzékelőkön is látható ([5].-118. o.).



8. ábra. Hottinger gyártmányú WA típusú elmozdulás-érzékelők.

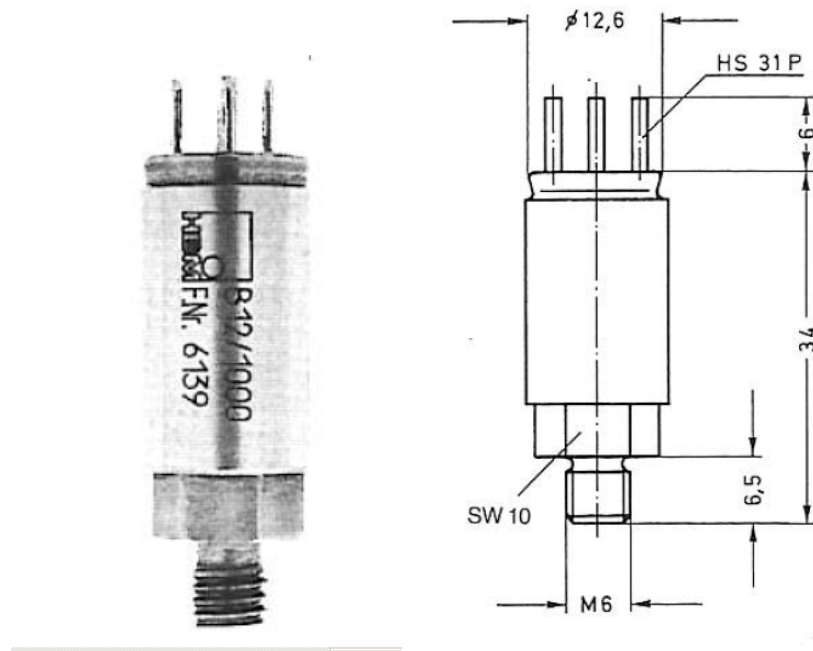
Végeredményben a lineáris szakaszt kihasználva írhatjuk fel az 1. ábra második lépése alapján az összefüggést az érzékelt x elmozdulás és az induktivitás $\Delta(\omega.L)$ megváltozása között. A lineáris szakaszra így írhatjuk:

$$\Delta(\omega.L) = K.x ,$$

ahol K értékét a léptékfelvétel során kell meghatározni.

2.2.3 Gyorsulás-érzékelők.

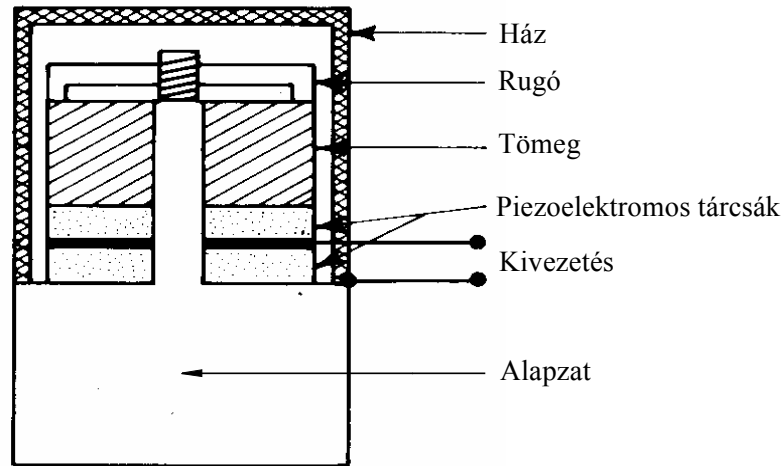
A gyorsulás-érzékelőknek két fő típusa terjedt el: az induktív rendszerű és a piezoelektromos rendszerű érzékelő. Az előbbi típushoz a gyakorlat már nemigen tud hozzáférni, így az utóbbi lett a gyakorlatban az általánosan használt, még a jelentősen magasabb vételár ellenére is. A Hottinger katalógusban viszont még megtalálható az induktív típusú gyorsulásmérő, a B12 típus a 9. ábrán látható.



9. ábra. A Hottinger-féle B12 gyorsulás-érzékelő.

A piezoelektromos gyorsulás-érzékelő.

A piezoelektromos gyorsulás-érzékelőben a gyorsuló tömeg a tömegerejével terheli a beépített piezoelektromos tárcsákat (10. ábra), így a tárcsák fegyverzetein a terhelő tömegerejével arányos (tehát a mérendő gyorsulással arányos) villamos feszültség lép fel. Az elvi felépítés a [6] – 4.12 ábrája alapján az alábbi ábrán látható:



10. ábra. A piezoelektromos gyorsulás-érzékelő működési elve.

A piezoelektromos gyorsulás-érzékelőnek sokkal magasabban van a határfrekvenciája, amely alatt a kimenő feszültség arányos a mérendő gyorsulással. A Brüel & Kjaer cég által gyártott „Line-drive” típusú piezoelektromos gyorsulásérzékelő képe a 11. ábrán látható:



11 ábra. Brüel & Kjaer gyártmányú piezoelektromos gyorsulásérzékelő

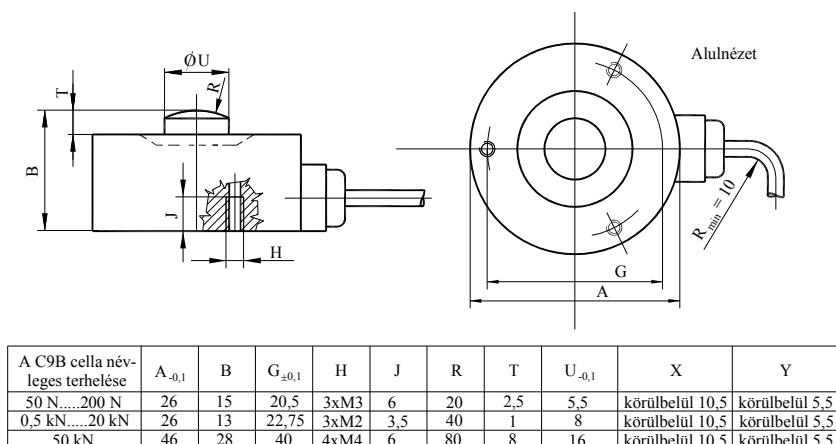
2.2.4 Erő-érzékelők.

