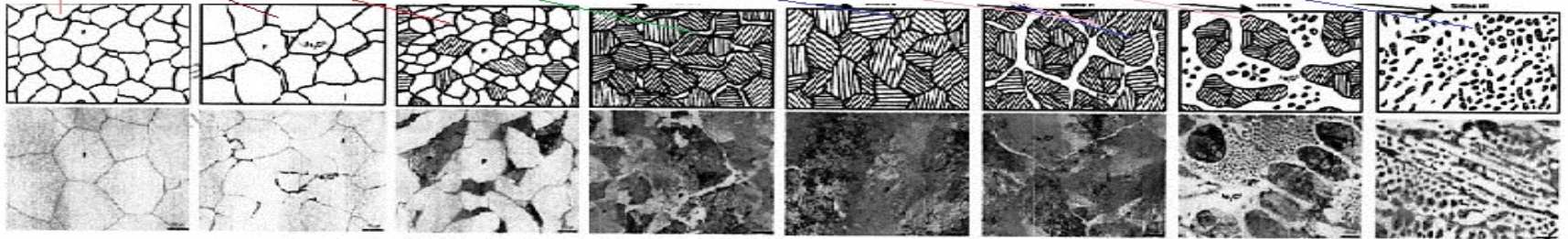
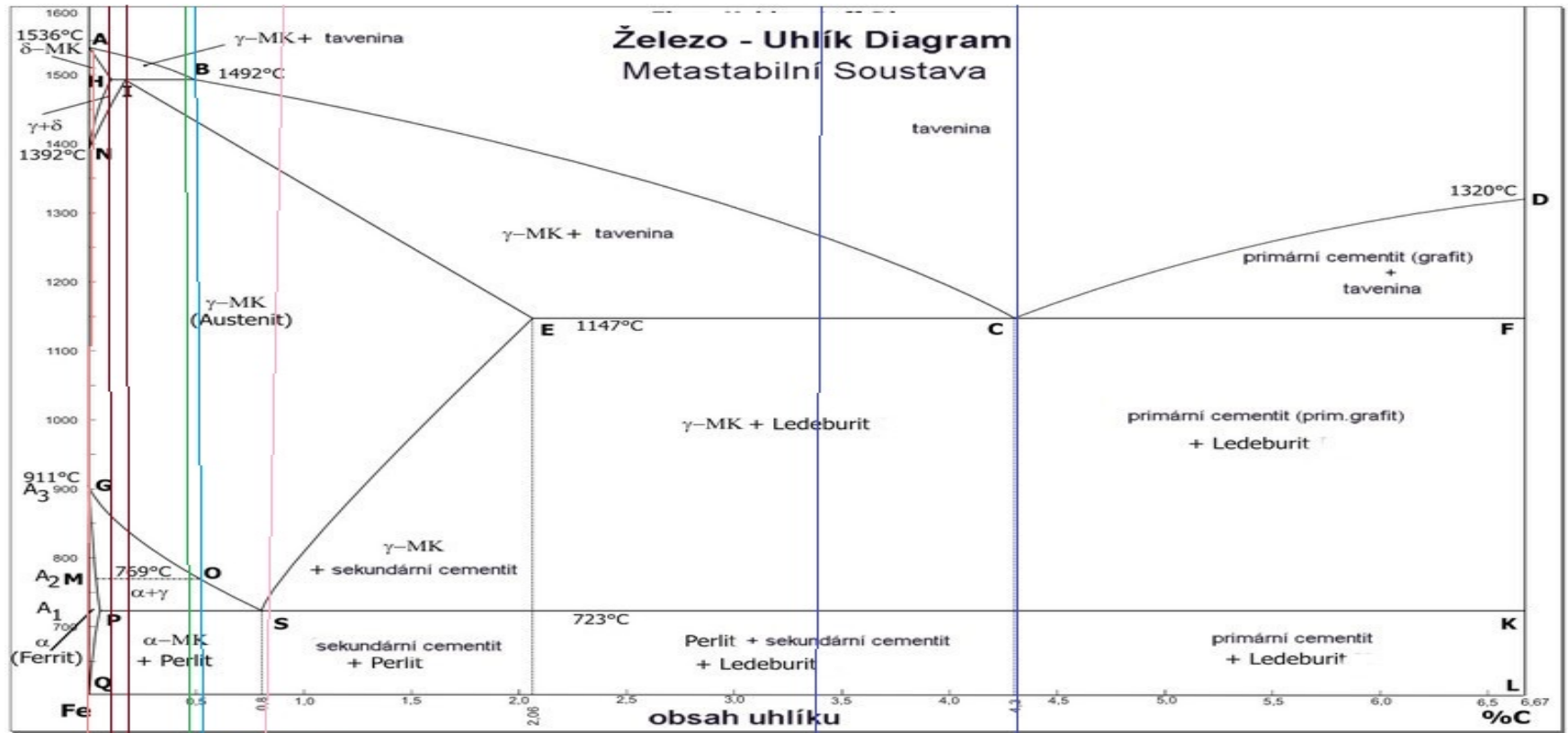
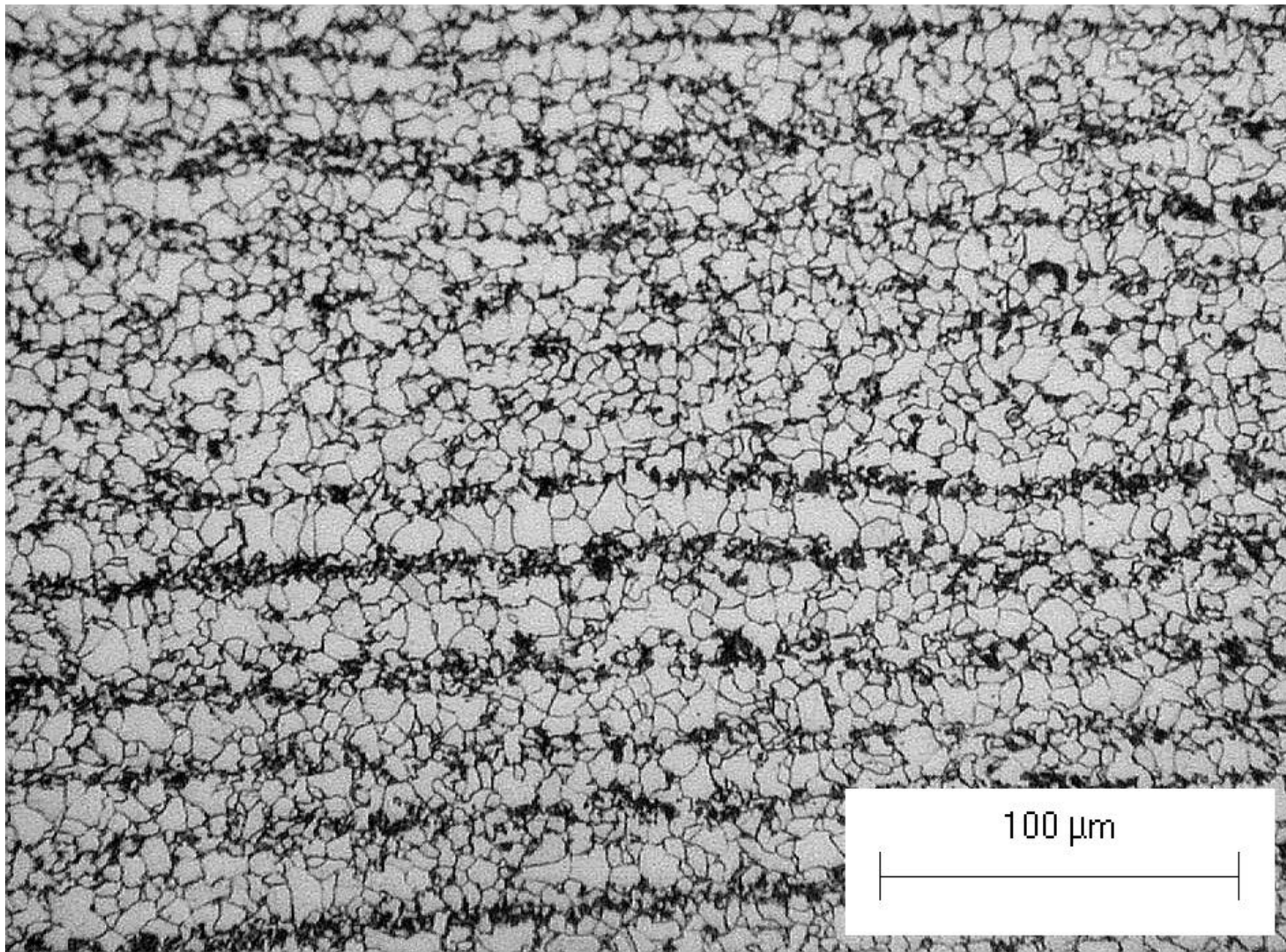


prof. Ing. Vladimír Chmelko, PhD.

