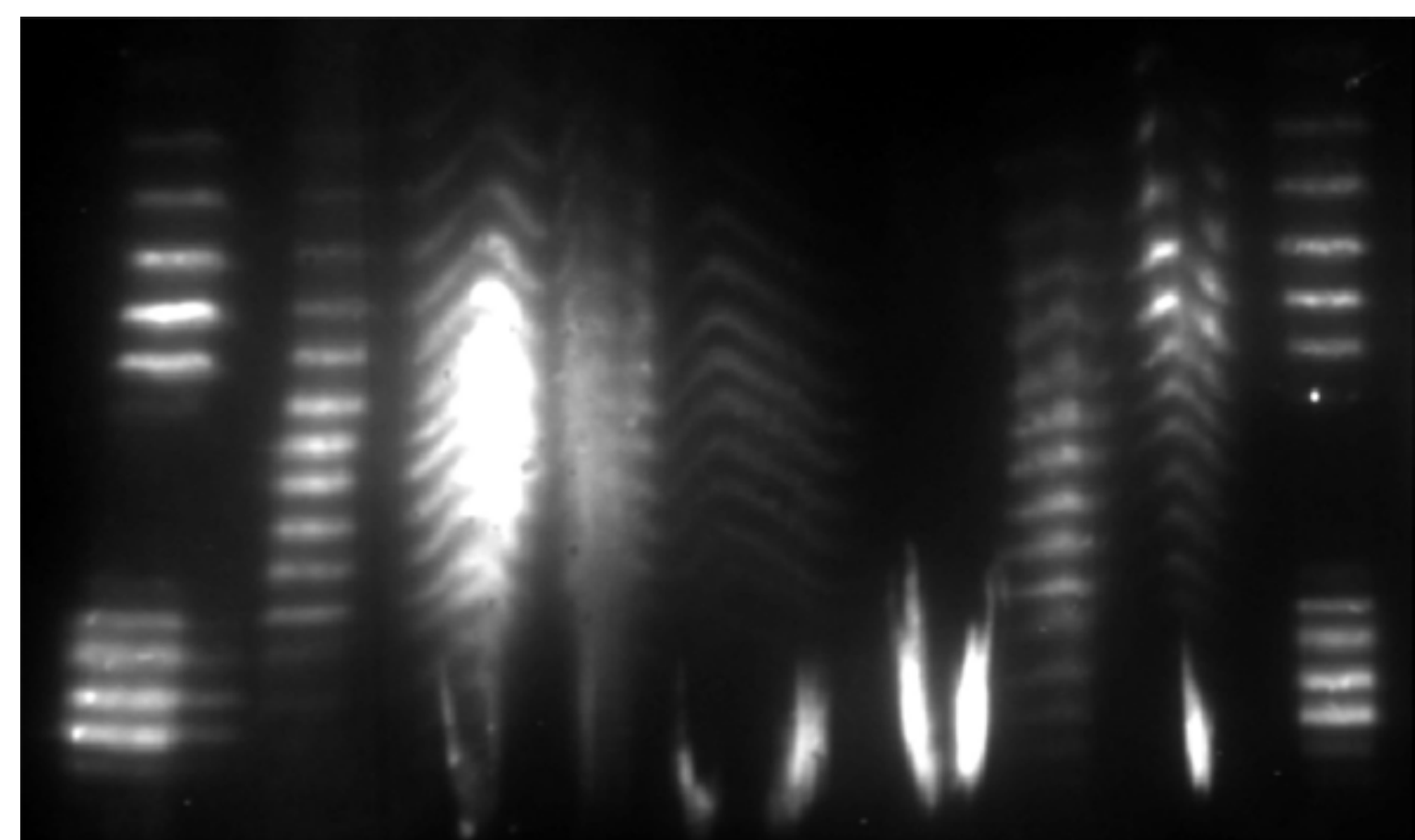


## Abstrakt

V roku 2003 svetová antidopingová agentúra WADA začala medzinárodný projekt zameraný na vývoj spoľahlivého, jednoducho použiteľného softvérového riešenia určeného na standardizovanú analýzu obrazov získavaných pri erythropoietin (Epo) dopingovej kontrole. V súčasnosti je rekombinovaný erythropoietin (rEpo) využívaný ako dopingová látka hlavne v oblasti vytrvalostných športov vďaka schopnosti zvýšiť dlhodobú výkonnosť športovca až o 10%. K popularite prispela taktiež obtiažnosť detekcie rEpo v krvi športovca. V rámci spolupráce medzi *Austrian Research Centers GmbH, Seibersdorf* a *Ústavom merania SAV* bola vyvinutá originálna metóda predspracovania obrazu – Band Straightening Algorithm (BSA), ktorá významne znižuje klasifikačné chyby pri rozpoznávaní významných objektov v Epo obrazoch. Úspešnosť rozpoznávania významných objektov je jedným z kritických faktorov, ktoré ovplyvňujú konečné rozhodnutie o pozitívnom či negatívnom dopingu športovca. V roku 2006 bola navrhnutá metóda úspešne implementovaná do komerčného softvérového balíka *GASepo* využívaného v mnohých antidopingových laboratóriách po celom svete.



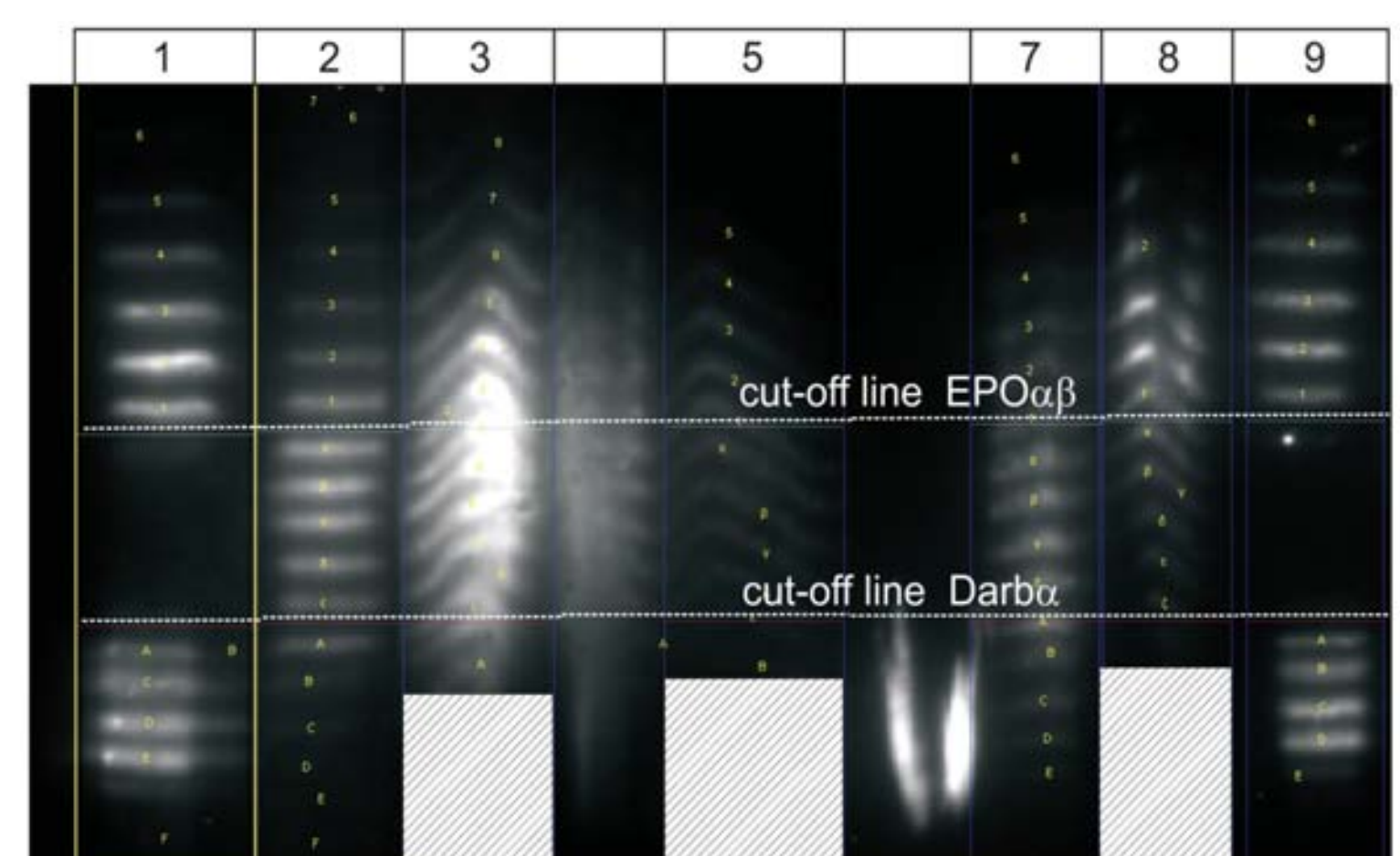
## Detekcia rEpo pomocou metódy double-blotting

