AZ INFRAVÖRÖS HŐMÉRSÉKLETMÉRÉS ALAPJAI

Tartalom

Bevezetés		**1**
1. Fejezet	**Az infravörös hőmérsékletmérés előnyei**	**2**
2. Fejezet	**Az infravörös mérési elv**	**3**
2.1	**A céltárgy**	**3**
2.1.1	Az emisszió meghatározása	5
2.1.2	Fémek mérése	6
2.1.3	Műanyagok mérése	7
2.1.4	Üveg mérése	7
2.2	**Környezeti feltételek**	**8**
2.3	**Optika és ablakok**	**10**
2.4	**Detektorok**	**14**
2.5	**Kijelzők és Interfészek**	**14**
3. Fejezet	**Speciális pirométerek**	**15**
3.1	**Száloptikás pirométerek**	**15**
3.2	**Arány pirométerek**	**16**

Bevezetés

Ez az anyag azok számára készült, akik még nem kerültek kapcsolatba a non-kontakt, infravörös elven nyugvó hőmérsékletméréssel. Komoly gondot fordítottunk arra, hogy a témát a lehető legtömörebben és legegyszerűbben járjuk körbe. Azok az olvasók, akik alaposabban szeretnének megismerkedni az infravörös hőmérsékletméréssel, tájékozódhatnak a témával foglalkozó szakmai cikkekből. Az anyag a non-kontakt hőmérsékletmérés gyakorlati megközelítésére fókuszál, és az itt felmerülő kérdésekre ad választ.
Ha Ön a későbbiekben tervezi a non-kontakt hőmérsékletmérés alkalmazását, és további kérdése van a témával kapcsolatban, kérem, küldje el az anyag végén található kérdőívet!

1 fejezet: Az infravörös hőmérsékletmérés alkalmazásának előnyei

A hőmérsékletmérés a fizikai mennyiségek mérései közül az idő mérése után a leggyakrabban alkalmazott mérés. A hőmérséklet nagyon fontos szerepet játszik mint mutatószám a termékek, gyártmányok, munkadarabok viselkedésében, úgy a gyártásban, mint az ellenőrzésben. A pontos hőmérsékletmérés növeli a termék minőségét és javítja a termelékenységet. A gyártási folyamat kényszerű leállásai minimális időtartamra csökkenthetők.

Az infravörös technológia nem egy teljesen új találmány. Évtizedek óta sikerrel alkalmazzák az iparban és a kutatásban. Új felfedezések, alkalmazások csökkentették az árakat, növelték a megbízhatóságot, melyek végeredményeként az infravörös alkalmazások során kisebb méretű, olcsóbb készülékeket lehet használni. Mindezen összetevők ahhoz vezettek, hogy az infravörös technológia vonzóvá vált új alkalmazások és a felhasználók számára is.

Mik az előnyei a non-kontakt hőmérsékletmérésnek?

1. Gyors mintavétel (mikroszekundum nagyságrendű), így időt lehet megtakarítani, egységnyi idő alatt több mérést tesz lehetővé (pl. hőtérképet lehet készíteni).
2. Mozgó tárgyakon is lehetővé teszi a hőmérsékletmérést.
3. A mérések olyan helyeken is lehetővé válnak, ahol egyébként az életveszély vagy a nehéz hozzáférés miatt eddig lehetetlen volt a mérés (nagyfeszültség, nagy mérési távolságok, magas hőmérséklet).
4. Magas hőmérséklet mérése is lehetővé vált (egészen 3000°C-ig)
5. Nem keletkezik interferencia. A mért tárgy nem veszít hőmérsékletéből. Pl. a csekély hővezető képességgel rendelkező anyagok, mint a műanyag, fa hőmérséklete is nagy pontossággal mérhető. Nincs a mért értékek között nagy szóródás.
6. Nem jár roncsolással, nincs mechanikai sérülésveszély a mért tárgy felületén. Lakkozott vagy puha felületek mérése is lehetséges.

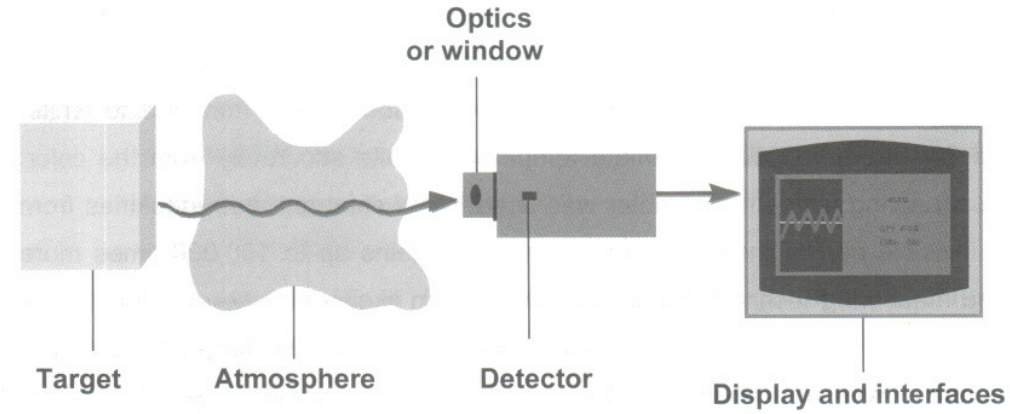
Miután felsoroltuk az infravörös mérés alkalmazásának előnyeit, marad a kérdés, mit kell szem előtt tartani, amikor az IR mérési elvet alkalmazzuk:

1. A mérendő célnak láthatónak kell lenni. Amikor a műszer és a mérendő tárgy közé por vagy füst kerül, a mérési eredmény pontatlanná válhat.
2. Az érzékelő optikáját védeni kell por és kicsapódó gőzök ellen (a gyártótól rendelhetők ezek a kiegészítők).
3. Csak felületen lehet hőmérsékletet mérni, a különféle anyagú felületek eltérő emissziójának figyelembevételével.

Összefoglaló:
A non-kontakt infravörös hőmérsékletmérés előnye a gyorsaság, az extrém körülmények közötti biztonságos mérés, az interferencia hiánya és az a képesség, hogy magas hőmérsékleten (egészen 3000°C-ig) is lehet hőmérsékletet mérni. Figyelembe kell venni, hogy csak felületek hőmérsékletét lehet megmérni!

2. fejezet: Az infravörös mérési elv

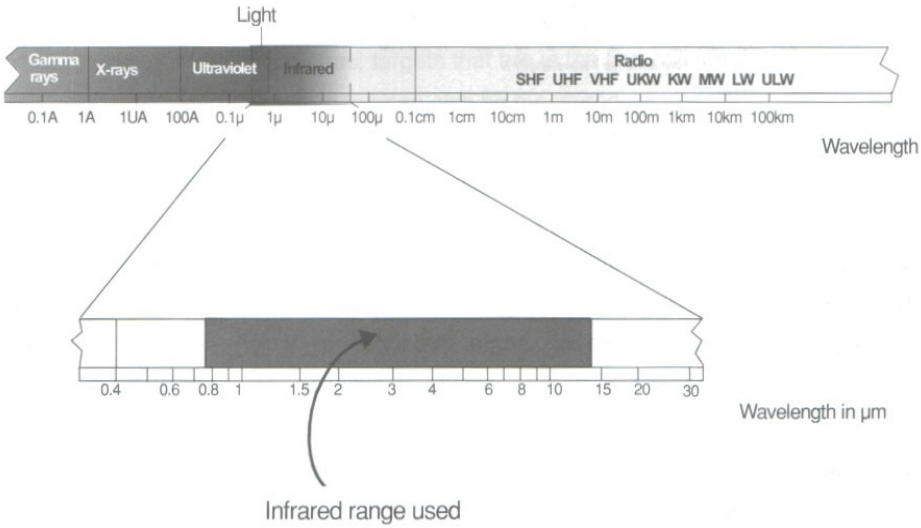
Az infravörös hőmérsékletmérőt az emberi szemhez lehet hasonlítani. A szemlencse képviseli az optikát, amin keresztül a sugárzás (fotonok áramlata) a mérendő objektumról érkezve eléri a fényérzékeny felületet (retina). Itt átalakul egy olyan jellé, amit fogad az agy.
Az 1. sz. ábra mutatja a mérési rendszer folyamatábráját:



1. ábra

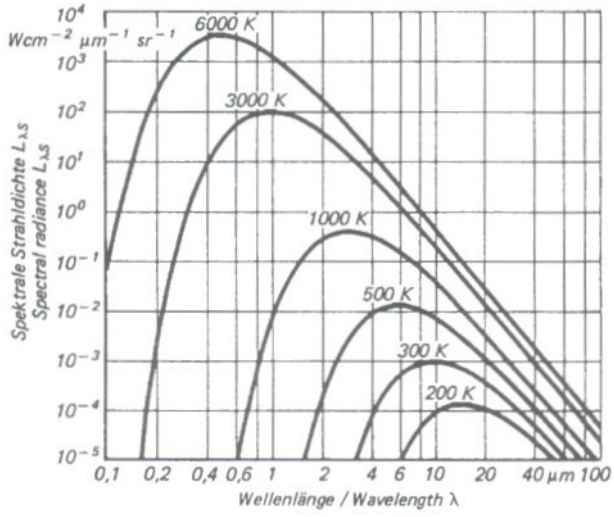
2.1 A céltárgy

Minden anyag bocsát ki infravörös sugárzást, amennyiben a hőmérséklete abszolút 0 fok (-273°C) felett van, és a sugárzás mértéke függ a test hőmérsékletétől.
Ezt nevezzük jellemző vagy karakterisztikus sugárzásnak, melynek az oka a molekulák anyagon belüli mozgása. Ennek a mozgásnak az intenzitása az objektum hőmérsékletétől függ. Mivel a molekuláris mozgás töltéssel rendelkező részecskék elmozdulásával jár, a test elektromágneses sugárzást (foton részecskéket) bocsát ki. Ezek a fotonok a fény sebességével mozognak és a fénytan alapelveinek megfelelően viselkednek. El lehet őket téríteni, fókuszálni lehet őket lencsével, vagy vissza lehet őket verni egy visszaverő felületről. Ennek a sugárzásnak a spektruma 0,7-től 1000 µm hullámhosszig terjed, ebből kifolyólag saját szemünkkel nem érzékeljük. Ez a spektrális tartomány a látható fénytartományon belül a vörös tartományába esik, ezért a latin eredetű előtaggal infravörös fénynek nevezik (2. ábra).



2 ábra :
Az elektromágneses spektrum a 0,7-14 µm tartományban hasznos a mérési folyamatok számára.

A 3. ábra a testek tipikus sugárzását mutatja különféle hőmérsékleteken. Ahogy az ábrán megfigyelhetjük, az anyagok magas hőmérsékleten kis mennyiségű látható fényt is kibocsátanak. Ez magyarázza a magas hőmérsékleten (általában 600°C-tól) látható vörös és fehér közötti izzást. Gyakorlott kohászok a fénye alapján nagy pontossággal meg tudják becsülni a fémek hőmérsékletét. A klasszikus filament pirométert már a 1930-as években alkalmazták az acél- és fémkohászatban, jóllehet a spektrum nem látható része 100.000-szer nagyobb energiát tartalmaz, mint a látható rész. Az infravörös méréstechnika a spektrum emberi szem által nem látható része alapján méri a hőmérsékletet. Megfigyelhető a 3. ábrán, hogy a sugárzás maximuma a rövidebb hullámhosszú tartomány felé tolódik el a hőmérséklet emelkedésével, és a test különböző hőmérsékleteken felvett görbéi nem metszik egymást. A kisugárzott energia az egész hullámhossz tartományban (az egyes görbék alatti terület) a hőmérséklet 4. hatványával arányosan növekszik. Ezeket az összefüggéseket Stefan és Boltzmann fedezte fel 1879-ben, mellyel igazolták, hogy egy test hőmérséklete egyértelműen meghatározható az általa kibocsátott sugárzás alapján.

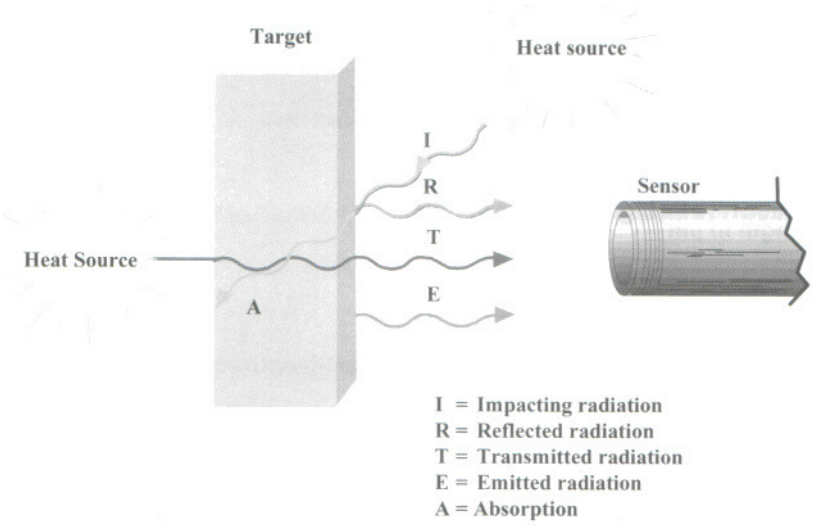


3. ábra

A 3. ábra görbéi alapján a fejlesztők célja az, hogy az IR hőmérőt minél szélesebb hullámhossztartományra állítsák azért, hogy a lehető legtöbb kisugárzott energiát (görbék alatti terület) tudják összegyűjteni. Azonban vannak olyan esetek is, amikor ez a mérés szempontjából előnytelen. 2 mikron hullámhossznál – 10 mikronnal összevetve – a sugárzás intenzitása a hőmérsékletnél jóval gyorsabban növekszik. Minél nagyobb a sugárzásváltozás - hőmérsékletváltozás hányados, annál nagyobb pontossággal mér az IR hőmérő. Az emelkedő hőmérséklettel a sugárzási maximum a rövidebb hullámhosszak felé tolódik el (Wien eltolódási törvény), ennek megfelelően az infravörös hőmérsékletmérő hullámhossztartományát a mérni kívánt hőmérséklettartománynak megfelelően kell beállítani.

Alacsony hőmérsékleten (600ºC alatt) egy 2 µm-en működő IR hőmérő nem mér, mert nincs, vagy túl kicsi az adott hullámhosszon kibocsátott energia. Egy másik ok, ami miatt különböző hullámhosszokon érzékeny műszerekre van szükség, az az, hogy léteznek úgynevezett „nem-szürke” anyagok (üveg, fémek, műanyag filmek). Az elméletekben általában egy ideális, „fekete test” szerepel, ugyanakkor a valóságos testek nagy része adott hőmérsékleten annál kisebb sugárzást bocsát ki. A valós és a fekete test sugárzása közti különbséget az emissziós tényezővel lehet kifejezni, melynek jele: ε (epszilon), értéke elméletileg 0 és 1 között lehet (fekete test: ε=1). Szürke testeknek nevezik azokat a testeket, melyeknek az emissziós tényezője kisebb 1-nél. Azokat a testeket, melyeknek a kibocsátása a hőmérséklettől és a hullámhossztól is függ, nem-szürke testeknek nevezik.
Az emisszió (kibocsátás) felírható egy összegként is, melyben a tagok az elnyelés (absorption: A), a visszaverés (reflection: R) és az áteresztés (transmission: T).

A+R+T=1 (4. ábra)

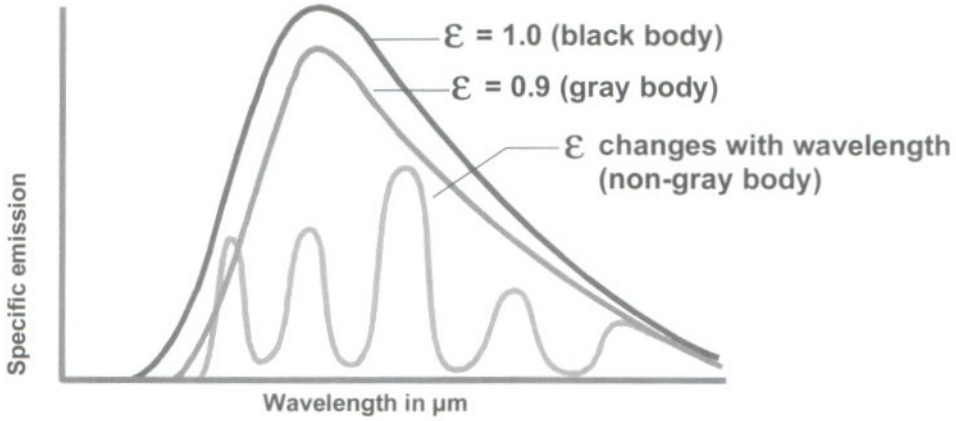


4. ábra: A mérést befolyásolhatja az átengedett és a visszavert sugárzás is

A tömör tárgyaknak nincs átbocsátó képességük az infravörös tartományban (T=0). A Kirchhof törvény alapján feltételezhetjük, hogy egy test hőmérsékletét növelő elnyelt sugárzást a test ki is bocsátja. Így az emisszió és az abszorpció felítható a következő egyenlettel: **A=E=1-R**

Az ideális fekete test nem veri vissza az infravörös sugarakat: **R=0, E=1**.