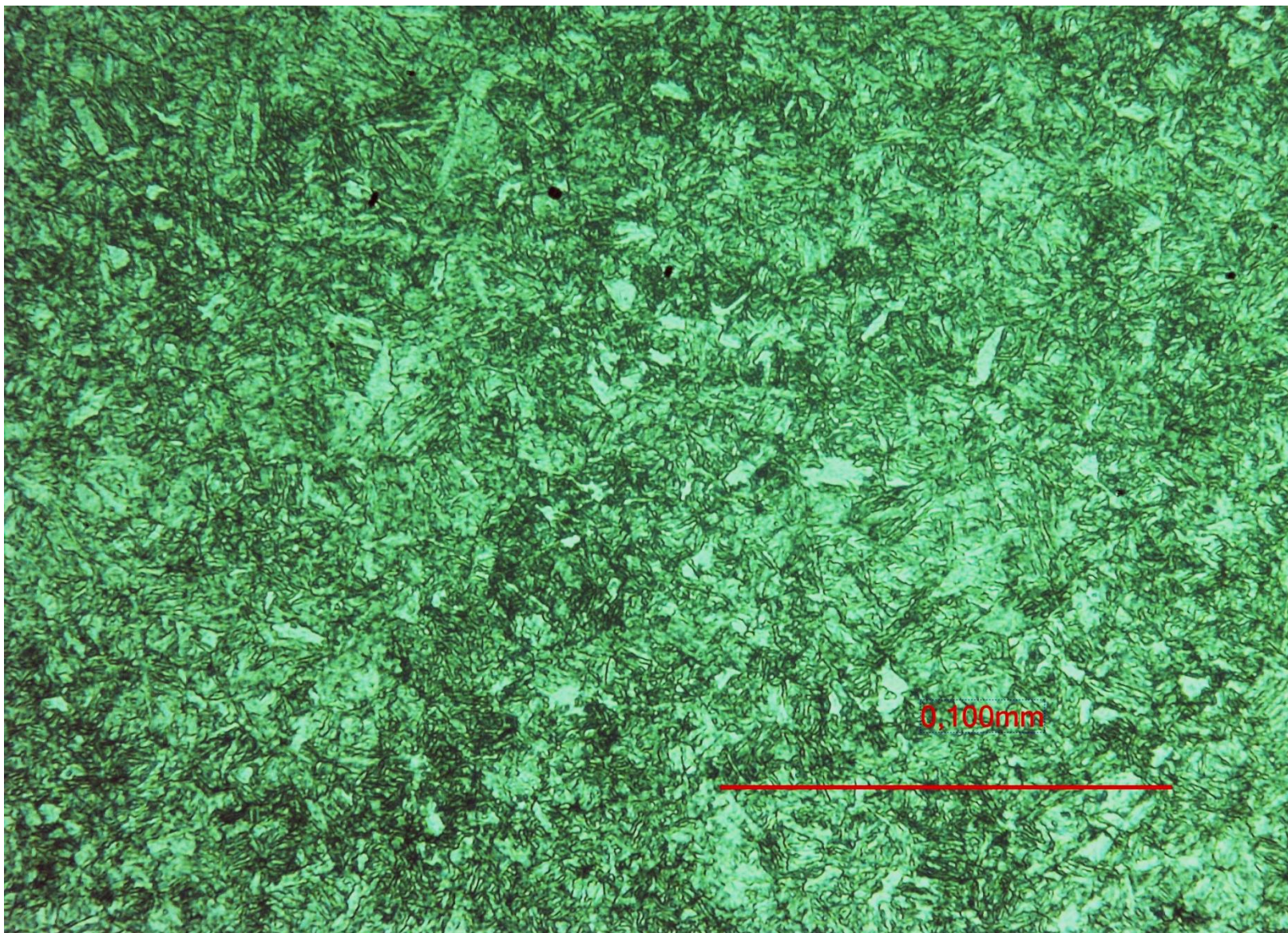
Diagnostické metody

METALOGRAFIA



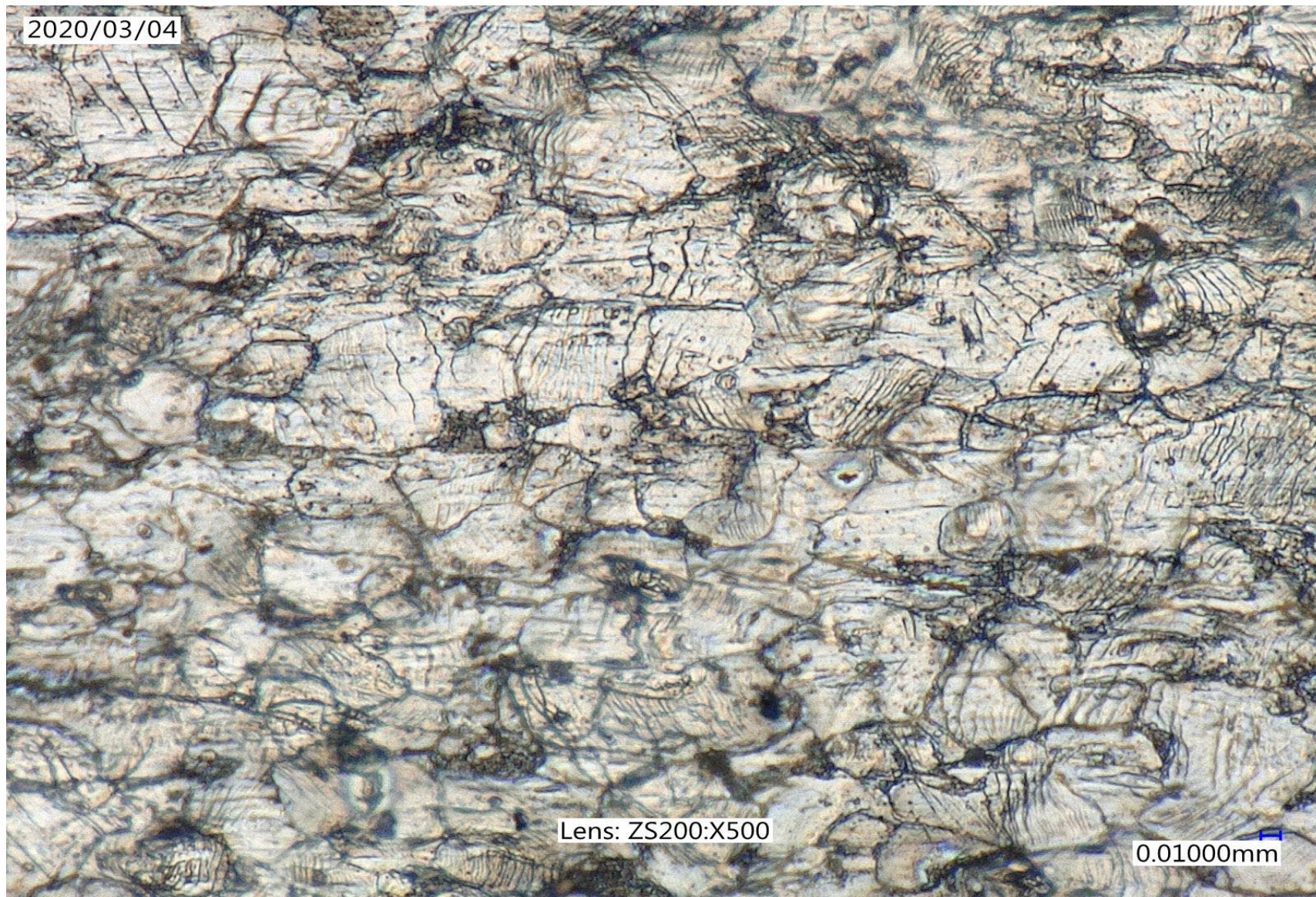


Riadkovitá štruktúra zrn feritu (biele) a perlitu (tmavé) po valcovaní – nízkouhlíková oceľ 11523



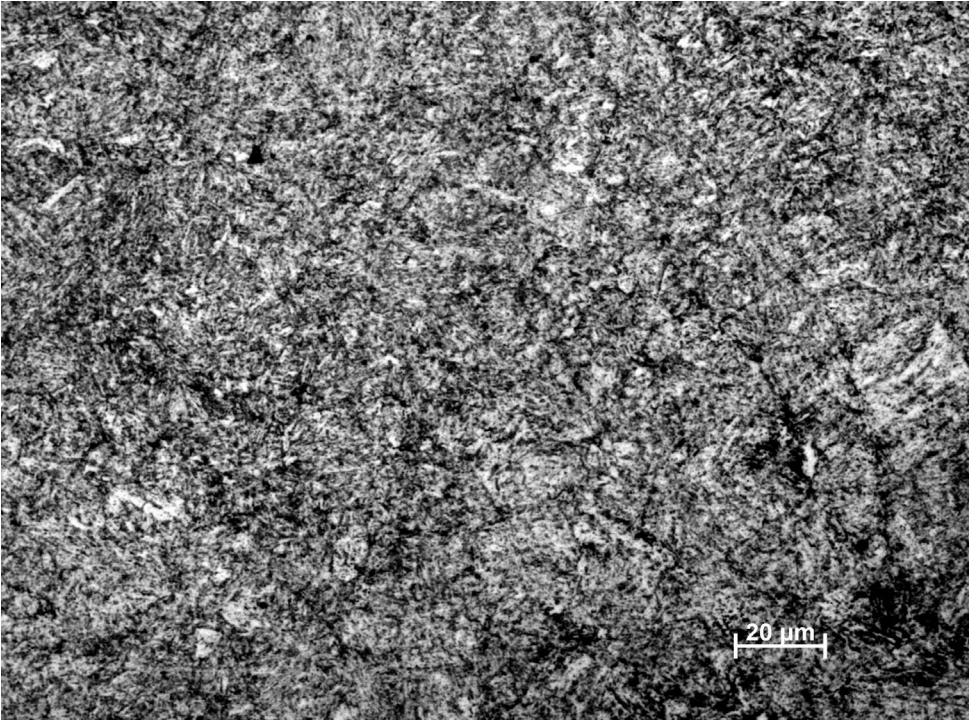
Sorbitická štruktúra zušľachtenej ocele – tr.15,16

