

A Z I P A

R I S Z

I N T M É R

É S M Ű

S Z E R E I

Dr. Varga Sándor

Az ipari szintmérés műszerei

QUALITY AND INNOVATION SINCE 1939

NIVELCO

Dr. Varga Sándor

Az ipari szintmérés műszerei



Budapest
2020



Copyright © NIVELCO Zrt., 2020

Minden jog fenntartva.

A könyv – a kiadó írásos jóváhagyása nélkül – sem egészben, sem részleteiben nem sokszorosítható vagy közölhető, semmilyen formában és értelemben, elektronikus vagy mechanikus módon, beleértve bármilyen internetes közlést, fénymásolást vagy az információörögzítés bármely formáját.

NIVELCO Ipari Elektronika Zrt., Budapest

ISBN 978-615-00-9771-8

A szerző és a szerkesztő-lektor előszava

Tisztelt Olvasó!

A könyvet, amelyet Ön a kezében tart, az 1982-es alapítású *NIVELCO Ipari Elektronika Zrt.*, – a 2000-es évekre világszerte ismertté vált – magáncég adta ki. Az ipari mérés technikai műszerek fejlesztésére, és gyártására alakult vállalatot, a szintmérésben elért eredményei tették elismertté.

A szintmérés összefoglaló elnevezése az ipar, a mezőgazdaság és az élet különböző területén használt folyékony vagy szilárd halmazállapotú anyagok tárolásánál, a tároló tartályban elhelyezkedő anyagszint meghatározásának. A sokféle, folyamatosan fejlődő szintmérési technikát szeretnénk összehasonlítani és közelebb hozni az érdeklődőkhöz.

A cég alapításában és gyártmányai kifejlesztésében résztvevő első mérnök generációnak mára az új megoldások keresése helyett, az információk összegzése rendszerezése és értékelése legyen a feladata. Ezen tapasztalatok és tudás összegyűjtését és leírását a szerző vállalta magára, de ezzel az egész generáció tapasztalatait kívánja továbbadni az érdeklődőknek.

A NIVELCO termékalettán található szintmérő készülék családok működési elvét megkíséreltük egy kötetbe sűríteni. Szándékunk, hogy hasznos ismereteket adjunk, mind a technika iránt érdeklődő és azt alkalmazó szakember, mind pedig a szakmával ismerkedő egyetemi hallgató számára. A műszerek fizikai működésének megismerése komoly alkalmazástechnikai támogatást nyújt a műszereket rendszerbe tervező mérnököknek és az üzemeltető felhasználóknak is.

A könyvet ajánljuk továbbá saját régi és jövőbeli munkatársainknak, valamint a műszereinket világszerte forgalmazó, szerződéses kereskedőcégek munkatársainak is. A kötet olvasása, nem mentesít a készülékek ismertetőjének, műszaki leírásának tanulmányozásától, de elősegíti az abban foglaltak megértését. Természetesen nem követheti, a fejlődés következtében változó legfrissebb műszaki adatokat sem.

A szerző és szerkesztő-lektor ezúton fejezik ki köszönetüket az őket segítő kollégáknak.

Bemutatkozik a szerző

Az ismeretségek és a kapcsolatok erősen befolyásolják az élet eseményeit. Így elmondhatom, hogy az én NIVELCO-s karrierem a cég alapítása előtt kezdődött. A *Kandó Technikumban*, majd a *Budapesti Műszaki Egyetemen* megismert kollégáim, barátaim az 1980-as évek elején részt vettek a cég alapjainak lerakásában.

Az 1966-ban befejezett egyetemi tanulmányok után, az egyetemi oktatás szépsége és az elektronika tudománya fogva tartott, aminek következtében 20 éven keresztül tanítottam elektronikus áramköröket és méréstechnikát a *Budapesti Műszaki Egyetemen*. 1977-ben az ipari folyamatok méréstechnikája szaktudományból műszaki doktori címet szereztem. Társszerzőként részt vettem öt egyetemi jegyzet és négy tankönyv megírásában. Ezek közül az „*Elektronikus áramkörök*” című könyv, három kiadást ért meg.

Az 1982-ben alapított NIVELCO, 1987-től nagy erőfeszítéseket tett a nemzetközi piacra lépés érdekében. Az ismeretségeknek köszönhetően, nekem is állást ajánlottak. A gyorsan fejlődő családi vállalkozás rugalmas feltételeivel, és szakmai kihívásaival nagyon megragadott. Sokat jelentett, hogy mindkét fél lehetővé tette, az egyetemi előadásaim folyamatos megtartását. Így a vállalat vezető elektronikai fejlesztője lettem.

Első feladatomban, a *NIVOCONTROL CT-10* típusú, digitális kijelzésű, kétrészes kapacitív szinttávadó áramköri tervezése volt. A cég jövőjét meghatározó „*nagy dobás*”, hogy 1988-ban elkészült az első kompakt ultrahangos szintmérő készülék. Ez egy nagyon egyszerűen kezelhető, két skálázott forgatógommbal beállítható távadó volt (*UCT-100*). Igazán sikeres a továbbfejlesztett és 1993-tól gyártott változat lett. Ez a felületszerelt kivitelű, digitális kijelzős készülék, a *NIVOSONAR SB/ST-200*-as sorozat volt. A típuscsaládból 1990 és 2000 között, több mint 11 000 darab készült.

Szintén ezekben a kezdeti években fejlesztettük, a sok kísérlet és technológiai innovációt igénylő *NIVOSWITCH 160* rezgőrádas szintkapcsolót. Közben elkészült a *MICROSONAR* ultrahangos közelítés-érzékelő család is (1992). A piaci lehetőségeken belül kerestük a különleges alkalmazási területeket, ami gyakran azzal járt, hogy a fejlesztők és felhasználók (*megrendelők*) közvetlen kapcsolatban próbálták egyeztetni a követelményeket és lehetőségeket.

A korabeli kommunikáció mellett *(telefon, fax)* fantasztikus, *(vagy inkább nevetséges)* félreértésektől sem mentes állapotokon keresztül, jöttek létre a két fél közötti megállapodások.

Rövid időn belül szükségessé vált a technológiai fejlesztés is. Bevezettük a számítógépes nyomtatott áramkörtervezést, az áramkör-szimulációt, majd a komplett számítógépes dokumentációt. 1992-től fokozatosan áttértünk a felületszerelt áramköri technológiára (SMT) ami megkövetelte a gyártási raktárkészlet és a szerelési technológia jelentős fejlesztését.

A piacszerzés érdekében a NIVELCO igyekezett részt venni a fontos szakkiállításokon, mint az Interkama. A szakmai ismeretek mellett olyan gyakorlati tapasztalatokat is szereztünk, mint az, hogy egy nagy nemzetközi kiállításra nehéz bemenni, de sokkal nehezebb zárás után kijönni.

A forgalom növekedése magával hozta a külföldi kapcsolatok és a disztribútori hálózat növekedését is. Számukra évente szerveztünk szakmai tanfolyamokat, amelyek eleinte jelentős feladatot adtak a fejlesztő kollégáknak is. A tanfolyamok a jó hangulat mellett, bizonyára szakmailag is hasznosak voltak. Huszonkét év munkaviszony után vonultam vissza. Azóta a kapcsolattartás látogatósok, és baráti beszélgetések keretében valósulnak meg.

2020. november

Dr. Varga Sándor
címzetes egyetemi docens

Tartalomjegyzék

1. A SZINTMÉRÉS TÖRTÉNETE	12
1.1. A természetes vizek szintmérése	12
1.2. Hajózás és navigáció	15
1.3. A gőzgépek kora	15
1.4. Gáztartályok és víztornyok	17
1.5. Ömlesztett szilárd anyagok	18
1.5.1. Szintmérők	18
1.5.2. Szintkapcsolók	19
1.6. A mérési eredmények továbbítása	19
2. AZ IPARI SZINTMÉRÉS ALAPFOGALMAI	21
2.1. Szintmérők és szintkapcsolók	21
2.1.1. Szintmérők	21
2.1.2. Szintkapcsolók	21
2.2. Szinttávadók	22
2.2.1. A távadók táplálásának megoldásai	23
2.2.2. A távadók digitális kimeneti jele és kommunikációja	25
2.3. Kiviteli megoldások	25
2.3.1. Kompakt készülékek	26
2.3.2. Integrált készülékek	26
2.4. Érintésmentes vagy érintéses mérés	27
2.4.1. Megengedett környezeti- és közeghőmérséklet	28
2.4.2. A hőmérséklet- és nyomáshatárok kapcsolata	30
2.4.3. A hosszú szondák mechanikai igénybevétele	30
2.5. A távadók meghibásodása és élettartama	32
3. A SZINTTÁVADÓK PONTOSSÁGA	33
3.1. Méréstechnikai fogalmak	33
3.1.1. Valódi érték	33
3.1.2. Helyes érték	33
3.1.3. Mérendő mennyiség	34
3.1.4. Mérési tartomány	34
3.1.5. A mérés hibája	34
3.1.6. Rendszeres és véletlen hiba	35
3.1.7. Kalibrálás	36
3.2. Működési körülmények	36
3.2.1. Környezeti feltételek	37
3.2.2. Referencia feltételek és az alaphiba	37
3.2.3. Üzemi (működési) feltételek	38
3.2.4. Határfeltételek, határadatok	39
3.3. A szintmérők és szinttávadók hibái	39
3.3.1. Megismételhetőségi hiba és a mérési eredmények szűrése	40
3.3.2. Reprodukálhatóság	42
3.3.3. Linearitási hiba	43
3.3.4. Hiszterézis hiba és súrlódási hiba	43
3.3.5. A távadók kimeneti jelének felbontása	44
3.3.6. A kimeneti áramgenerátor hibája	44
3.4. A szintmérők ellenőrzése, kalibrálása bes szabályozása	44
3.5. A távolságmérés eredő hibájának megadása	46
3.5.1. A szintmérők mérési hibáinak forrása és eredője	46
3.5.2. Tipikus hibasávok	48

3.6. A tartálméretekkel számított kimeneti jellemzők hibája.....	49
3.6.1. A mért távolság alapján számított szint hibája.....	49
3.6.2. A szint alapján számított térfogat hibája.....	50
3.6.3. A térfogat alapján számított tömeg hibája.....	51
4. ULTRAHANGOS SZINTTÁVADÓK	52
4.1. A mérés alapelve	52
4.2. Az ultrahangimpulzus előállítása.....	53
4.3. Az érzékelőfej	55
4.3.1. Az érzékelőfej iránykarakterisztikája.....	56
4.3.2. Érzékelőfej folyadékokra	57
4.3.3. Érzékelőfej poros és ömlesztett szilárd anyagokra.....	58
4.3.4. Lecsengés és holtzóna	58
4.4. Az ultrahang sebessége.....	59
4.5. Az ultrahang intenzitásának csökkenése levegőben.....	59
4.6. Az ultrahang visszaverődése	62
4.6.1. Visszaverődés folyadékokról.....	62
4.6.2. Visszaverődés ömlesztett szilárd anyagokról.....	63
4.6.3. A visszaverődést akadályozó körülmények	65
4.7. Zavaró visszhangok.....	65
4.7.1. Többszörös visszhang.....	66
4.7.2. Közele zavaró felületek visszhangja.....	67
4.7.3. Testhangok a tartószerkezeten keresztül	68
4.7.4. Keverő lapátok.....	68
4.8. Egyéb zavaró hangok.....	69
4.9. Visszhang felismerés.....	69
4.10. Mérési hibák, és a folyamatos mérés biztonsága	70
4.11. Készülékek és alkalmazások	71
5. MAGNETOSTRIKCIÓS SZINTTÁVADÓK	73
5.1. Magnetostríciós elvű távolságmérés.....	73
5.2. Magnetostríciós elv alkalmazása szintmérőkben.....	76
5.2.1. Működési változatok	78
5.3. A magnetostríciós szintmérők alkalmazástechnikai tulajdonságai	78
5.3.1. Az úszók tulajdonságai	79
5.3.2. Két úszós készülékek	80
5.3.3. Szerelési tanácsok.....	80
5.4. Mérési hibák, és a pontosság	80
5.5. Készülékek és alkalmazások	81
6. SUGÁRZOTT MIKROHULLÁMÚ SZINTTÁVADÓK	83
6.1. Az impulzus radar működése.....	83
6.2. A mikrohullám tulajdonságai.....	85
6.2.1. A mikrohullám sebessége	85
6.2.2. A mikrohullám csillapodása.....	85
6.2.3. A mikrohullám visszaverődése	85
6.2.4. Zavaró visszhangok.....	86
6.2.5. Szerelési tanácsok.....	88
6.3. Antenna típusok	88
6.3.1. Tölcsér antenna.....	89
6.3.2. Tölcsér antenna burkolattal	89
6.3.3. Rúd antenna	89
6.3.4. Parabola antenna.....	90
6.3.5. Csepp antenna	90
6.3.6. Felületi (planar) antenna.....	91
6.3.7. A sugárzott jellel működő szintmérések összehasonlítása	91

6.4.	Az FMCW radar működése.....	93
6.5.	A sugárzott mikrohullámú szintmérés pontossága	94
6.6.	Készülékek és alkalmazások	95
7.	VEZETETT HULLÁMÚ RADAR.....	97
7.1.	A hullámvezető és a vezetett impulzus	97
7.2.	Visszhang a felszínről.....	98
7.3.	A visszhang terjedését befolyásoló körülmények	99
7.3.1.	A zavarérzékenység határának értelmezése.....	100
7.3.2.	A visszhang feldolgozása	101
7.4.	Rétegződő folyadékok közeghatárának mérése	101
7.5.	PEP vagy TBF működési mód	102
7.6.	Szonda választék.....	103
7.7.	Telepítési tanácsok	104
7.8.	Hibaforrások és a pontosság	105
7.9.	Készülékek és alkalmazások	106
8.	KAPACITÍV SZINTTÁVADÓK.....	108
8.1.	A mérés alapelve	108
8.2.	A kapacitív szintmérés elektromos helyettesítő képe.....	108
8.3.	Szintmérés szigeteletlen szondával	111
8.3.1.	A középponttól eltolt helyzetű mérőszonda	112
8.3.2.	Segédsondák	113
8.3.3.	Műanyag tartályok.....	114
8.3.4.	A szigeteletlen szondás mérés érzékenységének javítása	114
8.3.5.	Erősen nemlineáris kapacitásváltozású tartályok.....	116
8.4.	Szintmérés szigetelt szondával.....	117
8.5.	Szondatípusok, alkalmazási ötletek	119
8.5.1.	Szokatlan beépítések	120
8.5.2.	Olaj és víz határának (fázishatár) mérése	120
8.5.3.	Vizes masszák mérése	120
8.5.4.	Részben szigetelt szonda.....	121
8.6.	Elektronikai követelmények és fejlesztések.....	122
8.7.	Öntanuló kalibrálás.....	122
8.8.	Hibaforrások és pontosság.....	123
8.9.	Készülékek és alkalmazások	124
9.	HIDROSZTATIKUS SZINTTÁVADÓK	126
9.1.	A hidrosztatikus szintmérés alapelve	126
9.2.	Nyomásszenzorok	127
9.2.1.	Piezorezisztív nyúlásmérés	127
9.2.2.	Szilícium hordozóra felépített mérőhíd	129
9.2.3.	Kerámia membrános nyomásszenzor	131
9.2.4.	Kapacitív nyomásérzékelők	132
9.3.	Nyomásérzékelők felhasználása szintmérésre.....	134
9.3.1.	Tartályra szerelhető kiviteli megoldások	135
9.3.2.	Bemerülő szondák, kútszondák	136
9.4.	Közeghatár mérés	136
9.5.	Hibaforrások és a pontosság	137
9.5.1.	A szintmérés hibája	137
9.5.2.	A térfogatomérés hibája	138
9.5.3.	A tömegmérés hibája	139
9.6.	Készülékek és alkalmazások	140
10.	A SZINTKAPCSOLÓK TULAJDONSÁGAI	142
10.1.	A szintkapcsolók karakterisztikája	142
10.1.1.	Kapcsolási hiszterézis	143
10.1.2.	Késleltetett kapcsolás	143
10.1.3.	Töltés-űrités vezérlés	144

10.1.4. Határérték és vészjelzés	145
10.1.5. Helyi kijelzés és biztonsági ellenőrzés.....	146
10.2. Kimeneti áramkörök.....	147
10.2.1. A jellegzetes terhelések kapcsolási tulajdonságai	147
10.2.2. Jelfogó kimenetek.....	149
10.2.3. Háromvezetékes szintkapcsolók, tranzisztoros kapcsoló kimenettel	149
10.2.4. Kétvezetékes szintkapcsolók elektronikus kapcsolóval	151
11. ÚSZÓS SZINTKAPCSOLÓK.....	152
11.1. Úszókapcsolók	152
11.1.1. Az úszókapcsoló felépítése.....	152
11.1.2. A kapcsolási szintek beállítása	153
11.2. Billenőúszós szintkapcsolók	153
11.2.1. Felépítés, működés	153
11.2.2. Hiszterézis és töltés-ürítés vezérlés.....	154
11.2.3. A hiszterézis tartomány megnövelése	154
11.2.4. Kisméretű billenőúszós kapcsolók	155
11.3. Úszómágneses szintkapcsolók	155
11.3.1. A reed-kapcsolók működése	155
11.3.2. Szintkapcsolás, egy kapcsoló és egy úszómágnes párosítással	156
11.3.3. Több kapcsolási funkció megvalósítása egy úszómágnessel.....	157
11.4. Alkalmazások és készülékek	158
12. FORGÓLAPÁTOS SZINTKAPCSOLÓK	160
12.1. A forgólapátos szintkapcsolók működése	160
12.2. A lapátok kialakítása.....	161
12.3. Készülékek és alkalmazások	162
13. REZGŐELEMES SZINTKAPCSOLÓK	164
13.1. A rezgőelemes szintkapcsolók működése.....	164
13.1.1. A rezgővilla mechanikai tulajdonságai.....	164
13.1.2. Az érzékelt közeg hatása a rezgésre	165
13.2. A rezgőelemek kialakítása.....	166
13.2.1. Rezgővillák	166
13.2.2. Rezgőrudak	168
13.3. A rezgőelemes szintkapcsolók alkalmazási feltételei és kapcsolási pontossága	169
13.4. Készülékek és alkalmazások	170
14. KAPACITÍV SZINTKAPCSOLÓK.....	172
14.1. A kapacitív szintkapcsolók működése	172
14.2. Kiviteli megoldások	173
14.3. Készülékek és alkalmazások	176
15. KONDUKTÍV SZINTKAPCSOLÓK	178
15.1. A konduktív szintkapcsolók elektromos működése	178
15.2. Kiviteli megoldások	180
15.3. Töltés-ürítés vezérlés és más üzemmódok.....	181
15.4. Készülékek és alkalmazások	181
16. ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK.....	183
17. FÜGGELÉK	187
17.1. Távolságmérés a jel futási idejével.....	187
17.2. Logaritmikus mennyiségek.....	187
17.3. A viszkozitás	189
17.3.1. Dinamikai (dinamikus) viszkozitás.....	189
17.3.2. Kinematikai viszkozitás.....	190

1. A szintmérés története

Ne gondoljuk, hogy a szintmérést csupán a mai kor igényelte. A gondolat meglehetősen régi, annak megvalósítása egyike volt a szerszámok, használati eszközök megteremtése után jelentkező korai „műszaki” tevékenységeknek. A legősibb szintmérési feladat minden bizonnyal, az emberiség jelentős részének sorsát, életminőségét meghatározó tengerek, folyók szintjének észlelése volt. Az ár-apály megfigyelése, mérése és annak kihasználása, az áradások elleni védekezés, majd a kutak, víztárolók szintjének mérése életbevágó fontosságú volt a korai társadalmak számára is.

1.1. A természetes vizek szintmérése

Egy-két évezredre visszatekintő egyiptomi találmány a vízmérce, amelynek egyik megvalósítása a kő partfalba bevéssett jelek sora. A legrégibb, megmaradt vízmércék a Nílus mentén találhatók. Mai szemmel is innovatív megoldás a nilométer, amelyből néhány ma is kedvelt turista látványosság.

Kivitele, egy nagyobb átmérőjű kút a folyó mellett a homokkőbe bevésve. A kút és a meder alját alagút köti össze. A kút tengelyében, függőlegesen elhelyezett oszlopon, faragott jelek mutatták a szint értékeket. A pontos leolvasás érdekében, a kút falába faragott csigalépcsőn lehetett a vízfelszín megközelíteni. A konstrukcióban felismerhetők a precíz szintmérés ma is használt elemei.

Időben nagyot ugorva nézzük meg a közelebbi múltat. A folyami áruszállítás és a folyóparti településeket sújtó áradások indokolták a vízállás rendszeres megfigyelését, feljegyzését és az ehhez szükséges folyami vízmércéket.



1.1. ábra
A nilometer
keresztmetszete

Dunai vízmércét 1823-ban helyezték el, Pozsonyban és Budán. Az utóbbi szerepét az 1849-ben átadott Lánchíd, budai pillérére faragott mérce vette át **(1.2.a. ábra)**. Ez stabil, a partról jobban leolvasható megoldás volt. A római számok a baloldali skálán méterben, jobboldalin magyar lábban írják a szintet. Az alosztás 1 dm, illetve 2 hüvelyk.



a)



b)

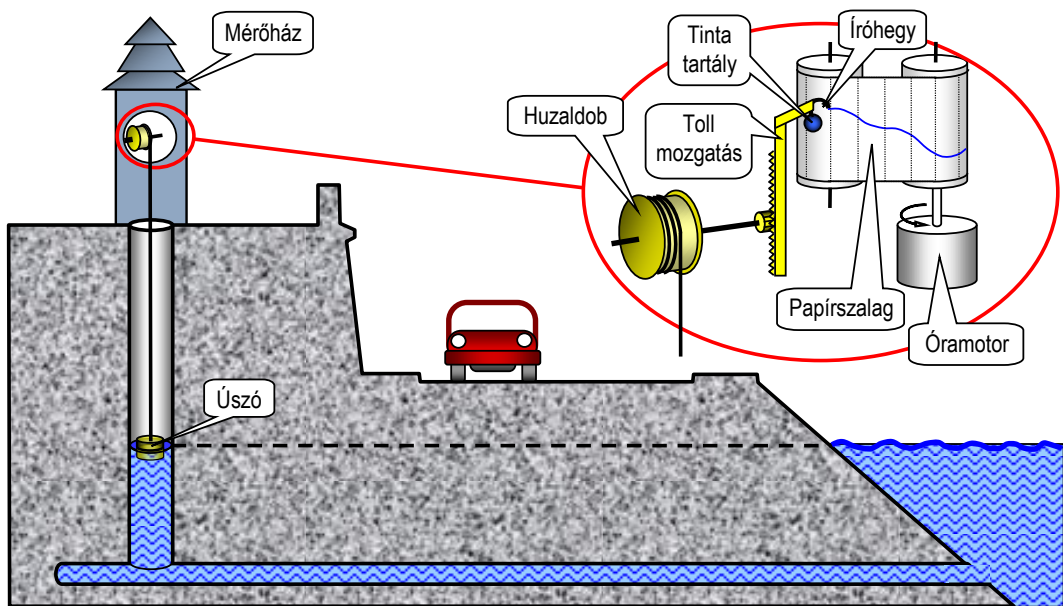
1.2. ábra

Lap vízmércék Budapesten. A Lánchíd budai pillérén egy régi (1849) vízmérce **(a)**, és a mai hivatalos vízmérce a Vigadó tér melletti parton **(b)**.

A vízállás rendkívül alacsony, így a több részre osztott mérce harmadik szakasza is szárazon van

A könnyebb leolvasás és a korszerűsítés jegyében 1913 körül a parti sétányon már egy díszes öntöttvas házban elhelyezett úszós szintjelző mutatta a vízállást, és mellette a hőmérsékletet valamint a pontos időt **(1.4. ábra)**.

Később a műszerek tönkrementek. 1943-ban egy regisztráló szintmérőt (akkori nevén rajzoló szintmérőt) szereltek a mérőházba. Elvi felépítése az **1.3. ábrán** látható. A medertől mintegy 35 m távolságban elhelyezkedő ház alatt, egy függőleges akna van, ami a vízszintes bekötő csőhöz csatlakozik. Az aknában egy úszó követi a vízszint függőleges mozgását, ami megegyezik a Duna szintjével. Az úszó finom acélhuzallal forgat egy dobót, ami megfelelő áttétel közbeiktatásával, mozgatja az író tollat, a papírszalag függőleges koordinátája mentén. Papírszalagot közben egy óramű lassan, *(pl. 1 cm/óra sebességgel)* teker-cseli. Így a papírszalagon napról napra követhető volt a vízszint változása. A mechanikus szerkezet és a tintás író mű gyakori karbantartást igényelt. Így nem csoda, hogy felújítás helyett, ma már egy kevésbé látványos, egyszerű digitális kijelzőre cserélték.



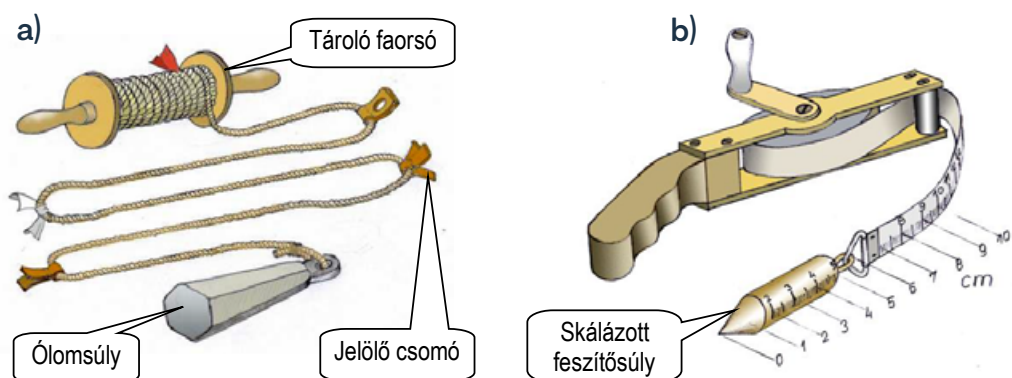
1.3. ábra
Dunai vízmérőház és a rajzó vízmérő működési elve



1.4. ábra
A sok belső átalakítást
megért öntöttvas mérőház
mai formájában

1.2. Hajózás és navigáció

A folyami és parti hajózásban nagy szerepet játszott a mélységmérés. A hajó orrában egy matróz gyakori mintavételezéssel ellenőrizte a meder mélységét, és különös kódolásban „énekelte” a mért értéket (*lead and line sounding*). Az **1.5.a.** ábrán látható az erre a célra használt mérőzsinór. A zsinór végére kötött ólomsúly segíti a gyors lemerülést. A mélységjelek egymástól ölnyi távolságra kötött, különböző anyagú csomók. A mélység leolvasására mechanikus számlálókkal is kísérleteztek, de ezek működését a felhasználók sokáig nem tekintették megbízhatónak. Végül az ultrahangos mélységmérés oldotta meg a problémát. A mérőzsinór mai utódja, a tartálysint mérésére szánt, kalibrációs szintmérő szalag (**1.5.b.** ábra). A cm feliratú és mm beosztású acélszalag mérési tartománya a feszítősúly hegyénél kezdődik, és a szalagon folytatódik. A két eszköz közötti legnagyobb különbség, hogy a 300 éves mérési hibája 100 mm, a mai készülék hibája 1 mm nagyságrendű.



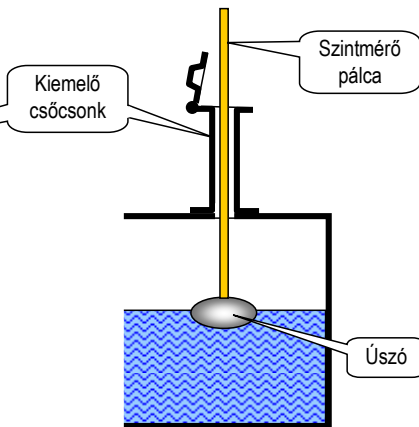
1.5. ábra

Két kor hasonló elvű mérőeszközei. Az **(a)** ábrán az 1700-as évektől a parti hajózásban használt mélységmérő zsinórt látunk. A jelölő csomók tapintással is felismerhetők, ezért a készülék gyenge fény mellett is használható. A **(b)** ábrán látható mai változat, pontos skálázású, súlyfeszítésű acélszalag

1.3. A gőzgépek kora

Az ipari forradalom teremtette meg az újabb alkalmazásokat melyek igényelték a velük kapcsolatos szintek, elsősorban folyadékszintek mérését. A gőzgép tápvízének szintmérése volt az egyik ilyen feladat, aztán a gépek elterjedésével jött még néhány hasonló.

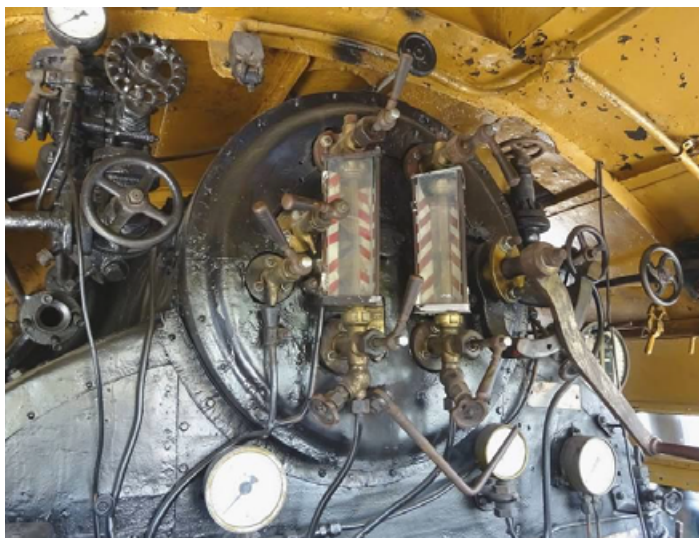
A gőzmozdony kazánjában elhasznált víz menet közben történő pótlására, a mozdonyhoz csatolt szerkocsiban 5–30 m³ tápvizet tudtak szállítani. Ennek mennyiségét, az **1.6. ábrán** látható, egyszerű úszós szintmérővel lehetett ellenőrizni. A csőcsonk fedelének felnyitása után, az úszóban végződő mérőpálca a vízszintnek megfelelő hosszúságban bújik ki a csőcsonkból.



1.6. ábra

A gőzmozdony szerkocsijában szállított tápvíz szintjének ellenőrző eszköze az úszós szintmérő pálca (1880–1960)

Az előbbi megoldás, a nyomás alatti tartályok, kazánok szintmérésére már nem alkalmas. Ezért nyomásálló és hőmérséklettűrő üvegcsöves (nézőüveges) szintjelzőket használtak a kazánokon (1.7. ábra). Látható, hogy a megvalósítás nem a pontosságra törekszik.



1.7. ábra

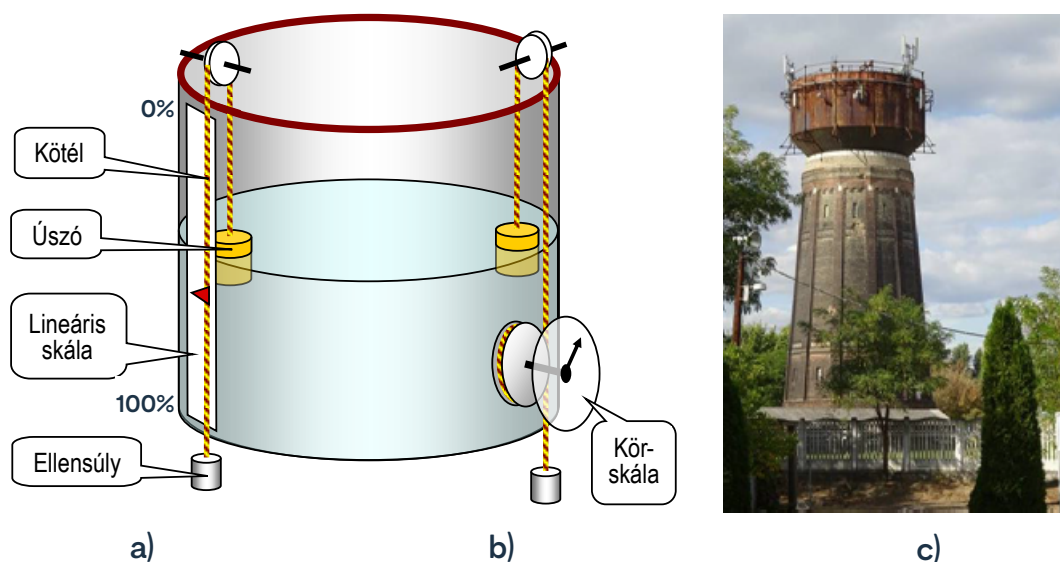
Üvegcsöves kazánvízszint mutatók (kijelzők) egy gőzmozdonyon (1922).
A szint biztonságos leolvasását a csíkos háttér segíti

A védő burkolat, a kijelzők duplázása, a leolvasást könnyítő csíkok, mind a rossz üzemi feltételek melletti megbízható működést és leolvasást szolgálják.

1.4. Gáztartályok és víztornyok

A fejlődő városok és ipari létesítmények, igényelték a rendszeres víz és gázszolgáltatást. A megtermelt gázt hatalmas szabadtéren álló hengeres tartályokban tárolták. A tárolt gáz mennyiségét, a földbe süllyesztett álló henger felett „úszó”, mozgó henger helyzetéből, magasságából jól meg lehetett ítélni. Pontosabb adatokat a henger oldalára festett beosztásról lehetett leolvasni.

Az 1900 után nagy számban épülő, szebbnél szebb víztornyok viszont nem kínáltak ilyen automatikus megoldást.



1.8. ábra

A víztornyokon használt úszós szintmérők két megoldása, lineáris és körskálás kijelzéssel (a). A víztornyok mai rendszeres felhasználása, hogy telekommunikációs antennákat hordoznak (c)

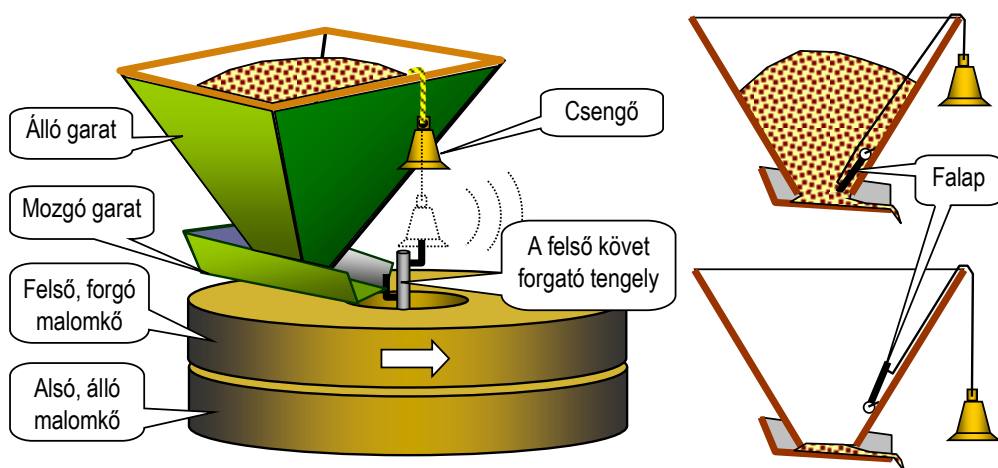
A magasra helyezett, nagy tároló edény vízszintjét kívülről is láthatóvá kellett tenni. A megoldás egy úszó, köté, csiga és ellensúly kombinációjával, valósult meg. Az **1.8.a.** ábrán bemutatott megoldás, külső lineáris skálán jeleníti meg a vízszintet. Értelmszerűen a skálán az üres állapot mutatása fent, a tele mutatása lent volt. A **1.8.b.** ábrán a köté, mutatót forgat, és az eredmény körskálán jelenik meg. Az ellensúly a huzal vagy köté megfeszítéséről gondoskodott, mindkét esetben.

A folyékony üzemanyaggal működtetett belsőégésű motorok megjelenése szükségessé tette újabb szintmérési technikák megalkotását. Az erre a feladatra alkalmazott, úgymond modern eljárás a folyadék hidrosztatikus nyomásának, más szóval fenéknomásának mérése volt.

A fejlődő olaj és vegyipar technológiai folyamataiban egyre gyakrabban jelentek meg nyomás alatti tartályok. Felmerült az igény e tartályok szintmérésére. A feladatra az úgynevezett differenciál nyomásmérők alkalmasak, melyek a fenéknomás és a folyadék feletti nyomás különbségét képesek érzékelni. Erre a feladatra is születtek mechanikai megoldások.

A növekvő számú alkalmazások jelentős része egyre igényesebb szintmérést kívánt. Olyat, melynek mérőeszköze az ipari környezet viszontagságainak ellenáll és alkalmasint pontossága is nagyobb. Ezek az újabb és újabb alkalmazások komoly kihívás elé állították a mérnököket és technikusokat, akik aztán néhány évtized alatt megteremtették a modern folyadékszintmérés arzenálját.

1.5. Ömlesztett szilárd anyagok



1.9. ábra

A garat kiürülését csengetéssel jelzi az egyszerű mechanikus szerkezet

Az ömlesztett szilárd anyagok szintmérésének története nem olyan régen kezdődött, és sokkal kevesebb megoldást tud felmutatni, mint azt a folyadékoknál láttuk. Ezt megmagyarázza a feladat nehézsége mellett, a kisebb mérési igény. A véka, zsák, hombár és más hasonló eszköz, amellet, hogy szállító vagy tároló edény, maga is mérőeszköz volt.

1.5.1. Szintmérők

A ma használt, főként érintésmentes megoldásokat megelőzően, egy olyan mechanikus szerkezetet használtak, ami a mélységmérő tengerész tevékenységét utánozta. A tartály, vagy siló tetején elhelyezett szerkezet, egy dobról addig engedte lefelé a vékony drótkötélen függő súlyt, amíg az anyag felületét elérte. A szerkezet ezt, a feszítő erő

csökkenéséből érzékelte. Majd a kötelet visszahúzza, mérte annak hosszát. A folyamatot, a beállított szaporasággal néhány percenként, vagy akár naponta egyszer ismételte. Tehát ez a módszer elektromechanikus. Nem véletlenül kapta a megoldás a yo-yo rendszerű kábeles szintmérő elnevezést. A megoldás előnyös tulajdonsága, hogy víz alatti homok, vagy sóder szintjének mérésére is alkalmas.

1.5.2. Szintkapcsolók

A szintkapcsoló egy adott szint elérésekor jelzést ad, melyet a felhasználó észlel és döntést, hoz a szükséges beavatkozásról. A vízimalmokat üzemeltető molnárak nagyon ügyeltek arra, hogy az őrlendő gabona soha ne ürüljön ki a forgó malomkövet tápláló garatból. (Különösen éjszaka állt fenn ez a veszély.)

Ezért belül, a garat alá csuklósan falapot szereltek, amihez zsinór és annak végére függesztett csengő csatlakozott. Az egyszerű szintkapcsoló az **1.9. ábrán** látható. A garatban lévő gabona a falapot leszorította. Amikor ez a nyomás megszűnt, a falap felfelé billent, a csengő leereszkedett. A malomkö forgó tengelyéből kiálló kar, ütögetni kezdte a csengőt.

A garatból kifogyó ömlesztett szilárd anyagok, vagy a csővezetékbe kiürülő folyadékok figyelése és jelzése manapság is gyakori feladat.

1.6. A mérési eredmények továbbítása

Hírközlési célból már 1850-ben elkezdődött a tenger alatti kábelek fektetése, és 1866-ban állandó távíró összeköttetés létesül Európa és Amerika között. Ezzel szemben, a vasúti szárnyvonalakon a biztonsági jelzőrendszerben, 120 évvel később még mindig használták a teljesen mechanikus, karos jelzőket (*szemafórokat*). Nem volt általános az elektromos fényjelzés. A forgalmi jelzések mechanikus átvitele 4 mm átmérőjű acél huzalokkal történt, amivel akár 600 m távolságból is kézi erővel mozgatták a jelzőkart. A kis távolságú mechanikus jelátvitel szíj, zsinór, vékony drótkötél segítségével történt. Így működött a például a parancs átvitel és nyugtázás a hajókon, a parancsnoki híd és a gépház között.

Az elektromos hálózatok terjedésével (1900) világossá vált, hogy jelátvitelre is ez a legalkalmasabb fizikai mennyiség. A villamos jel kis helyfoglalással, időjárástól függetlenül, viszonylag olcsón vezethető, nagy távolságra. ***De mi legyen a pontossági igényeket kielégítő elektromos jellemző? Az ellenállás, a szinuszos jel frekvenciája, az impulzus szélesség, esetleg a legegyszerűbb, egyenfeszültség vagy egyenáram?*** Az első elektromos távadók ugyan már a második világháború előtt megjelentek, közben versenyezniük kellett a már meglévő hidraulikus és pneumatikus rendszerekkel. A bányászat, a nehézipar, a vasúti és közúti közlekedés területén, energiaátvitelre használták ezeket, a közegeket. Ezzel működtették a dugattyús vagy membrános beavatkozó szerveket, munkahengereket. A hidraulikus, olajjal vagy vízzel (*bányában*) működő rendszerek robusztusabb,

nagyobb erő kifejtésére voltak alkalmasak. Kézenfekvő volt, hogy az ilyen rendszerek mellé, hidraulikus vagy pneumatikus erősítőket, szabályzókat, távadókat és jelátvitelt is kifejlesszenek (1950). A pneumatikus jelátvitelben, 0,2–1 bar túlnyomás lett a jeltartomány. Az ipari automatizálásban és a vegyiparban elterjedtek a pneumatikus energiával (*sűrített levegővel*) működtetett, vezérlések és szabályozások, ahol az érzékelés is ezen az elven történt. A megoldás nem történelmi előzmények nélküli. Az egyszerű pneumatikus és hidraulikus „gépeket” már az ókori görögök is használták.

A tranzistorok elterjedésével az elektronikus megoldások olcsósága a jelátvitel pontossága egyre inkább kidomborodott. Az elektronika a mérő és érzékelő eszközökben a hidraulikus és pneumatikus megoldásoknál univerzálisabbnak, alkalmasabbnak bizonyult.

Hogyan alakult ki a 4–20 mA-es jelátvitel? Az elektromos jelátvitelben a 0–10 V feszültség, illetve a 0–20 mA vagy a 4–20 mA kezdett meghonosodni. A választott jelszint érintésvédelmi és robbanásbiztonsági szempontból is megfelelt. Végül az analóg jelátvitelben a 4–20 mA lett a nyertes. A kábel tulajdonságai ugyanis az áram átvitelében okoznak kisebb hibát. Az analóg jelátvitelre használt kábelek két fontos jellemzője a rézvezeték ellenállása, és a két ér közötti szigetelési ellenállás. Egy tipikus, 1000 m hosszú kábelnél a rézhurok soros ellenállása $\sim 36 \Omega$, a szigetelési ellenállás az erek között $10 \text{ M}\Omega$ – $10 \text{ G}\Omega$ közötti. A kábel paraméterei által okozott hiba meglehetősen kicsi, ha ideális feltételek mellett, terheletlenül viszünk át jelet, akár áram, akár feszültség formájában. Ugyanakkor, például 20 mW teljesítményt fogyasztó jellevő esetén, a 0–10 V feszültség átvitelének $-0,7\%$ hibája lesz, a vezeték soros ellenállása miatt. Hasonló teljesítmény mellett, 20 mA áram átvitelének hibája $-0,007\%$, ami a kábel jó szigetelésének köszönhető.

Az áramtávadás, 50 éven keresztül megtartotta vezető pozícióját, amit végül a digitális jelátvitel döntött meg. A jelátvivő közeg még jórészt maradt a 4–20 mA-re kiépített kábel, de az információ már digitálisan kódolt. Az új telepítésű rendszerekben egyre nagyobb teret kap az optikai jelhordozón keresztül átvitt, vagy a vezeték nélküli digitális jelátvitel.

2. Az ipari szintmérés alapfogalmai

A szintmérés az ipari méréstechnika fontos része. Rendszerint valamilyen nyitott vagy zárt tartályban tárolt folyadék, massa, vagy ömlesztett szilárd anyag (*por, granulátum, zúzalék, gabona*) mérését jelenti. A mérési tartomány a kis (60 cm magas) tároló edényektől a 60 m magas gabonasilóig terjed. Jellemző, hogy ebben a feladatkörben, ugyanaz a gyártó cég, többféle mérési elvet felhasználva, sok készültípust ajánl. A nagy választék azt bizonyítja, hogy nem létezik olyan megoldású készülék, amely egyformán alkalmas minden szintmérési feladatra. A következőkben a fizikai működés és a méréstechnika szemszögéből mutatjuk be a NIVELCO gyártmányválasztékában megtalálható szintmérőket. Összehasonlítjuk a mérési módszer által alapvetően meghatározott előnyös és hátrányos tulajdonságait. A különböző elvű szintmérők működésének részletesebb ismerete azért hasznos, mert a használati utasítások tanácsai bonyolultabb helyzetben nehezen értelmezhetők. Ilyenkor a részletesebb fizikai működés ismeretében, józan megfontolásokkal jó döntést hozhatunk. Először tekintsük át az ipari szintmérésben használt műszerekkel kapcsolatos legfontosabb fogalmakat.

2.1. Szintmérők és szintkapcsolók

A tágabb értelemben vett szintmérés két részterületre oszlik. Folyamatos szintmérésre, illetve egy kijelölt szintnél történő kapcsolásra. Mindkét információ lehet helyileg kijelzett vagy nagyobb távolságra továbbított (*távadó, távjelző*).

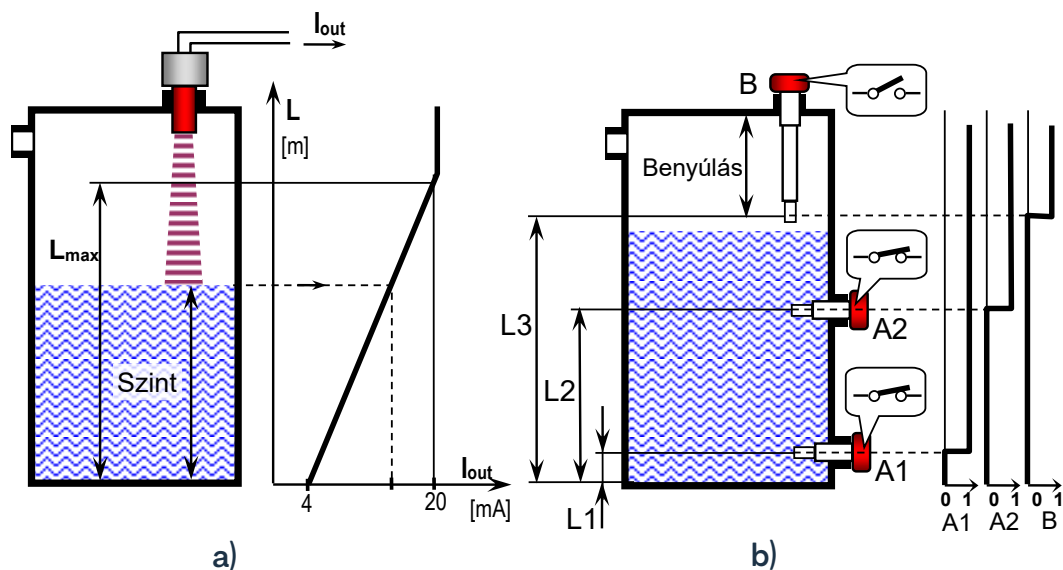
2.1.1. Szintmérők

A szintmérők mérési tartományával, lehetőség szerint a tartály ürestől a tele állapotig terjedő szinttartományát kívánjuk átfogni, és folyamatosan kijelezni. Kimeneti jelük, lehet analóg (4–20 mA *kimeneti áram*), vagy digitális (valamilyen szokásos jelátvitellel pl. HART®, RS485 Modbus), mindkét jel követi a szint aktuális értékét. A **2.1.a.** ábrán a szint emelkedésével arányosan növekszik az I_{out} áram.

2.1.2. Szintkapcsolók

A szintkapcsoló a tartály teljes szinttartományán belül, egyetlen szint átlépését jelzi. A **2.1.b.** ábrán látható tartályba három szintkapcsolót építettek be. A kapcsolási pont a beépítés helyével ($A1, A2$), vagy a szintkapcsoló tartályba nyúló részének méretével (B) határozható meg. Kétállapotú kimenetük jelzi, hogy az aktuális szint a kapcsolási pont alatt, vagy fölött van (**2.1.b.** ábra). Több szintkapcsoló beépítésével, a kapcsolási szintek száma növekszik, és ennek megfelelő felbontással követhetjük, hogy a folyamatosan változó szint melyik tartományban jár. A szintkapcsoló belső felépítése és működése lényegesen egyszerűbb, mérete pedig kisebb a szinttávadónál.

A szinttávadó folytonos kimeneti jelével, egy feldolgozó készülék több kétállapotú kimenete is vezérelhető. Például egy távadó 4–20 mA-es kimenetéről, UNICONT PKK típusú áramvezérelt kapcsolóval egy darab, a MultiCONT jelfeldolgozóval öt darab relét vezérelhetünk, hogy azok a különböző beprogramozott szinteknél kapcsoljanak. Programozható szintnél működő kapcsolókimenetet (általában relét) a folyamatos szintmérő készülékbe is gyakran beépítenek. Ennek ellenére találkozhatunk olyan tartállyal, amelyre a folyamatos szintmérő mellett egy vagy két szintkapcsolót is felszereltek. Ezt az indokolja, hogy a veszélyt jelentő alsó vagy felső határ átlépését, a biztonság növelése érdekében, egy más elven működő, független készülék is érzékeli és jelezzé. Ha nincs szükség a folyamatos szintmérésre, akkor egy vagy két szintkapcsoló beépítése olcsóbb megoldás lehet a szintmérő készüléknél.



2.1. ábra

Az (a) ábrán látható szinttávadó az üres állapot és az L_{max} szint között, a szinttel együtt változó jelet ad. A (b) ábrán a három szintkapcsoló kimeneti reléje az $L1$, $L2$ és $L3$ szintek elérésénél kapcsol át. A három kapcsoló állapotából következik, hogy az aktuális szint $L2$ és $L3$ között van

2.2. Szinttávadók

A távadó összetett készülék, amit a mérendő technológiai folyamat helyén szerelnek fel. Tehát jó részük terepi körülmények között szabad térben, tartály tetején működik, az elvárások szerint legalább egy évtizedig. A készülék egy része (mérőfej, mérőcső, antenna, közös néven **szonda**) benyúlik a tartályba. A szint érzékelése és villamos jelé alakítása vagy egy **szenzor**, vagy egy összetettebb egység feladata. A szenzor olyan jelátalakító, amely a mérendő fizikai mennyiségtől függő elektromos kimeneti jelet hoz létre (pl.: nyomástól

függő feszültséget vagy frekvenciát). A szenzor kimeneti jelét a további feldolgozáshoz digitalizálni kell. A szintmérők másik csoportja, időmérésre visszavezetve távolságot mér, és az eredményt közvetlenül digitálisan szolgáltatja. A nyers távolságjelek feldolgozása, a hibakorrekció, a beprogramozott paraméterek kiszámítása után a kimeneti jelet több száz méterre továbbítja információvesztés nélkül. Ez az összetett készülék a **szinttávadó**. A készülékek bármilyen elven mérnek, digitális jelfeldolgozást használnak. A távadó kezelése, történhet a készülék kezelőszerveiről, vagy távolról, digitális kommunikáción keresztül. Megkülönböztetésül a digitális jelfeldolgozást, illetve digitális kommunikációt nem használó korábbi készülékektől, ezek az **intelligens távadók (Smart Transmitters*)**. Amennyiben a készüléknek analóg kimenete is van (4–20 mA), hogy régebbi kiépítésű analóg rendszerben is használható legyen, az áramot a digitális jelfeldolgozás (a kimeneti jel kiszámítása) után, digitális-analóg (D/A) átalakítással hozzák létre.

2.2.1. A távadók táplálásának megoldásai

Az elektronikus működésű távadók analóg kimeneti jelének egységesítése már 60 évvel ezelőtt kialakult, 0–20 mA és 4–20 mA jeltartomány formájában. (A pneumatikus jelekkel működő távadók és szabályozók esetében 0,2–1 bar lett az elfogadott jeltartomány.) Az élő nullásnak nevezett 4–20 mA-es rendszer terjedt el szélesebb körben, mert magában hordozza a legfontosabb hibajelzést. Az $I_{out} = 0$ állapot vezeték szakadást, vagy tápfeszültség hiányt jelez.

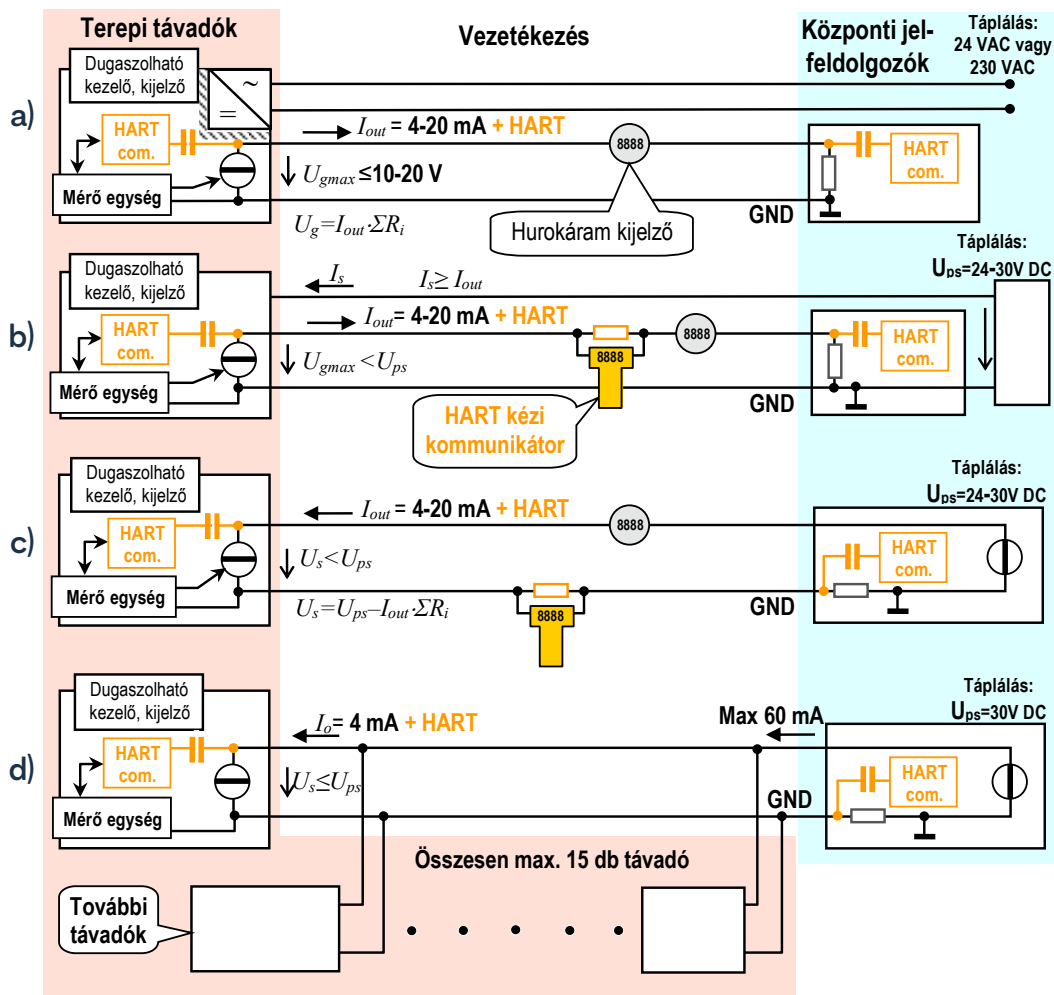
Az elektronikus távadók mai változatait a 2.2. ábrán foglaltuk össze. A **négyszerezetű** távadó (2.2.a. ábra) egyedi (nem rendszerbe kapcsolt) készülékeknél szokásos. A váltakozóáramú táplálás áramköre galvanikusan elválasztott a kimeneti áramkörtől. A jelvezeték-től független táplálás következtében a távadó fogyasztása nem korlátozott, ami ma már csak a nagy teljesítmény igényű (1–2 W) távadóknál indokolt. A rendszerek kiépítési költségében a kábelezés költsége akár 30–40% is lehet. Ezért célszerű a vezetékszám csökkentése.

A **háromvezetű** rendszer (2.2.b. ábra) egyenfeszültségű táplálással működik, a kimeneti jel és a tápfeszültség földvezetéke közös. Az (a) és (b) ábrán látható, négy és háromvezetű rendszerben, a távadó kimenete aktív, az áram kifelé folyik. Tehát a rákapcsolt fogyasztók és a vezetékhiányok eredő ellenállása ΣR_i addig növelhető, amíg az U_{gmax} feszültség el nem éri a távadóra megadott legnagyobb értéket ($U_{gmax} = I_{outmax} \cdot \Sigma R_i$).

Az áramkörök fogyasztásának csökkenése tette lehetővé a **kétvezetű** megoldást (2.2.c. ábra). Az egyetlen áramkör (hurok) a központi tápegység feszültségét viszi a távadóhoz. A távadó megadott határok között érzéketlen a kapott U_s feszültség értékére. Tehát a vezeték ellenállása, analóg kijelző beiktatása vagy más jelfelhasználó készülék a hurokban, a működéshez szükséges alsó határig csökkenthetik a távadóra jutó U_s feszültséget. A távadó analóg kimeneti jele az I_{out} felvett áram, vagyis a hurokban folyó áramot a központi tápegység szolgáltatja, de nagyságát a távadó áramgenerátoros kimenete határozza meg. A távadó működéséhez közelítőleg 40 mW teljesítmény áll rendelkezésre. A 40 mW-nál

*Másik értelmezés: SMART = Single Modular (vagy Signal Modulating) Auto-ranging Remote Transducer.

nagyobb átlagteljesítményt igényelő távadót, három vagy négyvezetékes táplálással lehet megvalósítani. A **2.2.d.** ábrán olyan rendszert látunk, amelyben már nincs analóg kimeneti jel. A párhuzamosan kapcsolt távadók közös tápfeszültséget kapnak, és a működésükhöz 4 mA áramot fogyaszthatnak. A kétvezetékes távadók a **(c)** típusú felhasználás mellett átkapcsolás után alkalmasak a **(d)** ábra szerinti **multidrop** üzemmódra. A kimeneti jel továbbítása és a távolról való programozás HART® kommunikációval történik.



2.2. ábra

Az intelligens távadók táplálásának és kommunikációjának módjai. Négyvezetékes megoldásnál a táplálás és a jelátvitel galvanikusan elválasztott **(a)**, háromvezetékesnél a táplálás és a jelátvitel földvezetéke közös **(b)**. Kétvezetékes rendszerben egyetlen hurokban történik a táplálás és a jelátvitel **(c)**. A multidrop hálózatban 15 db távadó közös tápfeszültséggel és kizárólag digitális jelátvitellel kapcsolódik a központhoz **(d)**

A többszáz méteres vezetékek ellenállásán eső feszültség nem hanyagolható el. Ezért a vezetékek keresztmetszetét úgy kell megválasztani, hogy a távadók minden áram mellett megkapják a specifikációban megkövetelt, minimálisan szükséges feszültséget.

2.2.2. A távadók digitális kimeneti jele és kommunikációja

A 2.2. ábrán látható intelligens távadók opcionálisan saját kezelő-kijelző egységgel is használhatók (*kompakt kivitel*). Emellett a beállítások a vezetékhurokba időszakosan csatlakoztatott HART® kézi kommunikátorral is elvégezhetők. A (d) változatban csak digitális jelátvitel van.

A HART® kommunikáció a 4–20 mA áramra ráültetett 0,5 mA amplitúdójú váltakozó árammal működik, amelynek nincs egyenáramú összetevője, a hagyományos jelátvitelt nem zavarja. A digitális információ 2200 Hz és 1200 Hz frekvenciájú periódusok sorozatával van kódolva. A távadó digitális kommunikációja nemcsak a kimeneti jel távadását, hanem a készülék távolról való kezelését is lehetővé teszi. Ehhez MultiCONT feldolgozó készülékkel kell összekapcsolni. A MultiCONT készülék a NIVELCO fixen telepíthető jelfeldolgozója, ami helyi kijelzést és a távadók kezelését teszi lehetővé, kimeneti reléket működtet, és kapcsolatot teremt egy PC és más magasabb szintű rendszerek felé. Az univerzális kézi programozó, hordozható készülék, amit a beavatkozás idejére a hurok tetszőleges helyén kialakított csatlakozó ponton kapcsolhatunk a rendszerbe. A távkezelés segítségével a programozás, paraméterváltoztatás elvégezhető anélkül, hogy a tartály tetejére felszerelt készülékhez fel kellene mászni. A távadó üzembiztos működése, különösen nagyobb távolságú kapcsolatnál, nagymértékben múlik a kábelezés helyes kivitelezésén. A távadók kábeleit a nagyáramú berendezések kábeleitől elkülönítve kell vezetni. Zavarokkal terhelt környezetben célszerű árnyékolt kábelt használni, amelynek árnyékolását a központban (mérőszobában), kell földelni. További előírások vannak a multidrop hálózatok struktúrájára, és a hosszú kábelek ellenállásos lezárására. Ezek figyelembe vételével négyvezetékes távadók is beköthetők a multidrop rendszerbe.

2.3. Kiviteli megoldások

A korábbi időszakban ('80-as évek) az analóg távadók szokásos megoldása volt a kétrészes kivitel (2.3. ábra). A tartály tetejére felszerelt érzékelőegység, többvezetékes, egyedi megoldású (nem szabványos jelekkel működő) kapcsolatban volt a tartály alján, vagy annak közelében elhelyezett feldolgozó készülékkel. A feldolgozó helyi kijelzéssel, kezelési és beállítási lehetőséggel, valamint 24 V AC / 230 V AC hálózatról működő táplálással volt ellátva. A távadás a feldolgozó készülék 4–20 mA-es szabványos analóg kimenetével valósult meg, amely a több száz méterre lévő irányító rendszerhez, vagy mérőszobához vitte a szintmérés eredményét.

Az azonos működési elvű, és hasonló áramkörökből felépített készülékek többféle tokozatba kerülhetnek bele, annak megfelelően, hogy milyen környezeti feltételek mellett

2.3. ábra

A NIVELCO kétrészes (CT-10, CTE-10) kapacitív szintmérője az 1980-as évekből

kívánják használni. Ilyenek az üvegszálás műanyag ház, a szinterezett festésű alumínium ház és a rozsdamentes acél ház. A szonda rész, különböző vegyi ellenállású fém vagy műanyag burkolatot kaphat. A technológiai rendszerhez való csatlakozásra karimák (DN80–DN250), különböző átmérőjű menetek (NPT, BSP), és speciális csatlakozók használatosak (például az élelmiszeriparban a TriClamp). A három szerkezeti rész kivitele az igényeknek és az ésszerű megvalósítási lehetőségeknek megfelelően kombinálható.



2.3.1. Kompakt készülékek

A NIVELCO gyártmányválasztékában a kompakt készülékek jellegzetessége a fém vagy műanyag elektronika ház, tömszelencés kábel bevezetéssel. A házból kiszerelhető, a műgyantával kiöntött elektronika, amelyhez opcionálisan dugaszolható az univerzális kezelő-kijelző egység. Ennek megfelelően a ház fedele lehet ablakos, vagy ablaktalan. Az elektronika háza IP67 védettségű. Ez az egység tömítetten csatlakozik a tartályba benyúló szonda részhez, amelynek anyaga rozsdamentes acél, vagy műanyag. Ennek védettsége IP68 (2.4.a. ábra).

2.3.2. Integrált készülékek

Az integrált kivitelű távadók tokozása szétszerelhetetlen, a belső tér műgyantával kiöntött. A ház műanyag, esetleg fém részekkel megerősítve. A gyárilag beépített kábel hosszát a rendelésnél meg kell adni. Így védettsége IP68, tehát az egész készülék a tartálytérbe kerülhet (2.4.b. ábra). A kábelben keresztül teljes körű HART® kapcsolatot lehet a készülékkel létesíteni. Külön kiviteli kategória a robbanásbiztos készülékeké. Szinte minden NIVELCO gyártmányú típuscsaládnak van robbanásbiztos (Ex) változata. Az írás terjedelmi korlátai nem teszik lehetővé, hogy a robbanásbiztos készülékek védelmi módját, használati feltételeit itt tárgyaljuk.

2.4. Érintésmentes vagy érintéses mérés

A mérési módszer lényeges jellemzője, hogy érintésmentes vagy érintéses. Az érintésmentesen mérő készülék ultrahang vagy mikrohullámú sugárzással felülről (vagy radioaktív sugárzással a tartály falán keresztül oldalról) tapogatja le az anyag felszínét. Tehát mechanikus alkatrészei nem érintkeznek a mérendő anyaggal, így erős mechanikai behatásnak, az örvénylő folyadék, vagy a rázúduló ömlesztett anyag roncsoló hatásának nincs kitéve. Ugyanakkor a nagy nyomást és hőmérsékletet, valamint a korrozív gőzök hatását a tartályba benyúló résznek bírnia kell.



2.4. ábra

Ultrahangos szinttávadók a NIVELCO gyártmányválasztékából.

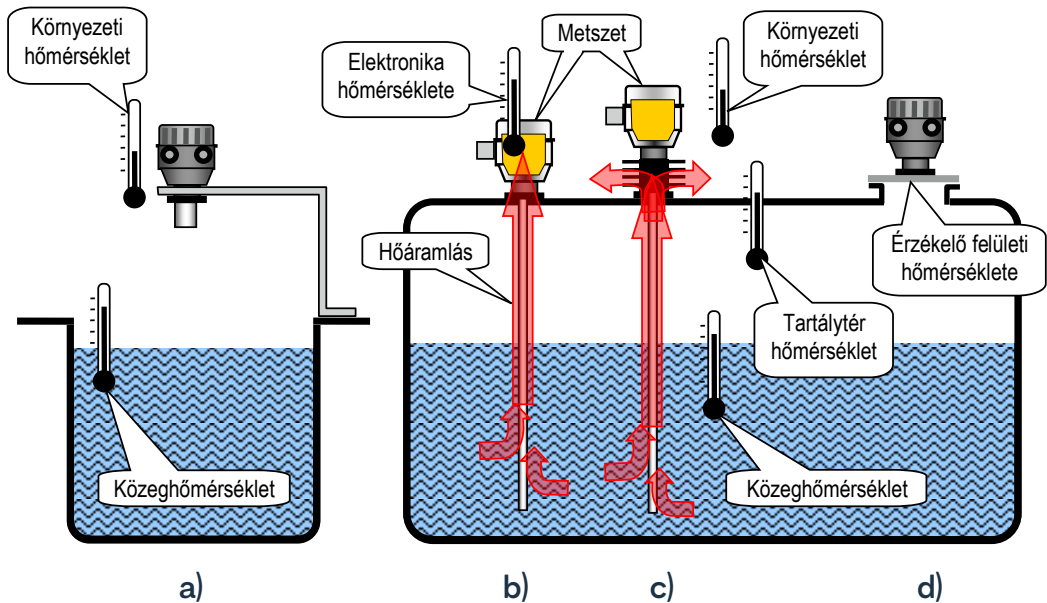
Az (a) ábrán kompakt, a (b) ábrán integrált kivitel látható

Az érintéses módszerrel mérő készülék, szondának nevezett része belenyúlik, belelóg a mérendő anyagba, a teljes mérési tartományban. Így a szonda több tíz méter hosszú is lehet, ami szállításnál, szerelésnél külön figyelmet igényel. Működési elvtől függően 3–6 m hosszúságig merev rúd vagy hajlékony kötélsondákat egyaránt alkalmaznak, felette 30–50 m-ig kötélsondák használhatók. A közvetlen érintkezés hátránya, hogy a folyadékból a lebegő szennyeződés, vagy a felületén úszó zsír és más tapadós összetevő arra feltapadhat. A feltapadás egyre vastagodik, és mérési hibát, vagy működésképtelenséget okoz. Folyadékok mérésénél, a pontosság érdekében, a hajlékony függesztett kötélsondák helyzetét stabilizálni kell a fenéklemezhez való kikötéssel vagy feszítősúlylyal. A hosszú szondák mechanikai igénybevételével a **2.4.3.** alfejezetben foglalkozunk.

2.4.1. Megengedett környezeti- és közeghőmérséklet

A szintmérő készülék különböző részei más-más hőmérséklet elviselésére képesek, és egy adott alkalmazásban is eltérő hőmérsékletnek lehetnek kitéve. Nyitott tartálynál lehetséges, hogy az érintésmentesen mérő készülék minden részén a környezeti hőmérséklettel számolhatunk, még akkor is, ha a közeghőmérséklet ennél magasabb (2.5.a. ábra).

A tartályon kívül elhelyezkedő készülékház környezeti hőmérsékletének megengedett maximális értékét a készülékházban lévő elektronika hőmérséklettűrése szabja meg. Amint a közeg hőmérséklete nagyobb, mint a környezeti hőmérséklet, fém szonda

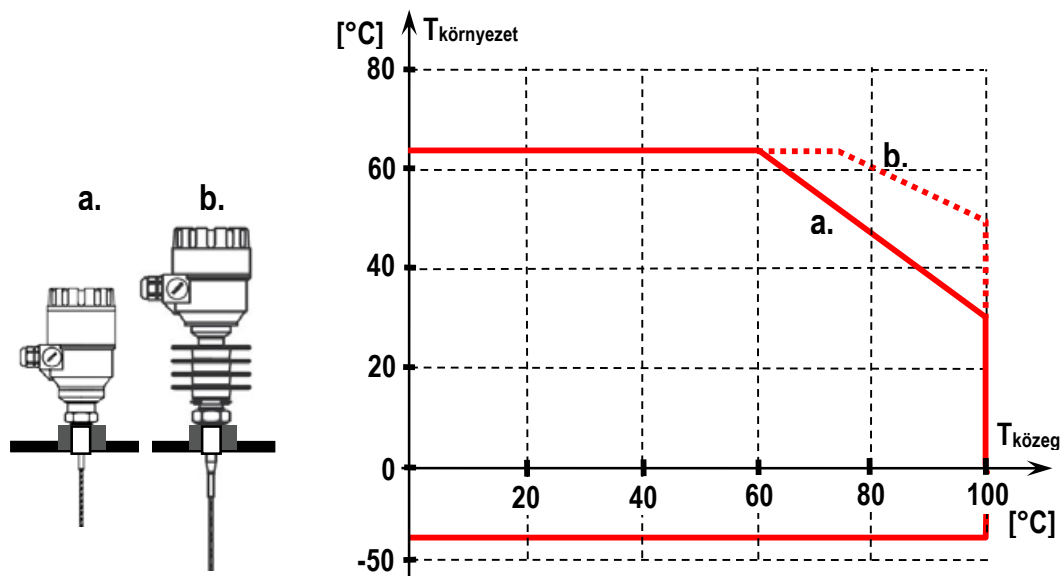


2.5. ábra

A távadók működése szempontjából mérhető hőmérsékletek. Az (a) ábra az érintésmentes szabadtéri mérést mutatja. A (b) ábrán a rúdszonda által bevezetett hőáram, a (c) ábrán a hő hűtőbordával való elvezetése látható

jelentős hőt vezet be az elektronika házába (2.5.b. ábra). Nagy közeghőmérsékletű alkalmazásoknál a tartály felől jövő hő túlmelegítené (a környezeti hőmérséklet fölé) az elektronikát, ezért a megengedhető környezeti hőmérsékletet csökkenteni kell. A tartálytér és a mért közeg felől érkező a hőáram csökkenthető a készülékház hosszabb nyakra szerelésével, valamint a nyakra szerelt hűtőbordákkal (2.5.c. ábra). A megengedhető környezeti hőmérséklet csökkentésének mértékét a műszaki adatok között, diagramban adják meg (2.6. ábra). Az (a) jelű alapkivitelhez képest nagyobb környezeti hőmérséklet engedhető meg a hosszabbított nyakra szerelt hűtőbordák alkalmazásával (b).

Szabadterben felszerelt készülékeknel az intenzív napsugárzás, a készülék házát a környezeti lég hőmérséklet fölé melegítheti. Ennek elkerülésére, a készülék háza fölé olyan árnyékoló tetőt kell készíteni, ami a légmozgást nem akadályozza (2.7.a. ábra). A fagypont alatti környezeti hőmérsékletnek is vannak veszélyei. A földalatti tartályban, vagy csatornában a víz vagy szennyvíz télen is párolog. A fagypont alatti környezeti hőmérséklet lehűti a szintmérő készülék házát és azon keresztül a szonda részt is.