Sok nem fémes anyag, mint a fák, műanyagok, szerves anyagok, kőzetek vagy beton olyan felülettel rendelkezik, amely nem visszaverő, így magas az emissziós tényezőjük: ε=0,8~0,98. Velük ellentétben a fémeknek – különösen, ha polírozott, fényes a felületük – az emissziós tényezője csak ε=0,1 körül van. Az infra-hőmérők állítható emissziós tényezővel kompenzálják az eltérő anyagok méréséből fakadó esetleges pontatlanságot (5. ábra).



5 . ábra

2.1.1 Az emissziós tényező meghatározása

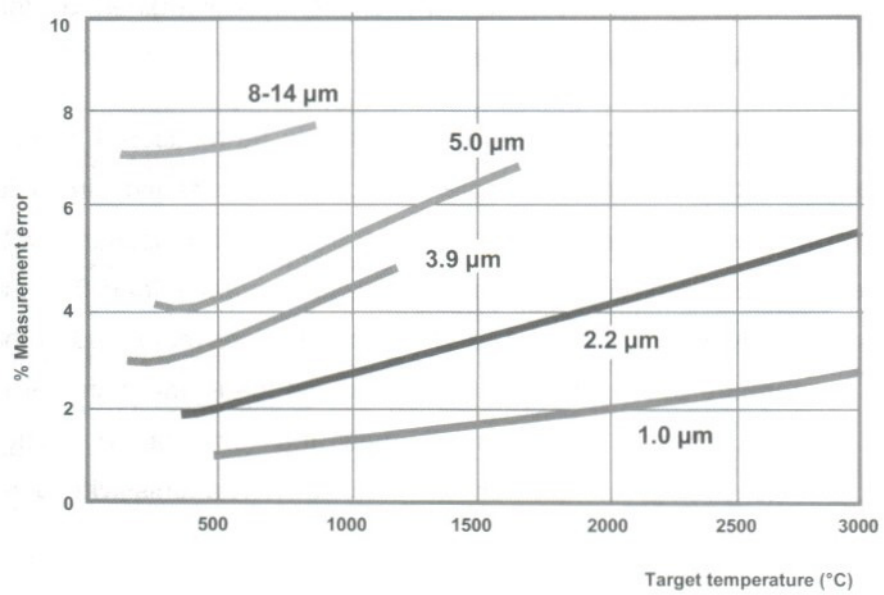
Többféle lehetőség kínálkozik arra, hogy egy tárgy emissziós tényezőjét meghatározzuk. Először is adódik a lehetőség, hogy az általánosan elterjedt anyagok emissziós tényezőit kiolvassuk kész táblázatokból. Az emissziós táblázat segít abban, hogy meghatározhassuk az adott anyag hullámhossz tartományát és így a helyes mérőeszközt. Különösen fémek esetében igaz az, hogy a táblázatból történő kiolvasás csupán orientációul szolgál, mivel az egyes felületek (polírozott, oxidált, vagy pikkelyes) jobban befolyásolják az emissziót mint maga az alapanyag.

A különféle anyagok emissziós tényezőjének meghatározása többféle eljárás alkalmazásával is lehetséges, csak egy állítható emissziós tényező opcióval felszerelt pirométerre van szükségünk.

1. A mintát fel kell melegíteni egy ismert hőmérsékletre, melyet tapintó hőmérsékletmérővel lehet pontosan meghatározni. Ezután mérjük meg a cél hőmérsékletét az infravörös hőmérsékletmérővel. Alkalmazzunk akkora emissziós tényezőt, amivel a mért hőmérséklet megegyezik a kontakt eljárással mért értékkel. Az így kapott emissziós tényezőt használhatjuk a további méréseknél, azonos anyagú céltárgyak esetében.
2. Alacsony hőmérsékletnél (260 ºC alatt) ragasszunk egy speciális műanyag címkét ismert emissziós tényezővel a céltárgy felületére. IR mérőeszközzel meg lehet mérni az ismert emissziójú felület hőmérsékletét, majd ezután a matrica nélkül a már ismert hőmérséklethez lehet állítani az emissziós tényezőt. A továbbiakban ezt az emissziós tényezőt lehet alkalmazni minden olyan mérésnél, amelynél ezzel az anyaggal dolgozunk.
3. Készítsen „fekete testet" a mérendő anyag alapanyagából. Egy lyukat kell fúrni a testbe úgy, hogy a mélysége legalább az átmérő ötszöröse legyen. Az átmérőnek meg kell egyeznie a műszerrel mérendő spot átmérőjével. Ha a belső emissziós tényezője nagyobb, mint 0,5, akkor furat emissziós tényezője körülbelül 1, így a lyukban mért hőmérséklet a cél hőmérsékletével egyezik meg. Ezután, ha célba vesszük a mérendő tárgy felületét, akkor az emissziós tényezőt addig kell változtatni, amíg a mutatott érték nem lesz egyező azzal, amit a fekete testtel történő méréskor mértünk. Az így kapott emissziós tényező minden olyan esetben alkalmazható lesz, amikor ilyen anyaggal dogozunk.
4. Ha a tárgyat be lehet festeni, lefesthetjük fekete festékkel (kb. 0,95 az emissziós tényező). A fekte test hőmérsékletének ismeretében a korábban bemutatott eljárással állítható be a pontos emissziós tényező.

2.1.2. Fémek mérése

A fémek emissziós tényezője függ a hullámhossztól és a hőmérséklettől. Mivel a fémek gyakran fényvisszaverők, ezért általában alacsony emissziós tényezővel rendelkeznek, melyek megbízhatatlan, hamis eredményhez vezethetnek. Ilyen esetekben olyan műszert kell választani, amelyik az IR sugárzást egy bizonyos hullámhosszon és olyan hőmérséklettartományon belül képes mérni, ahol a adott fém a lehető legnagyobb emissziós tényezővel rendelkezik. Számos fém esetében a mérési hiba nő a hullámhossz függvényében, így a mérésnél az alkalmazható legkisebb hullámhosszt kell alkalmazni. (lásd 6. ábra)

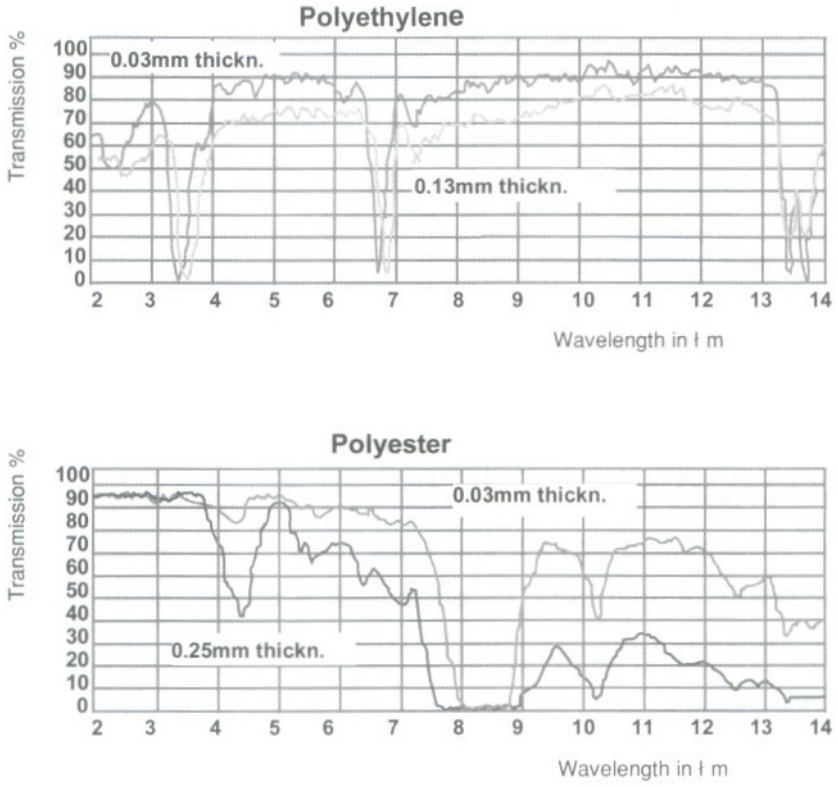


6. ábra: Mérési hiba eloszlás 10%-os pontatlansággal beállított emissziós tényező esetén, a hullámhossz és a hőmérséklet függvényében

Magas hőmérsékletű fémek mérésénél az optimális hullámhossz 0,8 - 1,0μm, de 1,6, 2,2 és 3,9μm hullámhossz tartományok szintén alkalmazhatók. Széles hőmérséklettartományt átfogó folyamatoknál jó eredményt lehet elérni kettős hullámhosszú (arány) pirométerekkel, mivel az emisszió folyamatosan változik a hőmérséklet függvényében (bővebben a 3. fejezetben).

