

## 5.4. Aplikácie morfológických operácií

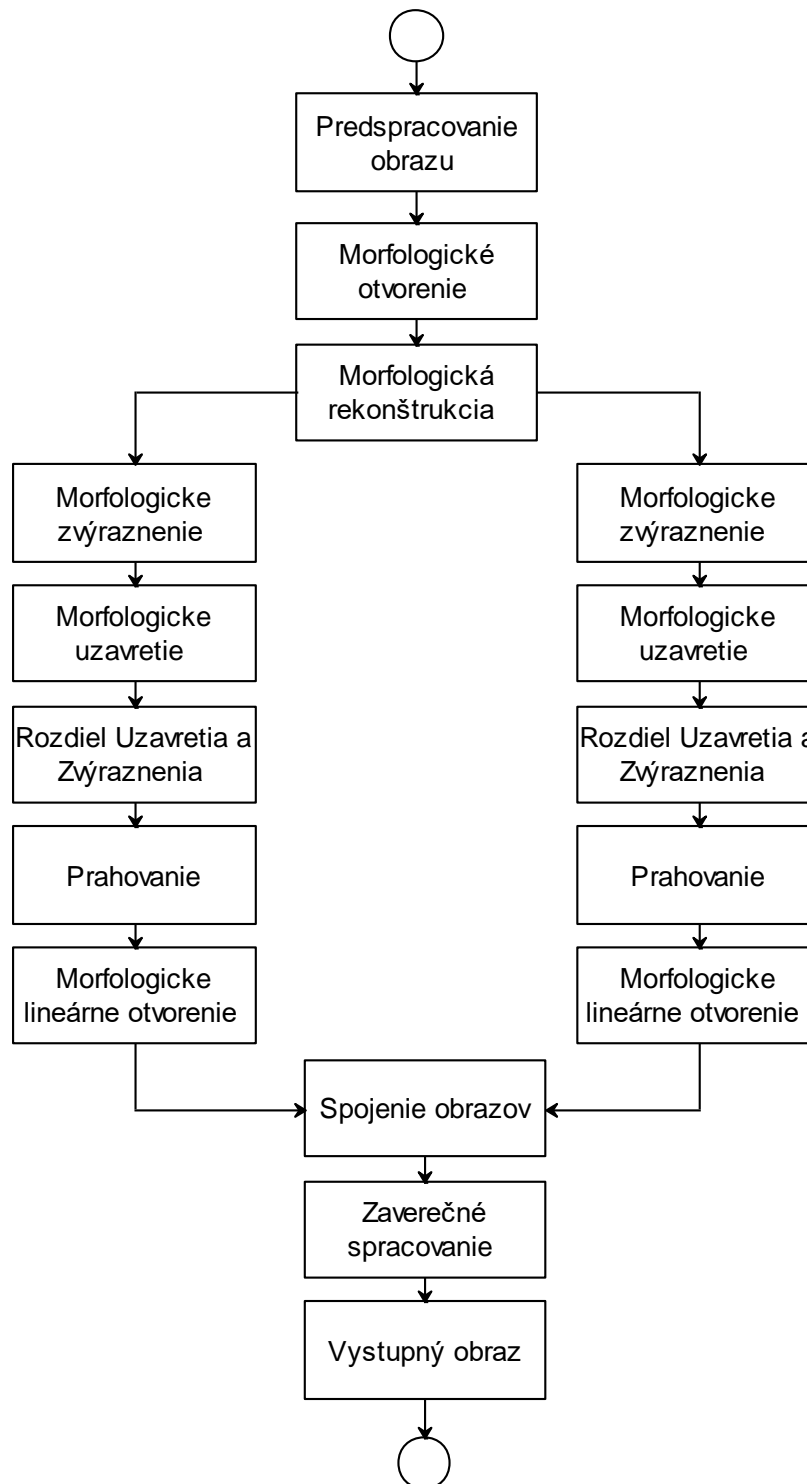
### Detekcia ciev na obrazoch sietnice

V programovom prostredí MATLAB sú realizované najčastejšie používané operácie pre morfológickú filtráciu (ďalej bolo vyvinutých niekoľko metód nevyužívajúcich ako svoj základ morfológické operátory) s prihliadnutím na množstvo moderného hardwaru.

V roku 2001, do ktorého sa datuje prvá metóda skúmaná v tejto práci, boli pomerne obmedzené výpočtové možnosti vzhľadom k dnešným.

K morfológickej filtrácii sa pristupuje s dvomi hlavnými cieľmi, prvým je redukcia šumu v obraze spolu s normalizáciou pozadia, druhý je samotné zvýraznenie cievnych štruktúr. Výhodou morfológickej filtrácie je realizácia oboch cieľov pri použití jediného operátora.

Vstupné obrazy obsahujú pomerne veľké množstvo štruktúr a šumu brániace jednoduchej segmentácii cievneho riečiska, matematická morfológia však zahrnuje užitočné metódy pre filtráciu takéhoto obrazu. Celý postup filtrácie sa dá rozdeliť na niekoľko častí podľa použitých operátorov. Aj napriek tomu, že bolo navrhnutých niekoľko filtračných a segmentačných techník, z praktických dôvodov (náročnosť na hardware či veľmi podobná účinnosť) sú do konečného algoritmu vybrané len niektoré (ich určitá sekvencia). tie boli vybrané na základe výsledkov štatistického a subjektívneho hodnotenia. Algoritmus sa po normalizovaní skladá z dvoch vetiev s rôznymi hodnotami štruktúrnych elementov, ich výsledky sú nakoniec skombinované.



