

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

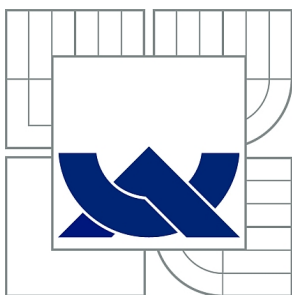
SEGMENTACE TEPENNÉHO A ŽILNÍHO ŘEČIŠTĚ VE SNÍMCÍCH  
SÍTNICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

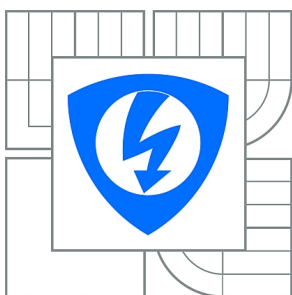
DAGMARA ŠUMBEROVÁ

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## SEGMENTACE TEPENNÉHO A ŽILNÍHO ŘEČIŠTĚ VE SNÍMCÍCH SÍTNICE

ARTERIES AND VEINS SEGMENTATION IN RETINAL IMAGES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DAGMARA ŠUMBEROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. RADIM KOLÁŘ, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

**Biomedicínská technika a bioinformatika**

**Studentka:** Dagmara Šumberová

**ID:** 136491

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2013/2014

## NÁZEV TÉMATU:

**Segmentace tepenného a žilního řečiště ve snímcích sítnice**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Seznamte se s metodami pro segmentaci cévního řečiště ve snímcích sítnice, které jsou založeny na přizpůsobených filtrech. Dále se seznamte s retinálními daty, které jsou k dispozici na UBMI. 2) Navrhněte metodu pro odlišení tepenného a žilního řečiště z již segmentovaných dat cévního řečiště za využití originálních snímků sítnice. Při návrhu využijte metody pro zpracování obrazů a metody umělé inteligence, které jsou implementovány v Matlabu, případně jiném prostředí (např. prostředí WEKA) 3) Sestavte testovací množinu, na které budete navržený algoritmus testovat a proveďte první testy. 4) Navrženou metodu upravte tak, aby bylo možné ji použít na celý obraz. 5) Výsledný algoritmus otestujte na celých obrazech a případně modifikujte dle získaných výsledků. 6) Proveďte vyhodnocení metody a výsledky dostatečně diskutujte.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ODSTRČILÍK, J., J. JAN. a R. KOLÁŘ. Segmentation of Vessel Structure in Retinal Images by Matched Filtering. In: Analysis of Biomedical Signals and Images, 2008, 19, 178-183.

[2] DUDA R. O., P. E. HART a D. G. STORK, Pattern Classification (2nd Edition). Wiley-Interscience, 2000.

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 30.5.2014

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Radim Kolář, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá potřebností segmentace cévního řečiště při digitální analýze snímků sítnice a jejich následné klasifikace. Je zde stručně popsána segmentace cévního řečiště pomocí přizpůsobených filtrů. Další část práce je zaměřena na vlastní zpracování snímků sítnice, jejich manuální segmentaci a následné testování pro určení nejlépe rozlišujících parametrů ke klasifikaci. Nakonec je provedeno vyhodnocení naměřených parametrů a navrženo rozšíření této metody.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Sítnice, snímky sítnice, cévní řečiště, segmentace cévního řečiště, databáze, ekvalizace histogramu,

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the necessity of vascular segmentation in digital image analysis of the retina and their subsequent classification. It briefly describes the segmentation of vessels using matched filtering. Next part of this thesis is focused on processing of the retinal images, their manual segmentation and subsequent testing to determine the best discriminating parameters for classification. Finally there is an evaluation of measured parameters and the proposed extension of this method.

## **KEYWORDS**

Retina, retinal images, vascular bed, vessel segmentation, diabase, histogram equalization

ŠUMBEROVÁ, D. *Segmentace tepenného a žilního řečiště ve snímcích sítnice*.  
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních  
technologií, 2014. 46 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radim Kolář, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Segmentace tepenného a žilního řečiště ve snímcích sítnice jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Radimu Kolářovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

# OBSAH

ÚVOD .....	9
1 ANATOMIE OKA .....	10
1.1 Stavba oka .....	10
1.2 Stavba sítnice .....	11
1.3 Sítnicové cévy a jejich onemocnění .....	12
2 SEGMENTACE CÉVNÍHO ŘEČIŠTĚ .....	14
2.1 Metoda pro segmentaci cévního řečiště ve snímcích sítnice pomocí přizpůsobených filtrů .....	14
2.2 Popis použitých dat se snímky sítnice .....	14
2.3 Manuální segmentace žilního a tepenného řečiště .....	15
3 NÁVRH METODY PRO SEGMENTACI ŽILNÍHO A TEPENNÉHO ŘEČIŠTĚ .....	17
3.1 Výběr vhodných příznaků .....	17
3.2 Úprava snímků pomocí ekvalizace histogramu .....	17
3.3 Měření zvolených parametrů .....	22
3.3.1 Měření kontrastu .....	22
3.3.2 Měření jasu středové linie .....	30
3.3.3 Měření celkového jasu .....	35
4 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY .....	39
5 NÁVRH ROZŠÍŘENÍ METODY .....	40
ZÁVĚR .....	41
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	42
SEZNAM ZKRATEK .....	43
SEZNAM PŘÍLOH .....	44
PŘÍLOHA A: POPIS PROGRAMŮ .....	45
PŘÍLOHA B: POPIS PŘILOŽENÉHO CD .....	46

