

Termográfiai felvételek kiértékelése

Szerző: Rahne Eric, okl. villamosmérnök
Copyright © PIM Professzionális Ipari Méréstechnika Kft.

A termografiát mint képkötő hőmérsékletmérési eljárást elsősorban mérési adatok gyűjtésére alkalmazzák, de az adatokat a mérés során vagy az után megfelelően feldolgozni, esetenként megjeleníteni vagy dokumentálni is kell. A konkrét mérési feladattól függően igen különbözőek lehetnek a hőképek kiértékelésére vonatkozó követelmények.

Amíg egyes esetekben elegendő egy-egy képpont (mérőpont) konkrét hőmérsékletének számszerű meghatározása, úgy máskor egész képsorozatok felvétele és feldolgozása szükséges a kívánt hőmérséklet-folyamatok (például hőmérséklet-idő diagram formájában történő) kiértékeléséhez. Ezen felül az adatok feldolgozásának időpontja szerint is különbséget tehetünk: e műveletet el lehet végezni on-line (élő, akár valós idejű) módon rögtön a mérés során, vagy az eltárolt digitális adatok utólagos (többnyire PC-n történő) feldolgozása révén is.

Helyszini (azonnali, élő) kiértékelés

Gyakran már a mérés közben szükségessé válik az adatok kiértékelése és "feldolgozott" megjelenítése. Az úgynevezett élő kiértékelés gyakorlatilag a hőkamerában lévő üzemeltetési (kezelői) szoftver részét képezi, illetve annak "beépített" bővítését jelenti, így kezelése is integrálódik a hőkamera üzemeltetésének folyamatába. Keretes felsorolásunk a legtöbb modern termékbe integrált élő kiértékelési funkciókat foglalja össze. A funkcióknak köszönhetően – például ellenőrző (inspekciós) mérések során – már nem is szükséges a hőképeket utólagosan egyenként kiértékelni. (Tipikus eset például, hogy 50 °C-nál magasabb értékek sehol sem fordultak elő, tehát minden rendben van.) A felsorolt kiértékelési lehetőségeken túl megemlíjtük még a mérések, a képtárolás vagy akár a technológiai folyamat (ha a hőkamera megfelelő kimenete össze van kötve a technológiával) triggerelési lehetőségét. Gyakran igen sokat segít, ha például a képtárolás automatikusan akkor történik, amikor bekövetkezik egy előre beállított maximumérték túllépése.

Hőkamerákba épített élő kiértékelőfunkciók

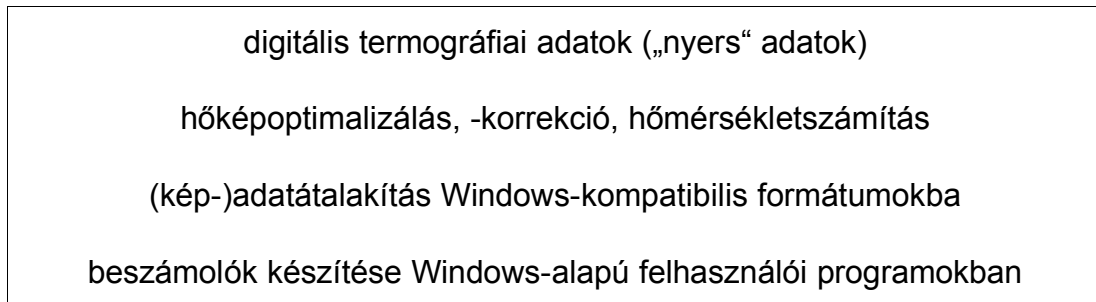
- hőmérsékletskála
- képpont-hőmérséklet kijelzése
- kurzoros hőmérséklet-kijelzés
- minimum és maximum hőmérséklet kijelzése
- többpontos hőmérséklet-kijelzés
- többfelületes hőmérséklet-kijelzés
- több hőmérséklet-színskála
- izotermák kijelzése
- tárolt felvételek kijelzése
- hőképpmentés grafikai fájlként
- képgaléria megjelenítése
- különbségképző képmegjelenítés
- háttértároló képeinek kijelzése

A fenti funkciók révén - pl. ellenőrző (inspekciós) mérések során - már nem is szükséges a hőképeket utólagosan egyenként kiértékelni. (Tipikus eset: „50°C-nál magasabb értékek nem voltak sehol - tehát minden rendben van.“)

Az említett kiértékelési lehetőségeken túl említjük még a mérések, a képtárolás vagy akár a technológiai folyamat (ha a hőkamera megfelelő kimenete a technológiával van összekötve) triggerelési lehetőségét. Gyakran igen sokat segít, ha pl. a képtárolás automatikusan akkor történik, amikor egy előre beállított maximumérték túllépése következik be.