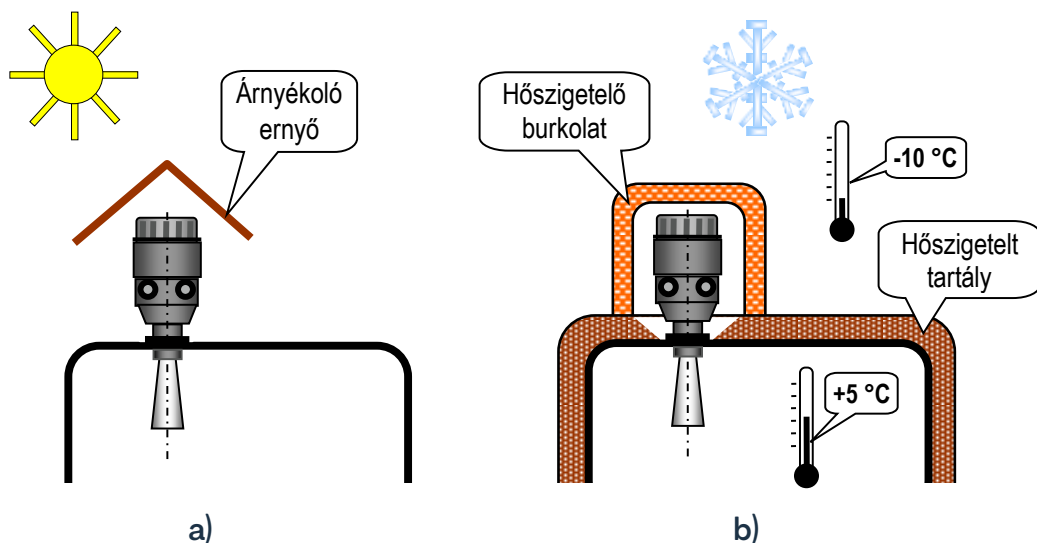


2.6. ábra

A tartálytér vagy a közeg magas hőmérséklete miatt a külső környezetre megengedett hőmérsékletet csökkenteni kell. (Az ábra adatai jellemzőek, de egyik konkrét típusra sem érvényesek.)

Így például az ultrahangos szintmérő érzékelőfeje, vagy a radaros szintmérő antenájára deresedik, esetleg vastagon jegesedik, ami a működést akadályozza. Tehát célszerű egy hőszigetelő burkolattal, a készülék hőmérsékletét a tartályhőmérséklet közelében tartani (2.7.b. ábra).

Előfordulhat, hogy a működési hőmérséklet határokon túl még megadják a szállítás és raktározás közben megengedhető alsó és felső határokat is.



2.7. ábra

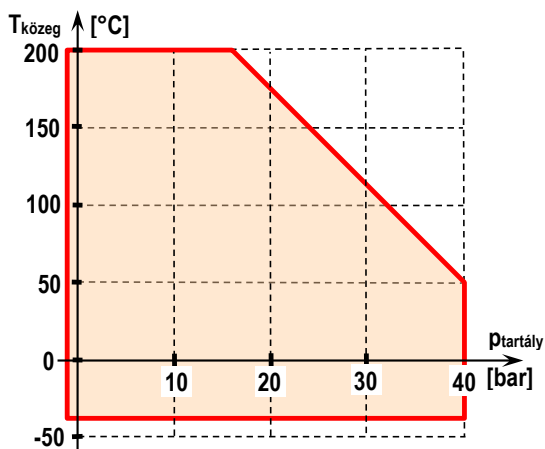
A készülék védelme a sugárzott hőtől (a), és a fagypont alatti külső hőmérséklettől (b)

2.4.2. A hőmérséklet- és nyomáshatárok kapcsolata

A zárt tartályra szerelt szintmérő, a technológiai csatlakozásánál, tömítetten elválasztja a tartály belső terét a külső környezettől. Ezen a részen műanyagtömítések, illetve a nyakrészen belül tömítetést is ellátó elektromos szigetelések vannak. Növekvő hőmérsékletnél a műanyagok szilárdsága csökken, ezért nagyobb hőmérsékleten a megengedhető nyomást csökkenteni kell. Ilyen korlátozást mutat a **2.8.** ábrán látható diagram.

2.4.3. A hosszú szondák mechanikai igénybevétele

A rúdszondák az oldalirányú erők hatására olyan hajlító nyomatéknak lehetnek kitéve, ami a felső végén a becsavarás közelében a legnagyobb. A nyomaték megengedett



2.8. ábra

A tartálynomás és a közeghőmérséklet együtt megengedett tartománya. (Az ábra adatai jellemzőek, de egyik konkrét típusra sem érvényesek.)

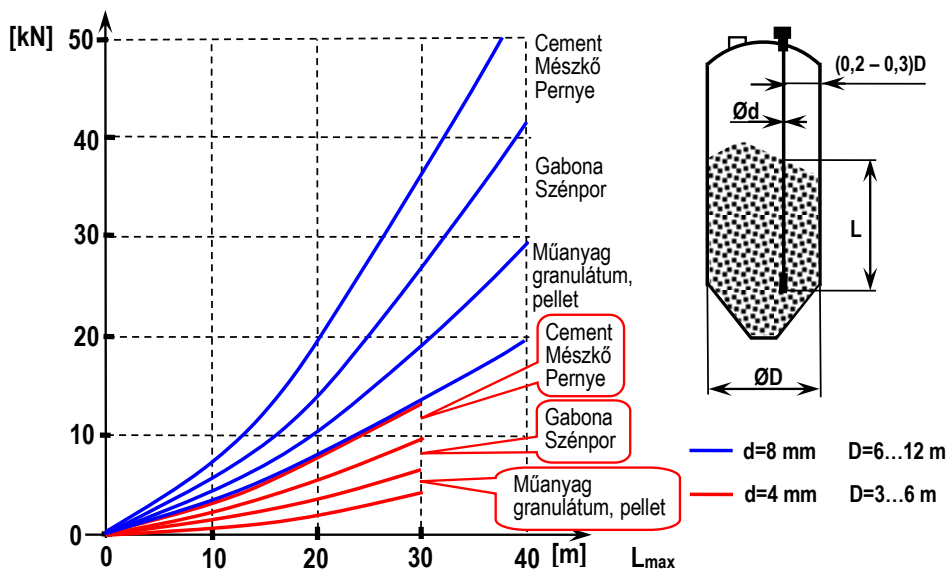
értékét a műszaki adatok tartalmazzák. Az oldalirányú erőt, folyadékoknál az erős áramlás vagy hullámozás, szilárd anyagoknál a töltés vagy ürítés közben létrejövő anyagmozgás kelti. Van olyan rúdszondás készülék, amelynek működési elve megengedi a szonda oldalirányú merevítését.

Ömlesztett szilárd anyagok mérésénél a hosszú kötélzsonda igen nagy mechanikai igénybevételnek lehet kitéve. (*Húzás, hajlítás, koptatás.*) A húzóerőt a tartály fedelének is bírni kell! A kötélzondákban fellépő húzóerő sok, nehezen meghatározható paraméter függvénye, ezért nagyságát csak becsülni lehet (2.9. ábra).

Befolyásoló mennyiségek:

- A kötel
 - eltemetett hossza (L),
 - átmérője (d),
 - felületi minősége (bevonata),
 - feszítő súly mérete.
- A siló átmérője (D) és belső felületi simasága.
- A kötel helye a silóban.
- A tárolt anyag minősége.
- Az ürítés sebessége.

Ömlesztett szilárd anyagok mérésénél a kötélzsonda alsó végét nem szabad kikötni, mert az anyag oldalirányú mozgása megfeszíti és igen nagy kötelerő, keletkezik.



2.9. ábra
A kötélzondára ható húzóerő becslése

2.5. A távadók meghibásodása és élettartama

A változatos működési feltételek óhatatlanul befolyásolják a meghibásodás valószínűségét, vagy szélsőséges esetben a várható élettartamot. A terepi körülmények között üzemelő készülékek élettartamára elsősorban a magas hőmérséklet, és a nagy hőmérsékletváltozások hatnak negatívan. A nagyobb távolságú összeköttetéseknél az elektromos tranziensek *(a légköri kisülések által indukált hatások)* károsítanak, amennyiben a beépítéskor nem készült hatékony védelem. A szerelés minősége befolyásolja a pára és a beázás által okozott meghibásodásokat. Szabadban az UV sugárzás roncsolja a műanyagokat, ami rendszerint későbbi beázáshoz vezet. A tartós folyamatos rezgések káros hatása az ömlesztett darabos anyagokat tároló tartályokon, vagy a folyamatosan működő aprító, daráló berendezéseken használt készülékekben érvényesül. A meghibásodás ellen megfelelő rezgésállóságú csatlakozókat kell alkalmazni. Az elektronikus panelek nagyobb alkatrészeinek és forrasztásainak élettartamát is csökkenti rezgés. Ez ellen hatásos védelmet nyújt a panel megfelelő rugalmasságú műgyantába való beágyazása. A meghibásodásokban szerepet játszhat még a kopás, ami a szintmérők vagy szintkapcsolók közegbe benyúló szonda részét érinti. Az ömlesztett szilárd anyagok, éles szemcséi, vagy a folyadék által mozgatott részecskék *(homok)*, okozhatnak ilyen károsodást. Vegyi hatásból eredő károsodás érheti a nem megfelelően megválasztott készülék házakat, burkoló anyagokat, úszókat és tömítéseket. A helyes anyagválasztáshoz a tárolt közeg ismerete és szakmai tapasztalat szükséges.

A készülék meghibásodott, ha a helyes, korábban jól működő beállítás és változatlan üzemi feltételek ellenére, alkalmatlanná vált a feladat elvégzésére. A meghibásodás felismerését a készülék öntesztje és hibaüzenetei segítik. A javítás rendszerint részegység cseréjét jelenti, ami a szükséges beállítások miatt gyártói beavatkozást igényel. Az integrált kivitelű készülékek ritkán javíthatók. Ilyenkor az első meghibásodás a készülék élettartamának a végét jelenti.

Belátható, hogy a készülékekben alkalmazott alkatrészek és anyagok minősége, valamint a gyártási technológia és a gyártás közben elvégzett ellenőrzések mellett, a meghibásodások valószínűségére nagy hatásuk van a felhasználási körülményeknek is. Ezért nehéz a felhasználó számára olyan minőségi jellemzőt megadni, amely jól értelmezhető becslése a készülék hibátlan működési idejének, vagy várható élettartamának.

3. A szinttávadók pontossága

A metrológia a mérési módszerek kiválasztását, a mérőeszközök kezelését, és a mérési eredmények kiértékelését, jól szabályozott metodika szerint irányítja, de tipikusan egy objektum valamilyen paraméterének mérőszemély által végrehajtott mérésére vonatkozóan. A távadók mérőszemély nélkül, valamilyen szaporasággal folyamatosan mérnek, akár éveken keresztül. Ezért az általános méréstechnikai elveket, ennek figyelembevételével kíséreljük meg a szinttávadókra értelmezni.

3.1. Méréstechnikai fogalmak

3.1.1. Valódi érték

A mérendő mennyiség, jelen esetben a szint, valódi értékét pontosan nem ismerjük, hiszen tökéletes, hibamentes mérés nincs. A valódi értéket jól megközelítő eredményhez, megfelelő mérőeszközt kell választani, ami nem szükséges, hogy távadó legyen. Nyugalomban lévő folyadékoknál a mérendő felület jól meghatározott, tehát mérőléccel, vagy súlyfeszítésű mérőszalaggal látszólag pontosan mérhető. Ennek ellenére a valódi érték meghatározásának vannak nehézségei. A felületi feszültség nehezíti, hogy a mérőlécen, a nedvesítés alapján jól leolvassuk a felszín helyzetét. A lézeres kalibráló mérőeszközök fejlesztése és elterjedése ezt a problémát valószínűleg meg fogja oldani. A szintmérés vonatkoztatási pontja *(ahova a mérőlécezt ütköztetjük)* a tartály deformációja miatt változtathatja a helyét (a folyadék, vagy a tartályt terhelő mérőszemély súlya miatt). A mérőléc és a szintmérő nem egy helyen van *(nem esnek egy függőlegesbe)*. Referencia pontjukat csak egy további méréssel lehet összehasonlítani. Tehát a szintmérő kalibrálásában nem teljesül az *Abbé-elv (lásd 3.4. alfejezet)*. A mérési tartomány több pontján való méréshez a szintet változtatni kell, ami nagy tartálynál lassú és nehéz feladat. Így a gyártó, a folyadékos szintmérő kalibrálását, gyakran vízszintes irányú méréssel végzi, ahol a folyadék felszínét szilárd sima felületű függőleges lap helyettesíti.

3.1.2. Helyes érték

A helyes érték a valódi érték olyan közelítése, amely bizonyíthatóan kisebb hibájú, mint amit az adott feladat megkövetel. Olyan mérőeszközt alkalmazva, amely pontosabb, mint az üzemszerűen használni kívánt távadó *(kisebb, mint harmada, a hibája)*, elegendő megbízhatósággal meghatározhatjuk azt a folyadékszintet, amit elfogadunk helyes értéknek. Például a várhatóan ± 8 mm hibájú távadó ellenőrzésénél súlyfeszítésű mérőszalaggal kívánjuk meghatározni a helyes értéket. A mérőszalaggal leolvasott folyadékszint 385,5 mm. A mérőszalag II. pontossági osztályú, hibája ezen a távolságon $\pm 0,9$ mm. Tehát 95% valószínűséggel kijelenthetjük, hogy a mérendő szint 384,6 és 386,4 közé esik. A távadó mérési hibájának megállapításánál, ehhez a helyes értékhez hasonlítjuk

a távadó által mért mennyiséget. Elvárjuk, hogy a helyes érték megállapítására szolgáló mérőszalag tanúsítottan kalibrált legyen, tehát akkreditált intézmény, az országos etalonra visszavezetett eljárásban tanúsítsa a pontosságát.

3.1.3. Mérendő mennyiség

Az ismertetésre kerülő szintmérő és szinttávadó műszerek közvetlenül távolságot, szonda kapacitást, vagy hidrosztatikus nyomást mérnek, amit elsődleges mért mennyiségnek nevezünk. Az előbbi mennyiségekből fizikai adatok felhasználásával számítható a szint, ami a másodlagos paraméter. A szinttávadók a szintmérés mellett százalékos töltöttség, térfogat és tömeg kijelzésére és távadására is alkalmasak. Az utóbbiak mindig a szintből számított mennyiségek, ezért ezek távadása a tartály alakja és méretei valamint a tárolt anyag sűrűsége ismeretében lehetséges.

3.1.4. Mérési tartomány

A benyúló szondával mérő készülékek mérési tartományát meghatározza a szondahossz, amit a felhasználó specifikálhat, a gyártó által megadott határokon belül. A szonda nélkül mérő készülékek mérési tartományát a gyártó, a normál körülmények között érvényes névleges értékkel adja meg. A közeg tulajdonságai függvényében, mint például a dielektromos állandó, porzás, habzás, hullámozás, a ténylegesen használható mérési tartomány ennél kisebb lehet. A körülmények ismeretében úgy kell készüléket választani, hogy az adott alkalmazásban szükséges mérési tartományban jól működjön. A tartályba beszerelt távadót, már csak a tartály által meghatározott mérési tartományban tudjuk vizsgálni.

3.1.5. A mérés hibája

A hiba meghatározásához, a készülék kalibrálásához, a mért távolság helyes értékét használjuk. A távadó hibája a mért érték és a helyes érték különbsége.

$$\Delta X = X_{\text{mért}} - X_{\text{helyes}}$$

Ez az előjeles mennyiség az abszolút hiba, amit mért távolság mértékegységében kapunk. A készülék minősítéséhez a mérési tartomány több pontján meg kell mérni, mert ΔX függvénye lesz annak, hogy a mérési tartomány melyik részén mértük. A ΔX hibákat a hozzájuk tartozó X_{helyes} értékek függvényében ábrázolva, kapjuk a készülék hibagörbéjét. Különböző készülékek összehasonlításánál szívesebben használják a relatív hibát, ahol ΔX -et a hozzá tartozó helyes értékhez (X_{helyes}), vagy a mérési tartomány valamelyik határához viszonyítjuk (X_{max} , X_{M} , H_{max}). Az utóbbi viszonyítás félreértésre is vezethet, hiszen a készülék névleges mérési tartománya többszöröse is lehet a tartályban megvalósítható mérési tartománynak. Ezért a hiba további számításokban való felhasználásánál (például a térfogatmérésre gyakorolt hatásánál), célszerű az abszolút hibát használni.

3.1.6. Rendszeres és véletlen hiba

Amennyiben egy adott a távolságot, egymás után többször megmérünk, a tapasztalatok szerint, különböző $X_{mért}$ értékeket kapunk. A távolságra kapott $X_1, \dots, X_n$ mért értékek átlaga:

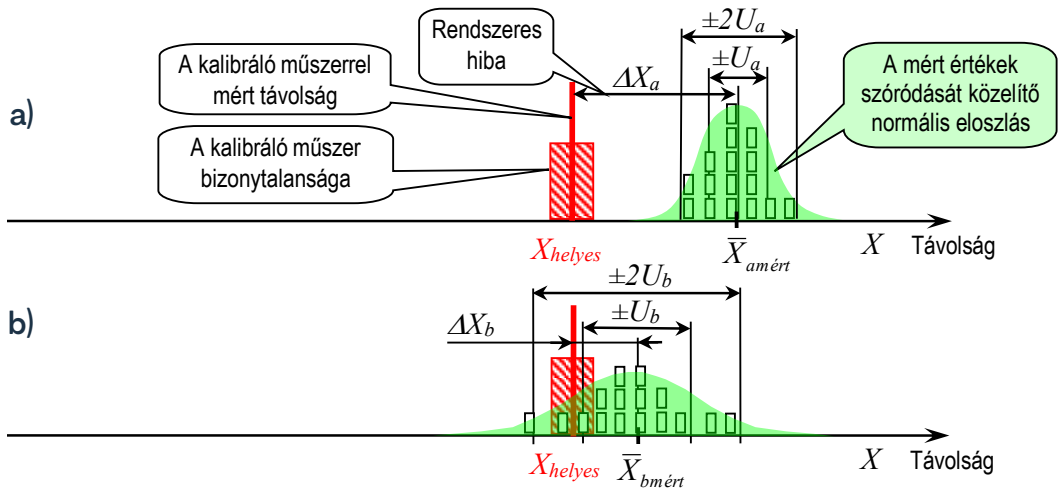
$$\bar{X}_{mért} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Ebben az esetben, a hibát a mérési eredmények átlagával számítjuk:

$$\Delta X = \bar{X}_{mért} - X_{helyes}$$

A mérési eredmények az átlag körül szóródnak. A mérési hiba, és a mérés megbízhatóságának teljes jellemzéséhez, az átlag mellett a szóródás jellegét és mértékét is meg kell ismerni.

Az egyes mérési eredményeket a **3.1.** ábrán kis téglalapok jelölik (16 mérés). Az eredmények gyakoriságának eloszlása (sűrűség histogram) az ábrán zöld színnel rajzolt harang görbét közelíti. Az ilyen eloszlás akkor alakul ki, ha a hibát sok egymástól független, véletlenszerű befolyásoló jelenség eredője hozza létre. A véletlenszerűség fennállása és elegendően sok mérési eredmény esetén az eredmények sűrűsége normális eloszlású lesz (**Gauss-eloszlás**) ami ismert matematikai függvény. Az eredmények szóródásának számszerű statisztikai jellemzője a szórás: U . A **3.1.** ábrán a zöld terület mutatja a normális eloszlás jellegzetes alakját, ahol a $\pm 2U$ tartományon belül várható a mért értékek 95%-a, és $\pm 3U$ tartományon belül a mért értékek 99,7%-a.



3.1. ábra

A távolságmérés rendszeres és véletlen hibája. Az (a) és (b) ábra ugyanannak a távolságnak, két különböző műszerrel mért eredményeit mutatja. Az (a) műszer eredményeinek szórása kicsi, ezért érdemes a rendszeres hibát számított korrekcióval, vagy beállítással csökkenteni. A (b) műszer esetében a mérési hiba kisebb ($\Delta X_b < \Delta X_a$), de ettől a (b) műszert, a nagyobb szórás miatt ($U_b \approx 2U_a$) nem minősíthetjük jobbnak az (a) műszernél

Tehát a sok forrásból származó mérési hibákat jellegük szerint két csoportba oszthatjuk: A mért értékek átlagának és a helyes értéknek a különbsége adja a **rendszeres hibát**. Az egyes mérések eltérése az átlaghoz képest, a **véletlen hiba**. A folyamatosan működő intelligens mérőeszközben a rendszeres hibát számított korrekcióval, a véletlen hibát, az átlagértéket nem befolyásoló szűréssel igyekszünk csökkenteni.

3.1.7. Kalibrálás

A gyártási folyamat végén, a referencia körülmények között működő készüléken, kalibráló mérést végzünk (*régi elnevezése végbemérés*). Ennek keretében történik a korrekció finombeállítása, amivel két mérési pontban a mérési hibát minimálisra („nullára”) állítjuk. Ezután a hibát a mérési tartomány annyi pontján kell ellenőrizni, amennyit a tapasztalatok alapján megismert hibagörbe alakja indokol. A gyártó, a folyadékos szintmérő kalibrálását, gyakran vízszintes irányú méréssel végzi, ahol folyadék felszínét sima felületű, szilárd lap helyettesíti, amely könnyen áthelyezhető és a „szint” gyorsan változtatható.

Időszakosan, az üzemi körülmények között működő készüléken is szükséges, az előírások szerinti kalibrálás. Célja, hogy előírt körülmények között ellenőrizzük a mérőeszköz mutatása és a helyes érték közötti eltérést. Az eltérést okozhatja a készülék öregedése, kopása, szennyeződés és lerakódás, a felszerelés deformálódása, a környezet megváltozása, esetleg a meghibásodás. Az időszakos kalibrálásnál a felhasználónak is vannak saját szempontjai. A technológia folyamatos üzemeltetése, vagy a ki-be szerelés költségei miatt lehetséges, hogy a tartályon való mérést részesíti előnyben. Az ellenőrzési pontok (szintek) helyét és számát korlátozhatják az üzemi körülmények. Például egy különleges anyag tárolására csak egy tartályt használnak, akkor az anyag szintjének gyors változtatása csak új szállítmány érkezése esetén lehetséges.

A kalibrálás kivitelezési lehetőségeivel a **3.4. alfejezetben** részletesebben foglalkozunk. A tartályon való kalibrálásnak járulékos hibaforrása, hogy nem egybeeső kezdőpontokhoz képest mér a távadó és a kalibráló mérőeszköz. A kalibráló mérőeszköz csak egy másik mérőcsonkon helyezhető el, mint az üzemelő távadó (**3.5. ábra**). Laboratóriumi viszonyok között, vízszintes mérőhelyen végzett mérésnél ez az összehasonlítási hiba lényegesen kisebb lehet (**3.6. ábra**). Ezért a kalibrálási módszer kiválasztásánál mérlegelni kell a referencia feltételek megvalósulását, és az összehasonlítási hibát is.

3.2. Működési körülmények

A készülék és az általa megvalósított mérési elv dönti el, hogy a működési körülmények közül mi az, ami észrevehetően befolyásolja a működést, és a mérés eredményét. Az általános előírások csak egy-két alapvető feltételt szabnak meg (*például a környezeti hőmérséklet minimálisan szükséges tartománya*). A működési körülményeket részletesen a gyártónak kell meghatározni.

Befolyásoló **menyiségnek** tekintünk mindent, amiről felismertük, hogy hatással van a mérés eredményére. Kivétel maga a **mérendő mennyiség**, mert a mérési hiba ettől való függését külön kezeljük, és mindig a teljes mérési tartományban vizsgáljuk. A mérési tartomány értelmezése a **3.1.4.** alfejezetben szerepelt. A rendszeres hibának az a része, amely egyértelműen a mért érték függvénye, a linearitási hiba.

A befolyásoló mennyiségek forrásukat, kiindulásukat tekintve adódhatnak:

- a környezeti feltételekből,
- a mért közeg tulajdonságaiból,
- a készülék tulajdonságaiból. (Lásd **3.3.** alfejezet.)

3.2.1. Környezeti feltételek

Minden környezeti hatást, ami befolyásolja a mérési eredményt, egyenként figyelembe venni praktikusán lehetetlen. A nagyságában nem jelentős, hatásmechanizmusában bonyolult, nehezen követhető zavaró hatásokat összefogva véletlen hibának tekintjük, és a mérési eredmények szórásában vesszük figyelembe. A követhető hatású, számítható behatások által okozott hibát korrekcióval lehet csökkenteni. A digitális jelfeldolgozással működő intelligens (*smart*) távadók alkalmasak ilyen korrekciók megvalósítására. A különböző elven működő szintmérők, a felsorolt befolyásoló hatásokra más mértékben érzékenyek. Amíg a kapacitív szintmérés nagyon érzékeny a folyadék dielektromos állandójára, addig az ultrahangos szintmérést nem befolyásolja. Ugyanakkor az ultrahangos mérést zavarja a légmozgás, vagy a túl kicsi légnyomás. Általánosan a környezeti feltételek nagyon sokfélék, ezek közül a gyártó adja meg, hogy az adott készüléktípusnál melyeket kell figyelembe venni:

- környezeti és közeghőmérséklet (*fontossága miatt mindig specifikálni kell*);
- földmágnesség;
- nehézségi gyorsulás;
- környezeti rezgés vibráció;
- levegő tisztaság, légmozgás, szél;
- légnyomás, tengerszint feletti magasság;
- páratartalom, relatív légnedvesség (*minimális követelmény 50–80%*);
- elektromágneses zavarok (*EMC*).

3.2.2. Referencia feltételek és az alaphiba

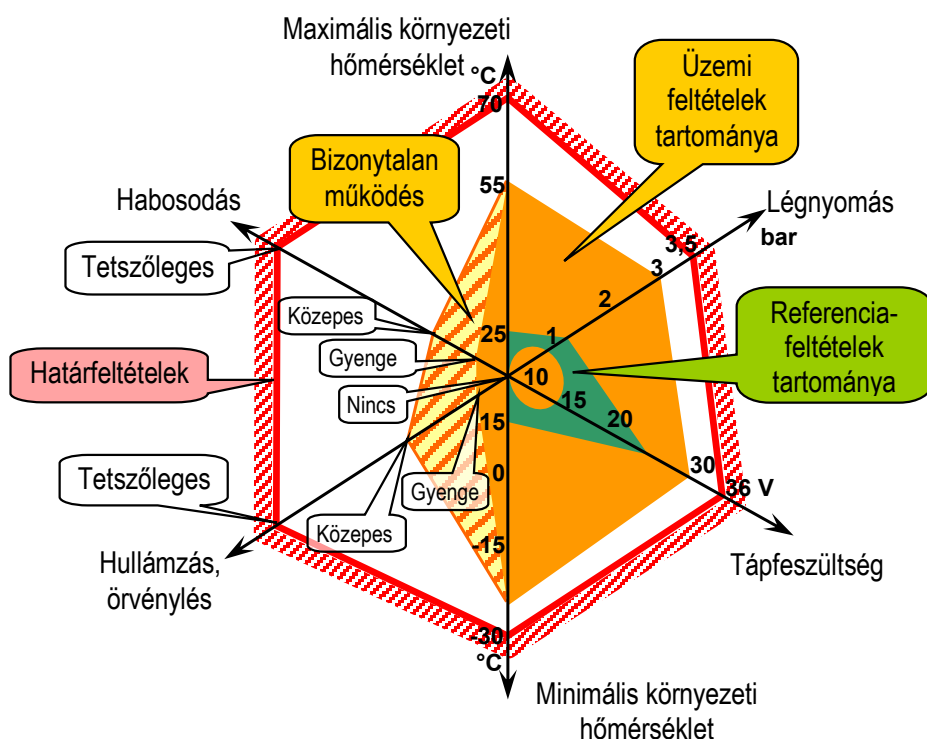
A távadó mérési eredményét befolyásoló tényezők legszűkebb tartománya, amelyet azért szűkítünk az üzemi (*működési*) feltételeken belül, hogy az ellenőrző mérések eredménye jobban összehasonlítható legyen.

Környezeti hőmérséklet referencia tartománya $20 \pm 2^\circ\text{C}$, vagy $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Más befolyásoló mennyiségek referencia tartományát a gyártó írja elő, figyelembe véve, a készülékkel kapcsolatos mérési tapasztalatait. **A referencia feltételek mellett mért hiba az alaphiba.**

3.2.3. Üzemi (működési) feltételek

Az üzemi feltételek, az előírt környezeti feltételeknek az a határa, amelyen belül a készülék az előírt mérési pontossággal működik. Általános követelmény a környezeti hőmérséklet tartománya: $-25...+55^{\circ}\text{C}$. A gyártó ehhez képest kiterjesztheti a környezeti hőmérséklet tartományát. Más befolyásoló tényezők tartományát a gyártó adja meg, mint a tartálytér vagy a közeg megengedett hőmérséklet tartománya, és nyomástartománya. A 3.2. ábrán a csillag diagram egy fiktív ultrahangos készülék referencia- üzemi- és határfeltételeit mutatja be. Jellegzetes, hogy a habosodás vagy a hullámvászás referencia körülmények között nem megengedett. Viszonylag kis vastagságban vagy kis amplitúdónál már befolyásolja a mérést. Ugyanakkor a határfeltételek egyiket sem korlátozzák, mert meghibásodást nem okoz.

Az üzemi körülmények azonban nagyon szerteágazóak és esetenként nehezen megadhatók. Például folyadékoknál a habosodás, örvénylet, gáz- vagy gőzképződés, darabos anyagoknál a szálló por, a felület rézsűje nehezen specifikálható. Tehát el kell fogadni, hogy extrém esetben ezek olyan mértékűek lehetnek, ami időszakos mérés kiesést okoz. Egyes készülékek képesek lehetnek ennek az állapotnak a kijelzésére. Ilyen feltételek mellett mérési hibáról nincs értelme beszélni. A készülékek megítélésénél, a specifikált



3.2. ábra

Csillag diagram egy ultrahangos folyadékszintmérő működési feltételeinek bemutatására

üzemi körülmények között fellépő mérési hiba mellett, szempont lehet a körülményeknek az a határa, ameddig a mérőképesség megmarad, akár megnövekedett hibával. A mérőképesség határa nem tévesztendő össze a körülmények azon (szélesebb) határával, amelyek túllépése a készülék meghibásodását okozhatja.

A megkövetelt mérési pontosságnak ésszerűen és gazdaságosan összhangban kell lenni a mérendő közeg tulajdonságaival. Szintmérésnél nincs értelme nagyobb pontosságra törekedni, mint amilyen pontossággal definiálható a mérendő felszín. Nincs értelme a mm-nél kisebb hibának, ha a tartály deformációja nagyobb. Ömlesztett szilárd anyagoknál a szemcsenagyság eleve korlátozza a felszín egyértelmű meghatározását. A töltés és ürítés miatt kialakuló rézsű pedig akár méteres eltéréseket is okozhat a felszínen egy gabonasilóban. Ezért az ömlesztett szilárd anyag mérésére készített távadó kalibrálását a tároló tartályon vagy silón kívül, vízszintes irányú méréssel, a darabos felület helyett sík visszaverő táblával végzik (lásd **3.6. ábra**).

3.2.4. Határfeltételek, határadatok

A környezeti feltételek között vannak olyanok, amelyek túllépése a készülék meghibásodását okozza. Ezek egy része csak üzem közben értelmezhető, például a maximális tápfeszültség. Mások raktározás vagy szállítás közben, és működés közben egyaránt érvényesek, mint a minimális vagy maximális környezeti hőmérséklet.

Ha a hidrosztatikus távadóval lényegesen nagyobb szintet akarunk mérni, mint a készülékre megadott határ, akkor az tönkremegy. Az ultrahangos vagy radaros készüléknél a méréshatár túllépése semmilyen problémát nem okoz.

Vannak olyan alkalmazási határok melyek sokkal nehezebben értelmezhetők, például a vegyi ellenálló képesség, korróziós vagy mechanikai koptató hatás. Ráadásul ezeknél a határ túllépésének következményei, rendszerint nem azonnal jelentkeznek.

3.3. A szintmérők és szinttávadók hibái

A mérési hibák, jellegük szerint lehetnek rendszeres és véletlen hibák. **A rendszeres hibák adódhatnak:**

1. A környezeti feltételekből: A rendszeres hibák ezen csoportjánál a hibát okozó befolyásoló mennyiség a mérőrendszer működésére hat, amit a jelfeldolgozás során lehet korrigálni. A rendszeres hibák egy része a mérési feltételek azon részétől függ, amelyek hatása felderíthető követhető és számítható, tehát ha van rá idő, számítási kapacitás és megéri, a befektetett energiát, akkor számítható és korrigálható. Például a szintmérő hőmérsékletet is mér, és számítás alapján korrigálja a hőmérsékletfüggő hibát.

2. A mért közeg tulajdonságaiból: Sűrűség, dielektromos állandó, viszkozitás, szemcseméret, közeghőmérséklet stb. ezeket az adott közeggel végzett kalibrálással, lehet minimalizálni.

3. A készülék tulajdonságaiból: A mért mennyiségtől függő hibák jelentős részét adó linearitási hibát rendszerint külön megadjuk. Emellett jelentkezhet még: Hosszúidejű stabilitás (*öregedés*), tápfeszültségfüggés, terhelésfüggés. Rossz beállítás, helytelen korrekció.

A **véletlen hibák** okozzák az egymást követő mérési eredmények szóródását. Az ilyen bizonytalanságának is megvannak az okai (*ugyancsak az előbbi három forrásból*). Hiányos ismeretük, vagy véletlenszerűségük miatt azonban előre számítani nem tudjuk, és így ezek a hibák számításal nem korrigálhatók. Mégis van lehetőség a csökkentésre. Például a hullámszórt által okozott bizonytalanságot megszüntethetjük a tartályba helyezett függőleges csővel, vagy elválasztó fallal, amely a mérési helyet elválasztja a hullámszórt tértől. A sugárzott elektromos zavarokat csökkenthetjük árnyékolással, a vezetett zavarokat a tápvezetékekbe beiktatott szűrőáramkörrel.

3.3.1. Megismételhetőségi hiba és a mérési eredmények szűrése

A hagyományos értelmezés szerint a mérések megismételhetősége (*repeatability*) a változatlan feltételek mellett, rövid időn belül megismételt mérések eltérését, szóródását jelenti.

A mérés technikában közismert szlogen az „egy mérés nem mérés”. Ez arra utal, hogy ugyanazt a paramétert többször megmérve és átlagolva, *(esetleg a nagyon eltérő, nem hihető értéket figyelmen kívül hagyva)* a valódi értéket jobban megközelítő eredményt kaphatunk. Például egy személy adott mérőszalaggal, távolságot mér. A hiba csökkentése érdekében öt leolvasást végez, és az eredményeket átlagolja. Ezzel azonban csak a leolvasási hibát csökkenti. A kezdőpont illesztéséből, a szalag egyenes lefektetéséből, megfeszítéséből származó hibákat az öt mérés átlagolása nem csökkenti, hiszen ezek a tényezők a mérések közben nem változtak. Az utóbbi három hiba csökkentéséhez a mérőszemélynek, ezeket a lépéseket is újra el kell végezni. Az így mért értékek átlagolásával csökkenthetjük a mérőszemély által okozott hibát. Ugyanakkor az átlagolás nem csökkenti például a környezeti hőmérséklet által okozott hibát. Tehát azokat a *(rendszeres)* hibákat, amelyek minden mérésnél egyformán torzították az eredményt, az átlagolás nem csökkenti. *(A pontosság megtartása mellett elkerülhetjük a mérések megismétlését, ha olyan mérőhelyet alakítunk ki, ahol a kezdőpont gondosan beállított és rögzített (például ütköző használatával), a mérőszalag vezetése és feszítése jól meghatározott, és a helyes leolvasást optikai eszköz segíti.)*

A távadók emberi beavatkozás nélkül, folyamatosan szolgáltatják a mért jellemző pl. a folyadékszint aktuális értékét. Ez azt jelenti, hogy a helyi kijelzőről folyamatosan leolvasható a mért szint, vagy az analóg kimeneten folyamatosan jelen van a szintet reprezentáló analóg jel ($4-20\text{ mA}$). Emellett a mért értékek digitális kommunikációval bármikor lekérdezhetők, vagy valamilyen időközönként digitálisan távadhatnak. Ugyanakkor a szintmérés a legtöbb megvalósítási elv szerint időnkénti, tehát mintavételezés szerű. Ennek gyakorisága az intelligens készülékekben nem mindig szigorúan meghatározott periódusú. A kétvezetékes távadók teljesítményfelvétele korlátozott ($\text{max. } 40\text{ mW}$), ezért a készülék úgy gazdálkodik az energiával, hogy változtatja a mérés ütemét. A mérendő távolság

is befolyásolhatja a mérés ütemét, valamint a helyszíni kezelés, vagy a központtal való kommunikáció is beleszólhat a mérés időzítésébe. Folyamatos mérésről beszélni mégsem ellentmondásos, mert a szokásos ipari folyamatokban a változások olyan lassúak, hogy az alkalmazott mérési szaporaság ($0,1-1$ mérés/s) elegendő a jel követéséhez. Vannak készülékek, amelyekben a szenzor folyamatosan érzékel, de a digitális jelfeldolgozás szakaszos, tehát a kimeneti jel itt is valamilyen ismétlődési idővel mért értékek sorozata.

A mért szint változatlansága mellett (nincs töltés vagy ürítés) a mért értékek sorozata apró ingadozást mutat. Ennek okozója a folyadék kis hullámozása, a tartály rezgése, a környezetből származó zavarok, a digitalizálás és az áramkörökben keletkező zajok, tehát amelyek egymástól és a többi befolyásoló tényezőtől függetlenül, véletlenszerűen jelentkeznek. *(Az úszós szintmérőkben a kis hullámozás és a tartály rezgése hasznos is lehet, mert az úszó súrlódási hibáját és a mágneses hiszterézis hibát lecsökkenti.)* A kimeneti jel lehet analóg vagy digitális, ez a hatás mindig fellép. Ezek a véletlenszerű hibák az egymást követő n darab eredmény átlagolásával csökkenthetők. A mért távolság feldolgozása, a távolságból a szint vagy térfogat kiszámítása, digitálisan történik. Ezért a mért jel stochasztikus ingadozásának szűrése is a digitális szoftver dolga. A szűrés lényege, hogy a kimeneti jel kiszámításában az utolsó mérést megelőző mérések eredményét is figyelembe vesszük, valamilyen súlyozással.

A két szokásos módszer *(felejtő átlagolás, csúszó átlagolás)* mellett, a nem hihető minták eldobását is használják. A szűrés annál hatékonyabban csökkenti a zavaró ingadozást, minél hosszabb időre átlagolunk, vagyis minél több mérési eredmény vesz részt az átlagolásban. A NIVELCO műszereknél megszokott szűrés jellemző paramétere a dt idő, *(beállási idő)* amely programozással beállítható a $0-99$ s vagy $0-300$ s időtartományban.

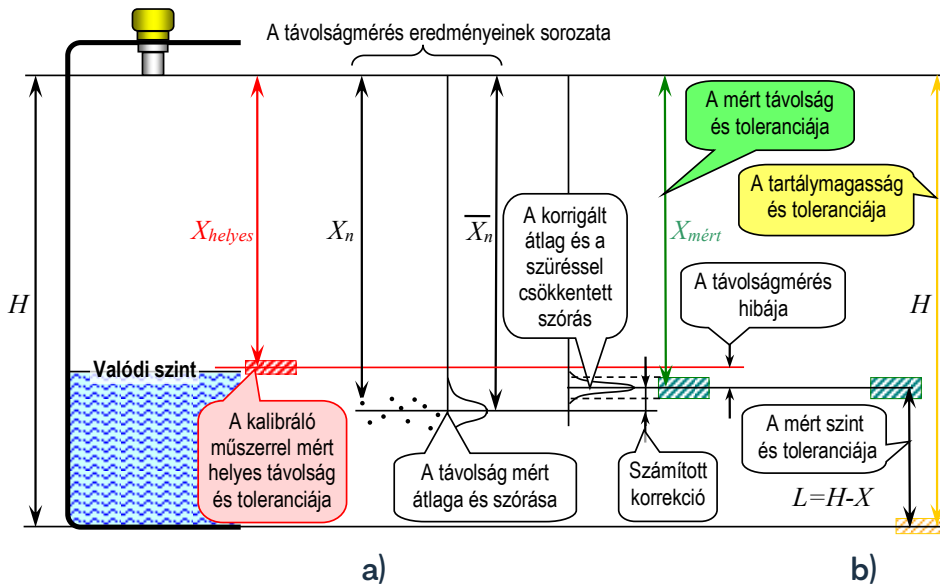
Ezt úgy kell értelmezni, hogy a szint ugrásszerű változását követően a kimeneti jel exponenciálisan változva közelíti meg az új értéket, és dt idő elteltével a megközelítés 1%-on belül kerül. Ilyen változás valóságos körülmények között ritkán történhet. Ezzel szemben gyakori az állandó sebességgel történő töltés vagy ürítés. Ilyenkor a szűrés következtében a kimeneti jel lemarad a változó szint mögött. A lemaradás dinamikus mérési (követési) hibának tekinthető. A hiba nagysága a töltési $+v$ (vagy ürítési $-v$) sebességtől és a dt időtől függ. A következő összefüggéssel számítható *(jól becsülhető)*.

$$\text{Követési hiba} \approx -0,2 \, dt \cdot v$$

A sebesség nevezőjében s *(másodperc)* a mértékegység. A hiba abban a mértékegységben adódik, ami a sebesség számlálójában van. Abban az esetben, ha a tartály töltési térfogata a szinttel nemlineárisan változik (fekvő henger vagy gömb alakú tartály) a számítás a térfogatra nézve nem érvényes. Kis beállási idő ($dt < 10$ s) beállítása mellett az egyéb késleltetések miatt, a követési hiba számítása pontatlan. A gyártók az időállandó megvalósításában és megnevezésében nem egységesek. A követési hibát megadó összefüggés a NIVELCO gyártmányú készülékek dt paraméterére érvényes. A készülék telepítése után a dt időt érdemes úgy beállítani, hogy legyen minél nagyobb, de még ne okozzon zavaró mértékű követési hibát.

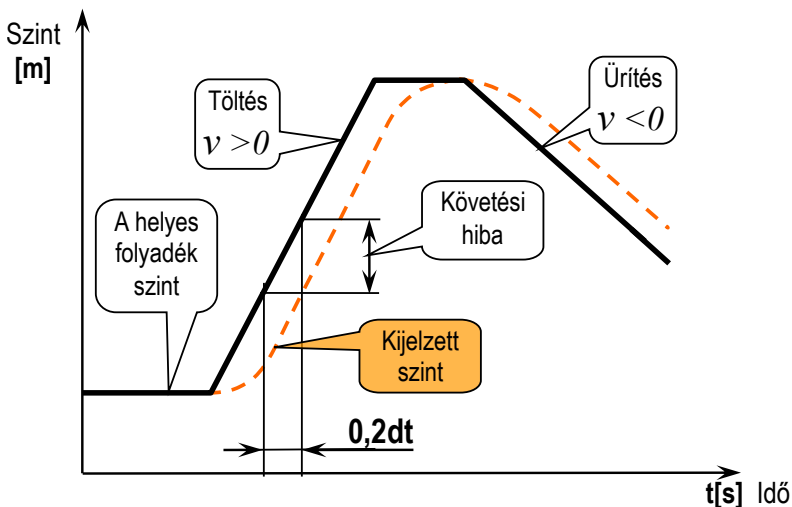
3.3.2. Reprodukálhatóság

Hagyományos értelmezés szerint a mérési eredmény reprodukálhatóságának jellemzője, hogy ugyanazt a mennyiséget (*adott objektum adott paraméterét*) más feltételek között, milyen eltéréssel méri. A más feltétel jelenthet más mérőszemélyt, más műszert, más helyszínt, más időpontot.



3.3. ábra

A távolságmérés hibája **(a)** és a szintmérés hibája **(b)** közötti kapcsolat. A szintmérés toleranciája tartalmazza a távolság és a tartálymagasság toleranciáját is



3.4. ábra

A szint kijelzett értéke és a helyes érték közötti eltérés, állandó sebességű töltés és ürítés közben (*dinamikus mérési hiba*)

A távadók természetes tulajdonsága, hogy kezelői beavatkozás nélkül, hosszú időn keresztül, változatlan mérőhelyen „ugyanazt az anyagot” mérik. Közben változik a szint és múlik az idő. A távadóknál a reprodukálhatóságot értelmezhetjük úgy, hogy egy adott szintnél mért eredmény és egy későbbi időpontban ugyanennél a szintnél mért eredmény mennyivel tér el egymástól.

3.3.3. Linearitási hiba

A bemutatásra kerülő szintmérési eljárások elvileg lineárisak, így a távolságmérésen, vagy nyomásmérésen alapuló szintmérés is. Linearitási hibát, vagyis az ideális egyenes karakterisztikától eltérést csak nagyobb pontossági igény esetén tapasztalunk. Például az ultrahangos mikrohullámú és magnetostrikciós készülékeknél a visszhangjel amplitúdójának csökkenése okoz ilyet, növekvő távolságnál. A linearitási hiba a referencia feltételek melletti mérésnél is megjelenik, mert a referencia feltételek a mérési tartományt nem korlátozzák. A hiba az azonos típusú készülékben hasonlóan jelentkezik, ezért a gyártó a mérési tapasztalatok felhasználásával készíthet egy átlagos hibagörbét, amit **korrekció céljából** beépít a szoftverbe. Drága műszereknél fordul elő, hogy egyedi hibagörbét adnak meg, vagy tanítanak be a készüléknek és így még hatásosabban csökkentik a linearitási hibát. Az ilyen korrekció után megmaradó hiba ellenőrzéséhez több mint 5 ponton kell kalibrálni a készüléket.

A mérőrendszer előbbi nemlinearitását meg kell különböztetni attól az erős nemlinearitástól amit, a térfogat távadásánál a tartály alakja okoz. A fekvő henger, gömb vagy kúp alakú tartályban az anyag térfogata nem arányos az anyag szintjével. A nemlinearitás ebben az esetben a szint és a térfogat közötti számított kapcsolatban van, és a hiba nagyrészt attól függ, hogy a számítás módja és a szükséges adatok mennyire helyesek. Ezért ezt a hibát szokták alakhibának is nevezni. A probléma megoldását segítheti a szint és a kimeneti mennyiség (*például térfogat*) közötti kapcsolat pontos megmérése és táblázatba foglalása a tartály kalibrálása során. A NIVELCO gyártmányú szintmérőkben maximálisan 32 értékpárral megadott táblázat tárolható. A táblázatban megadott pontok között, a készülék lineáris interpolációval számol.

3.3.4. Hiszterézis hiba és súrlódási hiba

Ezek a hibák az elektromechanikus szerkezetű távadókban játszottak jelentős szerepet. Azt eredményezték, hogy a mért mennyiség változásának irányváltásakor a hiba is előjelet váltott. A bemutatásra kerülő szintmérők némelyikében megjelenik ez a hibatípus, de olyan kis mértékben, hogy nem érdemes az egyéb véletlen hibák közül kiemelni. A hiszterézis hiba forrása az anyag belső súrlódása, például a nyomásmérő membránjában vagy a mágneses hiszterézis a magnetostrikciós készüléknél magnetostrikciós szálban. Külső súrlódási hiba léphet fel az úszós szintmérők úszója és vezetőcsöve között. Ilyen jellegű hiba a tisztán elektronikus szintmérőknél nem jelentkezik.

3.3.5. A távadók kimeneti jelének felbontása

A felbontás, vagy felbontóképesség a digitális kijelzőn megjelenő legkisebb változás. A digitális kézműszerek több méréshatárúak, és ezek a méréshatárok 1:10 arányban állnak. Tehát egy méréshatáron belül a 10–100%-ig kell használni a kijelzést. A kijelzés formátuma együtt változik a méréshatárral.

A szintmérők egy méréshatárúak, és azon belül a minimális és maximális távolságok aránya 1:20, 1:40 is lehet. Ezért indokolt, hogy a kijelzés felbontása, alkalmazkodva a mérési hibához, változzon a kijelzett mennyiség függvényében. A mérési tartomány kis értékeinél szükség van a mm-es felbontásra, a mérési tartomány nagy értékeinél ugyanez a felbontás zavarja gyors és biztonságos leolvasást. Ezt mutatja be az alábbi példa, ahol három egymást követő kijelzett értéket látunk, négy különböző távolság környezetében.

128,2 cm	128,3 cm	128,4 cm	felbontás: 1 mm
345,0 cm	345,2 cm	345,4 cm	felbontás: 2 mm
673,5 cm	674,0 cm	674,5 cm	felbontás: 5 mm
1326 cm	1327 cm	1328 cm	felbontás: 1 cm

3.3.6. A kimeneti áramgenerátor hibája

A távadó az analóg kimeneti jelet (4–20 mA) a digitálisan kiszámított és a programozással kiválasztott jellemzőből *D/A* átalakítással hozza létre. Így a digitális kommunikációval továbbított jelekhez képest az analóg kimeneti jelnek járulékos hibája van. A *D/A* átalakító felbontása miatt az analóg kimeneti jel felbontása is eltérhet a digitális kimeneti jelek felbontásától.

3.4. A szintmérők ellenőrzése, kalibrálása, beszabályozása

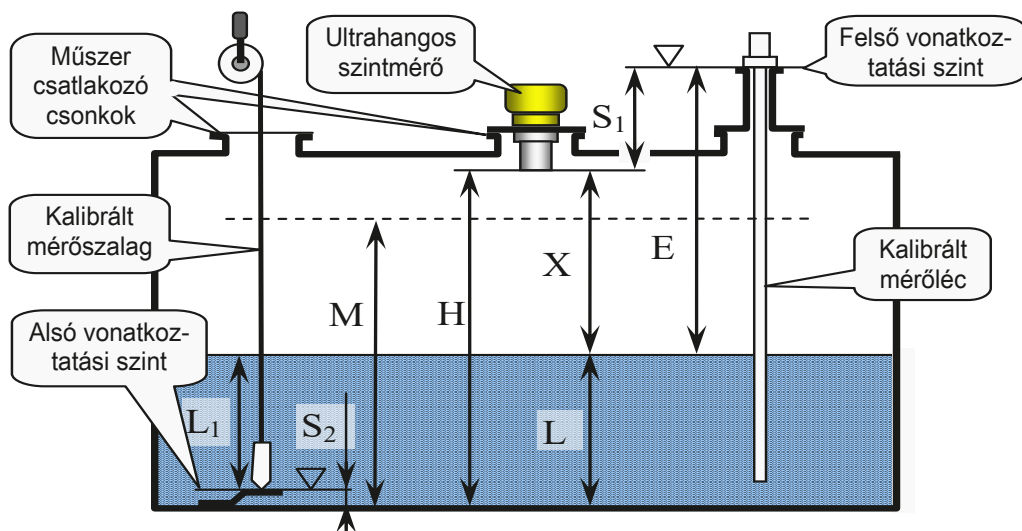
A következő fejezetekben tárgyalt szintmérők elsődlegesen távolságot, nyomást vagy kapacitást mérnek. A felhasználó számára fontos szintet vagy térfogatot a távadó ebből számítással határozza meg. A számításhoz szükség van a felhasználó által megadott tartálméretekre is. Hidrosztatikus nyomás, vagy kapacitásmérésnél a közeg tulajdonságait (*sűrűség, dielektromos állandó*) is ismerni kell. A numerikus számítás hibája elhanyagolható, de a tartálméretek és az anyagparaméterek hibája megjelenik a kimeneti eredményben. A mérés hibáit csökkentheti, ha az üzemeltetés helyére felszerelve valóságos mérési körülmények között kalibráljuk a készüléket. Látni fogjuk, hogy vannak olyan elven működő szintmérők, amelyeket csak ilyen módon történő kalibrálás után lehet használni. Érthető, hogy a gyártó ezt a szintmérőt, a gyártási folyamat végén, csak az elsődleges mennyiség (*távolság, nyomás, kapacitás*) mérése szempontjából tudja ellenőrizni, illetve kalibrálni.

A 3.5. ábrán, a tartályban az L szint helyes értékét két módszerrel mérik. A mérőléc nedvesítéséből leolvasott E távolság alapján kell az ultrahangos szintmérő által mért X távolság helyes értékét meghatározni. Ehhez ismerni kell a tartály felső vonatkoztatási pontja (a mérőlécenes mérés nullpontja) és a szintmérő homlokfelülete közötti függőleges S_1 távolságot. Az adat megtalálható a tartály műszaki adatai között vagy közvetlen mechanikai méréssel kell meghatározni. Az ultrahangos mérés függőleges irányvonala és a függőleges mérőléc nem esnek egybe, ezért S_1 meghatározása annál pontatlanabb, minél távolabb vannak egymástól. A mérőszalagos mérésnél L helyes értékét kívánjuk meghatározni, ami az S_2 távolság ismeretét igényli. Az ultrahangos készülék helyétől távolodva az L méret pontossága is romlik.

A leszerelés nélküli mérés folyamán a folyadék felszínének a tartályban nyugodtnak kell lennie, a tartályban keverés, töltés, ürítés a mérési eredmények leolvasása közben nem lehet.

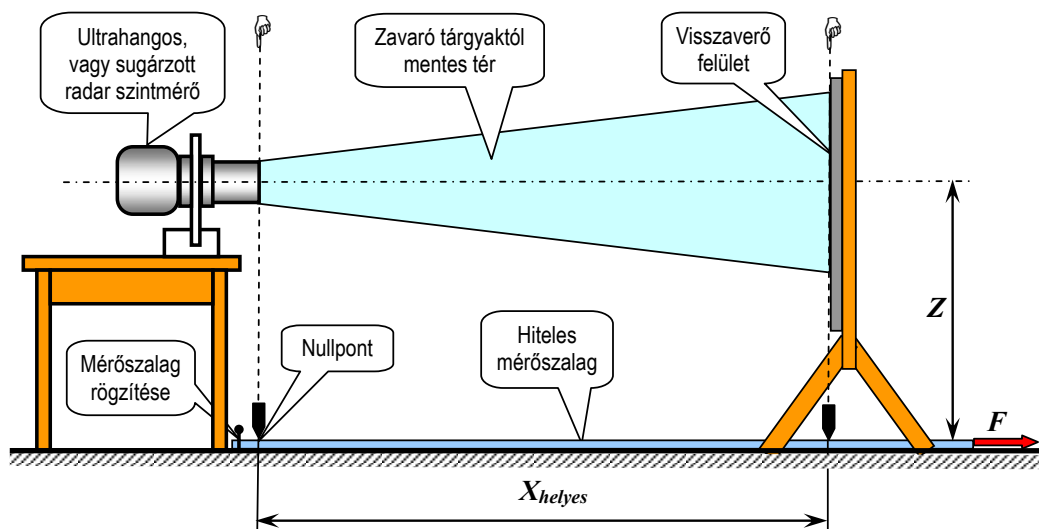
A távolságmérésen alapuló készülékek megfelelő műhely vagy laboratóriumi körülmények között is felprogramozhatók, de ahhoz pontosan ismerni kell a tartály méreteket. A készülékek időszakos ellenőrzéséhez és újra kalibrálásához azonban nem szívesen szerelik le azokat, inkább az üzemi körülmények közötti kalibrálást választják.

Ömlesztett szilárd anyagok mérésénél, a nagy tartályokban és silókban, még nehezebb biztosítani a kalibráláshoz szükséges feltételeket (rézsű, szemcsenagyság, és a ferde mérési irány miatt). Ez magyarázza, hogy gyakran választják a 3.6. ábrához hasonló megoldásokat.



3.5. ábra

A távolságmérés kétféle kalibrálása üzemi feltételek mellett, feszítősúlyos mérőszalaggal, vagy mérőléc



3.6. ábra

A távolságmérés kalibrálása laboratóriumi feltételek mellett. Az F erővel megfeszített mérőszalagról annál pontosabban leolvasható az X_{helyes} távolság, minél kisebb a Z méret

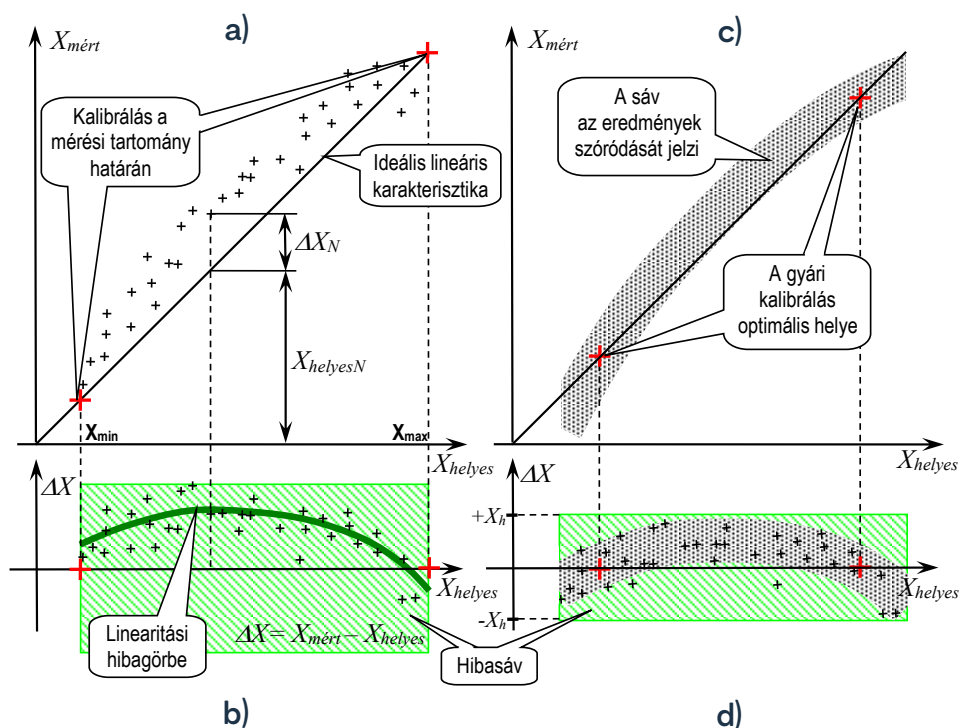
3.5. A távolságmérés eredő hibájának megadása

3.5.1. A szintmérők mérési hibáinak forrása és eredője

A mérő és távadó készülékekben keletkező mérési hibának sok, kisebb-nagyobb összetevője van. Ezek eredője adja a készülék mérési hibáját. A hiba összetevői a környezeti feltételektől is függenek, ezért a részletekbe menő megadásuk bonyolult, és a felhasználó számára kezelhetetlen. Ha a hiba megadását egyetlen adatra akarjuk egyszerűsíteni, (ilyen a *minőségi osztály*) akkor a hibát óhatatlanul túlbecsüljük. A valóságos hiba, pontosabb becslésére, a hibát legjobban befolyásoló tényezők hatását érdemes külön-külön figyelembe venni, és az eredő hibát ezekből számítani. Lehetséges, hogy valamely alkalmazásban egy lényeges környezeti feltétel (például a környezeti hőmérséklet) a referencia értékek között marad, míg más felhasználásnál olyan mértékben változik, hogy az lesz a domináns hiba okozója. A referencia feltételek mellett mért hibát a teljes mérési tartományra érvényesen kell megadni, ezért az a linearitási hiba mellett, az egyéb zavaró tényezők által okozott véletlen hibákat is tartalmazza. A felhasználó az alkalmazás üzemi körülményei közötti hibát kell hogy megbecsülje. Ez esetleg a névlegesnél kisebb mérési tartományt, de a referencia felételekben meghatározottnál nagyobb zavaró tényezőket jelent (nagyobb hőmérséklet, eltérő tulajdonságú anyag). Tehát a hibák egyszerű, de jó becsléséhez felhasználó a saját alkalmazási körülményeit mérlegelve becsülheti meg a rendelkezésére álló adatokból a konkrét hibát.

A sorozatban gyártott készülékek mérési hibáját több példányon végzett mérések eredményei alapján adják meg. A 3.7. ábrán a referencia körülmények között működő távadót a teljes mérési tartományban vizsgáljuk, ezért a domináns hibája a linearitási hiba lesz. A 3.7.a. ábrán a hibamentes készülék karakterisztikája az $X_{mért} = X_{helyes}$ egyenes. A + jelű mérési eredmények láthatóan nem esnek az ideális egyenesre. A bejelölt mérési eredményeket, egy elképzelt készülék típusra adtuk meg, hogy a mért hibák, a valóságosnál sokkal nagyobbak legyenek, így azok jól ábrázolhatók. Látszik, hogy az értékek szóródása mellett egyértelmű eltérés is van az ideális egyenes karakterisztikától. A mérést megelőzően a készülékeket a mérési tartomány elején és végén kalibrálták, vagyis e két helyen a mérési hibát minimálisra állították.

A 3.7.b. ábrán már csak a ΔX mérési hiba látszik, ami már a valóságos kis hibájú készüléknél is látható, hiszen tetszőlegesen kinagyítható. A szóródás ellenére felismerhető, a zöld vonallal rajzolt tendencia, ami a készülékek linearitási hibáját mutatja. Az is látható,



3.7. ábra

Több azonos típusú készüléken végzett mérési sorozat eredménye, és az ebből számított hibagörbe látható az (a) és (b) ábrákon. A láthatóság érdekében olyan elképzelt készülékeken végrehajtott mérés eredményét ábrázoltuk, amelyek hibája a reálisnál sokkal nagyobb. A készülékek kalibrálása a mérési tartomány két végpontján történt. A hiba előjelére nézve szimmetrikus hibasáv, a linearitási hiba szempontjából nincs jól kihasználva. A (c) és (d) ábrán ugyanazoknak a készülékeknek a megismételt mérési eredményei láthatók, miután a kalibrálási pontokat áthelyeztük. A mérési hibák a közel felére csökkentett hibasávban is elérik

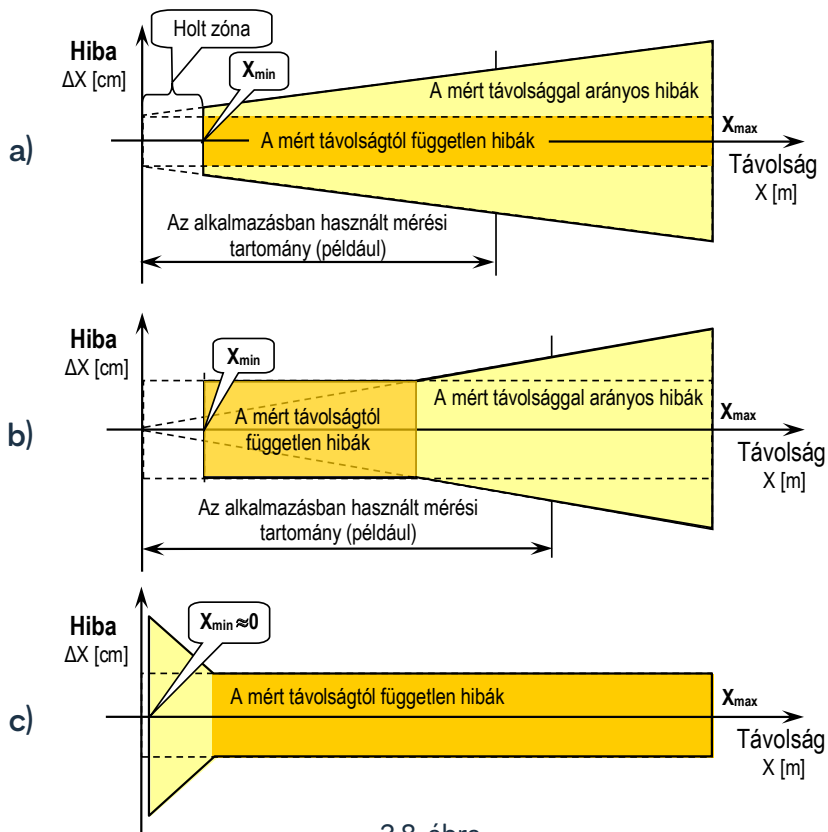
hogy szimmetrikus hibasávot használva, csak széles sávval lehet lefedni a készülékek mérési hibáit, mert a kalibrálás helyét mérési tartomány végpontjaira választottuk.

A **(c)** és **(d)** ábrán ugyanazoknak a készülékeknek a megismételt mérési eredményei láthatók, miután a kalibrálási pontokat áthelyeztük. A mérési hibák a közel felére csökkentett hibasávban is elférnek. Tehát mondhatjuk, hogy a referencia feltételek mellett a **(d)** ábrán látható hibájú készülékek linearitási hibája és a véletlen hibák eredője a teljes mérési tartományban, 95% valószínűséggel a $\pm X_h$ értékek között marad.

3.5.2. Tipikus hibasávok

A **3.7.** ábrán a teljes mérési tartományban állandó szélességű hibasávval, fedtük le a készülék rendszeres és véletlen hibáit. Ez nem mindig célszerű, mert a hiba a mérési tartomány mentén változhat. A **3.8.** ábrán különböző alakú hibasávokat látunk. Ezek, a mért távolságtól független és a távolságtól függő összetevőkből állnak. A gyártó, készülék típuson végzett mérései alapján választja ki azt a hibasávot, amely a legjobban illeszkedik a mért hibához. A **3.8.a** ábrán látható hibasáv olyan készülék eredő hibájának megadására való, amelynél a kétféle hiba, egyszerűen összeadódik. Ez akkor várható, ha a kétféle hiba nem független egymástól. A **(b)** ábrán a hibasáv úgy jellemezhető, hogy a mért távolságtól független, és az attól függő összetevő közül az érvényesül, amelyik nagyobb. Ez közelítőleg az az eset, amikor a kétféle összetevő négyzetesen összegezhető, mert függetlenek egymástól. A hibasáv a készülék mérési tartományának X_{max} határáig terjed, de adott alkalmazásban csak a felhasznált részét kell figyelembe venni. A távolságot futási idővel mérő szintmérők közös jellegzetessége, hogy a mérési tartomány, a nulla távolság közelében is korlátozott. Ezt fejezi ki az X_{min} minimális mérési távolság (blocking distance). Az X_{min} -nél kisebb távolság biztonsággal nem mérhető (a tartomány szokásos elnevezése: holt zóna). A **(c)** ábrán olyan szintmérő hibasávja látható, amelyben a mérési tartomány közel nulla távolságtól indul, de a kis távolságon jelentkező problémák miatt itt nagyobb hibára kell számítani. A készülékek hiba adatait leginkább a műszaki adatok táblázatban adják meg. Ezek értelmezését, és a felhasználás körülmények között érvényes hiba becslését is segíti a jól felépített hibasáv.

A kapacitív elven és a hidrosztatikus nyomással mérő szintmérőknél is használhatók a **3.8.** ábrához hasonló hibasávok, de ott a távolság helyett a szint lesz a vízszintes tengelyen. A **3.8.** ábrán látható hibasávok számadat nélküli példák. A valóságban ezek kombinációi is lehetségesek, olyan adatokkal amilyen a készülék tényleges mérési hibájából következik. Arra is lehetőség van, hogy a hibasávot a járulékos hőmérsékleti hibával is megnöveljük.



3.8. ábra

A különböző működési elvű szintmérő készülékek jellegzetes eredő hibáját ábrázoló hibasávok

3.6. A tartálméretekkel számított kimeneti jellemzők hibája

3.6.1. A mért távolság alapján számított szint hibája

A távolságmérésen alapuló szintmérőknél a távolság a készülék elsődleges kimeneti jele. A gyártó a távolságmérés hibáját adja meg, a **3.8.** ábrán bemutatott módok valamelyikével. A készülék a távolságból digitálisan számítja a szintet, ami a másodlagos mért mennyiség.

A szint kiszámítása: $L = H - X$

A szint abszolút hibája: $\Delta L = \Delta H - \Delta X$

A ΔX és ΔH tartalmazza a hibának mind a rendszeres, mind a véletlen részét. A szint hibáját csökkenthetjük, ha a H méretet a készülékkel mért X_H távolságértékkel adjuk meg. Azért beszélünk csökkenésről (és *nem megszűnésről*) mert a ΔX hiba véletlen része mérésről mérésre változik, és csak a rendszeres része esik ki.

A szint relatív hibája:
$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta H - \Delta X}{H - X}$$

A szint relatív hibája üres tartálynál értelmetlenné válik, hiszen a nevező nullához tart, ugyanakkor a távolságmérés ΔX hibája itt a legnagyobb, mert a mért X távolság is itt a legnagyobb. A tartályba benyúló szondával működő szintmérők nem tudnak a tartály aljáig mérni, tehát ezekkel a H méret nem határozható meg.

3.6.2. A szint alapján számított térfogat hibája

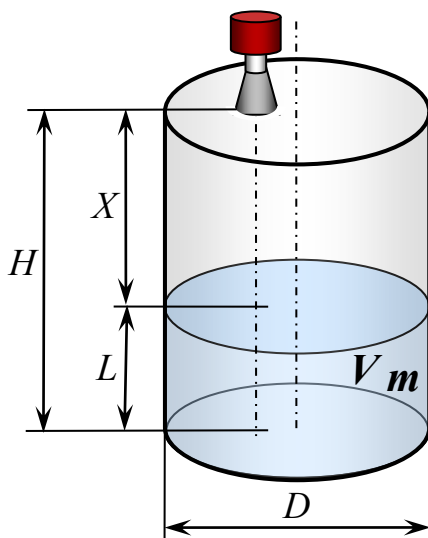
A térfogat kiszámítását elvégzi a távadó, ha kezelési leírásban bemutatott tartályalakok közül kiválasztjuk a megfelelő formát, és megadjuk a szükséges méreteket. A számítást elegendően pontos digitális aritmetika végzi, így az eredmény pontatlansága gyakorlatilag a kiindulási adatok pontatlanságától függ.

A legegyszerűbb, álló henger alakú tartálynál a térfogat:

$$V = \frac{D^2 \pi}{4} L = \frac{D^2 \pi}{4} (H - x)$$

$$\text{A térfogat hibája: } \Delta V \cong V \left[\frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{\Delta D}{D} \right]$$

A tartállyal kapcsolatos további hibaforrás, ha a tartálynak alakhibája van, tehát nem pontosan hengeres, vagy a D átmérő nem igaz a teljes magasságra. A bonyolultabb tartályalakok további méretek megadását igénylik, és esetleg számítási közelítést is tartalmaznak. Más a számítás menete, ha a tartályról kalibrációs táblázat készült, amely a szint és a hozzá tartozó térfogat értékeket tartalmazza. Ebben az esetben a távadó a térfo-



3.9. ábra
Hengeres tartályban tárolt
folyadék térfogata és tömege

gatot a táblázat alapján, a közbűlső helyeken interpolálva tudja meghatározni. A tartály adatok pontatlanságán túlmenően lehetséges hibaforrás még a folyadék hőtágulása, a tartály hőtágulása, és a tartály rugalmas deformációja, amit okozhat a tartályt terhelő hó, jég, vagy a mérőszemély.

3.6.3. A térfogat alapján számított tömeg hibája

A számított tömeg: $m = \rho \cdot V$

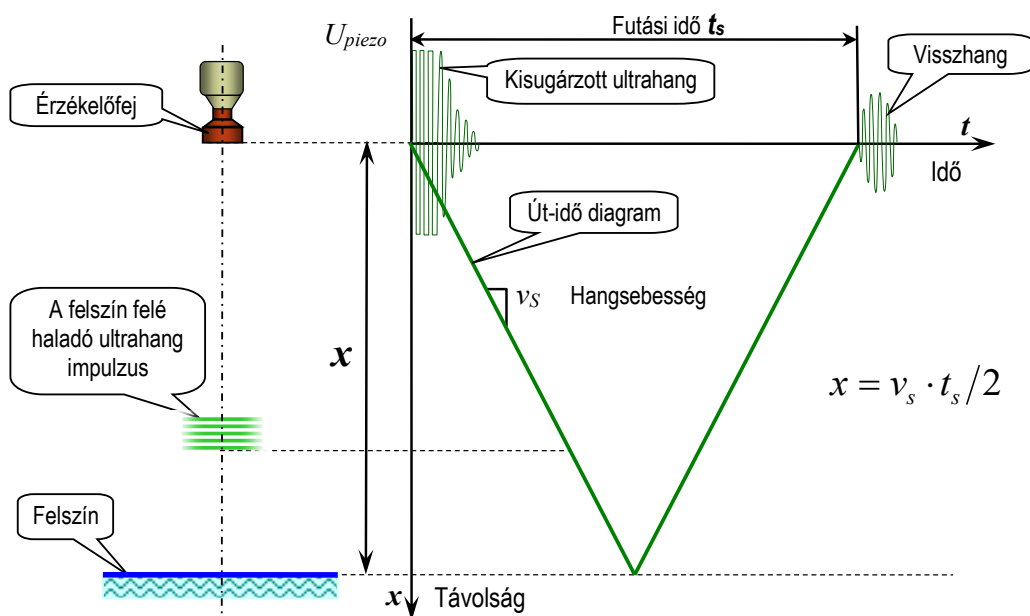
A számított tömeg hibája: $\Delta m \cong \rho \cdot V \left[\frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta V}{V} \right]$

Tehát a hibák, a távolságmérés ΔX hibájától kezdve halmozódnak.

4. Ultrahangos szinttávadók

4.1. A mérés alapelve

A szintmérési módszerek választékában, az addigi érintéses szintmérők mellett, mintegy negyven évvel ezelőtt jelentek meg az első érintésmentes mérést megvalósító, ultrahangos szintmérők. Igazi elterjedésüket a piezoelektromos kerámiával megvalósított érzékelőfejek tették lehetővé. Az ultrahangos szintmérők a visszhang elvén működnek. Az érzékelőfej a sugárzó és vevő feladatát is elvégzi. A tartály tetején elhelyezett készülék érzékelőfeje rövid ultrahangimpulzust sugároz a mérendő folyadék felszíne felé. A hang a tartály légterében haladva, a mérendő felszínről visszaverődik és a távolságtól függő futási idő múlva, visszaérkezik a készülékhez. A mérési ciklus időbeli lefolyását, az ultrahangimpulzus terjedésének út-idő diagramját mutatja a **4.1.** ábrán.