2020/03/04



Lens: ZS200:X500

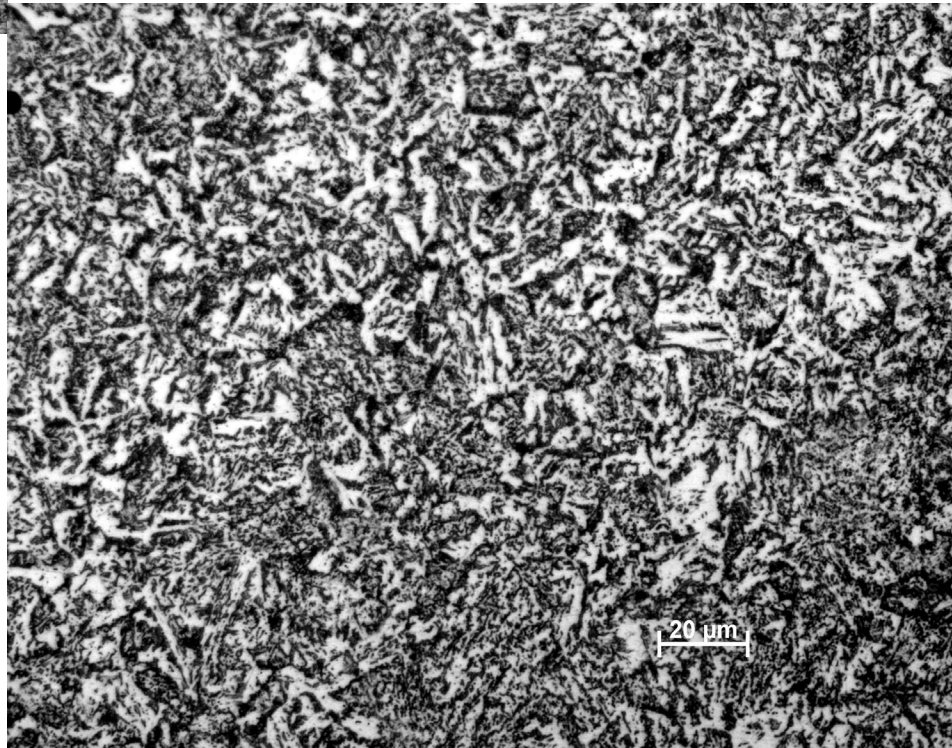
0.01000mm



Štruktúra po zušľachtení (sorbit, tr.16):

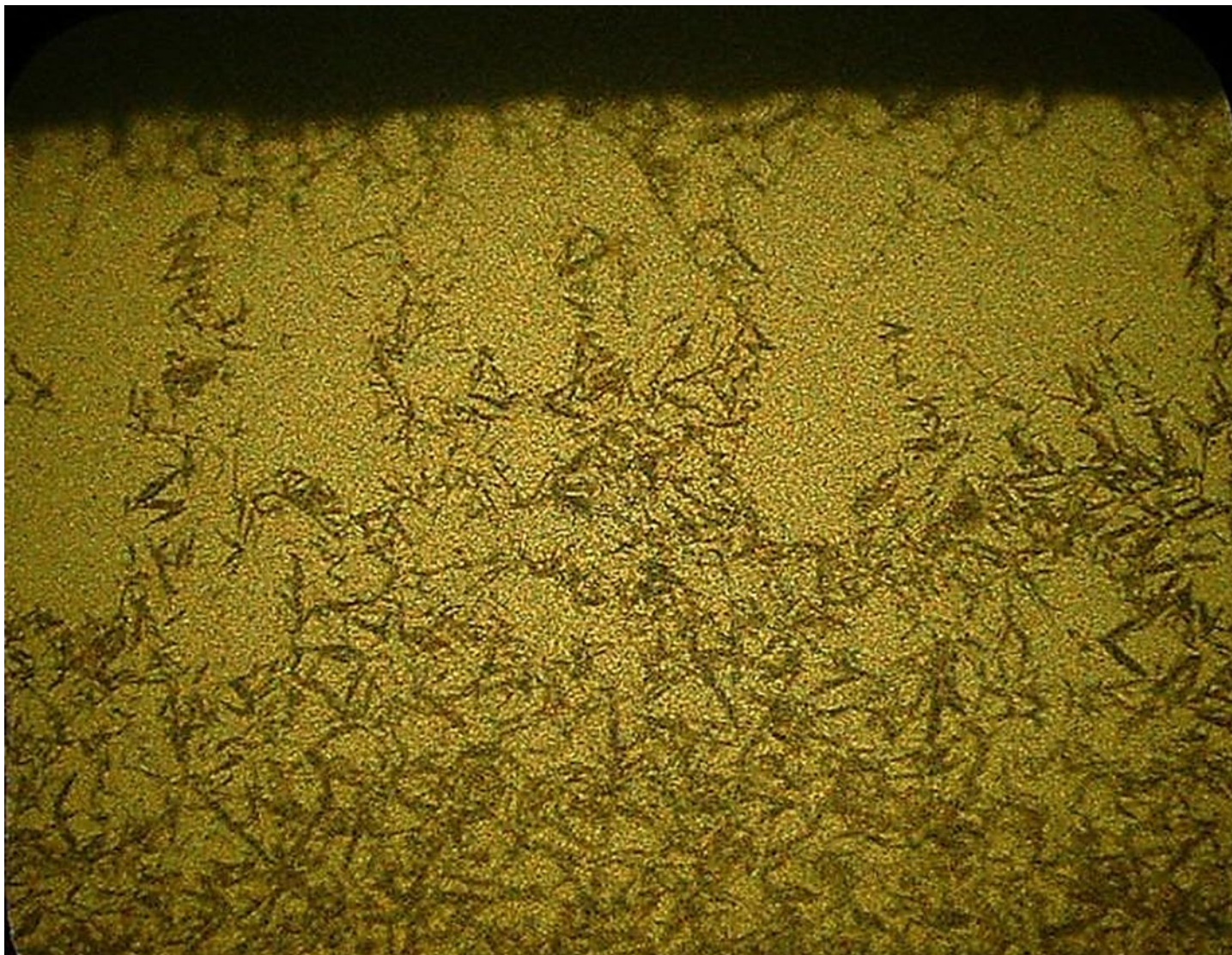
Hore – správna

Dole – zhrubnuté karbidy (biele)

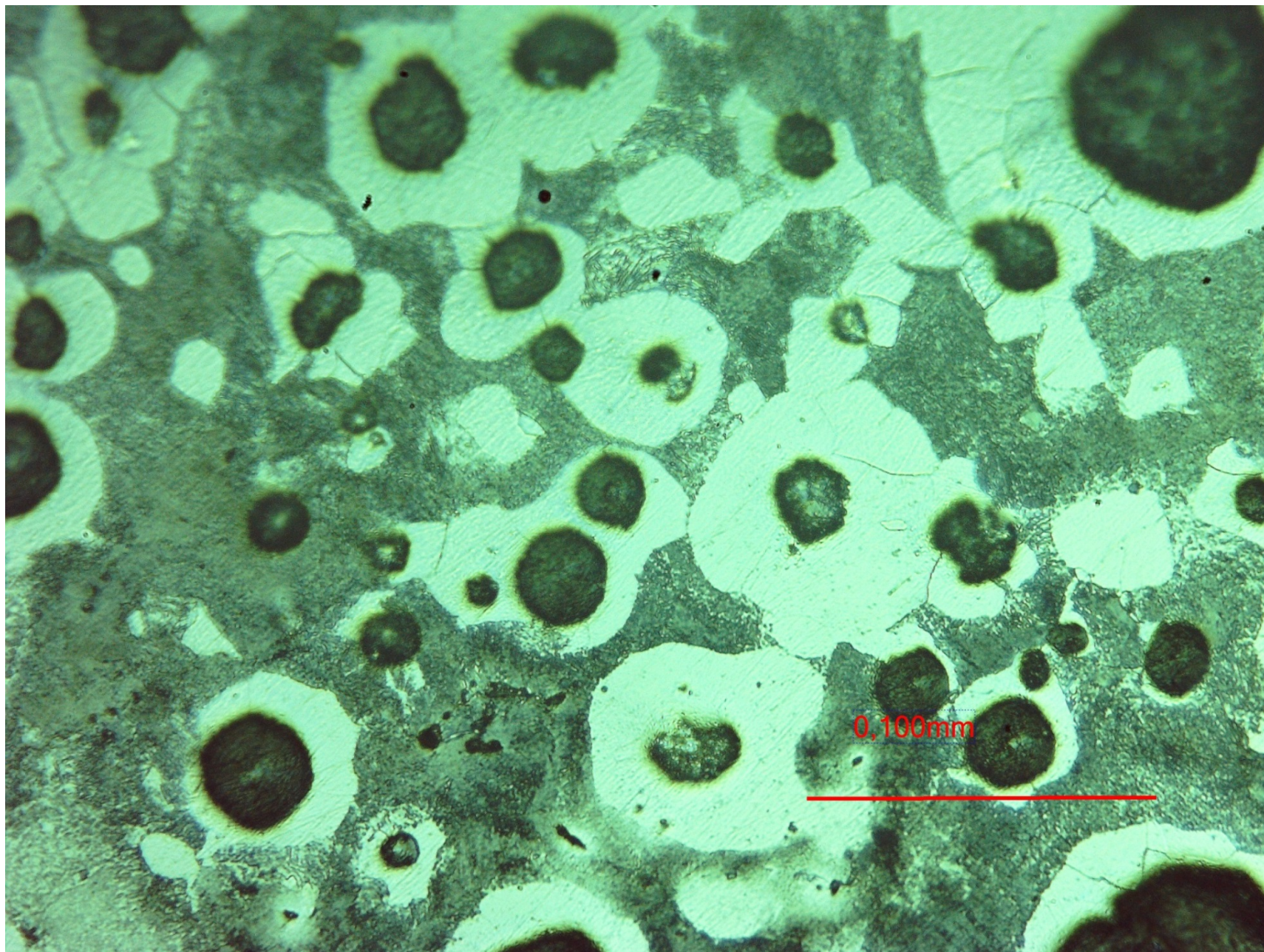




Mikroštruktúra materiálu vonkajšieho krúžku ložiska. Popustený martenzit a veľmi jemné disperzné karbidy chrómu (biele bodky)