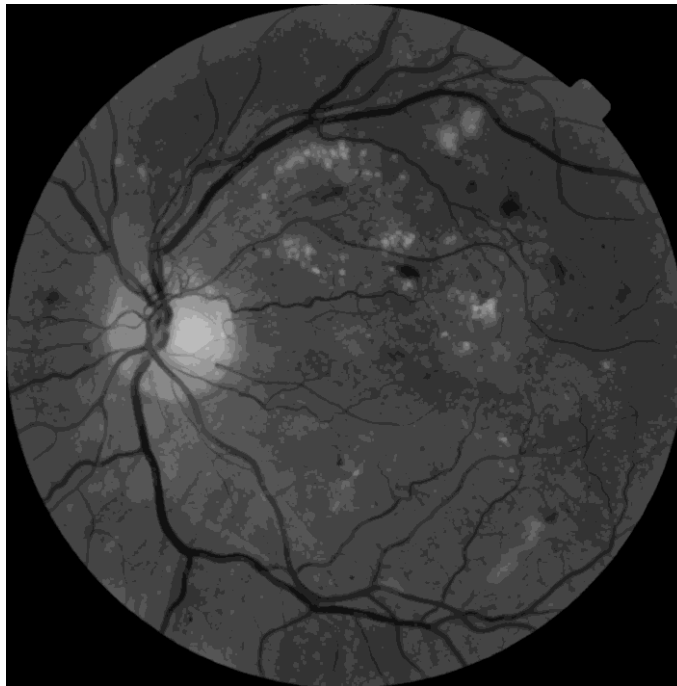
Obr. 5.45 Bloková schéma navrhutej metódy

## Aplikácia morfológického otvorenia

Použitím tejto metódy sa môžeme zbaviť šumu a detailov s vysokou intenzitou menšou ako štruktúrny element, ktoré sú v obraze obsiahnuté, za súčasného zvýraznenia cievného riečiska.

V tomto prípade som použil štruktúrny element typu disk veľkosť štruktúrneho elementu je 3 pixely.

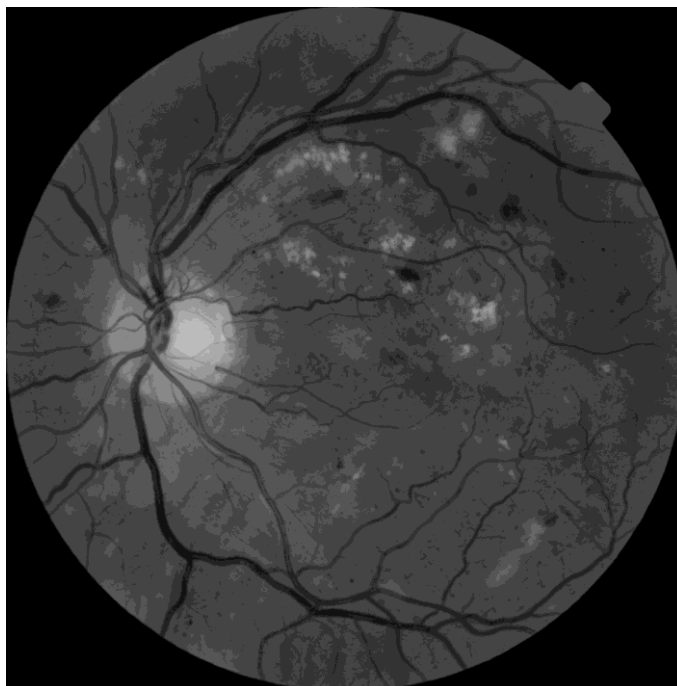
Takýto obraz však stráca niektoré detaily predovšetkým vo forme porušenia spojitosti tenkých ciev, čo sa snažíme vylepšiť ďalším krokom.



**Obr. 5.46** Výsledok otvorenia obrazu zeleného kanálu pomocou SE

## **Morfologická rekonštrukcia**

Týmto krokom je vykonanie morfolologickej rekonštrukcie otvoreného obrazu, výsledkom je ideálne obraz so zvýrazneným riečiskom a lepším rozlíšením tenkých ciev, ako tomu bolo u samotného otvorenia.



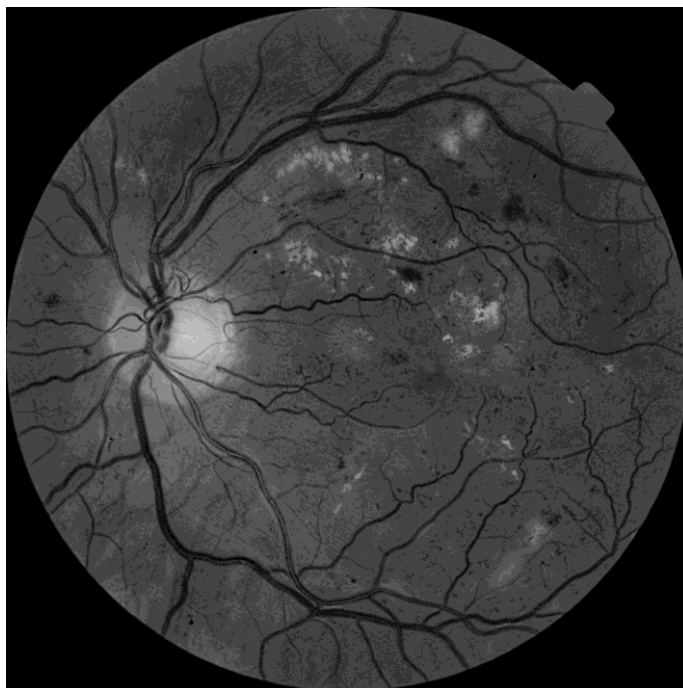
**Obr. 5.47** Výsledok morfolologickej rekonštrukcie otvoreného obrazu podľa pôvodného

### **Morfologické zvýraznenie obrazu**

Vhodným výberom morfologických operátorov je možné zvýraznenie kontrastu v obraze. Realizácia pozostáva v aplikácii morfologických bottom-hat a top-hat transformácie na obraz, ktorý sme získali po rekonštrukcii pôvodného obrazu s otvorením. Najskôr sa výsledok top-hat transformácie pripočíta k rekonštruovanému obrazu a potom je výsledok bottom-hat transformácie od takto získaného obrazu odpočítaný. Veľkosť a tvar štruktúrneho elementu sme určili subjektívne na tvar disku a veľkosť na 5.

Parametre štruktúrnych elementov pre bottom-hat a top-hat transformácie môžu byť s nastavením uvedeným vyššie. Výstupom je transformovaný obraz.

Výsledok takejto operácie je zobrazený na obr. 5.58.