2.1.3. Műanyagok mérése

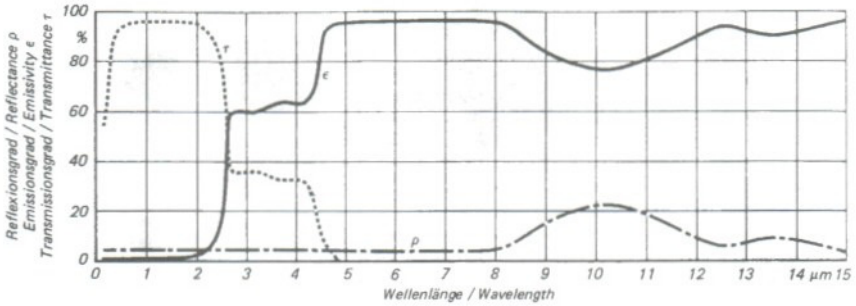
A műanyagok áteresztő képessége függ a hullámhossztól, és különösen az anyag vastagságától. A vékony műanyag testek inkább áteresztők mint a vastagok. Annak érdekében, hogy optimális hőmérsékletmérést tudjunk biztosítani, fontos olyan hullámhossz alkalmazása, amelynél az áteresztőképesség közel 0. Néhány műanyag (polietilén, polipropilén, nylon, és polisztirol) nem ereszt át 3,43μm-en. Mások (poliészter, poliuretán, teflon FEP és a poliamid) 7,9μm-en. Vastagabb (>0,4mm), erősen színezet filmek esetében 8 - 14μm-es hullámhossz tartományt kell válasszunk. Abban az esetben, ha bizonytalanok vagyunk, az anyagból egy mintát kell küldeni a gyártónak, hogy határozza meg a méréshez szükséges optimális spektrális sávszélességet. A legtöbb műanyag film reflexiós tényezője 5 és 10% között van.



7. ábra: Műanyag filmek spektrális átbocsátó képessége. Vastagságtól függetlenül 0 átbocsátó képességgel rendelkezik a polietilén 3,4μm-en, a poliészter 7,9μm-en.

2.1.4. Üveg mérése

Amikor üveg hőmérsékletét akarjuk mérni IR hőmérsékletmérővel mind a reflexiót, mind a átbocsátó képességet figyelembe kell venni. Ha gondosan választjuk meg a hullámhosszt, akkor lehetséges a hőmérsékletmérés az üveg felületén és a belsejében is. Amikor a felület alatti hőmérsékletet szeretnénk megmérni, akkor 1,0; 2,2; vagy 3,9μm hullámhosszú szenzort kell alkalmazni. Azt ajánljuk, hogy a felületek mérésére 5μm-es szenzort alkalmazzon. Alacsony hőmérsékletnél 8-14μm-es 0,85 emissziós tényezőjű szenzor ajánlott annak érdekében, hogy a reflexiót kompenzálni tudjuk. Mivel az üveg gyenge hővezető képességgel rendelkezik és a felületi hőmérsékletét gyorsan változtatja, olyan mérőeszközt kell alkalmazni, aminek a válaszideje alacsony.



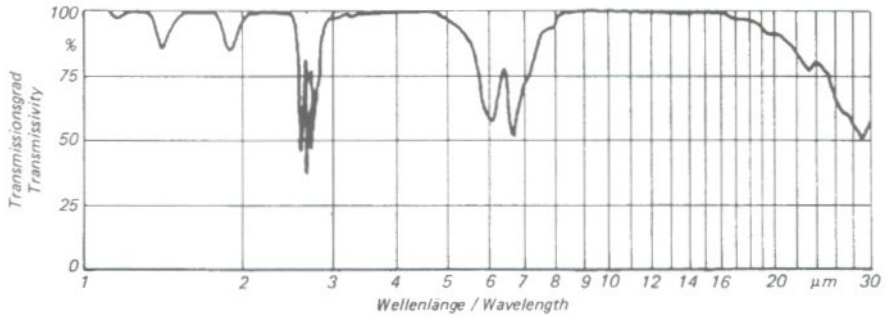
8.ábra: Üveg spektrális átbocsátó képessége

Összefoglaló:

Minden testnek van infravörös kibocsátása. Ez a sugárzás szemmel csak 600ºC felett látható. A kibocsátott hullámhossz tartomány 0,7µm és 1000µm közé esik. A fekete testek elnyelik és kibocsátják a sugárzás 100%-át, ami egyértelműen jellemzi a hőmérsékletüket. Minden egyéb testet a fekete testre visszavezetve mérnek, a kibocsátásukat az emissziós tényezővel korrigálják.

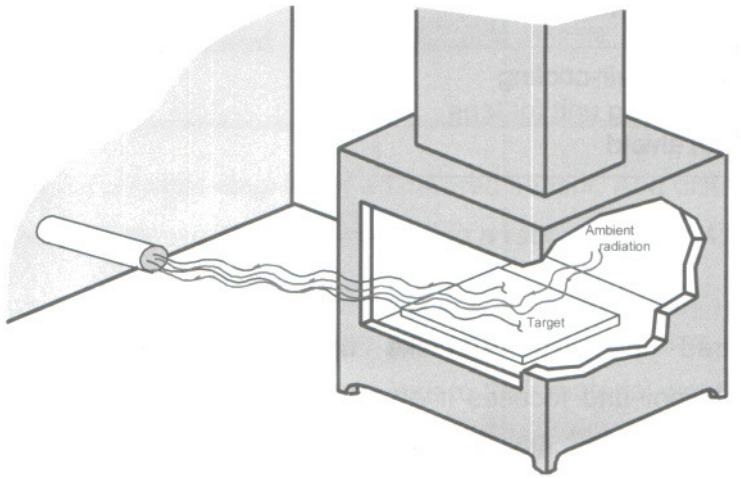
2.2 A mérés környezeti feltételei

Egy másik tényező, amire ügyelni kell az infravörös hőmérsékletmérők spektrális sávjának beállításakor, az a céltárgy és a szenzor közötti közeg átviteli képessége. A levegő egyes összetevői – ilyen a légnedvesség, a széndioxid – bizonyos hullámhosszokon elnyelik az infravörös sugárzás egy részét, ami átviteli veszteséget okoz. Ha az átviteli közegen keletkező veszteséget nem vesszük figyelembe, akkor a mért érték alacsonyabb lehet, mint a mérendő felület valós hőmérséklete. Szerencsére vannak olyan sávok, „ablakok" az infravörös tartományban, ahol a veszteség szinte nulla. A 9. ábra 1m távolság levegőben mért áteresztőképességét mutatja a hullámhossz függvényében. Tipikus mérési sávok az 1,1 - 1,7µm, 2 - 2,5µm, 3 - 5µm és 8 - 14µm. Mivel a műszereket a gyártók atmoszférikus korrekciós szűrőkkel látják el, a felhasználók sok kellemetlenségtől mentesülnek.



9. ábra : 1 m széles levegő áteresztőképessége 32ºC és 75% relatív páratartalom esetén.

A mérendő tárgy környezetéből érkező hősugárzás is kedvezőtlenül befolyásolhatja a mérési eredményt, ami különösen fémek hőmérsékletének mérésénél okoz problémát. A legtöbb infravörös hőmérsékletmérő rendelkezik beépített háttérsugárzás kompenzációval. A helyesen megállapított emissziós tényező egy másodlagos szenzor automatikus környezeti hőmérséklet kompenzációjával nagyon pontos mérési eredményhez vezet.



10. ábra: Környezeti hőmérsékletkompenzáció nagyon fontos ott, ahol a mérendő cél alacsonyabb hőmérsékletű, mint a környezete.

A por, füst és a levegőben lévő egyéb lebegő részecskék az optika bepiszkolódásához vezethetnek, amivel a mérési eredményt befolyásolják. A szálló részecskék lerakódásától védeni kell a szenzorok optikáit, amely feladatra a legalkalmasabbak az optika elé csavarozható, sűrített levegővel működő berendezések, amelyek a lencse előtti túlnyomással akadályozzák meg a por lerakódását.
Abban az esetben, amikor a mérendő folyamat során nagymennyiségű por keletkezik, és emiatt egyszerű szenzorral nem lehetséges pontosan mérni, a gyártók arány pirométert ajánlanak (bővebben a 3. fejezetben).