Ebben a fejezetben az erőmérő cellák működését a Hottinger gyártmányú C9B típusú erőmérő cella alkalmazási módjával mutatjuk be. Forrásműként az Irodalomjegyzék [7] sorszámú közleménye szolgál. A cella működését a gyártó által publikált leírások [7] alapján mutatjuk be. A C9B erőmérő cella fényképe a 12. ábrán látható.



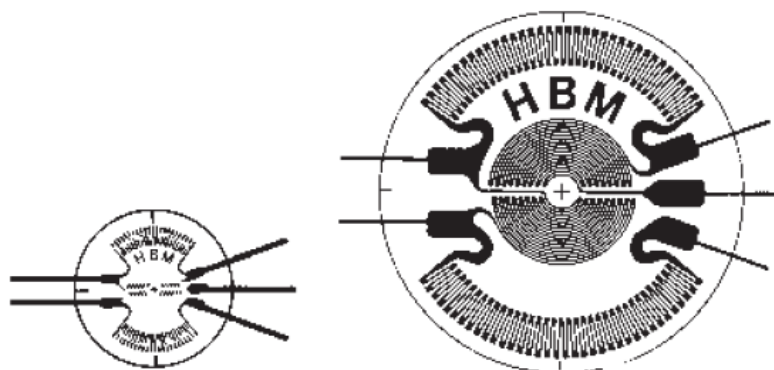
12. ábra. A C9B típusú erőmérő cella.

A C9B erőmérő cella 50 N-tól 50 kN nagyságú erő érzékelésére készül, a cellák gyártási méretei a 13. ábrán láthatók:



13. ábra. A C9B erőmérő cella főméretei.

A cellában a mérendő $F_{mért}$ erő hatására egy membrán hajlik be, amelyet négy nyúlásmérő bélyeg érzékel, két bélyeg összenyomódik, kettő megnyúlik. Az erőmérő cella leírása nem részletezi ezeket a bélyegeket, valószínűleg a 14. ábrán látható SG/Y sorozatú, ú. n. „diagfragma-bélyeg”, vagy ahhoz hasonló van alkalmazva :



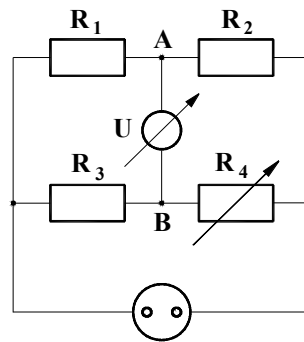
14. ábra. Membránon alkalmazható bélyeg.

A négy bélyeg ellenállása a terheléssel arányosan változik. A bélyegek bekötését, a jel feldolgozását, stb. a mérőerősítők, illetve a léptékvétel fejezetekben tárgyaljuk.

A méréstechnikai gyakorlat még sok más típusú mérőérzékelőt ismer, a [8] forrásműben még sok más típusú érzékelő leírását lehet találni.

2.3 A mérőerősítők.

Amint azt az előbbieken is megemlítettük, a mérőérzékelők általában valamilyen villamos impedanciát (ohmikus ellenállást, induktivitást) szolgáltatnak, mint a mérendő fizikai mennyiséggel analóg módon változó villamos jelet. Ha ezt az impedanciát (ohmikus ellenállást, induktivitást) mérésrel kell meghatározni, akkor erre a mérésre a gyakorlatban a legáltalánosabban a **Wheatstone-híd** alkalmazzák (15. ábra):



tápfeszültség: AC, DC

15. ábra. A Wheatstone mérőhíd felépítése.

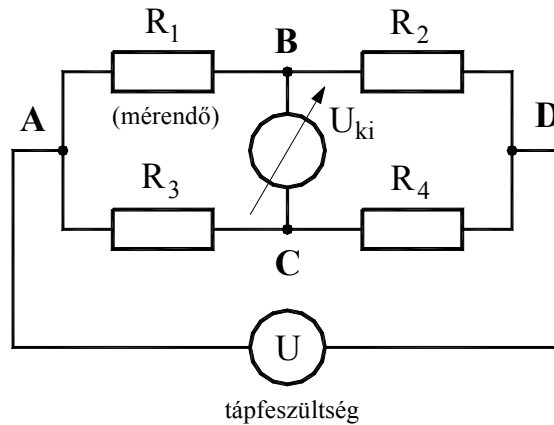
Közismert dolog, hogy a Wheatstone-híd négy ellenállásból áll, a tápfeszültsége elvileg egyenfeszültség, manapság a gyakorlatban a korszerű mérőerősítőkben kizárólag valamilyen nagyfrekvenciás táplálást alkalmaznak, a hídbe nemcsak ohmikus ellenállást lehet bekötni. Az ábrán az egyszerűség kedvéért ohmikus ellenállásokat tüntettünk fel.

Ha az ábrán feltüntetett ellenállások közül történetesen az R_1 az ismeretlen (a mérendő) ellenállás, akkor ismerve az R_2 és R_3 ellenállások értékét, a változtatható R_4 ellenállás értékének megfelelő változtatásával el lehet érni, hogy az A és B pontok közé kapcsolt U feszültségmérő ne jelezzon feszültséget, tehát érvényes legyen az alábbi összefüggés a négy ellenállás értékei között:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4},$$

ahonnan az ismeretlen R_1 értéke meghatározható.