*Mikroštruktúra povrchovej vrstvy vzorky spindle 1 po cementovaní, kalení a nízkom popustení.
Masívne ihlice horného bainitu v jemnom martenzitickom základe.
Leptané v nitale. Zväčšenie 500 x*

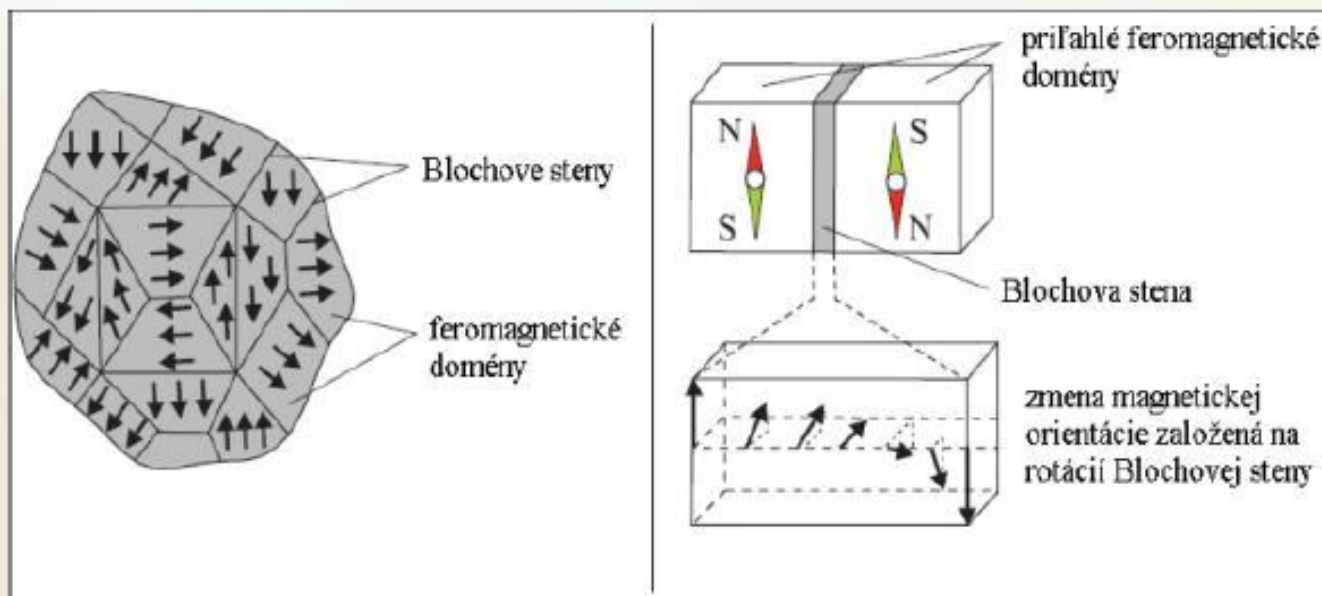


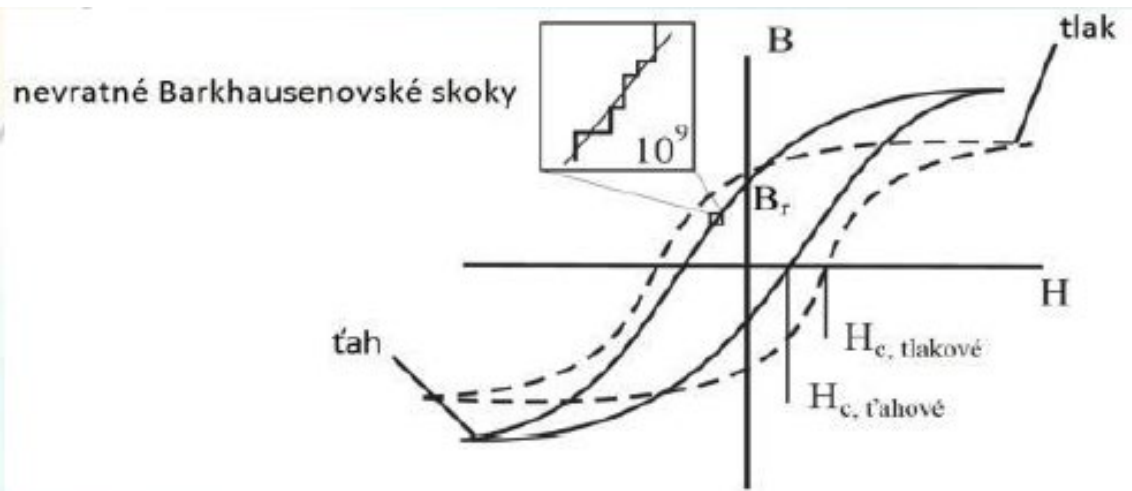
Tvárna liatina. Feriticko-perlitická štruktúra s guľôčkovým grafitom

BARKHAUSENOV ŠUM

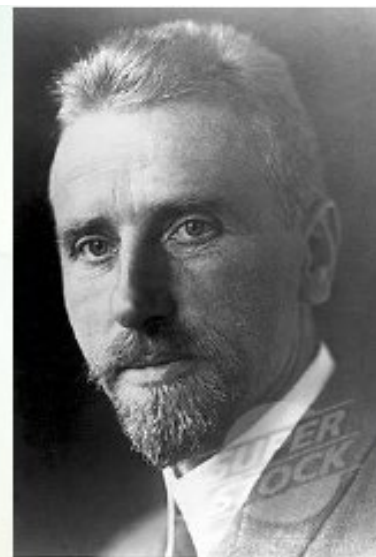
- **Barkhausenov šum (Barkhausen noise - BN)** je definovaný ako jav, pri ktorom dochádza k nespojitej (skokovitej) zmene magnetizácie pri spojitej zmene budiaceho magnetického poľa.
- Bol objavený nemeckým fyzikom **Heinrichom Barkhasuenom** v roku 1919.
- V priemyselnej výrobe sa využíva na analýzu integrity povrchov **feromagnetických** materiálov (Fe, Ni, Co, Gd) a možnosti jeho aplikácie sú stálym predmetom skúmania.

Pôsobením externého magnetického poľa sa mení orientácia **Weissových domén** v smere najmenšieho odporu. Tento odpor vzrastá v oblastiach s nepriaznivou magnetickou orientáciou oproti oblastiam s priaznivou orientáciou. Vzrast je postupný a prebieha prostredníctvom pohybu **Blochových stien**. Pri zosilnení je možné vidieť, že signál je prerušovaný a prebieha v skokoch. Nevratné pohyby Blochovej steny vedú k zvyškovej magnetizácii nazývanej remanencia B_r , ktorú môžeme merať. Na jej eliminovanie je potrebné koercitívna sila H_c .

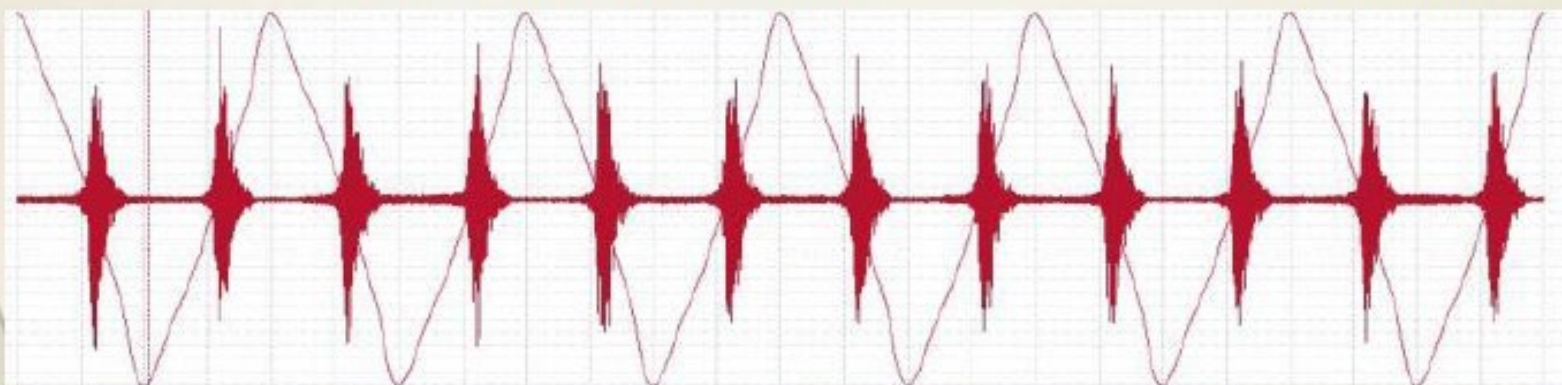




Hysterézná slučka feromagnetických
materiálov - skokovitá zmena
Barkhasenovho signálu



Heinrich
Barkhausen



Záznam neodfiltrovaného Barkhausenovho šumu

AKUSTICKÉ METÓDY

Ultrazvuková metóda NDT je objemová metóda, to znamená, že je schopná odhaliť vnútorné objemové chyby materiálu ako sú bubliny, póry, neprievary, a hlavne oproti RT rádiografickej metódy aj plošné chyby typu trhlín a pod. V oblasti tlakových nádob je to jedna z najpoužívanějších skúšobných metód nedeštruktívneho skúšania materiálov. UT sú detekované vnútorné chyby plošného typu - trhliny a objemového typu bublina, vmestok, pór, vtrúsenina, geometrických odchýliek apod. u všetkých druhov materiálov.

ULTRAZVUKOVÉ METÓDY (0.5÷25 MHz)

Rozdelenie a princíp ultrazvukových metód

Touto metódou indikujeme chyby plošného i objemového charakteru nachádzajúce sa v objeme (aj na povrchu) materiálu. Ak dopadne (narazí) ultrazvuková vlna na chybu alebo rozhranie, odráža sa čiastočne alebo v celom rozsahu späť k zdroju vlnenia (k sonde). V podstate na tomto princípe je založená celá ultrazvuková defektoskopia.