4.1. ábra

Az ultrahang útja a tartály terében és az út-idő diagramon

Az időtengelyre felrajzoltuk a kisugárzott ultrahangrezgés és a visszhang képét. Ezek a rezgések így jelennek meg egy oszcilloszkóp ernyőjén, ha annak bemenetére az érzékelőfej piezokerámia jelátalakítóján mérhető feszültséget kapcsoljuk. A visszavert jel késéséből (t_s) a v_s terjedési sebesség ismeretében kiszámítható a visszaverő felület távolsága:

$$x = \frac{v_s \cdot t_s}{2}$$

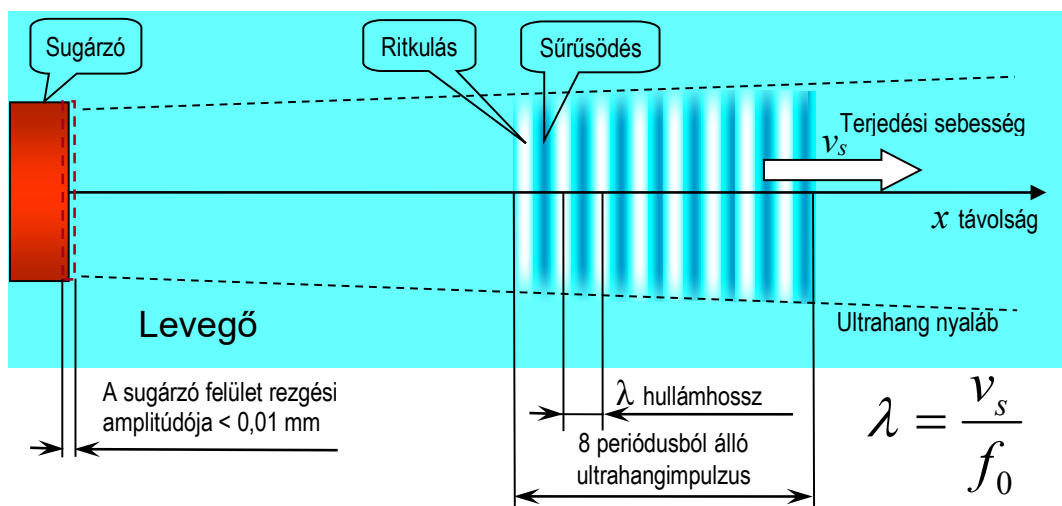
Tehát a készülék elsődlegesen távolságot mér, és a digitális jelfeldolgozás lehetőségeit felhasználva, ebből számítja a felhasználó által beprogramozott kimeneti jeleket. Ideális körülmények között egy kisugárzott impulzusból egyetlen visszavert impulzus keletkezik. Valóságos helyzetben a visszhang amplitúdóját erősen befolyásolják (csökkenetik) a terjedés és visszaverődés gyakran változó körülményei, és emellett az érzékelőfejbe bejutnak zavaró visszhangok is. A jól felismerhető visszhangot adó, egyszerű mérési feladatokra, a készülékek egyszerűen programozhatók.

Csupán a tartály adatait kell megadni, a működést befolyásoló egyéb paraméterekre a gyári beállítások megfelelőek. A nehezen megoldható feladatoknál, a készülék kiválasztásához és programozásához, a mérési módszer mélyebb ismerete szükséges, mert a készülék tudásának optimális kihasználásához kezelni kell a működést befolyásoló egyéb paramétereket is.

4.2. Az ultrahangimpulzus előállítása

A légnemű anyagokban csak longitudinális rezgés terjedhet, ami sűrűsödések és ritkulások sorozata (4.2. ábra). A kibocsátott ultrahangimpulzus f_0 frekvenciájú rezgés, és jellemzően 5–20 periódusból áll. Az ultrahangot, a sugárzónak nevezett részegységet állítja elő és adja át a levegőnek. Az elektromos gerjesztő feszültség hatására a sugárzó homlokfelülete dugattyúszerűen rezeg. Mivel a visszaérkező visszhangot ugyanez az egység fogja fel és alakítja át villamos jellé, érzékelőfejnek is hívjuk.

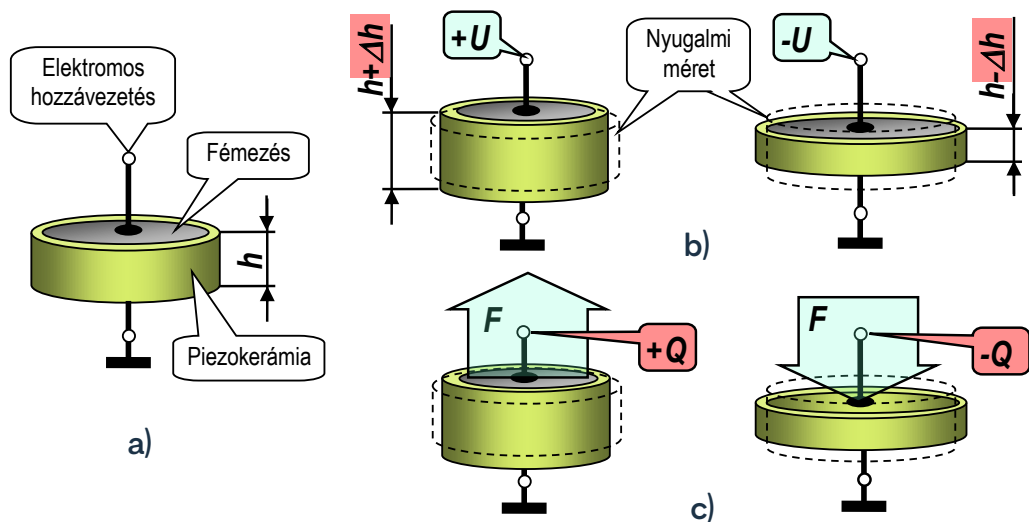
Az érzékelőfejben a villamos-mechanikai jelátalakító egy piezoelektromos kerámiából készített tárcsa, ami a két fémezett lapjára adott feszültség hatására megváltoztatja a vastagságát és átmérőjét (4.3. ábra).



4.2. ábra

A sugárzótól távolodó ultrahangimpulzus sűrűsödések és ritkulások sorozata

Ha a tárcsát külső erővel alakváltozásra kényszerítjük, akkor a fémhezéhez kapcsolt kivezetéseken töltés, illetve feszültség jelenik meg. Váltakozó feszültséggel gerjesztve,



4.3. ábra

A piezoelektromos kerámia részei (a). A tárcsa alakváltozása a rákapcsolt egyenfeszültség hatására (b). Külső erő hatására a kapcsokon töltés jelenik meg (c). Az alakváltozás nagysága nagyon eltűzött, a valóságban 100 V nagyságű feszűltségre $\Delta h = 0,02-0,06 \mu\text{m}$ vastagságváltozás jön létre

a felűletek a gerjesztés frekvenciájával rezegnek egymással szemben. A kerámia tárcsa, mint rugalmas és tehetetlen tömeggel rendelkező test, többféle rezonanciába hozható. Jelentűsen megnű a rezgés amplitűdója, ha a gerjesztés f_0 frekvenciája megegyezik a tárcsa valamelyik mechanikai rezonancia-frekvenciájával.

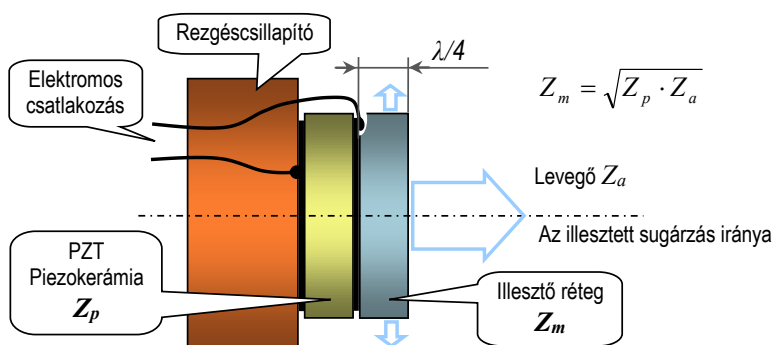
Szintmérű készülékekben a kívánatos sugárzó méretek és az ultrahang terjedési tulajdonságai alapján, a 15 kHz és 120 kHz közötti frekvenciatartomány használatos. A követűző táblázat néhány ultrahang frekvenciáját, és a levegűben mérhető hullámhosszát adja meg.

Ultrahang frekvencia (f_0)	15 kHz	30 kHz	40 kHz	50 kHz	80 kHz	120 kHz
Hullámhossz a levegűben (λ)	23 mm	11,5 mm	8,6 mm	6,9 mm	4,3 mm	2,9 mm

A levegű könnyen összenyomható és könnyű anyag, a piezokerámia kemény és a levegűnél sokkal sűrűbb anyag. Szakszerűen mondva, a kerámianak sokkal nagyobb az akusztikus impedanciája, mint a levegűnek. Az akusztikus impedancia mértékegysége a **Rayl**.

Anyag	Akusztikus impedancia
Levegő	415 Rayl
PZT kerámia	$31 \cdot 10^6$ Rayl
Víz	$1,48 \cdot 10^6$ Rayl
Olaj	$1,4 \cdot 10^6$ Rayl
Illesztő anyag	$110 \cdot 10^3$ Rayl

Az impedanciák nagy különbség azt eredményezi, hogy az ultrahangrezgés gyakorlatilag nem lép át a kerámia anyagból a levegőbe, *(a szilárdból vagy cseppfolyósból a légne-műbe illetve fordítva)* hanem a határfelületen visszaverődik. A rezgés átvitelének javításá-ra a nagyfrekvenciás elektronikában ismert impedancia illesztést kell használni.



4.4. ábra

Akusztikus illesztés $\lambda/4$ vastagságú réteggel. Az illesztés az előre *(jobbra)* irányuló sugárzásra hatékony, és egy kicsit az átmérő irányban is hat. A rezgéscsillapító anyag feladata, hogy megakadályozza a hátra *(balra)* sugárzást, és az adás után csillapítsa a piezokerámia rezgését *(rövidítse a lecsengést)*

Ennek megvalósítása a $\lambda/4$ vastagságú illesztő réteg, amit a két anyag akusztikus impedanciája közötti ~ 100 kRayl impedanciájú különleges keverék anyagból kell készíteni (4.4. ábra). Az akusztikus illesztéssel a gyakorlatilag nulla átvitel 2–5% átvitelre növelhető. Az illesztés az ultrahang kisugárzását *(adás)* és érzékelését *(vétel)* egyaránt javítja. A levegő nagyon kicsi akusztikus impedanciájának előnye is van, hiszen ennek köszönhető, hogy a kisugárzott ultrahang impulzus a mérendő folyadék felszínéről közel száz százalékban visszaverődik.

4.3. Az érzékelőfej

Az ipari környezetben használt készülékek érzékelőfejének, az akusztikai tulajdon-ságokon kívül más követelményeket is teljesíteni kell. A környezeti hatások ellen, zárt to-kozással védeni kell a belső részeket. Kialakításukkal az iparban használatos technológiai csatlakozásokhoz kell alkalmazkodni. Folyadékos tartályoknál, az általánosan használt

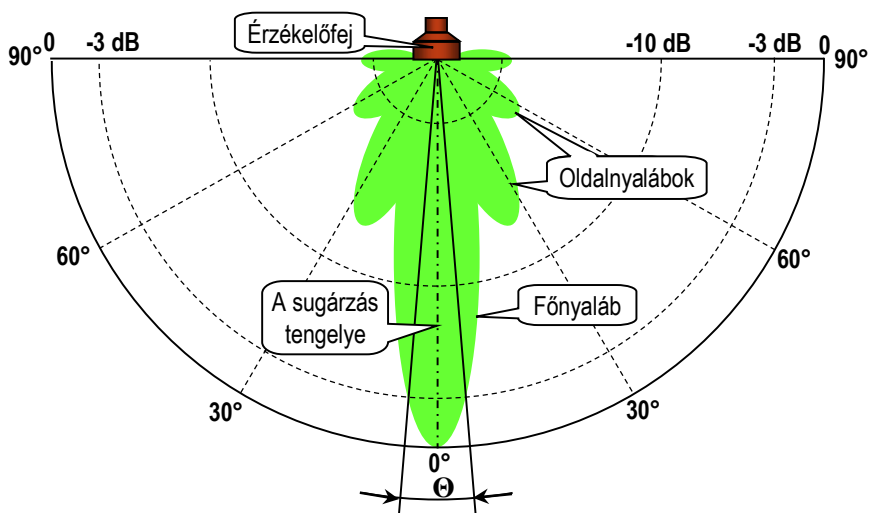
csatlakozó elemek, a karima vagy a menetes csőcsonk. A tokozás és a felszerelésre szolgáló részek kialakítása, hatással vannak az akusztikus tulajdonságokra.

A lehetséges felhasználási területet befolyásolja még az érzékelőfejre megengedett, (illetve a tartálytérben fellépő) hőmérséklettartomány és nyomástartomány. A hőmérséklet határokat a fejben használt anyagok akusztikus tulajdonságainak hőmérsékletfüggése (*hidegben keményedik, melegben lágyul*) korlátozza. Így egyes típusoknál indokolt lehet megkülönböztetni a mérés közben és kikapcsolt állapotban (*CIP mosó program alatt**) megengedett legnagyobb tartálytér hőmérsékletet.

Légüres térben nem terjed az ultrahang, ezért a nyomás alsó határát a terjedés romlása, felső határát a nyomás okozta deformáció, korlátozza. Folyadéknál 0,3–3 bar szilárd anyagok szintmérésére gyártott sugárázóknál 0,9–1,1 bar a tipikus megengedett tartomány. A következő fejezetben látni fogjuk, hogy a mikrohullámú szintmérők sugárázóinál a hőmérséklet és nyomás tekintetben kedvezőbbek a lehetőségek. A készülékek robbanásbiztonsága nagyon sok alkalmazási területet érint, de a fontosságának megfelelő mélységű tárgyalását a terjedelmi korlátok itt nem engedik meg.

4.3.1. Az érzékelőfej iránykarakterisztikája

Az érzékelőfejnek a homlokfelületén kell sugároznia, a tengelyvonal irányában. Ez a sugárzás hasznos főnyalábja, de emellett kisebb intenzitással oldalnyalábokat is sugározni fog, amelyek a mérés szempontjából kedvezőtlenek. A sugárzás térbeli eloszlása közel forgásszimmetrikus. Ennek egy metszetét mutatja a **4.5.** ábrán látható iránykarakterisztika. A főnyaláb kismértékben széttartó, az intenzitása legnagyobb a sugárázó tengelyvonalában és attól kitérve erősen csökken.



4.5. ábra

Az érzékelőfej jellegzetes iránykarakterisztikája. A főnyaláb kúpszöge -3 dB intenzitás csökkenéshez tartozik

A főnyaláb egyszerű jellemzésére a Θ sugárzási kúpszöget használják, ami megadott mértékű intenzitás csökkenéshez tartozik. Az már durvább közelítés, ha úgy tekintjük, hogy a nyaláb a Θ nyílásszögű kúpon belül egyenletes, a kúpon kívül pedig nincs sugárzás. A kúpszög és az iránykarakterisztika alakja elsősorban a sugárzó felület átmérőjétől, függ. A dugattyúszerűen rezgő homlokfelületű sugárzó főnyalábjának kúpszöge közelítőleg:

$$\Theta \approx 60^\circ \frac{\lambda}{D}$$

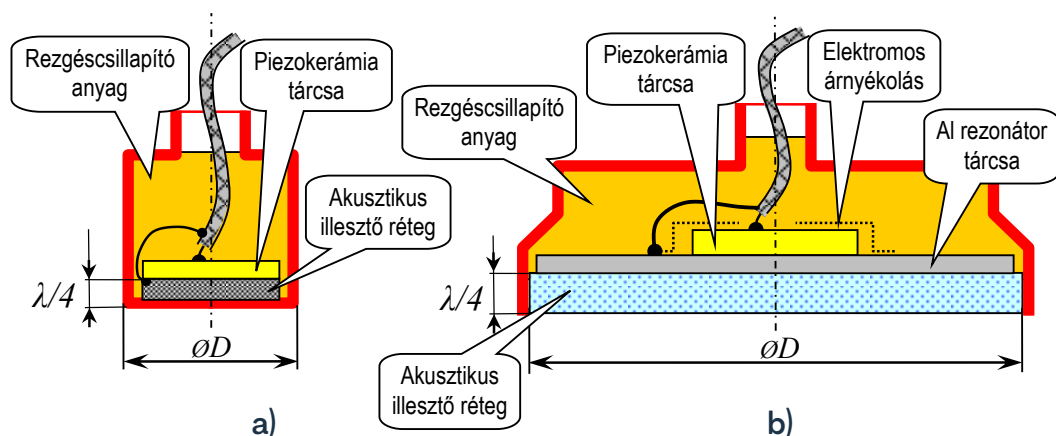
Tehát szükséges, hogy a sugárzó felület D átmérője a hullámhossz 10...15-szerese legyen. Különböző gyártók a kúpszög megadásánál eltérő gyakorlatot követnek. Ezért a készülékek összehasonlításánál tudni kell, hogy a megadott szög

- teljes- vagy félkúpszög,
- mekkora intenzitás-csökkenéshez tartozik (-3 dB , 50% , $1/\sqrt{2}$),
- csak az adás, vagy adás-vétel együttes hatását veszi figyelembe.

Az oldálnyálábok akkor okozhatnak zavart, ha figyelmen kívül hagyjuk a felszereléssel és elhelyezéssel kapcsolatos tanácsokat. A levegő később vizsgálandó csillapító hatását is figyelembe véve adódik a paraméterek között a következő konstrukciós összhang: Minél nagyobb hatótávolságot akarunk elérni, annál kisebb frekvenciát kell használni, és annál nagyobb lesz a sugárzó átmérője. A piezoelektromos átalakítóval működő érzékelőfej robusztus, teljesen zárt tokozású. Az érzékelőfej csak az üzemi frekvenciájának kis környezetében működik megfelelő hatásfokkal.

4.3.2. Érzékelőfej folyadékokra

Folyadékszint mérésénél gyakran agresszív gőzöket tartalmazó térben kell működni, ezért az érzékelőfejek vegyi anyagokkal szemben ellenálló, zárt burkolattal készülnek (4.6.a. ábra). A szokásos burkoló anyagok: polipropilén (PP), PVDF, PTFE, rozsdamentes



4.6. ábra

Az érzékelőfej jellegzetes keresztmetszete folyadékokra (a), és poros, darabos szilárd anyagok mérésére alkalmas kialakításnál (b)

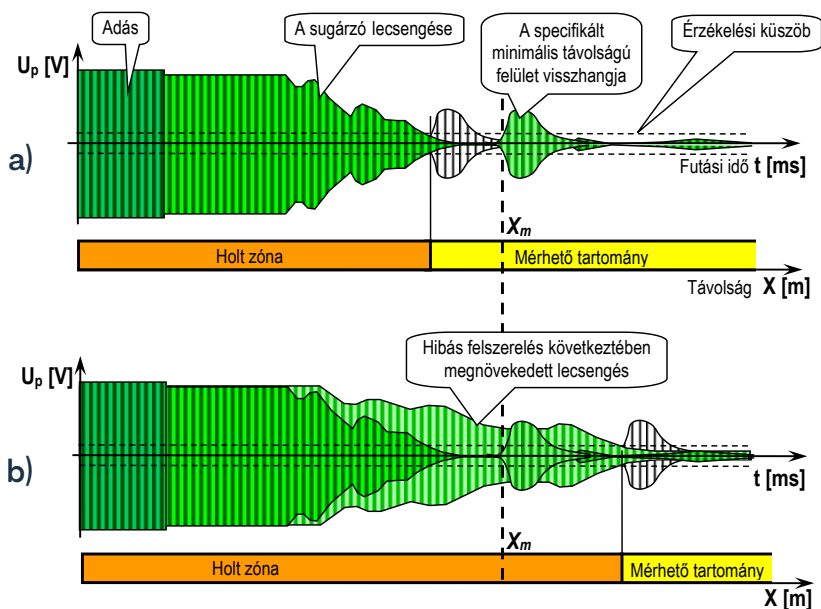
acéllemez. A burkolat homlokfelülete részt vesz a sugárzásban, ezért anyaga befolyásolja a sugárzás hatásfokát, a lecsengést és a költséges anyagok miatt a készülék árát.

4.3.3. Érzékelőfej poros és ömlesztett szilárd anyagokra

A szilárd anyagok és száraz porok mérésére használt érzékelőfejeknél a vegyi ellenálló képesség helyett inkább az adás-vétel hatásfokának javítása a követelmény. Ebben az esetben, az akusztikus illesztést megvalósító könnyű de kemény műanyag hab, közvetlenül a levegővel érintkezik (4.6.b. ábra). Szivacsos szerkezete miatt azonban nedves, párás környezetben nem használható, és vegyi ellenállása is gyenge.

4.3.4. Lecsengés és holtzóna

Az érzékelőfej homlokfelülete az ultrahang kisugárzása (gerjesztés) közben szemmel nem látható, de tapintással érzékelhető rezgést végez. Adás után meg kell várni, amíg a rezgés amplitúdója annyira lecsökken, hogy már nem zavarja a jóval kisebb amplitúdójú visszhang érzékelését. Ez a jelenség a sugárzó lecsengése (4.7. ábra). A gerjesztés és a lecsengés együttes ideje határozza meg a legkisebb mérhető távolságot. A sugárzó homlokfelületétől a legközelebbi mérhető távolságig terjedő tartomány a holt zóna, amelyen belül nem tud mérni a készülék. Az X_m a készüléktípusra megadott gyári adat. Helyes felszerelés mellett ezt a távolságot tartalékkal mérni tudja a készülék (4.7.a. ábra).



4.7. ábra

A kisugárzott és a vett jelet, a piezoelektromos tárcsán mérhető U_p feszültség ábrázolja. Az (a) ábrán a sugárzó lecsengése lehetővé teszi X_m -nél kisebb távolság mérését. A (b) ábrán, a megnövekedett lecsengés miatt a holt zóna nagyobb, mint a specifikált minimális mérési távolság. A színezetlen visszhang, mindkét ábrán a ténylegesen mérhető minimális távolsághoz tartozik (a mérhető tartomány határán)

A hibásan felszerelt készülék lecsengése megnövekszik, így a legkisebb mérhető távolság akár nagyobb lehet, mint az X_m adat (4.7.b. ábra).

A különböző érzékelőfejek közül a nagyobb frekvenciájú tipikusan rövidebb idő alatt csillapodik le és így kisebb minimális távolság mérésére alkalmas, mint a kisebb frekvencián működő.

4.4. Az ultrahang sebessége

Szobahőmérsékletű levegőben a terjedési sebesség $v_{so} = 344,1$ m/s. A levegő páratartalma és más összetevői (pl. CO_2), a szokásos változási tartományukban nincsenek észrevehető hatással a sebességre. Az ultrahang frekvenciájától való függés is elhanyagolható. A hőmérsékletfüggés azonban olyan mértékű, (10°C hőmérséklet-változás ~1,7% sebességváltozással jár), hogy a gyakorlatban megkövetelt mérési pontosságot csak a hőmérséklet mérésével és az ennek alapján végzett korrekcióval lehet elérni. A hőmérsékletmérést az érzékelőfejbe beépített hőmérő, a korrekciót a távolságot számító szoftver végzi.

Végeredményben ez a hatás lesz az ultrahangos távolság vagy szintmérés pontosságának korlátja, hiszen egy nagyobb tartályban hiába mérjük a hőmérsékletet az érzékelőfej közelében, a légtér alsó és felső része között több °C hőmérsékletkülönbség lehet.

Egyes erősen párologó folyadékoknál (pl. oldószerek) a hangot közvetítő gázelegy összetétele a nyomás és a hőmérsékletváltozás hatására, vagy töltés és ürítés közben, sőt a töltöttség mértékétől függően is erősen változik. Az is lehetséges, hogy a nem egyenletes töménységű gáz, a teret rétegesen tölti ki. Ilyen körülmények között az ultrahangos mérés pontossága nagyon leromlik, és használhatósága csak körültekintő próbamérésekkel állapítható meg.

4.5. Az ultrahang intenzitásának csökkenése levegőben

A gázokban és gőzökben terjedő ultrahang a megtett úttal veszít az intenzitásából, mert elnyelődik a közegben. A párhuzamos nyalábban terjedő ultrahang intenzitása, hasonlóan sok másféle hullám terjedéséhez, a távolsággal exponenciálisan csökken: $I_x = I_o e^{-\beta x}$

Ahol: I_o a hang intenzitása a mért út elején

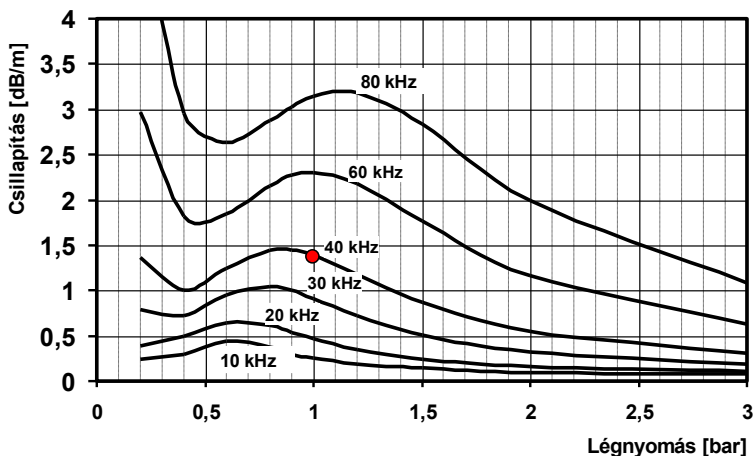
I_x a hang intenzitása a megtett x út végén

x a megtett út

β az elnyelés mértékére jellemző tényező

Az elnyelési mértéke bonyolult módon függ a gáz jellemzőitől. Összességében befolyásolja a hőmérséklet, a nyomás, a páratartalom, valamint a szennyező gázok és a szilárd részecskék (levegő por). Mindezek mellett kiemelt szerepet játszik az ultrahang frekvenciája. (Szerencsére a mérés pontosságát elsődlegesen meghatározó terjedési sebesség, nem ennyire érzékeny a körülményekre.) Hiteles mérési eredmények csak levegőre vannak. Ezeket foglalja össze a 4.8. és a 4.9. ábra.

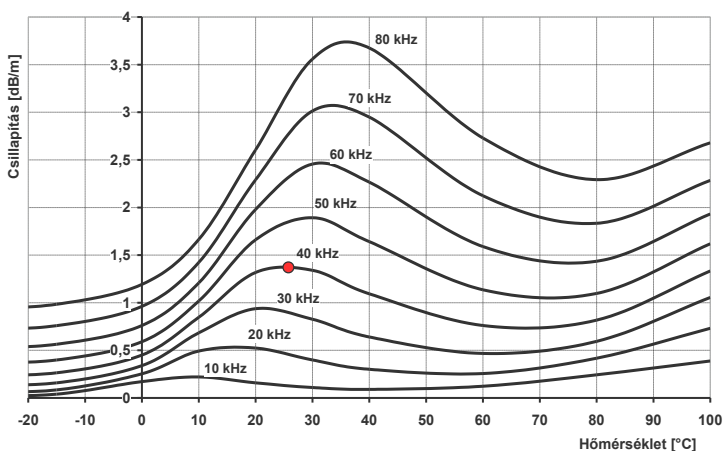
A szokások szerint az elnyelés csillapító hatását az egy méterre eső jelcsökkenéssel adják meg. Az ábráról leolvasható fontos jellegzetesség, hogy az ultrahang frekvenciájával a csillapítás minden körülmény mellett növekszik. Ennek tulajdonítható, hogy nagytávolságú mérésre ($x > 40\text{ m}$) csak 20 kHz-nél kisebb frekvenciát érdemes használni, illetve 200 kHz-es frekvenciával legfeljebb 1–2 m a mérési távolság.



4.8. ábra

Az ultrahang csillapodása levegőben, a frekvencia és a légnyomás függvényében.
A hőmérséklet +25°C, a páratartalom 50% (ISO 9613-1)

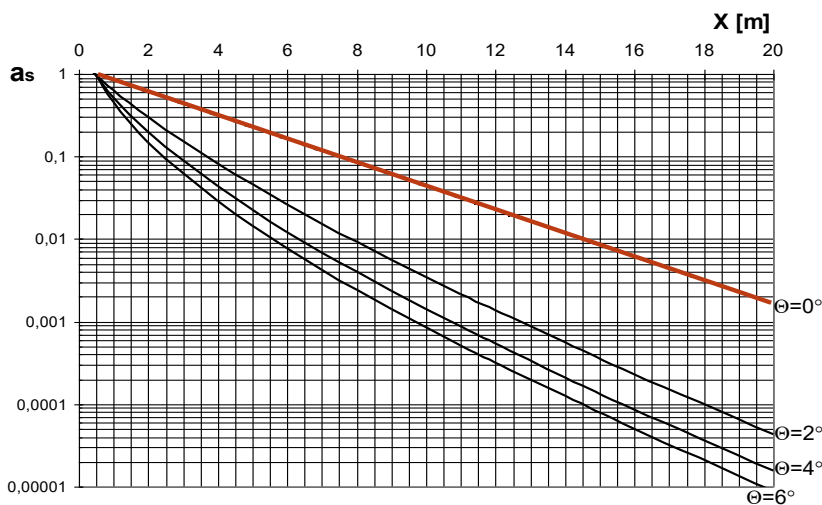
Az intenzitás csökkenését okozza még a sugárzás széttartása (*kúpszög*). A sugárzás intenzitása és a vétel érzékenysége a sugárzó tengelyének irányában a legnagyobb. A tengellyel szöget bezáró irányban az intenzitás az iránykarakterisztikával ábrázolt módon csökken. Az 5–7° sugárzási kúpszög mellett létrejövő intenzitás csökkenés hasonló vagy nagyobb mértékű, mint a levegő csillapítása (4.10. ábra).



4.9. ábra

Az ultrahang csillapodása levegőben, a frekvencia és a hőmérséklet függvényében.
A légnyomás 1 bar, a páratartalom 50%

A 4.10. ábrán látható, hogy nyugvó folyadékok felszínéről, (veszteség nélkül) visszaverődő visszhang amplitúdója $1:10^5$ arányban is változhat a közeli és távoli felszín között. Ennek a nagy dinamika tartománynak a feldolgozása, és a jó jel/zaj viszony megtartása, nagy követelmény elé állítja az erősítőt. A jel-zaj viszony javítása érdekében sáváteresztő szűréssel el kell távolítani a nem f_0 frekvenciájú zavaró jeleket (mert azok nem a kisugárzott ultrahang következményei). Emellett szükség van a erősítés növelésére a távolság, illetve a futási idő függvényében.



4.10. ábra

A visszhang csökkenése a távolság függvényében, ideális visszaverő felületnél.
Feltételek: 40 kHz, +25°C, 50% páratartalom, 1 bar légnyomás, 0°, 2°, 4°, 6° kúpszög

Az ömlesztett szilárd anyagok felületén történő diffúz visszaverődés a nyaláb széttartását is megnöveli, (Lásd 4.6.2. alfejezet.) tehát a visszavert jel intenzitása jobban csökken a távolsággal, mint a folyadékok mérésénél.

A távadók maximális mérési távolsága (X_M) a készülék típusra megadott adat. Átlagos terjedési és visszaverési feltételek mellett, határozták meg. A jelfeldolgozásba beépített korlátok miatt, a készülék nagyobb távolságot nem mér. Rossz mérési feltételek mellett a megvalósítható (mérhető) távolság ennél kisebb is lehet. Egyes alkalmazásoknál, időszakosan olyan kedvezőtlenek lehetnek a körülmények, hogy nem lesz értékelhető visszhang. A készülék ezt az állapotot felismeri, és amíg fennáll, hibajelzést ad.

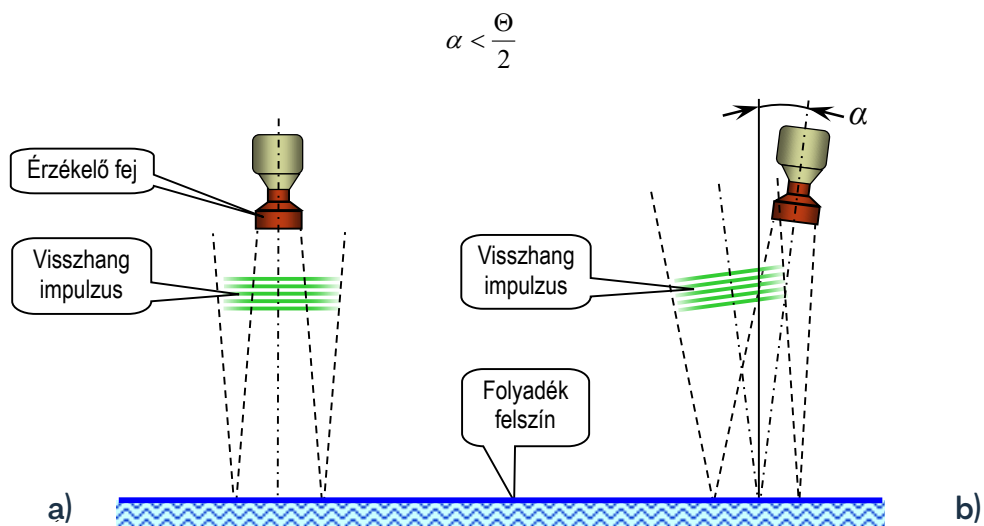
Az ultrahang terjedését zavaró körülménynek kell tekinteni a gáz (levegő) mozgását és a térben erősen változó sűrűségét. A levegő mozgása, a szél, eltéríti a hangot. Az ultrahang irányára merőleges 10 m/s-nál nagyobb sebességű légmozgás már olyan mértékben eltéríti azt, hogy nagyobb távolság mérésénél a visszavert jel elkerüli az érzékelőfejet.

4.6. Az ultrahang visszaverődése

A levegőben vagy más gázokban terjedő hanghullámok visszaverődnek (*reflektálódnak*) minden olyan határfelületen ahol a gáznál lényegesen sűrűbb közeggel, tehát folyadékkal vagy szilárd anyaggal találkoznak.

4.6.1. Visszaverődés folyadékokról

Az ultrahang nyaláb sík határfelülethez érkezőre a tükrözés szabályai szerint verődik vissza. Tökéletes visszaverő felület a nyugvó folyadék felszíne, vagy a nyalábnál nagyobb felületű sík lemez (*fém, fa, műanyag, sima fal*). Ezeknél a visszaverődés gyakorlatilag nem jár intenzitás csökkenéssel. Az érzékelőfejből kisugárzott ultrahangnak a mérendő felületről a kiindulási helyre kell visszaverődni, ami akkor valósul meg tökéletesen, ha a visszaverő felület merőleges a sugárzásra (**4.11.a.** ábra). Ebből következik, hogy a nagyon kis sugárzási kúpszögnek hátránya is van: pontosabban be kell tartani a visszaverő felület merőlegességét.

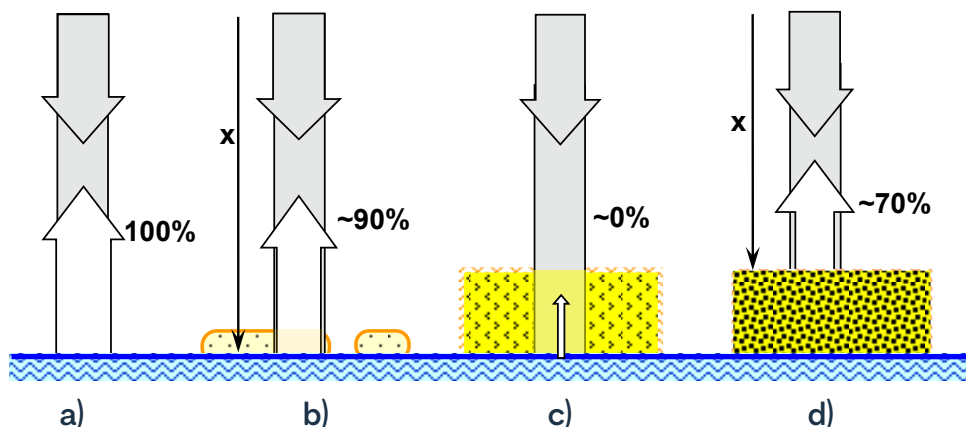


4.11. ábra

Tükrös visszaverődés a folyadék felszínéről. A **(b)** ábrán, a nem függőlegesen felszerelt sugárzót elkerüli a visszhang

Tehát folyadék mérésénél a sugárzó tengelyének 2–3°-on belül függőlegesnek kell lenni. Mérési nehézséget okoz, ha az álló hengeres tartályban a folyadék az erőteljes keverés következtében forog, és a felszíne forgási paraboloid alakot vesz fel. Keversebb problémával jár az enyhe hullámozás. Az időnként kimaradó, ingadozó visszhangokat

a jelfelismerés jól kezeli, inkább csak a mérési hiba növekedésére kell számítani. Könnyű habokba (pl. mosószeres víz, vagy sörhab) behatol az ultrahang, és nagy része elnyelődik. A behatolási mélység az anyag és a frekvencia függvénye. A néhány centiméternél vastagabb összefüggő habréteg az ultrahangos mérést megakadályozza. Sűrű nehéz haboknál a hab felszínét lehet érzékelni, de az alatta lévő folyadék felszínét nem (4.12. ábra).



4.12. ábra

Visszaverődés különböző minőségű habbal borított folyadékról. Habmentes felszín (a), vékony szakadozott hab (b), vastag hab (c), sűrű tömény hab (d)

A folyadékra és a szilárd anyagra javasolt készülékek illetve sugárzók megkülönböztetése, nem jelenti azt, hogy kisebb távolságon ne lehetne folyadékos készülékkel szilárd anyagot mérni.

4.6.2. Visszaverődés ömlesztett szilárd anyagokról

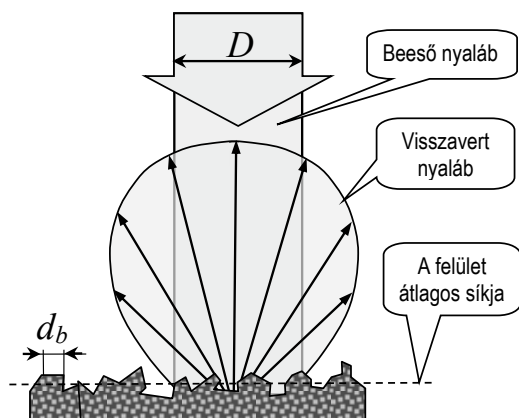
Más jelenségekkel kell számolni a darabos szilárd anyagok kisebb-nagyobb szemcsméretű változatainál. Az ömlesztett szilárd anyagok halmazának felszíne összerakható különböző méretű és irányú elemi felületek sokaságából. A 4.13. ábrán látható ilyen felület. A felület átlagsíkja merőleges a beeső ultrahangsugárra. Az elemi felületek d_b mérete megfelel a $D/10 > d_b > \lambda$ egyenlőtlenségnek, ahol D a sugárnyaláb átmérője. A visszaverődéssel a legkülönbözőbb irányú sugarak jönnek létre. Tehát a visszavert sugár minden irányba szóródik. Ez a diffúz (szórt) reflexió.

Az erősen széttartó reflektált sugár intenzitása a távolság növekedésével, sokkal erősebben csökken mint tükrös reflexió esetén. Végeredményben a szemcsés darabos szilárd anyagokról lényegesen kisebb visszhangot kapunk, mint a folyadékokról.

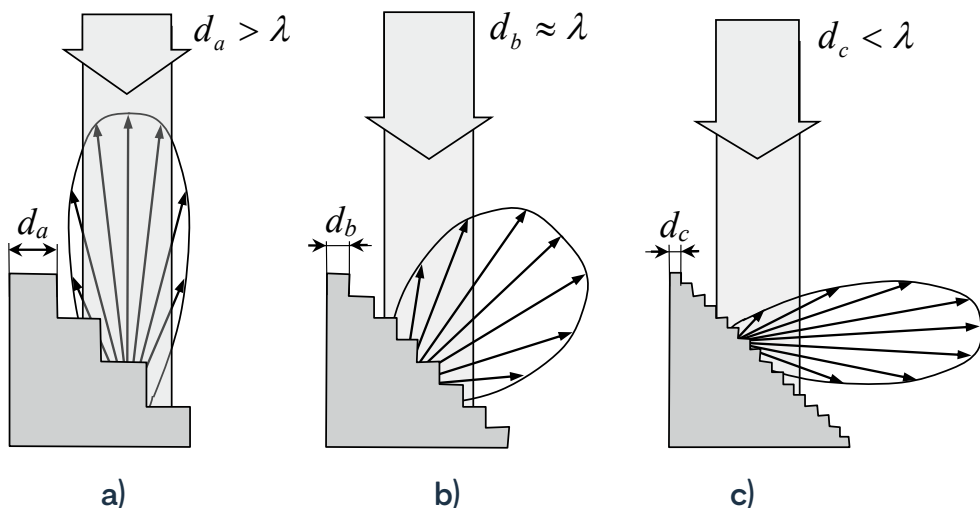
Ugyanakkor a diffúz reflexiónak előnye is van. Akkor is lesz a sugárzó irányába visszaverődő jel, ha az átlagsík nem merőleges a kisugárzott nyalábra. Erre szükség is van, mert a tartályok töltése és ürítése közben az ömlesztett anyagok felülete ferde rézsűt képez (4.14. ábra). Finomszemcsés ömlesztett anyagok és porok vízszintes felületéről a visszaverődés

alig gyengébb, mint a folyadékokról. Nagy hátrány azonban, hogy a porok felülete a töltési-ürítési részsű következtében nem vízszintes, és a ferde felület az ultrahang sugarat oldalra tükrözi (4.14.c. ábra). Ezért a porokról nagyon gyenge bizonytalan visszhangot kapunk.

A ferde részsűről kapott diffúz visszhang hatékonyságát az is csökkenti, hogy a kisugárzott nyaláb nem azonos távolságban éri el a felület egyes részeit. Ezért a visszhang időben széthúzódik, ami csökkenti az amplitúdót és rontja a visszhangkép alakját. Az előbbi tapasztalatok indokolják az ömlesztett szilárd anyaghoz tervezett sugárzók kisebb sugárzási kúpszögét és nagy érzékenységét. Ilyen alkalmazásoknál nem követelmény a függőleges felszerelés, sőt hasznos lehet a gömbcsuklós, beállítható

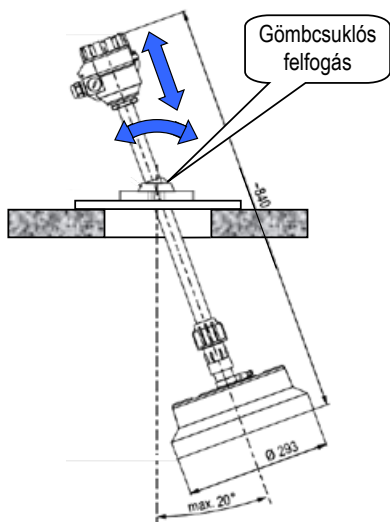


4.13. ábra
Diffúz visszaverődés,
ömlesztett szemcsés anyag
vízszintes felületéről



4.14. ábra
Diffúz visszaverődés ömlesztett szilárd anyag részsűjéről,
különböző szemcseméretű anyagoknál

döntésű felfogó szerkezet (4.15. ábra). Megfelelő irány beállításával elkerülhető a közeli a közeli zavaró felületek visszhangja, vagy nagyobb visszhang nyerhető a távoli rézsűről. A legkedvezőbb döntési irány megkereséséhez több töltési szintnél (közel-üres, közel-tele) ellenőrizni kell a visszhang nagyságát, a jel/zaj viszonyt ($P74$) illetve a visszhang térképét ($P72$), majd rögzíteni kell a gömbcsuklós felfogót. ($P72$ és $P74$ programozási paraméterek.)



4.15. ábra

Gömbcsuklós felfogó szerkezettel ellátott szinttávadó készülék, ömlesztett szilárd anyagok mérésére

4.6.3. A visszaverődést akadályozó körülmények

A nagyhőmérsékletű anyagok felületének közelében forró, örvénylő légréteg alakul ki. Az ultrahang ebben bizonytalan irányváltozást szenved, ami a mérést akadályozza. Használunk olyan tárolási módszert, ahol a mérendő folyadék fölé a levegőnél nagyobb sűrűségű gázréteget engednek (CO_2 pára). Ez a gázréteg megakadályozhatja a folyadék felszínének ultrahangos érzékelését.

A laza szerkezetű vagy szálas anyagokba (pl. szivacs, textil, forgács), behatol az ultrahang, és nagy része elnyelődik. Az anyag és a frekvencia függvénye, hogy kapunk-e érzékelhető visszhangot.

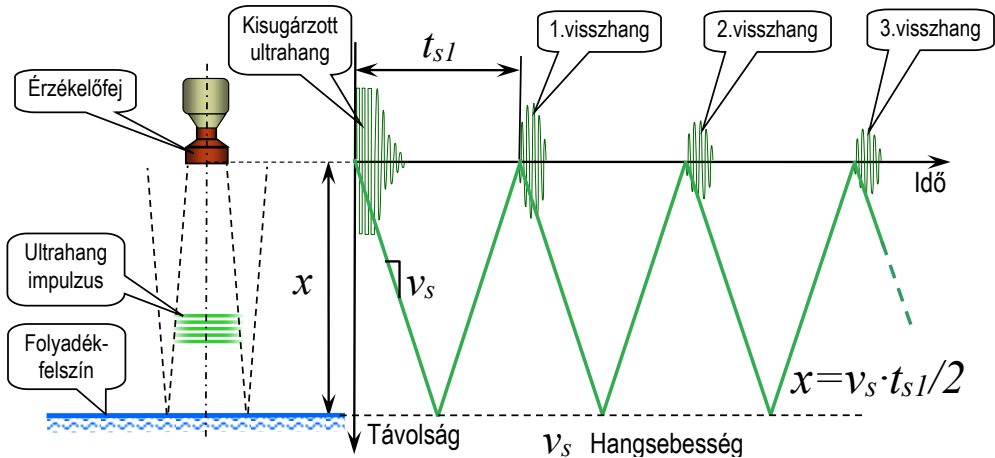
Porok tárolásánál használják az anyag lazítására a sűrített levegős átfúvást, amitől az anyag lebegő állapotba kerül, és szinte folyadékként viselkedik (fluidizálás). Ilyenkor a felület megközelítőleg vízszintes lesz, de amíg az átfúvás tart, a laza porzó felületről nem kapunk visszhangot.

4.7. Zavaró visszhangok

A zavaró visszhangok a kisugárzott ultrahang visszaverődéséből származnak, de olyan helyről verődnek vissza, vagy olyan úton jutnak az érzékelőfejbe, hogy a futási idejük más, mint a mérendő visszhangé. Frekvenciájuk alapján nem különböztethetők meg a mérendő visszhangtól.

4.7.1. Többszörös visszhang

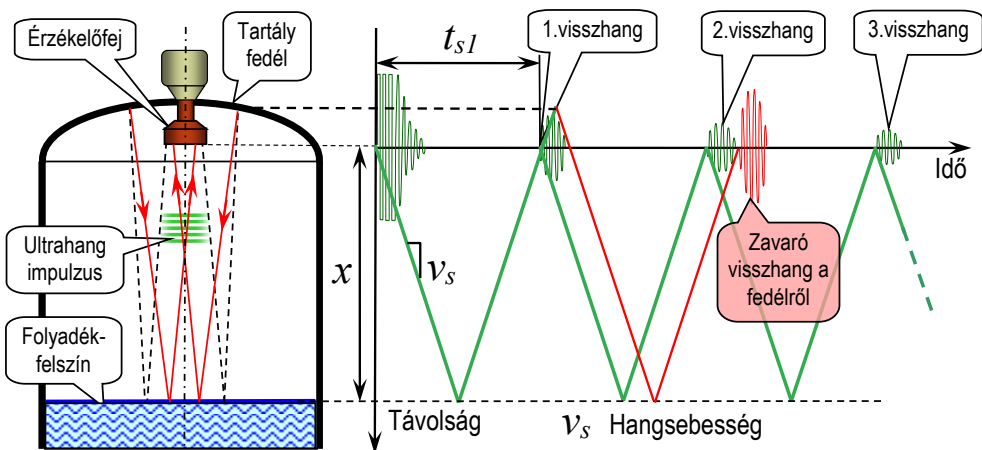
A közeli sima folyadékfelszínről erős visszhang keletkezik, ami a sugárzó homlokfelületéről visszaverődve újra a folyadék felé megy. (A sugárzó az akusztikus illesztés ellenére még mindig nagyobb részét visszaveri a beeső rezgésnek.) Az oda-vissza út többször megismétlődik, és az első (igazi) visszhang mögött szabályos távolságban, csökkenő amplitúdójú, többszörös visszhangok sorakoznak (4.16. ábra). A szabályos sort a visszhangkereső szoftver jól felismeri, és a többszörös visszhangokat kiszűri.



4.16. ábra

Többszörös visszhang a közeli visszaverő felület és a sugárzó között

Nehezebben felismerhető zavaró visszhang keletkezik, ha a sugárzó mögötti tartályfedél a második visszaverő felület. Ez akkor okoz problémát, ha a fedél kúpos vagy gömb-süveg alakú, és a sugárzó annak tengelyében helyezkedik el (4.17. ábra).



4.17. ábra

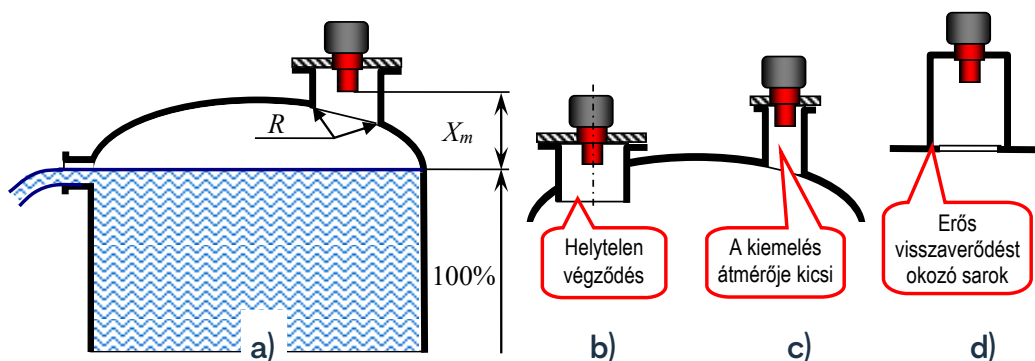
Visszhangfelismerési hiba forrása lehet a domború fedél forgástengelyében elhelyezett sugárzó. A domború tartályfedélről nagy amplitúdójú többszörös visszhang jön létre

A fedélen visszaverődő ultrahang így fókuszálódhat, és szerencsétlen x távolságnál egy többszörös visszhang nagyobb lesz, mint a mérendő első, a folyadékról. A probléma elkerülésére a sugárzót a tartály középvonalán kívül kell elhelyezni (4.18.a. ábra).

4.7.2. Közeli zavaró felületek visszhangja

Zárt tartályok tetején a szintmérő felszerelésére, tartó szerelvényt kell készíteni. Ez a készülék felerősítési módjához illeszkedően menetes csőcsomók, szabványos karima, vagy csőből készített toldat lehet. Ez utóbbi szolgálhat arra, hogy a ferde tartálytetőn a víz-szintes felületet képezzünk. Annak érdekében, hogy a tartály színültig töltve is mérhető legyen, az ultrahangos szintmérőt az X_m minimális mérési távolsággal a felső töltési szint fölé kell emelni (4.18.a. ábra).

Amint a sugárzó iránykarakteristikáján látható (4.3.1. alfejezet), a sugárzási főnyalábon kívül is van kisugárzott jel. Igaz, hogy ennek intenzitása kicsi, de kedvezőtlen elhelyezés mellett nagyon közeli felületről visszaverődve intenzív zavaró visszhangot okozhat. Tipikusan ilyen zavaró jelforrások, rosszul kivitelezett kiemelő csomók láthatók a 4.18.b, (c) és (d) ábrákon. A kiemelő csőben a tartály légtérével megegyező hőmérsékletnek kell lenni. Ez egyrészt a mérési pontosság érdekében szükséges, hiszen a sugárzóban elhelyezett hőmérő csak így kaphat helyes információt a légtér hőmérsékletéről. Másrészt ezzel lehet elkerülni a kiemelő csőben a túl nagy páralecsapódást, deresedést és jegesedést. Tehát földalatti tartály, vagy fűtött tartály esetén szükséges lehet a kiemelő szerelvények és a készülék hőszigetelésére a külső környezet felé.



4.18. ábra

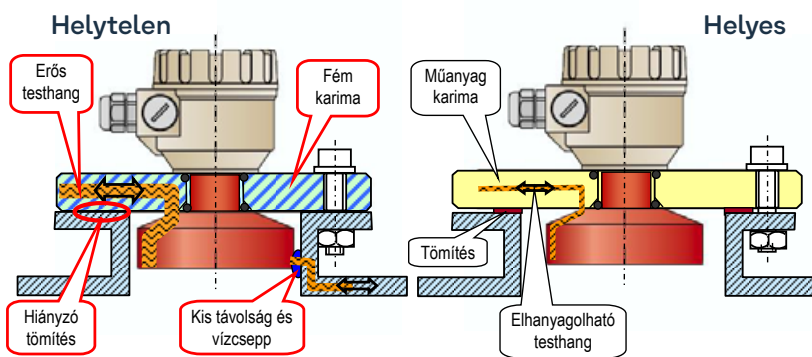
Ultrahangos szintmérő helyes (a) és helytelen (b, c, d) felszerelése fém tartályra, kiemeléssel

A helytelenül kivitelezett kiemelés alsó végéről visszaverődhet a kisugárzott jel egy része. Ilyen a 4.18.b. ábra, ahol a cső merőlegesen levágott, lekerekítés nélkül. A kiemelő cső belső felülete sima, varratmentes legyen. Az alsó végződés lekerekítési sugara: $R > \lambda$. A javasolt átmérő és magasság méretekről a használati leírás típusonként tájékoztat.

4.7.3. Testhangok a tartószerkezeten keresztül

Az ultrahang kisugárzása közben az érzékelőfej burkolatának lehet olyan rezgése, amit a levegőbe nem tud kisugározni, de a közvetlenül érintkező tartó szerelvényeknek átad. Ezek a testhangok. Szilárd anyagokban az ultrahang transzverzális rezgés formájában is terjedhet, tehát a testhangok nem csak longitudinális hullámok lehetnek. A testhangok által okozott zavarok szempontjából elsősorban a fém tartószerkezetek felelősek, mert a fémbe alig csillapodik a rezgés, és sok belső visszaverődés után, hosszan fennmarad. *(Míg egy fém karima kis megütés után sokáig cseng, egy műanyag karima alig ad hangot.)* Azon az úton, ahogy a rezgés a piezoelektromos tárcsából a tartószerkezetbe kijutott, vissza is juthat.

Annak érdekében, hogy a testhangok ne terjedjenek át a fém tartószerkezetbe, használni kell a rezgéscsillapító hatású műanyag alkatrészeket és tömítéseket. *(Akkor is, ha technológiai okból nem szükséges a tartályt tömítetten zárni. 4.19. ábra).* A tömítés nemcsak a rezgés átjutását akadályozza, hanem a hozzá szorított alkatrész rezgését is csillapítja. Ha víz kerül két felfekvő felület közé, akkor az nagyon megkönnyíti a rezgés átadását. A sugárzó palástja és a kiemelő cső belső felülete között legalább akkora légrést kell biztosítani, hogy a folyadékcseppek ne tudják áthidalni. Víz esetében 3 mm-nél nagyobb légrés célszerű. A lecsengés a közeli zavaró felületek és a testhangok együttesen befolyásolják a közeli mérést korlátozó holtzónát. Célszerű, ha fémkonzolra való felszerelésnél a sugárzó, műanyag karimával csatlakozik, a konzolhoz.



4.19. ábra

A testhangok terjedése a szerelvényekben. Helytelen szerelésnél több alkatrészen keresztül, kis csillapítással többszörösen visszaverődnek. Helyes szerelésnél a testhangok hamar lecsillapodnak

4.7.4. Keverő lapátok

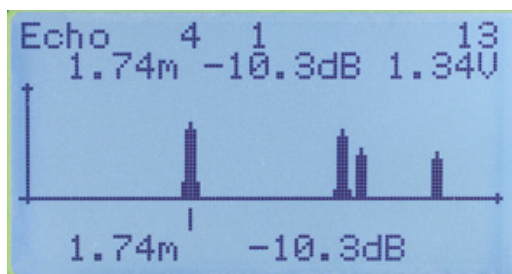
Vannak forgó keverő lapátokat, vagy más mozgó alkatrészeket tartalmazó tartályok, ahol az ultrahang útjába kerülő mozgó alkatrészek, időnként keresztezik az ultrahang sugarat, rövid időre eltakarják a mérendő felszínt, és maguk okoznak zavaró visszhangot. Amennyiben a mérendő felszín visszhangja gyakoribb, mint a mozgó alkatrészé, az intelligens

visszhangfelismerés elhárítja a zavarást. Problémát az okoz, ha a keverő lapát éppen a sugár útjában áll meg. Az ilyen feladatok megoldásához előnyösek a sugárnyalábbal érzékelő módszerek, ellentétben a hosszú szondával működő szintmérőkkel.

4.8. Egyéb zavaró hangok

Speciális akusztikus zavart okoznak a készülék ultrahang frekvenciájával megegyező frekvencián sugárzó egyéb ultrahangforrások. Így két hasonló frekvenciájú ultrahangos készülék közös térben nem használható. A sűrített levegőt a porok és apró szemcsés anyagok továbbítására is használják. Ez az eljárás széles frekvenciatartományú, az ultrahang tartományt is magában foglaló folyamatos zajt termel, és ezzel akusztikusan zavarja a visszhang felismerését. Maga a nagy sebességgel áramló levegő is ultrahang forrás, és ezt fokozza a tartály falához ütődő szemcsék hangja.

4.9. Visszhang felismerés



4.20. ábra

A visszhangtérkép megjelenítése a NIVELCO MultiCONT készülék kijelzőjén

Jól elhelyezett készüléknél, kedvező körülmények között (ideális esetben) a mérendő visszhang könnyen felismerhető, a zavaró visszhangok közül kiemelkedő amplitúdójáról. Valóságos helyzetben a visszhangkép emellett tartalmazza a többszörös visszhangokat, a közeli zavaró felületekről visszaverődő kisebb visszhangokat és az alapzajként jelentkező villamos és akusztikus zavarokat. A készülék a visszhangképen bonyolult jelfeldolgozást végez, annak érdekében, hogy a zavaró jelek ellenére kiválassza a mérendő felület visszhangját, és minél pontosabban meghatározza annak futási idejét.

Elterjedten használt az **ablak módszer**. Az egyszer jónak ítélt visszhang köré virtuális távolság ablakot képez, és az ablakon kívüli, időszakosan akár nagyobb visszhangok súlyát csökkenti az ablakon belüli helyes visszhanghoz képest. Töltés ürítés esetén az ablakegyütt mozog a változó szinttel, amihez figyelembe veszi ezek beprogramozott sebességét.

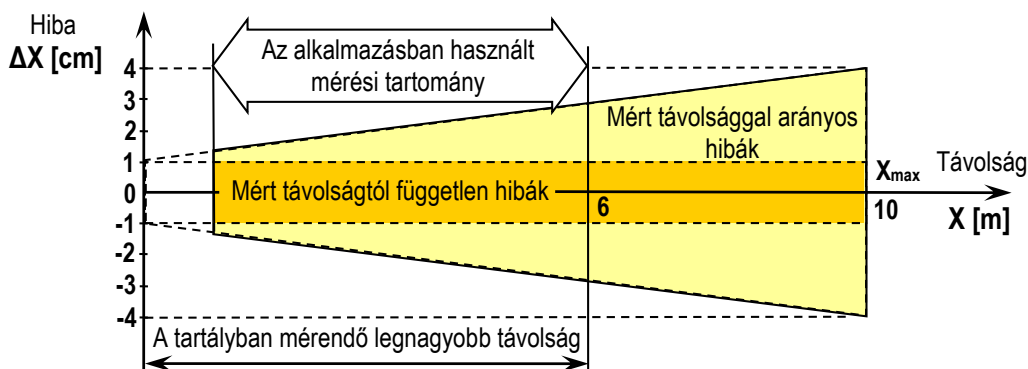
Ha a mérési tartomány szélein, a tartály fenekén vagy a sugárzó közelében megszűnethetetlen zavaró felületek vannak, ezek a helyek programozással kizárhatók a mérési tartományból. Ez a lehetőség a közeli blokkolás, illetve távoli blokkolás.

A visszhangok feldolgozása után megmaradó fontosabb visszhangok helyét és amplitúdóját tartalmazza a visszhangtérkép. A **visszhangtérkép** megjeleníthető táblázatosan a készülék a SAP kijelzőjén, vagy grafikusan a NIVELCO MultiCONT készülék kijelzőjén.

A visszhangtérkép nehéz mérési feladatoknál, főleg ömlesztett szilárd anyagok mérésénél segíti a készülék jó beállítását. A későbbi fejezetekben megismerünk más sugárzást használó, távolságmérésen alapuló mérési módszereket. Ezek visszhangjele kisebb mértékben változik a mérési távolság és a mérési körülmények függvényében.

4.10. Mérési hibák, és a folyamatos mérés biztonsága

A távolságmérés Δx hibája a távolság helyes értékének és a mért értéknek a különbsége. A távolságmérés az $x_m = v_s \cdot t/2$ összefüggés alapján működik, ezért ebből következtethetünk a mérési hibák eredetére is. A hangsebesség fizikai táblázatokból ismert adat, v_s mégsem hibátlan mennyiség mert a hőmérsékletfüggése jelentős (Lásd 4.4. fejezet.). A sugárzóban elhelyezett hőmérő által mért hőmérséklet alapján, korrigált sebességgel számol a készülék, de a légtér hőmérsékletét az ultrahang útja mentén végig, nem lehet megmérni.



4.21. ábra

Egy ultrahangos szintmérő hibahatára. Az alkalmazásban várható legnagyobb hiba $\pm 2,8$ cm

A hibával terhelt hangsebesség miatt, a mért távolság eredményében megjelenik a futási idővel (vagyis a távolsággal) arányosan növekvő hiba. A t , futási idő mérése digitálisan, kvarc pontossággal történik. Ez elegendően pontos lenne, ha egyértelműen meg lehetne határozni a visszhang beérkezésének pillanatát. A 4.7.a. ábrán látható, hogy a zavaró jelek, a visszhang változó amplitúdója és a visszaverő felület tulajdonságai a futási idő mérésében olyan bizonytalanságot okoznak, ami alig függ a mért távolságtól. Tehát összegezhetők egy mérési távolságtól független hibába. A számítási műveletek digitálisan történnek, olyan pontossággal, hogy a hibájuk elhanyagolható. Így a kétféle hibacsoport, a mérési tapasztalatokkal is alátámasztva, a 4.21. ábrán látható jellegzetes hibasávot

eredményezi. Az ábráról leolvasható hiba értékeket a készülék műszaki adataiban így adták meg: $\pm$ a mért távolság 0,3%-a + a maximális mérési távolság 0,1%-a).

Lehetséges, hogy a távadó kijelzett mennyisége, 1:10 aránynál nagyobb mértékben változik. Ezért a mért mennyiség (távolság) függvényében ésszerű a kijelzés felbontását változtatni. Így a mérési hiba és a kijelzés összhangba kerül, a gyors leolvasást nem nehezítik a felesleges karakterek.

A mérés hibája mellett fontos jellemző, hogy milyen zavaró körülményt visel el a készülék a mérőképesség folyamatos megtartása mellett. Sok felhasználó tolerálja a mérési hiba időleges megnövekedését, ha közben a mérés nem szakad meg. Jellemző ez az ömlesztett darabos anyagok mérésénél, ahol jobban elfogadható egy gabonasilóban akár 0,5 m szintmérési hiba, mint a rosszul kiértékelhető visszhang miatt adott hibajelzés.

4.11. Készülékek és alkalmazások



EasyTREK SPA
integrált készülék,
IP68 védettségű műanyag
tokozásban



EchoTREK SB
ultrahangos távadó,
a lecsavarható fedél alatt,
dugaszolható kezelő-kijelző
egységgel



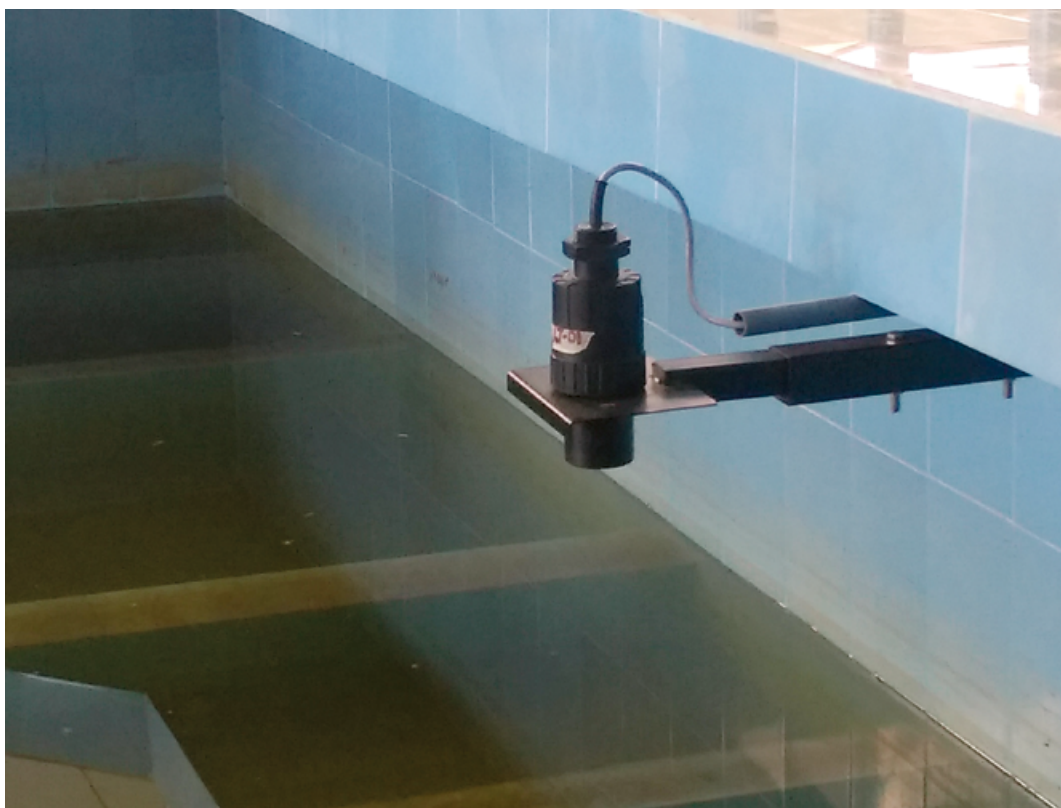
EasyTREK SCD
integrált kivitelű ultrahangos
távadó, poros anyagra



Ultrahangos folyadékszint mérés
nyitott tárolóban



Poros tartály szintmérése EchoTREK STD sorozatú készülékkel



Folyadékszint mérés szabadtéri nyitott tárolóban EasyTREK SP sorozatú integrált készülékkel

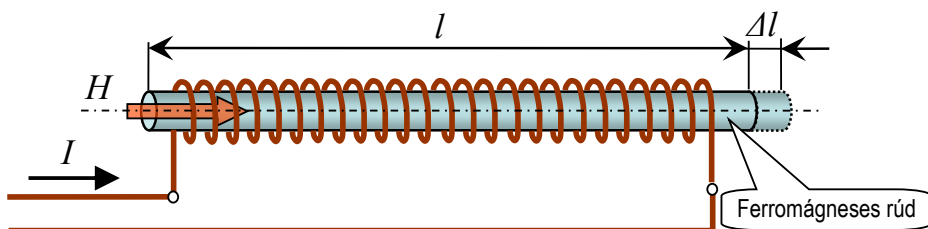
5. Magnetostrikciós szinttávadók

5.1. Magnetostrikciós elvű távolságmérés

A magnetostrikció a piezoelektromossággal rokon jelenség, ami a ferromágneses anyagoknál tapasztalható. Lényege, hogy a mágnesezhető anyagban a mágneses tér méretváltozást okoz, és fordítva, mechanikai deformációra változnak a mágneses tulajdonságok. Ezért a piezomágnesesség elnevezés (*piezomagnetism*) is használatos. A ferromágneses anyagok (*Fe, Ni*) ilyen viselkedését Joule figyelte meg először (1847).

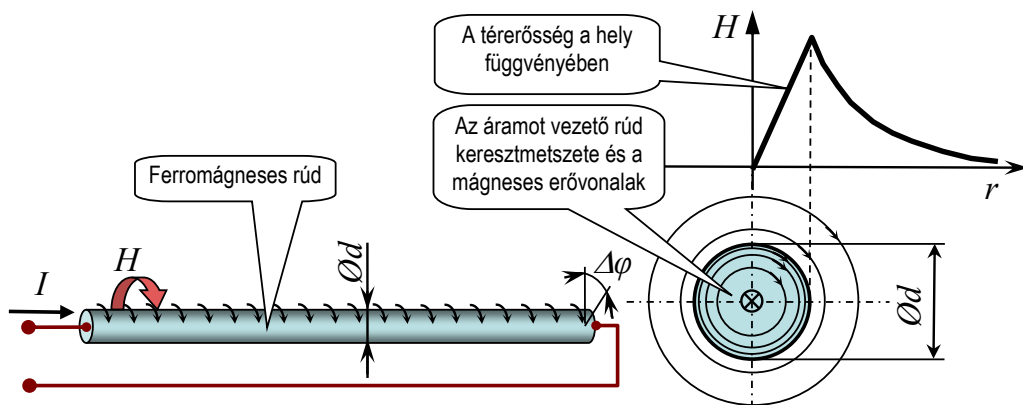
A 5.1. ábrán látható elrendezésben, a ferromágneses rúd a tengelyirányú mágneses tér hatására megváltoztatja a hosszát (*egyes anyagokban pozitív, másokban negatív a hosszváltozás*). A deformáció kis változásoknál arányos a mágneses térrel és a mágneses térrel együtt telítődik. A $\Delta l/l$ relatív hosszváltozás maximális értéke 2–5 ppm ($1 \text{ ppm} = 10^{-6}$).

Körkörös (*cirkuláris*) mágneses tér keletkezik egy rúdban, ha a mágnesező áram a rúd hosszában folyik (5.2. ábra). Ez a tér, a rúd $\Delta\varphi$ elcsavarodását okozza. Mindkét deformáció



5.1. ábra

A rúdon átvezetett I áram, a rúdban tengelyirányú mágneses teret hoz létre (H), ami Δl hosszváltozást okoz



5.2. ábra

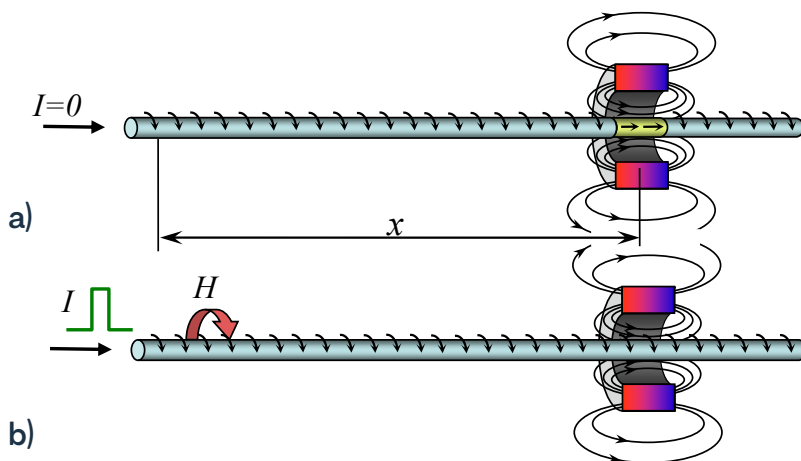
A rúdon átvezetett I áram, a rúd belsejében és környezetében körkörös mágneses teret hoz létre, ami $\Delta\varphi$ elcsavarodást okoz. A térerősség a rúd felszínén a legnagyobb

nagyon kicsi, ezért könnyebben detektálható, ha dinamikusan (*impulzusszerűen*) hozzuk létre. A távolság mérésére nem magát a Δl vagy $\Delta \phi$ deformációt fogjuk használni, hanem ezzel a gyors változással egy lökést indítunk a szálban, és a távolságot a lökeshullám ismert haladási sebességével mérjük.

(A szál mágnesezettsége a felület közelében a legnagyobb, ezért a csavaró deformáció hatékonyabban létrehozható, ha a magnetostrikciós szál vékony cső, és az áramot a belsejébe behúzott vörösréz vezetőnek viszi, nem pedig a nagyobb ellenállású ferromágneses cső. Ez a nagyon precíz, de drága megoldás, alkalmazása a rövid mérési távolságú, 1–5 μm felbontású útdókban pl. szerszámgépeken indokolt.)

A hosszmérő fő eleme egy 0,5–1 mm átmérőjű huzal, amit a továbbiakban magnetostrikciós szálnak nevezünk. A szál olyan ötvözetből készül, amely különleges hőkezelését követően kedvező magnetostrikciós tulajdonságú lesz, és benne a mechanikus impulzus terjedési sebességének hőmérsékletfüggése is kicsi. A magnetostrikciós szálat minél egyenesebben végig kell vezetni a teljes mérendő távolságon.