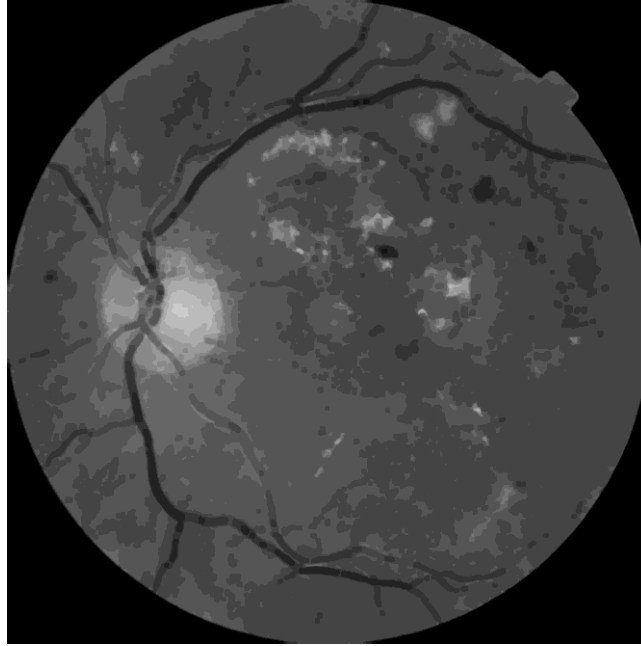
**Obr. 5.48** Výsledok morfológického zvýraznenia obrazu

### **Aplikácia morfológického uzavretia**

Aplikáciou morfológického uzavretia cez okolie vymedzené štruktúrnym elementom v obraze ma za následok zvýraznenie ciev a odstránenie tmavých štruktúr v obraze, do ktorých sa štruktúrny element nedostane. Cieva prebiehajúca v rovnakom smere ako štruktúrny element zostane zachovaná pri nastavení štruktúrneho elementu na jeho najvyššiu hodnotu.

V tomto prípade som použil štruktúrny element typu disk veľkosť štruktúrneho elementu je 6 pixelov.

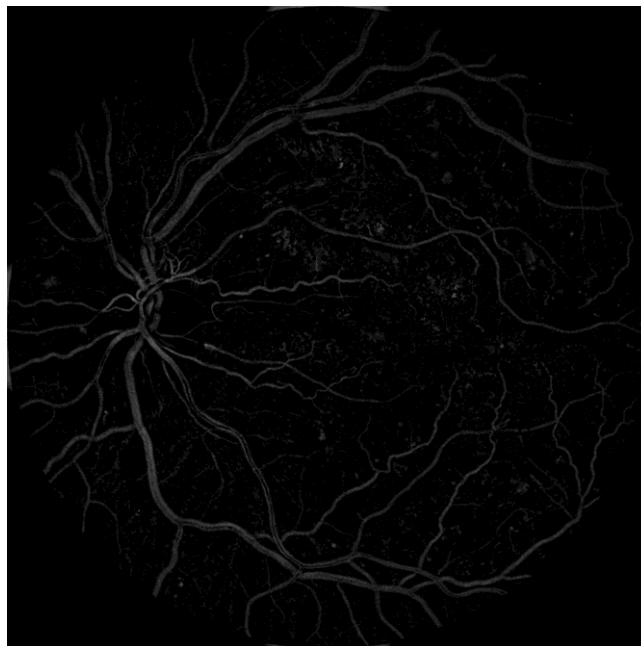
Takýto obraz však stráca niektoré detaily predovšetkým vo forme porušenia spojitosti tenkých ciev, čo sa snažíme vylepšiť ďalším krokom.



**Obr. 5.49** Výsledok uzavretia obrazu zeleného kanálu pomocou SE

## **Rozdiel uzavretého a zvýrazneného obrazu**

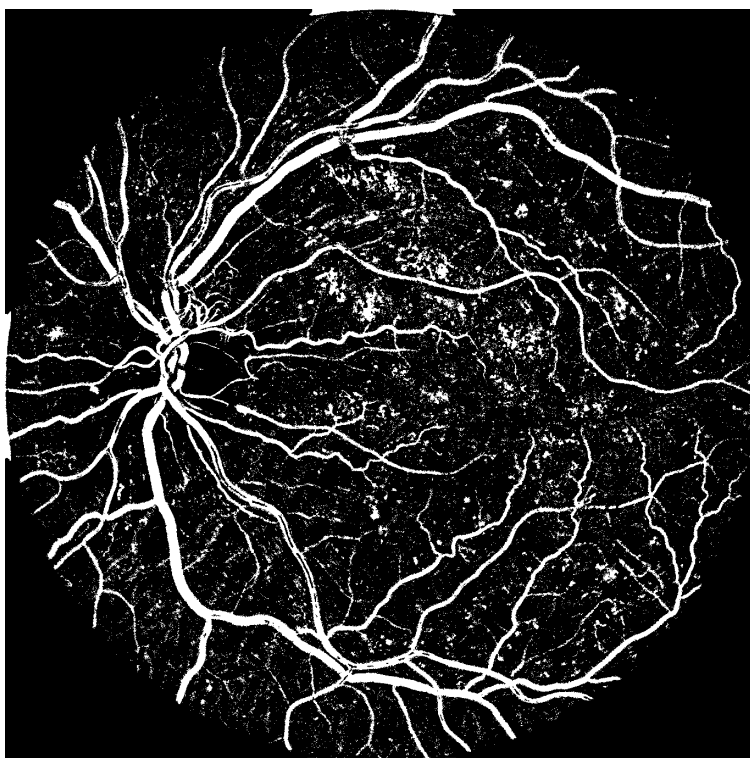
Nasledujúcim krokom je odpočítanie uzavretého obrazu od zvýrazneného obrazu za účelom zvýraznenia ciev. Touto operáciou sme zvýraznili cievy pre prevod obrazu do binárnej štruktúry. Zároveň došlo aj k zlepšeniu kontrastu medzi cievnyim riečiskom a pozadím. Zvýraznili sa aj tenšie cievy.