Könnyen belátható, hogy ha a mérendő R_1 ellenállás (a mérőérzékelő ohmikus ellenállása) az időben gyorsan változik, a fentiekben leírt módszerrel lehetetlen a mérést végrehajtani. Ezért a gyakorlatban erre az a módszer terjedt el, hogy a híd R_3 és R_4 ellenállását ismertnek tételezik fel, és egyszerűen megméri a híd ún. ki nem egyenlített U_{ki} feszültségét (16. ábra).



16 ábra. Mérés az U_{ki} feszültség megméréseivel.

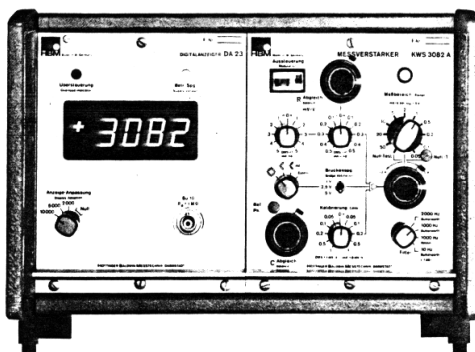
Az U_{ki} feszültség értéke nyilvánvalóan az ellenállásoktól és a tápfeszültségtől függ. Ezzel a kapcsolással egyrészt megoldható a jelátalakítás műveletén túl a mért jelet képviselő feszültség kellő nagyságának beállítása, ezzel a jel felerősítése is. Másrészt meg van oldva a feszültség megmérése (tehát a jel megmérése is), ezért nevezik ezt a berendezést **mérőerősítőnek**. A mérőerősítők felépítésének elméletével itt nem foglalkozunk, csak a gyakorlati alkalmazás összefüggéseivel, elsősorban [4] alapján.

A méréstechnikai gyakorlatban nemcsak egyetlen ellenállás lehet ismeretlen, akár mind a négy is.

Manapság a mérőerősítőket úgy építik, hogy egyik felhasználási változatukban az R_3 és R_4 ellenállásokat eleve beépítik az erősítőbe azonos értékkel (a további levevezésekben ezeket R_C -vel jelöltjük), ilyenkor az R_1 és/vagy R_2 ellenállás értéke változhat, ezt nevezik „fél-hídnak”. Más esetben mind a négy ellenállás értéke változik, ez az ú. n. „teljes híd” esete.

A mérőerősítők fontos adata az úgynevezett csatornaszám. Minden beépített csatornán egy-egy független érzékelő (nyúlásmérő bélyeg, elmozdulás-érzékelő, stb.) köthető a mérőerősítőbe félhíd, vagy teljes híd formájában, a mérőerősítő ezeknek a kimenő feszültségét egymástól függetlenül méri folyamatosan. Épülnek egy-, két-, négy- és hatsatornás mérőerősítők is.

A mérőerősítőket mindig úgy építik, hogy a vizuális megfigyelés lehetővé tételére mérőműszert is építenek be a mérőerősítőbe. Korábban mutatós (Deprez rendszerű) feszültségmérővel, manapság digitális kijelzésű műszerrel szerelik fel a mérőerősítőket. Így a lassan változó, vagy statikus jellemzők mérési eredményei közvetlenül is leolvashatók. Változó mennyiségek mérése esetén az U_{ki} feszültség kimenetére alkalmas regisztráló, vagy értékelő berendezést csatlakoztathatunk. A 17. ábrán a Hottinger gyártmányú KWS 82 típusú mérőerősítő látható, a 18. ábra a DMP 4.0 típusú mérőerősítőt mutatja be.



17. ábra. Hottinger gyártmányú KWS 82 típusú mérőerősítő



18. ábra. Hottinger gyártmányú DMP 4.0 típusú mérőerősítő

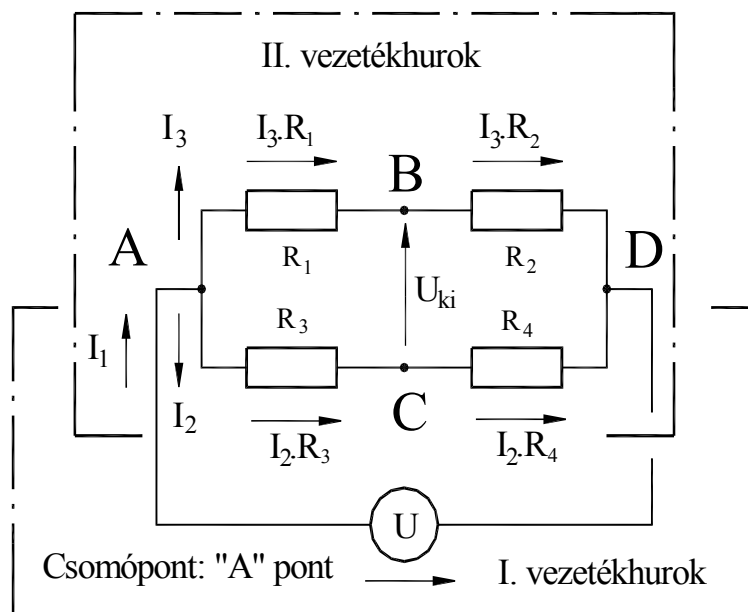
Vizsgáljuk meg, hogy az U_{ki} kimenő feszültség, a négy ellenállás és az U tápfeszültség között milyen összefüggés áll fenn. Írjuk fel az U_{ki} kimenő feszültség és az ellenállások közötti összefüggést, alkalmazva **Kirchhoff** törvényeit két vezetőhurokra és egy csomópontra. A számításokban a tápfeszültség-forrás belső ellenállását elhanyagolhatjuk ($R_{belső} \cong 0$), mivel ez általában mindig csekély értékű szokott lenni. Az U_{ki} feszültséget mérő berendezés belső ellenállása viszont általában igen nagy, tehát rajta áram gyakorlatilag nem folyik, ezért ezt az ágat egyszerűen elhanyagolhatjuk. Az ilyen számításokban szokásos módon felvesszük az egyes ágakban az áramok irányát, és a tápfeszültség értelmét az ágakban bekövetkező feszültségeséssel ellentétes értelemben vesszük fel. A 19. ábra bemutatja a számításokhoz szükséges két vezetőhurokot és a csomópontot, az áram- és feszültségirányokkal együtt.