Metódy ultrazvukovej defektoskopie je možné rozdeliť do následovných základných skupín, a to:

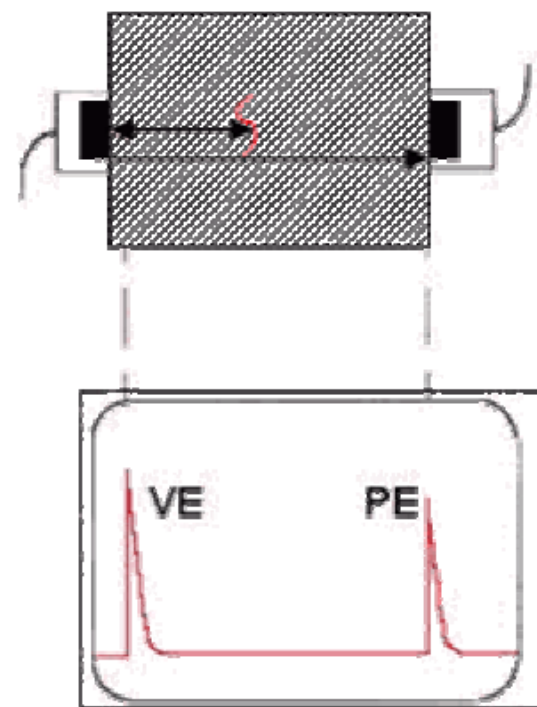
- *metóda prechodová,*
- *metóda odrazová,*
- *metóda rezonančná.*
- *akustické emisie,*
- *metóda impedančná.*

PRECHODOVÁ METÓDA je najjednoduchšia metóda skúšania materiálu ultrazvukom. Je založená na meraní ultrazvukovej energie, ktorá prešla skúšaným predmetom. Pracuje sa s dvoma sondami, ktoré sú vždy umiestnené súsovo na protiľahlých stenách skúšaného predmetu. Ultrazvukové vlny, ktoré do materiálu vysiela vysielajúca sonda sú z druhej strany prijímané sondou prijímacou. Ak sa v materiály nachádza vada alebo iná nehomogenita, na ktorej ploche sa odrážajú šíriace sa vlny, tvorí sa za vadou tieň a do prijímača prichádza menšia hodnota energie. Vada sa zisťuje porovnaním hodnôt prijatej energie materiálom neporušeným a vadným.

Prechodovú metódu je možné použiť len ku kontrole predmetov s rovnobežnými povrchmi (rovinnými alebo zakrivenými)!!!

Výhodou tejto metódy je jej jednoduchosť a možnosť použitia jednoduchých meracích prístrojov.

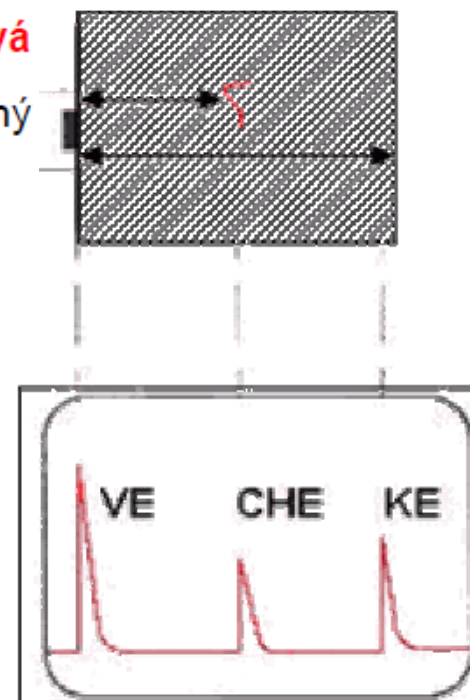
Nevýhodou je, že metóda je všeobecne menej citlivá. Jej rozlišovacia schopnosť je malá a veľmi závisí na hrúbke kontrolovaného predmetu. Hlavné uplatnenie nachádza pri kontrole plechov (najmä tenkých), plátovaných materiálov, ložiskových paniev a pod.



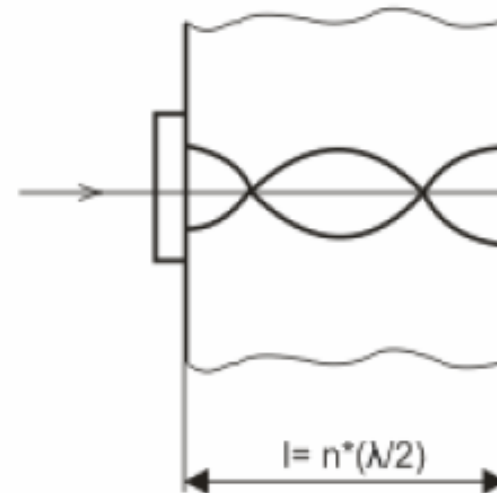
ODRAZOVÁ METÓDA je **najrozšírenejšia metóda** pri nedeštruktívnom skúšaní materiálu ultrazvukom. Je všestranne použiteľná a poskytuje najviac informácií o vyšetrovanom predmete, a to ako aj o jeho necelistvostiach, tak aj o štruktúre materiálu.

Je založená na impulznej činnosti ultrazvukového zdroja. Do kontrolovaného predmetu sa vysielajú krátke ultrazvukové impulzy, ktoré sa odrážajú od povrchu predmetu a jeho vnútorných väd.

Po odraze od materiálu sa ultrazvukové vlny vrátia buď do toho istého alebo druhého meniča (**jednomeničová** alebo **dvojmeničová** činnosť), ktorý pracuje ako prijímač. Časový priebeh impulzu je zobrazovaný na obrazovke.



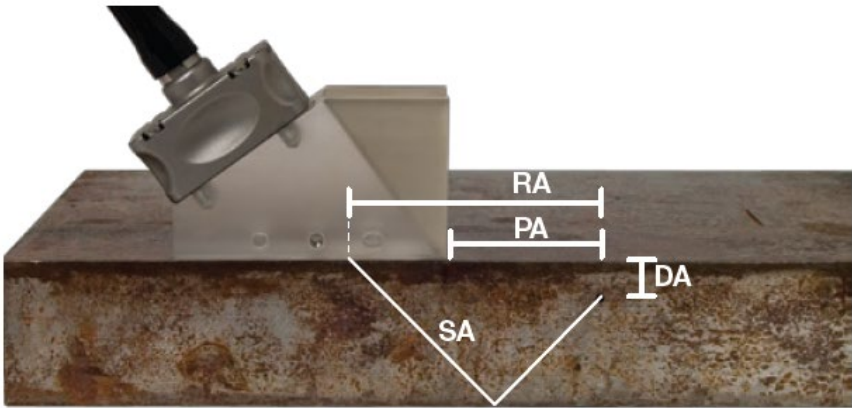
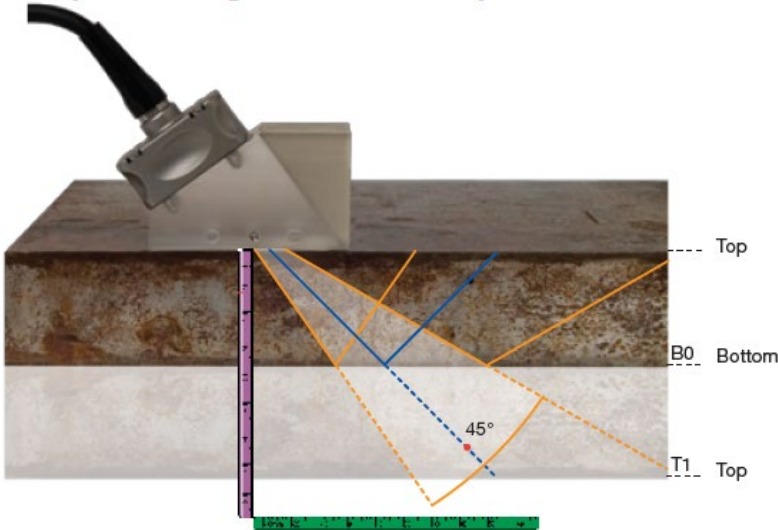
REZONANČNÁ METÓDA je založená na princípe, kedy **do skúšaného predmetu sa vysielajú ultrazvukové vlny, ktorých frekvencia sa mení.**