**Obr. 5.50** Rozdiel uzavretého a zvýrazneného obrazu

## Operácia Graythresh

Operácia nazývaná aj globálne prahovanie pomocou Otsu metódy, ktorá určí veľkosť prahu, aby sa minimalizovalo vnútorný rozptyl čiernych a bielych pixelov. Viac dimenzionálne polia sú automaticky prevedené do 2-D s využitím funkcie reshape (transformácia). Výstupný obraz je binárny. [Otsu, N., ]

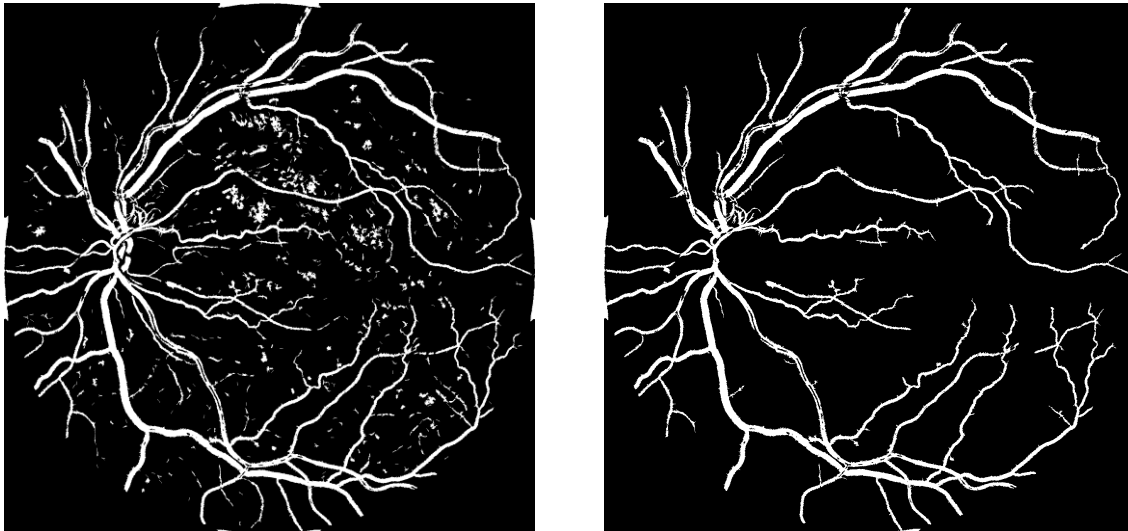


Obr. 5.51 Operácia Graythresh

## Otvorenie lineárnym štruktúrnym elementom definovanej dĺžky

V tomto prípade som použil štruktúrny element dĺžky 10 pre každú zo 65 smerových orientácii. Túto operáciu reprezentuje funkcia `open_60`. Vstupom je obraz, ktorý chceme filtrovať a dĺžka štruktúrneho elementu pri filtrácii.

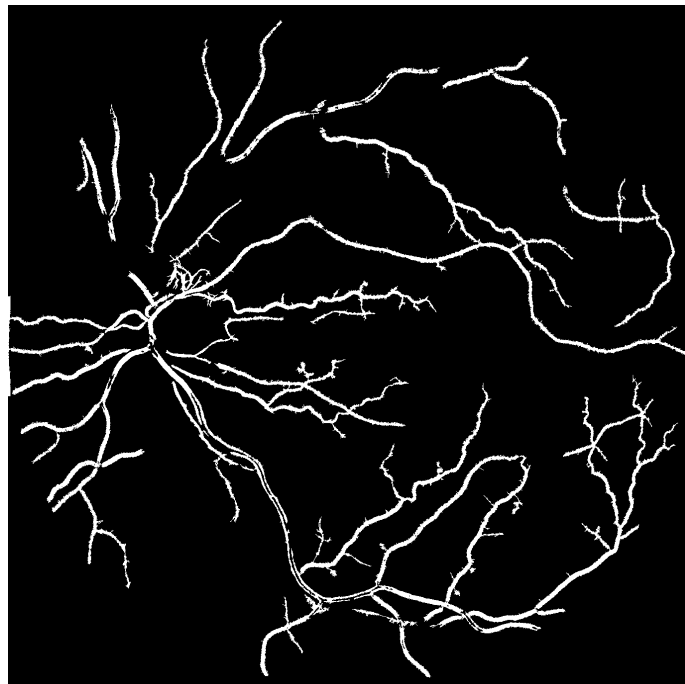
Takýto obraz však obsahuje aj niektoré detaily predovšetkým tie ktoré nie sú cievmi je nutne odstrániť v nasledujúcom kroku.



**Obr. 5.52** Otvorenie lineárnym štruktúrnym elementom definovanej dĺžky

## Operácia Bwareaopen

Touto operáciou môžeme odstrániť malé nespojité objekty do určitej veľkosti. Tieto objekty označujeme ako artefakty nesprávne segmentovaného pozadia. K ich vzniku dochádza, keď jasová hodnota pozadia prevyšuje prah. Tieto objekty nie sú cievmi preto je nutne ich odstrániť. Optimálna hodnota bola určená subjektívne na hodnotu 1500. Výsledkom by mal byť obraz binárnej štruktúry cievneho riečiska.