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Anatomie oka [3] .....	10
Obr. 2: Žlutá a slepá skvrna na snímku sítnice .....	11
Obr. 3: Retinální tepna a žíla na snímku sítnice.....	12
Obr. 4: Ukázka snímků z databáze: a) RGB snímek, b) BW snímek, c) Maska snímku.....	15
Obr. 5: Snímek sítnice osoby s: a) diabetickou retinopatií, b) zdravý, c) glaukomem .....	15
Obr. 6: Použité snímky při manuální segmentaci: a) BW snímek, b) RGB snímek	15
Obr. 7: Ukázka RGB profilu snímku sítnice: a) R kanál, b) G kanál, c) B kanál ...	16
Obr. 8: Manuálně segmentované cévní řečiště: a) tepny, b) žíly .....	16
Obr. 9: Porovnání intenzity ve snímcích .....	18
Obr. 10: Histogramy snímků v barevném profilu G .....	18
Obr. 11: Ekvalizované histogramy snímků v barevném profilu G .....	19
Obr. 12: Snímky před a po ekvalizaci v barevné složce R.....	20
Obr. 13: Snímky před a po ekvalizaci v barevné složce G .....	20
Obr. 14: Snímky před a po ekvalizaci v barevné složce B.....	21
Obr. 15: Viditelnost cév před a po ekvalizaci v R a G složce.....	22
Obr. 16: Volba velikosti okna .....	23
Obr. 17: Původní BW obraz.....	23
Obr. 18: Použití disku pro odmazání čtyřpixelových částí .....	24
Obr. 19: Použití disku pro odmazání pětipixelových částí.....	24
Obr. 20: Místo křížení tepny a žíly .....	25
Obr. 21: Výpočet kontrastu v místě křížení .....	25
Obr. 22: Naměřené hodnoty kontrastu tepen a žil.....	29
Obr. 23: Jas ve středové linii tepen .....	30
Obr. 24: Naměřené hodnoty jasu středové linie tepen a žil .....	34
Obr. 25: Naměřené hodnoty celkového jasu tepen a žil.....	38

# ÚVOD

Snímky sítnice jsou velmi užitečné pro neinvazivní sledování a diagnostiku mnoha onemocnění. Podle strukturálních změn a různých poškození sítnice lze usuzovat o výskytu, či předpovědět onemocnění srdce, ledvin a dalších. Proto je digitální zpracování a analýza snímků sítnice nepostradatelnou součástí lékařské diagnostiky.

V první části práce je stručně shrnuta anatomie oka, popsána stavba sítnice a jejích cév. Zmíněna jsou onemocnění, která lze předpovídat po měření parametrů ve snímcích sítnice a jaké změny na cévách sítnice jim odpovídají. V další části práce je stručně představena segmentace cévního řečiště a rozvedena metoda pro segmentaci cévního řečiště ve snímcích sítnice, která je založena na přizpůsobených filtrech. Na konci teoretické části práce je představena databáze snímků, se kterými se dále pracuje.

V druhé části práce je provedeno zpracování snímků z databáze. Je provedena manuální segmentace tepenného a žilního řečiště a rozlišené snímky jsou pak použity pro testování parametrů k rozlišení cév. Je vytvořen program na měření kontrastu, jasů středové linie a celkového jasů cév. Parametry jsou proměřovány v různých barevných složkách a vyhodnocena jejich rozlišovací schopnost.

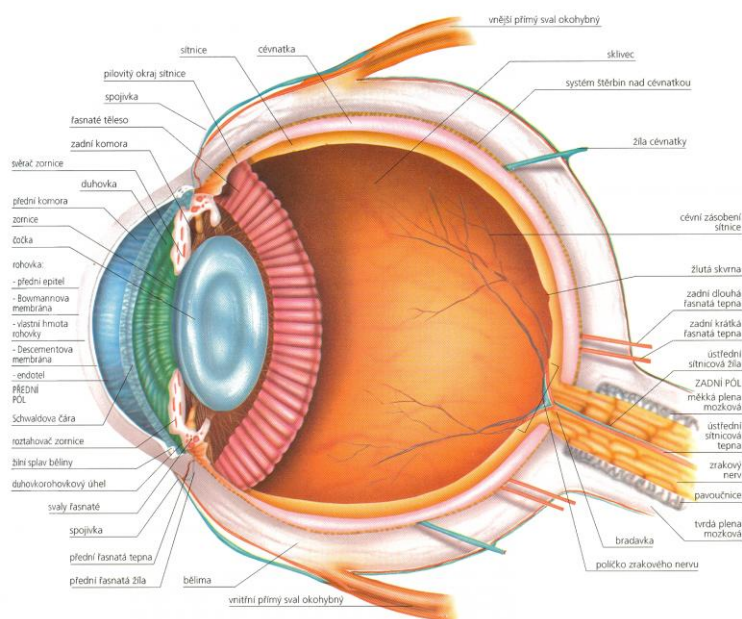
Nakonec je provedeno zhodnocení naměřených výsledků a navrženo zlepšení funkce této metody. Navíc je navržen postup pro vytvoření plně automatizované metody ke klasifikaci celého cévního řečiště.

# 1 ANATOMIE OKA

Oko je orgán jednoho z nejdůležitějších lidských smyslů – zraku. Lze pomocí něj vnímat až 80% informací z okolního prostředí (světlo, barvy, tvar). Okem prochází dopadající fotony viditelného světla, tj. elektromagnetické vlnění o vlnové délce 380 – 780 nm, a jsou zpracovány na sítnici, odkud jsou vedeny jako vzruch po zrakovém nervu až do mozku a vnímány jako obraz. [1,2]