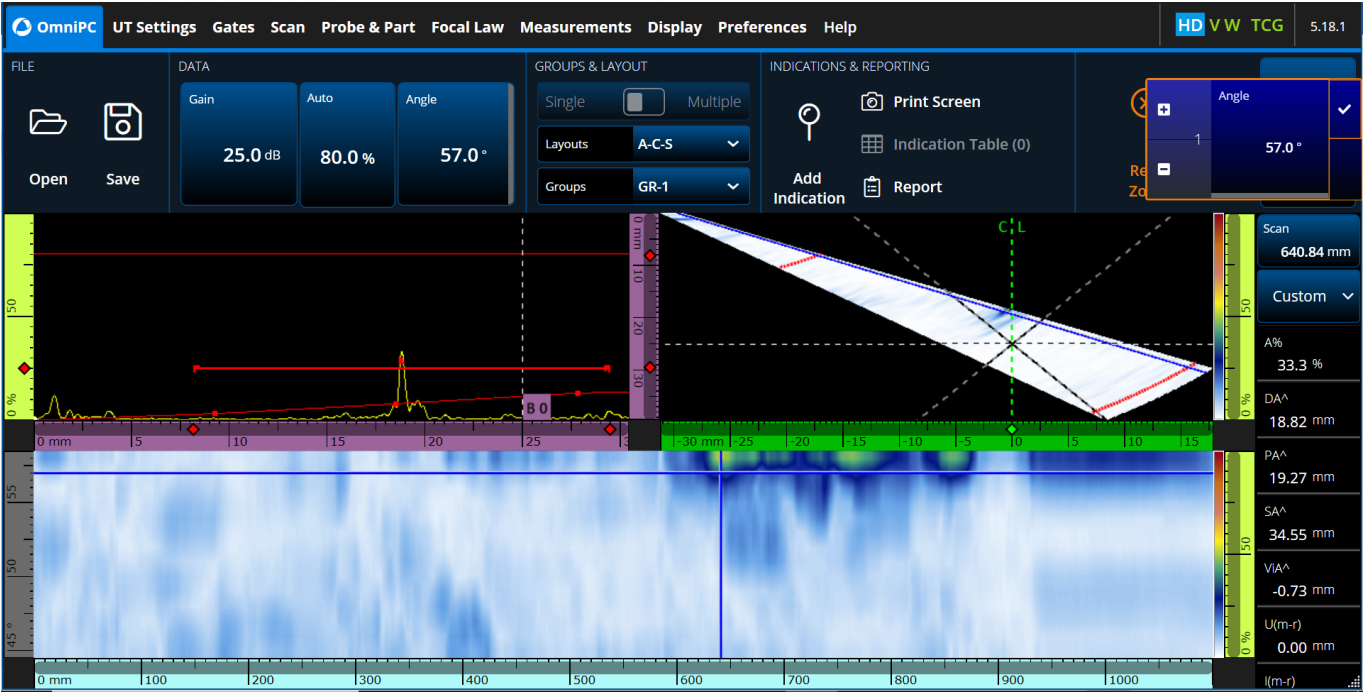
Ked' sa hrúbka predmetu (plechu) rovná celému násobku polovičnej dĺžky vlny vysielaného ultrazvuku, vznikne v predmete stojaté vlnenie. Pri stojatej vlne vysielateľ dodáva minimálnu energiu do kontrolovaného predmetu, ktorý sa pri stojatej vlne dostane do vlastnej rezonancie buď na základnej, alebo niektorej vyššej harmonickej frekvencii:

$$d = n \cdot (\lambda / 2) = n \cdot (c / 2f)$$

- DA - hĺbka indikácie
- PA - vzdialenosť indikácie od čela predsádky
- SA - dráha ultrazvuku
- A% - amplitúda signálu, ktorá sa práve nachádza v bráne



DA (mm)	10.54	PA (mm)	32.51	RA (mm)	65.21	SA (mm)	108.36
---------	-------	---------	-------	---------	-------	---------	--------



RÖNTGENOVÁ DIFRAKTOMETRIA

Braggov zákon (1912)

Difraktovaný lúč je výsledkom veľkého množstva pozitívne interferujúcich vln. Podľa názoru Bragga je možné chápať difrakciu aj ako odraz rtg. lúčov na rovinách kryštálovej mriežky. Vlny v lúči N_1 budú vo fáze s vlnami v lúči N_2 , ak $PM_2 + M_2Q$ je celočíselným násobkom n vlnovej dĺžky λ použitého rtg. žiarenia. To môžeme vyjadriť rovnicou:

$$\sin\theta = \frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot d}$$

t.j. dráhový rozdiel dvoch lúčov je celočíselným násobkom vlnovej dĺžky λ . θ sa nazýva Braggov uhol.

Z rovnice je vidieť, že použitá vlnová dĺžka difraktovaného žiarenia musí spĺňať podmienku $\lambda \leq 2d$ – v praxi používané $\lambda = (0,2-0,3)$ nm

Prechádza Zemskou Atmosférou?

Áno

Nie

Áno

Nie

Dĺžka vln (v metroch)

Rádio
 10^3

Mikrovlné
 10^{-2}

Infrared
 10^{-5}

Viditeľné
 $.5 \times 10^{-6}$

Ultrafialové
 10^{-8}

X-ray
 10^{-10}

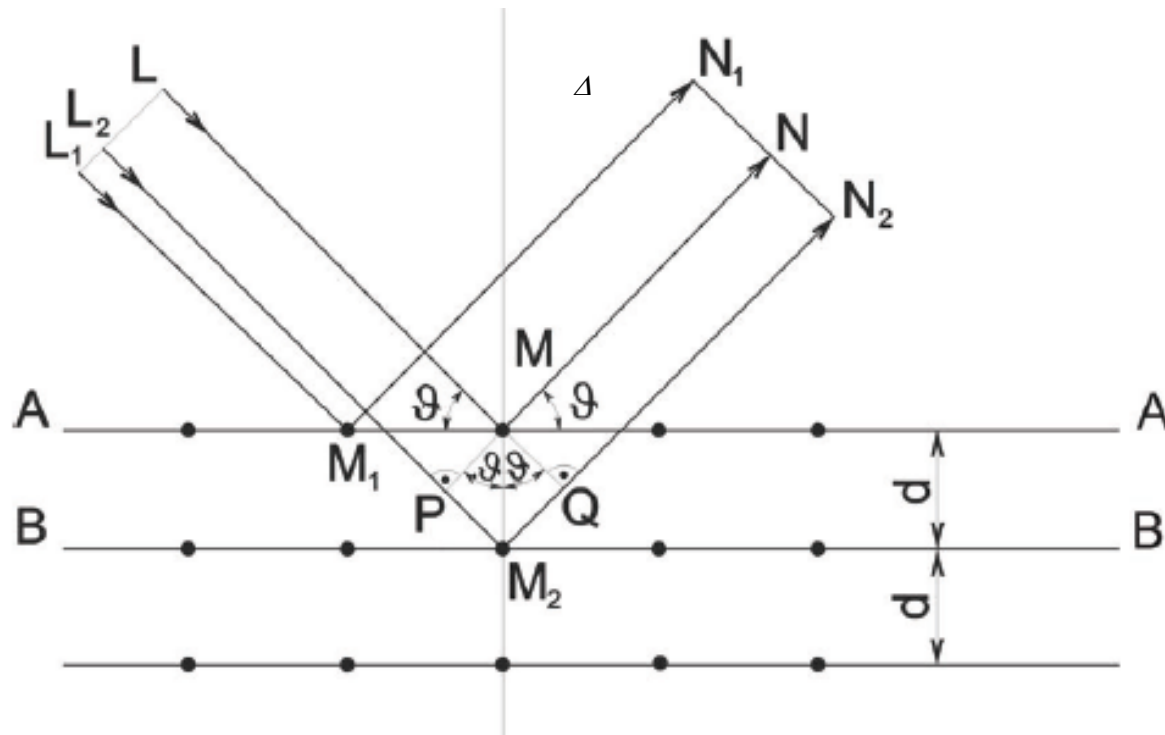
Gamma žiarenie
 10^{-12}



Aplikácia 1: meranie deformácie atómových rovín v povrchových vrstvách materiálu

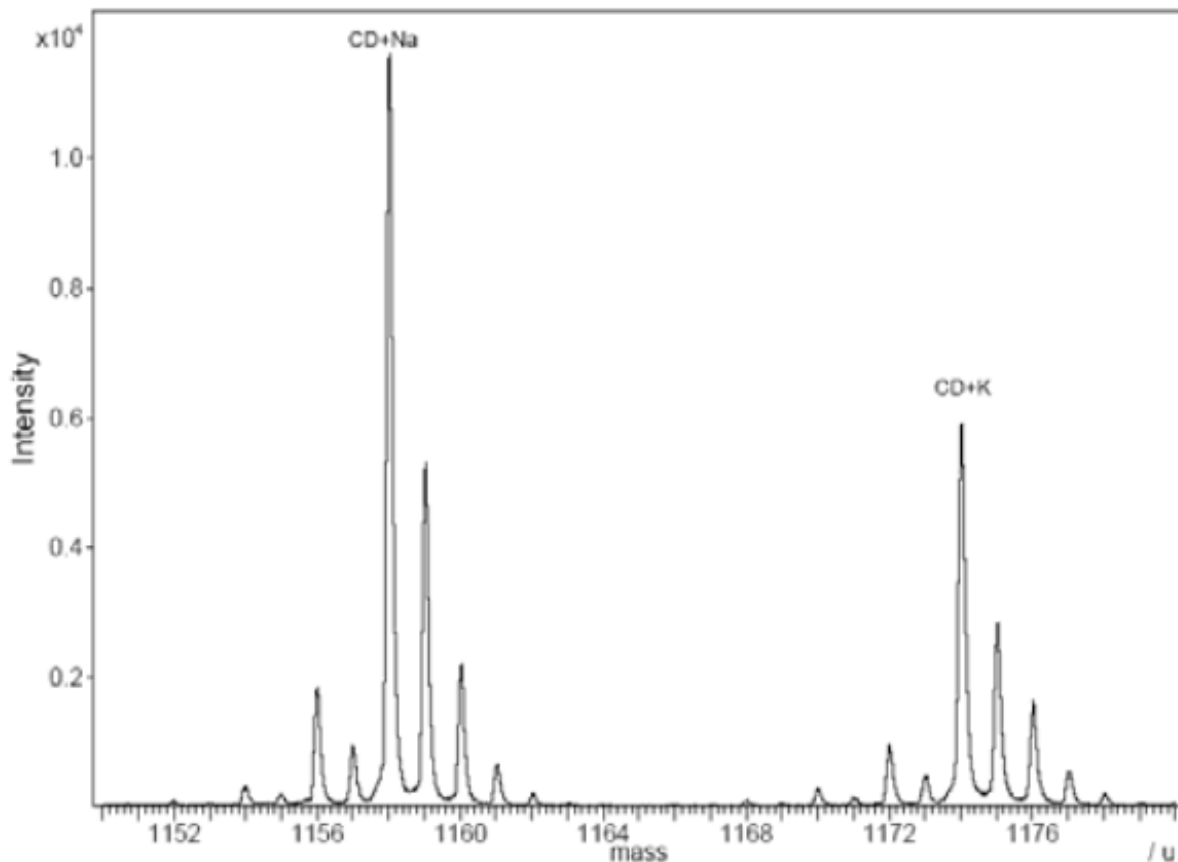
$$\varepsilon_{mr} = \frac{d - d_0}{d_0} = \frac{\Delta d}{d_0}$$

$$\Delta \vartheta = \vartheta - \vartheta_0 = -\frac{n \cdot \lambda}{2} \cdot \frac{d_0 - d}{d \cdot d_0} = \frac{\Delta d}{d_0} \cdot \frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot d} = \varepsilon_{mr} \cdot \sin \vartheta$$



Aplikácia 2: Generovanie brzdného žiarenia – hmotnostná spektrometria

Pri zabrzdení elektrónov na povrchu látky bombardovanej RTG žiarením dochádza zároveň k excitácii atómov terča a následnému vyžarovaniu charakteristického žiarenia. Charakteristické žiarenie vzniká vtedy, keď elektróny dopadajú na povrch s takou veľkou energiou, že sú schopné vyraziť elektróny z vnútorných atómov materiálu. Tieto voľné miesta sa zaplnia atómami z vonkajších hladín – pri týchto preskokoch vznikajú série čiar charakteristického spektra s rôznymi, ale pre daný kov určitými vlnovými dĺžkami.