Posledné výskumy v oblasti anti-dopingu ukázali, že prirodzený a rekombinovaný erythropoietin možno rozlíšiť až v konečnej fáze metabolizmu, analýzou moču športovca. Na detekciu veľmi malých koncentrácií Epo izoformami sa v súčasnosti využíva metóda *double-blotting*, založená na izoelektrickom fokusovaní proteínov v polyakrylamidovom géli [1]. Výsledný Epo obraz vzniká chemo-luminiscenčným procesom a je zaznamenaný digitálnou či analógovou cestou. Následne je počítačovo spracovávaný v softvérovom balíku *GASepo* [2,3].

➡ Obrázok vľavo znázorňuje príklad bežného Epo obrazu, v ktorom sú prítomné globálne i lokálne geometrické poruchy. Rôzne druhy poškodenia obrazu sú významnými zdrojmi výsledných chýb. Celkom ľavý a celkom pravý stĺpec predstavujú referenčné merania dopingových štandardov  $EPO_{\alpha,\beta}$  a  $DARB_{\alpha}$ . Všetky ostatné stĺpce predstavujú merania testovaných dopingových vzoriek.

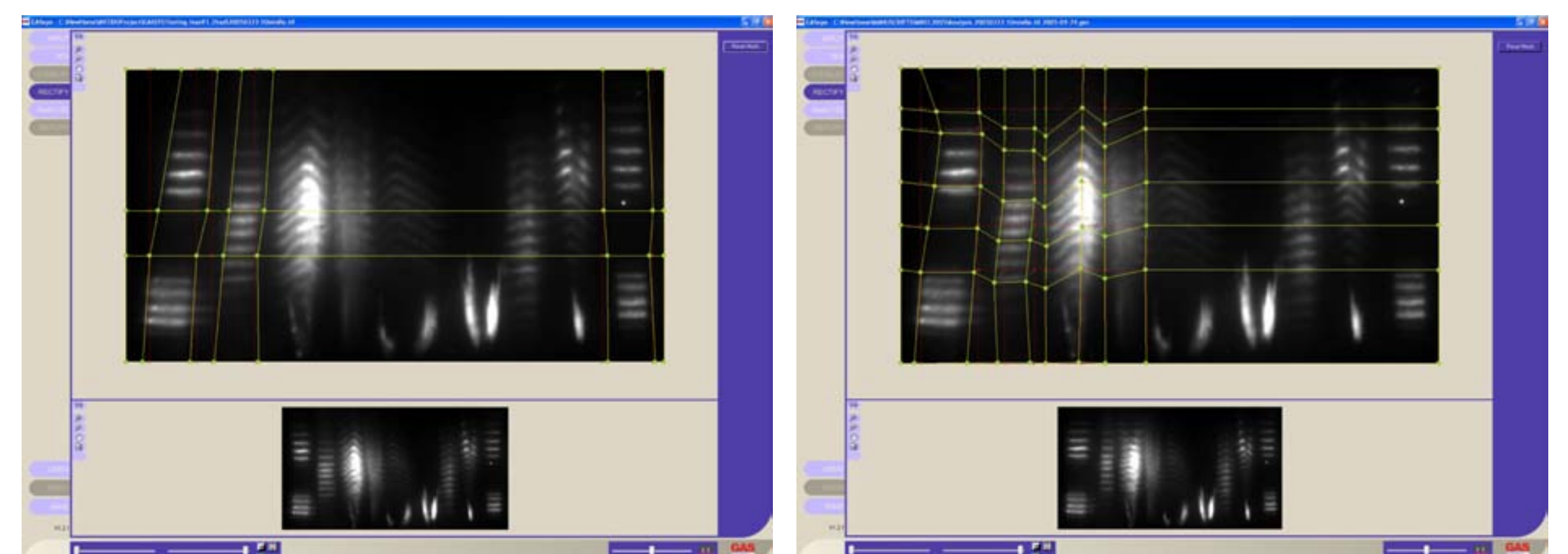
## Manuálne predspracovanie Epo obrazu

V prvej fáze predspracovania Epo obrazu je potrebné korigovať najvýraznejšie globálne geometrické poruchy. Korekcia obrazu prebieha pomocou vodiacich čiar a bodov, ktorých polohu nastavuje operátor manuálne (obrázok vľavo). Manuálne korekcie lokálnych geometrických porúch sú v praxi používané len zriedka, vyžadujú totiž príliš veľké úsilie operátora pričom výrazne zvyšujú riziko subjektívnych dopingových rozhodnutí (obrázok vpravo).