## 1.1 Stavba oka

Oko je kulovitý orgán velký asi 24 mm, který je umístěn v kostěné očníci. Chrání ho víčka a řasy. Oko je kryto třemi tkáňovými obaly. Vnější je bělma, je to tuhá, vláknitá a neprůhledná vrstva, která dává bílou barvu bělmu. Bělma vepředu přechází v průhlednou rohovku, ta má větší poloměr zakřivení a prochází jí světlo do oka. Střední obal tvoří cévnatka, na ni navazují řasnatá tělesa a vepředu přechází v duhovku. Ta je neprůhledná a reguluje vstup světla do oka, středový otvor se nazývá zornice. Vnitřní obal oka tvoří sítnice, což je nejsložitější část oka a zajišťuje zrakový vjem. Mezi rohovkou a duhovkou se nachází přední oční komora a mezi duhovkou a čočkou se nachází zadní oční komora. Uvnitř oční koule se nachází sklivce, komorová voda, která je obsažena v očních komorách a udržuje nitrooční tlak, a čočka. Čočku drží na svém místě řasnatá tělesa, která umožňují její oplošťování. Čočkou prochází paprsky světla a jsou zde usměrňovány, aby dopadaly na sítnici. Na obr. 1 lze vidět anatomii oka. [1,2,3]



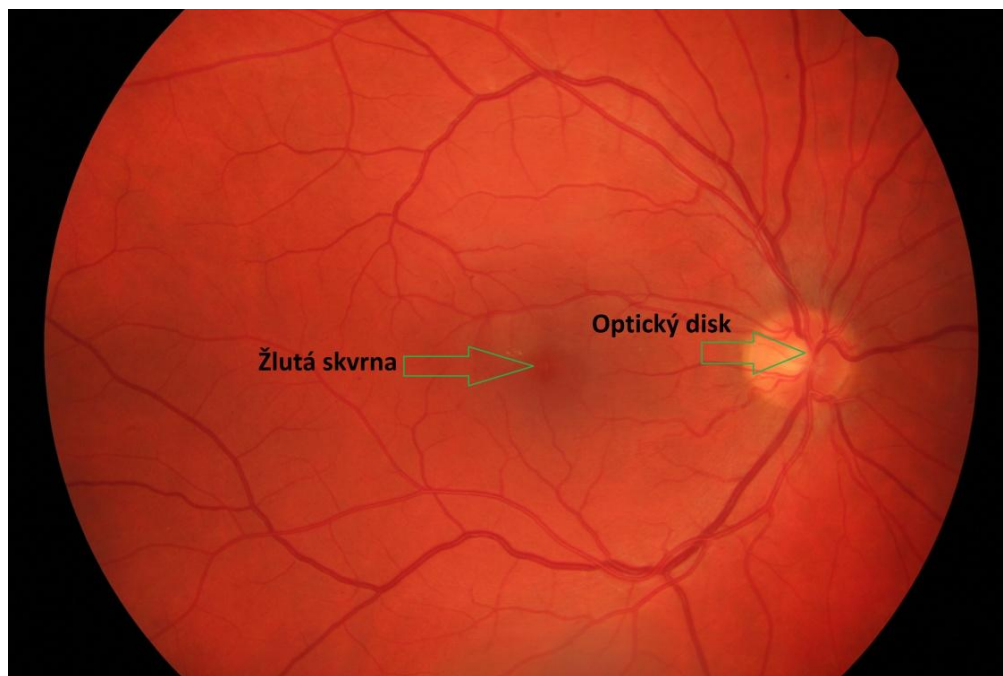
Obr. 1: Anatomie oka [3]

## 1.2 Stavba sítnice

Sítnice (retina) je tenká a jemná blána růžového zbarvení, jejímž úkolem je převedení obrazu, který se na ní vytváří, na elektrické nervové impulsy a jejich následné odesílání do zrakového centra v mozku. Na sítnici se vytváří převrácený a zmenšený obraz, který je v mozku zpracován. V zadní části oka je sítnice silnější, její tloušťka kolísá mezi 0,1 – 0,3 mm. Buňky sítnice jsou uspořádány do 10 vrstev, které nasedají na cévnatku, přičemž každá vrstva má svou úlohu. [4]

Smyslové buňky sítnice (fotoreceptory) zpracovávají světelné impulsy dopadající na sítnici. Fotoreceptory jsou dvojího typu: tyčinky a čípky. Tyčinky jsou velmi citlivé a reagují na dopad už i jednoho fotonu. Zajišťují skotopické (nebarevné) vidění a v sítnici je jich obsaženo asi 120 milionů. Fotopické (barevné) vidění je zprostředkováno pomocí čípků, které rozlišují jemnější detaily, ale ke své funkci potřebují více světla, takže pracují za denního světla, na rozdíl od tyčinek, které pracují i za šera. Čípků je v sítnici asi 6 - 7 milionů. Dále jsou v sítnici obsaženy bipolární a gangliové buňky (podílí se na přenosu vzruchů) a potom asociační a podpůrné buňky (mají vyživovací úlohu). [3,4]