Precízna konštrukcia optického systému umožňuje optimálny výber najlepších spektrálnych čiar pre všetky analyzované prvky. Spektrometer môže obsahovať až 36 analytických kanálov a môže byť nakonfigurovaný súčasne pre viacero báz (napr. na simultánne meranie ocelí, zliatin hliníka, zliatin medi atď.). Optický systém je osadený modernými japonskými fotonásobičmi Hamamatsu najvyššej kvality. Široký dynamický rozsah a vysoká citlivosť týchto detektorov umožňujú veľmi presné meranie koncentrácie prvkov v širokom meracom rozsahu.

Výstupné štrbiny spektrometra sú špeciálne zakrivené, presne prispôsobené tvaru spektrálnych čiar. To zaisťuje vynikajúcu rozlišovaciu schopnosť optického systému, takže susedné spektrálne čiary sú dokonale rozlíšené. Toto výborné optické rozlíšenie je veľmi dôležité zvlášť na presnú analýzu vysokolegovaných materiálov a prvkov s nízkymi koncentraciami.

- Usporiadanie Paschen-Runge, DVOJITÝ SPEKTROMETER
- Ohnisková vzdialenosť – 300 mm
- Vlnový rozsah 190 – 410 nm, 210 – 430 nm
- Mriežka – 3 600 vrypov/mm
- Reciproká disperzia – 0,9 nm/mm (v 1. ráde)
- Teplotná stabilizácia
- Odolnosť proti mechanickým šokom.
- Žiadna potreba profilácie optiky.

TERMOVÍZIA

Fotocitlivé receptory ľudského oka sú citlivé na svetelné vlny v dĺžke rozsahu 400–760 nm a toto je vlastne viditeľná oblasť žiarenia pre ľudské oko. Absolútny energetický prah citlivosti je 10^{-19} J, čo vlastne odpovedá energii jedného jediného fotónu.



Termovízne prístroje pracujú na úplne odlišnom princípe. Hovoríme síce, že sú to kamery ale v skutočnosti sú to senzory. Ak chceme pochopiť ako pracujú musíme zabudnúť na všetko ako pracujú prístroje nočného videnia.

Termovízne prístroje pracujú na základe snímania odrazeného infračerveného žiarenia od pozorovaného objektu nie na základe zosilnenia zostatkového svetla.

Detekujú prítomnosť dlhovlnného infračerveného žiarenia cca. 7-15 μ m teda rádovo úplne inú vlnovú dĺžku infračerveného žiarenia, ako klasické prístroje nočného videnia. Termovízia nevidí tú časť spektra, ktorú vidí nočné videnie a nočné videnie zase nevidí spektrum žiarenia vlnovej dĺžky termovízie. Termálne kamery vedia odhaliť aj oveľa viac ako je len teplo. Sú schopné zistiť teplotné rozdiely už na hodnote menšej ako je 0,01 ° C - a zobrazíť ich na displeji, ako viacero odtieňov šedej

Infračervené žiarenie bolo objavené v roku 1800 Sirom Williamom Herschelom ako druh žiarenia nachádzajúceho sa za červenou farbou spektra. Tieto „infračervené lúče“ (predpona infra z latinčiny znamená „pod“) boli pôvodne používané hlavne pre tepelné merania.

Existujú 4 platné fyzikálne zákony aplikovateľné na IR žiarenie: Kirchhoffov zákon tepelného vyžarovania, Stefan-Boltzmannov zákon, Planckov zákon a Wienov zákon popisujúci vzťah medzi najintenzívnejšou vyžarovanou dĺžkou, ktorá je emitovaná čiernym telesom a teplotou.

V roku 1929 maďarský fyzik Kálmán Tihányi vynášiel elektronickú televíznu kameru na princípe infračerveného žiarenia (nočného videnia) použitú pri protiletadlovej obrane Veľkej Británie. Rozmach termovízie a termokamier nastal po objavení infračerveného snímača na báze snímacej meracej sondy spoločnosťou Texas Instruments v roku 1974. Zobrazenie jedného obrázku trvalo približne hodinu.

Čím je niečo teplejšie, tým väčšiu tepelnú energiu vydáva. Táto základná vlastnosť všetkých látok sa nazýva tepelný podpis.

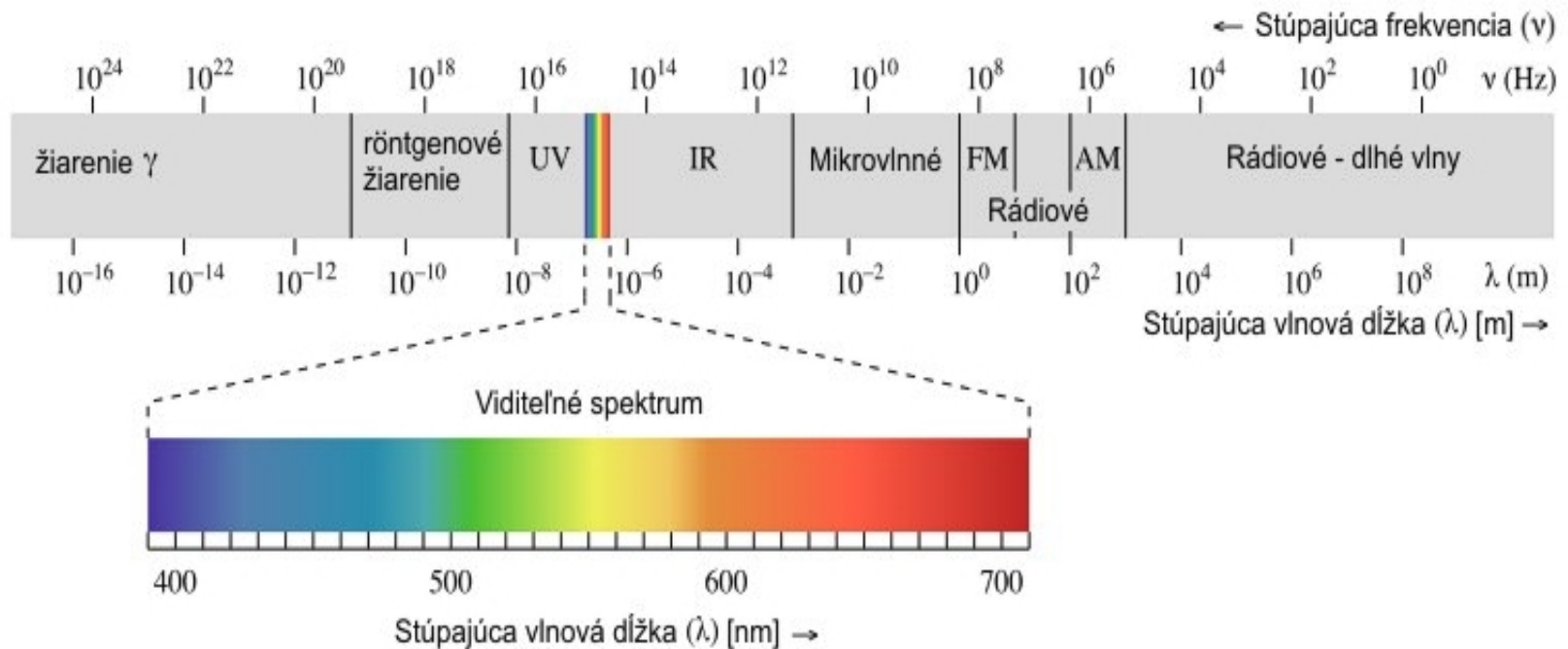
Infračervené svetlo môžeme rozdeliť do troch kategórií:

1. Blízka infračervená oblasť žiarenia (IR-u) – tá oblasť infračerveného žiarenia, ktorá je čo sa týka vlnovej dĺžky najbližšia k viditeľnému svetlu, táto oblasť má vlnové dĺžky, ktoré siahajú 0,7-1,3 mikrometra
2. Stredná infračervená oblasť žiarenia (mid-IR) – je to oblasť žiarenia, ktorá má vlnové dĺžky v rozmedzí 1,3 až 3 mikrometrov.
3. Ďaleká (termálna) oblasť infračerveného žiarenia (termal-IR) – táto oblasť pokrýva najväčšiu časť infračerveného spektra, tepelne infračervené žiarenie má vlnové dĺžky v rozmedzí od 3 mikrometre do viac ako 30 mikrometrov.

Kľúčový rozdiel medzi žiarením v termálnej oblasti a žiarením v blízkej a strednej infračervenej oblasti je ten, že žiarenie v termálnej infračervenej oblasti je emitované z objektu von, pretože sa to deje na úrovni atómov, pričom infračervené žiarenie v blízkej a strednej oblasti je iba odrážané od objektu.