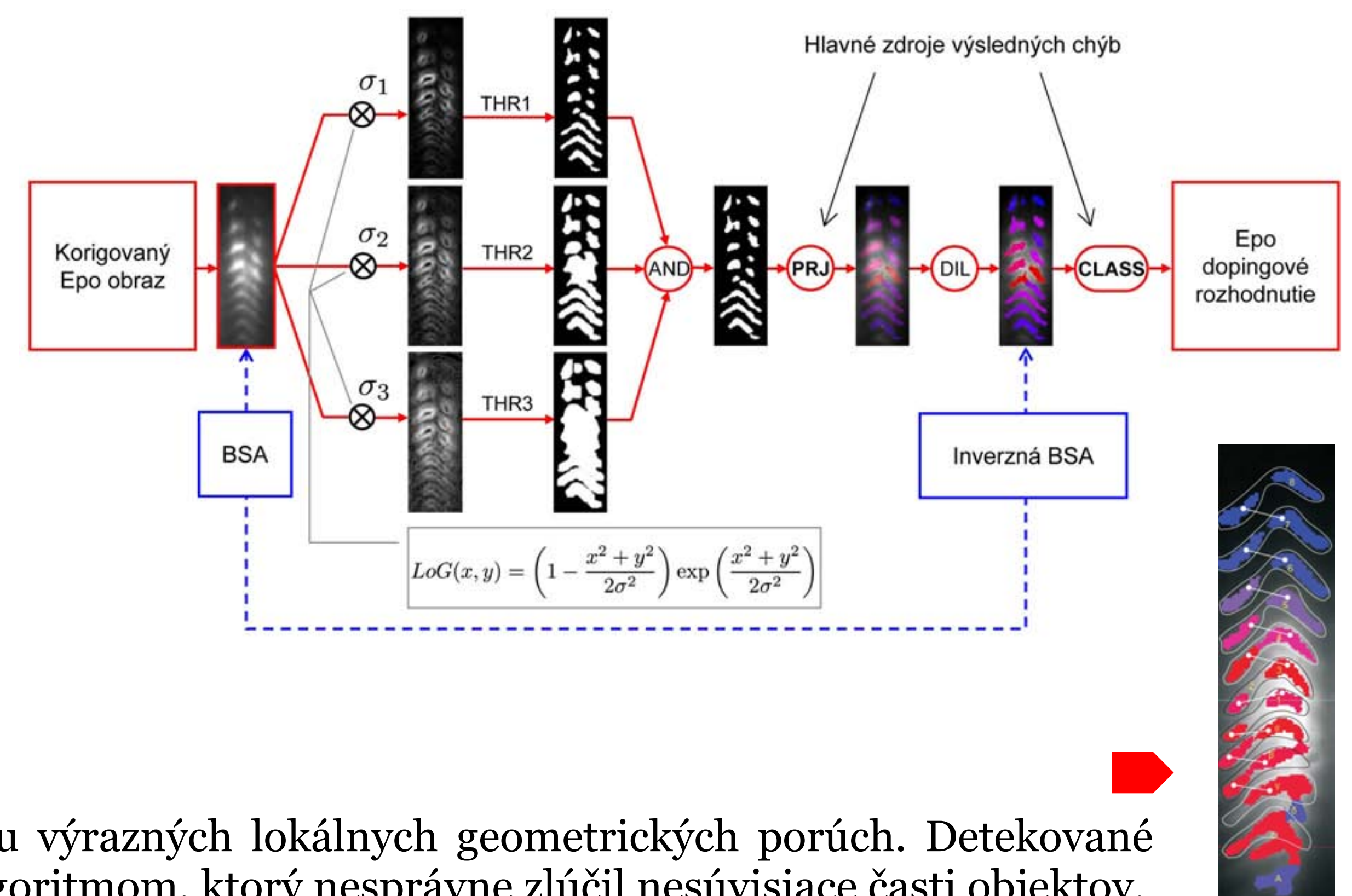
## Detekcia referenčných čiar

➡ Výsledkom úvodných analýz Epo obrazu je stanovenie dvoch referenčných čiar (cut-off lines), na základe ktorých je možné odlíšiť umelé dopingové substancie  $EPO_{\alpha,\beta}$  a  $DARB_{\alpha}$  od prirodzeného endogénneho erythropoietinu. Konečné rozhodovacie kritérium o pozitívnom dopingu športovca počíta s presnými polohami horizontálnych prúžkov (bandov), ktoré porovnáva s polohou referenčných čiar.