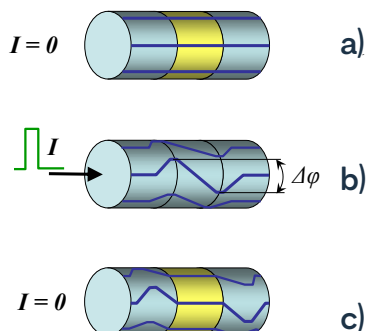
A következőkben a sok lehetséges (*és szabadalommal védett*) megoldás közül egy jellegzetes megoldást vizsgálunk meg. A 5.3. ábrán a magnetostrikciós szálra húzott mágnesgyűrűt látunk, amit az itt nem ábrázolt vezető sínen lehet mozgatni a szál mentén. A szál és a mágnes között nincs érintkezés. A mágnes helyzetére jellemző x távolságot kívánjuk mérni. A mérés mintavételszerű és egy áramimpulzus rákapcsolásával indul. Az impulzus a szükséges mérési szaporaság ütemében ismétlődik. A szálon át bocsátott áramimpulzus (*gerjesztő jel*) a szálat teljes hosszában körkörösén felmágnesezi (5.3.b. ábra). A mágnesezettség egy állandó elcsavarodást okoz. Az első impulzus után következők a szál mágnesezettségét már nem változtatják.



5.3. ábra

A szálra ráhúzott mágnesgyűrű (metszetben ábrázolva) a sárga színnel kiemelt szakaszon tengelyirányú mágnesezettséget okoz (a). Amíg az áramimpulzus fennáll, az nagyobb térerejével felülírja a mágnesgyűrű tengelyirányú mezejét (b)

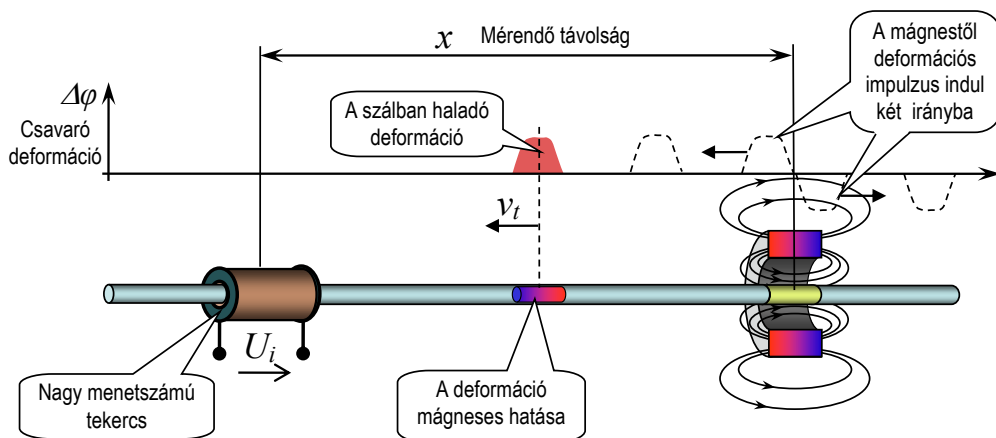
A szálra húzott mágnesgyűrű, a belsejében lévő szakaszon hosszirányban mágnesezi a szálát, ami az áramimpulzus ideje alatt kerület irányúra vált, majd az áram megszűnése után, a gyűrű mágneses tere ismét visszaállítja hosszirányba. Tehát a szál mágnesezettsége a gyűrű belsejében minden áramimpulzusra kétszer irányt változtat és egy rövid csavaró deformációt kelt. A szál mágnesgyűrűn átmenő szakasza, kinagyítva látható az 5.4. ábrán. Képzeljük el, hogy árammentes állapotban a szál palástjára egyenes alkotókat rajzoltunk. Az áramimpulzus alatt a szál csavarodása az egyeneseket a (b) ábra szerint görbíti. Természetesen a valóságos elcsavarodás mértéke sokkal kisebb az ábrázoltnál.



5.4. ábra

A szál kinagyított szakasza, a mágnesgyűrűn átmenő rész környezetében. A szál felületére rajzolt vonalak a deformációt mutatják, erősen felnagyítva a $\Delta\phi$ elcsavarodást. Az a) ábrán a felületre rajzolt vonalak egyenesek. A b) ábrán, az áram a mágnes belsejében is kerület irányú mágneses teret, és ezzel csavaró deformációt hozott létre. A c) ábrán a mágnes belsejében visszaállt az eredeti állapot, de a két csavaró impulzus elindult ellenkező irányba

Az elcsavarodás $\Delta\phi$ szöge $0,001^\circ$ nagyságrendű és az áramimpulzus idejéig, $1\text{--}5\text{ }\mu\text{s}$ -ig tart. (A szám adatok értéke a konstrukciótól függ.) Az ábrán látható deformáció elindul a szál mindkét vége felé. A terjedés sebessége kizárólag a szál mechanikai tulajdonságaitól függ. A csavaró (torziós) impulzus terjedési sebessége jellemzően: $v_t = 3,2 \cdot 10^3\text{ m/s}$. A mágnes helye és a szál vége közötti távolság méréséhez a futási időt használjuk fel.



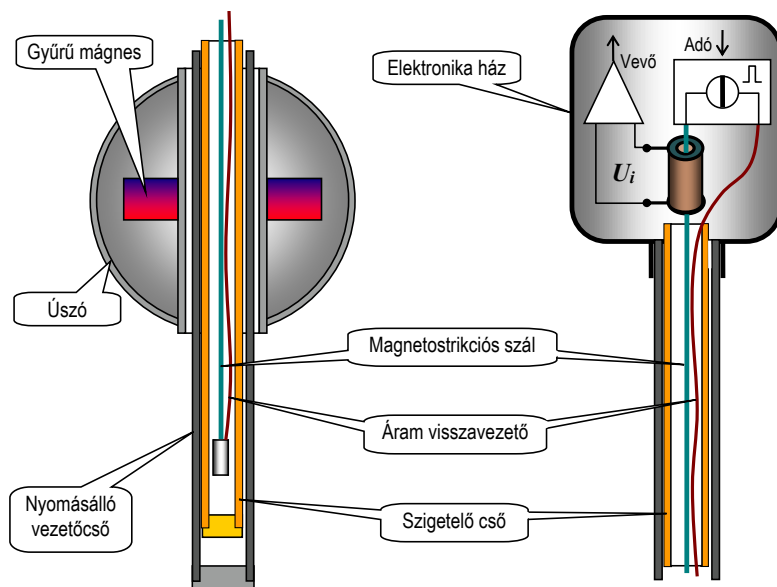
5.5. ábra

A szálban futó impulzus és az érzékelő tekercs

Ehhez a szál végén érzékelni kell a deformációs impulzus megérkezését. Erre is több megoldás létezik. A szálban futó csavaró impulzus a magnetostrikció eredményeként olyan hatást kelt, mintha a szálban egy kis rúd mágnes futna, együtt a deformációval (5.5. ábra.). A legegyszerűbb, a szál végét egy légmagos szolenoid tekercsen átvezetni, amelyben az áthaladó „rúd mágnes” feszültségimpulzust indukál. Végeredményben az x távolság megállapításához a gerjesztő áramimpulzus indítása és a tekercsben indukált feszültség impulzus megérkezése közötti t_k időkésést kell mérni, ami már digitálisan történik. Az x távolság az $x = v_t \cdot t_k$ összefüggéssel számítható. Például $x = 20$ m távolság esetén $t_k = 6,25$ ms időt kell mérni, μ s felbontással.

5.2. Magnetostrikciós elv alkalmazása szintmérőkben

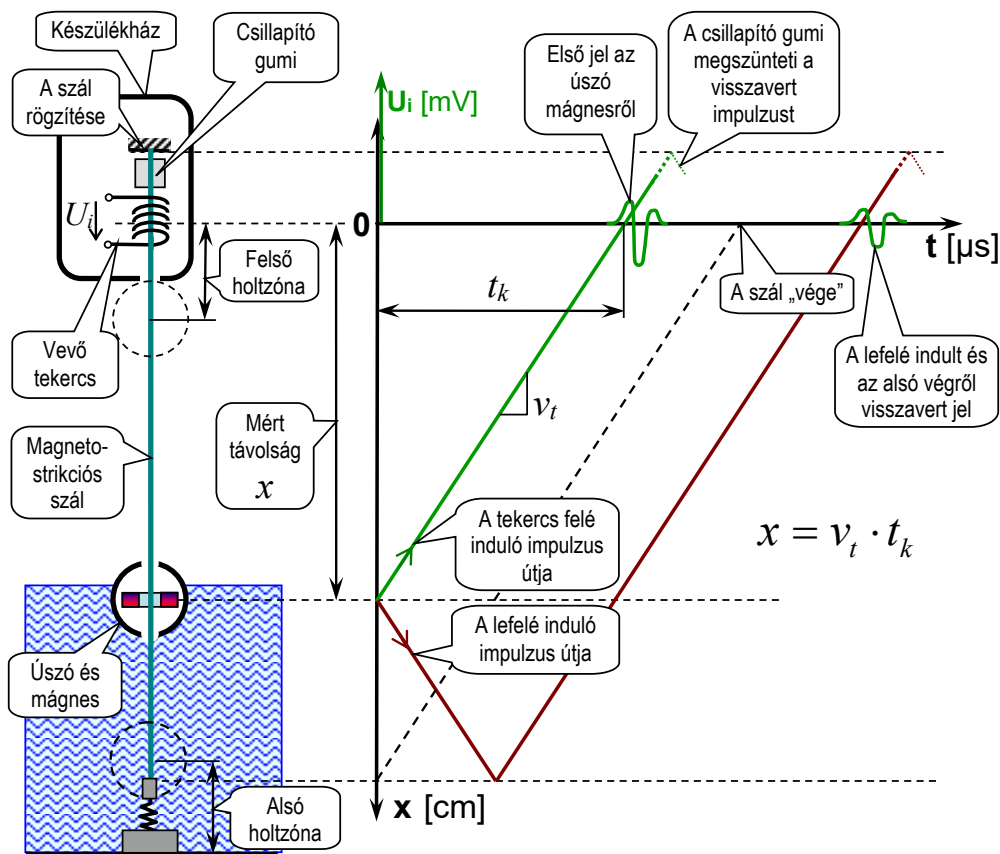
Aszintmérésre való alkalmazásnál a strikciós szálát a tartályba függőlegesen benyúló, rozsdamentes lezárt acélcsőben kell elhelyezni. Ez a cső vezet a rozsdamentes anyagból készült úszót, amely mozgásával követi a folyadék felszínét (5.6. ábra). Az úszó és a cső anyaga nem mágnesezhető ezért a mágnesgyűrű tere ezeken keresztül is mágnesezi a szálát. A vezetőcsővön az úszónak akadály nélkül kell mozogni. A vezetőcsövet gyakran mérőcsőnek is hívják. A cső nyomásálló, távol tartja mérendő folyadékot a strikciós szálától és galvanikusan a tartályhoz kapcsolódik. A vezetőcső a magnetostrikciós szálát elektrosztatikusan árnyékolja, ugyanakkor a belső szigetelő cső biztosítja a strikciós szál és az elektronikus rendszer földfüggetlenségét. Ez zavarvédelmi szempontból kívánatos.



5.6. ábra

A szintmérő fő részei. Az (a) ábrán a merev vezetőcső alsó vége a strikciós szálal és az úszóval, a (b) ábrán a vezetőcső felső vége az elektronika házával, a vevő tekercssel, látható

A rendszer kialakításának vannak olyan elemei, amelyek óhatatlanul korlátozzák a mérési tartományt. A szál alsó befogása, feszítése, a vezetőső lezárása, valamint az úszó merülése és mérete miatt, a mérési tartomány nem terjedhet a tartály fenekéig. Ez a szakasz az alsó holtzóna. Az alábbiakban bemutatásra kerülő hajlékony vezetőső alkalmazásánál a feszítősúly helyfoglalása is növeli az alsó holtzónát (5.7. ábra).



5.7. ábra

A szintmérő vázlat a méréstartomány szempontjából fontos méretekkel és az impulzusok futásának idődiagramjával

A tartálméretek ismeretében és az előbbi tényezők figyelembevételével kell a rendelési hosszt kiszámítani. A méretek végső beállítására való a szorítógyűrűs technológiai csatlakozó, ami a felső befogási ponton legalább ± 80 mm magasság változtatást tesz lehetővé. A távolságmérés kezdőpontja fizikailag az érzékelő tekercs, a felhasználó szempontjából azonban sokkal egyértelműbb az úszó felső ütközési pontja. Ezért a készülék a két hely közötti távolsággal korrigálja az x távolságot.

A csavaró impulzust az anyag belső súrlódása és a külső súrlódás (a szálhoz hozzáérő szigetelőcső) egyaránt csökkentik. Ugyanakkor a szál, mint hullámvezető, együtt tartja az energiát, tehát az a típusú csökkenés, amit az ultrahangnál a nyaláb széttartása okoz,

itt nem lép fel. Mindezek eredményeként 15–20 m az elérhető legnagyobb mérési távolság. A 4 m-nél hosszabb, merev cső szállítása és beszerelése körülményes. A problémát **hajlékony vezetőcsővel** lehet megoldani, amelyben a tömítettséget és nyomásállóságot egy belső harmonika cső, hosszának stabilitását a külső rozsdamentes acélszövet adja. A vezetőcső egyenességét az alsó végére szerelt feszítősúly biztosítja. A cső kismértékű rugalmas hosszváltozása a mérési pontosságot nem befolyásolja. A mérés a belső magnetostrikciós szálon történik. A felső nyak beállításával annyira kell a készüléket emelni, hogy a feszítősúly ne érjen le a tartály aljára.

5.2.1. Működési változatok

Agyártók sokféle technikai megoldást dolgoztak ki. Közös bennük, hogy az úszó helyzetét a mechanikai impulzus futási idejével mérik. A csavaró impulzus mellett használják a longitudinális mechanikai impulzust is. A longitudinális impulzus terjedési sebessége: $5,2 \cdot 10^3$ m/s. Az impulzus gerjesztése és az érzékelés módja is nagyon változatos, például a piezoelektromos lapkák is gyakran szerepet kapnak. Mind a csavaró, mind a hosszirányú impulzus, piezoelektromos úton is villamos jellé alakítható.

5.3. A magnetostrikciós szintmérők alkalmazástechnikai tulajdonságai

A mérési módszer előnye, hogy a mérés alapját képező terjedési sebességet sem a mérendő folyadék, sem a fölötte lévő gáz (vagy levegő) összetétele nem befolyásolja, azt a magnetostrikciós szál tulajdonságai határozzák meg. Egyedül az úszó bemerülése függ a folyadék sűrűségétől, ami kalibrálással megszüntethető hiba.

A magnetostrikciós szintmérés biztonságosan csak tiszta folyadékokban használható, ahol az úszón és a vezető csövön nem jöhet létre lerakódás, ami az úszó mozgását akadályozná. A folyadékban nem lehet lebegő mágnesezhető iszap (például felkevert rozsdák), amit az úszó mágnese összegyűjt, és ezzel saját mozgását akadályozza. Amennyiben a vezető cső görbe vagy nem függőleges, akadozhat az úszó és a strikciós szál hozzányomódhat a szigetelő csőhöz. Ez mérési bizonytalanságot vagy működésképtelenséget okoz.

A tartályon belüli elhelyezés szempontjából a magnetostrikciós rendszer kedvezőbb, mint az ultrahang vagy a sugárzott mikrohullám. A tartály belső szerkezeti elemei (bordák, hegesztési varratok, merevítők) felé csak akkora távolságot kell tartani, amekkora az úszó biztonságos szabad mozgásához szükséges. Ez kisebb, mint a sugárzási kúp miatt szükséges távolság. Ugyanakkor az úszót, a beömlő folyadéksugárnak nem szabad elérni, mert folyamatos mozgatást vagy lemerülést okoz. Kritikus helyzetben külső védőcsövet lehet alkalmazni. Ugyancsak zavaró lehet a közeli kábel vagy gép, erős mágneses tere.

A magnetostrikciós szintmérők tartálytérbeli hőmérséklettartománya nagyon kedvező. Fizikailag a mágneses tulajdonságok megszűnését jelentő **Curie-pont**, valamint a szigetelések hőtűrése korlátozza. A jellemző közeghőmérséklet tartománya:

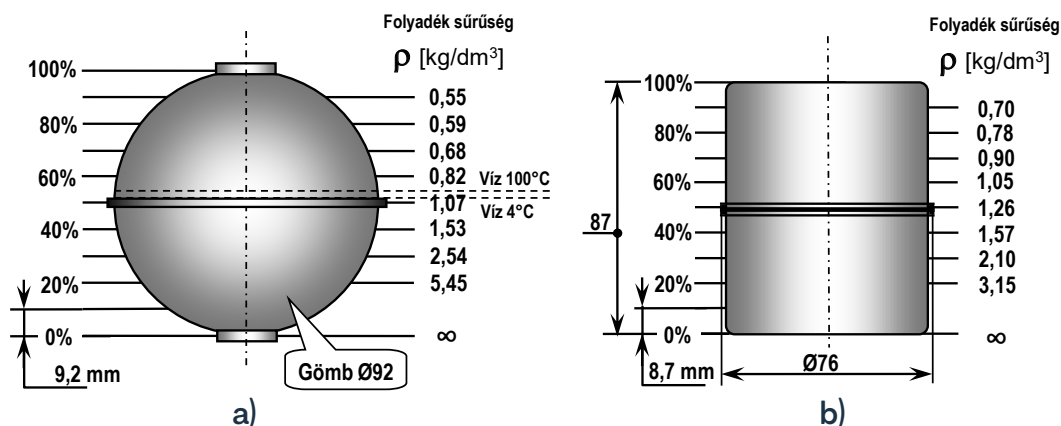
–40...+130°C. A nagy közeghőmérsékletű alkalmazásoknál, a tartály felől jövő hő miatt, a maximális környezeti hőmérsékletet csökkenteni kell (Lásd **2.4. fejezet.**). Ennek mértékét a műszaki adatok között, diagramban adjuk meg. A különleges készülékek elérik a –180...+400°C tartományt.

A tartálytérbeli legnagyobb nyomást a vezető cső és az úszó nyomásállósága korlátozza. Gyakori felső érték a 16 bar. A legnagyobb megengedett nyomás eléri a 200 bar-t. A legnehezebb eset, ha kis sűrűségű folyadékot kell mérni nagy nyomáson. A légkörinél kisebb tartálynyomás a készülék működését nem zavarja.

5.3.1. Az úszók tulajdonságai

Egy-egy készüléktípushoz többféle úszó választható. Ezek méretre, alakra, anyagukra és súlyukra nézve különbözhetnek. A gömb alak a nyomásállóság tekintetében kedvező. A szerelést egyszerűsíti, ha az úszó átfér a technológiai csatlakozó menetes furatán. Ebben a tekintetben a hengeres alak előnyös. Az úszó teljes tömege és térfogata meghatároz egy átlagos sűrűséget. Az úszó névleges paraméterének azt a folyadék sűrűségét tekintjük, amelyben az 90% merüléssel úszik. Az **5.8. ábrán**, a mellé rajzolt skála mutatja, két úszó bemerülését a névlegesnél nagyobb sűrűségű folyadékokba. A mérési hiba szempontjából az a jó úszó, amelynél adott sűrűségváltozáshoz a legkisebb merülésváltozás tartozik, a mért folyadék sűrűségének környezetében. Ebből a szempontból az alacsony, tárcsa alakú úszó a legjobb, de azt kevésbé jól vezeti a cső.

Az úszó szerepet játszik a mérési pontosságban is. Bár könnyen mozog a függőleges mérőcsövön, mégis keletkezhet súrlódási hiba. A hasonló jellegű mágneses hiszterézis hibával összeadódva ±(0,2–1) mm hiszterézis jellegű eredő hibát okoz, ami független a mért távolságtól.



5.8. ábra

Különböző úszók bemerülése a folyadék sűrűségének függvényében. Az (a) ábrán 2,5 MPa nyomásig használható rozsdamentes acél úszót, a (b) ábrán 0,6 MPa nyomásig használható műanyag úszót látunk

Alap konfigurációban a vezető cső és az úszó anyaga valamilyen típusú rozsdamentes acél (1.4401, 1.4404, 1.4435), ami nem akadályozza a magnetostrikciós szál és az úszó belsejében elhelyezett mágnes közötti mágnes kapcsolatot. Másfajta vegyszerállóság-hoz készülnek műanyag bevonatú acél úszók, műanyag úszók és bevonatos vezető cső. A legkisebb sűrűségű folyadékok méréséhez titán lemezből készített úszó használható.

5.3.2. Két úszós készülékek

Két úszóról, két első jelet kapunk. Megfelelő jelfeldolgozás a két úszó helyzetét külön-külön képes megmérni. Így a rendszer alkalmas lehet arra, hogy két különböző fajsúlyú úszóval, a felszín mellett a két folyadék határát *(például olaj és víz)* is mérje. Ebben az esetben szükség lehet az alsó, *(tehát a két folyadék határán lebegő)* úszó súlyának finom beállítására.

5.3.3. Szerelési tanácsok

Amikor a flexibilis vezetőcsövet a végére szerelt súllyal, és az úszóval együtt leengedjük a tartály aljára, ügyeljünk arra, hogy a vezetőcső ne csavarodjon, vagy ne hurkolódjon, és a tekercselési átmérő 60 cm-nél kisebbre ne csökkenjen a művelet közben. A magnetostrikciós szál minden maradó deformációja rontja a pontosságot, mert romlik a szál mágneses homogenitása. Másrészt a görbület miatt a szigetelőcsőhöz nyomódik, és ez csillapítja a jelet.

Ha az úszó külső átmérője nagyobb, mint a tartály furata, akkor a vezető cső befűzése idejére az úszót le kell venni. Az úszót a tartályon belül úgy kell a csőre fűzni, hogy az „UP” felirat felül legyen, mert fordított mágnessel a készülék rosszul működik. Így a szerelési folyamat nagyon nehézkes. A kényelmetlenség kiküszöböléséhez, nagyobb úszóhoz, célszerű karimás felszerelést választani.

5.4. Mérési hibák, és a pontosság

A magnetostrikciós szintmérés az egyik legpontosabb módszer. Pontosságát csak a lézer szárnyalja túl. A magnetostrikciós szintmérők nagyon széles hőmérséklettartományban használhatók, ezért hasznos, ha a gyártó külön adja meg a hőmérsékletfüggő hibát. Ennek ismeretében, az adott felhasználásra érvényes hibát, a ténylegesen megvalósuló üzemi hőmérsékletváltozásból, számíthatjuk.

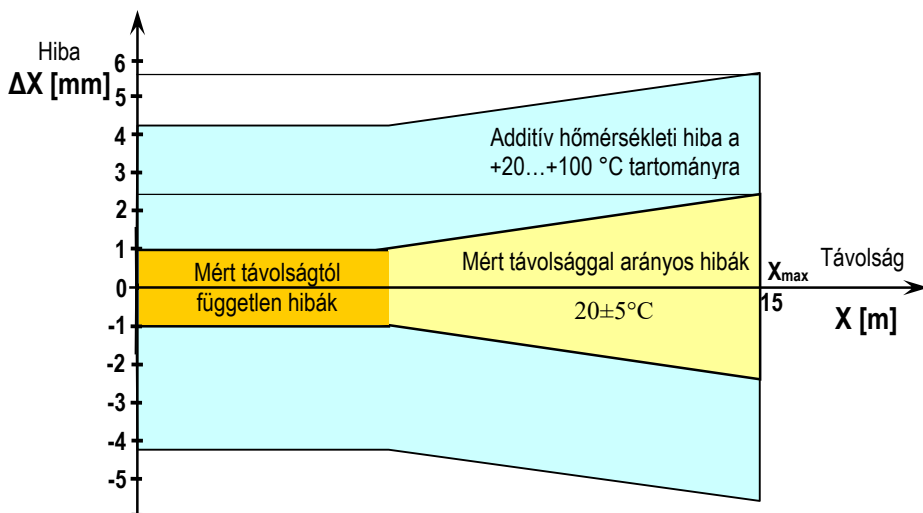
Például egy elképzelt készülék hibái referencia feltételek (20±5°C) mellett:

A mérési tartomány közelítőleg megegyezik a szonda hosszával. (FS = 15 m)

Alaphiba: ±1 mm, vagy ±0,016% FS, amelyik nagyobb.

A készülék hőmérsékletfüggő hibája a -25...+150°C tartományban ±0,04 mm/°C.

Az alkalmazásban a közeg és a tartálytér hőmérséklete $+20\dots+100^{\circ}\text{C}$ között változik, tehát a referencia hőmérséklethez képest a változás, $\Delta T = 80^{\circ}\text{C}$. Az 5.9. ábrán, az előbbi adatokból számított hibákat ábrázoltuk a hibasávokkal.



5.9. ábra

Egy magnetostrikciós szintmérő hibasávjai szobahőmérsékleten és megnövelt hőmérséklet tartományban

Amennyiben a készüléket szobahőmérséklet környezetében használjuk, a mérési hiba lényegesen kisebb marad.

5.5. Készülékek és alkalmazások



NIVOTRACK MB

Flexibilis szondájú készülék, feszítősúllyal, gömb alakú úszóval és állítható magasságú kiemeléssel



Különböző kivitelű
NIVOTRACK távadók,
merev szondával,
és eltérő méretű úszóval



Szabadtéri tartályon
elhelyezett NIVOTRACK
távadó helyi kijelzéssel



NIVOTRACK szinttávadó, tartályra szerelve

6. Sugárzott mikrohullámú szinttávadók

A mikrohullám elektromágneses hullám, aminek alkalmazását a távközlés a haditechnika és az orvostechika mellett, az ipartól a háztartásig az élet számtalan területén megtaláljuk. A mikrohullámú sütők 2,45 GHz frekvencián működnek. A teljes mikrohullámú tartomány 2–200 GHz, amit betűvel jelzett sávokra osztanak fel. Az egyes szakterületekre, így a szintmérő berendezések számára engedélyezett frekvenciákat, nemzetközi előírások szabályozzák (Radio licence). Ezek a táblázatban betűvel jelölt frekvenciatartományokon belüli szűkebb sávok. Például a **K** jelűben a 24,125 GHz $\pm$ 125 MHz a szintmérőké.

A sáv elnevezése		C 4–8 GHz	X 8–12 GHz	Ku 12–18 GHz	K 18–26 GHz	Ka 26–40 GHz	V 40–60 GHz	W 75–110 GHz
Jellemző frekvencia és a hozzá tartozó hullámhossz levegőben	f_0	5 GHz	10 GHz	12 GHz	20 GHz	25 GHz	50 GHz	80 GHz
	λ	60 mm	30 mm	25 mm	15 mm	8,6 mm	6 mm	3,75 mm

Más betűjelek is használatban vannak

Látható, az alkalmazott frekvenciákhoz tartozó hullámhosszak hasonló méretűek, mint amilyenekkel az ultrahangos méréseknél találkoztunk. Ez véletlen, hiszen a kétféle rezgésnek nincs köze egymáshoz. A gázokban terjedő ultrahang longitudinális hullám, az elektromágneses transzverzális hullám, ugyanakkor a hullámok terjedési és visszaverődési szabályai mégis hasonlóak. A hasonló hullámhossz miatt a mikrohullámmal működő távolságmérő úgy viselkedik a darabos anyagok szemcsenagysága, a sugárzási kúpszög, az oldalnyalábok és az oldalnyalábok által okozott zavaró visszhangok tekintetében, mint az ultrahanggal működők. Eltérés, hogy a reflexiók tényező nem az akusztikus impedanciák, hanem az elektromágneses hullámimpedanciák, különbségétől függ. A terjedési sebesség azonban sokkal nagyobb, (közel fénysebesség) és az alig függ a nyomástól, hőmérséklettől.

Már a kezdeti alkalmazásokban két működési elvet használtak. Az ultrahangos mérési elvhez nagyon hasonló impulzus radart, és az állandó amplitúdójú, de változó frekvencia sugárzásával működő FMCW radart. A két működési elv között azóta is folyik a vesény.

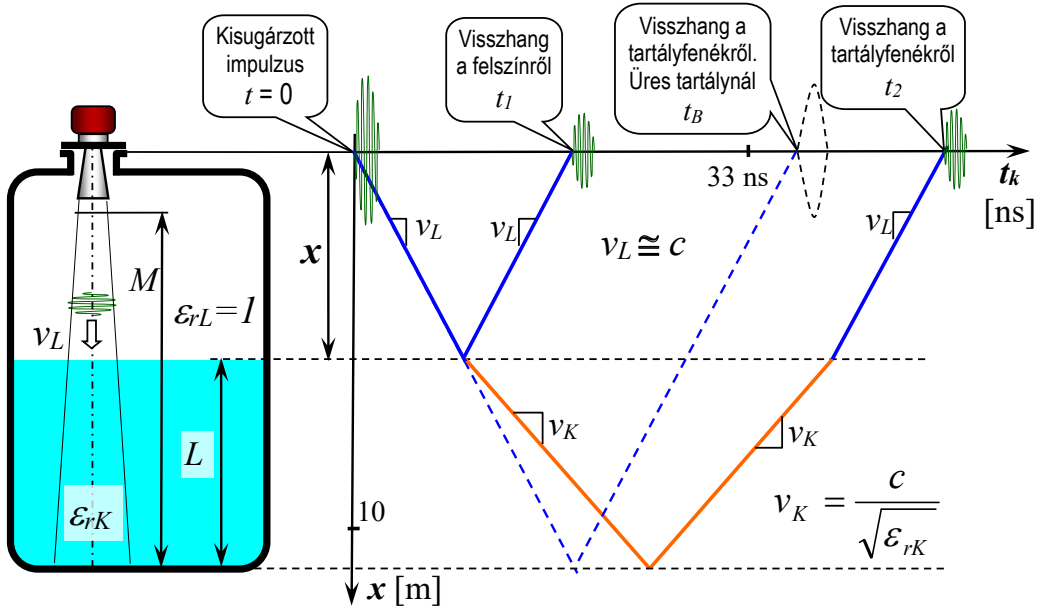
6.1. Az impulzus radar működése

Az első szintmérésre készített impulzus radarok 1980-as évek végén jelentek meg. A készülék **T** ismétlési idővel ($T = 1 \mu\text{s}$ nagyságrendű) előállít egy rövid mikrohullám impulzust, amit az antenna a mérendő felszín felé sugároz. A tartály légterében az impulzus gyakorlatilag fénysebességgel ($v_{\text{Levegő}} \cong c$) halad a felszín felé, ahol részben visszaverődik (reflektálódik) másik része a közegben folytatja útját (refraktálódik). A megoszlás aránya az anyagok ϵ_r relatív dielektromos állandójától függ. A levegő relatív dielektromos állandója $\epsilon_{r\text{Levegő}} = 1$. Ha a közeg víz, ahol $\epsilon_{r\text{Víz}} = 81$, vagy nagy víztartalmú anyag, akkor a visszavert

hullám amplitúdója eléri a 80%-ot. Jól vezető anyagoknál, mint a savas és lúgos oldatok, szintén nagy a reflektált hányad. A visszavert jel amplitúdója elég nagy a t_I futási idő jó kiértékeléséhez, ezért az x távolság pontosan meghatározható:

$$x = c \frac{t_I}{2}$$

Ez az általánosan használt direkt távolságmérés. Az olaj dielektromos állandója $\epsilon_{rolaj} = 2,1$.



6.1. ábra

A mikrohullám-impulzus útja a tartályban, és az út-idő diagramon

$$\text{Levegő-olaj határfelületen a reflexió: } r_{Lev-Olaj} = \frac{1 - \sqrt{\epsilon_{rolaj}}}{1 + \sqrt{\epsilon_{rolaj}}} = -0,18$$

Vagyis, a visszavert impulzus amplitúdója a beeső amplitúdó 18%-a, és ellentétes fázisú. Kisebb dielektromos állandójú közegnél, kisebb lesz a felszínről reflektált jel, ami azt jelenti, hogy nagyobb a továbbhaladó jel. A fém tartályfenékről teljes a visszaverődés, tehát a 6.1. ábrán látható módon, a tartályfenékről is kapunk visszhangot. Ez a visszhang annál nagyobb, minél kisebb a felszínről kapott visszhang. Így a t_2 idő mérésével, a fenékről kapott visszhang, szintén használható szintmérésre:

$$L = \frac{c \cdot v_K}{c - v_K} \frac{t_2 - t_B}{2} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{rK}} - 1} \frac{t_2 - t_B}{2}$$

A közegben a v_K sebesség a dielektromos állandó (ϵ_{rK}) értékétől függ, ezért kisebb, és nem olyan stabil, mint a levegőben (c):

$$v_K = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{rK}}}$$

Ez a TBF mérési mód (*TBF = Tank Bottom Following*), ami pontatlanabb, mint a levegőben a t_f futási idővel mérni, de $1,2 < \epsilon_{rK} < 1,5$ dielektromos állandójú anyagnál is használható. További feltétel, hogy a tartály fém fenéklemeze vízszintes és sík legyen.

6.2. A mikrohullám tulajdonságai

6.2.1. A mikrohullám sebessége

A mikrohullám vákuumban fénysebességgel terjed. Normál állapotú levegőben a terjedési sebesség ennél 0,03%-kal kisebb, összhangban azzal, hogy $\epsilon_{rL} = 1,0006$. A nyomás 0...40 bar tartományában, és $-25...+150^\circ\text{C}$ hőmérséklet határok között a sebesség nem csökken 1,3%-nál nagyobb mértékben (0...10 bar és $-25...+150^\circ\text{C}$ határok között maximum 0,3%). Értelemszerűen, ahogy a tartálytér nyomása tart a $p_{absz} = 0$ bar felé, a hőmérséklettől függés is megszűnik. Ha a levegő helyett más normál állapotú gáz tölti ki a tárolt anyag feletti teret, abban is csekély a sebességváltozás. Szélsőséges adatok: Ammónia gázban 0,3%, sósav gázban 0,17% az eltérés a levegőhöz képest. A hiba korrigálható, de gyakran korrekció nélkül is elhanyagolható.

A terjedési sebesség levegőben, $0...+200^\circ\text{C}$ hőmérséklet tartományban közelítőleg $+0,013\%$ mérési hibát okoz. Ha sikerül az antenna és a készülék hűtését megoldani, akár izzó felület távolsága is mérhető.

6.2.2. A mikrohullám csillapodása

A mikrohullám csillapodása a levegőben, növekvő frekvenciával növekszik. Azonban a jelenleg alkalmazott legnagyobb frekvencián (a *W sávban*) sem éri el a $10 \text{ dB/km} = 1 \text{ dB/100 m}$ értéket. Tehát az 50 m távolságú felületről visszavert sugárzás amplitúdója a teljes úton legfeljebb 10%-kal csökken. Ez elenyésző a hasonló távolságon használt ultrahang csökkenéséhez. A levegő csillapításánál sokkal jelentősebb a nyaláb széttartásából adódó csökkenés, ezért kedvező a jó iránykarakterisztikájú, kis kúpszögű antennák alkalmazása.

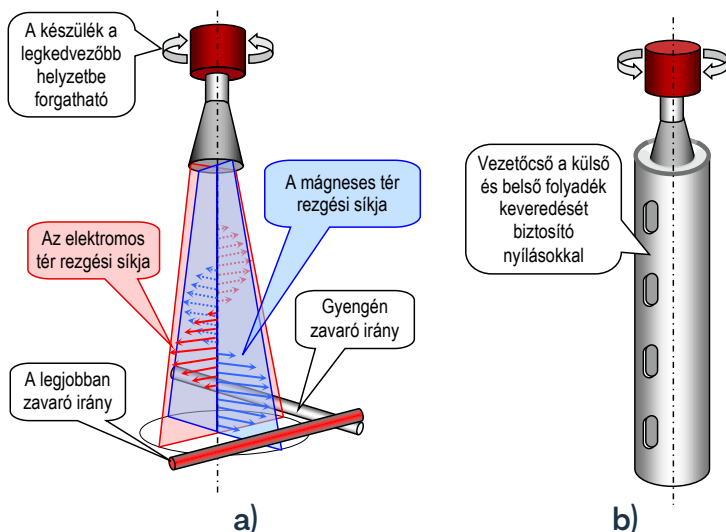
6.2.3. A mikrohullám visszaverődése

Közel 100%-os a visszaverődés fémlemezről és a jól vezető folyadékok (víz és savas lúgos oldatok) sima felszínéről. A visszaverődés iránya a közismert tükrör törvényt követi, ezért folyadék mérésénél a mikrohullám sugárzási irányát pontosan függőlegesre kell beállítani. Mérhetők a vezető vagy nemvezető folyadékok masszák ömlesztett szilárd

anyagok, por és granulátum. A hab és a szálló por kevésbé zavar, mint az ultrahangos mérésnél. Az ultrahanggal való hasonlóság miatt **4.10., 4.12., 4.13., 4.16.** ábrákon bemutatott dolgok a mikrohullámra is érvényesek.

6.2.4. Zavaró visszhangok

A lineárisan polarizált mikrohullámú sugárzás elektromos és mágneses összetevője egymásra merőleges síkban rezegve halad a sugárzás tengelye mentén (**6.2.a.** ábra). A sugárzás tengelye közelében elhelyezkedő vízszintes cső vagy rúd által reflektált zavaró jel amplitúdója akkor a legnagyobb, ha az elektromos mező síkjába esik. Ezért a felszerelt mikrohullámú készülék, egy rögzítő csavar oldása után a sugárzási tengely körül forgatható és kísérletileg beállítható a legkisebb zavarás.



6.2. ábra

A mikrohullám polarizáltsága miatt, a zavarás erőssége a zavaró tárgy és az elektromos rezgés síkja közötti szögtől függ (**a**). A lyukakkal vagy hasítékokkal ellátott vezető csőhöz képes is be kell állítani a rezgési sík irányát (**b**)

Vezetőcső alkalmazásánál gondoljunk arra, hogy olyan folyadék nál, amely változó töménységű vagy rétegződő, a tartálybeli eloszlást csak akkor követi a csőbeli eloszlás, ha sűrűn vannak lyukak (**6.2.b.** ábra). Amikor csak alsó és felső nyíláson keresztül cserélődhet a folyadék, akkor az a csőben dugattyúszerűen mozog. A lyukak egy síkban legyenek (egy alkotó mentén) hogy a sugárzás polarizációs síkját elforgatással be lehessen állítani a legkevesbé zavaró irányba.

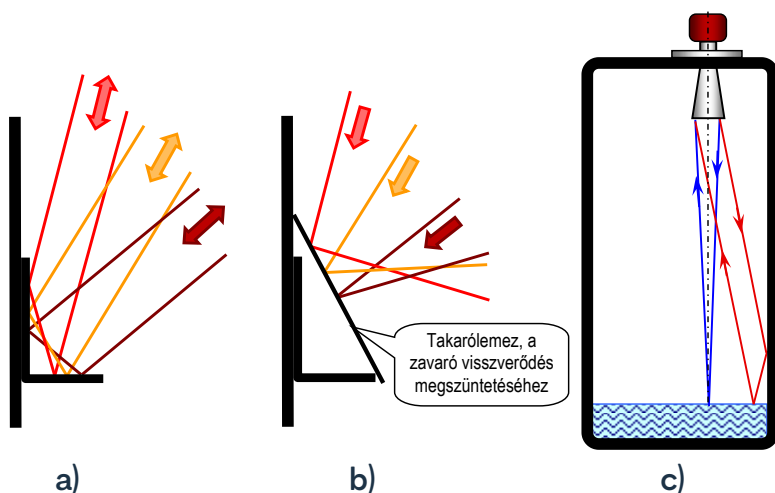
A mikrohullámú antennák a hasznos főnyaláb mellett, kisebb intenzitással nehezen kiküszöbölhető oldalnyalábokat is kisugároznak. Ezt mutatja meg a sugárzás iránykarakterisztikája, ami nagyon hasonlít az ultrahangos sugárzóknál megismertekhez.

Az ultrahang esetében a levegő akusztikus impedanciája sok nagyságrenddel eltér a folyadékok és szilárd anyagok akusztikus impedanciájától. Ezért a levegő és más közegek

határfelületén mindig reflektálódik a hullám. A refrakció, a folyadékba vagy szilárd anyagba behatolás elhanyagolható.

Mikrohullám esetében, csak fémfelületekről van teljes reflexió. A nemfémes szerkezeti anyagoknál a hullám részben visszaverődik, másik része behatol és áthalad az anyagon, az optikai törési szabályoknak megfelelően. Ilyen szerkezeti anyagok többek között a PP, PTFE műanyagok vagy az üveg. Ezeket a sugárzó konstrukciójában a sugárzást átteresztő ablakként vagy az antennákban irányító, terelő elemként és lencseként lehet felhasználni. A dielektromos ablak vastagsága $\lambda/2$, vagy annak többszöröse. Így az alsó és felső felületről visszavert jelek kioltják egymást, az ablak nem ad visszhangot.

A mikrohullám átlát a műanyag tároló edény tetején, de az legyen merőleges és egyenes vastagságú, hogy ne okozzon irányeltérést. Átlát a műanyag tartály alján is, ami akkor zavaró, ha ott mozgó tárgyak vannak.



6.3. ábra

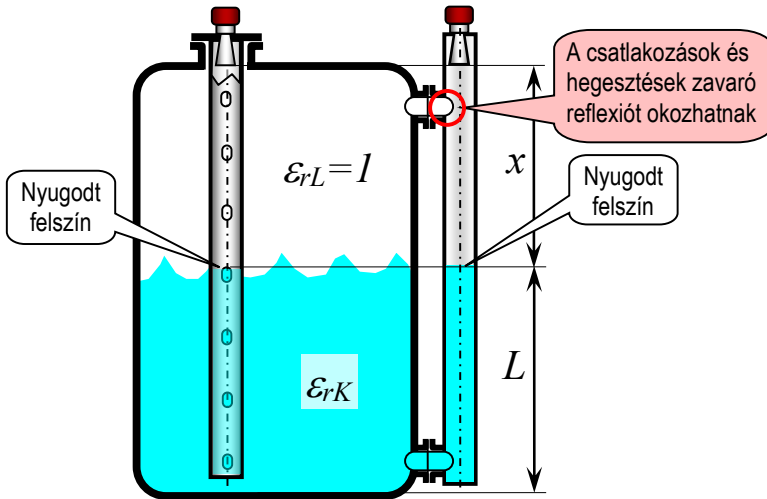
Visszaverődés merőleges felületekről (a), és a zavaró jel megszüntetése (b).
Interferencia az oldalfalon visszverődő jellel (c)

A 6.3.a. ábrán látható, hogy két merőleges fémfelület (például a merevítő szögvas) pontosan a beeső sugárral párhuzamosan veri vissza a hullámokat. Ennél is hatásosabb térbeli visszaverő, a három merőleges síkból álló sarok. A sugárzó viszonylag kis intenzitású oldalnyalábja is nagy zavart tud okozni, hiszen a sarok veszteség nélkül reflektálja a sugárzást, pontosan a sugárzóba. Ilyen zavaró felületeket, ha nem lehet eltávolítani, ferde fémlappal kell letakarni (6.3.b. ábra). A 6.3.c. ábrán olyan zavaró jelenség látható, ami nem hamis visszhang megjelenése, hanem a hasznos jel csökkenése következtében zavar. A tartály falához közel szerelt sugárzóba bejuthat olyan jel is, amely a tartály falán is tükröződött (piros vonal). Ez hosszabb utat fut be mint ami csak a felszínen tükröződött (kék vonal). Ha az utak hossza $\lambda/2$ -vel, vagy annak páratlan többszörösével különbözik, akkor csökkentik, vagy kioltják egymást.

6.2.5. Szerelési tanácsok

Ömlesztett szilárd anyagok mérésére használt mikrohullámú szintmérőknél ugyanúgy hasznos a gömbcsuklós, dönthető felerősítő szerelvény, mint ultrahangnál.

Ha a közeg jó visszaverő (savas lúgos oldat), akkor nagy a visszhang, és maga a műanyag tartály fala is elegendően jó ablak lehet. A folyadék erős keverése, hullámozása rontja a mérési pontosságot. Ha kell, akkor használjunk vezetőcsövet a tartályban, vagy külső (bypass) csövet a hullámozás csillapítására (6.4. ábra). A vezetőcső azonban nem minden antennával működik hibátlanul, mert a 6.3.c. ábrán látható interferencia jelenség a sugárzó és a cső méretétől függően fokozott mértékben jelentkezhet.



6.4. ábra

Belső és külső csillapító cső, a hullámozás vagy a hab zavaró hatásának kiküszöbölésére (*shunt pipe, still pipe, bypass*). Más elven működő távadóknál is használatosak ezek a kiegészítő elemek

6.3. Antenna típusok

A mikrohullámú szintmérők két fő egysége, a mikrohullám előállítását és feldolgozását végző nagyfrekvenciás elektronika és az adó-vevő antenna, rendszerint koaxiális kábelben keresztül csatlakoznak egymáshoz. Mindkét egység jellemző paramétere, a működési frekvencia. Ennek figyelembevételével a két egység párosítása a gyártó feladata.

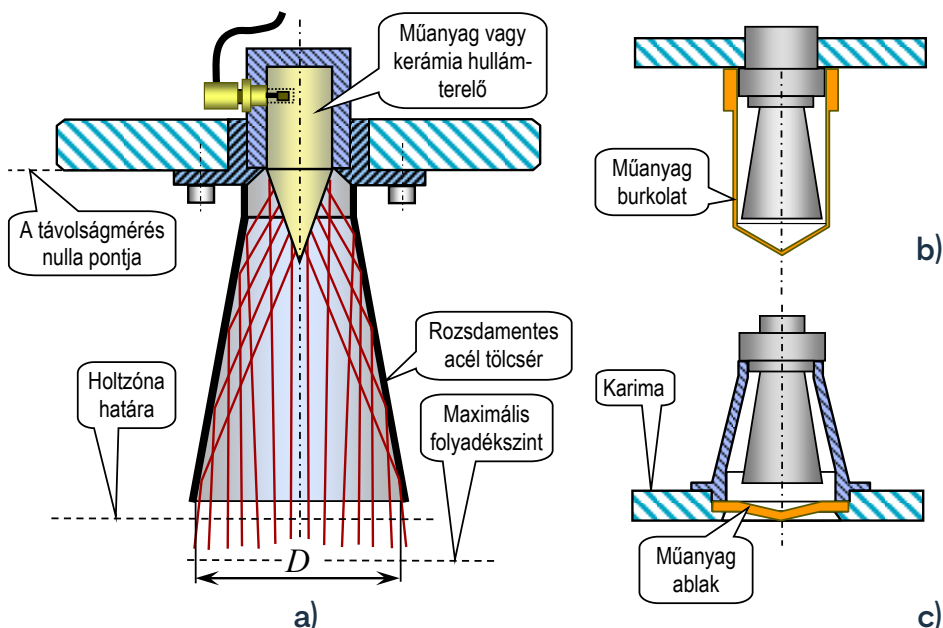
A gyártmánykatalógusokban megjelenő műszaki adatok egy része, gyakorlatilag az antennától függ. Ilyenek a maximális tartálytéri nyomás és hőmérséklet, hely igény, és a technológiai csatlakozás módja. Az antenna hatékonyságát befolyásoló, Θ sugárzási kúpszög, az antenna jellemző D átmérőjének és a λ hullámhossznak a függvénye:

$$\Theta = 70^\circ \cdot \frac{\lambda}{D}$$

Kisebb kúpszögénél kisebb lesz a sugárnyaláb széttartásából adódó, távolsággal növekvő veszteség. A vétel hatásfokát befolyásolja az antenna hatásos keresztmetszete, ami szintén függ az antenna átmérőjétől. Tehát egy adott elektronika a hozzá illesztett különböző típusú antennákkal, különböző maximális távolságú mérésre lesz képes.

6.3.1. Tölcsér antenna

A tölcsér vagy kúrt antenna egy típuscsaládon belül több méretben készül, különböző sugárzási kúpszögekkel. A tölcsér anyaga rozsdamentes acél, de belül vannak műanyag alkatrészei is.



6.5. ábra

A tölcsér antenna vázlatos metszeti rajza (a), és burkolt tölcsér antennák (b) és (c)

6.3.2. Tölcsér antenna burkolattal

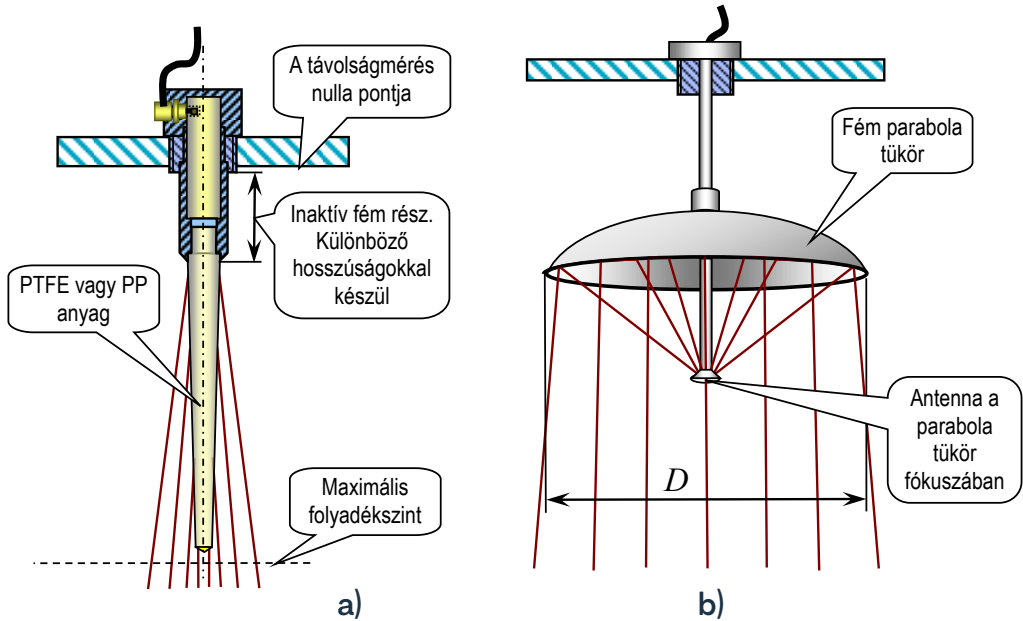
A tölcsér belső felületén lecsapódó vízcseppek, amelyek télen esetleg meg is fagynak, nagyon lerontják az antenna működését. Védekezésül a párát távol lehet tartani, a mikrohullámot jól áteresztő műanyagból készített burkolattal (6.5.b. ábra).

6.3.3. Rúd antenna

A rúd, vagy bot antenna legfontosabb jellegzetessége, hogy ennek beépítéséhez szükséges a legkisebb átmérőjű menetes csomák a tartályon. Az antenna, sugárzást vezető műanyag része végig sugároz. A helyes működés feltétele, hogy a műanyag rész ne kerüljön a fém kiemelő csomák belsejében és ne érjen bele a mérendő közegbe. A vékony műanyag rúd előnye, hogy a lecsapódó pára gyorsan lefolyik róla.

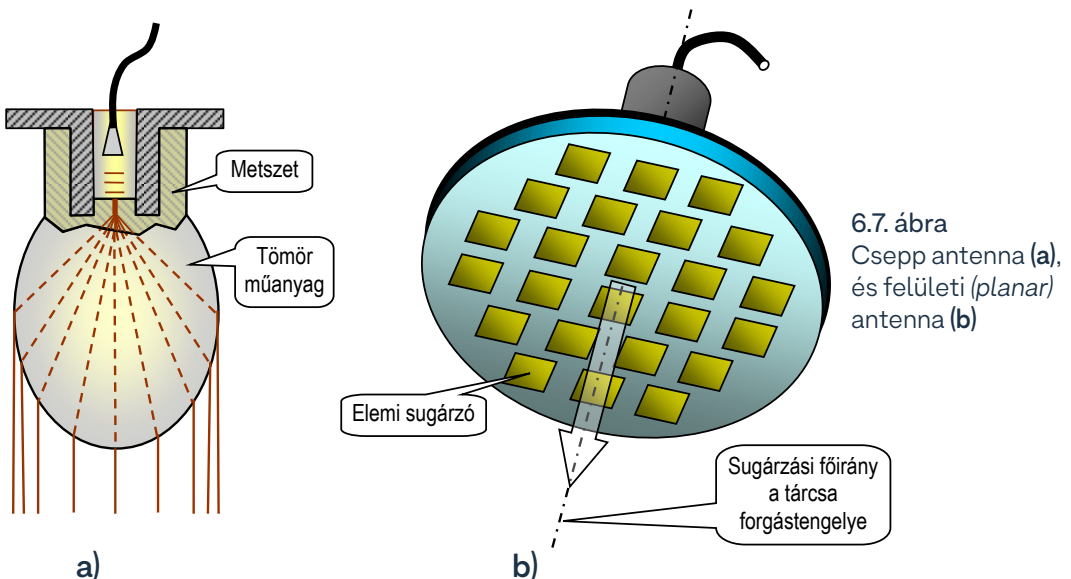
6.3.4. Parabola antenna

A nagy aktív felületű parabola antenna szembetűnő része a forgási paraboloid alakú tükröző fémfelület. Maga az antenna a tükör fókuszában helyezkedik el, és a tükör felé sugároz. Akkor válasszuk, ha nagy hatótávolságra van szükség, vagy kicsi a közeg dielektromos állandója.



6.6. ábra
A rúd antenna (a) és a parabola antenna (b)

6.3.5. Csepp antenna



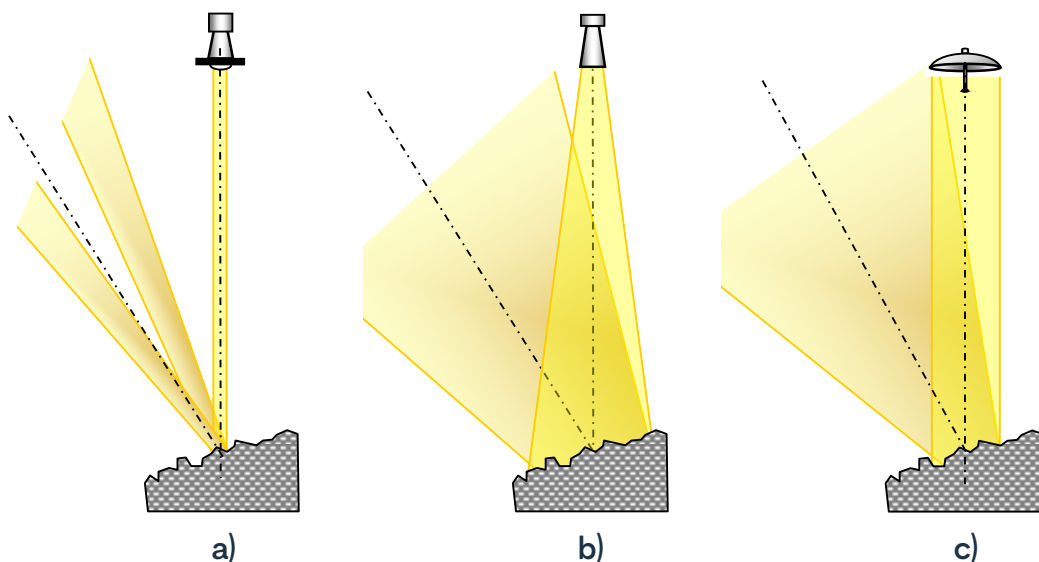
A forgási ellipszoid alakú csepp (*Drop*) antenna, működési elvét tekintve dielektromos lencse. Anyaga tömör PTFE vagy PP. Előnye, hogy egyszerű, jól tisztítható.

6.3.6. Felületi (*planar*) antenna

Kis helyfoglalású egyszerűen előállítható antenna, amely azzal éri el a kisugárzott nyaláb fókuszálását, hogy közösen (*egy fázisban*) táplált sok elemi sugárzóval, egy nagyobb átmérőjű felületet fed le. Az elemi folsugárzók, és a tápláló hullámvezetők nyomtatott áramköri technológiával készülnek. A vegyi ellenállás javítására a sugárzó felületre felvitt műanyag réteget használnak, vagy a mikrohullám számára átlátszó lapos dobozba helyezik. Javasolt felhasználása a vezetőcsőben való mérés.

6.3.7. A sugárzott jellel működő szintmérések összehasonlítása

A szintmérési gyakorlatban az ultrahang sugárzása és érzékelése ugyanazzal az eszközzel történik, amit ultrahangnál sugárzónak vagy érzékelőfejnek nevezünk. Mikrohullámnál, ehhez hasonlóan, a kettős feladatot az antenna látja el. A sugárzók vagy antennák eredő tulajdonságainak összehasonlítása sokat mondó, a mérési távolság és a határadatok szempontjából is.



6.8. ábra

Különböző sugárzási kúpszögű és átmérőjű antennák összehasonlítása nem sima, ferde felület mérésénél (*ömlasztett szilárd anyag, rézsűvel*). Kis átmérőjű, kis sugárzási kúpszögű antennával (a), nagyobb sugárzási kúpszögű antennával (b), és nagy átmérőjű antennával (c)

A dielektromos lencsével fókuszáló mikrohullámú antennák jellegzetesen kis sugárzó átmérővel valósítanak meg kis kúpszögű sugárzást (**6.8.a.** ábra). Így a sugárzás kis felületen éri a mérendő felszínt, ami nem egyértelműen előnyös. Sima nyugodt folyadéknál, pontosan kell beállítani a sugárzás függőlegességét. Hullámozó folyadék, vagy az ömlesztett darabos anyag rézsűje szétszórja a visszavert nyalábot, ezért az antennára jutó visszavert jel intenzitása lényegesen kisebb, mint vízszintes folyadékról. Vételnél, a nagyobb átmérőjű antenna, sokkal jobb hatásfokkal érzékeli ezt a szétszóró nyalábot.

A **6.8.** ábrán három antenna működése látható, ugyanolyan darabos anyag mérése közben. Az **(a)** ábrán az egyenetlen és ferde felület úgy veri vissza a sugárzást, hogy az kis valószínűséggel jut vissza az antennába. A **(b)** ábrán a sugárzási kúp nagyobb felületen sugározza be a darabos anyagot és egyenletesebb a visszavert jel intenzitása. A **(c)** ábrán a visszavert jel szintén egyenletesen szóródik, de a nagy átmérőjű antenna jó hatásfokkal érzékeli.

A terjedés és a visszaverődés összehasonlítása:

Az ultrahang sebessége a mérendő szint feletti gáz összetételétől függ. A gáz leginkább levegő, de a sebesség hőmérsékletfüggése jelentős, korrekciót igényel. A nyomástartomány korlátozott, az ultrahang vákuumban nem terjed. Az ultrahang csillapodása nem elhanyagolható, különösen nagyobb frekvenciákon.

A mikrohullám fénysebességgel terjed, *(vákuumban is)*, ami nehezíti a jel feldolgozását, de a terjedési sebesség nem függ sem a nyomástól, sem a hőmérséklettől.

Mikrohullámnál az intenzitás csökkenését jórészt a nyaláb széttartása okozza. Ugyanakkor a mért felületről a visszaverődés ultrahang esetében jobb. Amíg az ultrahang bármilyen sima folyadék felszínéről gyakorlatilag 100%-ban visszaverődik, addig a mikrohullámnál ez csak sima fémlemeznél igaz. Folyadékokról a visszaverődés a relatív dielektromos állandó függvénye, olajnál 15–20%, víznél 80%. Ugyanakkor ez azt jelenti, hogy a hullám tovább halad a folyadékban és ez újabb mérési lehetőségeket nyújt. Lehetőség lesz például olaj-víz és a víz-fém, réteghatárok mérésére. Itt azonban nem lesz meg az a pontosság, amit alapesetben a felszín mérésénél megszoktunk, hiszen a folyadékokban ϵ , értéke az anyag és a hőmérséklet függvénye.

A sugárzó, illetve adó-vevő antenna szempontjából a mikrohullám előnye, hogy sok antenna típust kidolgoztak, *(például hírközlési felhasználásokra is)* és ezek közül méret, iránykarakterisztika, vegyi ellenálló képesség, hatásfok *(hatótávolság)* és ár mérlegelésével lehet választani.

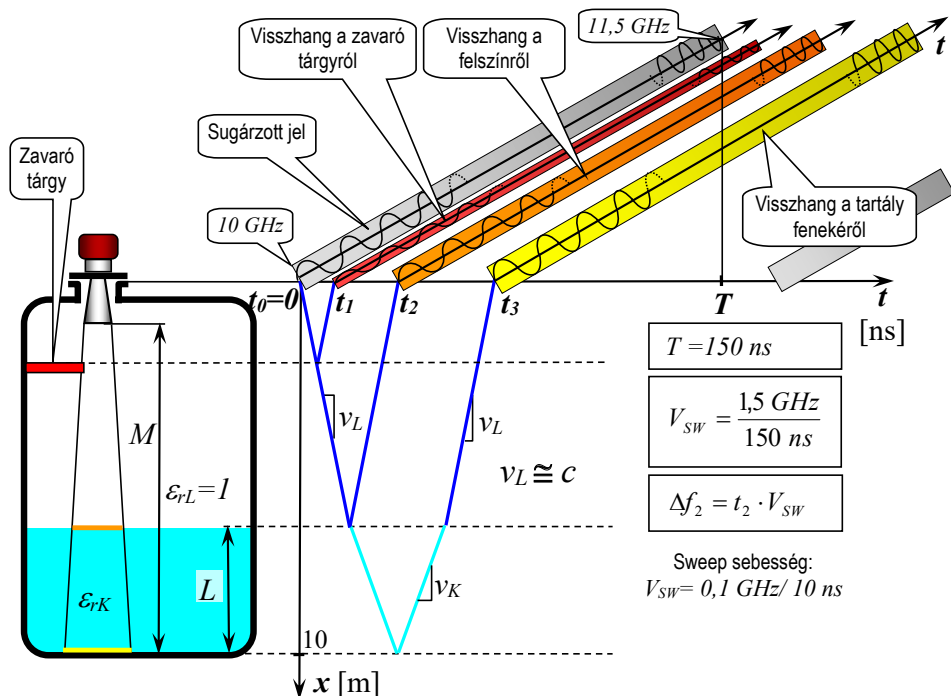
Az ultrahang sugárzók rezgési szempontból méretezett, viszonylag vékony műanyag háza, és piezoelektromos jelátalakítója sokkal kevésbé nyomás és hőmérsékletálló. Működésük és hatásfokuk egyaránt függ a hőmérséklettől, a nyomástól, és a piezoelektromos alkatrész Curie hőmérsékletétől.

A mikrohullámú készülékek nagy előnye, hogy a tartálytérbe kerülő antenna alkatrészei fémből, szigetelő elemei vastag műanyagból vagy kerámiából készülnek. Az üzemi hőmérséklet és nyomástartomány a tartályban, átlagos készülékeknél $-40...+80^{\circ}\text{C}$,

illetve $-1...+25$ bar. Különleges készülékeknel elérhető a tartálytérben a 300°C hőmérséklet, vagy 40 bar üzemi nyomás. Az átlagos, vagy annál gyengébb határok megvalósítására az olcsóbb műanyag antennák is alkalmasak. A kiterjesztett határokat fém antennákkal és kerámia szigeteléssel lehet megvalósítani.

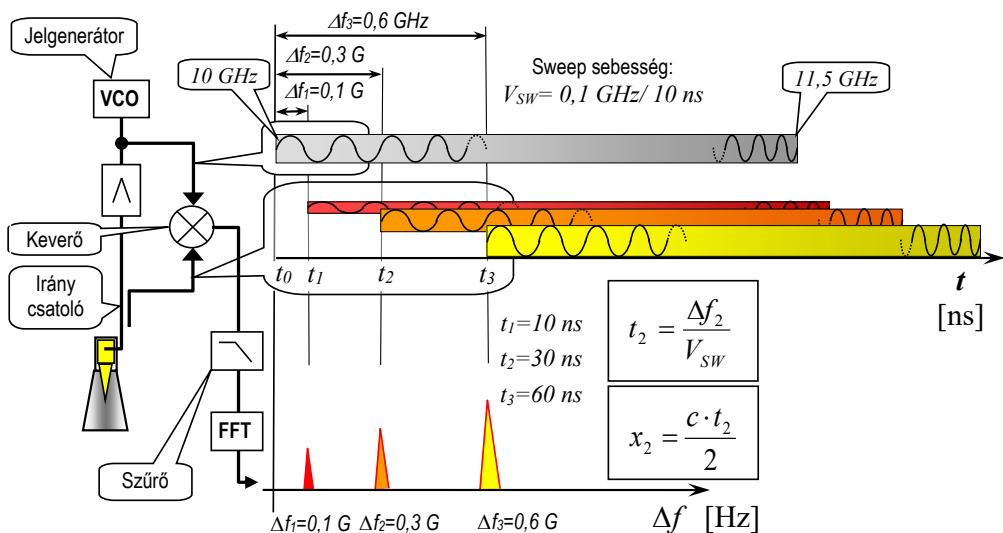
6.4. Az FMCW radar működése

Az elnevezés jól tükrözi a megoldás lényegét. FMCW = Frequency Modulated Continuous Wave = frekvencia modulált folytonos hullám. A t_0 kezdő pillanattól kezdve az adó áramkör, időben lineárisan növeli a kisugárzott frekvenciát. (Az amplitúdó állandó, és T idő után a sugárzás periódikusan folytatódik.) A 6.9. ábrán látható példánkban a frekvencia 10 GHz-től 11,5 GHz-ig változik. Ez a jel részben a zavaró tárgyról, majd nagyobb részben a felszínről, és végül a maradék a tartályfenékről visszaverődve t_1, t_2, t_3 időkéssel érkezik vissza. Ezeket a késéseket, a rendszer direkt úton nem méri. A vett jelek amplitúdója a reflexió mértékével arányos, a frekvenciájuk ugyancsak 10 GHz-től 11,5 GHz-ig fut végig. Az antennában egyszerre jelen van a kisugárzott és mindegyik vett jel. A pontos méréshez szükséges, hogy az adás frekvenciája lineárisan változzon az idő függvényében. A szűrő csak a kicsi különbségi frekvenciákat engedi át. A különbségi frekvenciák spektruma magát a visszhangképet adja, mert a frekvenciák a késéssel (futási időikkel), az amplitúdók pedig a visszhang nagyságával arányosak.



6.9. ábra

A kisugárzott, növekvő frekvenciájú folytonos jel, és annak három helyről visszavert visszhangja



6.10. ábra

A kisugárzott, növekvő frekvenciájú folytonos jel, és annak három helyről visszavert visszhangja

Az FMCW elv pontos mérésre ad lehetőséget. Már a korai katonai alkalmazásokban is megjelent ez a működési mód. A szintmérésben először nagy mérési távolságú pontos (és drága) műszerek készültek ezen az elven. A megvalósításban a nagyfrekvenciás (*mikrohullámú*) elektronika más, de az antenna választék itt is a **6.3.** alfejezetben bemutatott.

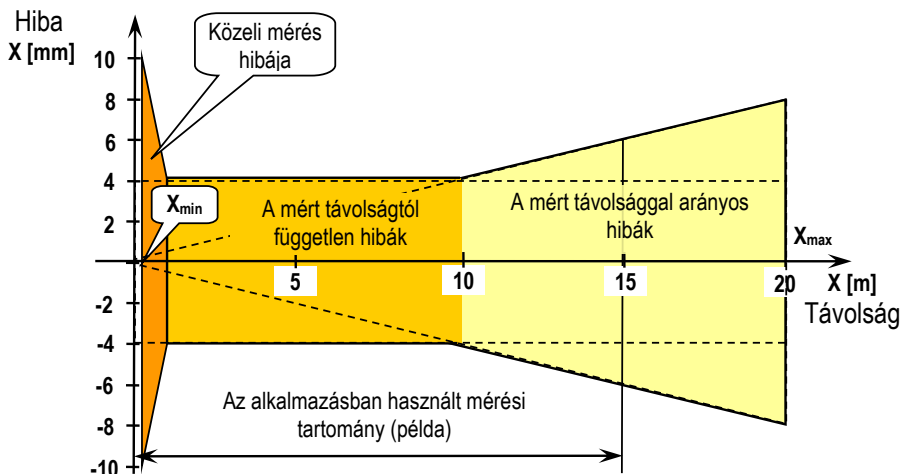
A törekvés az, hogy a pontos mérési módszer kis fogyasztású kétvezetékes szintmérőkben valósuljon meg.

6.5. A sugárzott mikrohullámú szintmérés pontossága

A mérési elv nagy előnye, az elektromágneses hullám sebességének állandósága. Így a tartálytér hőmérséklete, csekély járulékos hőmérsékleti hibát okoz. A készülék hőmérsékletfüggése inkább a mérőáramkör hibája, és a környezeti hőmérséklet befolyásolja. Adott típuscsaládon belül a hiba függ attól, hogy a készülék milyen antennával működik, és mekkora a mért közeg dielektromos állandója. Jellemző, hogy az eredő hibában a mért távolságtól független hibák dominálnak, ami jórészt linearitási hiba. Értéke $\pm 2 \dots \pm 10$ mm közötti. A hiba a mérési tartomány felső részén növekszik a mért távolsággal. Egészen kis mérési távolságoknál a hiba jelentősen megnő. A **6.11.** ábrán egy névlegesen 0,2–20 m mérési tartományú készülék hibája látható.

A távolságmérés nullpontja az antennán belül van, nem biztos, hogy hozzáférhető helyen. Ezért kívül jelölni szokták. A legkisebb mérhető távolság $X_{\min}$ már az antennán kívül esik. Az $X_{\max}$ távolság a készülék névleges adata, ami a referencia feltételekhez hasonló körülmények között teljesül (*nyugvó felszínű, jól vezető, vagy nagy dielektromos állandójú folyadék, például víz*). A kedvezőtlenebb üzemi körülmények hatására, a használható

mérési tartomány, $X_{\max}$ felére is lecsökkenhet. Rossz mérési feltételek mellett, ($\epsilon_{r_{\text{Közeg}}} < 3$, hullámzás, örvénylés, kis hatékonyságú antenna) akár az eredeti érték negyed is lehet. Így érthető, hogy miért készül $X_{\max} = 100$ m névleges mérési tartományú szintmérő.



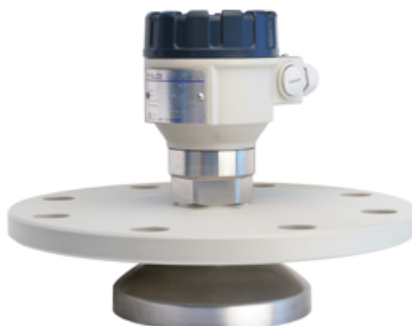
6.11. ábra

A sugárzott impulzusradar szintmérőkre jellemző hibahatárok, referencia feltételek mellett. (A környezeti hőmérséklet: $20 \pm 5^\circ\text{C}$, a visszaverő felület fémlemez.) Az FMCW radarok hibásávja hasonló jellegű, de a hiba nagysága, ennek fele-harmada

6.6. Készülékek és alkalmazások



PiloTREK WHS sorozatú készülék műanyagházas sugárzóval és hűtőbordával



Karimára szerelt PiloTREK WGS sorozatú távadó parabola antennával



Hűtőbordával ellátott
WHS sorozatú PiloTREK készülék
160°C hőmérsékletű bitumen szintmérésénél



PiloTREK WEM sorozatú
mikrohullámú szinttávadó
tölcsér antennával



Szennyvíz mérése
PiloTREK WPP-1AO-4
integrált szinttávadóval



Karimára szerelt
PiloTREK WJ sorozatú készülék,
szabadtéri tartályon



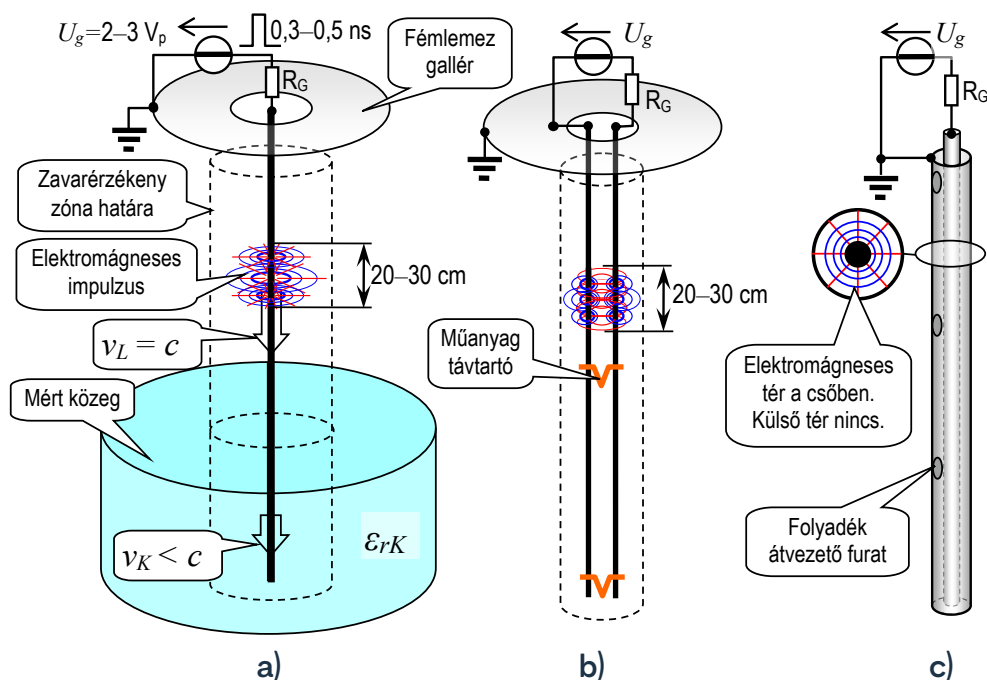
Műanyag tartályban tárolt folyadék
szintmérésére a tartályon kívül felszerelt
készülékkel

7. Vezetett hullámú radar

A mérési elv ötletét a híradástechnikai kábelek hibahelyének (zárlat vagy szakadás) megkeresésére szolgáló módszer adta. A hibátlan és hullámimpedanciával lezárt kábel hozzáférhető végére rövid feszültségimpulzust adva, és oszcilloszkóppal megfigyelve, visszavert impulzust nem látunk. Amennyiben a kábelben zárlat van, az oda-vissza futási idővel késleltetve, az adással ellentétes polaritású visszavert impulzus látható. Szakadási helyről azonos polaritással visszavert impulzust kapunk. A módszer neve, TDR (*Time Domain Reflectometry*). A szintmérésre való alkalmazás 1990 után terjedt el, vezetett hullámú radar (GWR = *Guided Wave Radar*) néven.