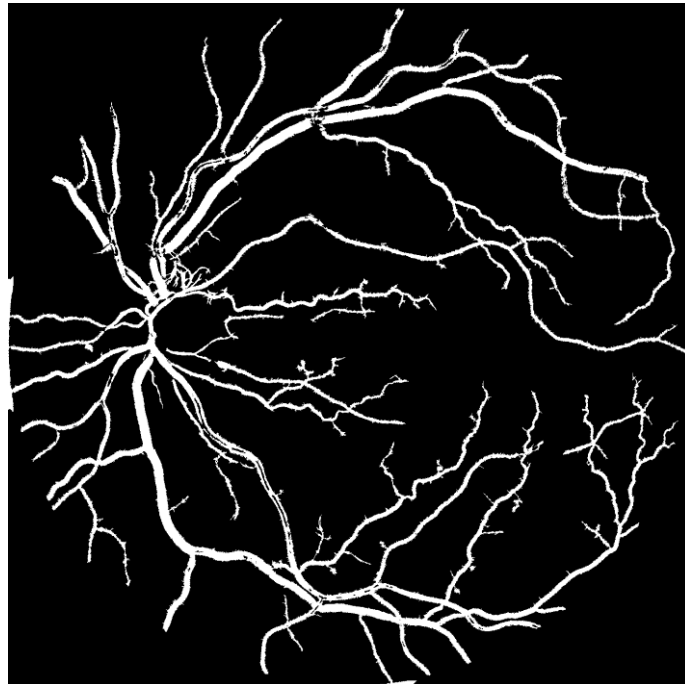


**Obr. 5.53** Obrázok vytvorený druhou vetvou metódy



## Spojenie obrazov

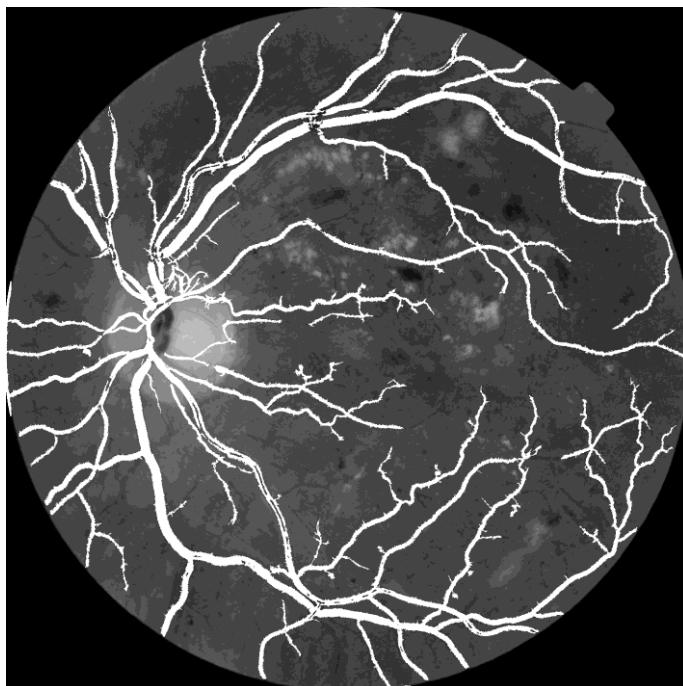
Predposledným krokom mojej metódy segmentácie je spojenie binárnych obrazov vytvorených rozdielnymi štruktúrnymi elementmi. Obidva vetvy algoritmu produkujú čiastočnú rekonštrukciu cievneho stromu. Ich zložením vzniká finálny obraz.



Obr. 5.54 Výsledne spojenie binárnych obrazov

## Prekrytie cievneho riečiska s pôvodným obrazom

Posledným krokom mojej metódy je spojenie binárneho obrazu s pôvodným zeleným kanálom obrazu ktorý bol vstupom do tejto metódy. Binárny obraz bolo nutne



**Obr. 5.55** Prekrytie cievného riečiska s pôvodným obrazom

## Kritériá k hodnoteniu

Pre hodnotenie je potrebné určiť si hodnotiace kritéria, pomocou ktorých ďalej prebieha samotné hodnotenie výsledkov práce.

Najskôr si definujeme nasledujúce pojmy používané pri hodnotení:

- TP - True Positive (správne segmentovaný biely pixel) : biely pixel bol očakávaný a segmentovaný
- FP - False Positive (nesprávne segmentovaný biely pixel) : bol očakávaný čierny pixel, ale segmentovaný bol biely
- TN - True Negative (správne segmentovaný čierny pixel) : čierne pixel bol očakávaný a segmentovaný
- FN - False Negative (nesprávne segmentovaný čierny pixel) bol očakávaný biely pixel, ale segmentovaný bol čierny

## Senzitivita

Senzitivita, alebo tiež TPR - True Positive Rate, uvádza mieru skutočnej úspešnosti. Je to pravdepodobnosť, že biely pixel ma patriť do cievného riečiska. Senzitivita je vyjadrená pomocou rovnice:

$$TPR = TP / (TP + FN) \quad (5.60)$$

## Špecificita

Špecificita, alebo tiež TNR - True Negative Rate, je opísaná ako miera skutočnej neúspešnosti. Uvádza pravdepodobnosť, že čierny pixel ma patriť do pozadia. Špecificita je vyjadrená rovnicou:

$$TNR = TN / (FP + TN) \quad (5.61)$$

## Accuracy -presnosť merania

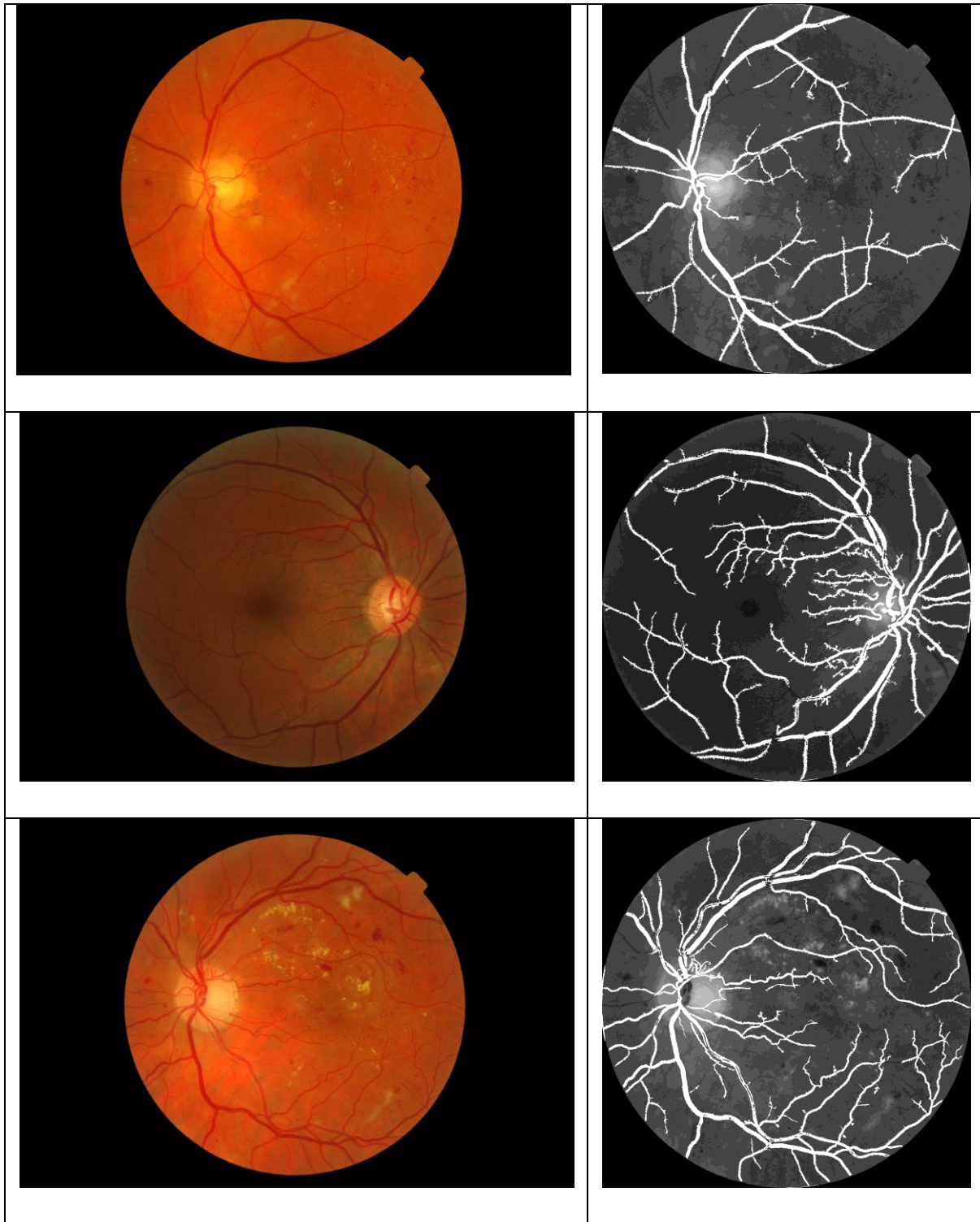
Ide o odchýlku od skutočnej hodnoty meranej veličiny. Vypočítať sa dá pomocou vzťahu :