Szoftvereszközök az utólagos termográfiai adatkiértékeléshez

Az adatkiértékelési folyamat lépései



A termográfiai beszámolók, mérési jegyzőkönyvek és egyéb dokumentációk készítése során az ábránkon bemutatott módszer abból indul ki, hogy a speciális termográfiai adatok feldolgozását csak addig kell erre kifejlesztett - különleges képességű, feladatspecifikus - szoftverrel végezni, amíg az adatokból nem készült olyan adatformátum vagy (kép)információ, amely a legtöbb felhasználónál úgyis meglévő Windows-programokkal (szöveg- vagy képszerkesztővel) a továbbiakban feldolgozható. Ennek legnagyobb előnye, hogy a PC-technológia viharos fejlődésének köszönhetően a legújabb hardver- és szoftvertermékek által nyújtott kényelmi szolgáltatások rögtön alkalmazhatóvá válnak a dokumentációk készítése során anélkül, hogy a speciális termográfiai kiértékelőszoftvert ehhez frissíteni vagy cserélni kellene.

A termográfiai „kép“-adatok különlegesége

A termográfiai adatok valójában nem képadatok – az ezeket tartalmazó fájlok tehát semmiképpen sem grafikus képfájlok. A termográfiai nyers adatok (megfelelő fájlokba tömörítve) képpontonként tartalmazzák a regisztrált sugárzási intenzitást és minden más fontos adatot is, amelyek alapján utólagosan minden egyes "képpont" - helyesebben mérőpont - hőmérséklete korrekt módon kiszámítható.

A termográfiai fájlok tartalma általánosan a következőkből áll:

- Digitalizált sugárzásintenzitási detektorjel minden egyes mérőpontról
- az alkalmazott hőkamera típusa (például rövid- vagy hosszúhullámú) és kalibrálási adatai
- további információk a hőmérséklet-számításhoz, például környezeti hőmérséklet, mérési útvonal átviteli paraméterei, mérési (kalibrálási) tartomány, kamerabeállítási paraméterek, tárgy távolság, nagyítás
- tárgy emissziós tényezője (ha adott vagy megtörtént a meghatározása)
- megjegyzés (felhasználóspecifikus)
- mérési dátum és idő

A termográfiai fájlok általában nem jeleníthetők meg az elterjedt grafikai programokkal. A pontonkénti hőmérsékletek csak a megfelelő termográfiai szoftverrel számíthatók, mivel ehhez a hőkamera specifikációjának (fizikai modelljének) megfelelő hőmérséklet-számítási algoritmus szükséges, amely a sugárzási intenzitás és a hőmérséklet közötti összefüggés alapján végzi el a számítást. A specifikus algoritmus pedig a hőkameragyártók szellemi tulajdonát képezi, és ezért nem férhető hozzá szabadon. Ez a körülmény és a nagy számítási igény ahhoz vezetett, hogy a termográfiai adatok kiértékeléséhez különféle speciális szoftvereket (termográfiai kiértékelőszoftver) hoztak forgalomba. Kaphatók "konvertálószoftverek" is, amelyek megfelelő algoritmus alkalmazásával átszámítják a nyers adatokat képpontonkénti hőmérsékletadattá (az eredmény ekkor a digitális hőmérsékletadatokat mátrixa, de ez többé nem skálázható vagy korrigálható).

A termográfia alkalmazási lehetőségei

Tipikus alkalmazási területek és felhasználási példák

Táblázatunkban tipikus alkalmazási területeket és felhasználási példákat mutatunk be a termográfia gyakorlati alkalmazásából. A felsoroltakon felül egyre gyakoribbak a különleges (például műanyag, üvegfelületen végzett) termográfiai mérések, amelyekkel sorozatunk következő részében foglalkozunk részletesen.