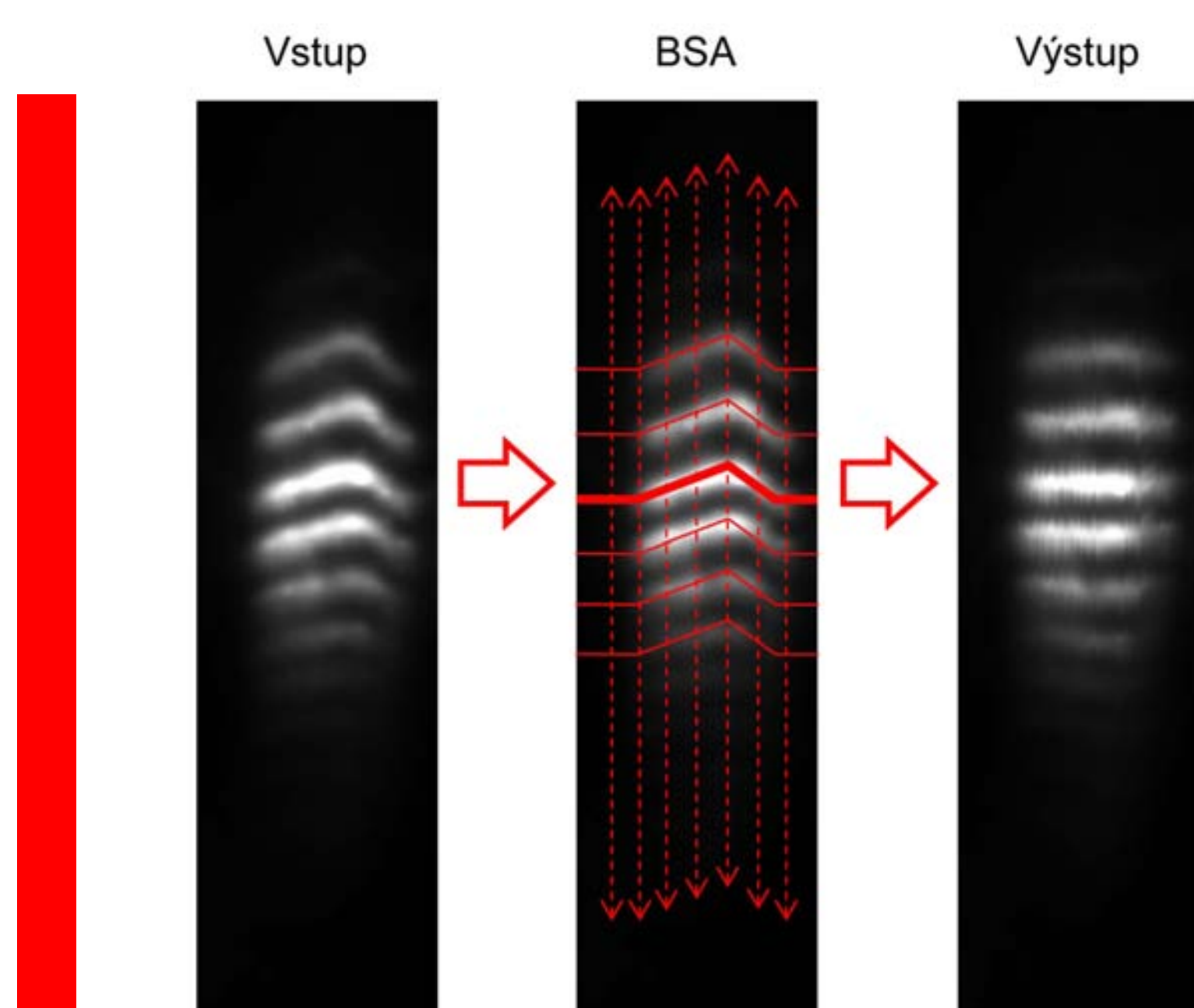


## Rozpoznávanie dôležitých objektov

Dôležitým krokom spracovania Epo obrazu je rozpoznávanie dôležitých objektov – bandov, a ich odlíšenie od nepodstatných objektov – artefaktov. Jedná sa o komplikovaný viacstupňový proces, v ktorom je obraz najskôr segmentovaný a následne sú odhalené objekty klasifikované do dvoch skupín – bandy a artefakty. Medzi hlavné zdroje výsledných chýb patria operácie spájania fragmentovaných objektov (PRJ) a klasifikácia objektov (CLASS). Schematické zapojenie novej metódy predspracovania obrazu (BSA) je v obrázku vyznačené modrou farbou.



➡ Na obrázku vpravo je znázornený príklad nesprávne segmentovaného Epo obrazu v dôsledku výrazných lokálnych geometrických porúch. Detekované objekty sú označené rovnakým farebným kódom. Možno si všimnúť chyby spôsobené projekčným algoritmom, ktorý nesprávne zlúčil nesúvisiace časti objektov.