$$ACC = (TP + TN) / (TP + TN + FN + FP) \quad (5.62)$$

Pokiaľ sa presnosť merania približuje hodnote 1 (resp. 100%), tým je meranie presnejšie, a naopak. Samotná presnosť merania závisí na presnosti použitého algoritmu hodnotenia, v tomto prípade teda senzitivity, špecificity a schopnosti počítat správne hodnoty.

## Výsledky segmentácie

Nasledujúce obrázky ukazujú výsledky segmentácie cievného riečiska pre snímky z databázy Messidor. Analýza bola prevedená na súbore 10 obrazov. Vybrané boli 3 obrázky.

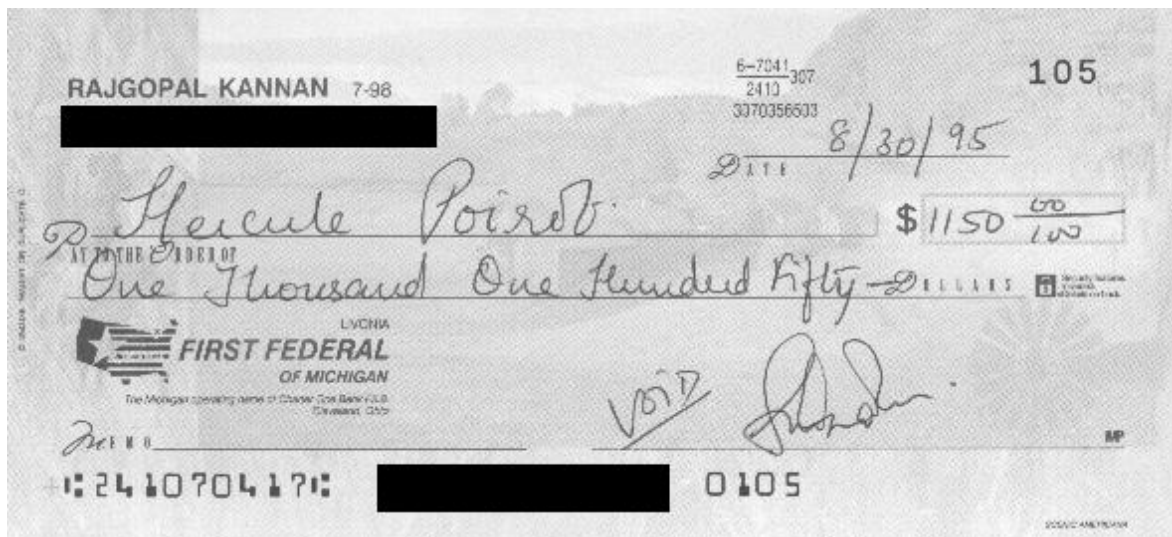


**Obr. 5.56** Výsledné spracovanie obrazov môjho algoritmu

## Úprava šeku – zvýšenie kontrastu a zlepšenie čitateľnosti

V ďalšej časti diplomového projektu sme sa venovali možnostiam konkrétneho využitia morfológických operácií v praxi. Keďže samotných aplikácií, kde sa morfológické operácie využívajú je nespočetné množstvo, pre potreby tohto projektu a ako príklad využitia sme zvolili metódu odstránenia pozadia na bankových šekoch .