- ◆ **Épületek, építészet**
 - Szivárgások és tömítési hibák keresése
 - Rejtett vezetékek feltárása és helyzetük pontos meghatározása
 - Klímatechnikai berendezések működésének optimalizálása és minősítése
 - Fűtő- és hűtőberendezések (felületek) működésének ellenőrzése
- ◆ **Épület- és klímatechnika**
 - Szivárgások és tömítési hibák keresése
 - Rejtett vezetékek feltárása és helyzetük pontos meghatározása
 - Klímatechnikai berendezések működésének optimalizálása és minősítése
 - Fűtő- és hűtőberendezések (felületek) működésének ellenőrzése
- ◆ **Energiaipar**
 - Villamos berendezések (transzformátorok, szigetelők, kapcsolók, levezetők, kábelek, kötések, elosztóberendezések nagy-, közép- és kisfeszültségű hálózatokban) állapotfelmérése
 - Hőelosztók és hőtávvezetékek állapotának felmérése
 - Hővesztések felismerése
 - Cső- és berendezésszigetelések felmérése
- ◆ Ipari alkalmazások a fejlesztés, gyártás és folyamatellenőrzés területén
 - Termékfejlesztés és -optimalizálás speciális termikus követelményeknek megfelelően
 - Gyártási folyamatok optimalizálása különleges folyamat-hőmérsékleti követelmények esetén (például a fűtési vagy hűtési ciklusok beállítása, hangolása)
 - Roncsolásmentes anyagvizsgálat és minőség-ellenőrzés
 - Elektronikus és mikroelektronikus kapcsolások és elemek hibáinak keresése (például rövidzárlat, termikus túlterhelés)
 - Villamos berendezések (fő- és alelosztók, kapcsolószekrények, egyéni bekötések, villamos fogyasztók) ellenőrzése
 - Állandó vagy időszakos technológiai, illetve tűzvédelmi ellenőrzés (például szeméttárolók, széntárolók, faszárítók, samotfalazás, szállítószalagok csapágypontjainak esetében)
 - Folyadékszint-detektálás (hőszigetelt tárolótartályok és csővezetékek esetén)
- ◆ Mezőgazdaság és környezetfigyelés (különösen a levegőből történő termográfia)
 - Specifikus adatok gyűjtése növénytermesztési vagy –nemesítési célból
 - Földben rejtőző anyagok felkutatása (szennyeződések, termálforrások), illetve szemételepek felmérése
 - Mikroklímaticai vizsgálatok
 - Erdőtűzek megelőzése és oltása (izzó helyek felfedezése)
 - Folyók, tavak és szennyvízelvezetések termikus terhelésének felkutatása és felmérése
- ◆ Gyógyászati alkalmazások
 - Humán és állatgyógyászat
 - Daganatok, gyulladások, perifériális keringési zavarok diagnosztizálása

Különleges termográfiai mérések

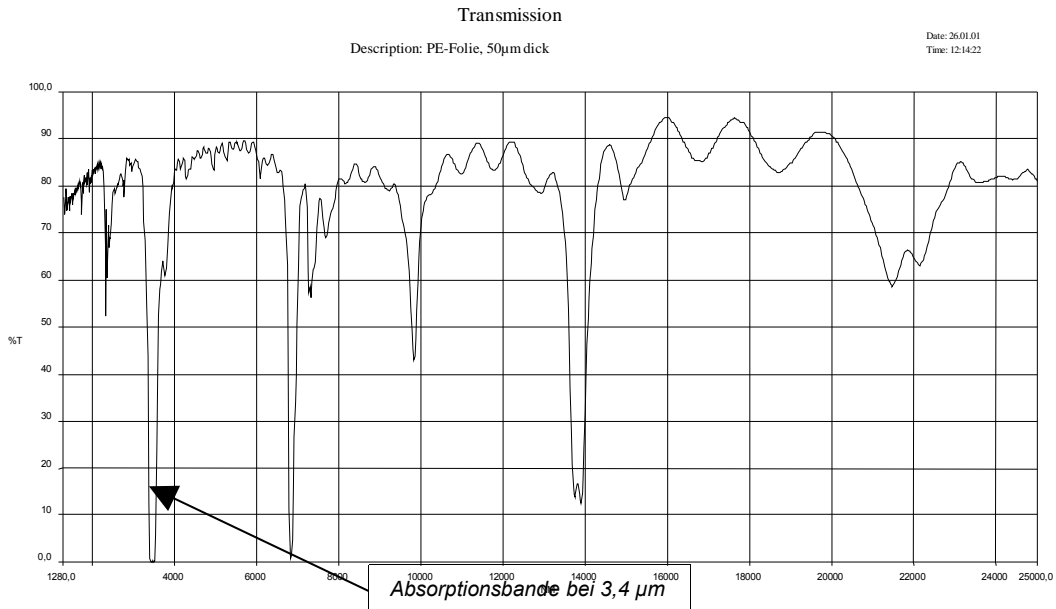
A termográfiát mint képalkotó hőmérsékletmérési eljárást elsősorban mérési adatok gyűjtésére alkalmazzák, de az adatokat a mérés során vagy az után megfelelően feldolgozni, esetenként megjeleníteni vagy dokumentálni is kell. A konkrét mérési feladattól függően igen különbözőek lehetnek a hőképek kiértékelésére vonatkozó követelmények. További problémákkal kell szembenézniük a szakembereknek, ha valamilyen szempontból nem szokványos mérésről, illetve feldolgozásról van szó.