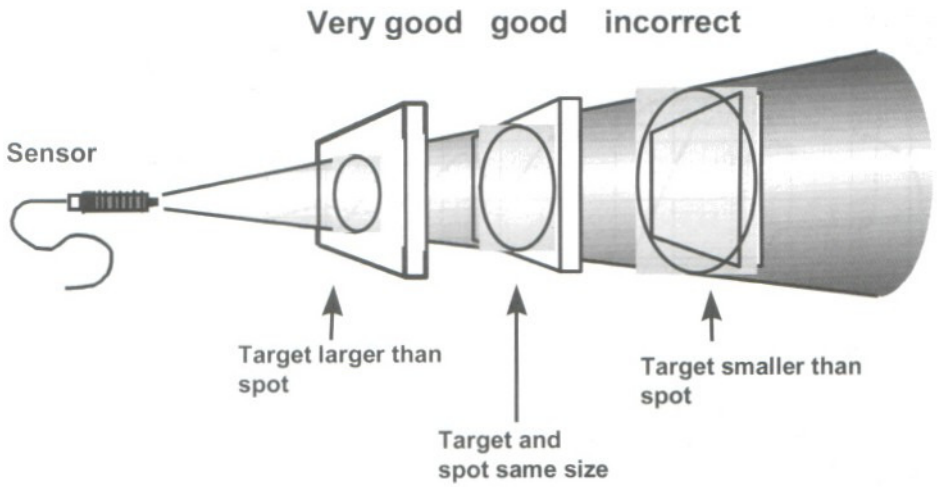
IR érzékelők olyan elektronikus eszközök, amik csak bizonyos környezeti feltételek fennállása esetén képesek pontosan mérni. Az érzékelők általában a 85ºC hőmérséklet alatti tartományban működnek, ezért 85ºC feletti környezeti hőmérséklet esetén a szenzorok hűtéséről és a vezetékek hő elleni védelméről gondoskodni kell. A vízhűtés hasznos kiegészítője az optikát védő légfúvó opció, amely megakadályozza a hűtött szenzorra történő párakicsapódást.

Összefoglaló:

Környezeti tényezők:	Megoldások:
Környezeti hőmérséklet nagyobb, mint a mérendő tárgy hőmérséklete	a. a szenzort környezeti sugárzás kompenzációval látják el b. a céltárgy hátterének eltakarása
Por, pára, lebegő részecskék a levegőben	a. az optikát védeni kell légbefúvó opcióval b. arány pirométer alkalmazása
Magas működési hőmérséklet	a. hőszigetelés alkalmazása b. vízhűtés c. légbefúvás d. hővédő pajzs

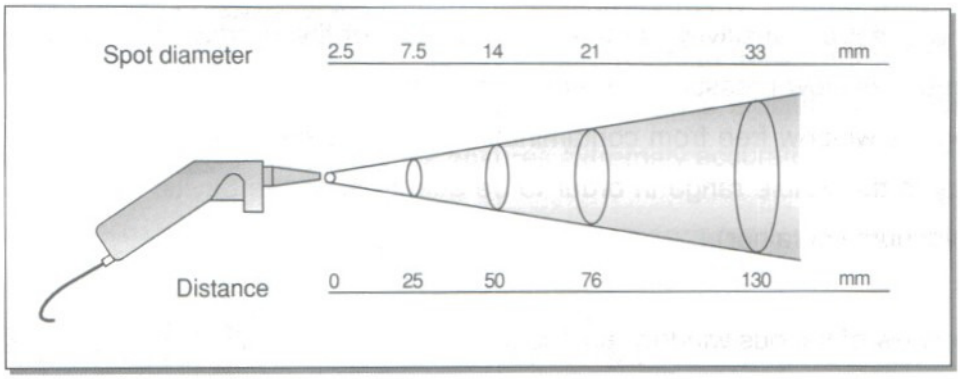
2.3 Optika és ablakok

Az infravörös hőmérsékletmérő optikai rendszere fogadja a céltárgy felületéről (kör alakban) kibocsátott infravörös energiát, és fókuszálja azt a detektorra. A célnak pontosan ki kell töltenie ezt a kört (spot), különben a szenzor a háttérben más test által kibocsátott sugárzást is észlelni fog, ami pontatlanná teszi a mérést (11. ábra).



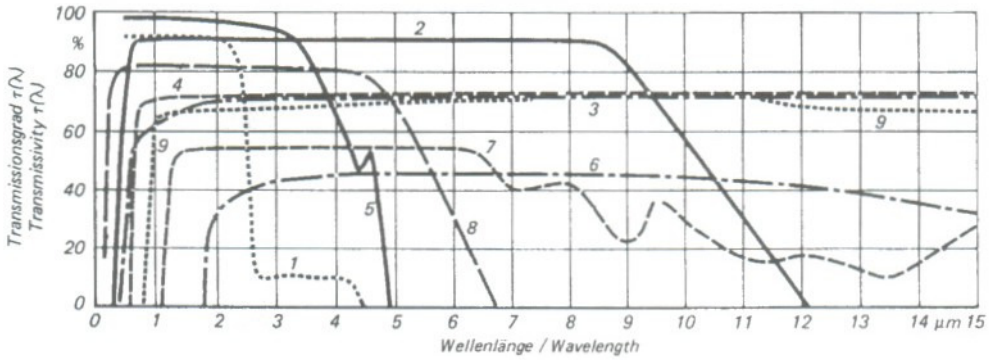
11. ábra: A céltárgynak pontosan ki kell töltenie a kört, különben a mérési eredmény pontatlan lesz (kivétel az arány pirométer)

Az optikai érzékenység jellemzésére a mérendő tárgytól mért távolság és a szenzor által érzékelt kör átmérőjének a hányadosát használják (D:S). Minél nagyobb ez a hányados, annál jobb a mérőeszköz optikai felbontása, és annál kisebb céltárgyat lehet mérni adott távolságból. (12. ábra)



12. ábra: Az infravörös szenzor optikája: 130mm távolságból a spot átmérője 33mm, ami kb. 4:1 optikát jelent

Az alkalmazott optika lehet tükör vagy lencse. Lencséket csak bizonyos hullámhossz tartományban lehet használni a lencse alapanyagok átbocsátási hullámhossztartománya miatt, pedig a készülékek tervezésének és kialakításának szempontjából kedvezőbbek. A 13. ábra mutatja az IR mérésekkor használt tipikus lencse és ablak alapanyagok átbocsátó képességét és hullámhossz tartományukat.



13. ábra: Elterjedt anyagok fényátbocsátási képessége a hullámhossz függvényében

1 – optikai üveg
2 – kálcuim-fluorid (CaF)
3 – cink-szelenid (ZnSe)
4 – KRS-5
5 – kvarc üveg
6 – germánium
7 – szilícium
8 – lítium-fluorid
9 – chalgogenid üveg IG-2

Nagynyomású kazánban, kemencében, vagy vákuumkamrában általában csak egy mérőablakon keresztül van lehetőség a méréseket elvégezni. Az ablak anyagának kiválasztásakor figyelemmel kell lenni az anyag spektrális áteresztő képességére, melyet a szenzor spektrális érzékenységéhez kell igazítani. Magas hőmérsékleten gyakran alkalmaznak kvarc üveget, alacsony hőmérsékleten (8-14µm hullámhossztartomány) azonban speciális IR áteresztő képességű anyagot kell alkalmaznunk, mint például a germánium, az amtir vagy a cink-szelenid. Az anyag kiválasztásánál tekintettel kell lenni a spektrális érzékenységére, az ablak átmérőjére, a hőmérséklet- és nyomásviszonyokra az ablak mindkét oldalán, valamint az ablak tisztántarthatóságára. Fontos továbbá az átláthatóság, amire a pontos célzást érdekében van szükség.