Az I. vezetőhurokot csak az U áramforrás és az R_3 , valamint az R_4 ellenállás alkotja ($U - A - C - D - U$ kör), ebben a körben az U tápfeszültség (ellentétes az I_1 áram irányával) és a két ellenálláson eső feszültségek vannak egyensúlyban:

$$I_2 \cdot R_3 + I_2 \cdot R_4 - U = 0$$

A II. vezetőhurokot az R_1 , az R_2 , az R_3 és az R_4 ellenállás alkotja ($A - B - D - C - A$ csomópontok által alkotott hurok). A feszültségesések algebrai összege:

$$I_3 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_2 - I_2 \cdot R_3 - I_2 \cdot R_4 = 0$$



19. ábra. A figyelembe vett vezetőkörök és csomópont.

A két lineáris algebrai egyenletben két ismeretlen van: I_2 és I_3 . Az első egyenletből I_2 -t kifejezve kapjuk:

$$I_2 = \frac{U}{R_3 + R_4}$$

Ezt behelyettesítve a második egyenletbe, kapjuk:

$$I_3 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_2 - \frac{U}{R_3 + R_4} \cdot R_3 - \frac{U}{R_3 + R_4} \cdot R_4 = 0, \text{ amelyből:}$$

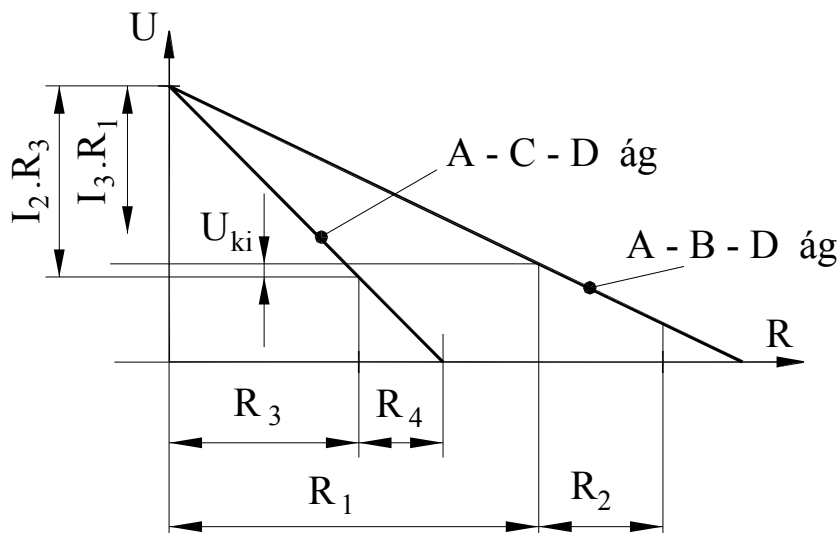
$$I_3 \cdot (R_1 + R_2) = U \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right] = U; \text{ ahonnan:}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Az ismeretlen U_{ki} feszültség az $A - B$ és $A - C$ áramkör-szakaszokon fellépő feszültségesések közötti különbség lesz. A 20. ábra mutatja be a két ágban a feszültségek esését.

Az ábrából látható:

$$U_{ki} = I_2 \cdot R_3 - I_3 \cdot R_1 = U \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4} - U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = U \cdot \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right]$$



20. ábra. Feszültségesés a két hídágban.

Ezt a számítási módot alkalmazva írhatjuk fel az egyes érzékelők esetében a mérőerősítőkben mérhető U_{ki} kimenő feszültséget.

2.4 A lépték meghatározása, a léptékfelvétel módja.

Amint azt az előbbieken említettük, a gyakorlatban mindig villamos feszültség-jel a mérési folyamat eredménye, ezért ehhez a villamos jelhez hozzá kell kapcsolni azt a léptéket, amely megadja, hogy mekkora fizikai mennyiség tartozik a mért feszültség-jelhez:

$$q_m = \frac{[\text{méréndő fizikai mennyiség}]}{[\text{mérési jel}]} = \frac{[\text{méréndő fizikai mennyiség egysége}]}{\text{Volt}}$$

Ez a lépték tehát valamilyen fizikai mennyiség egységének (N, J, m/s, stb.) és a villamos feszültség egységének (Volt) a hányadosa. A továbbiakban a mért (és/vagy regisztrált) villamos jel és a q_m lépték együttesét *általánosított mérési jelnek* nevezzük. Ennek megfelelően, ha a mért fizikai mennyiség valamilyen $X(t)$ időben változó mennyiség, akkor az $X(t)$ mennyiség a mért villamos $U(t)$ feszültségből, valamint a q_m léptékkel így állítható vissza:

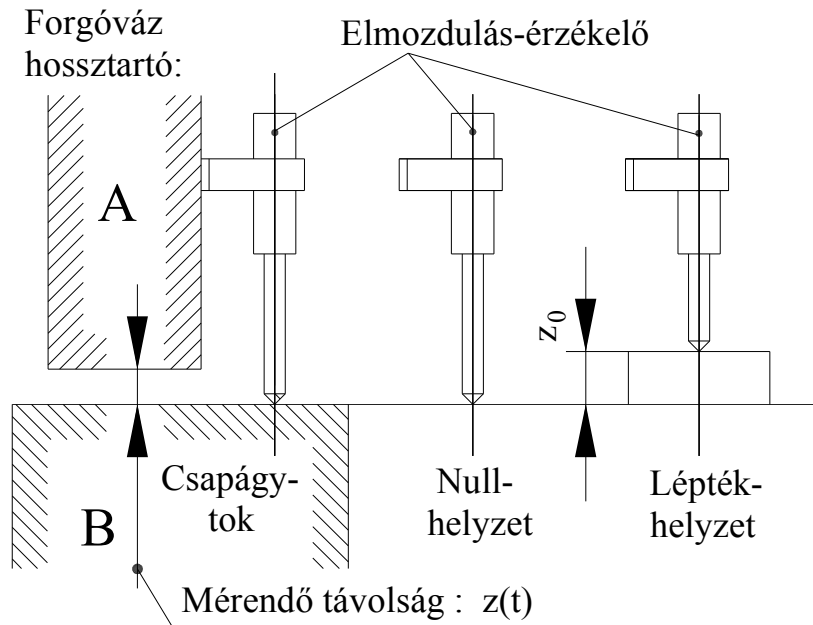
$$X(t) = q_m \cdot U(t)$$

Amikor meghatározzuk a mért jel q_m léptékét, általában két eset lehetséges. Az egyik esetben viszonylag egyszerű számítással tudjuk követni a jel útját az érzékelőtől a mérőerősítő kimenetéig. Ilyen eset a nyúlásmérő bélyeg esete, amit egyetlen bélyeg esetére (vagyis az egytengelyű, vagy legalábbis jó közelítéssel egytengelyű) nyúlásállaptra az előbbieken már bemutattunk:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

(kéttengelyű felületi nyúlásállapot esetére [8]-ban található módszer).

A másik eset akkor áll elő, ha vagy túl bonyolult ez az említett számítás, vagy valamilyen oknál fogva nem hajtható végre. Ilyenkor közvetlen léptékfelvétellel próbálkozhatunk. Tekintsük a 21. ábrán látható esetet, amikor elmozdulást kell mérni két test között, például egy vasúti jármű forgóvázkerete és a csapágytok között.



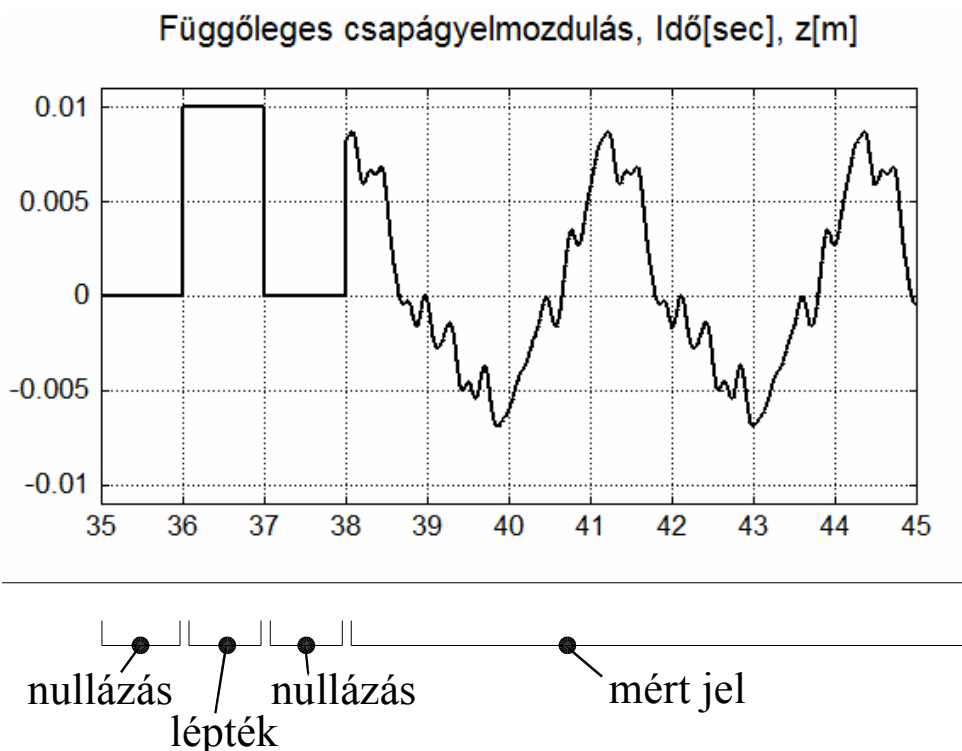
21. ábra. Léptékfelvétel elmozdulás-méréshez

Az első feladat mindig a nullszint meghatározása. Legyen ez a nullszint a jármű álló helyzetében a csapágytok felső síkja. Ráengedve az elmozdulás-érzékelő tapintó csúcsát, a mérőerősítőn mutatott feszültségértéket nullára állíthatjuk be, ez lesz a nullszint.

Ezután a maximális elmozdulást kell beállítanunk. Az alkalmazott elmozdulás-érzékelőt úgy kell megválasztanunk, hogy az érzékelhető legnagyobb elmozdulás mindig nagyobb legyen, mint ami az üzemben előfordulhat. Az ábrám látható esetben például a forgóvázkeret legnagyobb lesüllyedése – tehát az ütközésig – biztosan kisebb legyen, mint az alkalmazott érzékelő legnagyobb lehetséges összenyomódása. Legyen például 10 mm az érzékelő lehetséges legnagyobb összenyomódása, ekkor egy alkalmas, z_0 vastagságú beállító testet – például egy lemezdarabot – helyezünk be az elmozdulásérzékelő alá. Ismerve e beállító test z_0 vastagságát (például 10 mm), a mérőerősítőn beállítjuk ezt az értéket úgy, hogy az erősítő legnagyobb feszültsége és az érzékelő legnagyobb 10 mm-es elmozdulása valamilyen jól összekapcsolható számérték legyen, például 10 Volt tartozzék a 10 mm elmozduláshoz. Ekkor a lépték:

$$q = \frac{10.0}{10.0} = 1.0 \text{ [mm/Volt]}$$

Ha a mért jelet – jelen esetben a csapágytok-forgóvázkeret távolságának megváltozását – valamilyen adathordozóra rögzítjük, célszerű a felvétel elejére ezt a beállított z_0 értéket is felvinni, ahogy ez a 22. ábrán is látható.