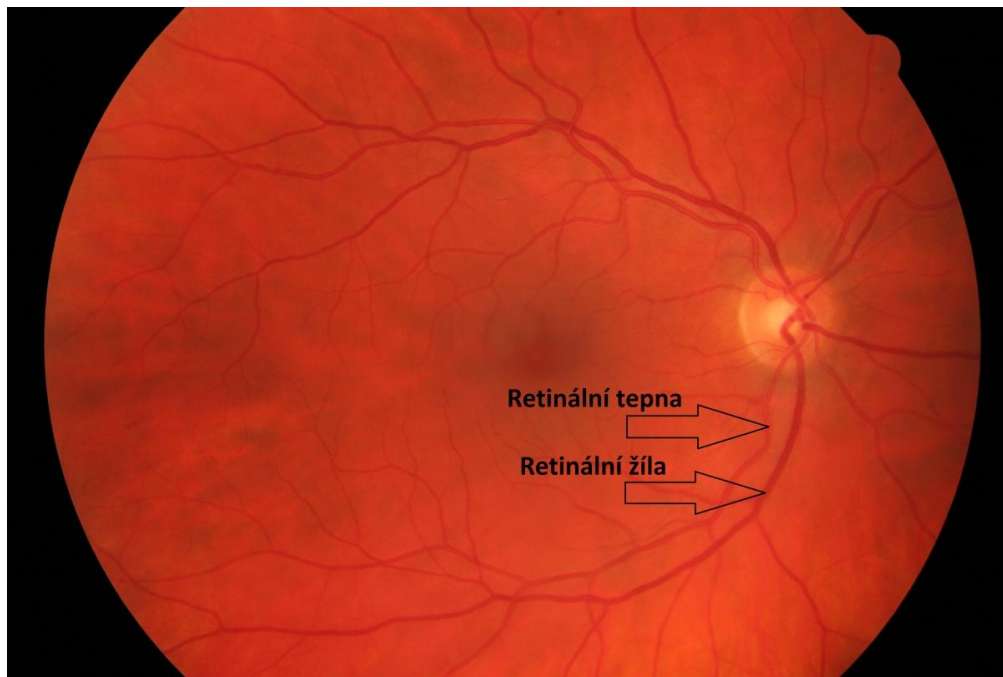
Zvláštními strukturami na sítnici jsou optický disk a žlutá skvrna. Optický disk je místo na sítnici, které kromě vnitřní hraniční membrány neobsahuje žádné sítnicové buňky, je to místo, kde nelze zobrazit žádný obraz. V tomto místě z oka vystupují nervová vlákna sítnice a vedou do zrakového nervu a dále pak zde do oka vstupují retinální cévy, které se na sítnici dále větví. Na snímku jej lze vidět jako světle žlutou až bílou oblast. Žlutá skvrna naopak je místem nejostřejšího vidění, obsahuje veškeré čípky a na snímku ji lze vidět jako, asi 1,5 mm velkou, načervenalou oblast. Tyto dvě struktury jsou vidět na obr. 2. [4]



Obr. 2: Žlutá a slepá skvrna na snímku sítnice

### 1.3 Sítnicové cévy a jejich onemocnění

Retinální cévy můžeme rozdělit na čtyři základní svazky: horní a dolní temporální a horní a dolní nasální. Každý svazek obsahuje tepnu a žílu. Ty se pak s odstupem od optického disku stále více rozvětvují. Jejich funkcí je vyživovat sítnici, přivádět do ní okysličenou krev a důležité živiny pro její funkci (zajišťují tepny), dále pak mají za úkol odvádět ze sítnice odkysličenou krev, odpadní látky a produkty metabolismu zde vytvořené (zajišťují žíly). Protože žíly odvádí odkysličenou krev, která má tmavší namodralé zbarvení od okysličené krve, liší se také žíly od tepen svým tmavším zbarvením, což můžeme pozorovat na obr. 3. [6]



Obr. 3: Retinální tepna a žíla na snímku sítnice

Sítnicové cévy jsou jediným místem v těle, kde je možnost přímo pozorovat cévy, proto je vyšetření očního pozadí dobré nejen pro oftalmology, ale i pro lékaře jiných oborů (např. neurology, kardiology), z toho důvodu, že morfologické změny na cévách sítnice jsou prediktivní pro onemocnění cév jiných částí těla, jako je mozek, srdce, ledviny, atd. Patologické změny sítnice a jejích cév mají souvislost s celkovými chorobami jako je cukrovka (diabetes mellitus), hypertenze, kardiovaskulární onemocnění nebo glaukom. Poškození funkce cév v sítnici se nazývá vaskulopatie, naproti tomu poškození sítnice způsobené špatnou funkčností cév sítnice se nazývá retinopatie. Pro zhodnocení snímků sítnice a pro měření různých parametrů je důležitá segmentace cévního řečiště v těchto snímcích a také odlišení tepenného a žilního řečiště, aby se daly měřit arterio-venulární poměry průměrů (dále jen AVR). [7]

Pomocí měření AVR můžou být hodnocena různá arteriální nebo venulární zúžení (popř. rozšíření), které u člověka mohou indikovat hypertenzi. Obecně s přibývajícím věkem dochází k zúžení retinálních arterioli a venul. Mnohé studie však potvrdily, že u hypertenze dochází, po upravení na věk i pohlaví, ke značnému arteriálnímu zúžení. U venul však výsledky mluví protichůdně, u některých měření dochází vlivem

hypertenze k malému zúžení, či dokonce rozšíření, a nebo se průměr téměř nemění. Je tedy jasné, že zúžení retinálních tepen může předpovídat hypertenzi. Otázkou je, jestli toto zužování spíše přispívá k jejímu rozvoji, nebo je jen jejím důsledkem. [8]

Dalším možným využitím měření změn v mikrocirkulaci sítnice je predikce koronárních srdečních onemocnění a mrtvice. Bylo prokázáno, že výskyt menšího arteriolárního průměru a naopak většího venulárního průměru má spojitost s rizikem koronárního srdečního onemocnění. Zvýšené riziko mrtvice se vyskytuje u lidí s rozšířením retinálních venul, zatímco zúžení arteriol v tomto případě vliv nemá. [8]

U predikce diabetu není zcela jasné, podle jakých parametrů se řídit při určování možného rizika onemocnění. Je mnoho studií, které se tímto tématem zabývaly, ale výsledky jsou rozporuplné. Některé tvrdí, že výskyt diabetu druhého typu je u osob se zmenšeným arteriolárním průměrem, jiné naopak přisuzují riziko výskytu diabetu u osob s venulární dilatací, přičemž arteriolární průměr nemá žádný vliv. Každopádně lze říci, že existuje určitý vztah mezi šířkou retinálních cév a výskytu diabetu. [8]

U výskytu glaukomu (zeleného zákalu) se také pozoruje určitých změn v cévním řečišti sítnice. Znovu je zde faktorem zúžení retinálních arteriol a je zjištěno, že podíl má i zúžení retinálních venul. [8]

Lze tedy říci, že díky pozorování cév sítnice a zjišťování AVR se dá neinvazivně předpovědět určité riziko k výskytu hypertenze, diabetu, glaukomu nebo budoucímu kardiovaskulárnímu onemocnění. Proto je důležitým úkolem vyvinout spolehlivé prostředky k segmentaci cévního řečiště ve snímcích sítnice, aby bylo možné měřit AVR a další parametry, které lze použít pro predikci onemocnění ohrožující na životě.