Špeciálne šošovky pre infračervenú oblasť vyrobené z Germánia sú veľmi dobre priepustné tejto vlnovej dĺžke žiarenia a zameriavajú ho na jadro mikrobolometra.

Toto žiarenie je snímané v poli infračervených snímacích prvkov (v jadre mikrobolometra) a je v ňom vytvorený podrobný teplotný obraz, ktorý nazývame termogram. Táto informácia je získaná z niekoľkých tisícov bodov v zornom poli detektora.

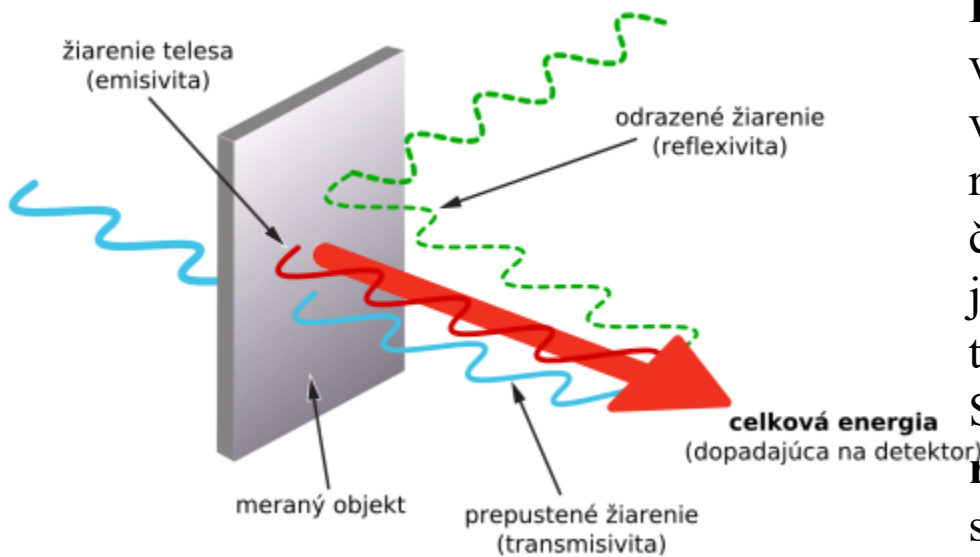


Infračervené žiarenie vzniká ako dôsledok fyzikálnych procesov, ktoré prebiehajú v objekte vyžarovania pohybom atómov, molekúl, kmitov uzlov kryštalickej mriežky a elektrónových prechodov z jednej energetickej hladiny na inú. Základným zdrojom infračerveného žiarenia je budenie žiarenia zvýšenou teplotou žiariča. Vysielané žiarenie sa potom nazýva teplotné.

Široký rozsah infračerveného žiarenia sa delí na:

- blízku infračervenú oblasť $\lambda = 780$ až 1400 nm,
- strednú infračervenú oblasť $\lambda = 1,4$ až 4 μm ,
- vzdialenú infračervenú oblasť $\lambda = 4$ μm až 1 mm

Infračervené žiarenie je emitované z každého povrchu, ktorého teplota je nad teplotou absolútnej nuly 0 K



Emisivita je definovaná ako pomer intenzity vyžarovania reálneho telesa k intenzite vyžarovania absolútne čierneho telesa s rovnakou teplotou. Emisivita absolútne čierneho telesa je 1, emisivita ideálneho zrkadla je 0. Ako ďalší parameter merania vstupuje transmisivita (0..1).

Spolu s emisivitou určujeme aj parameter **reflexivita** (koľko tepla odráža), ich vzájomný súčet je 1.

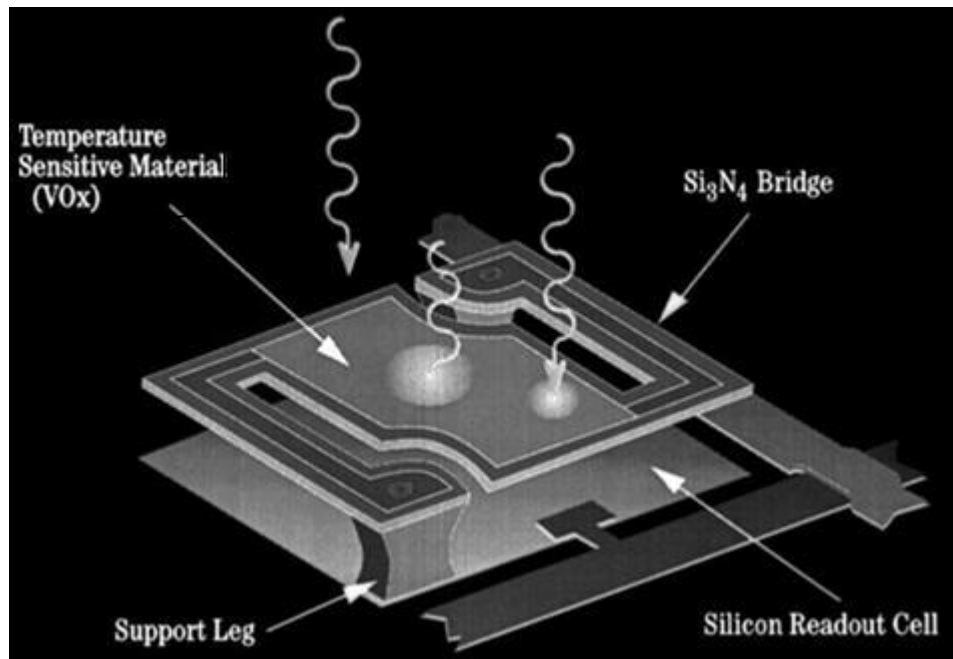
Transmisivita je údaj ako daný materiál alebo prostredie prepúšťa žiarenie v použitej vlnovej dĺžke. Pri meraní "na vzduchu" tento parameter zväčša zanedbávame, ak meriame cez prieszor, je potrebné počítať aj s hodnotou transmisivity.

Čierne teleso: Je to hypotetické teleso, ktoré pohltí všetko naň dopadajúce elektromagnetické žiarenie, preto sa pri bežných teplotách okolia sa javí ako čierne. Absolútne čierne teleso je ideálnym žiaričom. Frekvenčné rozdelenie energie vyžiarenej z jeho povrchu závisí len od jeho absolútnej teploty a predstavuje univerzálnu funkciu, ktorá charakterizuje tepelné žiarenie všetkých zohriatych telies. Energia, ktorú vyžarujú reálne fyzikálne telesá, sa od energie čierneho telesa líši len emisivitou ε , ktorá je frekvenčne závislá. Pre každé reálne teleso platí $\varepsilon < 1$, čo znamená, že pri danej teplote vyžaruje menej energie ako absolútne čierne teleso.

materiál	emisivita
asfalt	0,90 – 0,98
azbest	0,96
betón drsný	0,94
cement	0,85
cín	0,09
drevo – prírodné	0,90 – 0,95
glazúra	0,90
grafit	0,85
grafit – prášok	0,96
guma	0,94
hliník – anodizovaný	0,77
hliník – vyleštený	0,05
hliník – zaoxidovaný	0,25
horčík (magnézium)	0,12
chróm	0,15
izolačná páska – plastová	0,95
keramika	0,95
kobalt	0,18
korundová keramika	0,40
koža	0,75 – 0,80
ľad	0,96 – 0,98
lak	0,80 – 0,95
lak matný	0,97
liatina	0,20
liatina – zaoxidovaná	0,60 – 0,90

meď – lesklá	0,07
meď – zaoxidovaná	0,65
meď – zaoxidovaná čierna	0,88
mosadz	0,10
mosadz – zaoxidovaná	0,61
nikel	0,15
odev (čierny)	0,98
olej – hrubý film	0,82
papier	0,90
papier – matný	0,94
piesok	0,90
plast – akryl	0,94
plast – polypropylén	0,97
platina	0,10
pokožka – ľudská koža	0,98 (0,975)
porcelán – glazovaný	0,92
sadra	0,85 – 0,95

sklo	0,92
sklo, matné	0,96
sneh	0,85
striebro	0,03
štrk	0,95
tehla	0,93
tehla – kamenina	0,75
textil	0,95
titán	0,30
uhlíe	0,90
uhlíe drevené (prášok)	0,96
uhol'ný prach	0,96
vápenec	0,98
voda	0,98
volfrám	0,13
zemina	0,92 – 0,98
zinok	0,05
zinok – zaoxidovaný	0,11
zlato	0,02
železo / oceľ – hrdzavé jak odfarbená cigánka	0,7
železo / oceľ – zaoxidované	0,85
železo a oceľ	0,18



**Detail jedného pixelu mikrobolometra
zväčšené 10 000x**

Vytvorený termogram z prvkov detektora je prevedený do elektrických impulzov. Impulzy sú odosielané po upravení do signálu procesorovej jednotky, kde sú tieto dáta digitálne spracované a po úprave cez rôzne korekčné algoritmy sú tieto dáta poskytnuté na ďalšie spracovanie do jednotky spracovania signálu, ktorá posiela informácie na displej, kde sa v závislosti na intenzite infračerveného žiarenia prideluje informácii farba a nakoniec kombinácia všetkých týchto podnetov a všetkých prvkov vytvára obraz snímaného objektu alebo poľa.

Na rozdiel od väčšiny tradičných prístrojov nočného videnia nám táto technológia umožňuje vidieť snímaný priestor v takmer absolútnej tme s malou alebo žiadnou hodnotou zostatkového svetla ako sú napr. hviezdy, mesačný svit, atď.

Aj keď sa toto všetko môže zdať veľmi zložité, realita je, že moderné termálne kamery sú veľmi ľahko použiteľné. Ich snímky sú jasné a ľahko pochopiteľné, nevyžaduje žiadne školenia alebo interpretáciu.