22. ábra. Léptékekkel ellátott, időben változó mért jel

Érdekességként megemlítjük, hogy gyorsulások mérésekor ezt a léptéket úgy is meghatározhatjuk, hogy az érzékelőt 90° -kal elfordítva (lefektetve), ez nulla-nagyságú gyorsulást mér, ez lesz a **null-szint**. Felállítva 1 g gyorsulást fog érzékelni, ez lesz a **9.81 m/s^2** érték. A léptékfelvétel többi lépése megegyezik az elmozdulás-mérésnél követett módszer lépéseivel.

2.5 A döntéshozatal.

A folyamat ötödik, utolsó lépésében végrehajthatjuk a szükséges diagnosztikai döntést, mivel ha ismerjük a mért fizikai mennyiséghez tartozó q_m léptéket, az $U(t)_{\text{mért}}$ feszültség minden $U(t_i)$ értékéhez meg tudjuk határozni a mért fizikai mennyiség hozzá tartozó $X(t_i)$ értékét. Ahhoz viszont, hogy ezt a döntéshozatalt az egész járművön végre lehessen hajtani, figyelembe kell vennünk, hogy egy adott jármű egészen hogyan hajtják végre a diagnosztikai mérési-ellenőrzési folyamatot. Ezt a végrehajtást nagyon befolyásolja, hogy milyen karbantartási stratégiát alkalmaznak. Az alábbiakban ezt tárgyaljuk.

3. A diagnosztika mérési-ellenőrzési folyamatának gyakorlati végrehajtása.

A diagnosztika mérési-ellenőrzési folyamatát erősen befolyásolja, hogy a mérési-ellenőrzési folyamatot az egész járművön hogyan hajtják végre, milyen karbantartási stratégiát alkalmaznak. Az alábbiakban ezt mutatjuk be.

3.1 A mérési-ellenőrzési folyamat TMK jellegű karbantartásnál

Amint arról a bevezetőben is szó volt, a TMK jellegű karbantartási stratégia azt jelenti, hogy a korábban elvégzett karbantartási műveletek időadatai alapján kialakítottak egy időrendet a karbantartási mérési-ellenőrzési műveletek számára. Ezért ezt a karbantartási rendszert időalapú, vagy naptár-alapú karbantartásnak is nevezik.

Miután ezek az időadatok a statisztikai feldolgozás következtében átlagosak lettek, ezért a hasonló gépekre, vagy járművekre egyformán alkalmazhatók, mivel ezek a hasonló gépek, vagy járművek ugyanazzal a gyakorisággal hibásodnak meg. A biztonság érdekében ezeket a karbantartási időpontokat természetesen úgy állapítják meg, hogy egy meghibásodás várható kialakulása előtt történjék meg a mérési-ellenőrzési művelet

Ebből természetesen az is következik, hogy ez a karbantartási rendszer sok olyan mérési-ellenőrzési-javítási műveletet eredményez, amelyekre még nem lett volna igazán szükség, tehát a források nincsenek hatékonyan kihasználva. A TMK rendszerű karbantartás további jellegzetességeiről [2]-ben találhatunk még részleteket.

A TMK karbantartási rendszer kialakításában arra helyeztek súlyt, hogy az egyes, különböző karbantartási szintekhez tartozó ciklusidők lehetőleg egyenletesen helyezkedjenek el a naptári időben. A járműveknek a forgalomból történő kivonása is ehhez igazodott. Így nem az volt a legfontosabb szempont, hogy a jármű minél rövidebb időre legyen kivonva a forgalomból.

3.2 A mérési-ellenőrzési folyamat állapotfüggő karbantartás esetén

Az állapotfüggő karbantartás azt jelenti, hogy a gép, vagy jármű műszaki állapotát folyamatosan figyelni kell, hogy a meghibásodásokról, illetve a meghibásodás kialakulásáról időben jelzést kapjunk. A gépek, járművek különböző részegységei ugyanis sokszor adnak jelzést a meghibásodások kialakulásáról, azok mértékéről. Ilyen például a gépek rezgése, melege, a villamos berendezések felvett árama, stb.

Ha a gépet, vagy járművet felszerelik ilyen érzékelőkkel, egy meghatározott meghibásodást még olyan kezdeti stádiumban észlelni lehet, amikor még kis beavatkozással el lehet hárítani a fenyegető üzemzavart. A hibaelhárító beavatkozás időtartamát, vagyis a gép javítási leállítását, vagy a járműnek javítóműhelyben való kényszerű tartózkodását jelentősen lerövidítheti, ha sikerül megszervezni egy nagyobb géprész („modul”) cseréjét. Például vasúti járművek esetében egy komplett kerékpár, komplett forgóváz, stb. lehet ilyen modul. Ilyen esetekben a jól megszervezett

modulcsere nagyon lerövidítheti a hibaelhárító munkát. A következő alfejezetben ilyen modulcserére fogunk példát bemutatni.

Természetesen az ilyen karbantartási rendszerben mindenekelőtt a gépet, vagy járművet el kell látni a szükséges érzékelővel. Ezek beépítésére már a tervezés során gondolni kell, például meg kell tervezni az érzékelők beépítését, elhelyezését, energiaellátását, stb., vállalni kell ezek beszerzését. Nem kis teher a megfelelő mennyiségű csere-modul beszerzése, tárolása, a cserét lebonyolító segédeszközök megtervezése, legyártása is.

A gyakorlatban egy meghatározott gép, vagy jármű karbantartási rendszerét többnyire úgy tervezik meg, hogy a TMK rendszert és az állapotfüggő karbantartási rendszert bizonyos arányban vegyesen valósítják meg. Erre mutatunk be példát a következő fejezetben.