Az 1. táblázat áttekintést ad a különféle ablak alapanyagok tulajdonságairól:

Ablak anyagok / tulajdonságok	**Zafír Al_2O_3**	**Szilícium-dioxid SIO_2**	**CaF_2**	**BaF_2**	**AMTIR**	**ZnS**	**ZnSe**	**KRS5**
Ajánlott hullámhossz tartomány (µm)	1-4	1-2,5	2-8	2-8	3-14	2-14	2-14	1-14
Maximum ablakhőmérséklet (°C)	1800	900	600	500	300	250	250	-
Átbocsátóképesség a látható tartományban	igen	igen	igen	igen	igen	igen	igen	igen
Ellenálló képesség gőzökkel, savval, ammóniaszármazékokkal szemben	Nagyon jó	Nagyon jó	gyenge	gyenge	jó	jó	jó	jó
UHV alkalmasság	igen	igen	igen	igen	-	igen	igen	igen

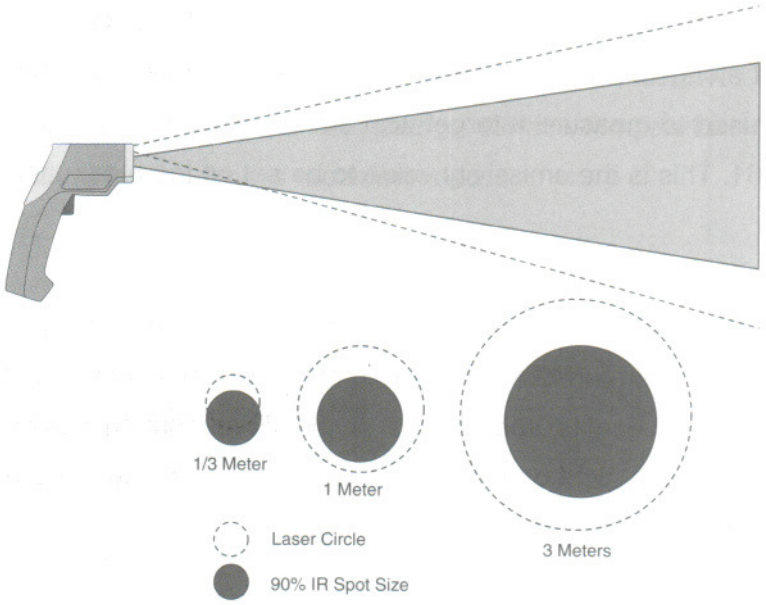
1. táblázat

Az ablakok átbocsátó képessége nagyban függ azok vastagságától. Egy 25mm átmérőjű ablaknak, amely képes 1 bar nyomásnak ellenállni, kb. 1,7mm vastagságúnak kell lenni.

A tükröződésmentes bevonat jelentősen növeli az ablakok átbocsátóképességét, egészen 95%-ig. Ha a gyártó megadja az egyes hullámhossz tartományokhoz tartozó átbocsátóképességet, akkor az átbocsátási veszteséget korrigálni lehet az emissziós tényező módosításával. Például ha Amtir anyagú,

68% átbocsátású ablakon keresztül szeretnénk mérni 0,9-es emissziós tényezővel rendelkező célt, akkor a mérőeszközön beállítandó emissziós tényező: 0,68x0,9=0,61 lesz.

A pirométereket gyakran ellátják célzó teleszkóppal vagy lézerrel, melyek lehetnek beépítettek vagy a készülék tokjára rögzítettek. A lézersugár lehetővé teszi, hogy a műszer használója a mérőpontot gyorsan és precízen irányíthassa a célra, különösen mozgó céltárgy, illetve gyenge megvilágítás esetén.



14. ábra

Különbséget teszünk a célzó lézerek között kialakításuk szerint:

1. A lézersugár és a szenzor optikai tengelye eltér
   Ez a legegyszerűbb kivitel, olyan eszközök számára, amelyeknek optikai érzékenysége kicsi (nagy felületek mérése). A lézersugár a mért felület közepét mutatja, de kis távolságnál jelentős pontatlanságot okozhat.

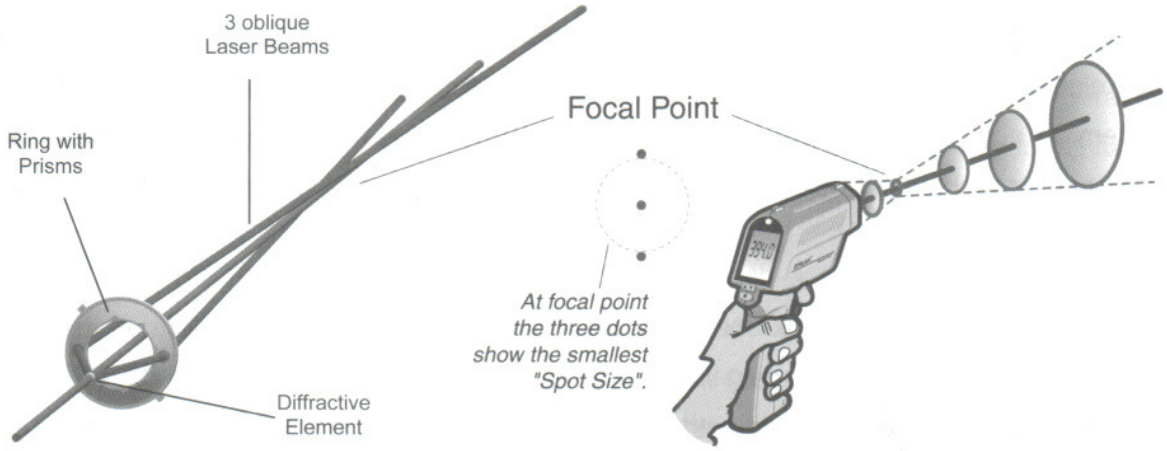
2. Koaxiális lézersugár
   A lézersugár az optika közepéből lép ki, és az optikai tengely közepén marad. A mérési pont közepe precízen jelölt minden távolságnál.

3. Kettős (iker) lézersugár
   Az iker lézer két célzó pontja nagy távolságban is megmutatja a mért felület pontos átmérőjét. Ezzel a megoldással a készülék használójának nem kell becsülnie a mérendő pont átmérőjét, ami csökkenti a mérés hibáiból fakadó pontatlanságot.

4. Kör alakú lézer eltolt tengellyel
   Ez az eszköz a legegyszerűbb megoldás arra, hogy megmutassa a mérési területnek nem csak az elhelyezkedését, hanem a méretét és az alakját is. A mérendő felület a lézer körön belül helyezkedik el, ugyanakkor a célzás csak egy bizonyos távolságon túl használható. A műszerek úgy vannak beállítva, hogy a lézersugár nyílása nagyobb legyen, mint a szenzor optikájáé. Ha a mérendő felület teljesen kitölti a lézersugár képét, akkor biztos, hogy a mérés pontos lesz (14. ábra).

5. Precíziós 3 pontos koaxiális lézer
   A lézersugarat 3 egyvonalban haladó sugárra osztják, melyek közül a két szélső a spot szélét jelöli, a középső pedig a közepét, ami a felhasználó számára lehetővé teszi a kiemelkedően

pontos célzást minden szögből és távolságból. További előny, hogy a lézer pontok megmutatják azt a távolságot, amelynél a legkisebb a mért célfelület (ahol a három lézersugár metszi egymást).



15. ábra: A preciziós 3 pontos koaxiális lézercélzás segít a mérési hibák elkerülésében. A felhasználó így maradéktalanul ki tudja használni az infravörös optika specifikációjának minden egyes pontját.

A lézersugár kiegészítéseként ajánlott célzó távcső alkalmazása azokban az esetekben, amikor a céltárgy nagyon fényes (pl. izzik), erős napfénynél vagy nagy távolságról kell mérni.

16. ábra: A lézeres célzás lehetővé teszi az apró céltárgyak mérését

Összefoglaló:
A fényképezőgépekhez hasonlóan az infravörös hőmérsékletmérőknél is az optika határozza meg, hogy mekkora lehet az eszköz által pontosan érzékelhető cél. A szenzorok optikájának jellemzésére a céltól mért távolság és a mért spot hányadosát használják (D:S). A nagyobb értékek jobb optikai felbontást jelentenek. A pontos mérés érdekében a céltárgynak teljesen ki kell töltenie a szenzor által bemért felületet. A célzás megkönnyítéséért az eszközöket lézeres vagy távcsöves célzó berendezéssel látják el. Ablakon keresztüli mérés csak a megfelelő alapanyagból készült üvegek esetén lehetséges, melyek kiválasztásánál ügyelni kell a hullámhossztartományra és a környezeti feltételekre (hőmérséklet, nyomás).