Műanyagokon történő mérések

A termográfiai gyakorlatban a műanyagok tömör - több milliméteres vastagságú - alkatrészek formájában, vagy akár hajszálvékony fóliaként is előfordulnak. Tömör anyagként - jelentős emissziójuknak köszönhetően - mind a rövidhullámú, mind a hosszúhullámú tartományban problémamentesen mérhetők. Komplikált viszont a vékony fóliák mérése, mivel az emissziós képesség ilyenkor a fóliavastagságtól függ.

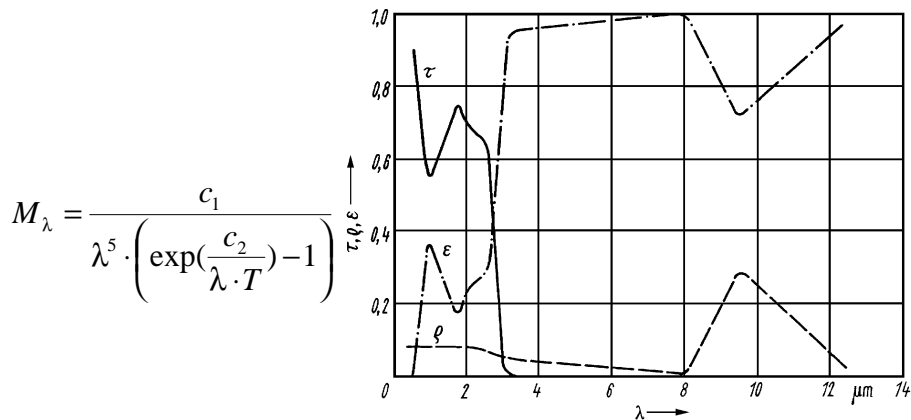
Mint minden más anyag, a műanyag is kémiai összetételének megfelelő, specifikus, spektrális függésű emissziós, illetve transzmissziós tényezővel bír. Ez a függés a műanyagok molekuláris struktúrája miatt úgynevezett sávspektrum formáját ölti. Széles - nagy áteresztőképességet mutató - tartományokat keskeny - szinte teljes mértékben abszorbáló (elnyelő) - sávok követnek. Mivel e sávok egyben közel ideális emissziós tényezőt is jelentenek, ezekre építve már vékony fóliák esetén is pontos termográfiai mérések végezhetők. A mérésekhez a hőkamerákat speciális műanyagszűrőkkel (keskenysávú áteresztőszűrőkkel) szerelik fel, és a berendezéseket ezekhez kalibrálják. Az egyik fontos - vékony PE vagy PTFE fóliák méréseire felhasználható - abszorpciós sáv 3,4 μm -nél található.

A műanyagok sokasága és a hozzájuk keverhető színező- és módosítóanyagok széles választéka lehetetlenné teszi, hogy ebben az írásban átfogó képet adjunk a különböző műanyagok spektrális emissziós tényezőiről. De az is valószínűtlen, hogy az irodalomban pont a mérni kívánt összetételű műnyagra vonatkozó adatok találhatóak meg. Ezért a legtöbb esetben a spektrális emissziós tényező kísérleti meghatározása az egyetlen lehetőség. (Az ehhez szükséges felszerelés az Infratec cég termográfiai laboratóriumában rendelkezésre áll.)