3.3 A mérési-ellenőrzési folyamat vegyes (TMK és állapotfüggő) karbantartásnál

A nagyvállalatoknál – például az egyes országok vasutainál - nagy erőfeszítéseket tettek abban az irányban, hogy a karbantartási rendszerüket a TMK rendszerből fokozatosan az állapotfüggő karbantartási rendszerbe fejlesszék át. Ez a folyamat természetesen fokozatosan megy végbe, így a legtöbb esetben az alkalmazott karbantartási rendszer bizonyos arányban még megtartotta a TMK rendszert, vagyis az időalapú rendszert, de egyre nagyobb arányban már az állapotfüggő karbantartási rendszert alkalmazzák. Például a Német Vasutaknál (DB) az ICE motorvonatok karbantartási rendszere részben már állapotfüggő rendszerű, de még bizonyos részben még az időalapú rendszer szerint működik.

Az alábbiakban főleg a [9] irodalmi forrásmű alapján vázlatosan mutatjuk be az ICE motorvonatok karbantartási rendszerét.

A Német Vasutaknál felismerték, hogy az ICE motorvonatok nagy sebessége miatt a járművek futóművének a megfelelő állapota kritikus fontosságú, ezért a futómű állapotát minél sűrűbben kell ellenőrizni, a futómű karbantartása valóban **állapotfüggő** kell, hogy legyen. Ezt úgy oldották meg, hogy a futómű három jellemzőjét ellenőrzik a legsűrűbben (23. ábra):

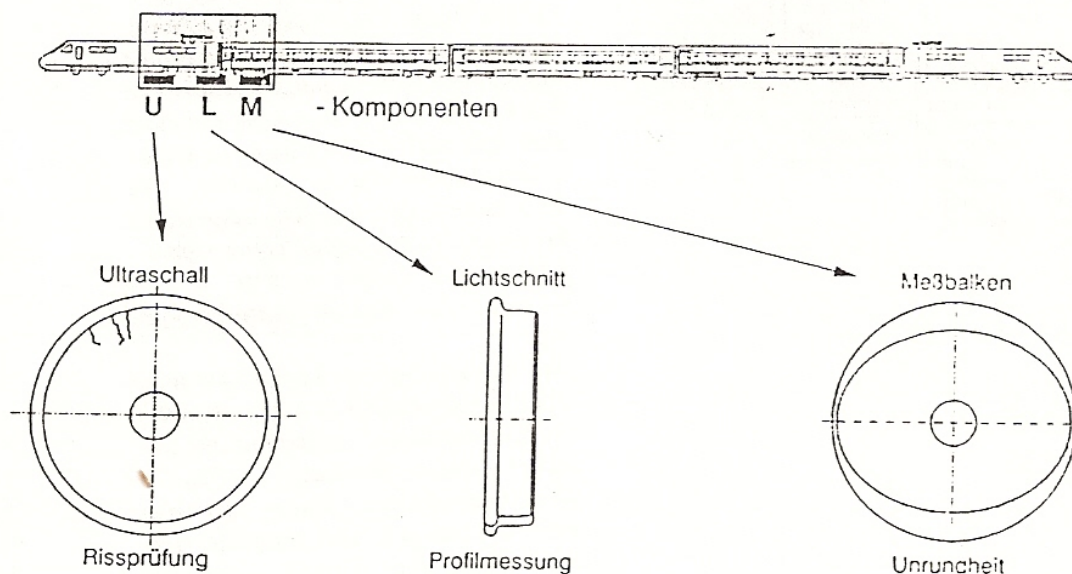
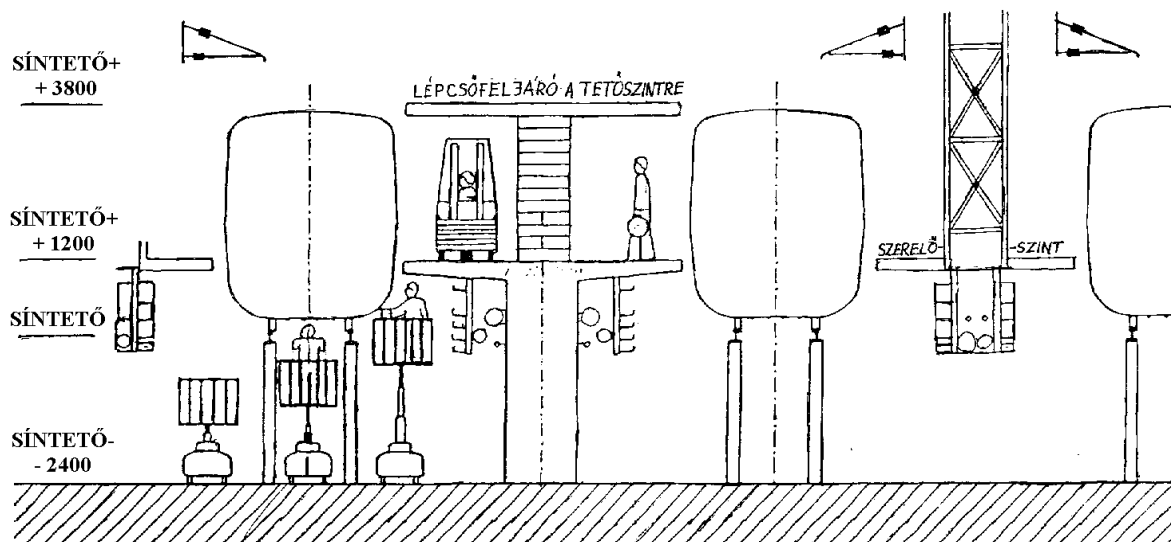


Bild 8: Radsatz-Laufflächen-Diagnose (ULM)

23. ábra. A kerekek repedésének, a futófelület profiljának és a körkörösségnek az ellenőrzése.