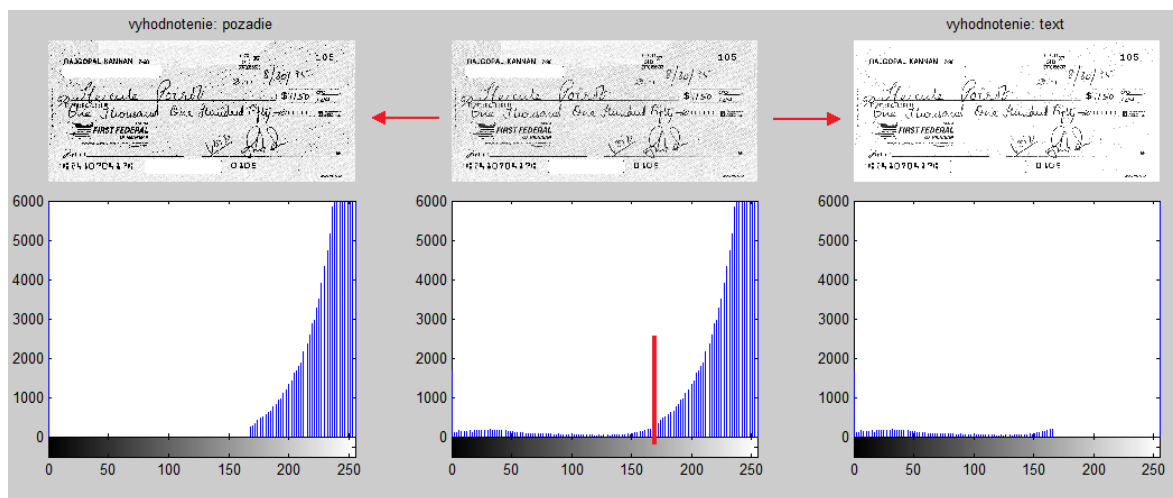
Táto metóda je určená na rozpoznanie ručne písaného textu pri technikách digitalizácie a elektronického spracovania rôznych tlačív, dokumentov a najmä v bankovej sfére pri spracovávaní bankových šekov. Hoci na Slovensku sa ručne vypisované klasické bankové šeky na meno vôbec nevyužívajú, v zahraničných bankách je táto možnosť štandardom (Na Slovensku v bankovom styku môžeme ako príklad uviesť rôzne druhy bankových šekov vo forme vkladu na účet, bankových prevodov uskutočňovaných priamo v banke vyplnením rôznych poukázok, alebo napríklad rôznych poštových poukázok). Každá banka ponúka svojim klientom rôzne formy šekov, s rôznymi vyhotoveniami a najmä s rôznym pozadím. Preto sa tu nedá hovoriť o štandardnom formáte takýchto bankových šekov. Hlavnou úlohou teda zostáva odstránenie pozadia na takomto šeku za podmienky zachovania ručne písaného textu, ktorý vlastne chceme z takéhoto šeku získať.



Obr. 5.57 Bankový šek určený na spracovanie

Problémom je odstrániť pozadie bankového šeku spôsobom, ktorý umožní získanie ručne písaného textu. Keďže pozadia šekov vo svete bývajú rôzne a každá

svetová banka má vlastné, klasická metóda by vyžadovala pamäť so všetkými pozadiami bankových šekov, čo je prakticky nereálne. Preto je táto metóda navrhnutá tak, že je schopná získať text bez potreby uchovávanía nevyplnených bankových šekov v pamäti. Táto metóda vytvára tzv. pseudo-vzor, ktorý je vytvorený z vyplnených šekov a slúži ďalej ako referencia na odstránenie pozadia. Výsledok je potom rozdelený na obrazové body popredia a obrazové body pozadia v závislosti na relatívnej hranici veľkosti (hodnoty) obrazových bodov. Na základe správne zvolenej hranice sme potom schopní získať len text odstránením neželaného pozadia šeku.



**Obr. 5.58** Detekcia hranice medzi textom (objektom) a pozadím obrazu s využitím Otsu kritéria maximalizácie medzitriedneho rozptylu.

Naším zvoleným kritériom bola Otsu metóda, pomocou ktorej sme dokázali oddeliť pozadie bankového šeku od popredia a teda tým získať písaný text. Podstatou je určiť varianciu medzi objektom a pozadím podľa vzťahu:

$$\sigma_{\omega}^2(t) = \omega_1(t)\sigma_1^2(t) + \omega_2(t)\sigma_2^2(t) \quad (5.63)$$

kde  $\sigma_1^2$  je variancia objektu,

$\sigma_2^2$  je variancia pozadia,

$\sigma_{\omega}^2$  je variancia medzi objektom a pozadím.

Metóda vychádza z relatívneho histogramu a je založená na štatistických výpočtoch. Predpokladá existenciu dvoch tried C0 a C1 (body objektov (popredia,

textu v našom prípade) a body pozadia) rozdelené prahom v hodnote  $k$ , čo znamená, že body patriace do triedy  $C_0$  majú hodnotu jasú v intervale  $\langle 0, k-1 \rangle$  a body z triedy  $C_1$  v intervale  $\langle k, J-1 \rangle$ . Hodnota  $J$  odpovedá počtu úrovní jasú obrazu. Potom teda pravdepodobnosť výskytu bodu z triedy  $C_0$  (označíme ju ako  $\omega_0$ ) sa rovná:

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^{k-1} p_i = \omega(k) \quad (5.64)$$

a pravdepodobnosť výskytu v triede  $C_1$  (označíme ju ako  $\omega_1$ ) sa rovná:

$$\omega_1 = \sum_{i=k}^{J-1} p_i = 1 - \omega(k) \quad (5.65)$$

kde  $p_i$  je  $i$ -tá hodnota z relatívneho histogramu. Keďže máme iba dve triedy, do ktorých sú všetky obrazové body rozdelené, platí vzťah:

$$\omega_0 + \omega_1 = 1 \quad (5.66)$$

Teraz určíme strednú hodnotu oboch tried. Pre triedu  $C_0$  platí:

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^{k-1} \frac{i \cdot p_i}{\omega_0} = \frac{\mu(k)}{\omega(k)} \quad (5.67)$$

pre triedu  $C_1$  platí:

$$\mu_1 = \sum_{i=k}^{J-1} \frac{i \cdot p_i}{\omega_1} = \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - \omega(k)} \quad (5.68)$$

Ďalej zavedieme hodnoty:

$$\omega(k) = \sum_{i=0}^{k-1} p_i \quad (5.69)$$

$$\mu(k) = \sum_{i=0}^{k-1} i \cdot p_i \quad (5.70)$$

ako nulý a prvý centrálny moment histogramu do jasú  $k-1$  a hodnotu:

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{J-1} i \cdot p_i \quad (5.71)$$

ako celkovú strednú hodnotu celého originálneho obrazu. Z týchto vzťahov teraz môžeme jednoducho odvodiť platnosť ďalšieho vzťahu:

$$\omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1 = \mu_T \quad (5.72)$$

Ďalej zavedieme pojem variancia (rôznosť, kolísanie) triedy. Variancia je definovaná pre triedu  $C_0$  a  $C_1$  takto:

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(i - \mu_0)^2 p_i}{\omega_0} \quad (5.73)$$

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=k}^{J-1} \frac{(i - \mu_1)^2 p_i}{\omega_1} \quad (5.74)$$