7.1. A hullámvezető és a vezetett impulzus

A készülék 0,3–0,5 nanoszekundum szélességű, kisteljesítményű ($2\text{--}3 V_p$, amplitúdójú) impulzusokat ad a mérendő közegbe belógatott függőleges hullámvezető szondára. A hullámvezető rúd vagy kábel, kettős (iker) rúd vagy kábel, illetve csőtápvonal vagy ko-axiális tápvonal. A nyitott hullámvezetőknel a felfelé sugárzást meg kell akadályozni. Erre szolgál a visszaverő fém gallér, vagy maga a fém felerősítő karima. Az impulzus a hullámvezető mentén ismert sebességgel, (közel fénysebességgel) terjed. Az impulzus



7.1. ábra

Három hullámvezető típus.

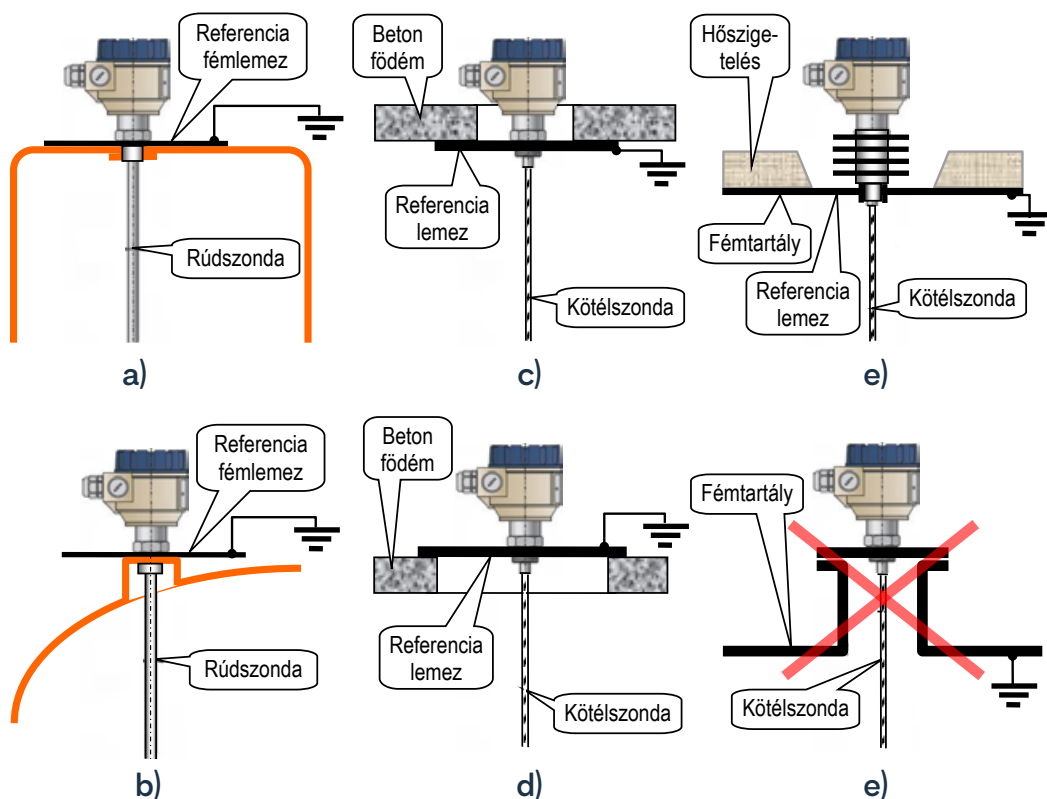
Egyes rúd vagy kötélsonda (a). Kettős rúd vagy kötélsonda (b), és koaxiális rúdsonda (c)

a nyomástól és a gáz összetételétől ($\epsilon_{rL} \approx 1$), tehát c fénysebességgel számolhatunk. A direkt távolságmérés pontossága hasonló a sugárzott radarhoz.

Gyenge reflexió esetén, például olaj mérésekor ($\epsilon_{rO} = 2$) az impulzus energiájának nagyobb része megy tovább, és a feszítősúlyról verődik vissza. Annak nagyobb átmérője és fém anyaga miatt a visszaverődés gyakorlatilag teljes. Megfelelő feldolgozó szoftverrel, az így keletkezett visszhangot is hasznosítani lehet. A folyadékba való behatolás rontja a direkt távolságmérés lehetőségeit, de lehetőséget nyújt az eltérő dielektromos állandójú folyadékok határának mérésére, vagy a PEP mérési módszer megvalósítására (7.5. fejezet).

7.3. A visszhang terjedését befolyásoló körülmények

Annak érdekében, hogy a mikrohullámú impulzus a nyitott terű rúd, kettős rúd, illetve a hasonló kötélszondákon jó hatásfokkal a szonda mentén induljon el, a készülék nyakánál egy földelt fémlemez gallérnak kell lenni. Ez lehet maga a fém tartály, a távadót tartó szabványos fém karima, és beton vagy műanyag tartály esetén egy megfelelő méretű (200 mm-nél nagyobb átmérőjű) fémlemez. Ezzel kapcsolatos megoldásokat,



7.3. ábra

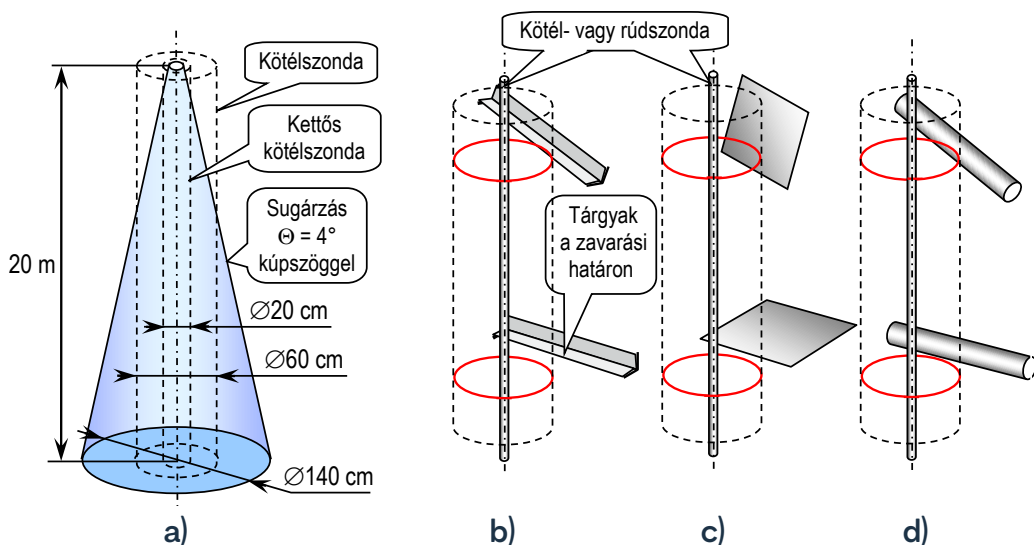
Felszerelési megoldások rúd, kötélszonda és kettős kötélszonda típusoknál. Műanyag tartályon (a) (b), betonsílon (c) (d), és fűtött fém tartályon (e). Az (f) megoldás a kiemelés kis átmérője miatt hibás

méreteket a szerelési utasítás is tartalmaz. Ugyanakkor a gallér alatti csőszakasz (*kiemelés*), méretére is vannak előírások annak érdekében, hogy alsó vége ne okozzon zavaró reflexiót. A koaxiális, vagy cső alakú hullámvezetőre nem kell fém gallér, mert azok csőve a készülékhez csatlakozik, a hullám erőtere végig a csőön belül halad. Az sem okoz zavaró reflexiót, ha szűkebb kiemelésen kell átdugni. A 7.3. ábrán a vezetett hullámú távadók helyes felszerelésére látunk példákat.

A vezetett radar minden mérésnél egy adott polaritású impulzust ad a hullámvezetőre. Mivel a levegővel körülvelt hullámvezetőn futó impulzus mindig nagyobb és nagyobb dielektromos állandójú közegekkel találkozik, a visszaverődő impulzusok a haldóval ellentétes polaritásúak lesznek. Ez az ábráinkon nem mindig látszik.

7.3.1. A zavarérzékenység határának értelmezése

A hullámvezetők alkalmazása lehetővé teszi, hogy az elektromágneses impulzus kevésbé szóródjon a térben, mint egy kis kúpszögű antenna sugárnyalábja. A 7.4.a. ábrán összehasonlítva látjuk, a nagyon kis kúpszögű ($\Theta = 4^\circ$) sugárzó és két hullámvezető szonda zavarérzékeny terét, vagyis a körülöttük szükséges szabad teret. A sugárzó, zavaró tárgyakra érzékeny tere már néhány méter után nagyobb átmérőjű, mint a vezetett hullámé. Ez azt is jelenti, hogy a vezetett impulzus energiája nem szóródik akkora területre, mint sugárzás esetén. Természetesen sok felhasználásnál, a sugárzott radar elsődleges előnye, hogy érintésmentesen mér.



7.4. ábra

A zavaró tárgytól tartandó távolságok. Az (a) ábrán a sugárzott radar zavarási határára jellemző kúpot látjuk, az egyszerű és a kettős kötélzonda henger alakú zavarási határához hasonlítva. A (b), (c) és (d) ábrákon a határt megközelítő fém tárgyak zavaró hatása ebben a sorrendben gyengül. A vízszintes tárgy mindig jobban zavar, mint a hasonló távolságú ferde

A műszaki adatokban, a nyitott hullámvezetők zavarérzékeny környezetének határát egy henger sugarával vagy átmérőjével szokták megadni. Ez tájékoztató adat, értelmezése mérlegelést igényel, hiszen a hullámvezetőtől egyenlő távolságban elhelyezkedő, de különböző alakú fém tárgyak által okozott zavaró jel amplitúdója nagyon eltérhet. A javasolt távolságokat nem úgy kell értelmezni, hogy azon belül minden zavar, azon kívül pedig semmi. Az előbbieket szerint mind a zavaró tárgy anyaga, mind az alakja és helyzete is számít.

A **7.4.b, c, d.** ábrákon a vízszintes szögvas, sík fémlemez és hengeres rúd vagy cső zavarása ebben a sorrendben gyengül. Az előbbi tárgyak, ha nem vízszintesek, akkor kevésbé zavarnak.

A szükséges távolságtartás jellemző értéke: Kötél- és rúdszonda esetén ~600 mm átmérő. Kettős kötéll és kettős rúdszondánál ~200 mm átmérő. Koaxiális szondánál a csövön kívül nincs szükség távolságra.

7.3.2. A visszhang feldolgozása

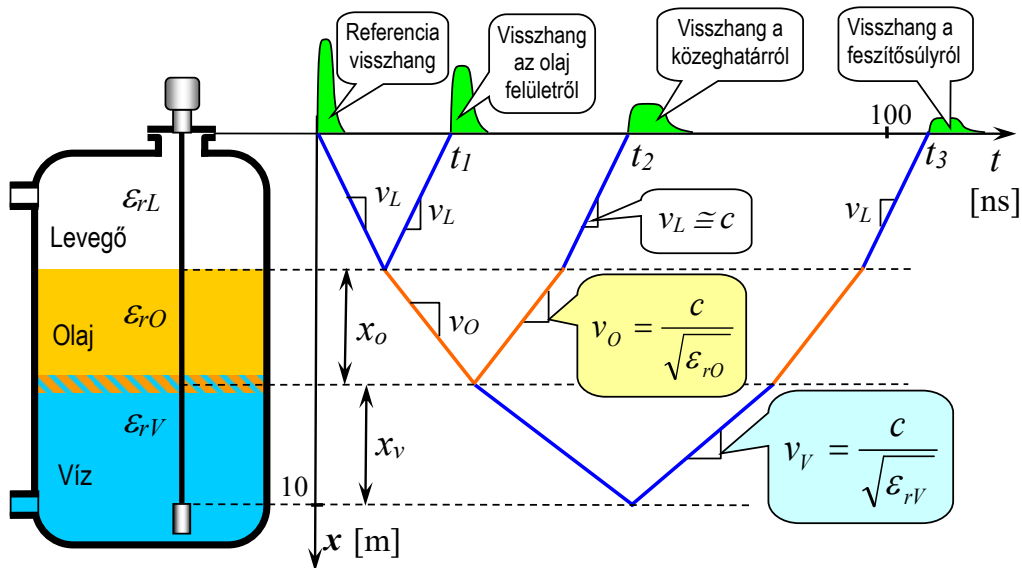
Példaként vegyük a következő számadatokat: Az adó áramkör 1 μ s periódusidővel, tehát 1 MHz frekvenciával adja ki a nanoszekundumnál rövidebb gerjesztő impulzusokat. Erre kapott válaszként visszaérkezik egy visszhang a karimáról, majd egy másik a felszínről. Ha csak ez a két visszhang lenne, akkor nem lenne nehéz felismerni a mérendő távolsághoz tartozó futási időt. A hullámvezető mentén, azonban több helyen keletkezhetnek, kisebb zavaró reflexiók. Ezért a mérendő felszínről visszajövő jelet több zavaró jelből kell kiválasztani, amihez szükség van a teljes visszhangképre. A valóságban mikroszekundumonként beérkezik a teljes visszhangkép, de ez igen gyors feldolgozást igényelne. *(Ultrahang esetében sokkal kisebbek a sebességek, tehát a visszhangkép valószínűleg időben tárolható.)* A gyakran alkalmazott időtranszformációs megoldás szerint, a fénysebességgel érkező visszhangképből minden kibocsátott impulzus után csak egy mintát veszünk, minden periódusban egy-egy nanoszekundummal később. Az eredményeket sorba rakva, ezer mintavétel után kapunk egy teljes visszhangképet. *(A jelfeldolgozásnak ez a módja megegyezik az analóg mintavételező oszcilloszkóp működésével, az 1960-as évekből.)*

7.4. Rétegződő folyadékok közeghatárának mérése

A közeg vagy fázishatár mérés tipikus esete, a levegő-olaj-víz rétegeket tartalmazó tartályok mérésének. Megfelelő jelfeldolgozó szoftverrel és a következő fizikai feltételek mellett a három közeg közötti két fázishatár megmérhető.

Az olajréteg ϵ_{r0} dielektromos állandója elegendően nagyobb a levegőnél, és kisebb a víznél.

Az olajréteg vastagsága elegendően nagy ($x_0 > 10$ cm) kell legyen. Az olaj és víz közötti emulziós réteg elegendően vékony, vagyis az átmenet éles.



7.5. ábra
Rétegződött folyadékok szintjének mérése

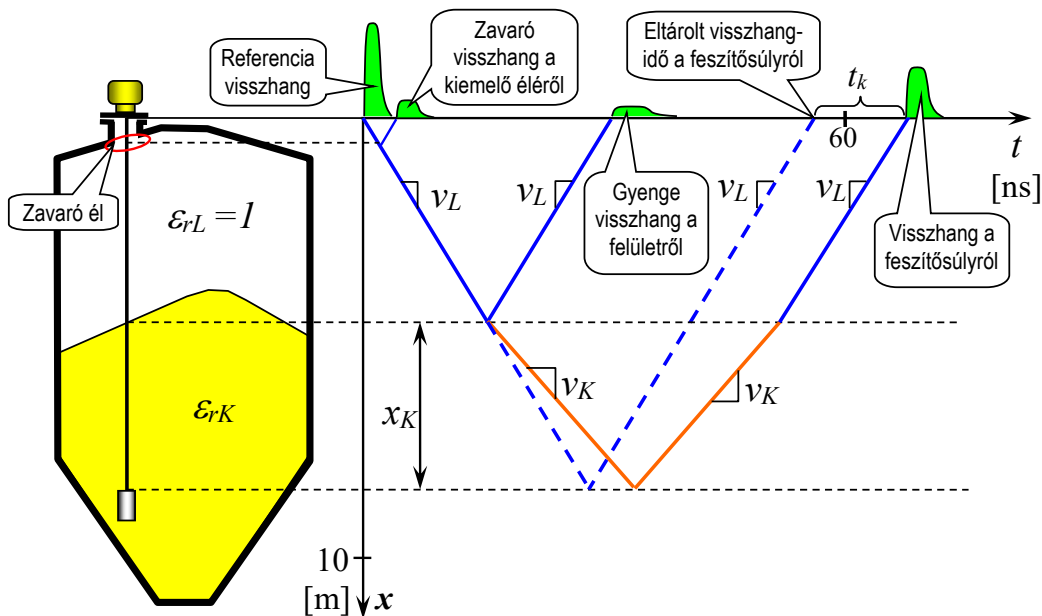
Ehhez hasonló alkalmazást, láthattunk, a kétúszós magnetostrikciós készülékeknél. Nem biztos, hogy a kétféle távadó mindig alkalmas ugyanazon anyagok megkülönböztetésére, mert magnetostrikcióval a sűrűségek különbsége, vezetett radarnál a dielektromos állandók különbsége érzékelhető.

7.5. PEP vagy TBF működési mód

Amennyiben a közeg ϵ_{rK} dielektromos állandója viszonylag kicsi ($\epsilon_{rK} = 1,4-1,8$), és emellett nem elég ugrásszerű a változása, (*ferde felületű darabos poros anyag*), a felületről gyenge, rosszul felismerhető visszavert jelet kapunk. Egyes készülékek ebben az esetben átkapcsolhatók (*vagy automatikusan átkapcsolnak*) egy másik üzemmódba. Ilyenkor a készülék a közegben továbbhaladó és a feszítősúlyról visszaverődő impulzus beérkezését méri. Mivel a közeg felületéről a visszaverődés kicsi, az energia nagy része tovább halad. A levegőnél nagyobb dielektromos állandójú közegben az impulzus kisebb sebességgel terjed:

$$v_K = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{rK}}}$$

A 7.4. ábrán látható, hogy a hullám sebessége az ϵ_{rK} értékétől függően kisebb lesz. Ebben az üzemmódban a készülékek az üres tartályban mérhető futási időhöz képesíti t_K késésből számítja az x_K magasságot. A PEP elnevezés (*PEP = Probe End Projection*) arra utal, hogy a kábelvég visszhangjának eltolódását mérjük. Másik elnevezés TBF = Tank Bottom Following. A módszer hátránya, hogy a mérési pontosság ϵ_{rK} állandóságát igényli. Tehát a készüléket a mért közeghez kalibrálni kell.



7.6. ábra

Gyengén visszaverő felületű közeg szintjének mérése a PEP módszerrel

7.6. Szonda választék

A még mérhető közeg dielektromos állandójának alsó határát a jelfeldolgozó áramkör érzékenysége, a szoftver „okossága” és a szonda együttesen határozzák meg. Kisebb dielektromos állandójú ($\epsilon_{rK} < 2,1$) közeg is mérhető, ha a gyártó által megadott maximális szondahossznál rövidebb szondával kívánunk mérni. Megfigyelhető, hogy a szonda vesztesége (ami a kiviteli minőségnek is függvénye) annál kisebb, minél kisebb keresztmetszetben koncentrálódik a szállított energia. A kettős kötéliszonda jó működéséhez szükséges, hogy törés- és hurkolódásmentesen, párhuzamosan kifeszítve lógjanak, mert így nem keletkezik rajtuk zavaró reflexió. Ezt segítik a távtartók, amelyek azonban bizonyos szemcseméret felett felrakódást és beakadást okozhatnak. A kettős rúd vagy koaxiális szondák vesztesége még kisebb, de a szállíthatóság és a sérülékenység miatt korlátozott ($\sim 3\text{ m}$) a hosszúságuk. Szakaszokból összerakott (szegmentált) kivitelen, rövidebb-hosszabb darabokból, 6 m-ig terjedő szondahossz szokásos. A precíz, menetes csatlakoztatás miatt, különösen a koaxiális kivitel drága.

Inhomogén folyadékoknál, a csőben belüli folyadék sűrűségi eloszlása, meg kell egyezzen az eloszlással a tartályban. Ezért a **6.2.b.** ábrával kapcsolatos megjegyzések itt is érvényesek.

A tartálytérben megengedhető legnagyobb nyomás, jellemzően 40 bar. A hőmérséklet-határok változatosabbak, -40°C -tól $+150\ldots+250^\circ\text{C}$ felső határig. Korrozív folyadékokhoz készülnek szigetelt szondák. Ezek hőmérséklettartományát a szigetelés korlátozza.

Kialakulóban van egy átmeneti megoldás a sugárzott és vezetett radar között. A 6.4. ábrán láttunk példát arra, hogy kis átmérőjű és kis kúpszögű antennával vezetőcsőben lehet mérni. A vezetőcsőnél lényegesen kisebb, ~20 mm átmérőjű hullámvezető csőhöz, a megfelelő hullámhosszú impulzus radar, interferencia nélkül illeszthető. Előnye, hogy gyakorlatilag a tartályfenékgig, lehet mérni, ha a cső alsó nyitott végén egy 45°-os reflektor felület oldalra tükrözi a jelet. A folyadék homogén és kis viszkozitású kell hogy legyen, mert a hullámvezető csövön csak egy felső levegőző furat lehet. A tartálytérben megengedhető legnagyobb nyomás, 200 bar, a felső hőmérséklethatár 400°C.

Folyadékok mérése. Közvetlen reflexió a felületről

A szonda típusa	A közeg relatív dielektromos állandója ϵ_r	Legnagyobb szondahossz
Kötél Ø4 mm	>2,1	24 m, 45 m
Kötél Ø8 mm	>2,1	24 m
Kettős kötél Ø4 mm	>2,1	24 m, 60 m
Rúd	>2,1	3 m, szegmentálva 6 m
Kettős rúd	>1,8	3 m
Hullámvezető cső	>1,6	3 m, szegmentálva 6 m
Koaxiális	>1,4	6 m

Ömlesztett szilárd anyagok, porok mérése

Kötél Ø8 mm	>2,1	24 m
Kettős kötél Ø4 mm	>2,1	30 m
Rúd	>2,1	3 m, szegmentálva 6 m
Kettős rúd	>1,8	3 m

7.1. táblázat

Jellemző szondahosszak. Cégenként és gyártott típusonként eltérhetnek, és a jelenlegi állapotot tükrözik

7.7. Telepítési tanácsok

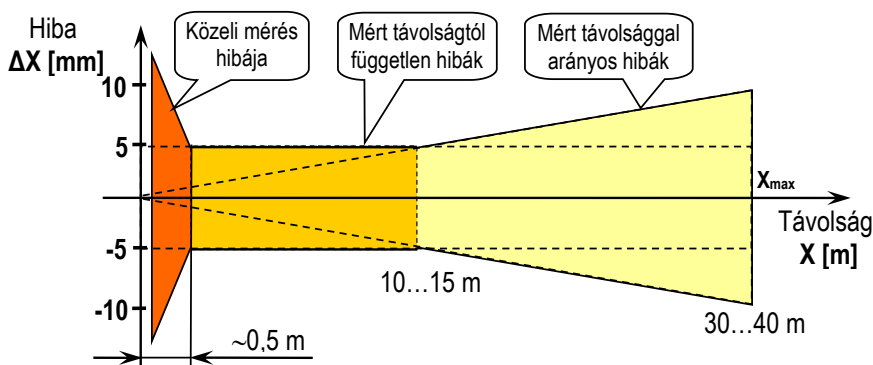
A szonda vagy a feszítő súly nem érhet le a tartály aljára. A folyadék áramlása ezért a kötélszondát, de akár egy hosszú rúdszondát is lengésbe hozhatja. Kötélszonda esetében, a távolság megtartása mellett a fenékre helyezett mágnessel és vas feszítő súllyal ez megakadályozható. A rúdszonda hosszát a szerelhetőség, a szilárd anyag mozgása, a folyadékok örvénylése korlátozhatja. Az egyszerű folyadékos szondák hosszát a felhasználó is csökkentheti azok méretre vágásával. A porok és granulátumok méréséhez gyártott kötelek feszítő súlya nagyon erősen rögzített, a felhasználó által rendszerint nem szerelhető. Műanyag tartályban való mérésnél, a tartályon kívüli fém tárgyaknak is lehet zavaró hatásuk. Például a tartályt erősítő abroncsokra is érvényes a szondától mért minimális távolság betartása. Ne legyen a szonda az anyagbeömlés közelében, mert a beömlő anyag, amíg végigfolyik a szondán, hibás mérést eredményez. Ha kevés a hely, akkor a beömlő anyagot terelőlemezzel kell távol tartani.

Előfordul, hogy a gyártó a mért folyadék viszkozitására is ad határokat. Ez azzal függ össze, hogy a szondák felületére feltapadó és ürítéskor lassan lefolyó anyag folyamatosan

változtatja a szonda hullámimpedanciáját, ami mérési hibát, vagy átmeneti mérés kiesést okoz. A folyadék kinematikai viszkozitása jellemző arra, hogy mennyi idő alatt folyik le, és meddig tart az átmeneti állapot.

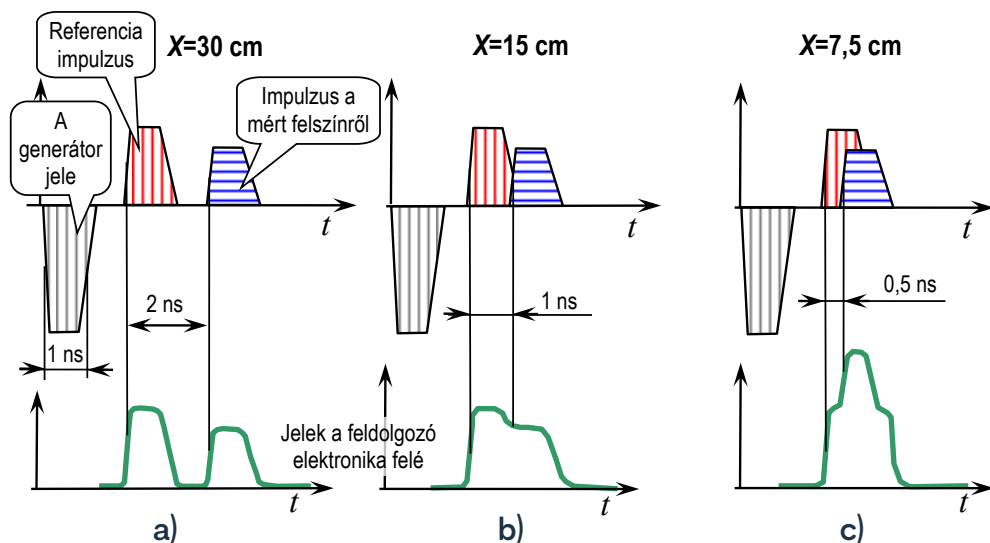
7.8. Hibaforrások és a pontosság

Folyadék szintmérésénél a mérési hiba a legkedvezőbb közepes távolságoknál: $\pm 2... \pm 10$ mm. A jobb adatok precízebb kialakítású szonda (rúd, kettős rúd, vagy koaxiális), és nagyobb dielektromos állandó esetén érvényesek. Ömlesztett szilárd anyagoknál a hiba ennél akár egy nagyságrenddel nagyobb is lehet. A vezetett hullámú radaroknál jelentkezik legjobban az egészen kis távolság mérésénél megnövekvő hiba, aminek alapja minden visszhangos távolságmérőben felismerhető.



7.7. ábra

A vezetett hullámú radar jellemző hibahatárai



7.8. ábra

A vezetett hullámú radar jelalakjai, kis távolságok mérésénél

Mi az oka a közeli mérés pontossági korlátainak? A készülék adáskor egy modulálatlan impulzust sugároz ki, ennek hossza legyen $\tau = 1$ ns, ami távolságban kifejezve ~ 30 cm. A **7.8.** ábrán három különböző x távolságnál látható, a generátor negatív feszültségimpulzusa, a referencia felületről kapott visszhang, valamint a közeli felszínről kapott visszhang. A visszaverő felszín távolsága a referencia felülettől $x = 30$ cm. A **7.8.b.** ábrán a távolság $x = 15$ cm, a **(c)** ábrán 7,5 cm. A két utóbbi esetben a referencia jel és a visszhang egymásra szuperponálódik és az alsó sorban látható jelalak jön létre. Így érthető, hogy a két véges meredekségű impulzus felismerése nehezebb, a távolságmérés pontatlanabb lesz. Ezen az áron azonban elérjük, hogy a minimális mérési távolság, megfelelő dielektromos állandójú közeg esetén akár 5 cm-re csökkenthető.

7.9. Készülékek és alkalmazások



MicroTREK szinttávadó
koaxiális rúdszondával



A készülékek dugaszolható kijelzője,
a készülékből kiemelve



MicroTREK
szinttávadó
feszítősúllyal ellátott
kötélshondával



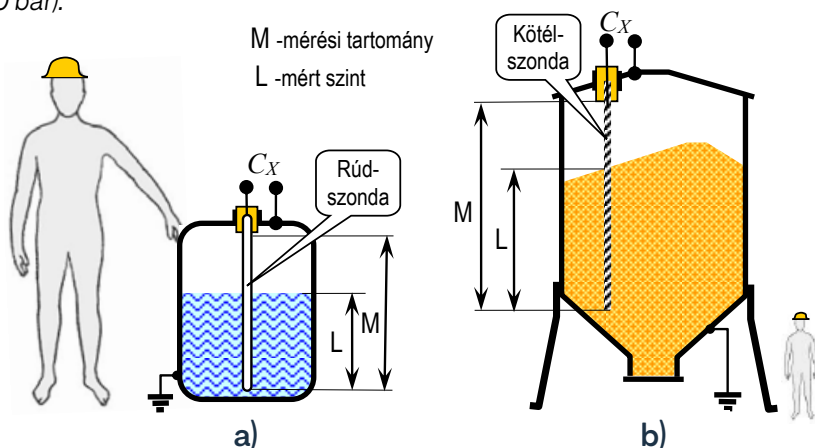
MicroTREK HH sorozatú készülék gyógyszeripari technológiai berendezésen
Karimára szerelt MicroTREK szinttávadó földalatti gyűjtőtartályon



8. Kapacitív szinttávadók

8.1. A mérés alapelve

A század ötvenes éveiben jelentek meg, az első mozgó alkatrészek nélküli, tisztán elektronikus szintmérők. A már ismert, de az ipari mérés technikában még nem elterjedt kapacitív mérési elvet használták. A mérési elv szerint, a fém tartály és a benyúló szonda olyan kondenzátort képeznek, amelynek dielektrikuma a mérendő anyag. A kondenzátor C_x kapacitása a szint emelkedésével növekszik. A szinttávadók mai választékban, a sok távolságmérésen alapuló szintmérési elv mellett ez az egyik kivétel. Ebben az esetben nem az anyag felszíne fölötti távolságot, hanem az anyagmennyiség magasságát mérjük. A 8.1. ábrán látható M mérési tartomány a szonda alsó végétől a technológiai csatlakozásig terjed. A megvalósítható mérési tartomány $M \approx 0,2 \text{ m-től } M \approx 40 \text{ m-ig}$ is terjedhet. A kapacitást rendszerint szinuszos váltakozófeszültséggel működő kapcsolás méri, ami a tartályon kívül, de a mérendő kapacitás közvetlen közelében van felszerelve. A mérőjel frekvenciája az $f_g = (10-500) \text{ kHz}$ tartományba esik. A mérőáramkör egyenirányított kimeneti jelét, a más intelligens távadókhoz hasonló digitális rendszer dolgozza fel. Viszonylag egyszerű mérőkörrel, szerény pontosság, de nagy hőmérséklet- és nyomáshatár érhető el (200°C , 50 bar).



8.1. ábra

Kapacitív szintmérés fém tartályban. A mért anyag folyadék (a), vagy ömlesztett szilárd anyag (b).

8.2. A kapacitív szintmérés elektromos helyettesítő képe

A 8.2. ábrán olyan elektróda elrendezést mutatunk be, amely inkább a laboratóriumi méréseknél használatos. A két párhuzamos fém elektróda és az ábrán nem mutatott szigetelő oldalfalak, valamint a szigetelő fenéklemez együtt alkotnak egy mérőedényt. A 8.2.a. ábrán az edény üres. A (b) ábrán x magasságig ϵ_{rk} dielektromos állandójú, nem vezető anyag (folyadék vagy por) tölti meg. A (c) ábrán ugyanez az anyag teljesen megtölti az edényt.

Az üres edény kapacitása: $C_0 \cong \varepsilon_{rl} \varepsilon_0 \frac{A}{s}$

A tele edény kapacitása: $C_F = \varepsilon_{rk} \varepsilon_0 \frac{A}{s}$

Ahol: $\varepsilon_{rl} = 1$ az elektródák közötti levegő relatív dielektromos állandója (permittivitása)

A levegő relatív dielektromos állandója jó közelítéssel megegyezik a vákuumével

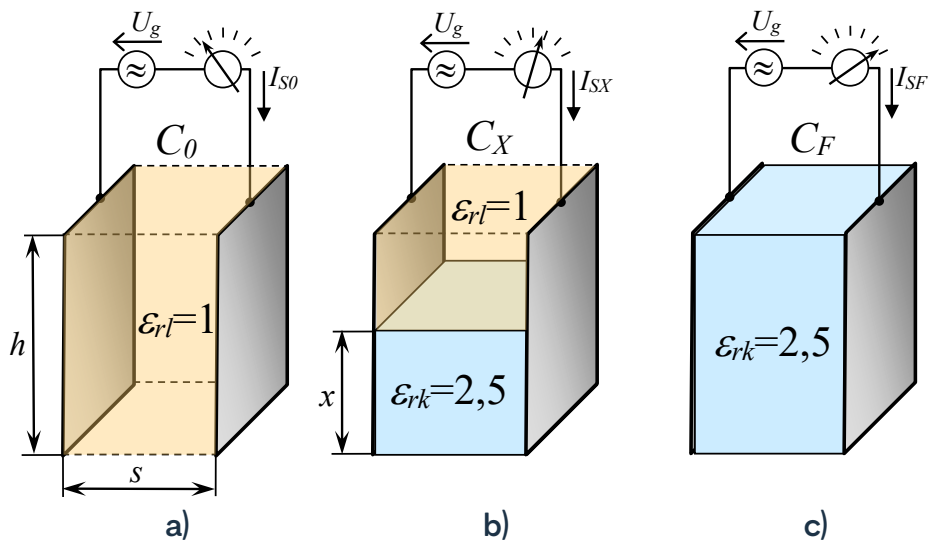
ε_{rk} = az elektródák közötti anyag (mérendő közeg) relatív dielektromos állandója

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} [\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} = \text{F} \cdot \text{m}^{-1}]$

A = a sík elektróda felülete

s = az elektródák távolsága

A közelítés abból áll, hogy csak a lemezek közötti térrész kapacitását vesszük figyelembe, a külső tér kisebb kapacitását nem. A kapacitás méréséhez egy nagyfrekvenciás generátor f_g frekvenciájú U_g feszültségét kapcsoljuk az elektródákra, és árammérővel mérjük a váltakozó áramot. A mérendő anyag vezetőképessége elhanyagolhatóan kicsi, ezért az I_{SX} áram tisztán

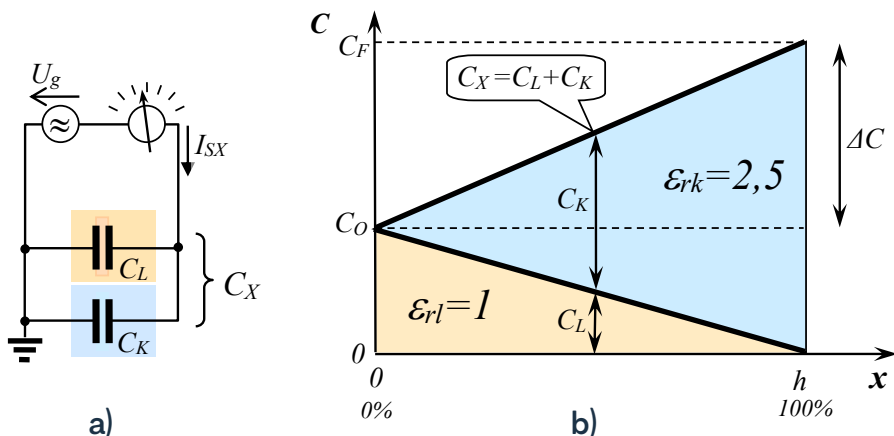


8.2. ábra

A mérőedény kapacitásának változása az ürestől a tele állapotig

kapacitív, effektív értéke a kapacitással arányos:

$$I_{SX} = \frac{U_g}{X_c} = \frac{U_g}{1/2\pi f_g C_X} = 2\pi f_g U_g C_X$$



8.3. ábra

Az x szint növekedésével a légtér C_L kapacitása csökken, a közeg C_K kapacitása növekszik.
Mérni csak a két kapacitás C_X összegét lehet

Elektromosan szigetelő közeg esetében a **8.3.a.** ábrán látható kapcsolással helyettesíthető a mérőkör és a mérőedény. Az x magasságú anyag kapacitása és a felette lévő légtér kapacitása párhuzamosan kapcsolódik, tehát összeadódnak. A feltételeknek megfelelő anyagok legnagyobb részének relatív dielektromos állandója 1,5–5 közötti. Az üres és tele állapot közötti kapacitásváltozás: $\Delta C = C_F - C_0$

A kezdő kapacitáshoz viszonyított relatív változás:
$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\epsilon_{rk} - \epsilon_{rl}}{\epsilon_{rl}} = \epsilon_{rk} - 1$$

A relatív kapacitásváltozás csak a mérendő közeg relatív dielektromos állandójától függ, tehát nagyobb relatív változást más elektróda elrendezésnél sem kapunk.

Folyadékok	Relatív dielektromos állandó (ϵ_r)	Ömlesztett szilárd anyagok	Relatív dielektromos állandó (ϵ_r)
Cseppfolyós gázok	1,2–1,8	Műanyag granulátum	1,1–2,8
Benzin	1,9–2,2	Égetett mész	1,6–2,5
Petróleum	2,0–2,4	Cement	2–4
Motorolaj	2,0–2,8	Száraz gabona	2,3–4,4
Dieszel üzemanyag	2,1	Liszt	2,5–4,5
Víz*	78–81	Száraz homok	3,8

*A víz relatív dielektromos állandója nagy, ezért az ömlesztett szilárd anyagok dielektromos állandója erősen nedvességfüggő.

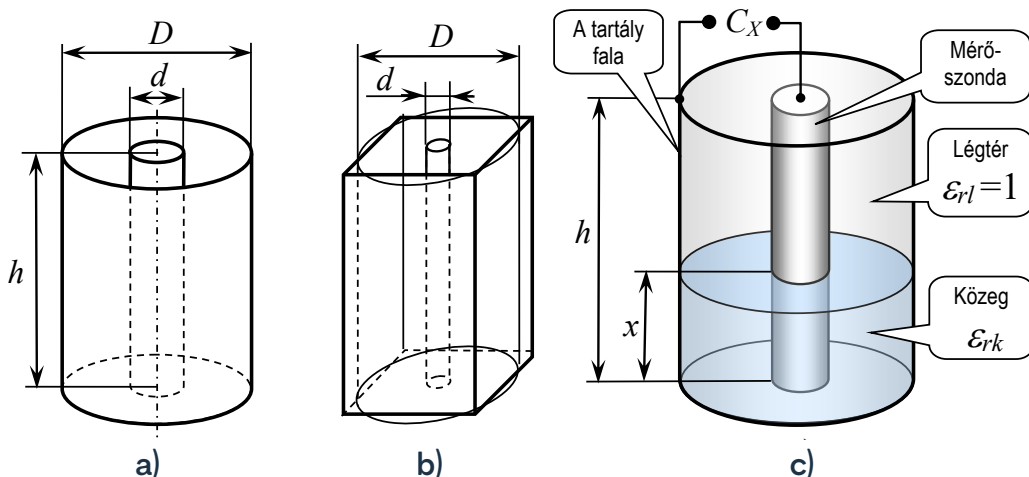
8.1. táblázat

Nem vezető anyagok, jellemző relatív dielektromos állandója

Ugyanakkor a kapacitás abszolút nagyságát az elektródák geometriai elrendezése is befolyásolja. A mérési pontosság növeléséhez mind a relatív változás, mind az abszolút kapacitás növelése kedvező.

8.3. Szintmérés szigeteletlen szondával

A gyakorlatban használt elektróda-elrendezést a tartályok szokásos alakja adja. Az álló henger, vagy négyzetes hasáb alakú fém tartály, az egyik elektróda (fegyverzet). A felülről függőlegesen benyúló fém rúd vagy drótkötél mérőszonda, a másik elektróda. A tartály életvédelmi okból, illetve építési szempontból eleve földelt. A mérőszondát a tartálytól elszigetelten tartja a szonda nyak.



8.4. ábra

A henger vagy hasáb alakú tartály, és a központos rúdszonda közötti kapacitás

Az elektróda-elrendezés kapacitásának közelítő kiszámítására, felhasználjuk a 8.4.a ábrán látható koncentrikus elektródák, kapacitásának összefüggését. A hengerpalást alakú külső fém elektróda, és a koncentrikus belső elektróda közötti kapacitás:

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{2\pi h}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}$$

A végeken kialakuló erőteret elhanyagolva, az állandó keresztmetszetű hengerekből álló elrendezés kapacitása arányos a h magassággal.

Milyen hatással vannak az átmérők az üres tartály kapacitására?

A kötélszondák szokásos átmérője: $d = 2,5\text{--}8\text{ mm}$.

A rúdszondák szokásos átmérője: $d = 10\text{--}12\text{ mm}$.

A tartály átmérője tipikusan: $D = 1000\text{--}4000\text{ mm}$.

A fenti adatokból számolt D/d viszony szélső értékei: $D/d = 83\text{--}1600$

A változatos átmérőarányok ellenére a koncentrikus elektródák közötti kapacitás alig változik, amit a logaritmus kapcsolata fejez ki: $\ln \frac{D}{d} = 4,42\text{--}7,38$.

Becslés szintjén azt mondhatjuk, hogy az üres tartályban a központos szonda kapacitása: $C_0 = h \cdot 10 \text{ pF/m} \pm 25\%$.

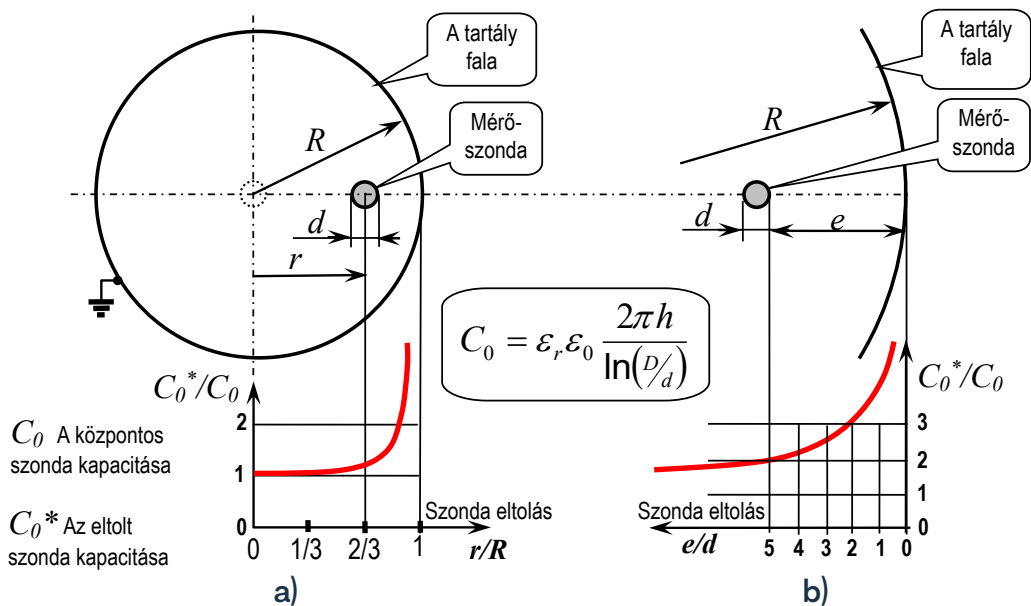
Ha a tartály alakja nem henger, hanem négyzet alapú hasáb, a kapacitás becslését visszavezethetjük a **8.4.b.** ábra szerint, henger számítására. A **8.4.c.** ábrán látható részben töltött tartály kapacitása:
$$C_x = x \varepsilon_{rk} \varepsilon_0 \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}} + (h - x) \varepsilon_{rl} \varepsilon_0 \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}} = [x(\varepsilon_{rk} - 1) + h] \varepsilon_0 \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}}$$

A kapacitás pontos számítása nehéz de nincs is rá szükség, mert a szintmérőt valószínű körülmények között kalibrálni kell. A becslés célja, hogy ellenőrizzük a szonda kiválasztásának, illetve a C_x kapacitást mérő elektronika méréshatárának helyességét. Figyeljünk fel arra, hogy a tele és üres állapot közötti kapacitásváltozás az üreshez viszonyítva, itt is, $\frac{\Delta C}{C_0} = \varepsilon_{rk} - 1$.

Tehát, a mérendő közeg relatív dielektromos állandója legalább $\varepsilon_{rk} > 1,5$ legyen.

8.3.1. A középponttól eltolt helyzetű mérőszonda

A tartály tengelyvonalában elhelyezkedő mérőszonda adja a legkisebb kapacitást, és itt a legkisebb a zavaró hatása, a központosságtól és a függőlegestől való eltérésnek. A **8.5.a** ábrán felülnézetben látható a hengeres üres tartály a szondával. A C_0 kapacitás C_0^* -ra változik, ha a szondát a középpontból a tartály fala felé mozgatjuk. A kapacitás változása akkor lesz számottevő, amint a szonda a középponttól $2/3 R$ -nél távolabb kerül.



8.5. ábra

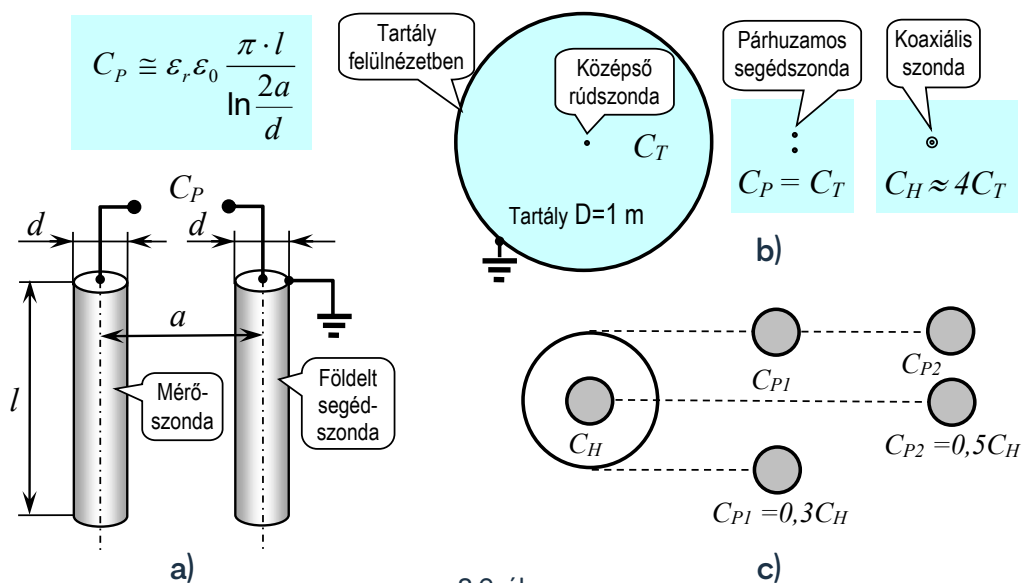
A kapacitás változása, nem központos szonda elhelyezésénél. A faltól távoli mérőszonda kapacitása, a tartály sugarának $2/3$ részéig alig változik (a). A tartály falának közelében a kapacitás inkább a szonda átmérőjétől függ. Nem célszerű az e távolságot $5d$ -nél kisebbre csökkenteni (b)

A növekedés hasznos lehet, de minél közelebb kerül a szonda a falhoz, a kapacitás annál érzékenyebb lesz a párhuzamosságra, illetve a távolság stabilitására. További közelítésre a kapacitás végtelenhez tart, és növekszik a zárlat veszélye. Célszerű az e távolságot **5d**-nél nagyobb értéken tartani. A közeli szonda helyzetének kellő stabilitását távtartókkal kell megvalósítani.

A rúdsonda 4 m feletti hosszúságban nehezen szerelhető (létezik több darabból összerakható rúd is). A magasabb tartályokhoz készülnek a kötélsondák, amelyek egyenességét és stabil helyzetét feszítő súllyal, vagy az alsó kötélvég szigetelt kikötésével lehet biztosítani.

8.3.2. Segédsondák

Ha a tartály nem tekinthető megbízható elektródának vagy nem vezető, akkor a mérőszonda közelében egy földelt fém szondát kell elhelyezni, amit segédsondának nevezünk. A 8.6.a. ábrán a mérőszondához hasonló méretű párhuzamos rúd, és a köztük mérhető kapacitás számítása látható. A koncentrikus rúd és cső kapacitásának számítását már ismerjük.

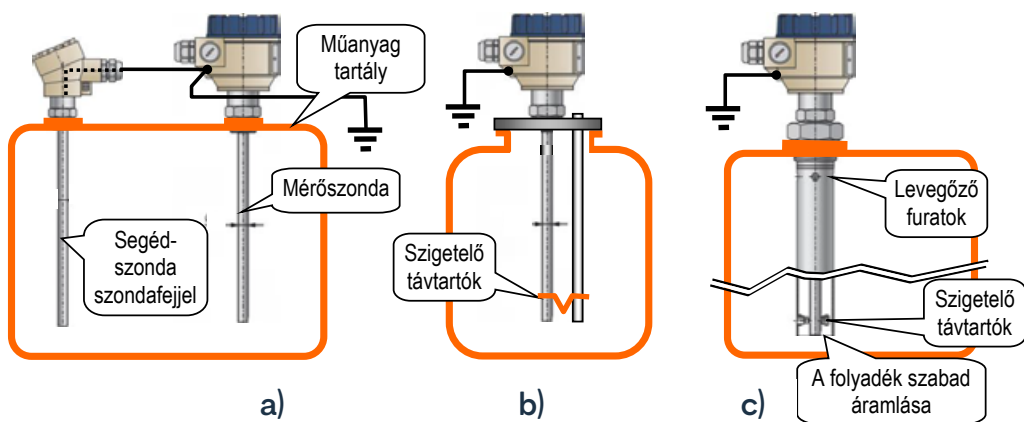


8.6. ábra
Párhuzamos rudak kapacitása (a), különböző szondák kapacitásának hasonlítása (méretarányosan) a tartályhoz (b), és egymáshoz (c)

A cső segédsonda, a rúdsondás készülék nyakára felcsavarható, ami rögtön kapcsolatot teremt a mérőfölddel is. A cső belső átmérője viszonylag kicsi, ezért az egyenlegységet szigetelő távtartókkal pontosan be kell állítani. A csőn kívül és belül a folyadék összetételének, szintjének meg kell egyeznie, ezért a folyadék, illetve a levegő szabad áramlását alul-felül biztosítani kell. Ömlesztett anyagoknál vagy nagy viszkozitású folyadékoknál, a koncentrikus cső segédsonda nem használható, mert az anyag nem megy be csőbe. Párhuzamos rudakhoz hasonló elrendezésű kötélsondát is gyártanak viszonylag sűrűn elhelyezett távtartókkal, elsősorban magas folyadéktartályokhoz.

8.3.3. Műanyag tartályok

A szigetelőanyagú (műanyag) tartályok nem használhatók elektródaként. Helyette a tartályba benyúló fém segédsondát kell használni. A **8.7.** ábrán három megoldást látunk. Az **(a)** ábrán a segédsonda a mérőszondához hasonló rúd, amit külön szondafejvel a mérőszondától távolabb, vagy a **(b)** ábra szerint a mérőszondával együtt, közös technológiai csatlakozásban helyeznek el. A hosszú és egymáshoz közeli mérőszonda és segédsonda



8.7. ábra

A segédsondák elhelyezése műanyag tartályon

közé szigetelő távtartókat kell elhelyezni, amelyek kialakítása olyan, hogy a mért anyag minél könnyebben lecsöpögjön róla. Jól meghatározott és nagy kapacitású szondaelrendezés a földelt koncentrikus cső, amit a mérőszonda nyakára lehet felcsavarni (**8.7.c.** ábra).

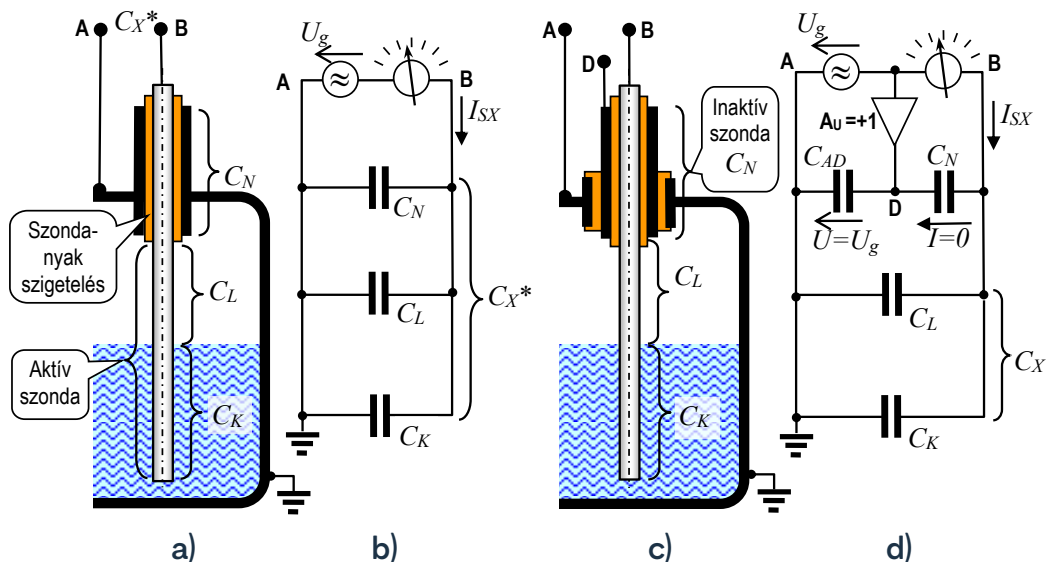
Egyes technológiai folyamatokban használnak zománcozott tartályokat. Ezek általában úgy használhatók, mint a fém tartályok, mert a közeg és a tartály fém része között nagy a zománcréteg kapacitása. A vasbeton tartályok, silók vezetőképes tartályként viselkednek, a távadó földelését a beton vasalásához kell csatlakoztatni.

8.3.4. A szigeteletlen szondás mérés érzékenységének javítása

A C_x kapacitás relatív megváltozását csökkentik azok az állandó kapacitások, amelyek a technikai megvalósítás következtében szükségszerűen hozzáadódnak a kezdőkapacitáshoz. A mérőszonda felső végét nyomásálló tömítéssel, szigetelten kell befogni, ami a szondaszár és a fém tartály között C_N kapacitású kondenzátort hoz létre (**8.8.a.** ábra). A hűtés javítása érdekében meghosszabbított nyak, vagy tartályon belül, a fedél közelében, árnyékolással érzéketlenné tett szondaszakasz, tovább növeli ezt a kapacitást. A C_N kapacitás akár többször akkora lehet, mint az üres tartályban az egész aktív szondarész C_θ kapacitása.

A tele és üres állapot közötti $\Delta C/C_\theta$ relatív kapacitásváltozást, a hosszabbított nyak szigetelésének állandó kapacitása $\Delta C/(C_\theta + C_N)$ értékre csökkenti. A mérés pontossága is hasonló arányban romlik, ami kiküszöbölhető a **8.8.c.** ábrán bemutatott megoldással.

Az árnyékoló cső nem kötődik a tartályhoz, hanem közöttük is szigetelés van. A C_N kapacitás a B és D kivezetések közé kerül. A D és A kivezetések között megjelenik egy új kapacitás. A mérő áramkörbe bekerült az $A_U = +1$ erősítő, amelynek feladata, hogy a D pontra is U_g feszültséget adjon. Így a C_N kondenzátoron nem folyik áram. (Mivel az árammérőn nincs feszültségesés, C_N kapcsain nincs feszültségkülönbség.) Végeredményben a módosítás eredményeként a C_X kapacitásban nem jelenik meg a C_N kapacitás.



8.8. ábra

A hosszú szondanyak C_N kapacitása (a), állandó értékkel növeli a mérendő C_X kapacitást (b). A passzív C_N kapacitás hatástalanítható, a szonda befogás kiegészítésével (c), és az így kapott D pont feszültségének utánhúzásával (d)

A megoldás javítja a pontosságot, de bonyolulttá teszi és megdrágítja a szonda nyak kialakítását. (Gondoljunk a tartályban uralkodó nyomásra.) A módosítás elektronikai részét az árnyékolás utánhúzásának hívjuk. Akkor is alkalmazzuk, ha a nagy tartályhőmérséklet miatt az elektronikát a szondafejtől 1–2 m-re kell elhelyezni, és árnyékolt kábellel kell bekötni. A kötelszondák alsó végén, a feszítősúly vagy a lekötés kialakításánál is törekedni kell a passzív kapacitás csökkentésére, ezért célszerű a szigeteletlen szondát is szigetelt feszítősúllyal vagy szigetelt lekötéssel stabilizálni. A lekötés nem lehet zárt a tartály felé. A szigetelt szonda rövidítése csak a gyártó megoldásaival biztonságos.

A különböző szondatípusokkal kapcsolatos fogalmak:

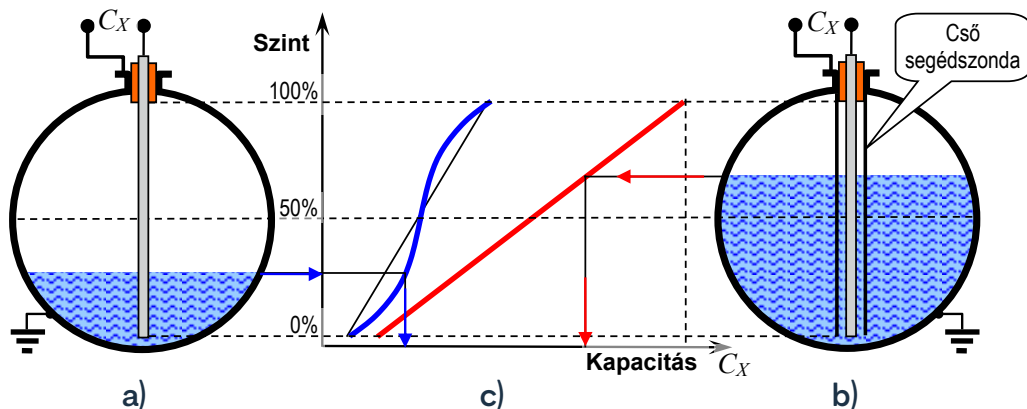
A **passzív kapacitás** nem változik a szinttel, és folyamatosan a szonda kapacitásához adódik.

Az **inaktív szondarész** nem érzékeli a közeget, és nem adódik a szonda kapacitásához.

A **részben szigetelt szondarész** a kapacitást alig befolyásolja, de a közeg vezetőképességének zavaró hatását kizárja.

8.3.5. Erősen nemlineáris kapacitásváltozású tartályok

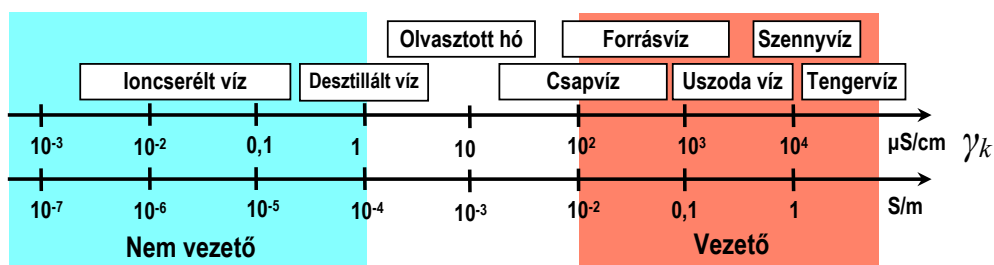
Gömb alakú, vagy fekvő hengeres tartálnál a mérőszonda és a tartály közötti kapacitás a változó átmérő miatt a szint függvényében erősen nemlineárisan változik (8.9. ábra). Ez linearizálható a szoftverben elvégzett számítással, de ennél jobb megoldás a párhuzamos rúd segédsonda, vagy még inkább a cső segédsonda alkalmazása, mert a tartály fala helyett a sokkal közelebbi segédsonda lesz a működő elektróda (vagyis a kondenzátor fegyverzete). Így a C_X és a szint közötti kapcsolat lineárisává válik, és csak a szint és térfogat közötti kapcsolatot kell a tartály geometriája alapján számolni.



8.9. ábra

Nem vezető folyadék mérése szigetetlen szondával, gömb alakú tartályban (a) és cső segédsondával ugyanabban a tartályban (b). Hasonló a helyzet, fekvő henger tartálnál

Az eddig bemutatott szigetetlen szondás mérés akkor használható, ha az elektródák közötti impedanciában a kapacitás dominál. Az ohmos vezetés, jellemzően erősen függ



8.10. ábra

A víz fajlagos vezetőképessége széles tartományt fed le, és a vezetőképesség hőmérséklet-függése is jelentős. A vezetés megítélése a kapacitív szintmérés szempontjából történt

a nedvességtől, szennyező anyagoktól, és ismeretlen mértékben befolyásolja az eredő impedanciát. Tehát a megbízható méréshez az anyag fajlagos vezetőképességének kicsinek kell lenni, célszerűen $\gamma_k < 1 \mu\text{S/cm}$. A különböző minőségű vizek fajlagos vezetőképességét mutatja be a 8.10. ábra. A fajlagos vezetőképesség a 8.2. ábrán bemutatott edényben mérhető, a következő összefüggés felhasználásával:

$$G_F = \frac{1}{R_F} = \gamma_k \cdot \frac{A}{s}$$

Ahol: G_F a mért minta ohmos vezetőképessége (konduktancia)
 γ_k a vizsgált anyag fajlagos vezetőképessége (konduktivitás).

8.4. Szintmérés szigetelt szondával

Szigetelő réteggel bevont mérőszondát kell használni, ha a mérendő közeg fajlagos vezetőképessége, vagy relatív dielektromos állandója vagy mindkettő nagy. Az elektródák közötti vezetés hasonló jelleggel függ az elektródák geometriájától, mint a kapacitás.

Koncentrikus henger alakú elektródáknál: $G_F = \gamma_k \frac{2\pi h}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}$

Nagy vezetőképességűnek nevezünk egy anyagot, ha $\gamma_k > 100 \mu\text{S/cm}$. Ebben az esetben a C_X kapacitással olyan kis ellenállás kapcsolódik párhuzamosan, hogy söntölő hatásával lehetetlenné teszi C_X mérését. Ilyen folyadékok a víz, savak és lúgok vizes oldata. Az ömlesztett szilárd anyagok, köztük a gabonák nedvszívó tulajdonságúak. A nedvesség hatására a konduktivitás (fajlagos vezetőképesség) és a dielektromos állandó, egyaránt erősen megnövekszik.

Folyadékok	Relatív dielektromos állandó (ϵ_r)	Konduktivitás (γ_k)	Ömlesztett szilárd anyagok	Relatív dielektromos állandó (ϵ_r)	Konduktivitás (γ_k)
Szilikon olaj	2,78		Pernye	1,9 – 2,5	
Parafin olaj	1,6	10^{-17} S/m	Kristályukor	2,1 – 3	
Diesel olaj	1,7–2,2	10^{-10} S/m	Égetett mész	1,6 – 2,5	
Étolaj	3,9		Teflon (PTFE)	2,1	10^{-24} S/m
Etilalkohol	24	$0,33 \mu\text{S/m}$	Száraz gabona	2,3 – 4,4	$0,2\text{--}0,4 \mu\text{S/m}$
Aceton	21,5	$0,1 \mu\text{S/cm}$	Száraz homok	2,5 – 4	$3\text{--}4 \mu\text{S/m}$
Víz*	78–81	$1 \mu\text{S/m} - 1 \text{ S/m}$	Liszt	2,5 – 4,5	
Ammónia	17–25		Cement	2 – 4	
Glicerín	37		Nedves homok 5–8%		$0,5\text{--}0,8 \text{ mS/m}$
Tej			Nedves gabona 6–10%		$0,5\text{--}0,8 \text{ mS/m}$
Lugos oldatok			Szénpor	2,3	$1,2\text{--}2 \text{ mS/m}$
Hígított savak			Só	4 – 7	
Kénsav	84		Fémpor	>7	

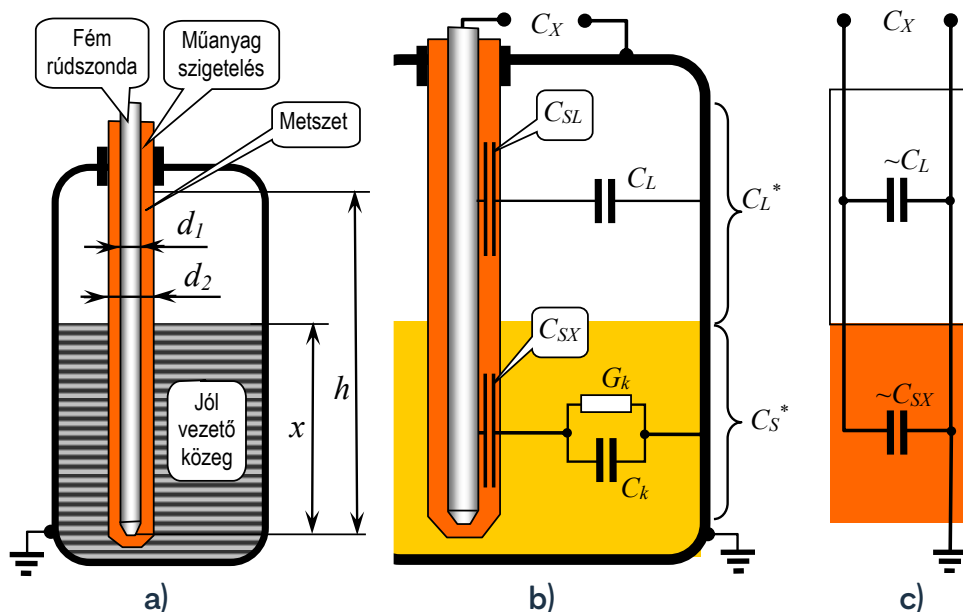
8.2. táblázat

Folyadékok és ömlesztett szilárd anyagok jellemző elektromos paraméterei

Nagy vezetőképesség ($\gamma_k > 102 \mu\text{S/cm}$), vagy a nagy dielektromos állandó ($\epsilon_r > 20$) előnyös, ha szigetelt szondát alkalmazunk. A 8.11.a. ábrán látható, hogy a fém tartálytól a szonda szigeteléséig terjedő teret jól vezető anyag tölti ki. Tehát az anyag, kiterjeszti a tartály fala által alkotott elektródát, a szonda szigetelés külső felületéig. Így a mérendő

kapacitás dielektrikuma a szonda szigetelése lesz. Az egyenletes falvastagságú szonda-szigetelés anyaga például PTFE, PFA, FEP. Az anyagok relatív dielektromos állandója, és annak hőmérsékletfüggése ismert. A **8.11.b.** ábrán a kapacitások hely szerinti eloszlása látható, a **(c)** ábrán az eredő helyettesítő kép.

A szigetelt szonda, közegbe merült részének kapacitása:
$$C_S = \varepsilon_{rs} \varepsilon_0 \frac{2\pi \cdot h}{\ln \frac{d_2}{d_1}}$$



8.11. ábra

A szigetelt szondás mérés elve **(a)**, részletes elektromos helyettesítő képe **(b)**, és egyszerűsített helyettesítő képe **(c)**

Ahol ε_{rs} a szonda szigetelésének relatív dielektromos állandója (tipikusan $\varepsilon_{rs} = 2,1-4$).

A d_2/d_1 arány kedvezőbb, mint szigetetlen szondánál. A szonda méterenkénti kapacitása sokkal nagyobb lett ahhoz képest, mint amikor a kondenzátor fegyverzete a tartály fala volt ($d_2 \ll D$). Ugyanakkor a légtérben lévő szondaszakasz kapacitása gyakorlatilag nem változott. Sorba kapcsolt impedanciáknál, amelyek sokkal kisebb, az rövidzárral helyettesíthető. Tehát C_{SL} impedanciája rövidzár, C_L -hez képest. Másrészt a jól vezető közegben G_K és C_K eredő impedanciája jóval kisebb C_{SX} impedanciájánál.

A készülék adatlapján megadják, a hozzá rendelhető szigetelt szondák hosszegységre eső kapacitását. Ezt úgy kell mérni vagy értelmezni, hogy a szonda az adott hosszúságban nagyon jól vezető közegbe merül. Ennél nagyobb C_X kapacitást semmilyen közeggel nem kapunk, ez a szondával elérhető kapacitás felső határa (telítési kapacitás).

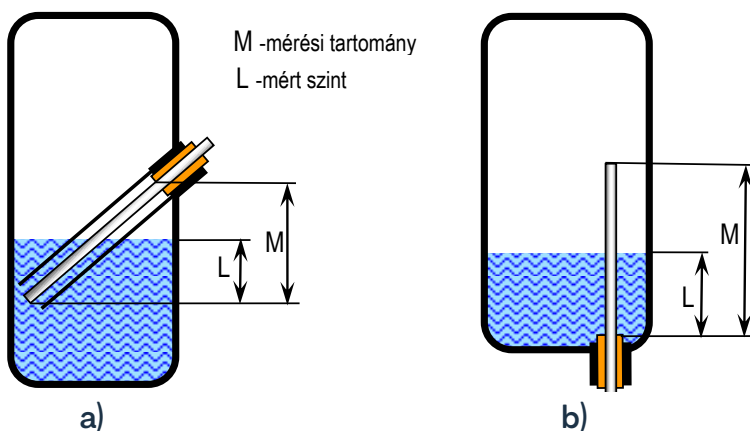
Jellemző szonda kapacitások: Rúdszondáknál 400–600 pF/m, kötélsondáknál 200–400 pF/m. Az ismert szondakapacitásnak köszönhetően, a készülék gyárilag is

kalibrálható, a mért közegtől függetlenül, beállítva a szonda alsó és felső végéhez a 0%-ot és 100%-ot. Jó minőségű, egyenletes falvastagságú szondaszigetelést használva, C_X változása a szint függvényében lineáris, karakterisztikája állandó. A hasznos kapacitásváltozás nagy, emiatt a szonda nyakának tömített befogásánál és az alsó végződésnél fellépő passzív kapacitások, kevésbé csökkentik a relatív változást, mint a szigetetlen szondáknál.

Műanyag tartálynál ebben az esetben is szükség van a segédszondára, de a tartály alakja vagy a segédszonda alakja és elhelyezése kevésbé hat a C_X kapacitásra, hiszen azt a szonda szigetelésének bemerülő része hozza létre. A szigetelt szonda jól vezető közegben, ugyanúgy lineárisra teszi a szint-kapacitás kapcsolatot, mint a koncentrikus cső segédszonda nem vezető anyagoknál. A szigetelt mérőszonda előnyös akkor is, ha a szigetelés anyaga ellenáll az agresszív közegnek. Ebben az esetben a segédszondának is hasonlóan ellenálló bevonat kell. Azonos méretű szigetelt segédszondát használva, a kapacitásváltozás felére csökken, és megnőhet a zavarérzékenység.

8.5. Szondatípusok, alkalmazási ötletek

A távolságmérésen alapuló módszerekkel ellentétben nincs kezdeti holtzóna, és a maximális mérési távolság is széles határok között lehet. A szigetetlen szondák rövidítését, megfelelő szakértelemmel a felhasználó is megteheti. A szigetelt szondák hosszát, a beázás veszélye miatt, csak a gyártó tudja csökkenteni. A szigetelési hiba miatt beázott szondával a távado bizonytalanul, hibásan vagy egyáltalán nem mér. A szondát a szükséges hosszúságúra kell megrendelni. A legnagyobb hosszúság, gyártók és típusok szerint különbözik. Rúdszondánál 4–6 m, kötélszondánál 30–40 m.