Ez a három jellemző: a kerékkoszorú repedésellenőrzése ultrahanggal, a futófelület profilgörbéjének regisztrálása fénymetszet-eljárással, valamint a kerék névleges futókörének körkörössége. Ezeknek a jellemzőknek a mérését úgy oldották meg, hogy a vágányba beépített érzékelők a kerekek átgördülése közben végzik el a mérést és az ellenőrzést. Így a javító csarnokba történő behaladás közben, külön időráfordítás nélkül hajtják végre ezeket a méréseket és ellenőrzéseket. Sajnos, a [9] hivatkozott szakirodalmi forrásmű nem közöl részleteket az érzékelők felépítéséről, működéséről. A [10] forrásműben annyit közölnek, hogy a kerékpárvizsgáló berendezés neve: Radsatzinspektomat Typ 510, gyártó: Hegenscheidt, Erkelenz. A kerékpárvizsgáló berendezés további részleteiről, működéséről a [11] és [12] forrásművekben található leírások és részletek valószínűleg megfelelnek az ICE motorvonatok kerékpárdiagnosztikai berendezésnek.

Az ellenőrzés időrendjét úgy építették fel, hogy minden 2000 km befutott út után minden motorvonatot egy órás ellenőrzésnek vetik alá. Ez az ellenőrzés egyrészt a kerékpárok már bemutatott mérési-ellenőrzési eljárásából áll, másrészt a fedélzeti számítógép által rögzített adatok alapján (erről semmi lényeges részletet nem közöltek) a meghibásodott modult cserélik. A modulcserék meggyorsítása és megkönnyítése céljából a szerelőcsarnokban három különálló szerelősínt alakítottak ki (24. ábra):



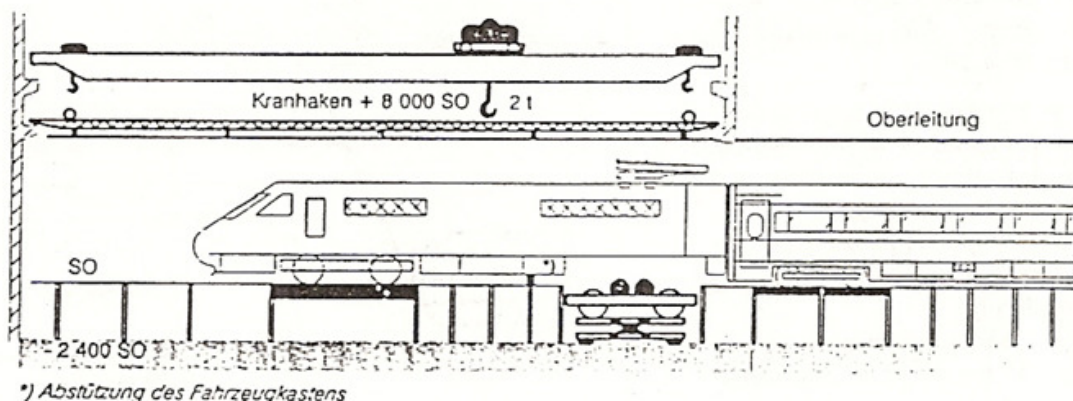
24. ábra Javító csarnok keresztmetszete

A csarnok belső terének fényképe a 25. ábrán látható:



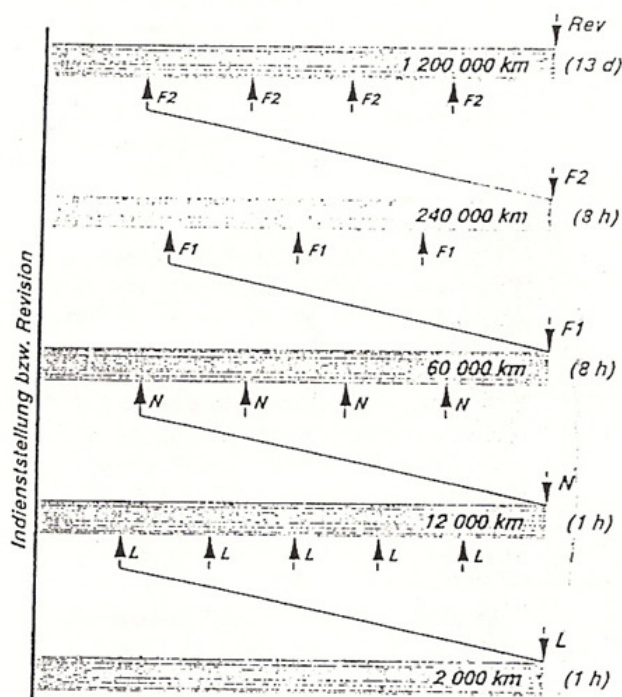
25. ábra. Az ICE javítócsarnokcsarnok.

A modulok (pl. kerékpár, forgóváz) cseréjét vázlatosan a 26. ábra szemlélteti.



26. ábra. Forgóvázak és kerékpárok cseréje

A 2000 km lefutott út után végrehajtott egy óra összidejű ellenőrzés során csak a kerékpárok már ismertett ellenőrzését, valamint a modulcseréket hajtják végre. A 27. ábrán látható időrend szerint kerül sor ezekre az egyórás ellenőrzésekre.



27. ábra Javítási-karbantartási időrend

Az ábrán látható lépcsős időrend szerint 6 darab 2000 km futás és ellenőrzés után (12000 km) egy *N* típusú, ugyancsak egyórás ellenőrzés következik, majd 5 darab *N* ellenőrzés után (60000 km) *F1* típusú, nyolcórás időtartamú ellenőrzés következik, 4 darab *F1* után (240000 km) nyolcórás *F2* ellenőrzés következik, majd végül 5 darab *F2* ellenőrzés után (1200000 km) már a hamburgi főműhelyben végrehajtott teljes revízió következik. [9]-ben nem részletezték, hogy milyen karbantartási műveletek, diagnosztikai követelmények, stb. tartoznak az *N*, *F1* és *F2* jelű karbantartási műveletekhez.

Mindezekből látható, hogy az ICE motorvonatok karbantartási rendszerének vannak állapotfüggő karbantartási elemei, például a futóművek állapota, és emellett az egész karbantartási időrend időalapú.