## 2 SEGMENTACE CÉVNÍHO ŘEČIŠTĚ

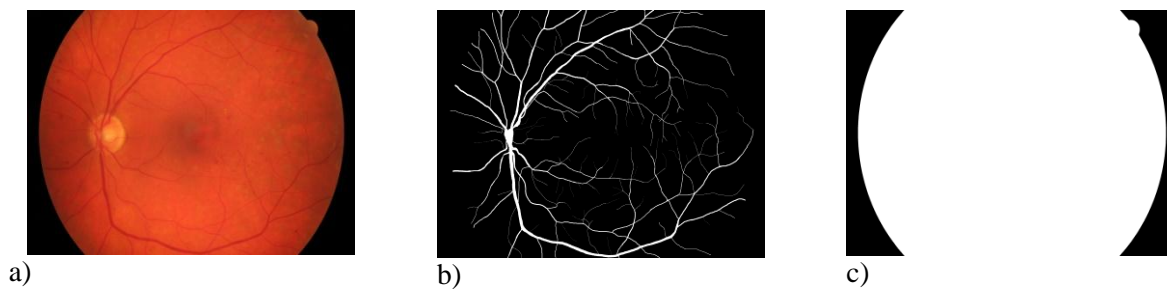
Segmentace cév je důležitá část v analýze snímků sítnice. Jak již bylo řečeno, analýza slouží k měření cévního kalibru a měření AVR. K tomu aby se ze snímků dalo AVR změřit, je nutno provést několik operací se snímky. Nejprve je na řadě segmentace sítnicových cév, potom lokalizace a segmentace optického disku, rozdělení cév na tepny a žíly, výběr hlavních cévních párů a konečně vlastní měření AVR. Tato práce se zaměřuje na odlišení tepenného a žilního řečiště. [9]

### 2.1 Metoda pro segmentaci cévního řečiště ve snímcích sítnice pomocí přizpůsobených filtrů

Tato metoda je založena na korelaci mezi lokální oblastí obrazu, která obsahuje cévní segmenty, a 2D maskami přizpůsobených filtrů. Masky byly navrženy na základě typického jasů cévních profilů a měřeny šířky cév. Jsou uvažovány 3 rozsahy šířky cév: tenké, střední a tlusté (ukázalo se jako dostatečné pro detekci). Filtrační masky jsou navrženy jako aproximace typického segmentu cévy Gaussovou křivkou. Každý profil vytvořil 12 odlišně orientovaných masek (0° - 165° s 15° krokem), celkově tedy vzniklo 36 masek. Tímto způsobem je získáno 12 parametrických obrázků pro každý ze tří rozsahů cévní šířky pomocí konvoluce obrázků s maskami. Parametrické obrázky přináší lokální ohodnocení přítomnosti cévních částí (o určité šířce a orientaci) pro každý pixel v obraze. Těchto 12 parametrických obrazů je potom spojeno tak, že je vybrána maximální odezva filtru v každém výsledném pixelu, v každém rozsahu šířky. Získané 3 obrázky pro tenké, střední a tlusté cévy jsou následně prahovány a je vytvořena kompletní cévní struktura obrazu kombinovaná s těchto dílčích obrazů velikosti cév. V následujícím kroku se provádí doplnění hrubého cévního stromu, který je získán z výše uvedeného o zřejmě chybějící části cév. Nakonec je provedeno odstranění malých artefaktů vzniklých v důsledku obrazového šumu nebo necévních struktur, dojde k odstranění všech objektů, které mají méně než zadaný počet pixelů. [10,11]

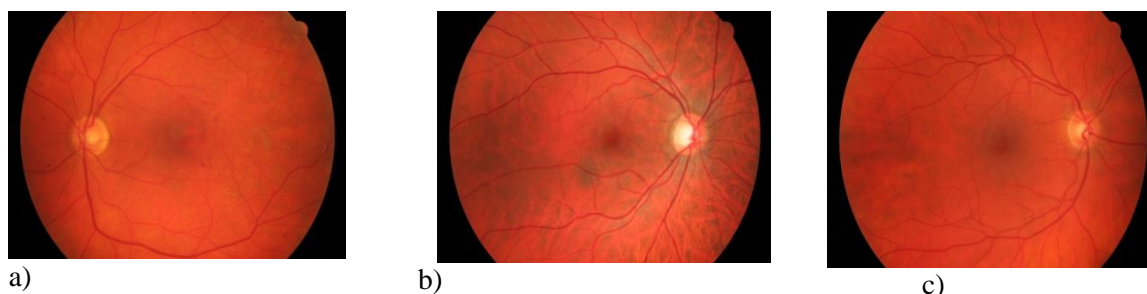
### 2.2 Popis použitých dat se snímky sítnice

Data, se kterými je prováděna semestrální práce, pochází z Ústavu biomedicínské techniky. Tato databáze snímků sítnice obsahuje 3 složky. V první jsou snímky v barevném rastru RGB, uloženy ve formátu .jpg (viz obr. 4a), druhá obsahuje již segmentované snímky v černobílé podobě ve formátu .tif (viz obr. 4b) a poslední je sada masek, které představují šablonu zorného pole kamery (viz obr. 4c).