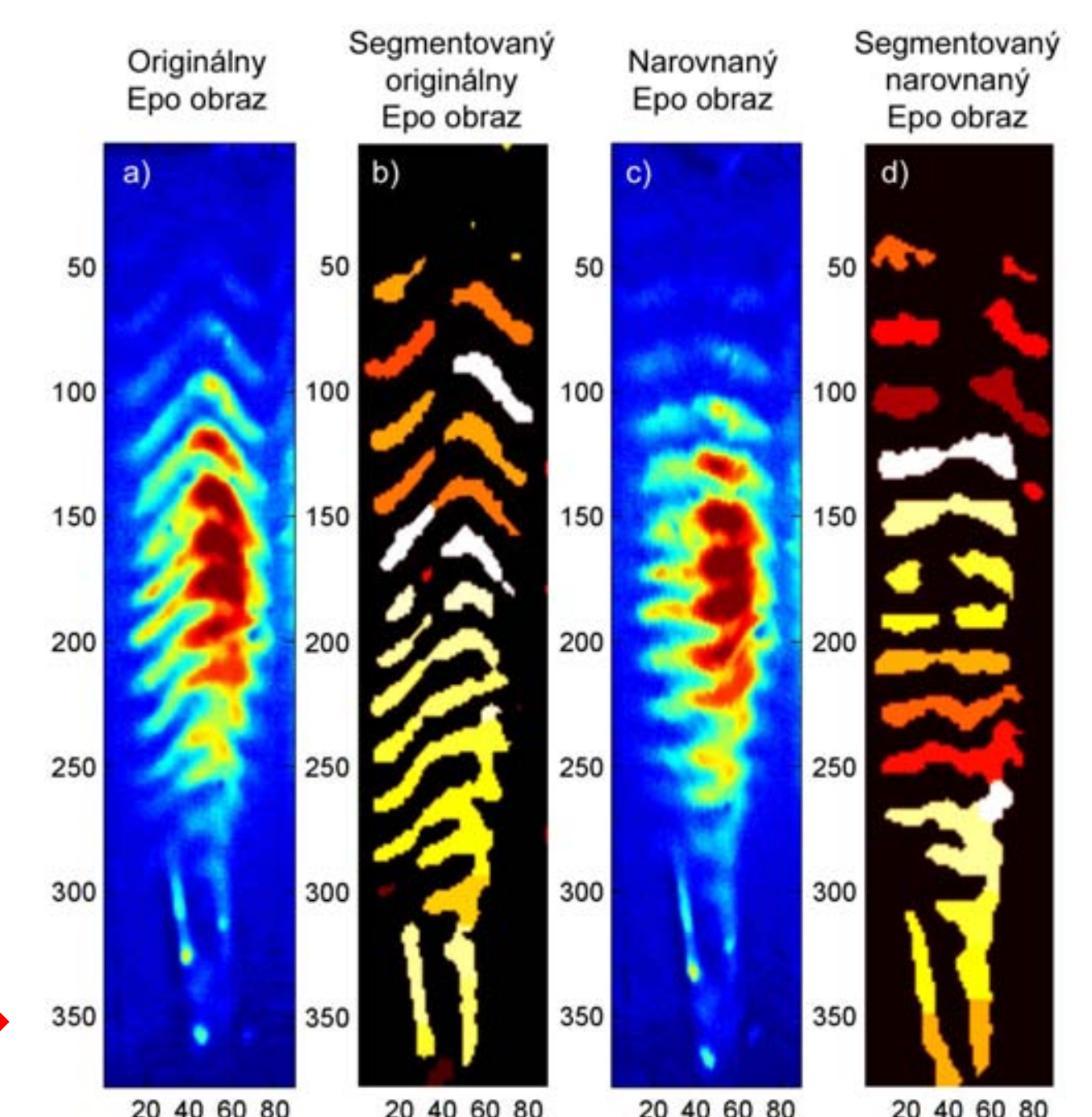


## Band Straightening Algorithm (BSA) – nová metóda predspracovania Epo obrazov

➡ Hlavnou myšlienkou novej metódy predspracovania Epo obrazu je automatické hľadanie optimálnych vertikálnych posunov stĺpcov, ktoré vedú k maximálnej redukcii lokálnych geometrických porúch. Na obrázku vľavo je znázornený Epo obraz počas schematického spracovania BSA metódou.

Na hľadanie optimálnej stĺpcovej transformácie sa využíva dvojfázový algoritmus lineárneho a gradientového hľadania s cieľom minimalizovať celkové pnutie riadkov v obraze. Tento prístup prináša výrazné zlepšenie kvality obrazu (2 až 4 krát menšia celková klasifikačná chyba) pri únosnej výpočtovej náročnosti ( $O(mn^3)$ , kde  $m$  a  $n$  sú šírka a výška korigovaného obrazu) [4].

➡ Na obrázku vpravo je príklad Epo obrazu spracovávaného tradičným spôsobom (a, b) a spôsobom využívajúcim BSA metódu (c, d). Okrem zreteľného narovnania obrazu (c vs. a) možno pozorovať tiež zlepšenie správneho spájania súvisiacich častí objektov (d vs. b).



➡ BSA metóda bola koncom roka 2006 implementovaná v rámci novej verzie komerčného softvérového balíka *GASepo 2.1*.

### Použitá literatúra

- [1] Lasne F, de Ceaurriz J. Recombinant erythropoietin in urine. *Nature* 2000; 605-635.
- [2] Holländer I et al. 2004. *GASepo* – System for analysis of images generated in Epo doping-control. 17-th Biennial Int. EURASIP Conf. BIOSIGNAL 2004; Brno, Czech Republic. Jan J et al. editors. VUTUM Press. pp 273-277.
- [3] Bajla I et al. 2005. *GASepo* – a software solution for quantitative analysis of digital images in Epo doping-control. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 80(3):246-270.
- [4] Štolc S, Bajla I. 2006. Improvement of band segmentation in Epo images via column shift transformation with cost functions. *Medical and Biological Engineering and Computing* 44(4):257-274.

### Podakovanie

Práca bola realizovaná v rámci projektu *Research into refined classification of bands in Epo images / Výskum na zlepšenie klasifikácie obrazových objektov v Epo obrázkoch*, ARC Seibersdorf Research GmbH (číslo projektu: PO-5410027060).

Práca bola taktiež podporená Slovenskou grantovou agentúrou pre vedu (číslo grantu: 2/4026/04).