8.12. ábra

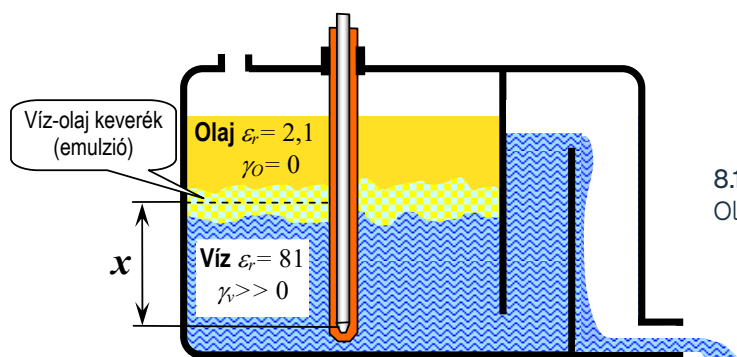
Szintmérés a magas tartály kijelölt tartományában (a), vagy az alsó zónájában (b)

8.5.1. Szokatlan beépítések

A rúdszondák **8.12.** ábra szerinti rendhagyó beépítésével drága, inaktív résszel kialakított szondákat takarítunk meg. Ferde beépítésnél, a lineáris karakterisztikához, szigetelt szondát, vagy koaxiális segédsondát kell használni.

8.5.2. Olaj és víz határának (fázishatár) mérése

Olaj és víz keveréke pihentetés közben szétválik. A víz alul gyűlik össze és a szigetelt szondával a víz x magasságát mérjük (**8.13.** ábra). A fölötté összegyűlt olaj vezetőképessége nulla, tehát ezen a szakaszon szigeteletlen szondaként működik. (Az olaj lesz a dielektrikum, nem a szonda szigetelése.) Hasonló feladat elvégzésére a vezetett mikrohullám csak akkor alkalmas, ha a két közeg kellőképpen szétvált, mert csak az éles határátmenet okoz határozott visszaverődést.

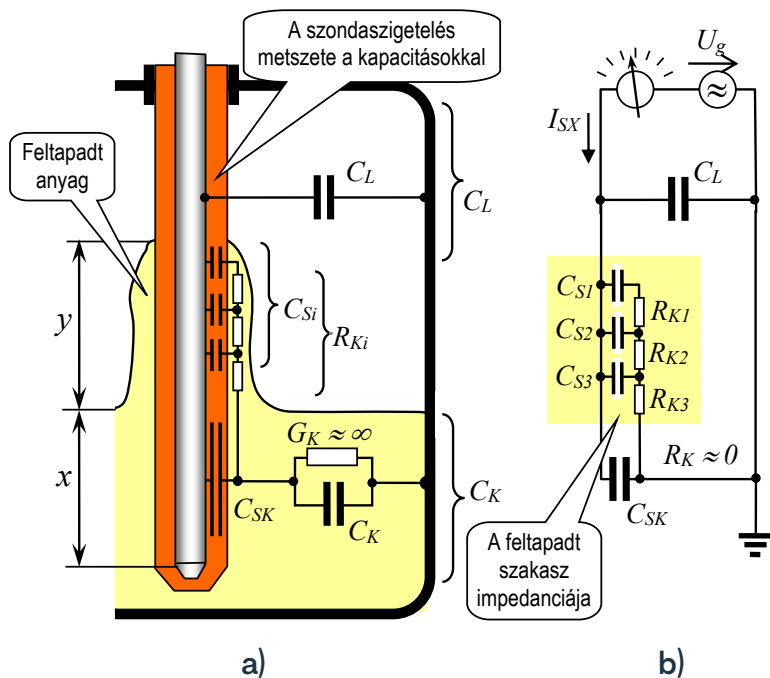


8.13. ábra
Olaj és víz határának mérése

Kapacitív mérésnél, az átmeneti emulziós tartomány nem akadályozza a mérést, a mért szint az emulziós tartományon belül lesz. A pontosság érdekében jó, ha az anyagok szintjének összege állandó, ami az edényben a túlfolyó kialakításával érhető el. A felszíni hab sem zavar.

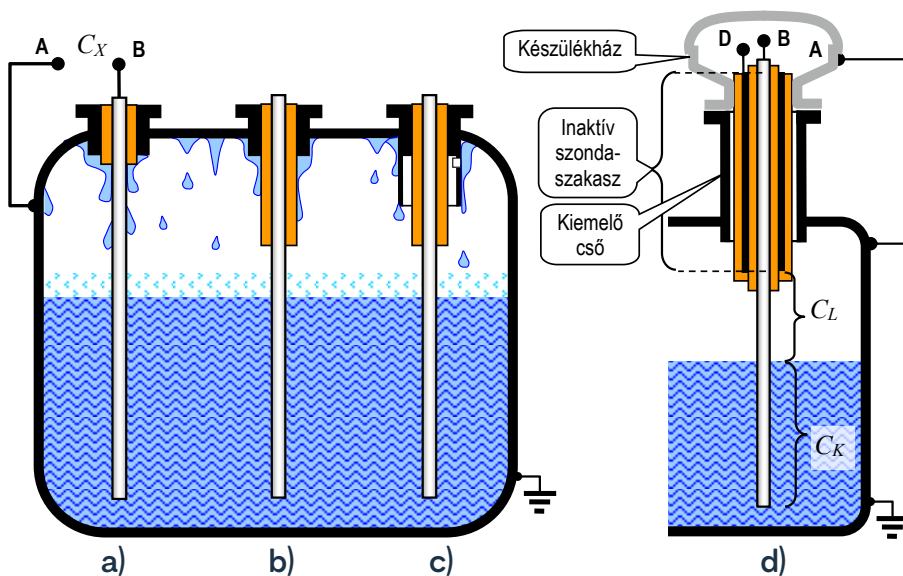
8.5.3. Vizes masszák mérése

A nagyobb viszkozitású anyagok a tartály ürítésekor lassabban csúsznak (folynak) le a szondáról, mint amilyen sebességgel a tartály ürül. Ez a szondához is tapadó és a felszínnel is érintkező anyag, mérési hibát okoz. A **8.14.a.** ábrán láthatóan, az x magassághoz tartozó kapacitás helyett közelítőleg az $x + y$ magassághoz tartozó szondakapacitást érzékeli. Ha a feltapadt réteg megszárad mielőtt lefolyna, a réteg a szint fel-le mozgása közben vastagszik. A kapacitív mérést ez kizárhatja. A feltapadási hiba csökkentésének egyik lehetősége, hogy a vizes masszát taszító bevonatú, szondát használunk. A mérési hiba elektronikus csökkentését az teszi lehetővé, hogy az x magasságú mérendő szondarészhez vezető R_K eredő ellenállás (ami vízszintes irányban vezet), sokkal kisebb, mint a csőszerű feltapadásban (függőleges irányban) vezető R_{Ki} ellenállások. Megfelelő ($f_0 > 500$ kHz) mérési frekvenciát használva, és a kapacitív összetevőt mérve, jó közelítéssel az x szakasz kapacitását mérjük, mert az R_{Ki} ellenállások miatt, a feltapadt rész nem tisztán kapacitív impedanciájú.



8.14. ábra
A feltapadás keresztmetszeti képe (a), és áramköri modellje (b)

8.5.4. Részben szigetelt szonda



8.15. ábra

Nagyon párás környezetben a szigetetlen szonda (a) pontatlan. A részben szigetelt szonda (b) valamint a védőgallér (c) úgy vezeti le a nagy páralecsapódást, hogy ne okozzon mérési hibát. A (d) ábrán a hosszú kiemelésben inaktív szondaszakasz van, amit a kiemelés kis átmérője miatt külső szigeteléssel is elláttak

Zárt tartályban a folyadék telített gőzei a fedélen lecsapódnak. A kondenzálódott folyadék, a fedélről a szondaszárra csurog. A **8.15.a.** ábrán látható, hogy a szigeteletlen szonda normál kialakítású nyakán, olyan időszakos átvezetés jön létre, ami bizonytalan mérési hibát okoz. Ez ellen nyújt védelmet a **(b)** ábrán látható hosszabb szigetelet. További javulás érhető el a **(c)** ábrán bemutatott ernyő (*gallér*) kiképzéssel. A **8.15.d.** ábrán a kis átmérőjű hosszú kiemelő nyakban inaktív szondaszakasz van. Működése a **8.8.c.** ábrán szerepelt. A kis átmérő miatt az inaktív szondarész is szigetelt.

8.6. Elektronikai követelmények és fejlesztések

Az első teljesen elektronikus, mozgó elemek nélküli szintmérő megoldás, fejlett elektronikával kivitelezve, még mindig jól tartja pozícióját az egyre szaporodó működési elvek között. A megengedett hőmérséklet és nyomás kivételével minden területen túlszárnyalták, de használatának mindig van létjogosultsága. Ez annak is köszönhető, hogy fejlesztése nem állt le, és folyamatosan tesznek erőfeszítéseket egy-egy speciális tulajdonság javítására. Különleges technológiával készülő, kerámiaszigeteletű szondával már elérhető a 400°C megengedett közeghőmérséklet.

A mérőkondenzátor egyik elektródája a fém tartály, amit életvédelmi, robbanás és villámvédelmi okból földelni kell. Ezért a mérőáramkört úgy kell kialakítani, hogy az galvanikus elválasztást biztosítson az elektródák és a távadó kimeneti és tápvezetékei között.

Ömlesztett szilárd anyagok szintjének mérésénél lényeges zavaró tényező a nedvességtartalom. Például a cement, homok mészhidrát, vagy a gabonák és a liszt, nedvességtartalma technológiai okból korlátozott. A cement összetapad, a gabona megromlik a túl nagy nedvességtől. Azonban ilyen határokon belül sem elhanyagolható a nedvességtartalomtól függő mérési hiba. A nedvesség hatással van mind az ϵ_{rK} mind a γ_k értékére. A mérési frekvenciát 500 kHz fölé növelve és fázisérzékenyen, csak a kapacitív áramot mérve, a hiba csökkenthető. További lehetőségek rejlenek a nem szinuszos mérőjel, a bonyolultabb szondák, és a dielektromos állandó folyamatos mérésének használatában.

8.7. Öntanuló kalibrálás

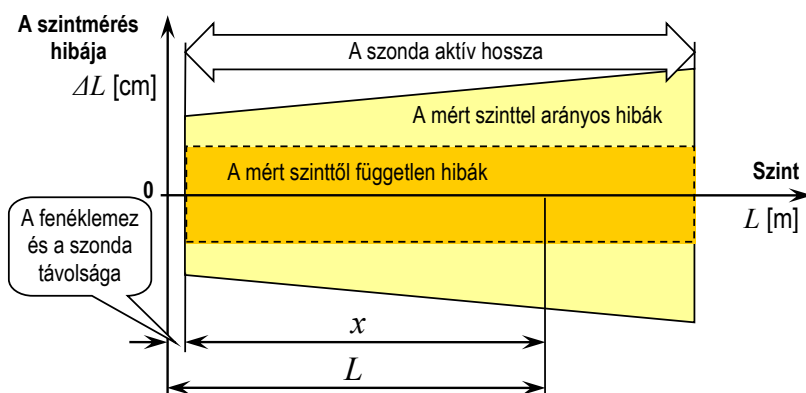
A korai analóg áramkörökkel működő kapacitív távadók kalibrálásához a tartályban az anyag szintjét leeresztették a mérendő alsó szintre és az erre szolgáló gombbal (*ZERO*) a kijelzést beállították 0%-ra. Majd a tartály feltöltötték a felső határig és a kijelzést (*SPAN gombbal*) beállították 100%-ra. Ha nagyon gondosak akartak lenni, újra leeresztették az alsó szintig, (átszivattyúzták az anyagot egy másik tartályba) és ellenőrizték, hogy a távadott szint 0% maradt-e. Ne felejtjük el, hogy a kalibrálás egy drága, kényes anyaggal töltött több-tíz köbméteres tartály esetén nem egyszerű feladat. Például, tárolni kell a leengedett anyagot, vagy nem mindig áll rendelkezésre a teljes feltöltéshez szükséges mennyiség.

A mérendő anyagtól, a szonda típusától és a tartály méretétől (a szonda hosszától) függően a C_x kapacitás széles tartományban változhat. Ezért a mérőáramkörnek több mérési tartománya kell, hogy legyen, például: 0–200 pF, 0–1 nF, 0–5 nF.

Ha rosszul becsülték meg a kapacitás változási tartományát, és nem megfelelő méréshatárt választottak, akkor ez a kalibrálási ciklus végén derült ki, és a méréshatár módosítása után kalibrálási folyamatot újra kellett kezdeni. Ezért nagy segítséget jelent a felhasználónak, ha az intelligens távadó, öntanuló kalibrálással van ellátva. Ehhez a valódi anyaggal egy üres-közeli és egy tele-közeli állapotot kell létrehozni. A két állapot, sorrendje és időbeli távolsága közömbös. Mindkét állapotban minden méréshatárban mér a készülék, és az eredményeket táblázatban tárolja, majd kiválasztja a legjobb méréshatárt, és kiszámítja a hozzá tartozó paramétereket. Emellett jó, ha a kalibrálás később, egy kedvezőbb szint létrejöttével finomítható.

8.8. Hibaforrások és pontosság

A hiba megadásának fő nehézsége, hogy az jelentős mértékben függ a mérendő közeg (pontosan nem ismert) paramétereitől. Az adatlapon megadott hiba ezért a mérőáramkörre és a szondára vonatkozik. A kapacitív szintmérőket, felszerelés után, üzemi körülmények között, kalibrálni kell. A célszerű kalibrálási pontok a 0–10% és a 90–100% töltöttség környékén vannak. A kalibrálási pontok közelében lesz a hiba a legkisebb. A szigetelt szondákat gyárilag is kalibrálják 0% és 100% töltöttséget feltételezve. Ez a kalibrálás, üzembe helyezésnél akkor használható, ha a közeg vezetőképessége elegendően nagy ($\gamma_k > 100 \mu\text{S/cm}$).



8.16. ábra

A kapacitív szintmérő a szintet érzékeli, a szonda alsó végétől kezdve. A hibasáv lényeges eltérése az előző szintmérési módszerekhez képest, hogy itt a vízszintes tengely a szintet mutatja

A referencia feltételek mellett kalibrált készüléknek, a készülék, a szonda és a kalibrálás minőségétől függő linearitási és reprodukálási hibája lesz, ami független a mért szinttől. A 8.16. ábrán ezt mutatja a sötétebb hibasáv. Ezen felül a mért anyag dielektromos

állandójának változása, a szinttel növekvő hibaösszetevőt jelent. Ez lehet a közeg cserélődés miatti anyagminőség változás, vagy a hőmérsékletfüggés. A szobahőmérséklettől lényegesen eltérő, de közel állandó üzemi hőmérsékleten használt tartálynál a kalibrálást is célszerű üzemi körülmények között végezni. A hibának ezt az összetevőjét ábrázolja a világosabb színű szélesedő hibaszív.

A szintmérés hibájában nem jelenik meg a tartály magasságának pontatlan ismerete. Helyette a tartályfenék és a szonda aktív vége közötti kis távolságot kell ismerni. A nedvességfüggés is a szinttel növekvő hibát okoz, és esetenként ez a hiba nagyobb lehet, mint a száraz anyag dielektromos állandójának hőmérsékletfüggése. Szigetelt szondánál a mérési hiba alig függ a közeg tulajdonságaitól.

A hiba, kisebb mértékben származhat a szondafejben elhelyezett mérőáramkörből is, de itt, a hőmérsékletváltozás más, mint a közegben. A közeli, és időnként helyet változtató fémalkatrészek a tartályban, szigeteletlen szondás mérésnél okozhatnak meglepő hibát. A hatás szigetelt szondánál kevésbé, koaxiális segédsondánál egyáltalán nem jelentkezik.

Elérhető pontosság a végértékhez viszonyítva:

Linearitási hiba: $< (0,25-0,5)\%$

Reprodukálási hiba: $(0,1-0,2)\%$

Hőmérsékletfüggés: Nulla szintnél: $\pm(0,01-0,05)\%/^{\circ}\text{C}$
Maximális szintnél: $\pm(0,015-0,2)\%/^{\circ}\text{C}$

8.9. Készülékek és alkalmazások



Rúdszondás
nagyhőmérsékletű
NIVOCAP szinttávadó



NIVOCAP
szinttávadó szigetelt
kötélszondával



Segédsonda megoldások.
Különálló rúd és koaxiális
cső kivitelben



Tartály oldalába ferdén szerelt NIVOCAP távadó



A NIVOCAP távadó helyi kijelzése

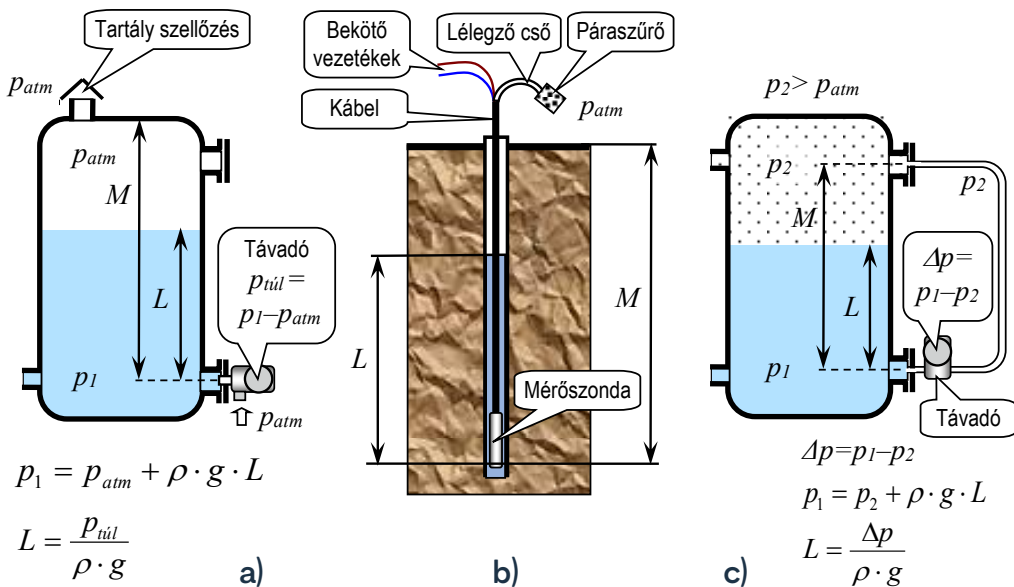
9. Hidrosztatikus szinttávadók

Az első nyomásmérők (*manométerek*) finommechanikai szerkezetek voltak. Ma is használunk tisztán mechanikus működésű, segédenergiát nem igénylő nyomásmérőket. A legegyszerűbb a Bourdon-csöves megoldás, amit 1850 körül szabadalmaztattak. A Bourdon-cső egy lapított és körívbe hajlított rugalmas cső, amely a bele vezetett nyomás hatására nagyobb sugarúra „egyeneseedik”. Használják még a szelencés, síkmembrános és csőmembrános megoldásokat is. Mindegyikben a nyomásfüggő deformációt finommechanikai szerkezet alakítja át a mutató kitérésévé. A tartály aljához csatlakoztatott műszer, a hidrosztatikus nyomást mérte, de szintben vagy akár térfogatban is lehetett skálázni.

9.1. A hidrosztatikus szintmérés alapelve

A szinttávadók választékban, a sok távolságmérésen alapuló szintmérési elv mellett ez a másik kivétel, amelynél nem a folyadék felszíne fölötti távolságot, hanem a folyadékoszlop magasságát mérjük. A mérési tartomány az érzékelő szenzor elhelyezési szintjétől (a *technológiai csatlakozástól*) a tartály tetejéig terjedhet. A nyomásszenzor kimeneti jelét feldolgozó digitális rendszer az intelligens távadókhoz hasonló szolgáltatásokat nyújtja: szint és térfogat számítás, analóg és digitális távadás.

A nyomásszenzorok mindig egy membrán deformációját érzékelik, ami a két oldalán lévő p_1 és p_2 nyomások különbségétől függ. A membránra hiánytalanul átadják a nyomást a gázok, a folyadékok és a masszák megadott viszkozitásig. Tehát a membrán egyik oldalán



9.1. ábra

Szintmérés nyomásmérők alkalmazásával. Tartály szintmérés légköri nyomáson (a).
Szintmérés csőkútban, kútszondával (b). Szintmérés nyomás alatti tartályban (c)

van a p_l nyomású mérendő közeg. Attól függően, hogy a másik oldalra milyen nyomást vezetünk, három üzemmód lehetséges:

Túlnyomásmérés: A p_2 nyomás a mindenkori légköri (*atmoszférikus*) nyomás. Így a kimeneti jel: $p_{túl} = p_l - p_{atm}$. Ez a folyadékszint mérés felül nyitott tartályban (9.1.a. ábra).

Tehát az L szint kiszámításához a jelfeldolgozó számára meg kell adni a folyadék ρ sűrűségét, és a g nehézségi gyorsulást. Hasonlóan működnek az úgynevezett kútszondák, amelyekkel a mély csökutak szintjét méri (9.1.b. ábra).

Abszolútnyomás mérés: A membrán p_2 nyomású oldalán lezárt teret képezünk, amelyben vákuumot állítunk elő: $p_{abs} = p_l - p_{vakuum}$. $p_{vakuum} = 0$, tehát p_{abs} csak pozitív lehet. Ez az üzemmód a szintmérésben kevésbé használt, inkább a barometrikus nyomás mérésére (*időjárás, repülés*) való.

Nyomáskülönbség mérés: A p_2 nyomású oldal szintén a mért tartályhoz kapcsolódik, és nyomás alatt álló légtérű tartály szintmérésére, vagy kétféle folyadék arányának mérésére használható (9.1.c. ábra).

Nyomás mértékegységek: $1 \text{ Pa (Pascal)} = 1 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ bar} = 10 \text{ N/cm}^2$
 $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pascal} = 0,1 \text{ MPa} = 10,2 \text{ vízoszlop méter}$

9.2. Nyomásszenzorok

A nyomástávadók érzékelő eleme a nyomásszenzor. Az elektromos kimeneti jelű nyomásszenzorokban a mérendő nyomás egy sík membrán (*diafragma*) deformációját okozza, és a deformációt piezorezisztív vagy kapacitív módszerrel alakítják villamos jellé. A sík membrán egyszerű szerkezet, de nagyon kicsi az a deformáció, amit villamos jellé kell alakítani.

9.2.1. Piezorezisztív nyúlásmérés

Az ipari gyakorlatban legalább 70 éves hagyománya van a nyúlásmérő bélyegek alkalmazásának. A mérni kívánt fémszerkezetre, diszkrét alkatrészként gyártott fém nyúlásmérő bélyegeket ragasztanak fel, és ezek ellenállásváltozását kihasználva méri a nagy acélszerkezetek deformációját. Az erőmérő cellák alakváltozását is nyúlásmérő bélyegekkel érzékelik.

Egy l hosszúságú, A keresztmetszetű vezető ellenállása: $R = \rho \frac{l}{A}$

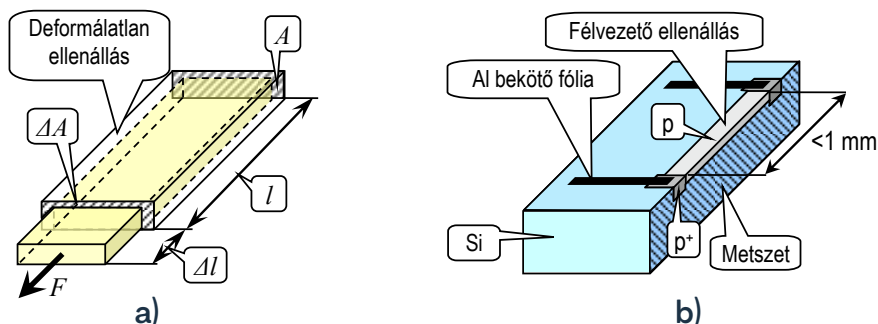
Ahol ρ az anyag fajlagos ellenállása. A 9.2.a. ábrán egy hasáb alakú vezetőt látunk. A rugalmassági határon belül megnyújtva, a keresztmetszete lecsökken. Ha a térfogata nem változik, a keresztmetszet csökkenése: $\frac{\Delta A}{A} = -\frac{\Delta l}{l}$

A fém nyúlásmérő ellenállásban a fajlagos ellenállás nem változik, ezért a megnyúlás csak a méretváltozás miatt okoz ellenállásváltozást, ami kicsi és nehezen mérhető:

$$\frac{\Delta R}{R} \cong \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta A}{A} \cong 2 \frac{\Delta l}{l}$$

A félvezető nyúlásmérő ellenállásokban a deformáció és az elektromos ellenállás közötti átalakításban a piezorezisztív hatás dominál. Ennek lényege, hogy a félvezetők fajlagos ellenállása az anyag mechanikai feszültségével (*a deformációval*) változik:

$$\frac{\Delta R}{R} \cong \frac{\Delta \rho}{\rho} + 2 \frac{\Delta l}{l}$$



9.2. ábra

A fém ellenállásréteg deformációja húzás hatására (a), és egy **Si** testbe integrált félvezető nyúlásmérő ellenállás metszete (b)

A félvezető nyúlásmérő ellenállások kiviteli megoldása, a szilícium egykristály alap-lemezbe, félvezető szennyezéssel beintegrált ellenállás (9.2.b. ábra). Az integrált áramkörök gyártási technológiájával, a gyártó teljes érzékelőt készít egy szilícium lapkára. Tehát a deformálódó membrán és a deformációt ellenállásváltozássá alakító „bélyeg” egy testben készül. A nyúlásmérő ellenállások jellemző paraméterei: az **R** névleges ellenállás, a **G** átalakítási tényező (*Gauge-faktor*) és a **TK** hőmérsékleti együttható.

$$G = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}, \quad TK = \frac{\Delta R/R}{\Delta T}$$

A 9.1. táblázatban a fém nyúlásmérő bélyegek és **Si** félvezető alapú nyúlásmérő ellenállások paraméterei láthatók. A fém nyúlásmérők átalakítási tényezője $G \approx 2$, mert ezekben csak a méretváltozás okoz ellenállás változást, a mechanikai feszültség a fajlagos ellenállást alig változtatja ($\Delta \rho \approx 0$). A félvezetőkben a relatív ellenállásváltozás sokkal nagyobb, mert ezekben a fajlagos ellenállás változása dominál, és $\Delta \rho/\rho \gg 1$. Ez a piezorezisztív hatás.

Anyag	Összetétel	R	G	TK
Konstantán	Ni 45%, Cu 55%	80–1000 Ω	2–2,1	±20 ppm/°C
Nichrome V	Ni 80%, Cr 20%	80–1000 Ω	2,1–2,6	100 ppm/°C
Si egykristály	p-típusú szennyezés	0,1–5 kΩ	100...170	700–7000 ppm/°C
Si egykristály	n-típusú szennyezés	0,1–5 kΩ	–50...–120	700–7000 ppm/°C

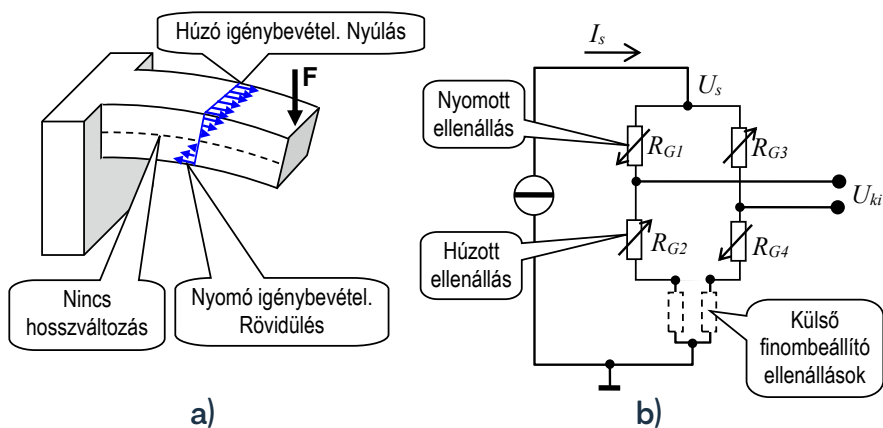
9.1. táblázat

Nyúlásmérő ellenállások jellemző paraméterei

A táblázatból kitűnik, hogy az ellenállásnak a hosszváltozásra való érzékenysége nagy, de nagy a hőmérsékletváltozásra való érzékenysége is. Az üzemi hőmérséklet-tartomány a félvezetőknél szokásos: $-55...+125^{\circ}\text{C}$, vagy $-55...+150^{\circ}\text{C}$. A félvezető nyúlásmérő ellenállások tipikus alkalmazásában a mérőtest és a nyúlásmérő ellenállások együtt készülnek, az integrált áramkörök gyártási technológiájával. Az integrált áramkörhöz hasonló tokozásban a nyúlásmérő ellenállással felépített nyomásérzékelő (vagy gyorsulásérzékelő) tápláló áramköre, és gyakran a mérőáramköre is benne van.

9.2.2. Szilícium hordozóra felépített mérőhíd

A nyúlásmérő ellenállást hordozó mérőtest vagy membrán minden irányú méretét befolyásolja a hőtágulás, ami átadódik a nyúlásmérő ellenállásra is.



9.3. ábra

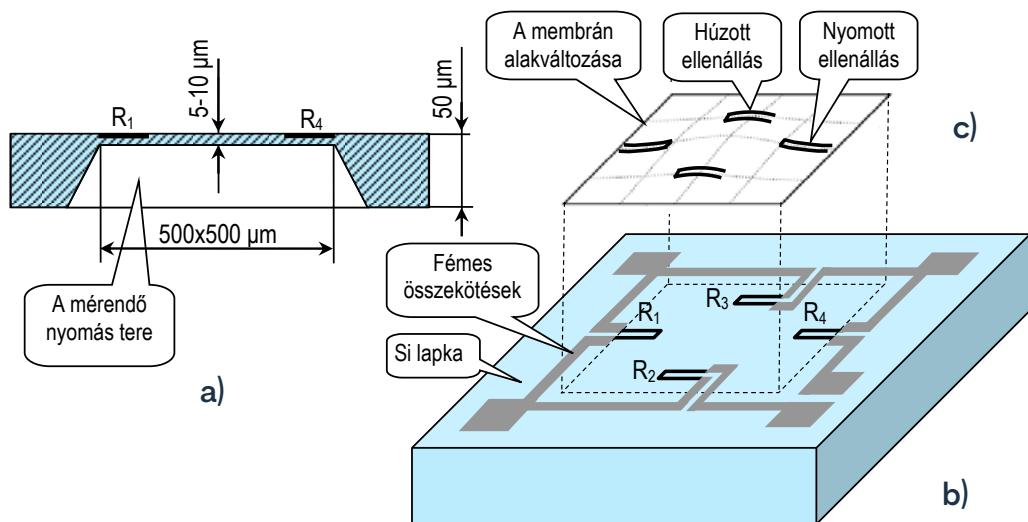
A mérőtest deformációja (eltúlózva) (a). Hajlításnál egyszerre találunk húzott és nyomott felületet. Erőmérés négy aktív bélégyes Wheatstone-híddal (b)

A másik hőmérsékletfüggést okozó tényező, a ρ fajlagos ellenállás hőmérséklet-függése (TK). Ezek a hibák jelentősek a mérendő deformáció által létrehozott ellenállás-változáshoz képest. A hőmérsékletfüggő hibák, jó eséllyel kiejthetők, ha két azonos típusú érzékelő-ellenállás különbségét mérjük. A deformáció okozta ellenállás-változást azonban, nem ejthetjük ki! Ezért az egymáshoz hasonlított ellenállásokat ellenkező deformációnak kell kitenni. A 9.3.a. ábrán látható hajlított konzol alsó és felső lapján ilyen ellentétes a hosszváltozás.

Az integrált áramkörök gyártási eljárásaival precíz kisméretű membrán készíthető a ráintegrált félvezető nyúlásmérő ellenállásokkal együtt. Gyártástechnológiai okokból a húzott és nyomott ellenállásoknak egy oldalon kell lenni. Ez magyarázza a 9.4.b. ábra szerinti elhelyezésüket.

A legjobb áramköri megoldás a négy ellenállásból álló teljes híd, amelyben minden ellenállás aktív, vagyis deformálódik. A hídban átlósan elhelyezkedő ellenállások azonos irányú deformációnak vannak kitéve, ezért az érzékenység négyszeres lesz (9.3.b. ábra).

Az egyszerű megoldású mérőkészülékekben a hidat $U_s = 3\text{--}6\text{ V}$ egyenfeszültséggel táplálják, ami együtt jár a $\Delta R_G/R_G$ és U_{ki} közötti kis nemlinearitással. A híd állandó árammal (áramgenerátorral) való táplálása kiküszöböli ezt a kapcsolástechnikai nemlinearitást, és a hőmérsékletfüggés tekintetében is kedvező. Az ellenállás méréséhez használt



9.4. ábra

Szilícium egykristály lapkán kialakított nyomásérzékelő cella. A lapka keresztmetszete a jellemző méretekkel (a), a lapka nézeti képe (b), és a membrán alakváltozása felnagyítva (c)

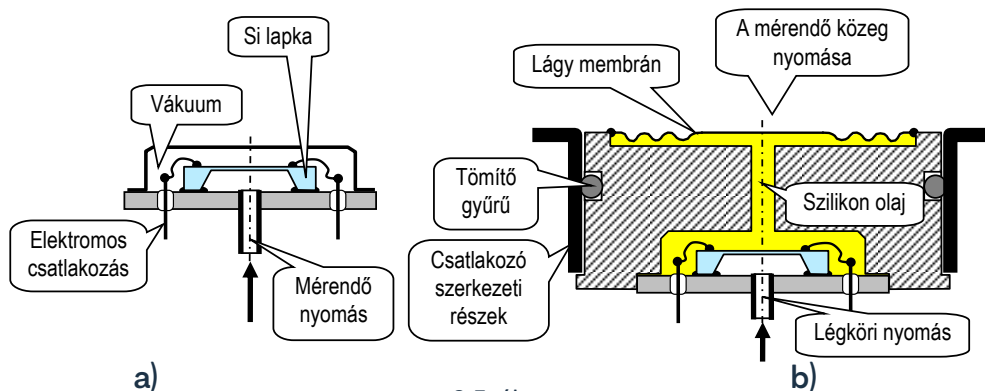
mérőáram nem okozhat zavaró mértékű felmelegedést. A precíziós mérőrendszerekben a kontaktpotenciálok zavaró hatásának kiküszöbölésére $f_s = 4\text{--}20\text{ kHz}$ frekvenciájú váltakozó feszültséget használnak. A nyúlásmérő ellenállások gyártási toleranciája miatt a híd kimenetén terheletlen állapotban is akkora kimeneti feszültség lehet, hogy azt kis kiegészítő ellenállásokkal ki kell egyenlíteni. Emellett a mérőrendszerben finom nullázási lehetőség is szükséges. Például azért, mert a különböző pozíciókban használt nyomásmérőben, változó irányban hat a membrán és a nyomásközvetítő folyadék saját súlya.

Egy érzékelőcsaládban a különböző méréshatárú típusok a membrán vastagságban különböznek.

A **Si** cellából a tokozás során lesz nyomásérzékelő. A 9.5. ábrán két lehetséges megoldást mutatunk be. A 9.5.a. ábrán a **Si** lapka korróziós szempontból érzékenyebb oldala tokozva és vákuum alatt van. A membrán ellenkező oldalára bevezetett nyomást ezért a cella abszolút nyomásnak méri.

Ha lezárt térben vákuum helyett bármilyen gáz van, akkor az a hőtágulása miatt hőmérsékletfüggő mérési hibát okoz.

A légkörrel való kapcsolat, gyakran alig láthatóan elhelyezett, pára- és nedvesség-záró szűrőn keresztül történik. Ennek eltömődése, a lassan változó mérési hibát okozhat. Túlnyomás mérésére alkalmas cellát kapunk, ha 9.5.b. ábrán látható kialakítás szerint, légköri nyomást vezetjük a **Si** lapka alatti térbe. A membrán felső oldalán kialakított tér



9.5. ábra

Félvezetős cellákkal felépített nyomásérzékelők. Abszolút nyomás (a), és túlnyomás mérésére (b). A (b) megoldásban olaj közvetíti a mérendő nyomást

a mérendő nyomással van kapcsolatban. A mérendő közeg nyomását közvetítő folyadékon keresztül vezetjük ide. A közvetítő folyadék és a mérendő közeg között egy lágy elválasztó membrán van. A közvetítő folyadék lehet: szilikon olaj, étolaj, vagy más, a felhasználó igényei szerint.

A piezorezisztív átalakítók jellemző adatai:

Szokásos táplálás: 3–10 V, vagy 1–2 mA. $R_{hid} = 1\text{--}5\text{ k}\Omega$

Érzékenység: $\Delta U_{ki}/U_s = 1\text{--}10\text{ mV/V}$ névleges nyomásnál.

Linearitási hiba: A méretek és a deformáció függvénye, ~1%,

Mérési tartományok: 0...16 mbar-tól 0...400 bar-ig szokásosak, dekádonként 4 vagy 5 méréshatárral. A mérési tartomány a membrán vastagságával változtatható.

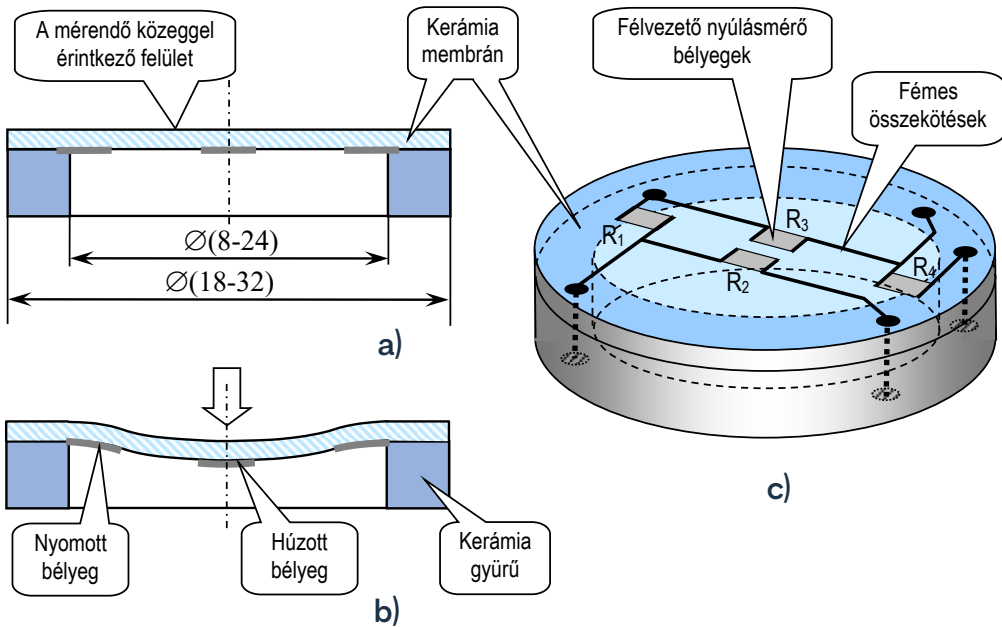
Hőmérséklettartomány: A félvezető alkatrészeknél szokásos határok közötti.

Hátrányuk, hogy a nyomás határértékének túllépését rosszul tűrik.

9.2.3. Kerámia membrános nyomásszenzor

A kerámia membrános cella a szilícium cellánál nagyobb méretű, anyaga Al_2O_3 kerámia, ami kemény, kopásálló és az agresszív közegeknek jól ellenálló anyag. Így megengedhető, hogy a membrán közvetlenül érintkezzen a mért közeggel. Természetesen a membránnal együtt deformálódó piezorezisztív érzékelő ellenállások a közeggel ellentétes oldalon vannak. Ilyen felépítésű cella látható a 9.6. ábrán.

Amíg a deformáció kicsi, az ellenállások megváltozása közel arányos a membrán két oldala közötti nyomáskülönbséggel. Nagyobb deformációnál a pontosság érdekében, linearizálás is szükséges, amit elvégez a feldolgozó áramkör (gyakran beépítik a cellába). A robusztus membrán jól túlterhelhető.

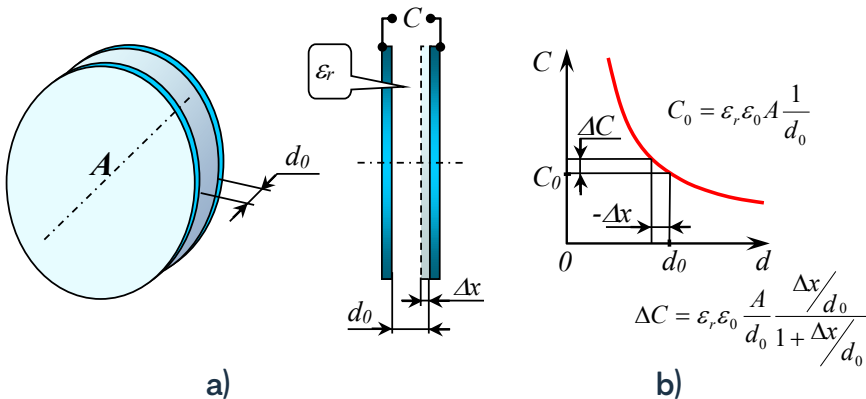


9.6. ábra

Kerámiamembrános nyomásmérő cella keresztmetszete nyomás nélkül (a), és külső nyomással terhelve (b). A cella látszati képe vastagréteg piezo-ellenállásokból felépített Wheatstone-hiddal (c)

9.2.4. Kapacitív nyomásérzékelők

Az elnevezés arra utal, hogy a membrán elmozdulását vagy deformációját kapacitív elven érzékeljük. A síkkondenzátor kapacitása a dielektrikum jellemzői mellett geometriai méretek függvénye. A 9.7.a. ábrán az A területű, d_0 távolságú fegyverzetek közötti kapacitást mérjük. A membránok távolságának Δx csökkenése, a kapacitás ΔC növekedését okozza. A kapcsolat nemlinearitása a (b) ábrán látható. A konstrukció kialakítása gyakran



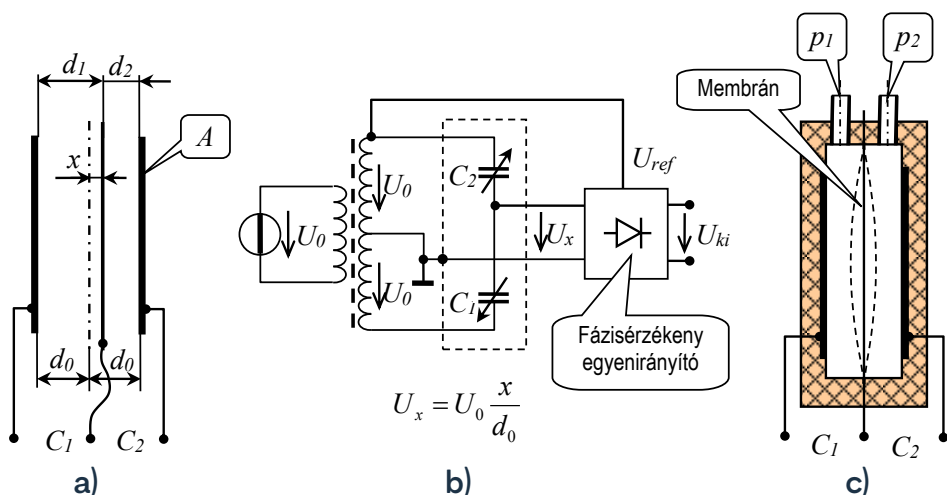
9.7. ábra

A membrán elmozdulásának érzékelése a kapacitásváltozás felhasználásával. A távolság változtathatósága érdekében a dielektrikum csak vákuum, levegő, vagy a nyomást közvetítő folyadék lehet

olyan, hogy a fegyverzet maga a membrán, így a nyomás és a deformáció közötti kapcsolat is nemlineáris. A fejlesztések törekvése az, hogy a membrán és a szemben lévő fegyverzet kialakításával minél lineárisabb karakterisztikát kapjunk.

A nemlinearitás kiküszöbölése mellett konstrukciós előnyei is vannak az ún. differenciál-kondenzátor alkalmazásának (9.8.a. ábra). Ebben három fegyverzettel két kondenzátort alakítunk ki. A két szélső lemez fix. A közöttük levő közös elektródát a mérendő nyomáskülönbség mozgatja. A Δx elmozdulás hatására az egyik kapacitás csökken, a másik növekszik. Alkalmas mérőkapcsolással, mint a 9.8.b. ábrán látható hídkapcsolás, az elmozdulással arányos, irányhelyes kimeneti feszültséget kapunk.

A **differenciál-kondenzátor** és a hídkapcsolás együttes alkalmazásának kedvező hatása, hogy amennyiben a membrán mindkét oldalán ugyanaz a gáz vagy folyadék tölti ki a teret, az U_x feszültség és a Δx elmozdulás kapcsolata linearizálódik. A közvetítő közeg ϵ_r relatív dielektromos állandójának megváltozása sem jelent hibaforrást, hiszen nem szerepel az U_x kimeneti feszültségben (9.8.b. ábra). A hidat 10–100 kHz körüli frekvenciával táplálva, és az U_x feszültséget fázisérzékenyen egyenirányítva a kimeneti egyenfeszültség polaritáshelyesen adja meg a Δx elmozdulást. Egyszerű alkalmazás, a nyomáskülönbség



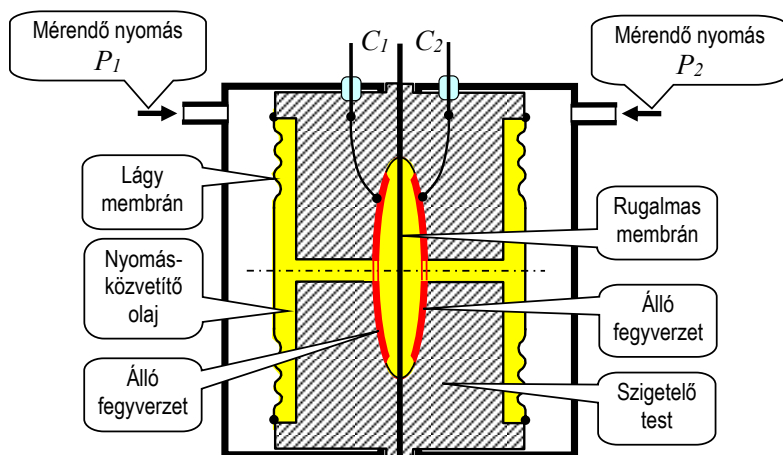
9.8. ábra

Differenciál-kondenzátoros helyzetérzékelő elve (a), egy lineáris átvitelű mérőáramkör (b), és az elv alkalmazása nyomáskülönbség érzékelőben (c)

érzékelő cella, amely csak kis membrán elmozdulások mellett lineáris (9.8.c. ábra). Az alkalmazási lehetőségeket szűkíti, hogy a mérendő közeg lesz a kondenzátor dielektrikuma.

A 9.9. ábrán olyan megoldás vázlatát látjuk, ahol mindkét oldalon lágy membránnal leválasztott közvetítő közeg továbbítja a nyomást az érzékelő membránra. A kapacitív nyomásérzékelők linearitása, pontossága és hosszúidejű stabilitása rendszerint jobb, mint a szilícium lapkán kialakított, piezorezisztív elvű megoldásoké. Jellemző pontosság, a mérési tartomány határára vonatkoztatva 0,2%, és a jellemző üzemi hőmérséklettartomány

–30...+90°C. A differenciál nyomásérzékelő pontosabban méri a $p_1 - p_2$ különbséget, mint ha azt két külön nyomásmérő mérési eredményének különbségeként számítanánk ki. A mérési tartomány és a nyomáshatárok kiválasztásánál figyelemmel kell lenni, mind a p_1 és p_2 nyomás értékére, mind pedig a különbség határadatára.



9.9. ábra

Differenciál nyomásérzékelő kapacitív átalakítóval és olaj nyomásközvetítő folyadékkal.
A $p_1 - p_2$ különbség előjelére nincs megkötés

9.3. Nyomásérzékelők felhasználása szintmérésre

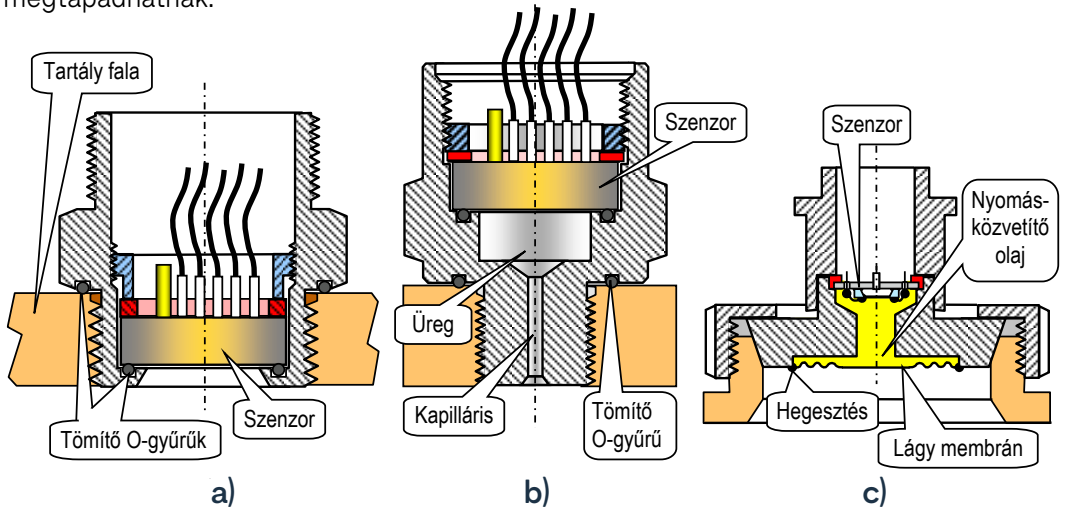
A hidrosztatikus szintmérés előnye, hogy nem zavarja a mérést a hab, a gőz, a páralecsapódás és az erős légmozgás. A közeggel érintkező kis felület sokféle vegyszernek, oldószereknek ellenáll. A folyadék viszkozitására a gyártó specifikálja a felső határt. Arra tekintettel kell lenni, hogy a közeg a legkisebb üzemi hőmérsékleten is megfelelő viszkozitású legyen. Természetesen porok, darabos anyagok szintje nem mérhető. Olyan folyadékok is mérhetők, amelyek vezetőképességük vagy dielektromos állandójuk miatt, mikrohullámú vagy kapacitív elven csak pontatlanul, vagy egyáltalán nem mérhetők. A tartály alakjára, vagy a benne elhelyezkedő szerelvényekre nincs korlátozás. A tartályon belüli helyfoglalása elenyésző. Az anyag keverése is megengedett, ha tekintettel vagyunk erre az érzékelő kiválasztásánál. Az intenzív keverés a centrifugális erő vagy a lüktető nyomás miatt okozhat mérési hibát.

A beépítést nehezíti, hogy a tartály aljába kell beépíteni, ami csak üres tartállynál lehetséges. Ez a nehézség kútszondával áthidalható. A hőmérséklet határok szempontjából vannak jobb, érintés nélküli megoldások. A túlterhelhetőség fontos paraméter. Érzékeny típusoknál a maximálisan megengedhető nyomás a méréshatár 3...5-szöröse. Robusztus típusoknál a méréshatár 50...100-szorosa is megengedett lehet. Nagyon fontos, hogy a rövid idejű, impulzusszerű lökés is ártalmatlan, amit a közelben mozgó keverőlapát, esetleg egy csap vagy szelep hirtelen elzárása okozhat. Az impulzusszerű nyomáslökések megelőzése fontos szempont, a technológiai csatlakozási hely kiválasztásához.

9.3.1. Tartályra szerelhető kiviteli megoldások

A tartály oldalfalába, fenéklemezébe, vagy a hozzávetető csőbe becsavarható nyomásérzékelők technológiai csatlakozásának megvalósítására láthatunk példákat a **9.10.** ábrán. A szerelvények nyomásálló tömitést biztosítanak a tartály és a szenzor felé. A rendszerint O-gyűrű kivitelű tömitések anyagával (*vegyi ellenállásával*) alkalmazkodni kell a tárolt folyadék vagy gáz tulajdonságaihoz. Ezért egy típus kiválasztásánál és megrendelésénél erre figyelni kell.

Egyre több az olyan alkalmazás ahol tisztaságra és a tisztíthatóságra különlegesen szigorú követelmények vannak. Ilyenek például az élelmiszeripar, a gyógyszeripar, és a félvezető ipar. Ennek érdekében a technológiai csatlakozásnak a tartály belsejébe néző része különleges kialakítású. Nem tartalmaz olyan réseket, szögleteket, ahol a szennyezések megtapadhatnak.



9.10. ábra

A nyomásszenzorok beépítése a távadó technológiai csatlakozó szerelvényébe. Homlokmembrános kialakítás kerámia szenzorral (a). Belső membrános elrendezés, kerámia szenzorral (b), ahol az üreg és a kapilláris megfelelő méretezésével a gyors hidraulikus lökések lehet csillapítani. A (c) ábrán tejjari kúpos csatlakozás látható, acél-homlokmembrános szenzorral

Általában a keverés megengedett, de számolni kell a következményeivel. Nem teljesen tiszta folyadékból a tartály alján üledék (*például homok*) gyűlhet össze, amit intenzív keverésnél a folyadék magával ragad és koptatja a fallal egy síkban elhelyezkedő membránt. Belső membrános illetve hosszabb csőcsonkra szerelt készülékeknél a keverés behordja az iszapot a csőcsonkba, vagy az magától is ott gyűlik össze. Tisztítás nélkül, hosszabb idő alatt, az iszap eltömődést és mérési hibát okoz.

A vékony acél homlokmembránok sérülékenyek. Élelmiszeripari alkalmazásoknál megkövetelik, hogy a membrán sérülésekor a tartályba ne kerülhessen „mérgező” anyag. Ezért ilyen felhasználásoknál, étolaj a nyomásközvetítő folyadék. A kerámia homlokmembránok robusztusak és kopásállóak.

9.3.2. Bemerülő szondák, kútszondák

Egyedüli lehetőség a földbe fúrt kutak, medencék vízszintjének mérésére. Kis átmérőjével, a nem mindig egyenes, és nem is függőleges béléscsővű megfigyelő kutakba is leereszthető. A kábel megfelelő teherbírású és tömítettségű, ezért mély (300 m) kutakban is tartósan használható. A kábel a működéshez szükséges elektromos kapcsolat vezetékei mellett egy vékony (lélegző) csövet (kapillárist) is tartalmaz, ami lehetővé teszi, hogy a membrán másik oldalán légköri nyomás legyen. A légzőcső felső vége nem érintkezhet vízzel, valamint egy por és páramentesítő szűrőt is kell rá csatlakoztatni. Ugyanis a ciklikus hőmérsékletváltozás mozgatja a csőben levegőt, ami beszívja a párát. A lecsapódó párából idővel, lent a membrán-nál víz gyűlik össze, vagy a csőben mozgó víz-dugó kúszása zavarja a pontos mérést.

Szabadtéri vizekben is használható, de erősen áramló vízben védőcső használata javasolt. A szonda alsó végének nyílásait az eltömődés megelőzésére, a szennyeződés-től védeni kell. Erre a célra védő feltétek szerelhetők a szonda végére. Ilyen a bűvárha-rangszerű, amely a bezárt levegő segítségével tartja távol a szennyeződést. A mélyebb csőkútba való leeresztést pótsúllyal is lehet segíteni. Célszerű időszakosan (pl. félévente) kiemelni, és tisztítani. A szabad térben való elhelyezés miatt fontos a béléscső és a szonda villámvédelme. **Jellemző adatok:**

A nyomás, illetve a szintmérés, mérési tartománya:

0...0,6 bar-tól 0...30 bar-ig (6 m vo.-tól, 300 m vo.-ig) 12...15 méréshatárral.

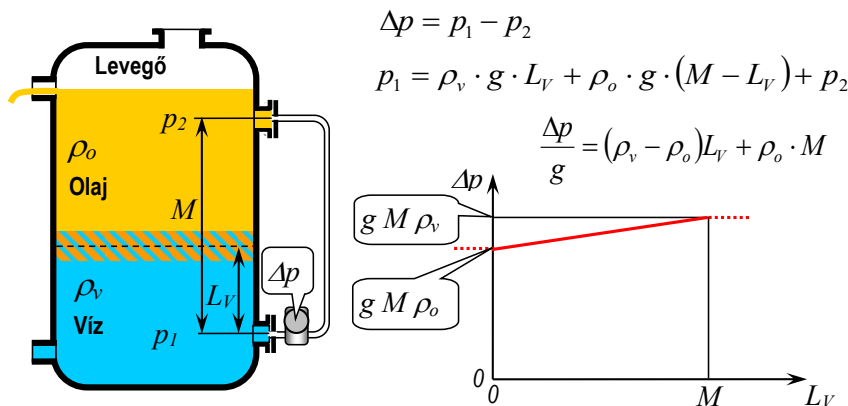
Pontosság: 0,1...1%

A szonda legnagyobb átmérője: Ø18...Ø40 mm

Környezeti és közeghőmérséklet határai: -20...+80 (+120)°C

Könnyen telepíthető nyitott tartályba vagy földalatti aknába. A telepítés egyszerűsége miatt terjed az a kiviteli forma, ahol a kútszonda, a kábel és a bekötő doboz gyárilag, egy egységbe van összeszerelve. Felhasználáskor a 9.13.b. ábrán látható formában építhető be.

9.4. Közeghatár mérés



9.11. ábra

Olaj és víz közeghatárának mérése. Az M mérési tartományon belül kiszámítható az L_v vízszint, a Δp nyomáskülönbségből

Pontos és érzékeny nyomáskülönbség-méréssel, olaj és víz közeghatára (*fázishatár*) is mérhető, ha a két folyadék túlfolyásig kitölti a tartályt. A mérést nem befolyásolja az olaj fölötti hab, a túlnyomás, az iszap lerakódás és a két közeg közötti kevert (*emulziós*) zóna. Azonban minél kisebb a két folyadék sűrűsége közötti különbség, annál pontatlanabb a mérés.

9.5. Hibaforrások és a pontosság

9.5.1. A szintmérés hibája

A gyártó a készülékek végellenőrzését, és beállítását nyomáskalibrátorral végzi. Egy nagyobb méréshatárú kútszondánál más eljárást nem is lehet megvalósítani. Ehhez is kiegészítő segédeszközök kellenek, hiszen a kútszondáknak csak egy része rendelkezik olyan menetes csatlakozással, amivel a nyomáskalibrátorhoz csatlakoztatható.

Üzembehelyezésnél először a beszerelt készülék nullpontját kell ellenőrizni, illetve beállítani, mert az függhet a felszerelési helyzettől (*a membrán súlya miatt*). A nullpont beállításának természetes módja, hogy a folyadék membránt érintő nulla szintjéhez, nulla kijelzést állítunk. Ezzel azonban a linearitási hiba csökkentésének a **3.5.1.** alfejezetben leírt lehetőségét elvetettük. Ezután be kell programozni a nehézségi gyorsulást és számadattal vagy feltöltött tartály mérésével, be kell tanítani az anyag sűrűségét. A gyári beállítás (*külön megállapodás nélkül*) víz feltételezésével történik.

A hidrosztatikus szintmérők (és nyomásmérők) linearitási hibáját és hőmérsékletfüggését jórészt a szenzor okozza. A gyártó a szenzoron belül áramköri megoldással igyekszik kompenzálni. A hiba, a nyomás és a membrán deformációja, valamint a deformáció és annak villamos jellé alakítása közben, egyaránt létrejöhet. Tehát növekvő nyomásnál, a nyomás és a villamos jel közötti kapcsolat, egyre nagyobb hibával követi az ideális egyenest. (*1–2% is lehet az eltérés.*) A membránnak, mint minden deformálódó testnek, hiszterézis hibája is van, legfeljebb olyan kicsi, hogy összevonjuk a linearitási hibával.

A **9.12.** ábrán egy elképzelt jóminőségű hidrosztatikus távadó hibáit ábrázoljuk a mért szint függvényében. A mérendő szint 0–12 m vízoszlop. A választott távadó méréshatára 16 m. (*Ha a biztonság érdekében, a szükségesnél nagyobb méréshatárt választunk, akkor az abszolút hiba is nagyobb lesz.*) A hibákat, az alábbi katalógus adatokból kiindulva számítjuk:

A referencia feltételek mellett mérhető hibák:

Referencia hőmérséklet tartomány: 15...25°C

A fő hibatényezőket külön-külön, vagy összevontan adják meg, jellegzetesen a végértékhez (FS) viszonyítva, százalékban. A hiba a mért értéktől független állandó szélességű hibasávval ábrázolható.

Példánkban:

Nemlinearitási hiba: $\leq (\text{a mérési tartomány} \pm 0,2\% - a) = \pm 3,2 \text{ cm}$

Hiszterézis hiba: $\leq (\text{a mérési tartomány} \pm 0,1\% - a) = \pm 1,6 \text{ cm}$

Ismétlési hiba: $\leq (\pm a \text{ mérési tartomány} \pm 0,1\% - a) = \pm 1,6 \text{ cm}$

A külön-külön megadott hibákat négyzetesen összegezhetjük, mert bizonytalanság jellegűek és egymástól függetlennek tekinthetők:

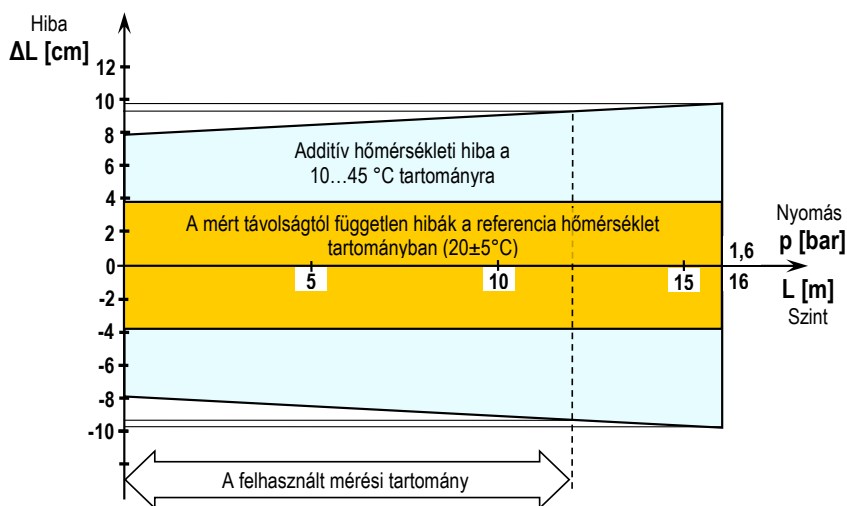
$$\sqrt{3,2^2 + 1,6^2 + 1,6^2} = 3,9 \text{ cm}$$

A referencia hőmérséklet-tartományból kilépve számolni kell a hiba növekedésével, amit a hibasáv kék színű kiterjesztése ábrázol. A növekedést a példánkban így adják meg: Hőmérsékleti hibák a 0...60 °C hőmérséklet tartományban:

A nullpont hőmérsékletfüggése: $\leq (\pm a \text{ mérési tartomány} 0,1\% - a) 10 \text{ K}$ hőmérsékletváltozásra.

A végérték hőmérsékletfüggése: $\leq (\pm a \text{ mérési tartomány} 0,15\% - a) 10 \text{ K}$ hőmérsékletváltozásra.

Tehát a hőmérsékletváltozás 25 K, a hőhiba a nullpontnál $\pm 4 \text{ cm}$, a végérték-nél $\pm 6 \text{ cm}$. Amíg a futási időn alapuló távolságmérésnél nem volt szó a **hosszú idejű stabilitásról**, addig a nyomásérzékelők estében a membrán és más alkatrészek (például a közvetítő közeg, a tömítések), öregedése szükségessé teszi ezt. Ennek jellemző adata, a hosszúidejű stabilitás. Példánkban, referencia feltételek mellett: A mérési hiba növekedése nem nagyobb évente, mint a mérési tartomány $\pm 0,2\% - a$, vagyis $\pm 3,2 \text{ cm/év}$. Ebből következik, hogy 1–2 évenként érdemes újra kalibrálni, a készüléket.



9.12. ábra
Hidrosztatikus
szinttávadó
mérési hibája víz
szintmérésénél

Egyre több távadóba építenek be, a felhasználó számára adatot szolgáltatató hőmérőt is. Ezek mérési eredménye a szintmérés hőmérsékleti hibájának korrigálására is használható.

9.5.2. A térfogatmérés hibája

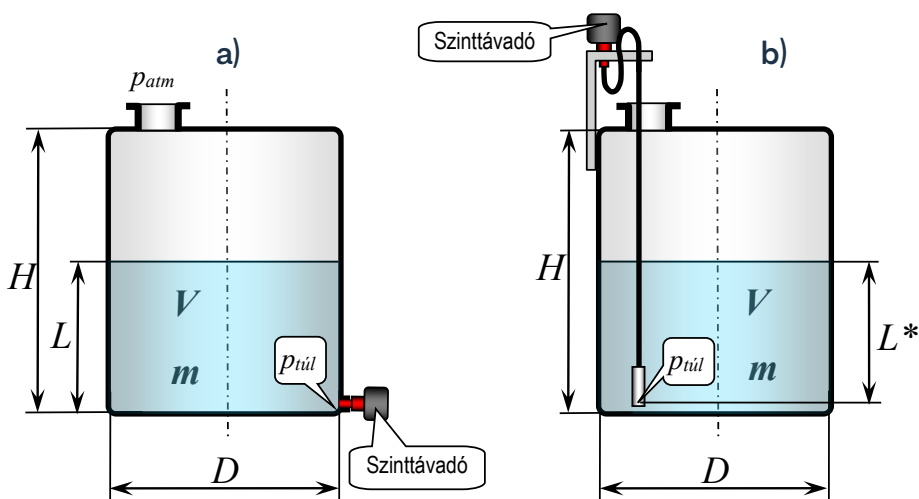
A mérési módszer előnye, hogy a fenéknymás felhasználásával, a beépítési hely feletti folyadékoszlop magasságát méri. A 9.13. ábra szerint elhelyezett szintmérő, így az ürestől a tele tartályig, holtzóna nélkül mér: $0 \leq L \leq M=H$

Az L szint kiszámítása:
$$L[m] = 1,02 \cdot 10^5 \frac{p_{\text{túl}}[\text{bar}]}{\rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] g \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]}$$

A legegyszerűbb, álló henger alakú tartálynál, a folyadék térfogatának meghatározása:

$$V = \frac{D^2 \pi}{4} L = \frac{D^2 \pi}{4} \frac{p_{\text{túl}}}{\rho g}$$

Így a mért térfogat relatív hibája, a nyomásmérés relatív hibája mellett, a tartály átmérő és az anyagsűrűség hibáját tartalmazza:
$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta p_{\text{túl}}}{p_{\text{túl}}} + 2 \frac{\Delta D}{D} - \frac{\Delta \rho}{\rho}$$



9.13. ábra

A fenéklemez szintjén elhelyezett szinttávadó (a).

A feladat megoldása a tartály kiürítése és átalakítása nélkül, „kútszondával” (b)

9.5.3. A tömegmérés hibája

A folyadék térfogatából számított tömeg:
$$m = \rho \cdot V = p_{\text{túl}} \frac{D^2 \pi}{4g}$$

Látható, hogy a hidrosztatikus nyomásból, a tömeget a sűrűség ismerete nélkül is kiszámíthatjuk. Sőt, az ismeretlenül rétegződő folyadékok össztömege is kiszámítható, amire más mérési módszernél nincs lehetőség.

A számított tömeg hibája:
$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta p_{\text{túl}}}{p_{\text{túl}}} + 2 \frac{\Delta D}{D}$$

9.6. Készülékek és alkalmazások



NIVOPRESS D
hidrosztatikus szinttávadó,
1½" BSP technológiai csatlakozással

NIVOPRESS N sorozatú,
bemerülő szinttávadók





A NIVOPRESS D távadó beépített kijelzője

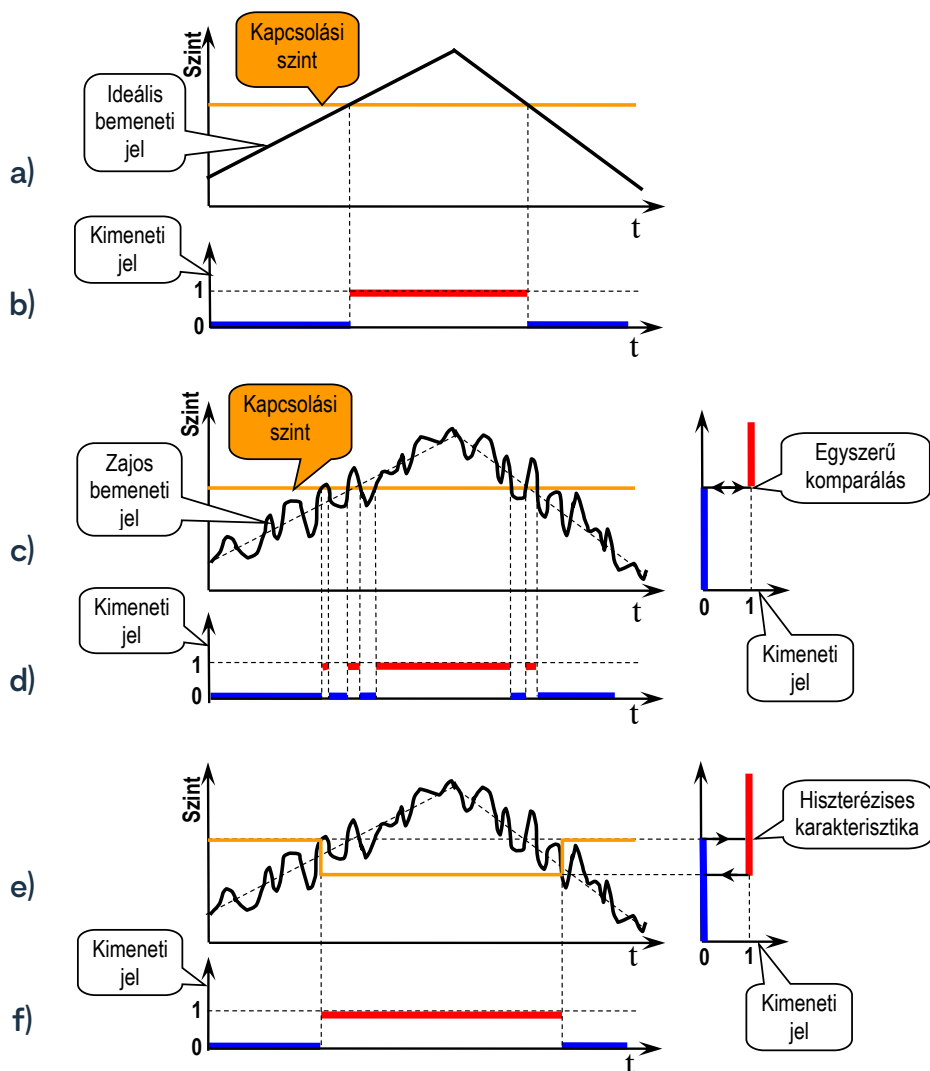
Hidrosztatikus távadók,
technológiai rendszerbe beépítve



10. A szintkapcsolók tulajdonságai

10.1. A szintkapcsolók karakterisztikája

Az ideális feltételek mellett működő szintkapcsolótól azt várjuk, hogy a **10.1.a.** ábrán látható bemeneti jelre a **(b)** diagramban látható időfüggvény szerint működjön. Amint a növekvő bemeneti szint átlépi a beállított kapcsolási pontot (szintet), a kimeneti logikai jel, vagy kontaktus átkapcsol. Majd a szint csökkenésével, ugyanennél az értéknél visszakapcsol. A példánkban közömbös, hogy adott helyen bekapcsolás vagy kikapcsolás



10.1. ábra

A szintkapcsoló működése ideális bemeneti jelnél (a, b), zajos bemeneti jelnél, histerézis nélkül (c, d), és histerézises működés mellett (e, f)

történik, egy valódi rendszer működése szempontjából azonban ez nagyon lényeges. Ezért sok szintkapcsoló ellentétesen működő kontaktussal is rendelkezik, vagy egyszerű beállítással a kapcsoló működése megfordítható.

10.1.1. Kapcsolási hiszterézis

A folyadékszint egyenletes töltés vagy ürítés közben sem monoton változik. A kisebb-nagyobb hullámozás, a tartály rezgései azt eredményezik, hogy a tendenciájában lassan változó szint, a kapcsolási pont közelében többször átlépheti a kapcsoló átváltásához tartozó értéket. Ez, a szintkapcsolóval működtetett készülék (szivattyú) vagy más mechanikai berendezés, többszöri gyors ki-be kapcsolását eredményezné (**10.1.d.** ábra). A berendezést károsító kapcsolgatás megelőzésére az **(e)** ábra szerinti működést hozzuk létre. Az első átkapcsolás hatására a billenés szintjét annyival lefelé kell tolni, amennyi a várható ingadozás amplitúdója. A **(b)** és **(f)** ábrák összehasonlításából látszik, hogy a kapcsolási pontok megváltoznak, de ekkora eltérés elfogadható, mert az eltolódás a véletlen ingadozás tartományába esik. Az ellenkező irányú átkapcsolás a kapcsolási szintet visszaviszi, az eredeti helyére. A két érték között változó kapcsolási szintet a hiszterézises karakterisztikának hívjuk. A szintkapcsoló által érzékelt szint, bármilyen tartályból származik, soha nem lesz ingadozásmentes. Általánosítva elmondhatjuk ezt, más fizikai jellemző szintjét érzékelő kapcsolóra is. Vannak kapcsolók, amelyekben valamilyen mértékű hiszterézis automatikusan megvalósul. A felületi feszültség a folyadékszint érintésénél, mágneses hiszterézis a reed-kontaktusnál (**11.3.1.** alfejezet), vagy a (mágneses) rugó a billenő úszónál (**11.2.1.** alfejezet). A biztos kapcsoláshoz ez a természetes hiszterézis nem mindig elegendő. A hiszterézis nem lehet nagyobb, mint a szintkapcsoló, közeggel érintkező aktív részének a magassága.