Teraz sa dostávame k jadrú problému, definujeme totiž takzvanú medzitriednu varianciu, jej  $\sigma_B^2$  maximalizáciou získame hodnotu prahu v histogramu. Platí pre ňu nasledujúci vzťah:

$$\sigma_B^2 = \omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (5.75)$$

ktorý si ešte ďalej upravíme a zjednodušíme aplikovaním vyššie uvedených vzorcov. Výsledkom je vzorec v tvare:

$$\sigma_B^2(k) = \frac{[\mu_T \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]} \quad (5.76)$$

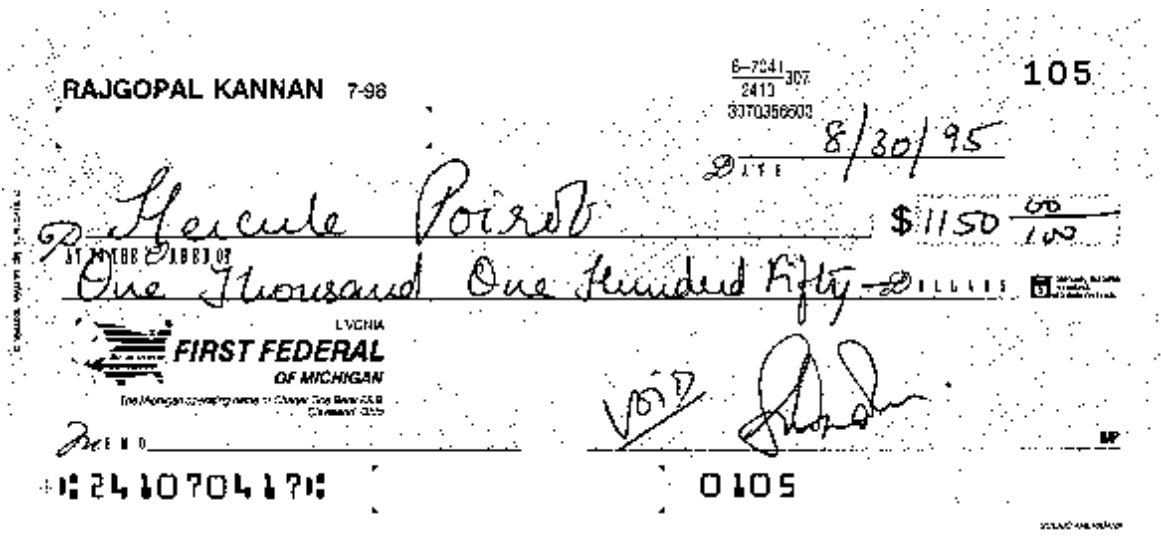
Hľadanú prahovú hodnotu potom dostaneme vyhodnotením tohto výrazu pre všetky  $k \in \langle 0, J-1 \rangle$  nájdením takého  $k$ , pre ktoré výraz nadobudne maximálne hodnoty.

Výsledné  $k^*$  teda bude:

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{0 \leq k \leq J-1} \sigma_B^2(k) \quad (5.77)$$

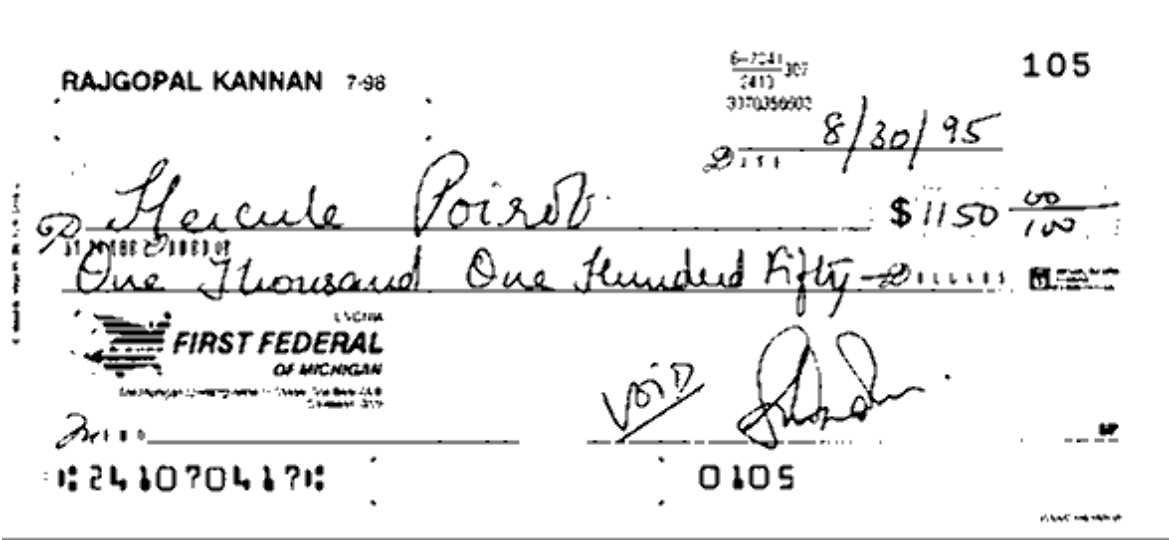
Jedná sa teda o nájdenie prahu v takom mieste histogramu, kde vzdialenosť stredných hodnôt oboch tried je maximálna a dochádza tak k optimálnej separácii objektov a pozadia.





Obr. 5.59 Výsledok získaný na základe Otsu kritéria vyhodnotený ako text (objekt)

Popísanou metódou prahovania pomocou Otsu kritéria sme získali text z bankového šeku (obr. 5.59). Takýmto spôsobom sme získali takmer ideálny obraz, z ktorého je zreteľne čitateľný text. Avšak, výsledný obraz obsahuje aj body, ktoré hoci boli vyhodnotené ako text, textom nie sú. Sú to však väčšinou izolované body na obraze, ktoré je možné celkom jednoducho odstrániť napríklad mediánovým filtrom. Takto upravený bankový šek, znázornený na obr. 5.60. predstavuje výsledok pre našu metódu spracovania a môže byť ďalej použitý v ďalších spracovaniach, ktoré si vyžadujú odstránenie nežiaduceho pozadia.



Obr. 5.76 Výsledný obrázok spracovaný morfológickými operáciami v prostredí Matlab (odstránenie pozadia bankového šeku)