Termográfiai mérések üvegfelületeken ill. üvegen keresztül

Például izzólámpák fejlesztésénél és gyártásánál gyakran alkalmaznak nagy felbontású, rövidhullámú termográfiai rendszereket (többnyire InSb vagy PtSi alapú mátrixdetektoros rendszereket), amelyek a 2-6 vagy 3-5,5 μm hullámhossztartományban teszik lehetővé a hőmérséklet érintés nélküli mérését. Ez a tartomány különösen érdekes az üvegfeldolgozásban és az izzólámpagyártásban, mivel az igényektől függően a hőmérséklet mérése magán az üveg felületén és az üvegen keresztül is lehetséges. Ebből a célból az üveg optikai jellemzőinek a jó közelítéssel 4 μm hullámhossz alatt és felett mutatott különbségét használjuk ki (4 μm alatt viszonylag jó az üvegen keresztül történő mérés lehetősége).



Az üveg spektrális átbocsátási, reflexiós és emissziós tényezője [forrás: Infratec]

Természetesen az anyagok átvitelcsökkentő hatását -amely a vastagság növekedésével fokozódik - figyelembe kell venni a hőmérséklet számításánál. Ezzel szemben, ha az összes rövidhullámú sugárzási komponens megfelelő felületeresztő szűrővel kellően el van nyomva, a mérés és a hőmérséklet meghatározása a továbbiakban nem az üvegen keresztül, hanem magának az üvegnek a felületén lehetséges. Az üveg reflexiós tulajdonsága a 3-5 μm közötti rövidhullámú tartományban gyengébb, mint a 8- 12 μm hosszuhullámú tartományban, tehát a reflexiók - a környezet hőmérsékletének szintjétől függően - itt csak kisebb mértékben befolyásolják hátrányosan a mérési eredményeket.

Hőmérsékletmérés üvegfeldolgozás során

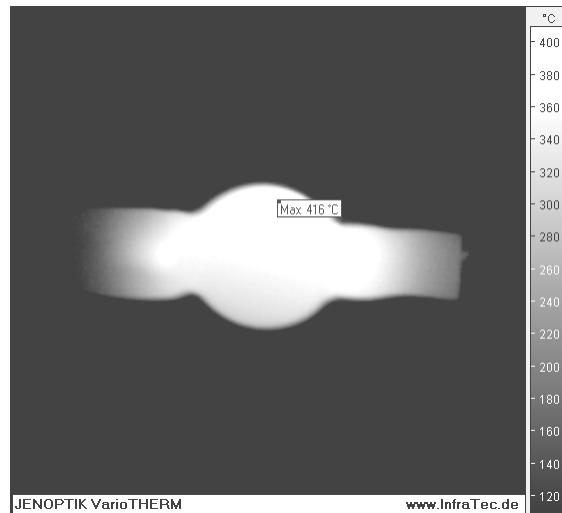
A különböző technológiai fázisokban az üveg feldolgozási hőmérsékletének mérése nagyon fontos például az izzólámpák gyártása során, hiszen már csekély mértékű hőmérséklet-változások is drasztikus hatással lehetnek a végtermék minőségére. Az üveg magas feldolgozási hőmérséklete lehetővé teszi az optimális hőmérsékletmérést a 3-5 μm spektrális tartományban. Az üveg rövidhullámú tartományban mutatott gyengébb reflexiós tulajdonságának következtében az üveg felületén jelentkező reflexiók szinte egyáltalán nem okoznak problémát, valamint a legtöbb esetben a környezet hőmérséklete is messze az üveg feldolgozási hőmérséklete alatt van. Ennek ellenére a pontos mérés érdekében a környezet hőmérsékleti elrendezésének kritikus megfigyelése szükséges. Például a közvetlen közelben lévő égőfejek által okozott forró pontok az üvegfelületen át bonyolult felületi formában verődhetnek vissza, és így nem ismerhetők fel könnyen hibaként. Sok esetben a környezeti zavaró hatások egyértelműen azonosíthatók a kamera egyszerű áthelyezésével, majd védőárnyékolással ki is iktathatók.