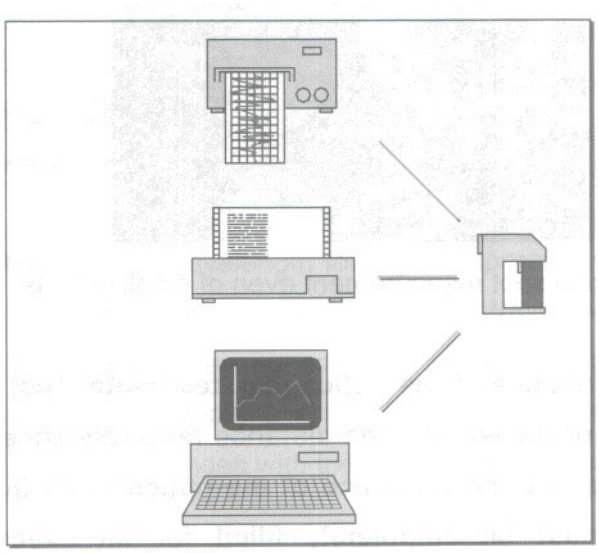
2.4 Detektorok

A detektor képezi az IR hőmérsékletmérők magját. A beérkező infravörös sugárzást elektronikus jellé alakítja, amit a műszer elektronikus rendszerén keresztül hőmérsékletértékként jelenít meg. A mikroprocesszor technológia legújabb fejlesztéseinek alkalmazása a csökkenő árak mellett is nagyobb stabilitást, megbízhatóságot, felbontást és sebességet tesz lehetővé.

Az infravörös detektorok 2 fő csoportba sorolhatók, ezek a kvantum detektorok és a hő detektorok. A kvantum detektorok (fotodiódák) közvetlenül nyelik el a beeső fotonokat, amelyek elektromos jeleket hoznak létre a detektorok kimenetein. A thermal vagy hő detektorok a beérkező sugárzás nagyságától függő mértéken megváltoztatják a hőmérsékletüket. A hőmérsékletváltozás a hőelemekhez hasonlóan feszültségváltozást okoz a detektor kimenetei között. A hő detektorok sokkal lassabbak, mint a kvantum detektorok, saját hőtehetetlenségük miatt (néhány milliszekundum a nano- és mikroszekundumos nagyságrenddel összevetve). A kvantum detektorokat képalkotó és vonalszkennereknél alkalmazzák.

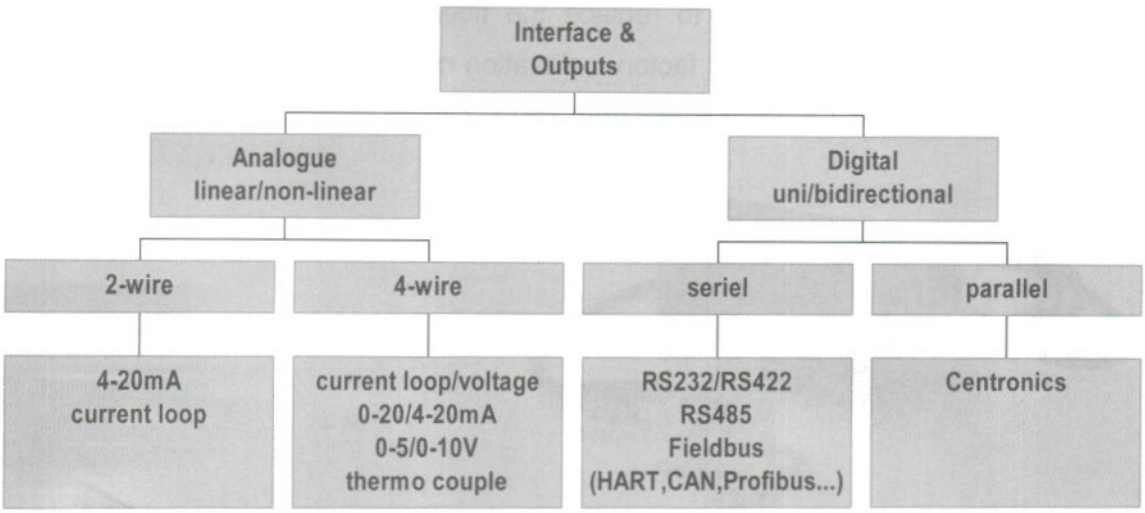
2.5 Kijelzők és interfészek

Az interfészek és a mért értéket megjelenítő kijelzők helyes megválasztása nagyon fontos a felhasználók számára. Néhány műszer – elsősorban a kézi műszerek – esetében elsődleges kommunikációs felületként kijelzőt és egy egyszerű vezérlőpanel használnak. Telepített szenzorok esetén analóg vagy digitális kimenetek vezérlik a további kijelzőket a mérőállomáson, vagy szolgáltatnak jeleket egy folyamatirányító rendszer központjának. Lehetőség van adatgyűjtők, nyomtatók és számítógépek közvetlen csatlakoztatására is.



17. ábra: Az IR hőmérők közvetlenül csatlakoztathatók adatgyűjtőkhöz vagy nyomtatókhoz.
A PC szoftver segítségével egyedi diagrammok és táblázatok is elkészíthetők.

Az ipari field-bus rendszerek egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert, mivel rugalmasabb rendszer kiépítését teszik lehetővé. A felhasználó a gyártási folyamat megszakítása nélkül, egy vezérlő állomásról változtathatja meg a szenzorok beállításait, melyre akkor lehet szükség, amikor többféle termék készül egy gyártósoron. Távirányítás nélkül bármilyen paraméter (emissziós tényező, fókusztávolság, riasztási értékek) megváltoztatását közvetlenül a szenzoron kéne elvégezni. Mivel a szenzorok többsége nehezen hozzáférhető helyekre van telepítve, a folyamatos mérést és folyamatvezérlést a lehető legkevesebb emberi beavatkozással kell biztosítani. Üzemzavar esetén (pl. túl magas környezeti hőmérséklet, áramkimaradás) a rendszer automatikusan hibaüzenettel jelez.



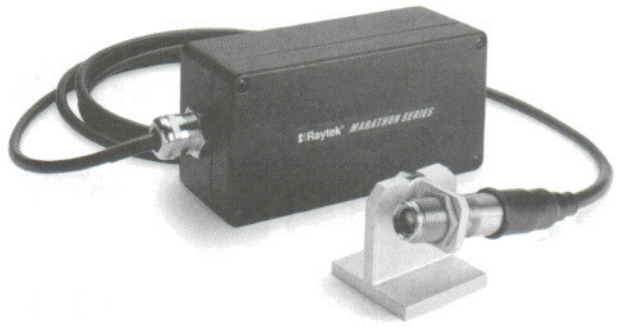
18. ábra: A jelenleg használt interfészek (kivéve Centronics)

A pirométerek címezhetősége lehetővé teszi több műszer hálózatban (általában 32db-ig) törtnő működtetését (multi-drop üzemmód), mellyel jelentősen csökkenteni lehet a rendszer kiépítésének költségeit. Többféle bus-protokoll és gateway van a piacon, melyek alkalmasak az eszközspecifikus jelek lefordítására, így ezek számítógéppel feldolgozhatóvá válnak. Az erre a célra leggyakrabban használt hardverplatform az RS485.
A digitális interfésszel redelkező pirométerek további előnye, hogy lehetővé teszik a helyszínen történő kalibrációt a gyártó által rendelkezésre bocsátott kalibrációs szoftverek segítségével.

3. Fejezet: Speciális pirométerek

3.1. Üvegszálas (fiber optic) pirométerek

Az üvegszálás pirométereket olyan helyeken alkalmazzák, ahol a mérőeszköz különösen erős elektromágneses sugárzásnak van kitéve. Az üvegszálas technológia lehetővé teszi, hogy az érzékeny elektronikus részegységeket a veszélyes zónán kívülre lehessen helyezni. Jellemző alkalmazási területei az indukciós kemencék és az indukciós hegesztés. Mivel az optikai szál nem tartalmaz elektronikus alkatrészeket, a működési hőmérsékletet jelentősen lehet emelni a hűtés igénye nélkül. Az általános felhasználási hőmérséklet 200ºC, de a legmagasabb környezeti hőmérséklet akár 300ºC is lehet. Az üzembe helyezés és a folyamatos működtetés költségei alacsonyabbak, mivel nincs szükség vízhűtésre.
A modern készülékekben a száloptika és a lencse cseréje a készülék újrakalibrálása nélkül valósítható meg, egyszerűen meg kell adni a műszernek az új optika többjegyű gyári kalibrációs számát. A száloptikás kábelek 1μm és 1,6μm közötti hullámhossztartományban képesek átvitelre, amely 250ºC feletti célpontok hőmérsékletének mérését teszi lehetővé.