Obr. 4: Ukázka snímků z databáze: a) RGB snímek, b) BW snímek, c) Maska snímku

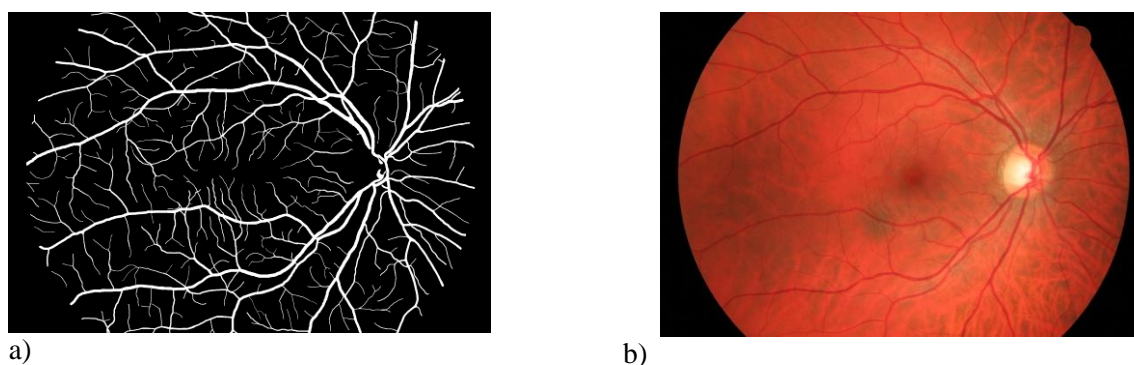
Všechny sady obsahují 3 druhy snímků, které pochází od osob s diabetickou retinopatií, zdravých jedinců a s glaukomem. Příklady snímků lze vidět na obr. 5.



Obr. 5: Snímek sítnice osoby s: a) diabetickou retinopatií, b) zdravý, c) glaukomem

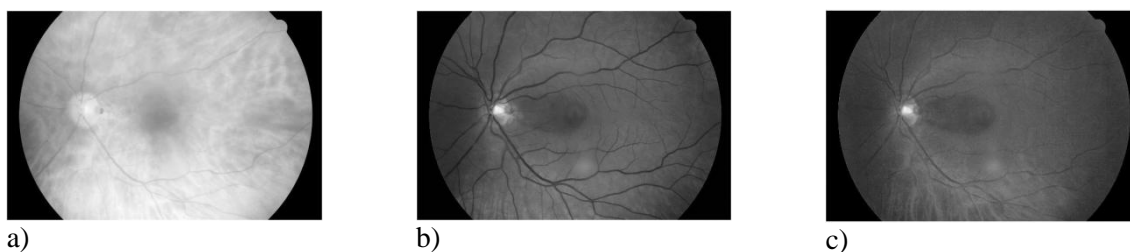
### 2.3 Manuální segmentace žilního a tepenného řečiště

Pro aplikaci navržené automatizované metody pro segmentaci žilního a tepenného řečiště je potřeba vytvořit testovací množinu s již segmentovaným cévním řečištěm. Tato množina byla vytvořena z černobílých snímků databáze (viz obr. 6a), za přispění barevných snímků (viz obr. 6b).



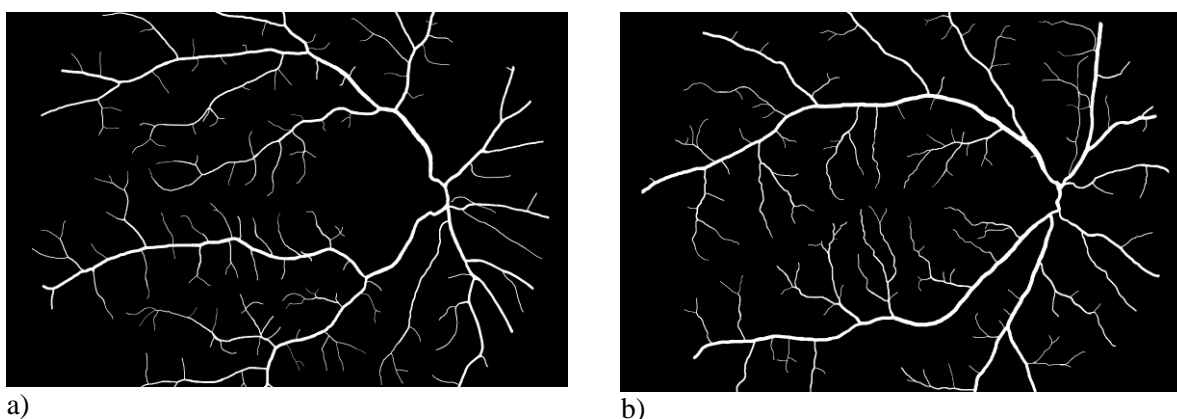
Obr. 6: Použité snímky při manuální segmentaci: a) BW snímek, b) RGB snímek

Posuzováním barvy cév bylo určeno, zda se jedná o tepny, které mají světlejší barvu a dalším rozeznávacím parametrem je viditelný centrální reflex u středu tepen. Žíly naproti tomu mají tmavší, sytě červenou barvu bez středového průsvitu. Rozlišování typu cévy začíná u optického disku, kde jsou cévy nejširší a lze je nejlépe identifikovat. Dále je sledován cévní strom a rozvětvení vždy pro konkrétní typ cévy a nehodící je smazán. V místech u větvení cév je pro rozhodování o typu cév využit pouze barevný profil G, který je získán z MATLABU (viz obr. 7). Tento profil je nejvhodnější pro hodnocení ve snímcích sítnice, protože je v něm optimální kontrast a dobře se rozeznává větvení.



Obr. 7: Ukázka RGB profilu snímku sítnice: a) R kanál, b) G kanál, c) B kanál

Postupným odmazáváním nehodícího se typu cévy (např. tepen) je získán obraz druhého typu cévy (tedy žil) a naopak. Ty cévy, které nemají žádnou popř. nejasnou návaznost na hlavní větve, jsou v průběhu manuální segmentace úplně odstraněny, protože nelze ani podle barvy laicky rozeznat o jaký typ cévy se jedná. Na obr. 8 lze vidět snímky s manuálně segmentovaným tepenným a žilním řečištěm. Segmentované obrázky lze porovnat s originálním snímkem, který lze vidět na obr. 6.