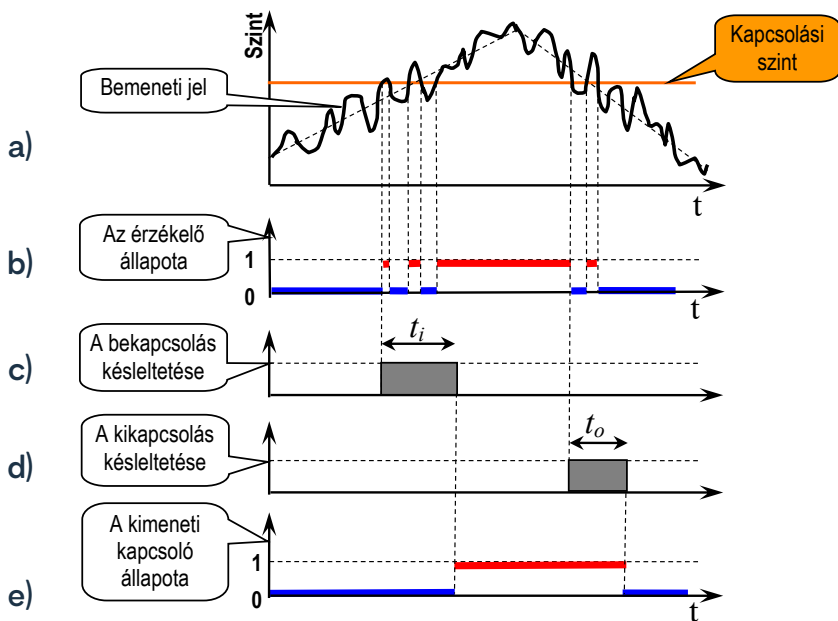
Egy szintkapcsolón belül, nagy hiszterézis megvalósítására alkalmas megoldások az úszós szintkapcsolók között találhatók. (Lásd **11. fejezet**.) Emellett, nagy szintkülönbségű hiszterézist, két különböző magasságban elhelyezett szintkapcsoló együttes működésével valósíthatunk meg. Az ilyen megoldások célja már más, és működésüket a **10.1.3.** alfejezetben fogjuk ismertetni.

10.1.2. Késleltetett kapcsolás

Mi a megoldás, ha a hullámozás amplitúdója nagyobb, mint a szintkapcsoló érzékelési tartománya? A hullámozás csillapítása is lehetséges, de a kapcsolási szint közelében fellépő kapcsolási bizonytalanság kiküszöbölésének egyszerűbb módja a késleltetett kapcsolás.

A **10.2.** ábrán látható, hogy az erősen ingadozó bemeneti szint **(a)** hatására az érzékelő többször átbillen **(b)**. A késleltetés azt jelenti, hogy a kapcsolási szint első átlépése után csak a t_i idő mérése indul el **(c)**. A kimenet átkapcsolása akkor következik be, ha t_i késleltetési idő elteltével is fennáll a kapcsolási szintet meghaladó jel (*piros vonal a (b) ábrán*). Tehát a t_i késleltetést az első felfutó él indítja, és a következő élek a t_i időt nem befolyásolják. Így a kimeneti kapcsoló **(e)** csak egyszer kapcsol be, t_i idő múlva.

A kikapcsolási késleltetést az érzékelő **(b)** lefutó éle indítja. Elkezdődik a t_o kikapcsolási késleltetés **(d)**, és a kimenet **(e)** átkapcsolása akkor következik be, ha a t_o késleltetés végén az érzékelő **(b)** kikapcsolási állapotban van. A beállítható késleltetési idő tipikusan $t_i = t_o = 0,5 \dots 20$ s. Lehetséges olyan üzemmód is, ahol a késleltetési idő az érzékelő minden átbillenésénél újra indul. Ez az üzemmód kicsit másként módosítja a kapcsolási szinteket, és kisebb késleltetési idők, beállítását igényli.



10.2. ábra

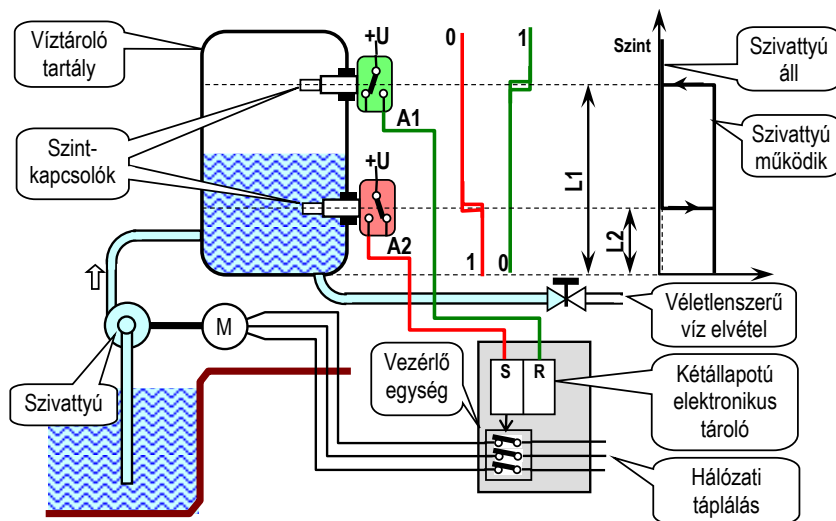
A szintkapcsoló biztos átkapcsolásának megvalósítása zajos bemeneti jelnél, a bekapcsolás (t_i) és a kikapcsolás (t_o) késleltetésével

10.1.3. Töltés-ürítés vezérlés

Gyakori feladat, hogy egy tartályban a szintet, adott alsó és felső határ között kell tartani. A két szint között több méter távolság is lehet. A **10.3.** ábrán a tároló edényből véletlenszerűen történik a víz elvétele. A szintet az **M** motorral hajtott szivattyúnak kell az alsó és felső határ között tartani. Az alsó és felső határhoz be van építve egy-egy egyszerű szintkapcsoló. A szivattyú vezérléséhez szükséges egy tárolási funkció, amely megmutatja, hogy a két határ közötti szint esetén a szivattyú működik, vagy áll. A felső szintkapcsoló csak leállítani tudja a szivattyút (*ürítési szakasz kezdete*). Az alsó szintkapcsoló csak bekapcsolni képes a szivattyút (*az R-S tároló töltési állapotba billentésével*). A két szintkapcsoló és a vezérlő együtt, hiszterézises karakterisztikát valósít meg, ahol a hiszterézis határait az érzékelők függőleges beépítési távolsága adja. Az ábrán látható, hogy szintkapcsolók külön-külön is rendelkeznek kis hiszterézissel, de a rendszer működésében ennek most nincs szerepe.

A vezérlést arra is fel kell készíteni, hogy mi történjen, ha a tápfeszültség bekapcsolásakor a szint, a két kapcsolási pont között áll. Ilyenkor a tároló elem véletlenszerűen kerülhet valamelyik állapotba. Az üzemi (*biztonsági*) feltételek előírhatják, hogy töltéssel, vagy ürítéssel kezdődjön a működés. Ehhez a vezérlőt egy átkapcsolható logikai feltétellel kell kiegészíteni.

Hasonló alkatелеmekből épül fel a rendszer, ha a tartály tőlünk függetlenül töltődik, és a szintet az ürítés vezérlésével kell a határok között tartani. Ez az ürítéses üzemmód. A vezérlők a két üzemmód között átválthatók.



10.3. ábra

Töltő szivattyú vezérlése, véletlenszerű víz elvételnél.
A szivattyú az L1 és L2 szintek között tartja a vízszintet

Egy szintkapcsoló eszközzel csak akkor lehet töltés-ürítés vezérlést megvalósítani, ha annak érzékelési tartománya kiterjed a teljes szinttartományra. A következő fejezetekben látni fogjuk, hogy az ismertett szintkapcsoló megoldások között van, amelyik önmagában is alkalmas, beállítható töltés-ürítés megvalósítására. Ilyen, az úszós szintkapcsolók némelyike (**11. fejezet**), illetve a konduktív szintkapcsolók nagy része (**15. fejezet**).

10.1.4. Határérték és vészjelzés

Gyakori, hogy a szintkapcsolót, határérték túllépésből adódó veszélyes állapot jelzésére használják. A technológia dönti el, hogy egy beépített szintkapcsolónál a kapcsolási szint feletti vagy alatti állapot (*a túltöltés, vagy a kiürülés*) lesz-e veszélyes? Szokás szerint, a veszélyes állapotot a szintkapcsoló kimenetén, az áramkör megszakításával kell jelezni. A megfontolás célja, hogy a leggyakoribb meghibásodások a tartályszint veszélyes állapotának jelzését ne fordítsák ellenkezőre. Ilyen feltételezett hiba a jelző vezeték

szakadása, vagy a tápfeszültség kimaradás. Tápfeszültség hiányában, a félvezetős kimeneti kapcsolók megszakított állapotba kerülnek. A jelfogók működtető tekercse energia-mentes lesz, más szóval a jelfogó elengedett állapotba kerül. Ilyenkor a kimeneti csatlakozón, a **C** és **NO** jelű pontok közötti kapcsolat szakad meg (lásd **10.4. ábra**). Tehát ugyanaz a hibajelzés jut el a vezérlő terembe, mintha a tartályban kialakult szint miatt lenne veszélyes állapot. Célszerű, ha a szintkapcsoló bármelyik veszélyes állapot jelzésére felhasználható. Ezért a felhasználó beállíthatja, hogy a kimenet megszakított állapota a szintkapcsoló feletti, vagy a szintkapcsoló alatti anyagszintnél jöjjön létre. Erre szolgál a kezelő szervek között a fail-safe kapcsoló, (*fail-safe* = *üzembiztos*) amelynek két állapota: FSH és FSL (*FSH* = *fail-safe high*, vagy *FSL* = *fail-safe low*). Tehát FSH állásban a szintkapcsoló kimenete akkor mutat szakadást, ha az anyag szintje a szintkapcsoló fölé emelkedik.

10.1.5. Helyi kijelzés és biztonsági ellenőrzés

A biztonsági alkalmazások miatt fontos, hogy a szintkapcsolók helyes működését ellenőrizni lehessen. Erre szolgálnak a szintkapcsoló aktuális állapotát kívülről mutató (távolabbról is látható) színes jelzőfények (*LED-ek*), amelynek állapota a működési leírás alapján vizuálisan összehasonlítható a közeg szintjével (amennyiben az kívülről látható).

Ezen túlmenően, jó lenne ellenőrizni azt is, hogy a kapcsolási szint átlépése esetén a jelzőfény és a kimeneti jel átvált-e, és ez a jelzés eljut-e a vezérlőterembe is. A kimeneti jel átváltását tesztelni lehet belső nyomógommbal, külső érintő mágnessel vagy távirányítóval. Az ellenőrzés miatt nem célszerű a készülék fedelét kinyitni, robbanásveszélyes környezetben nem is szabad, ezért van többféle tesztelési lehetőség.

Belátható, hogy ez az ellenőrzés nem terjedhet ki a szintkapcsoló egészére. Hiszen egy ömlesztett szilárd anyaggal, vagy folyadékkal takart érzékelőn, az előbbi beavatkozásokkal nem lehet létrehozni a takarás nélküli állapotot. Vagyis ez a teszt csak a feldolgozó elektronika egy részét, a kimeneti kapcsolót, és a vezérlőterembe menő vezetékét tudja vizsgálni.

Várható, hogy a szintkapcsolók kimeneti jelzésében terjedni fognak a kettőnél több állapotú jelek. A szakadás és a rövidzár a vezeték állapotnak ellenőrzésére szolgál, és a helyesen működő szintkapcsoló két állapotát ettől eltérő módon jelezzük (pl. $1\text{ k}\Omega$ és $>8\text{ k}\Omega$). Ezek a módosítások lehetővé teszik, hogy a határértékjelzést megkülönböztessük a vezeték és tápfeszültség hibáktól. (A $4\text{--}20\text{ mA}$ -es analóg kimenetű távadóknál már használt hibajelzés, a $3,6\text{ mA}$ alatti, vagy a $20,5\text{ mA}$ feletti áram alkalmazása.) Az ilyen típusú kimeneti jelek akkor használhatók, ha a kimenettel nem akarunk, közvetlenül ki-be kapcsolni egy egyszerű eszközt. Ehelyett a jel, a fogadó oldalon egy speciális jelátalakítóba megy be, ami szétválasztja a vezeték hibákat az érzékelt anyagszintre vonatkozó kétféle jeltől.

A tapasztalatok szerint az üzembiztonság céljából összevont hibajelzések (*fail-safe*) biztonságosnak tűnhetnek, de egy bonyolultabb rendszerben, túl gyakran okoznak indokolatlan leállást. Rendszer szinten pedig, egy váratlan leállás maga is veszélyforrás lehet.

10.2. Kimeneti áramkörök

A táplálás és a kimenet megoldása szempontjából a szintkapcsolókat négy csoportba sorolhatjuk. A kimeneti jellel, vagy egy jelfeldolgozó készülék logikai bemenetét vezéreljük (például PLC-t), vagy közvetlenül kapcsolunk valamilyen kisteljesítményű (egy fázisú) fogyasztót (például szelep, szivattyú, jelzőlámpa, duda vagy sziréna). Természetesen mágneskapcsoló közbeiktatásával működtethető egy nagyobb teljesítményű beavatkozó szerv, szelep, vagy háromfázisú szivattyú motor is. Egy adott fizikai elven működő szintkapcsolót többféle kimenettel gyártanak. A kimenet típusa a bekötési lehetőségek, és a méretek miatt, összefüggésben van a tokozás módjával.

Segédenergia nélkül működő készülékek. A folyadék felhajtóerejével működtetett, úszós szintérzékelők mechanikus kapcsolót, vagy reed-kapcsolót működtetnek (lásd 11.3.1. alfejezet). Tehát a kimeneti kapcsoló földfüggetlen.

Négyszárművel működő készülékek. Jellemzően 230 V AC, vagy 24 V AC táplálású, és galvanikusan független kimenetű készülékek, ahol a kimeneti kapcsoló, általában jelfogó. Ebben a csoportban nagyobb teljesítmény igényű (1–5 W), vagy régebbi konstrukciójú készülék található.

Háromvezetékes készülékek. Rendszerint 10...40 V tartományba eső egyenáramú táplálás, és a táplálással közös földvezetékű félvezető kimeneti kapcsoló jellemzi, ezeket a készülékeket.

Kétvezetékes készülékek. Az érzékelő működéséhez szükséges kis segédenergiát a kapcsolt terhelés áramköréből „lopja” el a készülék. Kikapcsolt állapotban a felvett áram olyan kicsi hogy a sorba kapcsolt terhelést nem működteti, de a szint érzékeléséhez és a kapcsoló működtetéséhez elegendő.

NAMUR kétvezetékes kimenet (EN 50227). A kis tápfeszültséggel, és kis áramfelvétellel működő érzékelő, elsősorban robbanásveszélyes környezetben való felhasználásra készült. Névleges tápfeszültsége: 8,2 V DC. A szintkapcsoló kétféle ellenállást mutat. >8 kΩ illetve, ~1 kΩ. Az áramfelvétel alapján a szintkapcsoló két üzemi állapota megkülönböztethető a vezeték zárlatától és szakadásától. A szint-érzékelés számára használható teljesítmény kicsi.

10.2.1. A jellegzetes terhelések kapcsolási tulajdonságai

A terhelés névleges teljesítménye önmagában kevés információ ahhoz, hogy biztonsággal eldönthessük, a szintkapcsoló kimenete alkalmas-e ennek a terhelésnek a kapcsolására. Ugyanolyan névleges teljesítmény mellett, nem mindegy, hogy egyen vagy váltakozó feszültséget, és milyen típusú terhelést kell kapcsolni. Egyértelmű, hogy a kapcsolóra megengedett feszültség nagyobb legyen, mint a terhelés tápfeszültsége. Másrészt a kapcsoló megengedett árama is nagyobb legyen a terhelés jellemző áramfelvételénél. A terhelés áramát kiszámíthatjuk a névleges teljesítményéből. A bekapcsoláskor azonban a terhelés nagyobb áramot vesz fel, mint a névleges áram. Az álló motor indulási árama, a kapacitív terhelés feltöltése, az induktív terhelés kikapcsolása, a kontaktust

más-más módon igénybe vevő tranzienssel jár. A kapcsoló gyártója, a felhasználó számára az alkalmazási csoportok megadásával (*Utilization Categories IEC 6097*) egyértelműsítheti a kapcsoló határadatainak értelmezését. Az alkalmazási csoportok száma ~50 db, értelmezésüket táblázatokban lehet megtalálni.

Néhány jellemző alkalmazás:

AC-1. Ellenállás fűtésű kemence. A névleges teljesítményéből számított árama közel megegyezik a bekapcsolás pillanatában folyó árammal. Kikapcsoláskor elhanyagolható az induktív feszültséglökés. A kontaktus szempontjából kedvező terelés, ezért ilyen felhasználásnál a gyártó nagy áramot engedélyez.

AC-3, AC-4. Aszinkron motor. Nagy induló áram, és induktív feszültséglökés jellemző az ilyen terhelésre.

AC-5b. Izzólámpák ki-be kapcsolása. Az izzólámpák bekapcsolásánál kedvezőtlen, hogy a szobahőmérsékletű szálon sokkal nagyobb (akár tízszeres) áram folyik, a nagy hőmérsékletű izzószálon átfolyó üzemi, névleges áramhoz képest.

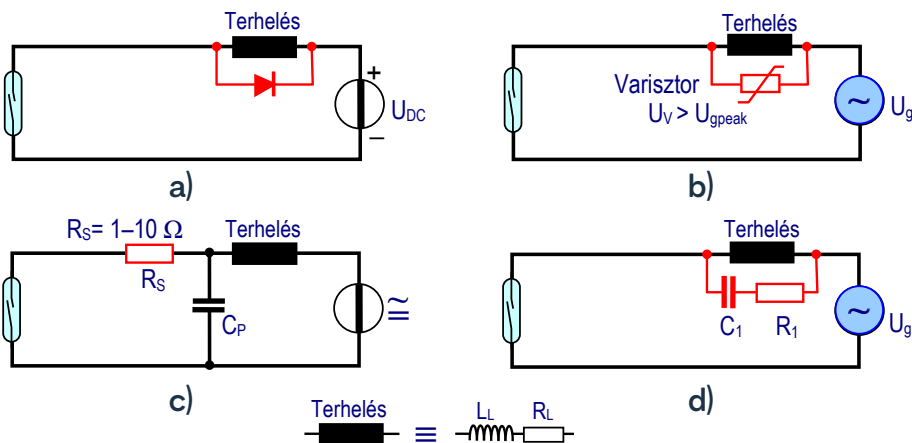
AC-6. Transzformátorok ki-be kapcsolása. Elsősorban az induktív lökések veszik igénybe a kapcsolót.

DC-1. Egyenáramú terhelések kapcsolása. Kis induktivitású, fűtő ellenállások, kemencék. A váltakozóáramhoz képest kedvezőtlen, hogy az áramnak nincs természetes nullátmenete, ezért a kikapcsolási ívhúzásnak, nagyobb a kontaktust károsító hatása.

DC-23. Erősen induktív terhelések, egyenáramú motorok.

A különböző felhasználási csoportokhoz megengedett áram és feszültséghatárok a kontaktus élettartamhoz (a megadott kapcsolási számhoz) kötődnek.

Például egy kimeneti jelfogó kontaktusra megadták, hogy AC12 típusú terhelésnél 250 V maximális feszültséget és 10 A áramot kapcsolhat. Az AC12 azt jelenti, hogy ellenállás terhelés. Tehát alkalmas a 230 V feszültségű, 2,3 kW névleges teljesítményű fűtőszál kapcsolására.



10.4. ábra

A reed kapcsoló, vagy más, kis terhelhetőségű kontaktus védelme, a piros színű kiegészítő alkatrészekkel történhet. A terhelés minden esetben ohmos és induktív (például jelfogó tekercse)

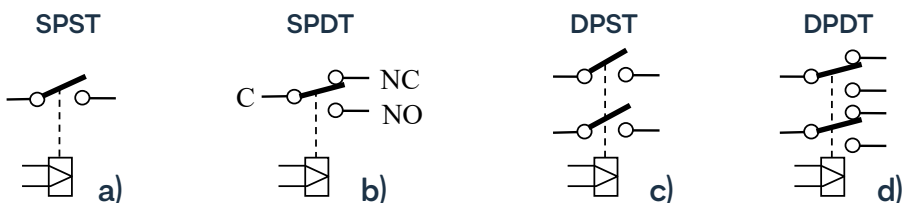
Ugyanez a jelfogó egyenáramon csak sokkal kisebb terhelés kapcsolására alkalmas. Ebben az esetben adatai: DC13 típusú terhelésnél, 220 V 0,6 A. Ennek jelentése az, hogy egy egyenáramú elektromágneest kapcsolva vele, a névleges áram maximum 0,6 A lehet (130 W).

Reed-kapcsolónál a kapcsolható terhelés típusát ritkán specifikálják. Az áram és feszültség határok betartása mellett, a reed kapcsoló kontaktusainak védelmére a **10.4.** ábrán bemutatott megoldásokat javasolják. Az **(a)** ábrán, egyenfeszültségről táplált jelfogó (*induktív terhelés*) a kikapcsolásánál keletkező feszültséglökést akadályozza a dióda. A **(b)** ábrán váltakozó feszültségről táplált jelfogót kell kapcsolni. A varisztor (VDR) a váltakozó tápfeszültség mindkét polaritására korlátozza az induktív feszültséglökést. A **(c)** ábrán a C_p kapacitás kisütése (például hosszú kábel kapacitása) okoz a kapcsolóban nagy áramimpulzust. A védő elem egy áramkorlátozó ellenállás. A **(d)** ábrán az R_I , C_I elemek csillapítják a szikrázást. Méretezésükre diagramokat használunk.

10.2.2. Jelfogó kimenetek

A félvezető kimenetek mellett, még mindig nagyon népszerűek a mechanikus kontaktussal működő kimeneti jelfogók (*relék*). Robusztusság mellett előnyük, a kontaktusok és a többi áramkör közötti galvanikus függetlenség, nagy átütési szilárdsággal (2...4 kV). A **10.5.** ábrán négy gyakori kontaktus elrendezés látható, az elrendezés betűjelével. A **(b)** ábrán a kivezetések mellé beírtuk a csatlakozási helyek szokásos betűjelét. (C = közös, NC = normál állapotban zárva, NO = normál állapotban nyitva.) A normál állapot azt jelenti, hogy a jelfogó működtető tekercse feszültségmentes.

A jelfogók mozgó alkatrészei, a kopás következtében véges élettartamúak. Jellemzően, az elérhető mechanikus kapcsolások száma $10^7 \dots 10^8$ felett van. Az érintkező kontaktusok, a szikrázás roncsoló hatása miatt kevesebb, névleges elektromos terhelés mellett $10^5 \dots 10^6$ kapcsolásra alkalmasak.



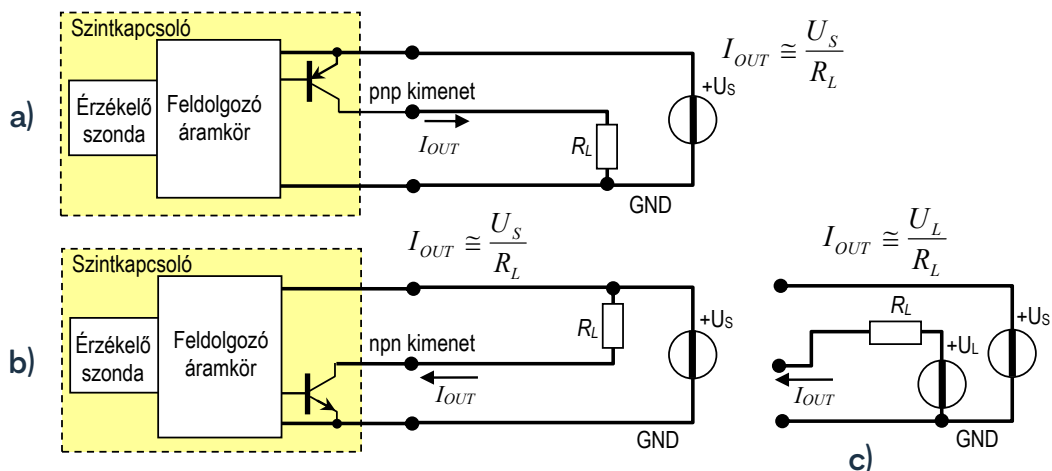
10.5. ábra

Az egyszerű jelfogók négy leggyakoribb kontaktus elrendezése. Szokás szerint, az ábra energiatmentes (*gerjesztés nélküli*) állapotban mutatja az érintkezőket

10.2.3. Háromvezetékes szintkapcsolók, tranzisztoros kapcsoló kimenettel

A jellemzően $U_s = 10 \dots 40$ V egyenfeszültséggel táplált, háromvezetékes rendszerek kimeneti kapcsoló tranzisztora, áramkörileg nem független a táplálás áramkörtől. A háromvezetékes szintkapcsolók bekötésének lehetőségei a **10.6.** ábrán láthatók. A kapcsoló

két változata, a bekapcsolt állapotban átfolyó áram irányában különbözik. A kapcsoló típusának a megjelölésére hagyományosan a pnp és npn elnevezést használják, még akkor is, ha MOS tranzisztor valósítja meg (*p*-csatornás, vagy *n*-csatornás).



10.6. ábra

Háromvezetékes szintkapcsolók kimeneti áramkörei

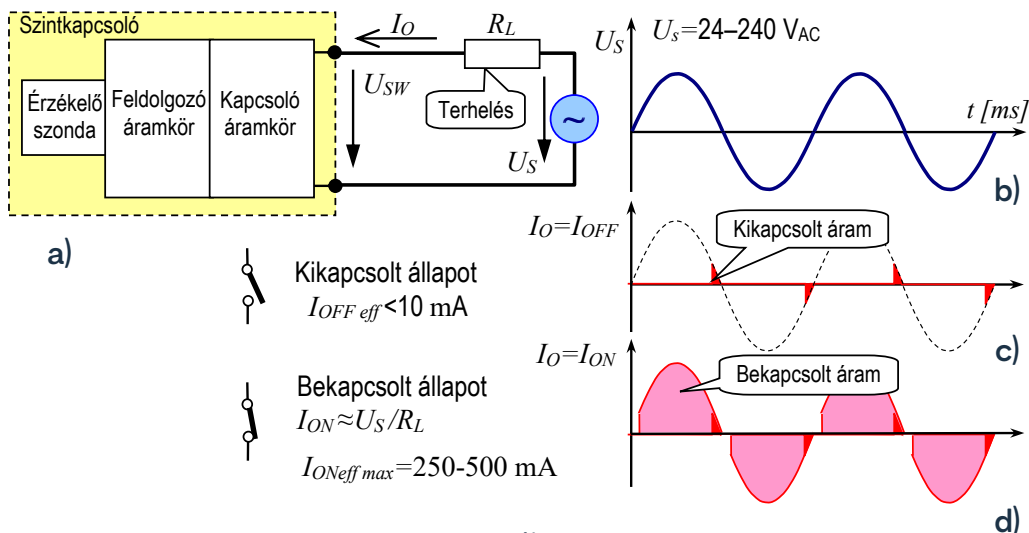
Az (a) ábrán a pnp kimenetből a kapcsolt I_{OUT} áram az R_L terhelő ellenálláson a föld felé folyik. Az npn típusú kimenetnél a pozitív tápfeszültségből az áram a terhelő ellenálláson keresztül a kimenetbe folyik (*nyelő*). A terhelés tápfeszültségének, nem kell meg egyeznie a működtető U_S tápfeszültséggel (c). A megengedett határ betartása és a helyes polaritás fontos. Vannak készülékek, amelyeknél átkapcsolással vagy kétféle bekötéssel, pnp és npn kapcsoló egyaránt kialakítható.

A félvezető alkatrészekkel megvalósított kimeneteket különböző védelmekkel kell ellátni. Lehetséges védelem a túláram, vagy túlfeszültség ellen, főleg ezek lökészerű túllépését feltételezve. A védelmek rendszerint be vannak építve a készülékbe. A kimeneti kapcsoló a megengedett feszültségen belül, a beépített áramkorlátozása ellenére is túlterhelhető. Ilyenkor a kapcsoló túlmelegszik, és másodpercek alatt tönkremegy. A kapcsoló túlterhelése az áramkörön belül érzékelhető, de kivédeni csak a kimenet ki-kapcsolásával lehet. A túlmelegedés ellen védekezve az ilyen kimenet ki-be kapcsolgat. Természetesen, ebben az esetben fel kell ismerni, hogy a ki-be kapcsolgatást nem a szint hullámozása, hanem megengedettnél kisebb terhelő ellenállás okozza.

A fordított tápfeszültség-bekötés káros hatása ellen is lehetséges védelem. Ennek egyik megoldása, hogy a készülék fordított tápfeszültséggel is működik, de valamelyik beállítható paramétere másik értékre vált.

10.2.4. Kétvezetékes szintkapcsolók elektronikus kapcsolóval

Kisebb terhelésű fogyasztók közvetlen kapcsolására alkalmas szintkapcsolók. A **10.7.** ábrán látható bekötés szerint, a szintkapcsoló és a terhelés sorba kapcsolódik. A kapcsoló áramkör tirisztor vagy triac, ami a hálózati perióduson belül, rövid időre is ki-be kapcsolható. A **10.7.b.** ábrán, a hálózati frekvenciájú szinuszos tápfeszültség látható. A **(c)** ábra a körben folyó áramot mutatja, amikor a szintkapcsoló kimenete kikapcsolt állapotú. A félperiódusonként rövid ideig folyó áramimpulzusok a terhelés számára elhanyagolhatók, de egyenirányítva és átlagolva, az érzékelő és a feldolgozó áramkör működéséhez elegendő áramot biztosítanak. A szintkapcsoló kimenetén az U_{sw} feszültség megközelíti az U_s tápfeszültséget.



10.7. ábra

A kétvezetékes szintkapcsolók felépítése és bekötése. A kimeneti áramkörben gyorsműködésű félvezető kapcsolók vannak

A szintkapcsoló másik állapotában, a kapcsoló áramkörben a tirisztor vagy triac, majdnem a periódus teljes ideje alatt vezető állapotban van. Az áram időfüggvénye a **(d)** ábrán látható. A szintkapcsoló kimenetén a feszültségesés $U_{sw} < 3 \text{ V}$. Tehát az I_O áramot a terhelés impedanciája határozza meg. A terhelés bekapcsolt állapotban van. Amennyiben ilyen készüléket terhelés nélkül ($R_L = 0$) a tápfeszültségre kapcsolunk, az áram a szintkapcsoló bekapcsolt állapotában túllépi a megengedett értéket, és a készülék tönkremegy.

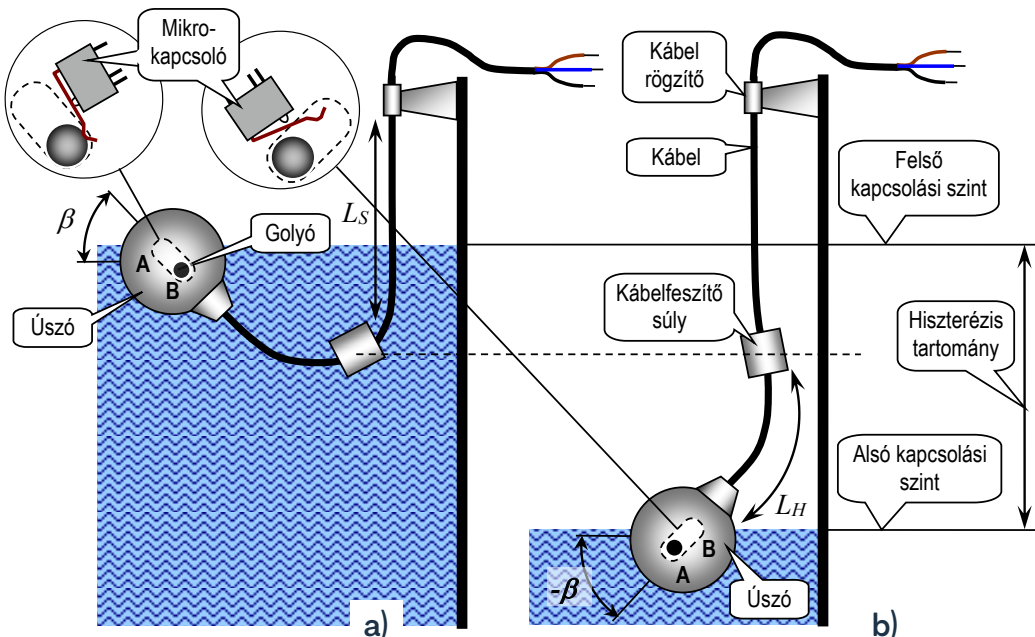
11. Úszós szintkapcsolók

Az úszós szintkapcsolók a folyadékszint jelzésére használt kapcsolók legrégebbi változatai. Segédenergia nélkül működtetnek több amper kapcsolására alkalmas kontaktust, tehát közvetlenül vezérelhetnek egy kisebb szivattyút. Több változatuk rögtön két kapcsolási szintet valósít meg, így egymagában alkalmas töltés-ürítés vezérlésére. A működtetést a folyadék felhajtóereje végzi. Egyszerű szerkezetek, amelyek a helyesen megválasztott alkalmazási körülmények között megbízhatóan működnek.

11.1. Úszókapcsolók

11.1.1. Az úszókapcsoló felépítése

A felépítés és működés a **11.1.** ábrán látható. A kábel mechanikailag összetartja a mozgó szerkezeti részeket, és elektromos kapcsolatot biztosít a vezérelt készülék, valamint az úszóban lévő kapcsoló között. Az úszó jól tömített, rendszerint dupla falú műanyag ház, amely a benne elhelyezett szerkezettel és az L_H hosszúságú kábel súlyával együtt, biztonságosan úszik a felszínen. A kábelfeszítő súly azonban akkora, hogy az úszó azt már nem tudja felemelni. Így kialakul a **11.1.a.** ábra szerinti helyzet, amikor a golyó a **B** pozícióba gurul, és működteti a kapcsolót. A szint csökkenésével az úszó a kábelfeszítő súly alá kerül, és amikor lefelé fordul, a golyó az **A** pontba gurulva átkapcsolja a kontaktust. Tehát a



11.1. ábra

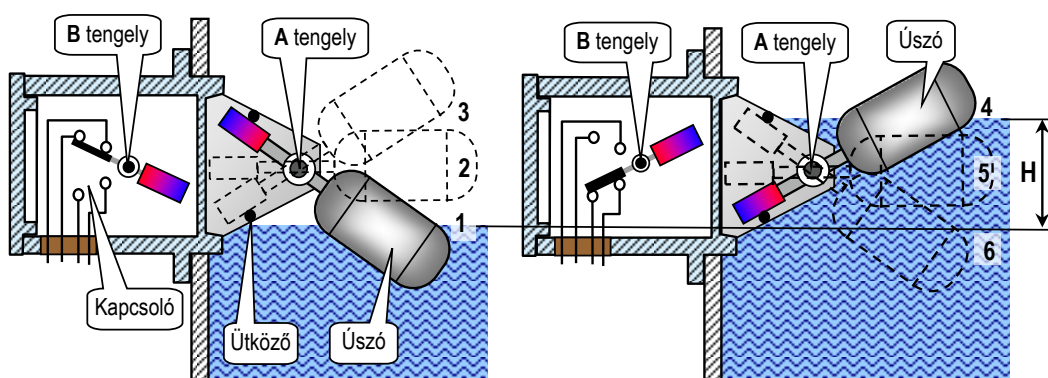
Úszókapcsoló a felső (a) és az alsó kapcsolási helyzetben (b)

kapcsolás az úszó bizonyos szögű, felfelé, illetve lefelé dőlésénél következik be. Korábban a golyó súlyával működtetett kontaktusok helyett higanykapcsolót használtak, ami egyesítette magában a jól vezető kontaktust és a lefelé gördülő súlyt. Környezetvédelmi okból már nem alkalmazzák.

11.1.2. A kapcsolási szintek beállítása

A beállítás kísérleti úton történik. Először az alsó szinten álló folyadéknál a kábel teljes belógó hosszát változtatva megkeressük az alsó kapcsolási pontot, majd a felső szintig töltött tartálynál a kábelfeszítő súly eltolásával állítjuk be az átkapcsolás felső határát. Az úszó méretéből és az L_H kábelszakasz minimális hosszából (*hajlékonyságából*) adódóan nem állítható be nagyon kicsi hiszterézis. Másrészt, nagyon nagy hiszterézis mellett fennáll a veszélye, hogy a hosszú kábel a folyadék mozgása következtében szomszédos alkatrészekbe akad, vagy önmagával hurkolódik. Ilyen szempontból kedvezőbb, ha a feszítő súly helyén törésgátlós rögzítést vagy tömszelencés kivezetést alkalmazunk a tartály falán. Használják az úszókapcsolót közvetlenül a vezérelt búvárszivattyúra felszerelve is.

11.2. Billenőúszós szintkapcsolók



11.2. ábra

A billenőúszós szintkapcsoló alsó és felső kapcsolási szintje

11.2.1. Felépítés, működés

A billenőúszós kapcsolók működése a kézi billenőkapcsolóhoz (*tömbler kapcsoló*) hasonló. Az utóbbi billentyű karja, nyomórugón keresztül mozgatja az elektromosan elszigetelt kontaktust. A billenőúszós szintkapcsoló esetében a rugóerőt a két mágnes közötti taszító erő helyettesíti (11.2. ábra). A mágnesek közötti erőhatás átmegy a készülék nem mágnesezhető anyagból készült falán, ami elválasztja a tartály belső terét a külső térben elhelyezett elektromos kontaktusoktól. A folyadékkal érintkező mágnes hátrányos következménye, hogy összegyűjti a folyadékban lebegő mágnesezhető szennyeződést.

Az úszóból és mágnesből álló kétkarú emelő (*himba*) az A tengely körül elfordulva, mozgási határain belül követi a folyadék szintjét. A B tengely körül elforduló himbának két stabil

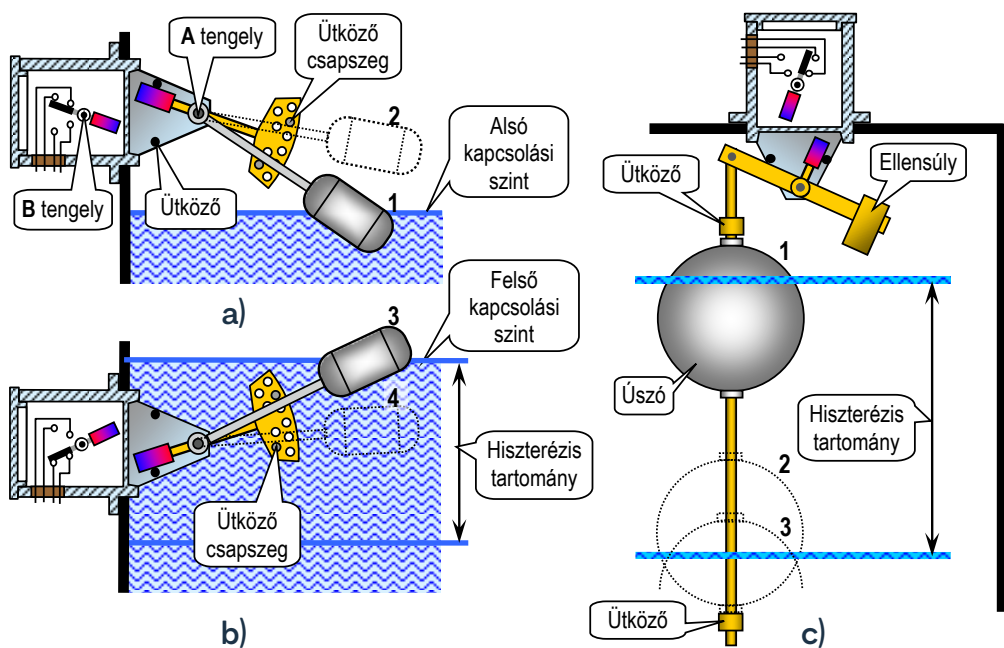
állapota van. A mágnesek közötti tasztítás miatt, csak a kontaktusok által határolt két szélső állapotban állhat. A mozgó kontaktust hordozó kar hirtelen fordul át a másik pozícióba, ha az úszóval mozgatott mágnes a közelébe kerül. A rugalmas tasztítóerő gyors átkapcsolást eredményez, és a folyadékszint függvényében a kapcsoló hiszterézises működésű lesz.

11.2.2. Hiszterézis és töltés-ürítés vezérlés

A készülék hiszterézise viszonylag kicsi, és nem változtatható. A töltés-ürítés vezérlésre való alkalmazáshoz szükség van az úszó mechanikájának fejlesztésére, hogy a hiszterézis beállítható és nagyobb nagyobb legyen.

11.2.3. A hiszterézis tartomány megnövelése

A **11.2.** ábrán bemutatott alapkvitel a beépítési szint körül H magasságú hiszterézissel kapcsol. Ahhoz, hogy a szintkapcsolót töltés-ürítés vezérlésre használhassuk rendszerint nagyobb, és beállítható hiszterézis szükséges. A hiszterézis növelésének elsődleges lehetősége, az úszó karjának hosszabbítása. Ennek határt szab az alkatrész súly, és a karok csuklók növekvő terhelése, amit folyadék hullámozása okoz. A **11.3.a** és **b)** ábrán, más módon növeljük a hiszterézist. Az **A** tengelyen külön mozog az úszó karja (szürke), és a mágnessel közös himbán kialakított ütközőtartó lap (sárga). A lapon található furatok közül kettőben, ütköző csapszeget kell elhelyezni. A úszó karja csak az ütköző csapszeg



11.3. ábra

A billenőúszós szintkapcsoló hiszterézisének kiterjesztése. Az (a) és (b) ábrán látható megoldásban, a sárga himba furataiban elhelyezett két csapszeg áthelyezésével állítható a két kapcsolási szint.

A (c) ábrán, a függőleges rúdon mozgó úszó ütközővel állíthatók be a kapcsolási szintek

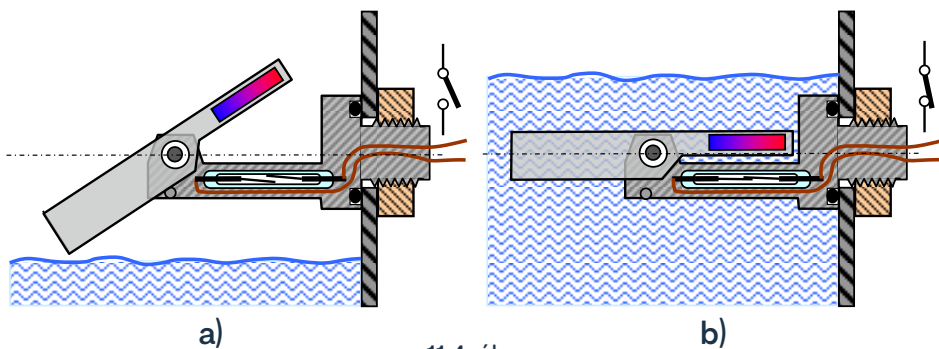
közvetítésével mozgatja a sárga himbát, és a mágnessel. A **11.3.a.** ábrán a folyadék és az úszó az alsó kapcsolási szinten áll (**1. pozíció**). A szint növekedésével először csak az úszó emelkedik a **2. pozíció**ig. A szint további emelkedésével, a csapszeggel ütközve már a sárga himbát is emeli, és a mágnessel együtt a **(b)** ábra **3. pozíció**jába kerülnek. Itt a mágnesek közötti taszító erő, a **B** tengely körül hirtelen átfordítja a kapcsoló himbát, és létrejön a **(b)** ábrán látható **3. pozíció**. Ez a felső kapcsolási szint.

A folyadékszint csökkenését követi az úszó, majd a **4. helyzet**től az ütközővel együtt lefelé viszi a sárga himbát, és létrejön az átkapcsolás az alsó kapcsolási **(a)** ábra **1. helyzete**.

A **11.3.c.** ábrán látható megoldásnál, az úszó szabadon csúszik két ütköző között a függőleges rúdon. Az **1. helyzet** a felső kapcsolási szint. A vezető rúd és a himba helyzete nem változik, amíg a szint csökkenésével az úszó a **2. helyre** süllyed. A további csökkenésnél a **3. helyzet**ig az úszó viszi magával a rudat, és átbillenti a himbát. Ez az alsó kapcsolási szint.

11.2.4. Kisméretű billenőúszós kapcsolók

A hagyományos billenőúszós kapcsolók nagy robusztus szerkezetek. Egyszerű, kis laboratóriumi tartályokra alkalmazhatók az olcsó műanyag billenőúszók. Az elektromos kapcsolást reed-kapcsoló végzi, amikor a billenő mágnes a közelébe kerül. A reed-kapcsoló működéséről a **11.3.1.** alfejezetben olvashatunk.



11.4. ábra

Kisméretű billenőúszós szintkapcsoló. Az **(a)** ábrán a kapcsoló nyitott, a **(b)** ábrán zárt kontaktusú

11.3. Úszómágneses szintkapcsolók

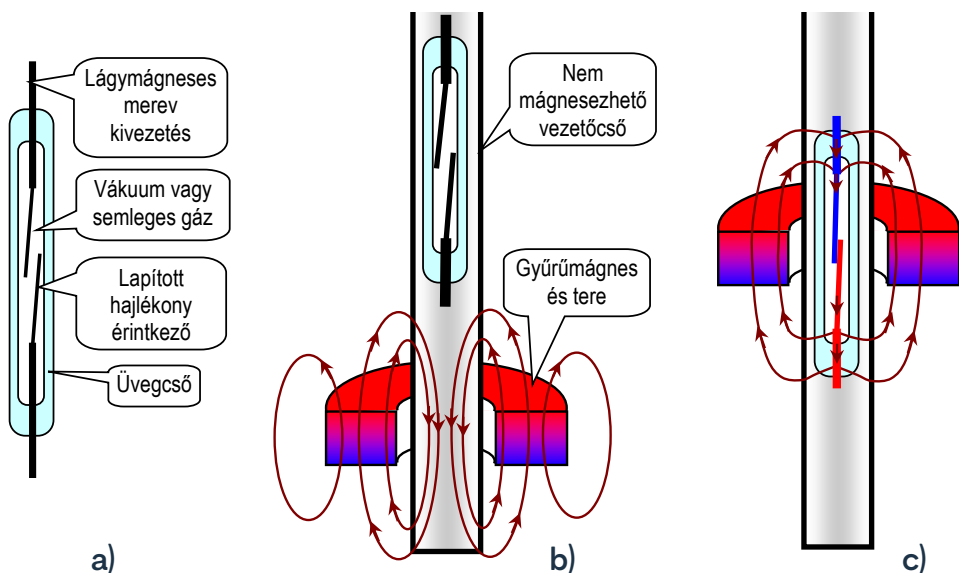
Az úszómágneses szintkapcsolókban függőleges rozsdamentes csövön mozgó úszók érzékelik a folyadékszintet. Az úszóban gyűrűmágnes van, ami mágneses terével működteti a csőben lévő reed-kapcsolót.

11.3.1. A reed-kapcsolók működése

A reed-kapcsoló hosszmetsete a **11.5.a.** ábrán látható. Az üvegcsőbe beforrasztott rugalmas érintkezők lágymágneses tulajdonságúak, és alaphelyzetben nem érintkeznek. A lapítás célja, hogy az érintkezők egymás irányába könnyebben hajoljanak, és biztos érintkezést adó felületek találkozzanak. A cső belső terében vákuum, vagy semleges gáz van.

Ezért a nyitott érintkezők közötti szigetelés jó, a zárt érintkezők közötti kontaktus üzembiztos (*nem oxidálódnak*). A bekapcsoláshoz hosszirányú mágneses teret kell létrehozni, és ettől a felmágneseződő érintkezők összetapadnak (*SPST kapcsolási mód*). A reed-kapcsolónak is van hiszterézise, mert az összezárt kontaktusok jobban vezetik a mágneses teret, mint a nyitottak, ezért a nyitáshoz távolabb kell vinni a mágnest, mint a záráshoz.

A reed-kapcsolót az úszóban elhelyezett állandó mágnes működteti, amelynek a tere a csőben tengelyirányú. (A reed-relé, olyan reed-kapcsoló, amely a rácsevált szolenoid tekercs gerjesztő áramával kapcsolható be.)

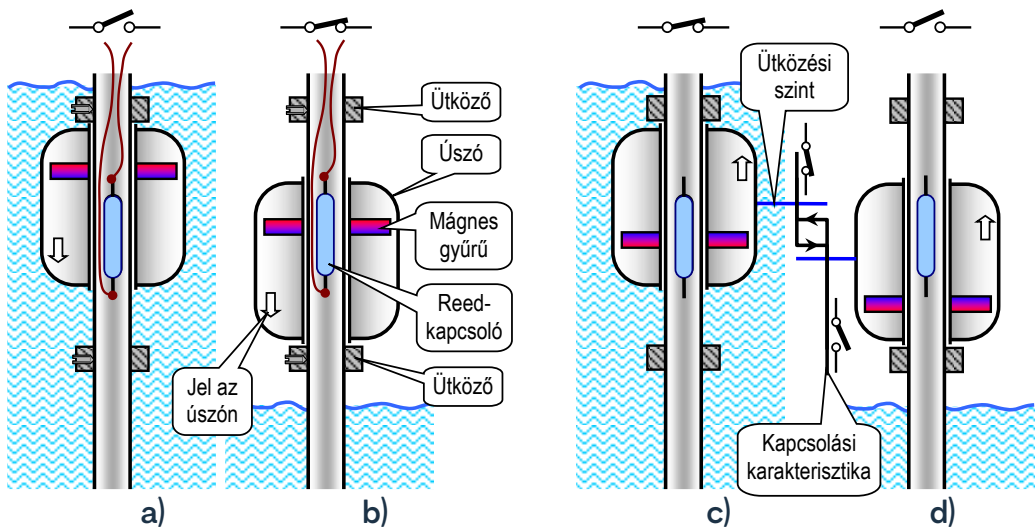


11.5. ábra

A reed-kapcsoló hosszmetsete (a), és működése. A (b) ábrán a mágnesgyűrű tere nem éri el a kapcsolót. A (c) ábrán a gyűrű tere a kontaktusokon keresztül záródik, és azokat a vonzás összezárja

11.3.2. Szintkapcsolás, egy kapcsoló és egy úszómágnes párosítással

A 11.6. ábrán, a vezető csőben elhelyezett reed-kapcsoló közelében az úszó mozgását két ütköző korlátozza. Az egyik ütközési helyzetben a mágnesgyűrű a reed-cső közepénél, a másik ütközésnél a reed-csőön kívül helyezkedik el. Egy vezetőcsővön akár öt kapcsolási pont is elhelyezhető. Az egyes kapcsolási pontok helyét a készülék megrendelésénél kell megadni. A kapcsolási pontok legkisebb távolságát az úszó, az ütközők és a reed-kapcsoló mérete szabja meg. A 11.6. c) és d) ábrákon az úszó megfordításával a kapcsolási mód, ellenkező lesz (*NC/NO váltás*). A váltást nem a mágnes polaritásának, hanem az elhelyezkedésének megváltozása okozza. Vannak olyan konstrukciós megoldások, amelyekben a tartályhoz csatlakozó szerkezeti részhez, a vezető cső tömszelencével csatlakozik, és $\pm(20...30)$ mm tartományban függőlegesen állítható.

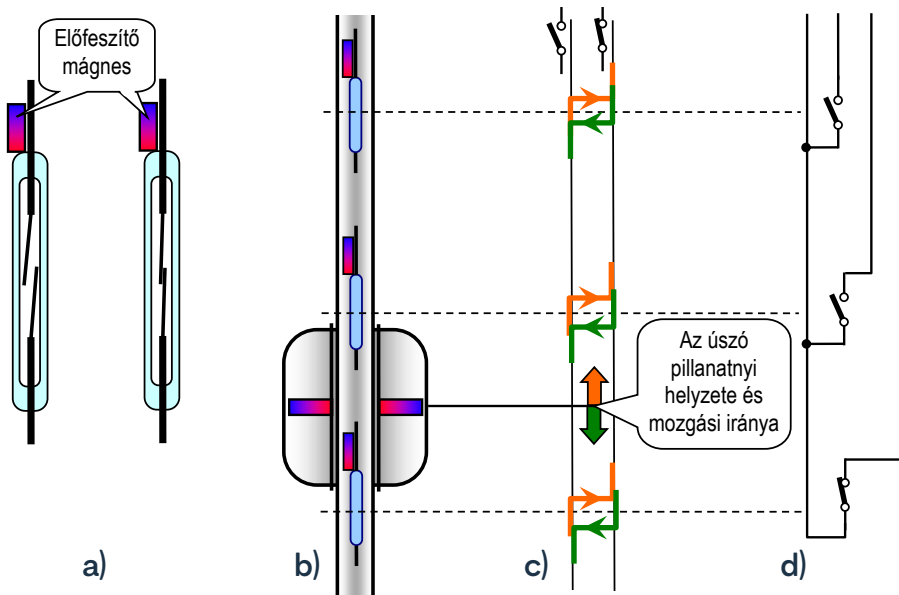


11.6. ábra

Az úszómágneses szintkapcsoló metszete, a kapcsolási szint fölötti és alatti folyadékszinttel (a) és (b). A (c) és (d) ábrán az aszimmetrikus úszó fordítva van felszerelve, ezért a kapcsolási funkció is megfordul

11.3.3. Több kapcsolási funkció megvalósítása egy úszómágnessel

A reed-kapcsoló természetes hiszterézise megnövelhető, egy hozzá rögzített kisméretű állandómágnessel. A 11.7.a. ábrán látható ez a módosítás. A helyesen megválasztott előfeszítő mágnes azt eredményezi, hogy a kontaktusok mind zárt, mind nyitott állapotban stabilan megmaradnak (*bistabil kapcsoló*).



11.7. ábra

A reed-kapcsoló a megfelelő erősségű előfeszítő mágnessel, mindkét állapotban stabil marad (a).

A (b) metszeti rajzon látható rendszer reed-kapcsolóinak működését a (c) ábra mutatja, az úszó mozgása függvényében. A (d) ábrán a kapcsolók aktuális állapota látható

Az egyik állapotból a másikba, mozgó mágneses térrel lehet átbillenteni. Ezt megvalósítja az áthaladó úszó, mágneses tere. Az áthaladás irányától függ, hogy milyen állapotban marad a kapcsoló. Így egy vezető csőben akár öt kapcsoló is elhelyezhető, amelyeket a felfelé, illetve lefelé mozgó úszó, sorra kapcsolja be, illetve ki. *(Ellentétes működés is készíthető.)* A kapcsolási pontokat gyárilag állítják be, a reed-kapcsolók elhelyezésével. A bistabil működés hátránya, hogy ütésre, erős rázkódásra érzékeny, a kapcsoló állapota ilyen erős mechanikai hatásra megváltozhat. Tehát a szállítási és telepítési behatások megszüntetésére az első üzemeltetés előtt, az úszót a teljes úton fel-le végig kell vinni.

További lehetőségeket nyújtanak a szintfüggő vezérlési feladatok megoldására a bonyolultabb reed-kapcsolók, mint például a három kivezetéses SPDT kapcsoló.

11.4. Alkalmazások és készülékek



Alsó és felső határ jelzése egy-egy NIVOMAG MK készülékkel



Fedélre szerelhető NIVOMAG
mágneses úszós szintkapcsoló,
nagy kapcsolási hiszterézissel



NIVOPOINT
mágneses úszós szintkapcsolók



NIVOMAG MK sorozatú készülék
magnövelt hiszterézissel



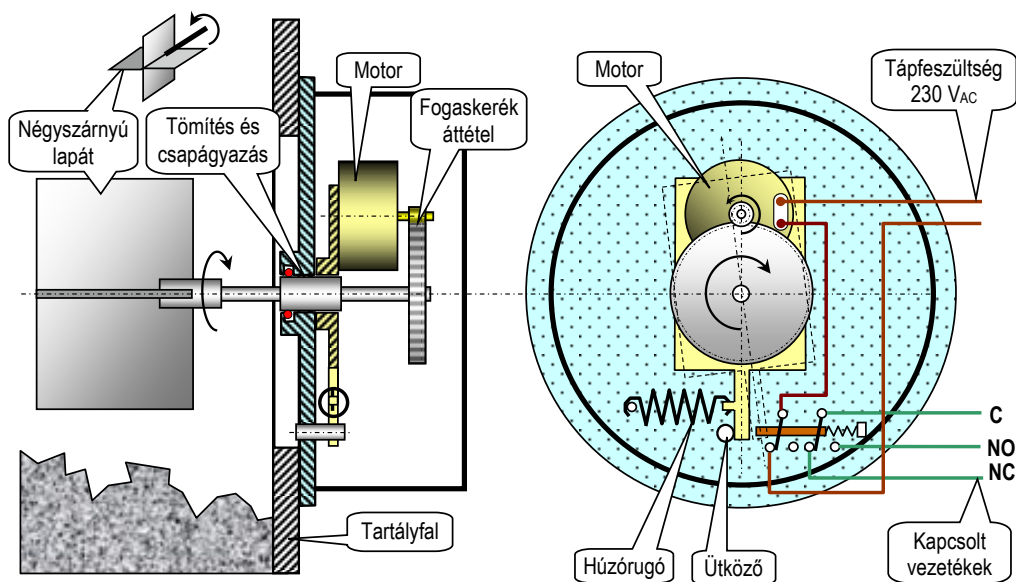
NIVOMAG MK sorozatú
billenőúszós alapkészülék

12. Forgólapátos szintkapcsolók

A forgólapátos szintkapcsolók darabos anyagok, szemestermények, finom- és durvaszemcsés anyagok valamin porok, szintkapcsolására használható olcsó szerkezetek. Az anyagdarabok méretének illetve tömegének felső korlátját az jelenti, hogy azok lendületes mozgása, zuhanása ne deformálja a lapátokat, és ne tapadjanak fel a mozgó részekre. A mechanikai tulajdonságokon kívül a közeg más jellemzői a működés szempontjából nem számítanak.

12.1. A forgólapátos szintkapcsolók működése

A 12.1. ábrán, a működési elvet bemutató egyszerűsített keresztmetszeti rajzot látnunk. A készülékbe beépített 2...5 W teljesítményű motor (rendszerint hálózati táplálású szinkronmotor) folyamatos, lassú forgásban tartja a szabadon álló lapátokat (1...10 fordulat/perc). A motor a sárga színű tartólemezhez van rögzítve, amit szintén a lapátok tengelye tart. Elfordulását a húzórugó akadályozza azzal, hogy a tartólemez nyúlványát egy ütközőhöz feszíti. Amint az érzékelní kívánt anyag szintje eléri a lapátot, és akadályozza annak forgását, a motor a lapát tengelye helyett, kénytelen a tengelyre szerelt tartólemezét elfordítani. A rugó ellenében elforduló tartólemez nyúlványa két kapcsolót működtet. Az egyik kikapcsolja a motort, a másik jelzést ad.



12.1. ábra

A forgólapátos szintkapcsoló egyszerűsített kinematikai vázlata. (Metszet (a) és jobbról nézet (b))

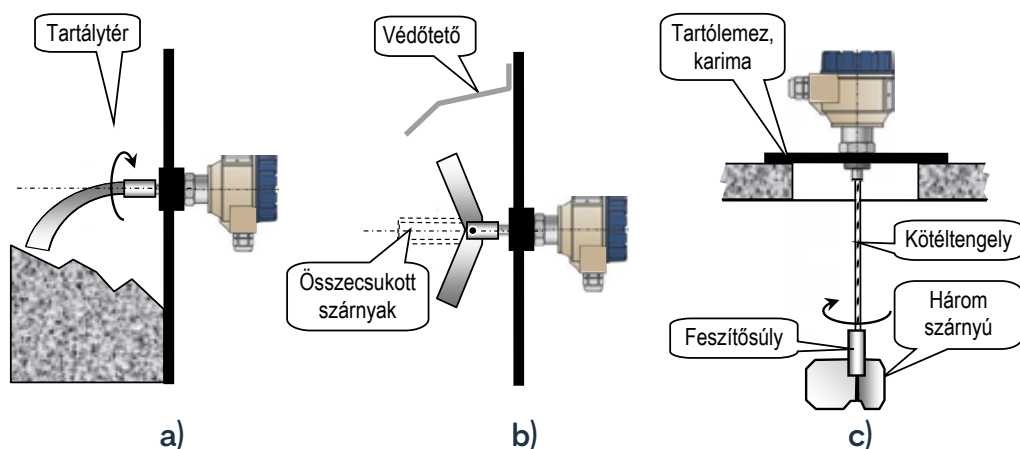
Amint a lapátok mozgását akadályozó erő gyengül, a rugó visszahúzza a tartólemezt az ütközőig. A kapcsoló bekapcsolja a motort, és a jelzés is visszaáll a forgó lapátnak megfelelő állapotba. A megoldás hátránya az elektronikus rendszereknél nagyobb fogyasztás,

és a mozgó mechanikus szerkezetekkel együtt járó kopás. A rugóerő általában változtatható. Ennek célja, hogy az aszimmetrikus felépítésű, vagy a feltapadó anyagtól aszimmetrikus súlyeloszlású lapát, forgatásához szükséges nyomaték még ne működtesse a kapcsolót.

Ugyanakkor a kis sűrűségű anyag mérésénél beállítható legyen, hogy kisebb nyomaték is működtesse a kapcsolót.

12.2. A lapátok kialakítása

A lapátok kialakítása a közeg és a szerelhetőség követelményeit figyelembe véve nagyon változatos. Kis sűrűségű, könnyen mozgatható anyaghoz több szárnyú, nagyobb felületű lapátot kell használni. Az ilyen lapátot, vagy a készülék tartályra szerelése után kell a tengely végére rögzíteni, vagy olyan átmérőjű karimás felszerelést kell választani, amelynek nyílásán átfér a többszárnyú lapát. Ez a megoldás látható a **12.2.** ábrán.



12.2. ábra

Lapát kialakítások. Kifli alakú, egyszárnyú lapát (a). Rugóval szétnyíló kétszárnyú lapát, a hulló darabok elleni védőlemezzel kiegészítve (b). Beton siló tetejéről belógatott kötéltengetyes lapát

A technológiai csatlakozás költsége és a szerelhetőség szempontjából előnyös, ha minél kisebb átmérőjű szabványos csatlakozási módot tudunk választani. Ilyenek a G1¼" vagy G1½" (BSP), illetve ¼" NPT vagy ½" NPT menetes csomok, amelyeken átdugható legnagyobb átmérő közelítőleg 38 mm, illetve 44 mm. A **12.2.a.** ábrán látható, kifli alakú egyszárnyú lapát átdugható a szerelési útmutatóban megadott menetes csomokon. A másik megoldás a kétszárnyú, rugóval szétnyíló lapát (**12.b.** ábra).

Sokszor előnyös lehet a függőleges tengelyű szerelés. A tengely merev hosszabbítása max. 0,5 m. Merev vezetőcsőben a benyúlás 0,5...1 méterig növelhető, de drótkötélből akár több méter hosszúságú kötéltengetyt is készítenek. Az ilyen kötel viszonylag hajlékony, de a forgást átviszi. A jó működéséhez a lapátnál egy feszítőszűly is szükséges lehet. A köteles hosszabbítást (2...10 m) a felhasználó is rövidítheti. Az alsó szint kapcsolására

használt forgólapát felett, több méternyi tárolt anyag is lehet. A tartály ürítésekor a forgó részek igen nagy erőhatásnak vannak kitéve, ezért ez a megoldás alsó szint kapcsolására csak akkor ajánlott, ha az anyag könnyű. A tárolt anyag minőségétől és sűrűségétől függően, az elhelyezést valamint a lapát alakját, mindig gondosan kell kiválasztani

A forgólapátos szintkapcsoló egyszerű, olcsó készülék, a 100 g/dm^3 -nél nagyobb sűrűségű ömlesztett szilárd anyagok szintkapcsolására használható.

Fogyasztása viszonylag nagy, 4...6 VA vagy 2...3 W, ezért a jelvezetékétől független táplálású.

A tartálytérben megengedett legnagyobb nyomás a tengely tömítésétől függ. Rendszerint kevesebb mint 2 bar, ritkán 10 bar.

A kapcsolat késleltetési ideje általában több mint egy lapátfordulat ideje.

A működés helyszíni ellenőrzését kijelző lámpa (LED) segíti.

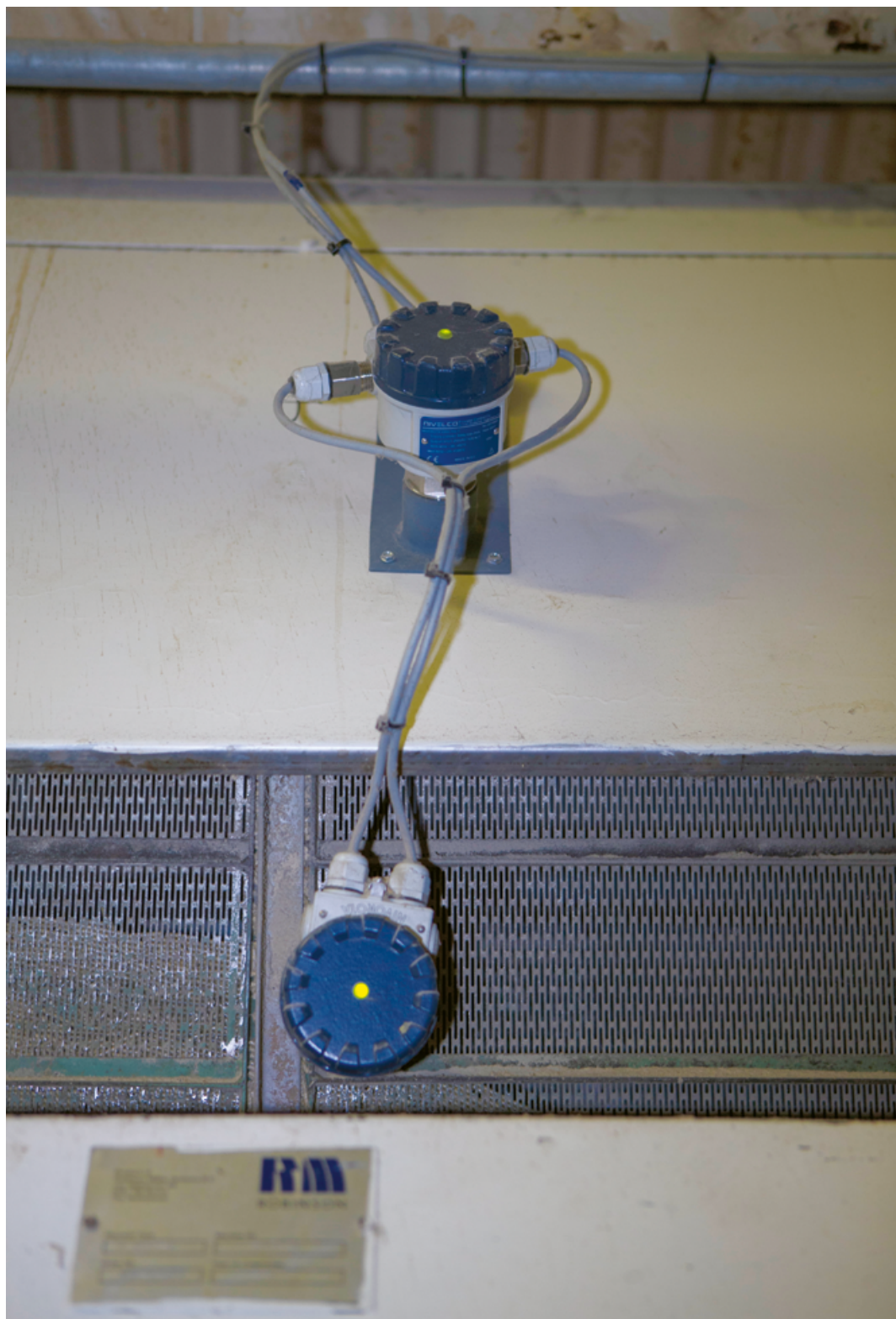
12.3. Készülékek és alkalmazások



NIVOROTA
forgólapátos szintkapcsoló,
nagyhőmérsékletű, rúddal hosszabított,
állítható benyúlással



NIVOROTA
háromlapátos
forgórészsel



NIVOROTA készülékek egy tartályon

13. Rezgőelemes szintkapcsolók

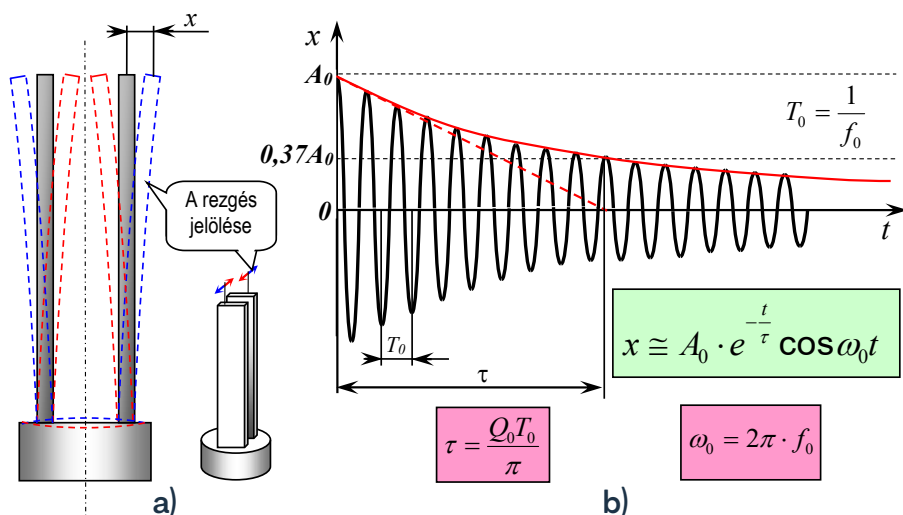
A rezgőelemes szintkapcsolókkal, az érzékelhető anyagok választékát kívánták kiterjeszteni, elsősorban az ömlesztett szilárd anyagok felé. Ezzel az elektromos tulajdonságoktól független, csak az anyag mechanikai tulajdonságaira érzékeny megoldás született, az 1960-as évek közepén. A mechanikai rezgés további előnye az érzékelő rész öntisztulása.

13.1. A rezgőelemes szintkapcsolók működése

A rezgőelemes szintkapcsolók rezgő része a tartályba benyúló szonda végén elhelyezkedő villa, rúd, vagy nyelv, ami kis amplitúdóval rezeg. A rezgés amplitúdója néhány tized milliméter, gyakran szemmel nem is látható, de tapintással érzékelhető. A rezgőelem, az egyes gyártóknál, különféle korrózióálló acélötvözetből készül (1.4571, Hastelloy®, Monel®). A rezgőelemet körülvevő anyag megváltoztatja, vagy teljesen leállítja a rezgést. Ezt a rezgést gerjesztő áramkör érzékeli, és a kapcsolókimeneten jelez. A módszer alkalmas folyadékok, vagy ömlesztett szilárd anyagok (por, granulátum, szemes termék) szintjének jelzésére. A rezgőelemek tulajdonságait egy rezgővillán fogjuk bemutatni.

13.1.1. A rezgővilla mechanikai tulajdonságai

A rezgővilla kialakítását a közismert hangvilla ihlette. A szabadon álló, megpendített villa, a rá jellemző f_0 rezonanciafrekvencián rezeg. A villa két szára egy síkban, de ellentétes fázisban mozog, miközben a 13.1.a. ábrán látható jelleggel deformálódik. A deformációt az ábra erősen felnagyítva mutatja.



13.1. ábra

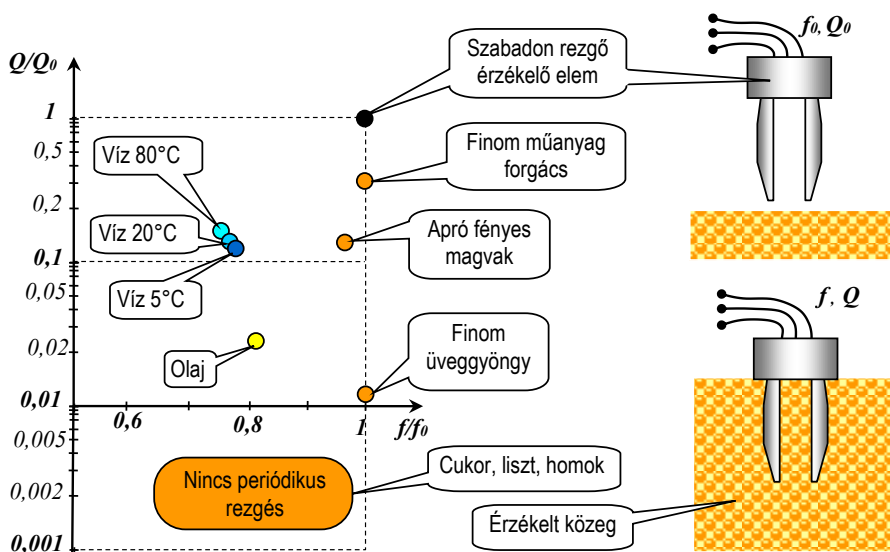
A villa ágainak deformációja felnagyítva (a). A (b) ábrán látható az egyik ág rezgésének időfüggvénye.