19. ábra: Modern száloptikás pirométer

3.2. Arány pirométerek

Az arány pirométerek (másnéven kétszínű vagy kettős hullámhosszú pirométerek) két azonos felépítésű optikai és elektronikus mérőcsatornával rendelkeznek. A két hullámhossz tartomány egymáshoz nagyon közel van állítva keskeny sávszélességgel, hogy a céltárgy anyagspecifikus sajátosságai (reflexió, emisszió) közel egybeessenek mindkét hullámhossz tartományban. A két mérést arányosítva azokból egy matematikai műveletsor elvégzésével átlag számítható, amellyel bizonyos mérést befolyásoló tényezők kiszűrhetők. A kettős mérés elvégzésére a következő eljárásokat alkalmazzák:

1. A beeső sugárzás megosztására a detektor előtt két elforgatható szűrőt használnak, így egyszerre mindig csak az egyik hullámhossztartományban mér a szenzor. A módszer gyorsan mozgó céltárgy esetén hibás arány megállapítást eredményezhet (a két csatorna nem ugyanazt az egy pontot méri).
2. Az érzékelt sugárzás megosztható egy prizmával is, ilyenkor két detektort használnak eltérő szűrőkkel.
3. A beérkező sugárzást nem osztják meg, hanem szendvics szerkezetű detektorokat alkalmaznak, amelynél a két detektor egymás mögött helyezkedik el. Az első detektor szűrőként is funkcionál a második előtt.

A következő egyenletet felhasználva kiszámítható a mért hőmérséklet. Az egyenletben az egyes csatorna hullámhossza λ_1, a kettesé λ_2, a mért hőmérséklet T_{meas}:

$$1/T_{meas} = 1/T_{target} + (\lambda_1 \lambda_2) / (c_2(\lambda_2 - \lambda_1)) \ln(\varepsilon_2/\varepsilon_1)$$

Abban az esetben, amikor az emissziós tényező mindkét csatorna esetében azonos, akkor a + jel utáni kifejezés értéke nulla, így a mért hőmérséklet megegyezik a céltárgy hőmérsékletével ($T_{meas}=T_{target}$, c_2: második sugárzási állandó, μmK).

Ugyanezt az elvet lehet alkalmazni az A célfelület esetében is, ami A_2 és A_1 mindkét csatorna esetében megegyezik, így a + jel utáni kifejezés a következőképpen néz ki:

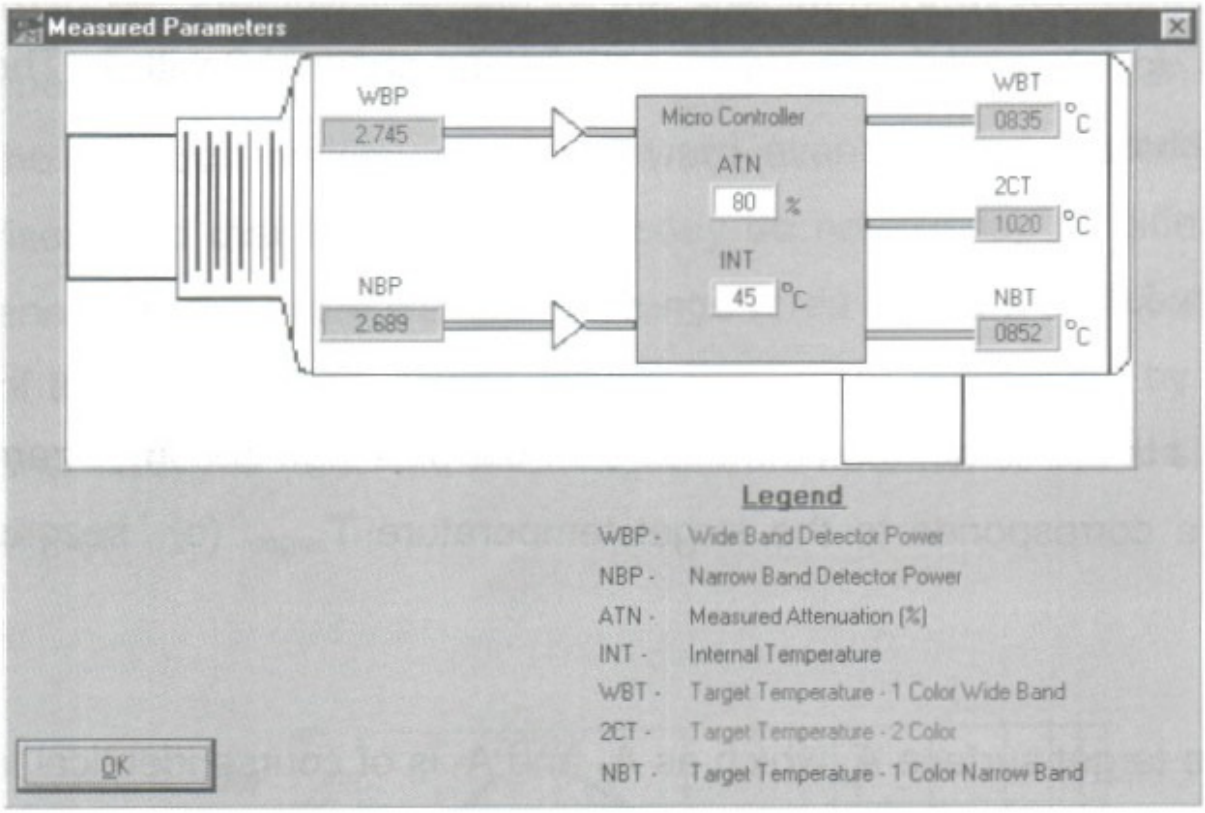
$$1/T_{meas} = 1/T_{target} + (\lambda_1 \lambda_2) / (c_2(\lambda_2 - \lambda_1)) \ln(A_2/A_1)$$

A mérés tehát független a mért felület méretétől. A szenzorra eső sugárzás arányosan csökken nemcsak a kisebb mért felületnél, hanem akkor is, amikor a szenzor csak egy rövid ideig látja a céltárgyat. Így olyan testek hőmérséklete is megmérhető, amelyek a szenzor válaszidejénél rövidebb ideig tartózkodnak annak látómezejében.

Hasonlóképpen küszöbölhetők ki a cél és a szenzor közötti átviteli közeg tulajdonságaiból származó mérési pontatlanságok is. Ezek az eszközök akkor is nagy pontossággal alkalmazhatók, amikor por vagy füst csökkenti a céltárgy által kibocsátott sugárzást. A modern készülékek érzékelik a szennyezett optika okozta sugárzáscsökkenést, és a beállított szennyezettség túllépésekor riasztójelzést küldenek a jelfeldolgozó központba (pl. légbefúvó berendezés meghibásodása esetén).

Olyan alkalmazásokban, ahol a technológia ezt szükségessé teszi (a céltárgy körül nagy a lebegő részecskék koncentrációja), az arány pirométereket csillapító-faktor kijelzéssel látják el, hogy részletesebb információt szolgáltasson a felhasználónak.

A 20. ábra egy arány prométer PC-s kiértékelő szoftverének képernyőképét mutatja. A program a számított hőmérsékleten kívül kijelzi a két csatorna által mért értékeket, valamint az ezekből számított csillapító-faktort is.



20. ábra

Összefoglaló:

Az arány pirométerekkel a következő esetekben lehet hőmérsékletet mérni:

1. Amikor a mérendő célfelület kisebb, mint a mért spot átmérője, vagy mérete állandóan változik.
2. A céltárgy a szenzor válaszidejénél gyorsabban áthalad a mért felületen.
3. A mérendő felület por, füst vagy egyéb részecskék miatt nem megfelelően látható.
4. A mérés alatt a cél emissziós tényezője változik.
5. A csillapító-faktor kiegészítő információkat ad a folyamatról (pl. szennyezett lencsék vagy ablakok), amivel riasztójelzés vezérelhető.

2. Táblázat

A következő anyagok oxidált felülettel szürke testeként viselkednek, és ε=1 relatív emissziós tényezővel, mérhetők:
Vas Kobalt Nikkel Acél Rozsdamentes acél

3. Táblázat

A következő anyagok sima, nem oxidált felülettel nem szürke testekként viselkednek, mérésüknél ε=1,06 relatív emissziós tényezővel kell számolni:	
Vas	Acél
Öntöttvas	Rozsdamentes acél
Kobalt	Tantál
Nikkel	Ródium
Wolfram	Platina
Molibdén	

Alkalmazástechnikai tanács kérése

GLOBAL FOCUS Kft. **Raytek képviselet** Tel: (1) 481-1161, 481-1231 Fax: (1) 203-4355 Email: info@globalfocus.hu Web: www.globalfocus.hu	Dátum:

A kérést küldte

Név	:
Cégnév	:
Cím	:
Telefon	:
E-mail	:
Mérendő anyag leírása	:
Felülete	:
Mérési távolság	:
A mérendő célfelület mérete	:
Maximális elfogadható válaszidő	:
Becsült környezeti hőmérséklet	:
Szükséges kimenetek / interfész	:

A kívánt felhasználás leírása