Az automatizált termelési folyamatban az üvegből készült alkatrészek gyakran nagyon gyorsan mozognak, így a hőmérséklet-eloszlás megjelenítése és a felvétel rögzítése nagysebességű hőképkalkoló rendszert igényel (a legtöbb esetben az 50 Hz-es képfrekvencia kielégítő). Az utólagos kiértékeléshez és az adatok archiválásához sok esetben PC-n történő valós idejű digitális tárolás szükséges, amely a megfelelő kamerainterfész mellett nagyteljesítményű számítógépet feltételez. Nyilvánvalóan ilyenkor előnyös, ha az összes kamerafunkció távvezérelhető.

Az azonos feldolgozási lépések hőmérsékletének szabályozásához fontos a hőképrögzítés folyamatvezérelt indítása (triggerelése) is. Sokszor a triggerjelek könnyen magából a rendszerből származtathatók vagy egyszerűen közvetlenül létrehozhatók például fénysorompók segítségével. Triggerelés nélkül az eltérő rögzítési idők - például a mérendő objektum gyors hűlése következtében - az egyes mérési eredmények jelentős eltéréséhez vezethetnek, vagy később az adatfeldolgozás válik igen bonyolulttá amiatt, hogy a mérendő tárgy eltérően helyezkedik el a felvételeken.

A magas feldolgozási hőmérséklet és az azzal járó ugyancsak magas környezeti hőmérséklet (valamint a mérőrendszer fröccsenő vagy szétrepedő anyagok miatti sérülésveszélye) miatt ajánlott a hőkamerát nagyobb távolságra elhelyezni a mérendő tárgytól. Ennek következményeként kielégítő geometriai felbontást garantáló speciális teleoptikai lencsét kell használni. A kisméretű lámpák (megvizsgálandó szerkezeteik 0,1 mm-nél kisebb méretűek is lehetnek) vizsgálata csak nagy geometriai felbontással - 50 vagy 100 mm fókusztávolsággal - valósítható meg. Természetesen ez komoly követelményeket támaszt a kamera rezgésmentes telepítésével szemben is.

Ha mégis közelebből - magas környezeti hőmérséklet mellett - kell a kamerát üzemeltetni, akkor az csak levegő- vagy vízhűtéses védőburkolattal használható. Teljes tokozás esetén megfelelő hullámhossz-áteresztő képességű - zafírból készült - ablakot kell alkalmazni az optika védelme érdekében. A legtöbb esetben az ilyen védőablakok jelgyengítő hatása nem okoz problémát, mindazonáltal figyelembe kell venni a hőmérséklet meghatározásánál. A védőablakokat, illetve a lencséket légfúvóval kell védeni a szennyeződésektől. Egyébként a szennyeződés nemcsak rossz minőségű hőképet eredményez, hanem gyakran jelentős mérési hibákat is, mivel a mért hőmérséklet túl alacsony.



Halogénégő üvegbúráján történő hőmérsékletmérés "üvegen-szűrő" alkalmazásával [forrás: Infratec]

Izzó belső fémalkatrészeinek mérése

A fémek esetében azok kis emissziós tényezője okoz további problémákat. Az izzószálak és az elektródák magas működési hőmérséklete viszont kedvező, mivel a fémek sugárzóképesége a hőmérséklettel együtt folyamatosan nő. Mivel a kibocsátott sugárzás megközelítőleg a hőmérséklet negyedik hatványával arányos, a visszavert sugárzási komponens az izzószál igen magas hőmérséklete esetén első közelítésben elhanyagolható (még korlátozott sávszélességnél is).

Viszont az izzók fémes alkatrészeinek (például az izzószálnak, az elektródáknak) a minimális méretei miatt szélsőségesen nagy geometriai felbontási igényeknek kell a hőkameráknak megfelelniük. Néha ezeknek a tárgyaknak a mérete a milliméter töredéke, így a 10 µm geometriai felbontású speciális lencsék jelentik az egyetlen megoldást. Bár a közgyűrűvel használt szabványos lencsék vagy teleoptikák szintén kielégítő eredményt adhatnak, de összességében ezek mindig kompromisszumot jelentenek: az alacsonyabb ár mellett gyengébb a képminőség.



Halogénlámpa 50 mm-es teleoptikával, közgyűrűvel, többrétegű üvegen-keresztüli szűrővel készült hőképe [forrás: Infratec]