Obr. 8: Manuálně segmentované cévní řečiště: a) tepny, b) žíly

# 3 NÁVRH METODY PRO SEGMENTACI ŽILNÍHO A TEPENNÉHO ŘEČIŠTĚ

Cílem této práce je navrzení plně automatizované metody pro segmentaci cévního řečiště a následné vytvoření programu pro její realizaci v programovém prostředí MATLAB. K dispozici jsou snímky sítnice z databáze ÚBMI a manuálně segmentované snímky, které musely být k tomuto účelu vytvořeny. Metoda spočívá ve dvou krocích, první je výběr vhodných příznaků a jejich měření na testovací množině a druhý je pak trénování klasifikátorů.

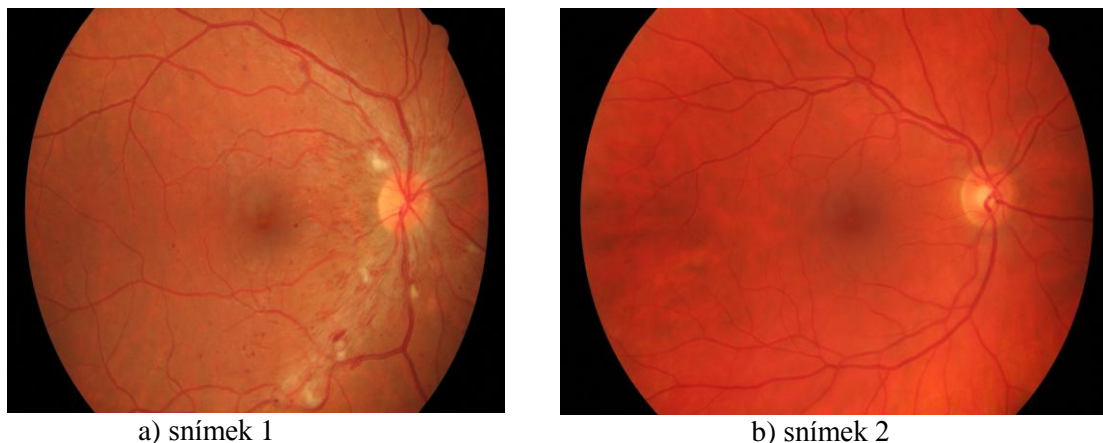
## 3.1 Výběr vhodných příznaků

Z databáze jsou k dispozici 3 sady po patnácti snímcích (pro diabetickou retinopatii, glaukom a zdravé jedince). Jako testovací množina jsou vzaty snímky segmentovaných cév, kterých je k dispozici 28 (14 s tepnami, 14 s žilami). Tyto snímky slouží k měření různých parametrů, aby bylo možné na základě výsledků měření určitým způsobem klasifikovat cévy do třídy tepen nebo žil.

Parametrů, které jsou na těchto segmentovaných snímcích měřeny, může být mnoho. Z článků [8] vyplývá, že se ke klasifikaci tepen a žil využívá jejich barvy a tloušťky. Z toho lze odvodit 6 parametrů, tři z nich odpovídají původním barevným složkám (červená, zelená a modrá) a tři odpovídají kontrastu v těchto barevných kanálech. Jako další rozlišující parametry lze navrhnout také centrální reflex tepen na středové linii, který je mnohem větší a lépe viditelný než u žil nebo můžeme u rozlišování měřit šířku cév, jelikož žíly jsou širší než tepny. Postupně budou změřeny parametry, které budou potřebné pro určení typu cévy.

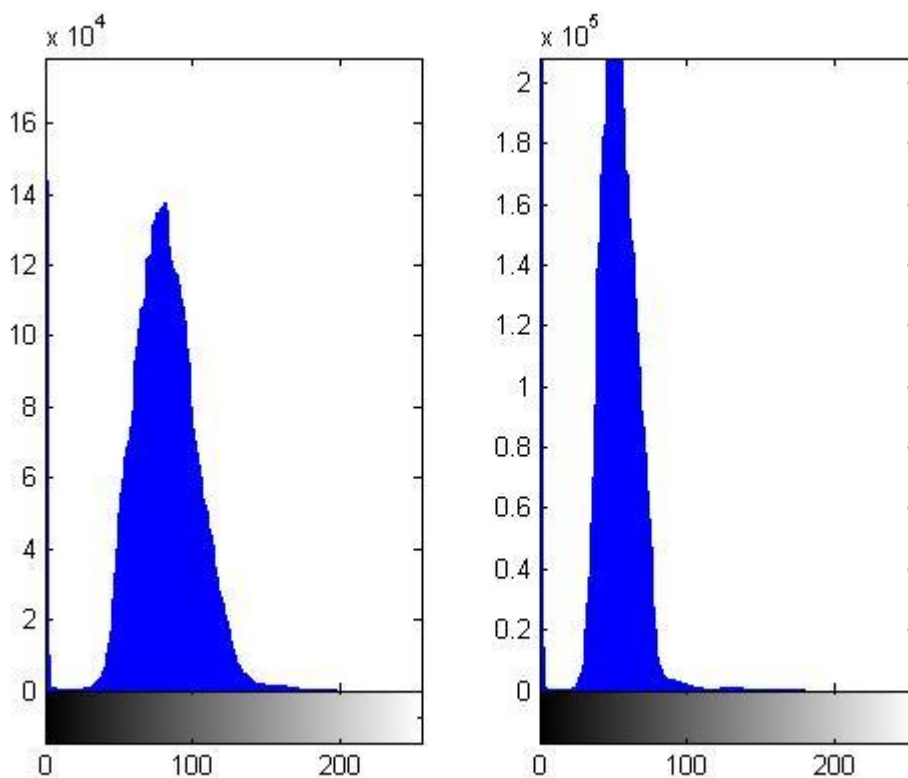
## 3.2 Úprava snímků pomocí ekvalizace histogramu

Snímky obsažené v databázi jsou barevně poměrně odlišné. Některé jsou více světlé, jiné naopak tmavší (viz obr. 9). Pro přesnější měření je potřeba tyto rozdíly odstranit, protože by mohly ovlivnit měření některých zvolených parametrů. Například při měření kontrastu a jasů je vhodné, aby snímky byly intenzitně co nejvíce vyrovnané. K hodnocení rozložení intenzit v digitálním obraze slouží histogram. Je to grafické znázornění vektoru s počtem složek rovným počtu možných úrovní intenzit obrazových bodů. Hodnota každé složky vektoru odpovídá četnosti bodů příslušné intenzity v obraze.