Az ábrázolt rezgés jóssági tényezője $Q_0 = 28$, sokkal kisebb, mint a valóságban. Így a csillapodás gyorsabb, és jobban ábrázolható, mint a valódi villánál, ahol $Q_0 = 200 \dots 1000$

A szabad rezgés f_0 frekvenciáját, a méretek és az anyag (korrózióálló acél) mechanikai tulajdonságai (rugalmassága és sűrűsége) határozzák meg. Az f_0 frekvencia hőmérsékletfüggése $-(160...200)$ ppm/K, tehát nem nagy. Szabadon rezgő villánál az f_0 frekvencia a méretektől függően 80 Hz és 3 kHz között van. A rezgés másik jellemzője a Q_0 jósági tényező, ami megmutatja, hogy szabadon, külső gerjesztés nélkül, a rezgés amplitúdója milyen mértékben csillapodik. Az amplitúdó csökkenése, vagyis a csillapodás, közelítőleg exponenciális. A csillapodást a levegő, az anyag belső súrlódása, és a befogási hely felé eltávozó rezgési energia okozza. A Q_0 jellemző értéke 200 és 1000 közötti, tehát közelítőleg ennyi rezgési periódus után csökken az amplitúdó, az indulási érték 5 százalékára. Fizikából ismert jelenség, hogy az inga, vagy más rezgő rendszer megtartja rezgési síkját. Ha ehhez képest elfordítjuk a rezgőelemet, az visszahat a rezgés amplitúdójára, ami érzékelt anyag nélkül is, átmenetileg kimeneti jelzést eredményezhet.

13.1.2. Az érzékelt közeg hatása a rezgésre

Az anyaggal érintkezve mindkét paraméter (f és Q) csökken. Jellemző, hogy a folyadékok inkább a frekvenciát, az ömlesztett darabos anyagok inkább a jósági tényezőt csökkentik. Néhány folyadék és darabos anyag hatása a 13.2. ábrán látható. A legérzékenyebb, a rezgőelem legnagyobb amplitúdóval mozgó része. Ezért célszerű úgy felszerelni, hogy a közeg emelkedő felszíne először a villa hegyét érintse. Emellett szempont, hogy a szint csökkenésekor ne tudjanak anyagrészek visszamaradni a szondán, vagy annak környezetében.



13.2. ábra

A diagram egy rezgőelem frekvenciájának, és jósági tényezőjének relatív (szabad levegőhöz viszonyított) megváltozását mutatja különböző folyadékokba és ömlesztett szilárd anyagokba teljesen bemerítve

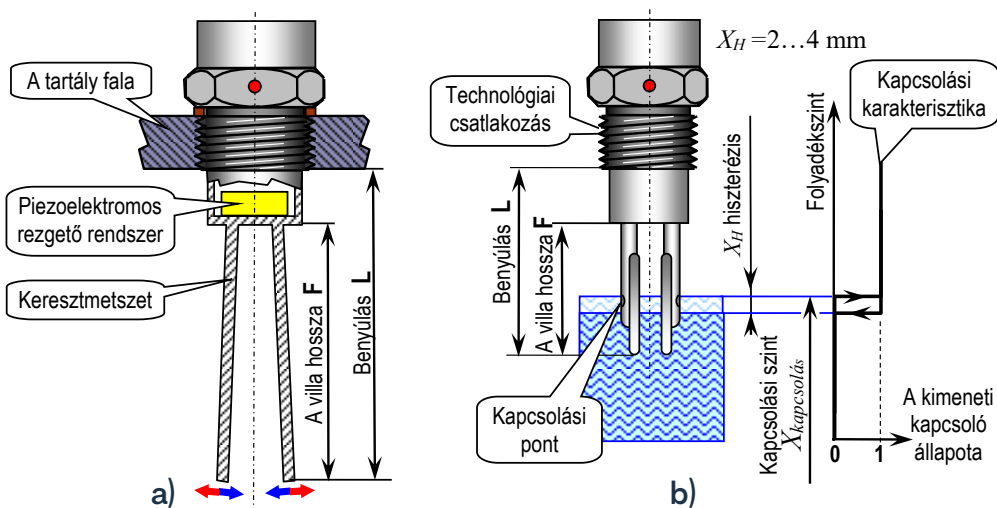
A rezgésre jellemző paraméterek méréséhez az eszközt rezgésbe kell hozni. Több áramkörü megoldása használatos, ezek folyamatos rezgésben tartással, vagy időnkénti megrezgetéssel működnek. A rezgés létrehozásához, a rezgő elemet össze kell építeni egy villamos-mechanikus jelátalakítóval. Ez lehetne állandó mágnes és tekercset tartalmazó elektrodinamikus rendszer is, de leginkább a piezoelektromos tulajdonságú alkatrészek alkalmazása terjedt el. Ezek mindig a mért anyagtól és a külső környezettől védve, a szonda belsejében helyezkednek el, ezért nem láthatók. A rezgési paramétereket, az elektromos-mechanikus jelátalakításnak köszönhetően, a piezoelektromos átalakító kapcsain úgy mérhetjük, mint elektromos jellemzőket.

13.2. A rezgőelemek kialakítása

A rezgő rendszer olyan kialakítású, hogy strukturálisan kiegyensúlyozott legyen. Megfelelő méretezés mellett a rezgő rendszer, nem ad át rezgést a tartó elemek (szondaszár, technológiai csatlakozás) felé. Ha ez nem teljesül, akkor a rezgési energia egy része a felerősítés felé távozik, ami rontja a jósági tényezőt. Másrészt a rezgőelem paraméterei függeni fognak a technológiai csatlakozástól, és a rendszer érzékeny lesz a felerősítési hely (tartály) rezgéseire.

13.2.1. Rezgővillák

A felhasználási területtől függően, különböző alakú és méretű villákat találunk a piacon. A jellemzően $F = 120\text{--}220$ mm hosszú villák, ömlesztett szilárd anyagok, könnyű porok és finom laza forgácsok érzékelésére alkalmasak. Az adatlapok, a közeg érzékelhetőségének korlátait általában a közeg sűrűségével adják meg, annak ellenére, hogy



13.1. ábra

Rezgővillák. A szonda rész lehetséges kialakításai (a). A (b) ábrán a kapcsolási pont és a kapcsolási hiszterézis látható, folyadék érzékelésénél

szilárd anyagoknál a sűrűség mellett számít a részecskék közötti súrlódás is. Amennyiben az anyag sűrűsége a készülékre megadott alsó határ közelében van ($5\text{--}25\text{ g/dm}^3$), célszerű a működést a mérendő anyaggal kipróbálni. A megbízható működéshez szükséges, hogy a villa hegyétől számított 20–40% bemerülésnél megtörténjen a kapcsolás. Ennek érdekében a jelfeldolgozó áramkörben az érzékenység, állítható vagy betanítható.

A közepes hosszúságú ($F = 100\text{--}120\text{ mm}$) villák ömlesztett szilárd anyagok és folyadékok érzékelésére egyaránt alkalmasak.

A rövid villák lapátja $F = 30\text{--}40\text{ mm}$ hosszú, és inkább folyadékok érzékelésére használhatók. A működéshez általában 600 g/dm^3 -nél nagyobb sűrűség szükséges. Folyadékoknál a viszkozitás is befolyásolja a rezgés csillapítását.

A villa hegyét fokozatosan a közegbe merítve, a rezgés amplitúdója csökken, mert növekszik a csillapítás. *(Folyadéknál csökken a frekvencia is.)* Ha a beállított érzékenységhoz tartozó bemerülést elérjük, akkor a készülék a kimenete átkapcsol. Vannak készülékek, amelyeken a gyártó jelöli ezt a bemerülést *(kapcsolási pont)*. Tovább növelve a bemerítést, a rezgés le is állhat. A határnál nagyobb csillapítás és a teljes leállítás, a kimeneten azonos jelzést eredményez. A kapcsolási pont, megadott anyagnál, referencia feltételek mellett, függőleges bemerítésnél érvényes.

A folyadékok érzékelésére használt rövid villák $0,5\text{--}10000\text{ cSt}$ kinematikai viszkozitás határok között működőképesek. *(Ez közelítőleg a meleg víz illetve a sűrű méz viszkozitása.)*

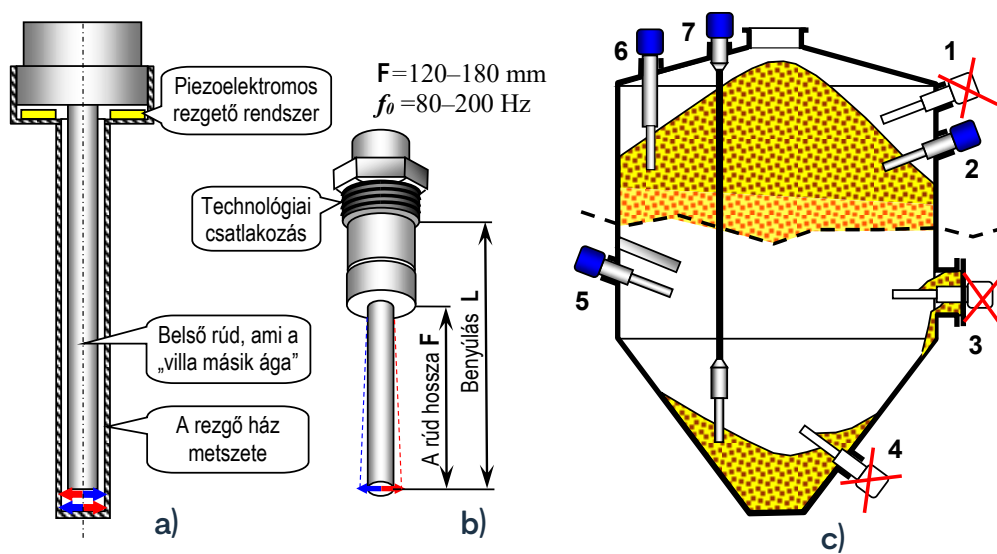
A viszkozitás érdekes lehet még az újra indulás késése szempontjából is. A rezgés indulásához a sűrű folyadék megfelelő mértékű lecsurgása szükséges. A nagy viszkozitású anyag lecsurgáshoz azonban több tíz másodperc idő szükséges. Ilyen körülmények között bemerüléskor a kapcsolás késleltetése kicsi *(a beállított késleltetési időtől függ)*, szabaddá váláskor azonban a lecsurgás idejével megnő a rezgés beindulásához szükséges idő, és a jelzés késleltetése. A legkisebb méretű rezgőelemekkel működő készülékeket, csőben lévő folyadék érzékelésére is használják, elsősorban azért, hogy a szivattyúkat megvédjék a szárazon futástól. A készülék becsavarásakor tudni kell, hogy a lapátok síkja milyen irányban áll. Csőbe szerelt rezgővillánál azért, hogy a lapátok ne akadályozzák az áramlást. A tartályba oldalról benyúló villánál pedig azért, hogy lapátok függőleges síkban álljanak. Ez segíti a folyadék lecsöpögést, illetve a szilárd részek lehullását. Ezért, a készülék tartályon kívüli részén, a lapátok síkjának irányára utaló jelölés van.

A rezgővilla vegyi ellenállását műanyag bevonattal lehet fokozni. Szokásos bevonat a szinterezett Halar® (*ECTFE*), vagy a PFA. A műanyag bevonat, a vastagságától függő mértékben csillapítja a szabad rezgés Q_0 jóságát. Ezért lehetséges, hogy a bevonatos rezgő elem érzékenysége rosszabb, mint bevonat nélkül.

Darabos anyagnál a szemcseméret nem érheti el a villaszárak közötti távolság felét, harmadát.

13.2.2. Rezgőrúdak

A rezgőrúdak kialakítását az a tapasztalat indította, hogy bizonyos szemcseméretű darabos anyagok a villa szárai közé szorulva megbénították annak működését. A rezgőrúd alakjából adódóan, nincs lehetőség a darabos anyag beszorulására. Emellett a sima, forgástest alak alkalmas arra, hogy felületét fényesre polírozzák, így kicsi a lehetősége a rátapadásnak.



13.4. ábra

A rezgőrúd belső felépítése (a). A teljes rezgőelem (szonda) látszati képe (b). A rezgőrúd helyes és helytelen elhelyezése ömlesztett anyagot tároló silóban (c). A 6 jelű készülék merev rúddal hosszabbított, a 7 jelű kötéllel hosszabbított, a többi normál hosszúságú

A szemlélő számára a rezgőrúd egyszerű szerkezet. A 13.4.a. ábrán látható, hogy ez is bonyolult belső felépítésű villa. A villa egyik szára a külső cső, a másik szára egy koncentrikus belső rúd. Ezek egy síkban, ellenkező fázisban rezegnek. A rezgőrúd tehát látszólag tömör, de a valódi felépítése miatt csak a műszaki adatokban megadott terhelésnek szabad kitenni. Így szerelésnél, a tartály belső tisztításánál és az érzékelt (darabos) anyag által okozott erőhatásoknál, a használati feltételekben leírt határokat be kell tartani. A működéshez általában 20–50 g/dm³-nél nagyobb sűrűség szükséges. A darabos anyag, granulátum szemcseméretében, a pelleték, szemestermények jellemző méretében, a villához hasonló korlát nincs, de 10–30 mm feletti szemcseméretet nem javasolnak.

Helyesen felszerelt rezgőrúdnál nincs lehetőség a darabos anyag beszorulására. A 13.4.c. ábrán jó és rossz elhelyezésre látunk példákat. Az 1, 2, 6 jelű készülékek a megtelt állapotot jelzik. A 3, 5 készülékek a fél töltést, 4, 7 készülékek a kiürülést jelzik. Az 1 jelű készülék a töltéskor kialakuló rézsű miatt nem érzékeli az anyagot, ezért az elhelyezés hibás. A 3, 4 jelű készülékek környezetében az anyag hajlamos lesz a felrakódásra, ami akadályozni fogja a működést. Az 5 jelű készülék fölött a keskeny tető, a beömlő anyag útjától védi a szintkapcsolót.

13.3. A rezgőelemes szintkapcsolók alkalmazási feltételei és kapcsolási pontossága

A technológiai csatlakozás legtöbbször menetes, de különféle speciális, például élelmiszeripari csatlakozók is használatosak. A legkisebb átmérőjű technológiai csatlakozást (~Ø 27 mm) a kisméretű villáknál megvalósítható, R³/₄, G³/₄, ³/₄" NPT típusú menetek jelentik. Nagyobb méretű villák és a rúdak szokásos menete: R1½", 1½" NPT, 1½" BSP, de egyéb változatok is lehetségesek.

A kapcsolási szintet elsősorban a készülék beépítési helye határozza meg. Ezt utólag változtatni, olyan kivitelnél lehet, amely merev rúddal hosszabbított, és tömszelencével rögzített. A tartály fedelébe függőlegesen beépített készüléknél a hosszabbítás méretén belül lehet a magasságot változtatni. Ezt a drágább kivített folyadékszint kapcsolásánál érdemes használni. Oldalról benyúló készüléknél nincs ilyen állítási lehetőség.

Ömlesztett szilárd anyag mérésénél a töltés és ürítés jelentősen változtatja a felszín alakját, így a szint nem elég jól meghatározott. Ezért még kis szemcseméret esetén sem érdemes 20–30 mm-nél kisebb kapcsolási pontosságról beszélni. A kapcsolás hiszterézise is hasonló nagyságrendű.

A nyugodt felszínű folyadék szintje jól meghatározott, ezért csak folyadékoknál vizsgálható a kapcsolás pontossága. A kapcsoláshoz tartozó folyadékszintet, a felszerelés és a szintkapcsoló működése együtt határozza meg. Ezért a készülék jellemzőjeként, inkább a kapcsolási szint reprodukálhatóságáról érdemes beszélni, ami a különböző időpontokban bekövetkező kapcsolásokhoz tartozó szintek eltérése egymáshoz képest.

$$\Delta X = X_{\text{kapcsolás } n+1} - X_{\text{kapcsolás } n}$$

Az így mérhető hiba mm nagyságrendű, és ebben nem jelentkezik a szerelési pontatlanság. A kapcsolási szint reprodukálási hibájának értékében szerepet játszik a közeg tulajdonságainak állandósága mellett, a késleltetés, és a töltés vagy ürítés sebessége.

A közeghőmérséklet megengedett tartománya rezgővilláknál, általában –40...+130°C, különleges készülékeknél elérheti a –50...+450°C-ot. A megengedett nyomás a tartálytérben általában 16 bar, de elérheti a 40 bar-t is. A rezgőrúdaknál, az átlagos adatok hasonlóak, a szélsőséges értékek kisebbek, mint a rezgővilláknál.

Érzékenység és késleltetési idő egyszerűbb készülékeknél két érték között átkapcsolható. Ilyen szélsőséges hőmérséklet- és nyomásértékek hatással lehetnek a kapcsolási pontra is. Kapcsolási késleltetés jellemzően 0,5–15 s között változtatható.

Megfelelő kiértékelő áramkörrel elérhető, hogy a rezgő elem megkülönböztesse a szilárd és a folyadék fázist, például víz alatt, érzékelje a szilárd anyag megjelenését.

A rezgőelemes szintkapcsolókat a mozgó alkatrészek nélküli érzékelők közé soroljuk, mert nem tartalmaznak tengely körül forgó, csúszó vagy billenő alkatrészeket, mint például a forgólapátos (12. fejezet), vagy billenő úszós készülékek (11. fejezet). Ezért karbantartási igény és élettartam szempontjából kedvezőbbek lehetnek azoknál. A mért anyag koptató hatása itt is felléphet. Intelligens készülékek bizonyos mértékű kopást automatikusan korrigálni tudnak.

13.4. Készülékek és alkalmazások



NIVOCONT R
rezgőrudas szintkapcsoló,
rúddal hosszabbított változata



NIVOCONT R
rezgőrudas szintkapcsoló, kötéllel
hosszabbított változata



Standard benyúlású,
rövid villás szintkapcsoló
folyadékokra



NIVOSWITCH RR
sorozatú rezgővilla
porok és granulátumok
szintkapcsolására



NIVOSWITCH RL
sorozatú rezgővilla az előbbi
feladatra, mini elektronika házzal
és külső kábelcsatlakozással

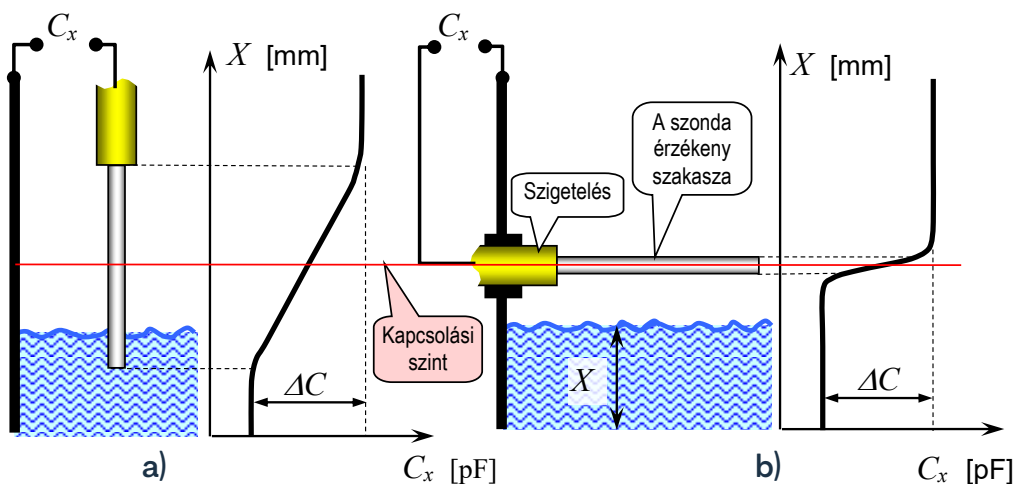


NIVOSWITCH mini kompakt rezgővilla folyadék tartályon.
A technológiai csatlakozó TriClamp rendszerű

14. Kapacitív szintkapcsolók

14.1. A kapacitív szintkapcsolók működése

A kapacitív szintkapcsolót úgy tekinthetjük, mint egy kis méréshatárú kapacitív szintmérőt. A szonda végén elhelyezkedő szigetelt vagy szigeteletlen elektródát, az érzékelő áramkör váltakozó feszültséggel táplálja, a tartályhoz vagy a referencia elektródához képest. Az elektródát körülvevő közeg hatására létrejövő, kapacitásváltozást kell érzékelni. Folyadékok és porok méréséhez $\epsilon_r > 1,5$ relatív dielektromos állandó szükséges. Az érzékelő elektróda azonban rövid, így a szabadon álló, valamint a teljesen bemerülő állapot közötti kapacitásváltozás kicsi. A gyakorlatban ez $\Delta C_x = 0,5 \dots 20$ pF kapacitásváltozás érzékelését jelenti. A szondát a kapcsolási pontnál kell elhelyezni. A 14.1. ábrán látható, hogy ugyanaz a szonda vízszintes helyzetben, kisebb szintváltozáson belül eredményez ugyanakkora a kapacitásváltozást. Tehát a kapcsolási bizonytalanság vízszintes szondánál kisebb lesz. Ugyanakkor a függőleges elhelyezés (14.1.a. ábra), megfelelő feldolgozó áramkörrel, lehetővé teszi a kapcsolási pont kismértékű változtatását (pontosabb beállítását), az elektróda hosszában belül.



14.1. ábra

A szonda kapacitásának változása a szint függvényében, függőleges (a) és vízszintes elhelyezésnél (b)

A kis mérendő kapacitás miatt célszerű minél nagyobb mérőfrekvenciát használni. A szokásos frekvencia a 100...600 kHz tartományba esik. A kapacitás megváltozásának kimutatására két módszer használatos:

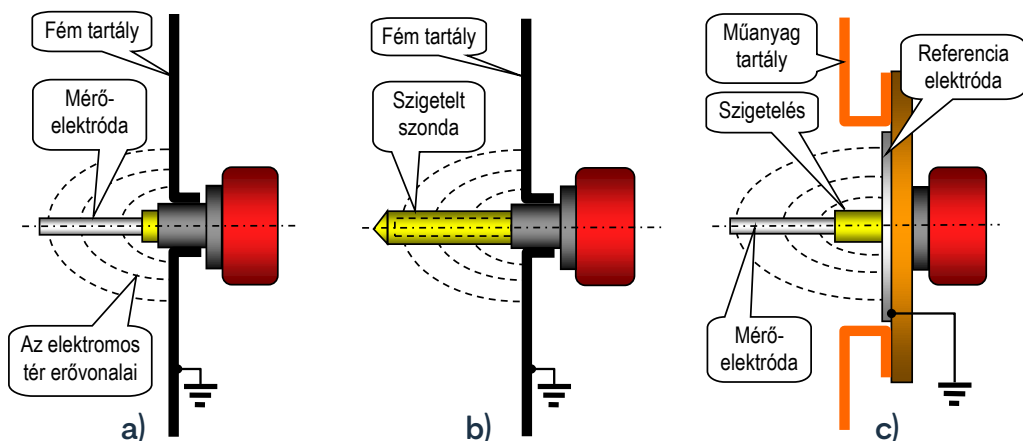
- Állandó frekvenciájú oszcillátor (*generátor*) feszültségét felhasználva mérni kell a C_x kapacitáson átfolyó áramot. A kapacitás változása a szondán átfolyó áram megváltozását okozza.
- A C_x kapacitás is része az oszcillátor frekvenciáját meghatározó alkatelennek. A kapacitás megváltozása a frekvencia megváltozását okozza.

Ugyanaz a készülék más és más kezdeti kapacitást érzékel anyag nélkül, az érzékelő szonda elhelyezésétől, és a közeli felületektől függően. Ezért a kedvező kapcsolási pont-hoz kézi módszerrel, vagy automatikus kalibrálással (*betanulással*) be kell állítani az érzékelt anyag nélküli kapacitást. Az anyag jelenlétében a kapacitás a dielektromos állandótól függően megnövekszik. Itt egy újabb kézi vagy automatikus beállítással, ki kell választani a legkedvezőbb érzékenységet.

14.2. Kiviteli megoldások

A **14.2.** ábrán, a tartály oldalfalába szerelt rövid rúdszondákat látunk. A rúdszonda központi része a váltakozó feszültséggel táplált mérőelektróda. Az **(a)** ábra szigetetlen, a **(b)** ábra szigetelt elektródát mutat. A mérőelektróda és a földelt fém tartályfal közötti váltakozó áramú elektromos teret, erővonalakkal ábrázoltuk. Műanyag tartályban használható a **(c)** ábra szerinti megoldás, ahol a karimás szerelvénybe beépített fémtárcsa alkotja a földelt referencia elektródát.

Az érzékelő elektróda és a referencia felület közötti erőter mindhárom esetben hasonló. Az érzékelt kapacitás az erővonalakkal jelölt térrészben jön létre. Az érzékelt közeget a térrészt kitöltve, annak kapacitását ϵ_r szorozásra növeli. Ezt a változást kell érzékelni, és közelítőleg a változás felénél a kimenetet átkapcsolni.



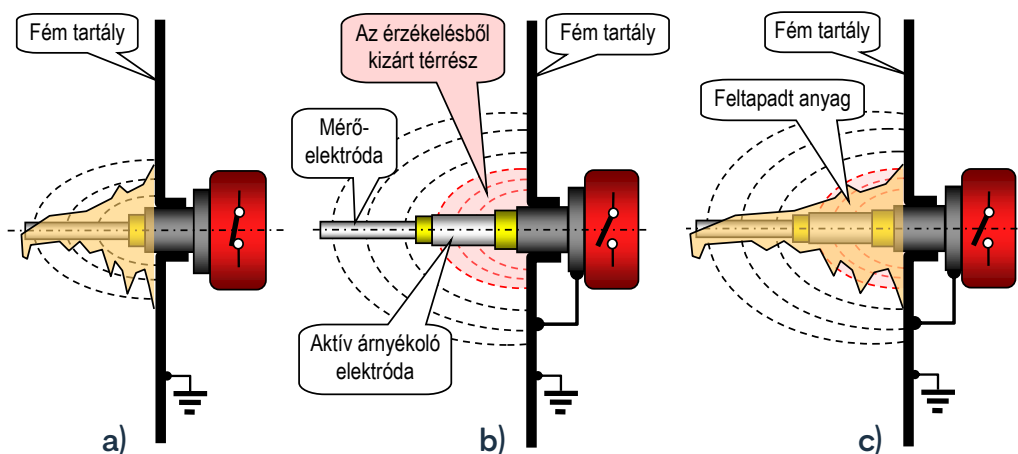
14.2. ábra

Oldalfalba szerelt rúdszondák és elektromos erőterük. Az **(a)** ábra szigetetlen, a **(b)** ábra szigetelt szondát mutat. A **(c)** ábrán, referencia elektródát is tartalmazó megoldást látunk.

A szondák benyúlása 120...300 mm

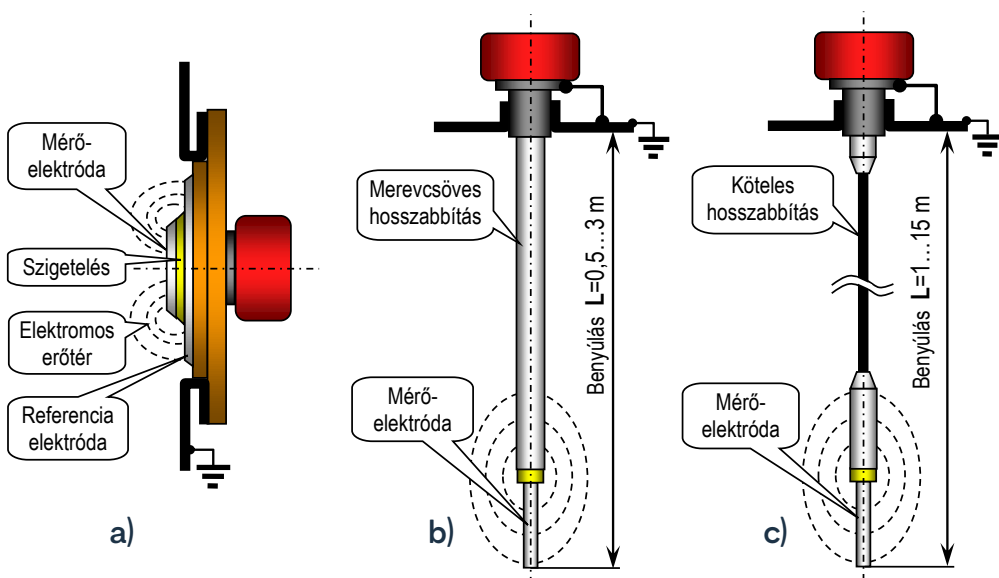
Előfordul, hogy nagyobb viszkozitású anyagot kell érzékelni, ami feltapadhat a szondára. Függőleges vagy ferde elhelyezéssel segíteni lehet az anyag lefolyását. A feltapadás leginkább a tartály fala mellett indul meg. A **14.3.a.** ábrán látható, hogy az egyszerű rúdszondára feltapadt anyag jórészt kitölti az elektromos erőteret, így a kiürülő tartálynál sem csökken le a kapacitás a tiszta szondánál beállított értékre. A zavaró hatás a **14.3.b.**

ábrán látható aktív árnyékoló elektródával jelentősen csökkenthető. A mérőáramkör az árnyékoló elektródára a mérőelektródával megegyező váltakozófeszültséget ad. Ugyanakkor az elektróda áramát nem méri hozzá, a mérőelektróda áramához. Ennek eredményeként a piros erővonalakkal jelölt térrész nem vesz részt a mérőelektróda kapacitásában. Szerencsére a feltapadt anyag gyakorlatilag ebben, az érzékelésből kikapcsolt térrészben helyezkedik el. Az itt alkalmazott kapcsolástechnikát feszültség-utáhúzásnak nevezzük és a kapacitív szinttávadóknál már ismertettük. Megtalálható a **8.3.4.** alfejezetben, a **8.8.d.** ábrával kapcsolatban.



14.3. ábra

A feltapadás az egyszerű rúdszondán (a). A zavaró hatás kiküszöbölése aktív árnyékoló elektródával, (b) és (c) ábra. A (c) ábrán látható, hogy a feltapadt anyag az árnyékolással kizárt térrészbe esik



14.4. ábra

A tartály oldalfalába simuló sík szonda (a). Merev csővel hosszabbított, függőleges szonda (b), és kötéllal hosszabbított szonda (c)

A feltapadt anyag kevésbé zavarja a készülék működését, ha nagyobb frekvencián, csak a kapacitív összetevő mérésével működik az érzékelés. Ezért az újabb készülékek működési frekvenciája már a rádiófrekvenciák tartományában van.

A **14.4.** ábra a tartályba benyúló szonda rész, három különböző kialakítását mutatja. Az **(a)** ábrán tárcsa alakú mérőelektrodával kialakított lapos konstrukció látható. Ez a megoldás karimaként szerelhető a tartály oldalfalára. A gyűrű alakú, beépített referencia elektrodának köszönhetően, műanyag tartályban is használható a készülék.

Használják még a szinttávadóknál szokásos párhuzamos és koaxiális segédsondák rövid változatait is.

Egy tartályban több szintkapcsolóra is szükség lehet. Ezek tere zavarhatja egymást, ezért a köztük lévő távolságot a telepítési utasítás szerint kell megválasztani. Rendszerint 100 mm-nél nagyobb távolságot írnak elő. A kötéllel hosszabbított szondáknál a megnövekedett passzív kapacitást, csökkenteni kell a **8.3.4.** alfejezetben leírt módszerrel.

Ömlesztett szilárd anyagok kapacitív szintkapcsolásánál, a szonda elhelyezésnek hasonló mechanikai szempontjai vannak, mint a **13.4.c.** ábrán bemutatott rezgő elemeknél. Eszerint a szintkapcsoló helyének kiválasztásánál figyelembe kell venni töltéskor a boltozódást, ürítéskor a kráterképződést.

A kapacitív szintkapcsolók mozgó alkatrész nélkül működnek és jól használhatók szélsőséges körülmények között, vezetőképes és nem vezető anyagok szintkapcsolására, és a fázishatár szintjének jelzésére. Gyors működésűek, de a hamis kapcsolások elkerülésére beállítható 0,15...15 s késleltetés.

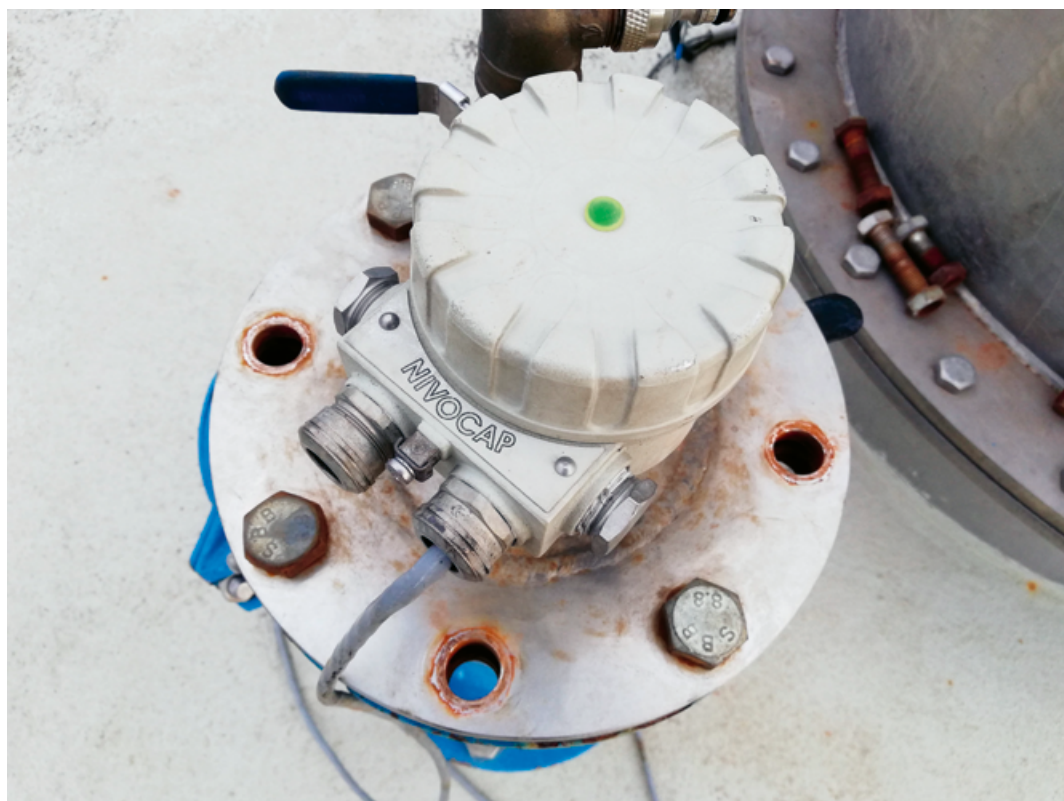
A tartálytérben megengedett hőmérséklet szokásos tartománya $-40...+120^{\circ}\text{C}$. Különleges kerámiaszigetelésű szondával és megfelelően hőszigetelt (*távolabbra helyezett*) elektronikával az elérhető extrém hőmérséklettartomány $-200...+1000^{\circ}\text{C}$. A nyomás jellemző felső határa 16...25 bar, különleges esetben 200 bar. Természetesen a hőmérséklet és a nyomás szélső értékei nem léphetnek fel egyszerre.

Számítani kell arra, hogy extrém körülmények között, az érzékelés szempontjából fontos ϵ_r relatív dielektromos állandó is jelentősen változhat. Például víznél szobahőmérsékleten $\epsilon_r = 80$, nyomás alatt, 370°C hőmérsékleten $\epsilon_r = 10$.

14.3. Készülékek és alkalmazások



NIVOCAP CK sorozatú
kapacitív szintkapcsolók, normál, rúddal hosszabbított és kötéllal hosszabbított kivitelben



Habzás ellenőrzésére, rothasztó torony tetején NIVOCAP CK szintkapcsolóval

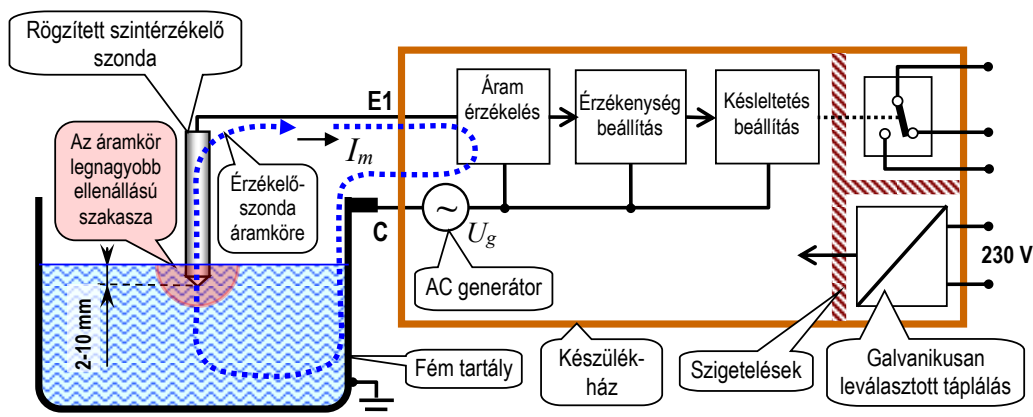
15. Konduktív szintkapcsolók

A konduktív szintkapcsolókat elsősorban a jó vezetőképességű folyadékok, mint a víz, vizes oldatok, híg savak és lúgok szintkapcsolására használjuk. Könnyen szerelhető, olcsó üzembiztos készülékek. Használhatóságuk szempontjából a folyadék vezetőképessége mérvadó, amelynek $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ -nél nagyobbnek kell lenni (Lásd még a 8.10. ábrát.). A tartály fedelére szerelt készülékből függőlegesen lelóg egy megfelelő hosszúságú szigetetlen szonda. Amint a folyadék $2\ldots 10 \text{ mm}$ hosszúságba ellepi szonda végét az már az érzékeléshez elegendő vezetést jelent a fém tartály, vagy az azt helyettesítő másik, mélyebbre merülő segédsonda felé és a szintkapcsoló jelez.

15.1. A konduktív szintkapcsolók elektromos működése

A felépítés és a működési elv a 15.1. ábrán látható. Egy földfüggetlen generátor érintésvédelmileg veszélytelen ($U_g = 5\text{--}20 \text{ V}$) váltakozó feszültséget ad a fém tartály és a szonda közé. Amint a folyadékszint eléri az érzékelő szondát, záródik az áramkör, és megindul az I_m áram a kék pontokkal jelölt áramkörben. A működéshez szükséges, hogy a folyadék, a fém tartály közvetítésével belekerüljön az érzékelő áramkörbe. Ha a tartály nem vezető, akkor egy segédsondát kell alkalmazni, amely a kapcsolási szintnél mélyebben merül a folyadékba. A földelt fém tartály, vagy a segédsonda, a mérőegység **C** csatlakozójával együtt földelendő.

A szonda, a tartály fala, és az összekötő vezetékek, a fémek jó vezetése következtében összesen $1\ldots 10 \Omega$ ellenállású láncot alkotnak. A folyadékok vezetőképessége a fémeknél sokkal rosszabb, de a nagy vezető keresztmetszet miatt ez sem eredményez nagyobb ellenállást, mint $100\ldots 1000 \Omega$. A záródó áramkörben, a folyadék felszínét érintő szonda és a folyadék környező része alkotja az ellenállás domináns részét. Ez az ellenállás végtelenről $1\ldots 100 \text{ k}\Omega$ -ra csökken, $2\ldots 10 \text{ mm}$ bemerülés hatására.

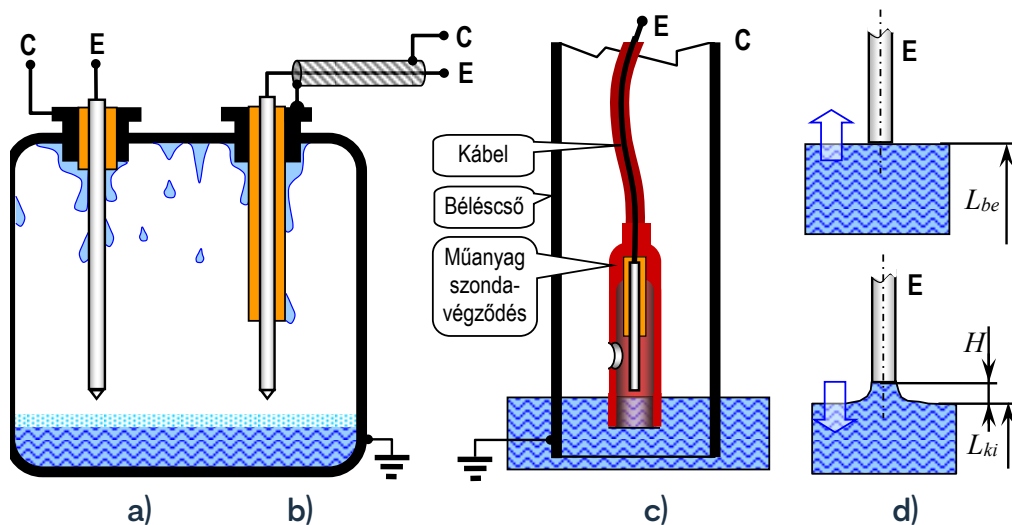


15.1. ábra

A konduktív szintkapcsolás működési elve, és a kapcsoló áramkör felépítése

A fémtartály a mérőáramkörrel közvetlen kapcsolatban van. Ezért a készüléken belül a mérőkört, a táplálást és a kimeneti kapcsolót galvanikusan szigetelve el kell választani. (A biztonsági előírások, ennek mértékét szabályozzák. Általában 2...4 kV átütési szilárdságot követelnek meg.) Az U_g mérőjel hálózati frekvenciájú, vagy más megoldásoknál kHz frekvenciájú szinuszos feszültség. Mindig váltakozó feszültség, mert az egyenfeszültség a szondán elektrolízist, és buborék kiválást okozna. A frekvencia addig növelhető, amíg a vezetékek, és a tartály kapacitása még nem okoz zavaró mértékű hibaáramot.

A beállított érzékenységtől függ, hogy mekkora I_m áram hatására fog a kimeneti kapcsoló átkapcsolni. Mivel az U_g feszültség egy készülék típusnál adott, a kapcsolási feltétel jellemzésére az áram helyett a folyadékba bemerülő szonda és a tartály közötti ellenállást adják meg. Ha az átkapcsolás, a kívántnál mélyebb bemerülésnél jön létre, akkor a készüléken beállítható érzékenységet (ellenállást) növelni kell. A szükségesnél nagyobb érzékenység beállításánál azonban a páralecsapódás vagy a külső zavarok kapcsolási hibát okoznak. A részben szigetelt szondaszár párás környezetben használatos, mert a hosszú szigetelésen végigfutó kondenzálódott folyadék nem tud összefüggő kapcsolatot létrehozni a tartály és a szonda között.



15.2. ábra

Különböző szonda kialakítások. Szigeteletlen szonda (a), és részben szigetelt szonda (b).

A (c) ábrán hajlékony kábelszonda csőútban, megfelelő végződéssel.

A (d) ábrán a H adhéziós hiszterézis látható

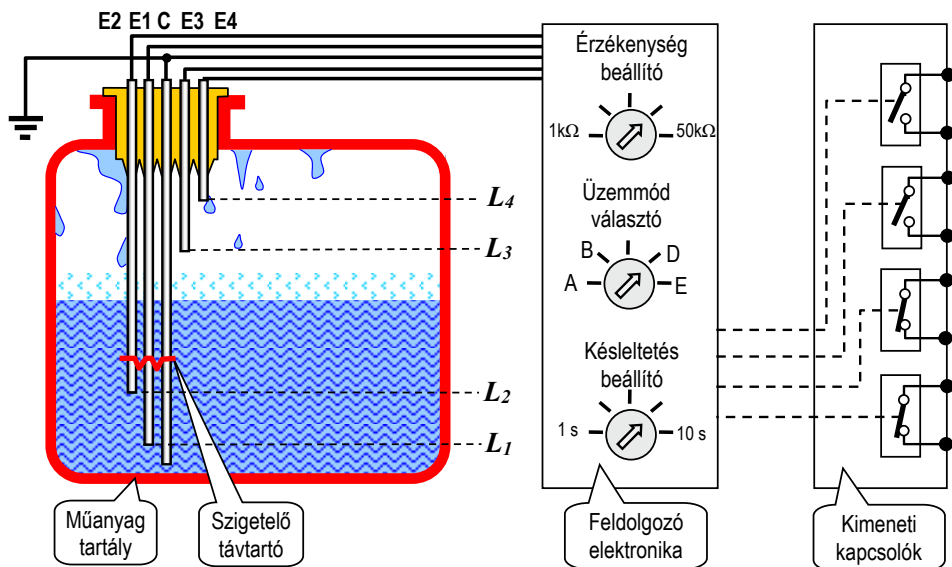
A szonda bemerülése és az átkapcsolás között lehet néhány mm hiszterézis. Adhéziós hiszterézist okoz, hogy a folyadék és a szonda közötti kapcsolat csak 1–2 mm-rel kisebb szintnél szakad meg, mint ahol létrejött (15.2.d. ábra). A mérő áramkörben, elektromos úton létrehozott hiszterézis is van. A két jelenség együtt érvényesül. A gyári szonda gyakran hegyes végződésű. Ez segíti a gyorsabb lecseppenést, csökkenti az adhéziós hiszterézist, és a vékony felületi olajréteg által okozott bizonytalanságot.

15.2. Kiviteli megoldások

A kapcsolási szintet a felhasználó a szonda megfelelő hosszúságra való levágásával állítja be. A szondák anyaga rendszerint rozsdamentes acél. Szokásos átmérője 6 mm. A szonda, egyszerű belsőmenetes elemmel toldható. Az egymás melletti szondák érintkezését műanyag távtartókkal kell megakadályozni. Kis átmérőjű mély kutakban használható a flexibilis kábeltől készült szigetelt szonda. Ez egyszerű szigetelt kábel, amelynek végére szerelt műanyag alkatelem megakadályozza, hogy két szondavég egymással, vagy a fém béléscsővel érintkezzen, de lehetővé teszi a folyadékkal való érintkezést (15.2.c. ábra).

Gyakori, hogy az elektronikát nem a szondafejben, hanem külön házban, több méter távolságban helyezik el. Ez nagy közeghőmérsékletnél célszerű. Ilyenkor számít a szondafej és az elektronika ház közötti vezeték kapacitása, és ennek következtében a korlátozott a kábel hossza. Vannak drágább, kültérben szerelhető tokozásúak, és vannak műszer szekrényben elhelyezhető, DIN sínre csíptethető olcsó tokozásúak is.

Az érzékenység típusonként változhat, 0,5...50 k Ω és 5...100 k Ω tartományok között. A kapcsolási biztonság, beállítható késleltetéssel növelhető. Ennek tartománya 1 s-tól, 5...20 s-ig terjed. A konduktív szintkapcsoló alkalmazása jó és olcsó megoldás a viszonylag tiszta, vezetőképes és kis viszkozitású folyadékok szintkapcsolására. A mérsékelt habosodás és a vékony olajréteg megengedhető. A folyamatos mérés és az egyszerű feldolgozás gyors reakciót eredményez. Az egyszerű üzembiztos megoldás együtt jár a viszonylag nagyobb fogyasztással. Jellemző fogyasztás 2–6 VA hálózati táplálásnál, és 1–3 W egyenáramon.



15.3. ábra

Szintjelzés műanyag tartályban. A mérőfeszültséget a C jelű közös szonda viszi át a folyadékra, és az E1...E4 szondák négy különböző szintet érzékelnek

A megengedhető tartályhőmérséklet és nyomás gyakorlatilag a szonda foglalat konstrukciós megoldásától és az alkalmazott tömítő és szigetelő anyagoktól függ. A tartálytér legnagyobb hőmérséklete: 100...200°C gyártótól és típustól függően. A tartálytér legnagyobb nyomása a 6...25 bar tartományba esik. Magas hőmérsékletű és nagynyomású alkalmazásokhoz (*kazánvíz szintszabályozására*) kerámia szigetelőjű, a benzinüzemű gépkocsik gyújtógyertyájához hasonló kialakítású szonda használatos, melyeket általában a kazán oldalába csavarnak. Ezen szondák maximális megengedhető nyomása 300 bar, hőfokhatáruk 300°C feletti.

Ömlesztett szilárd anyagok (porok) mérésére alkalmas készülékeket is gyártanak, amelyek nagyobb tartályokban, silókban, szigeteletlen kötélsondával, használhatók. A beállítható érzékenység 50 k Ω ...10 M Ω között szokásos.

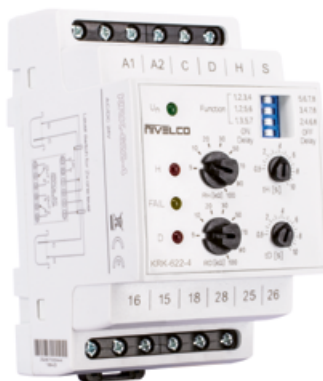
15.3. Töltés-ürítés vezérlés és más üzemmódok

Egy feldolgozó elektronika egy, kettő vagy több érzékelő szondát tud fogadni. Ezért a feldolgozás módja átkapcsolható, a töltés-ürítés, vagy a független működés különböző kombinációi között. A **15.3.** ábrán látható készülék négy szondával és egy segédsondával rendelkezik. Alkalmas arra, hogy az **E2** és **E3** szondákkal beállított **L₂**, **L₃** szintek között vezéreljen egy szivattyút. Mellette az **E1** szondával kijelölt szintnél alsó, az **E4** szonda végénél pedig felső vészjelzést adjon. Az üzemmód kapcsolóval változtatható, a működési mód és a jelfogók kiosztása. A szükséges számú kapcsolási szint több készülék felhasználásával is elérhető. Ebben az esetben a **C** csatlakozási pontok közösítve köthetők a fém tartályra, vagy az egy darab közös segédsondára.

15.4. Készülékek és alkalmazások



NIVOCONT K
konduktív szintkapcsoló,
integrált kivitelben



Elektronika nélküli szondafej és sinre pattintható elektronikus egység



Konduktív szintkapcsolók szondái szabadtéri vízgyűjtőben

16. Ellenőrző kérdések

A kérdéscsoportok számozása, a fejezetek számozását követi.

2. Az ipari szintmérés alapfogalmai

1. Hasonlítsa össze a mérési elv és a felhasználási lehetőségek szempontjából, az érintéses és az érintésmentes szintmérési módszereket.
2. Ismertesse az intelligens távadók táplálásának és kommunikációjának módozatait.
3. Miért mondjuk, hogy a 2.2.a. és (b) ábrán aktív, a 2.2.c. és (d) ábrán a távadó passzív áramgenerátorral működik?
4. Mi a feltétele, hogy egy távadó kétvezetékes kivitelben is elkészíthető legyen?
5. Mi az előnye az intelligens távadók kétirányú kommunikációjának?
6. Milyen körülmények között fordulhat elő, hogy egy kis fogyasztású elektronika hőmérséklete, jelentősen a környezeti hőmérséklet fölé emelkedik?
7. Szabadtéren felszerelt készülékeknel, milyen pótlólagos környezeti védelmekre lehet szükség?

3. A szinttávadók pontossága

1. Mit értünk a tartályban lévő folyadékszint helyes értéke alatt?
2. Mely hibákat lehet a megismételt mérési eredményeinek átlagolásával csökkenteni?
3. Milyen mérési hibára kell számítani töltés és ürítés közben?
Milyen beállítható készülék-paramétertől függ az előbbi hiba?
4. Mit tesz az intelligens szinttávadó, a rendszeres és a véletlen hibák csökkentésére?
5. Milyen célból definiáljuk a referencia feltételeket?
6. Mit értünk linearitási hiba alatt, és az intelligens távadókban hogyan csökkentik ezt a hibát?
7. Milyen alakú hibasávokkal szokás a távolságmérés hibáját megadni?
8. Milyen kalibrálási módszert választhatunk, egy tartályon üzemelő készüléknél?

4. Ultrahangos szinttávadók

1. Értékeljük a kijelentéseket!
 - a. A piezoelektromos tárcsa rezgése, rossz hatásfokkal adódik át a levegőnek.
 - b. A szintmérő, a mérendő felszín távolságát a visszhang nagyságából határozza meg.
2. Miért kell nagyobb átmérőjűnek lenni a 20 kHz-en működő ultrahangsugárzónak, mint a 80 kHz-en működőnek?
3. Az ultrahangos szintmérésnél mi okozza a legnagyobb mérési hibát?
4. Miért pontatlanabb darabos anyagok szintmérése, mint a folyadékoké?
Okoz ez problémát a szokásos felhasználásokban?
5. Miért kell a folyadéktartályon működő szintmérő irányát függőlegesen állítani?
6. Mit jelent a diffúz visszaverődés?
Milyen közegek mérésénél fordul elő?
7. Hogyan befolyásolja a diffúz visszaverődés a visszhangot?

8. Használhatunk-e folyadékok mérésére gyártott szintmérőt, ömlesztett darabos anyag mérésére?

9. Milyen szempontokat kell figyelembe venni, az ultrahangos szintmérő elhelyezésénél?

5. Magnetostrikciós szinttávadók

1. Ismertesse a magnetostrikció jelenségét.

Hogyan használható a jelenség távolságmérésre?

2. Milyen közegek szintmérésére alkalmas a magnetostrikciós szintmérő?

3. Szükséges-e a készüléket újra kalibrálni, ha megváltozik a tartályban tárolt folyadék minősége?

4. Mit tegyünk, ha a flexibilis mérőcső hosszabb a szükségesnél?

- a. A felszerelési hely megemelésével biztosítsuk, hogy a flexibilis cső szabadon lógjon.
- b. A felesleges részt a tartály alján lefektetjük.
- c. Felvesszük a kapcsolatot a gyártó céggel.
- d. A felesleges részt levágjuk.

5. Mit tapasztalunk, ha a beszerelés során a az úszót le kellett venni, és azt fordítva tették vissza (negatív kijelzés, bizonytalan kijelzés, megszűnik a működés)?

6. Hasonlítsa össze a különböző szintmérési módszereket, a közeli tárgyak által okozott zavarás szempontjából!

7. Okoz-e mérési problémát, a közvetlen közelben működő villamos motor?

Értékelje a válaszokat!

- a. Nem, mert a védőcső mágneselesen árnyékolja a magnetostrikciós szálát.
- b. Igen, mert a motor rezgése zavarja a működést.

8. Mely anyagok szintje nem mérhető magnetostrikciós elven?

6. Sugárzott mikrohullámú szinttávadók

1. Mekkora a mikrohullám terjedési sebessége a levegőben, és milyen a terjedési sebesség hőmérséklet és nyomásfüggése?

2. Az ultrahang vagy a mikrohullám csillapodik jobban a levegőben?

3. A folyadék mely tulajdonsága szabja meg a felületéről való visszaverődés mértékét?

4. Milyen felületekről verődik vissza a legjobban a mikrohullám?

5. Milyen konstrukciójú antennákat ismer?

Melyik antenna típusnak kicsi a függőleges mérete?

6. Mit jelent, és milyen következményekkel jár a sugárzott mikrohullám polarizáltsága?

7. Hasonlítsa össze a sugárzott és vezetett mikrohullámú szintmérőt a közeli zavaró tárgyak és a mérési tartomány szempontjából!

8. Hasonlítsa össze a sugárzott mikrohullámú szintmérők pontosságát a többi mérési módszerrel!

9. Hogyan működik az FMCW radar?

7. Vezetett hullámú radar

1. Milyen tényezők befolyásolják a vezetett mikrohullámmal mérhető legnagyobb szintváltozást?

2. Milyen szondával mérhetünk ömlesztett szilárd anyagot?
3. Milyen feltételek mellett mérhetjük olaj és víz határfelületét?
4. Mikor szükséges bevonatos szondát használni?
5. Melyik szondatípusnál lehet a zavaró tárgytól a legkisebb távolságot tartani?
6. Hasonlítsa össze a jelcsökkenés szempontjából a sugárzott és a vezetett radar működését!
7. Hasonlítsa össze a sugárzott és a vezetett mikrohullámot az alkalmazási lehetőségek szempontjából.
8. Anyagminőség változása esetén, szükséges-e újra kalibrálni a vezetett mikrohullámú szintmérőt?

8. Kapacitív szinttávadók

1. Hogyan függ, a szigeteletlen szonda kapacitása a közegtől, és a szonda elhelyezésétől?
2. Mikor alkalmazható a szigetelt szondás mérés, és milyen előnyökkel jár?
3. Gabona kapacitív szintmérésénél mi okozza a legnagyobb mérési hibát?
4. Miért használnak koaxiális segédsondát egy gömb alakú műanyag tartályban?
5. Alkalmazható-e kazán szintmérésére a kapacitív módszer?
6. Hogyan programozzuk a kapacitív szintmérőt, ha a 7.10.b. ábra szerinti fordított felszerelés mellett kívánjuk használni?
7. Jól vezető közeget akarunk mérni gömb alakú műanyag tartályban.
Milyen szondát alkalmazzunk?
8. Milyen problémát okoz a mért anyag feltapadása?
9. Okozhat-e hibát kalibrálás közben, a tartályba lógatott mérőléc vagy mérőszalag?

9. Hidrosztatikus szinttávadók

1. Miben különbözik a túlnyomás, a nyomáskülönbség és az abszolút nyomás mérése?
2. Hogyan működik, és mi az előnye a piezorezisztív átalakítónak?
3. Milyen előnyei vannak a kerámia membránnak?
4. Lehetséges olaj és víz fázishatárát mérni hidrosztatikus módszerrel?
5. A habosodás akadályozza a pontos szintmérést?
6. Hogyan keletkeznek, és milyen következményekkel járnak az impulzusszerű nyomáslökések? Hogyan csillapítható a lökések amplitúdója?
7. Milyen előnyökkel jár a kútszondák használata, és milyen gondozást kívánnak csőben leeresztett szondák?
8. Miért adnak meg öregedési hibát, a hidrosztatikus érzékelőkre?

10. A szintkapcsolók tulajdonságai

1. Mi a célja a kapcsolási hiszterézisnek?
2. Mi a célja a kapcsolási késleltetésnek?
3. Ismertesse a töltés-ürítés vezérlés megoldási elvét, és a működés karakterisztikáját.
4. Ismertesse a mechanikus kontaktussal működő kimeneti kapcsolók jellemző tulajdonságait.
5. Mit értünk pnp és npn típusú kimeneti kapcsoló alatt, és mi közöttük a különbség?

11. Úszós szintkapcsolók

1. Milyen elven működő úszós szintkapcsolókat ismerünk?
Milyen anyagok szintkapcsolására használhatók?
2. Hogyan állítható be, a kábelre függesztett úszókapcsoló kapcsolási szintje és hiszterézise?
3. Hogyan állítható be a mágneses billenőúszós kapcsoló kapcsolási szintje és hiszterézise?
4. Jellegzetesen milyen segéden energiával, és milyen kapcsoló áramkörrel működnek az úszós szintkapcsolók?

12. Forgólapátos szintkapcsolók

1. Hogyan működik, és milyen anyagok érzékelésére alkalmas a forgólapátos szintkapcsoló?
2. Milyen beépítési lehetőségei vannak, a forgólapátos szintkapcsolóknak, és mekkora kapcsolási pontosságra számíthatunk?

13. Rezgőelemes szintkapcsolók

1. Ismertesse a rezgőelemes szintkapcsolók működési elvét!
2. Milyen jellegzetes rezgési paraméterei vannak rezgőelemnek, és hogyan befolyásolja az érzékelt anyag, ezeket a paramétereket?
3. Mi a különbség a felhasználási terület szempontjából, a rezgővillák és rezgőrudak között?
4. Mire szolgál az érzékenység állítás, a rezgőelemes szintkapcsolókban?

14. Kapacitív szintkapcsolók

1. Ismertesse a kapacitív szintkapcsolók működési elvét!
Milyen mérőfeszültséggel működik a készülék?
2. A tárolt anyag milyen paraméterei döntik el, a kapacitív szintkapcsoló használhatóságát?
3. Mit jelent a szigetelt és szigeteletlen szonda, mi dönti el, hogy melyiket alkalmazzuk?
4. Mit jelent a mért anyag feltapadása, és milyen megoldásokkal igyekeznek a zavaró hatást kiküszöbölni?

15. Konduktív szintkapcsolók

1. Ismertesse a konduktív szintkapcsolók működési elvét. Milyen mérőfeszültséggel működik a készülék?
2. Milyen anyagok szintkapcsolására használhatók a konduktív szintkapcsolók?
3. Konduktív szintkapcsolónál, hogyan állítható be a kapcsolási szint?
4. Hogyan használhatók a sokszondás készülékek?

17. Függelék

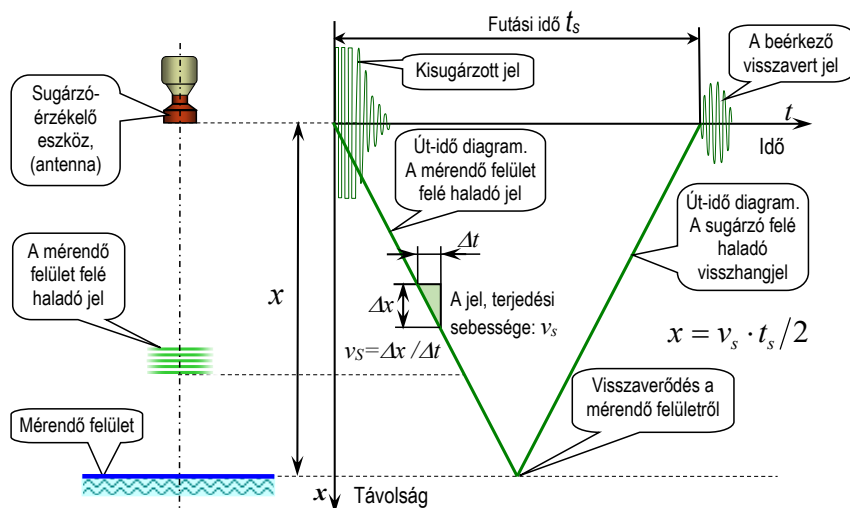
17.1. Távolságmérés a jel futási idejével

A futási idő mérésével működő távolságmérés működését mindig út-idő diagrammal magyarázzuk. A 17.1. ábrán az út a függőleges tengelyre kerül, annak megfelelően, hogy a távolságot függőleges irányban mérjük.

17.2. Logaritmikus mennyiségek

Már az elektronikus távközlés kezdetén (~1920) felismerték a logaritmikus egységek alkalmazásának előnyeit, vagyis, hogy egyfajta fizikai mennyiség két értékének arányát az arány tízes alapú logaritmusával adják meg (jelölés: $\lg = \log_{10}$). A gondolat ésszerűségét alátámasztja:

- Vannak fizikai mennyiségek, amelyek igen széles tartományban változnak (pl.: *analóg feszültségek hányadosa egy erősítőben lehet 10^6 . A látható fény maximális/minimális intenzitásának hányadosa lehet 10^{14}*). Két mennyiséget, amelyek ilyen arányban állnak, nem lehet egy lineáris skálán megjeleníteni.
- Hosszú vezetékben, homogén közegben terjedő jelek a távolság függvényében exponenciálisan csökkennek, ami logaritmikus amplitúdó- és lineáris távolság skálájú koordinátarendszerben könnyen ábrázolható (*egyenes*).
- Látó és halló szerveink érzékelési karakterisztikája közel logaritmikus.
- A jelátviteli láncokban sorba kapcsolódó átvivő egységek, például a sugárzó, a hullám vivő közeg, a reflexió, a vevő antenna, az erősítők, átviteli tényezői (*erősítései*



17.1. ábra

A kisugárzott és visszavert jel mozgásának ábrázolása

vagy csillapításai) összeszoródnak. Logaritmusos egységgel számolva az eredő átvitel egyszerűen, összegzéssel számítható (az erősítés +, a csillapítás – előjellel).

Így született meg, először a teljesítmények arányának megadására használt logaritmusos egység, a bel [B] (A. G. Bell skót származású tudós és feltaláló tiszteletére):

$$a[B] = \lg \frac{P_2}{P_1}$$

A gyakorlatban, a jobban használható tized ekkora egység, a **dB** (decibel), terjedt el:

$$a[dB] = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}.$$

Az előbbi arányt a feszültségekből is számíthatjuk, ha azonos értékű ellenálláson jöttek létre, tehát

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R} \text{ és } P_2 = \frac{U_2^2}{R}.$$

$$a[dB] = 10 \lg \frac{U_2^2}{U_1^2} = 10 \lg \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

A feszültségaránynak ezt a logaritmusos számítását akkor is használjuk, ha a két feszültség nem azonos értékű ellenálláson jelenik meg. Ebben az esetben természetesen nem kapjuk meg a **dB**-ben kifejezett teljesítmény arányt, de általában nem is vagyunk rá kíváncsiak.

Hasonló viszonyokat találunk az ultrahang sugárzás intenzitása és amplitúdója között. Az **I** intenzitás a felületegységen áthaladó teljesítmény:

$$I = \frac{P}{A} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Az ultrahang érzékelők kimeneti jele a **p** hangnyomással arányos. Ezért fontos az intenzitás és a hangnyomás kapcsolata:

$$I = \frac{p_{\text{eff}}^2}{Z}$$

Ahol **Z** az akusztikus impedancia. Így, egy adott vastagságú közegen áthaladó ultrahang csillapodása az amplitúdók arányával kifejezve:

$$10 \lg \frac{I_2}{I_1} = 10 \lg \frac{p_2^2}{p_1^2} = 20 \lg \frac{p_2}{p_1}.$$

Amikor csillapítást vagy reflexiós tényezőt számítunk át **dB**-re, tudni kell, hogy az intenzitásra, vagy amplitúdóra vonatkozik.

Később több, széles tartományban változó fizikai mennyiség az abszolút nagyságának megadására is átvették a logaritmusos egységet, úgy hogy megállapodtak egy viszonyítási (0 dB) szintben.

Az elektronikus jelátvitelben, vagy a rádiótechnikában a teljesítmény megadásánál ez a szint (átviteltechnikai normál szint): **P₀** = 1 mW.

Az így megadott teljesítményszint a jele **dBm**.

$$\text{PowerLevel [dBm]} = 10 \lg \frac{P}{P_0} = 10 \lg \frac{P}{1 \text{ mW}}$$

Az akusztikában, hangnyomás mérésénél a viszonyítási érték $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$, (az átlagos emberi hallásküszöb) és ezzel a hangnyomás szint decibelben megadva:

$$L_p[\text{dB}] = 20 \lg \frac{p}{p_0} = 20 \lg \frac{p}{20 \mu\text{Pa}}$$

U_i/U_j	0,01	0,1	0,5	0,707	0,89	1	1,12	1,41	2	10	100
dB	-40	-20	-6	-3	-1	0	1	3	6	20	40
U_i-U_j/U_i		-90%	-50%	-29%	-11%	0	+12%	+41%	+100%		

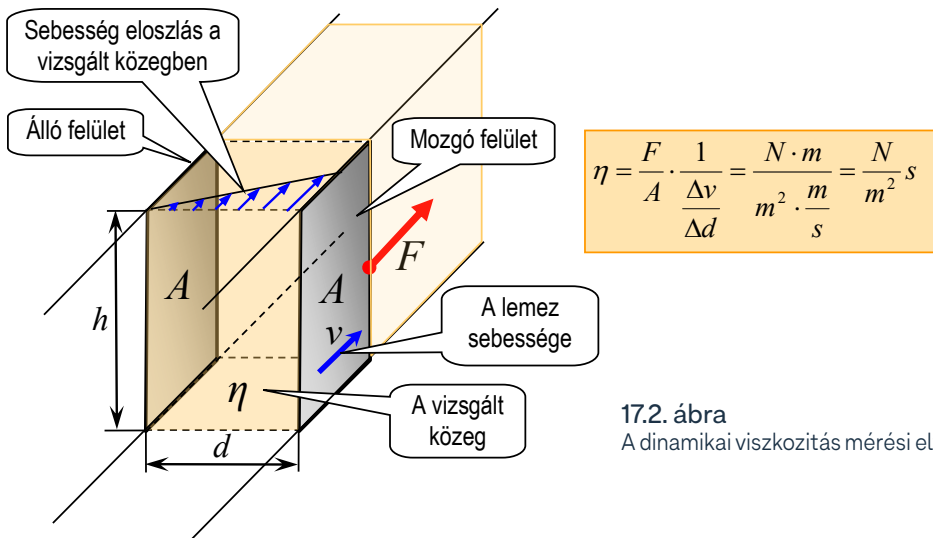
17.1. táblázat

A gyakran előforduló feszültségarányok dB -ben kifejezett értéke, valamint a csökkenés vagy növekedés, százalékban

17.3. A viszkozitás

17.3.1 Dinamikai (dinamikus) viszkozitás

Anyagjellemző, amely megmutatja, mekkora a folyadék belső súrlódása, vagyis milyen nehezen mozog benne egy síklap. Más megfogalmazás szerint, milyen nehezen mozog a folyadék az álló sík falak között. Ami kevésbé folyékony, annak nagyobb a viszkozitása. A viszkozitásra jellemző a η tényező. Meghatározását és mérési elvét a **17.2.** ábra mutatja. Az álló és a mozgó lemezek közötti közeg, változó sebességgel mozog. Az álló lemez melletti réteg sebessége nulla, a mozgó lemez melletti réteg sebessége megegyezik a lemez v sebességével. A **17.2.** ábrán látható a sebesség eloszlása a folyadékban (vizsgált közegben). A mozgás fenntartásához szükséges F erő a méretek és a sebesség mellett, a vizsgált közeg dinamikai viszkozitásának (η) függvénye.



17.2. ábra

A dinamikai viszkozitás mérési elve

$$[\eta] = \frac{Ns}{m^2} = Pa \cdot s \quad \text{cgs mértékegység: poise } [P]$$

$$1 \text{ poise} = 0,1 Pa \cdot s \quad 1 Pa \cdot s = 1000 \text{ cP}$$

A viszkozitás hőmérsékletfüggő, növekvő hőmérsékletnél csökken.

17.3.2. Kinematikai viszkozitás

$$\text{A kinematikai viszkozitás meghatározása: } \nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Tehát a dinamikai viszkozitás (belső súrlódás) és a sűrűség (gravitációs vagy tehetetlen tömeg) arányától függ. A kinematikai viszkozitás mértékegysége:

$$\frac{\eta}{\rho} = \frac{\frac{kg}{m \cdot s^2} \cdot s}{\frac{kg}{m^3}} = \frac{m^2}{s} = 10^4 \frac{cm^2}{s} = 10^4 St$$

$$1 St \text{ (Stokes)} = 10^{-4} m^2/s \quad 1 cSt \text{ (centi Stokes)} = 10^{-6} m^2/s = 1 mm^2/s$$

Arra jellemző, hogy milyen gyorsan folyik le saját súlyánál fogva, vagy milyen gyorsan csillapodnak az örvénylései.

Anyag	Dinamikai viszkozitás $\eta [Pa \cdot s]$	Dinamikai viszkozitás $\nu [cSt]$	Dinamikai viszkozitás $\nu [m^2 / s]$
Víz 80°C	$0,35 \cdot 10^{-3}$		
Víz 50°C	$0,56 \cdot 10^{-3}$	0,65	
Víz 0°C	$1,02 \cdot 10^{-3}$	1	$1,01 \cdot 10^{-3}$
Alkohol 50%	$2,86 \cdot 10^{-3}$		
Lenolaj	$5,3 \cdot 10^{-2}$		
Glicerín	0,46	1200	$1,18 \cdot 10^{-3}$
Ricinus olaj	1		
SAE 30 olaj		325 200-300/100°C	$3,25 \cdot 10^{-4}$
Parafin olaj		3,08	$3,08 \cdot 10^{-6}$
Méz	10		
Melasz	165		

17.2. táblázat
Jellegzetes viszkozitás értékek



A NIVELCO Zrt. 1982-ben alakult családi vállalkozásként, – néhány fős „garázscégként” –, ipari elektronikus érzékelők és szabályozók gyártására. Rövid idő alatt specializálódott elektronikus elven működő szintmérők és szintkapcsolók fejlesztésére és gyártására. Közel 40 év szisztematikus gyártmányfejlesztés eredményeként,

jelenleg a vállalat termékpalettája, az egyszerű konduktív szintkapcsolótól a mikroprocesszor vezérelt, mikrohullámú szinttávadókig terjed.

Piacfejlesztésünk eredményességét mutatja, hogy a néhány fős „garázscég” mára több mint 250 főt foglalkoztató, 9 külföldi leányvállalattal és világszerte többszáz disztribútorral rendelkező cégcsoporttá nőtte ki magát. Ennek eredményeként – az alapítás óta –, több mint 1 000 000 db saját fejlesztésű készüléket gyártott és értékesített a NIVELCO.

Ezen könyv szerzője Dr. Varga Sándor és szerkesztő-lektora Winkler Tibor villamosmérnökök, több évtizedes gyártmány- és piacfejlesztési munkájukkal nagyban hozzájárultak a fenti eredmények eléréséhez.

A precíz műszaki tartalmú könyv, könnyen olvasható formában, elméleti és gyakorlati segítséget nyújt az olvasó számára, műszereink alkalmazásához. Különösen ajánljuk partnereink és leendő partnereink számára.

Végezetül köszönetünket fejezzük ki mindazoknak, akik az elmúlt közel negyven évben munkatársként, illetve partnerként segítették a fenti eredmények elérését.

Budapest, 2020

Szóllós Tamás
elnök