Obr. 9: Porovnání intenzity ve snímcích

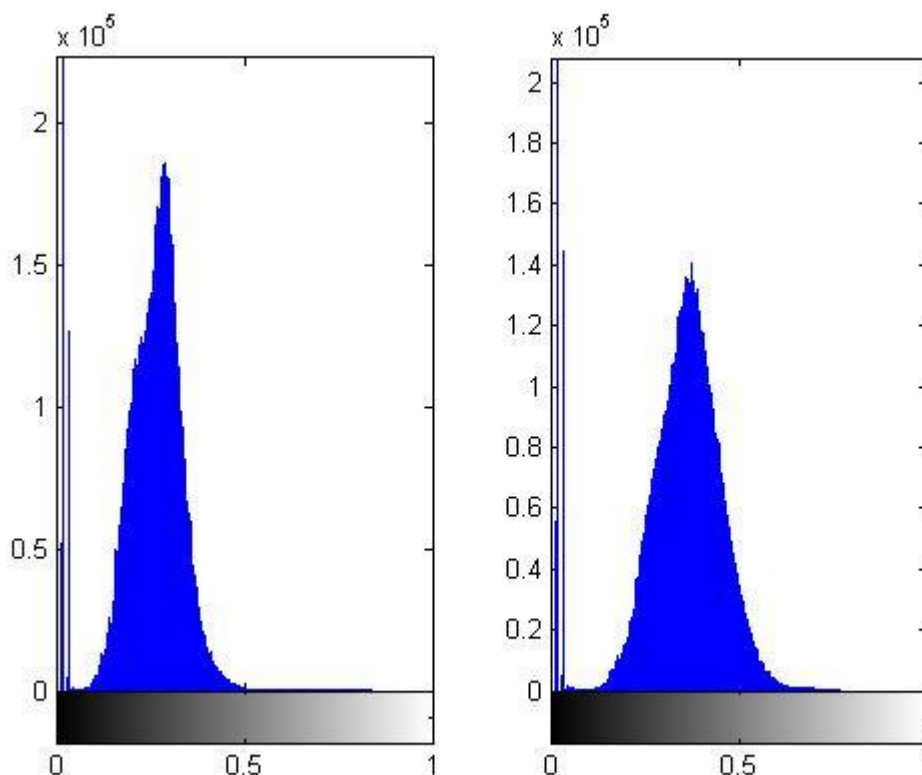
V Matlabu lze pomocí funkce *imhist* zobrazit histogramy jednotlivých snímků. Na obr. 10 lze vidět rozdíly intenzit obou obrazů.



Obr. 10: Histogramy snímků v barevném profilu G

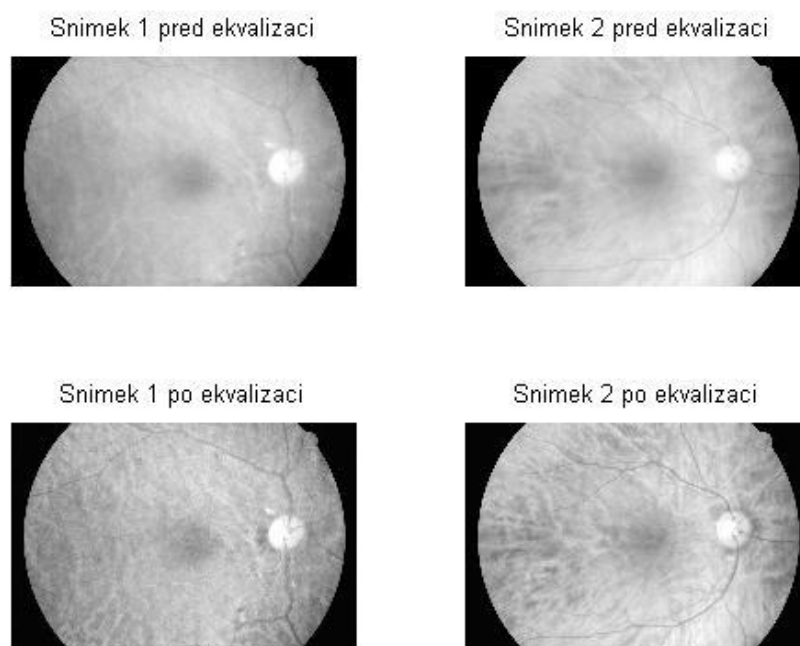
Tyto rozdíly je možno upravit pomocí ekvalizace histogramu. Ekvalizace histogramu je algoritmus, který změní rozložení intenzit v obraze tak, aby se v něm vyskytovaly pokud možno intenzity v širokém rozmezí, a to přibližně se stejnou

četností. Ekvalizace umožní v obrazech s celkově vysokým kontrastem zvýraznit špatně rozpoznatelné detaily s nízkým kontrastem. Díky tomu jsou malé cévy ve snímcích lépe viditelné. Ekvalizaci lze provést pomocí funkce *adaphisteq*. Na obr. 11 lze pozorovat změnu intenzit v histogramech po ekvalizaci. Intenzity se poměrně srovnaly.

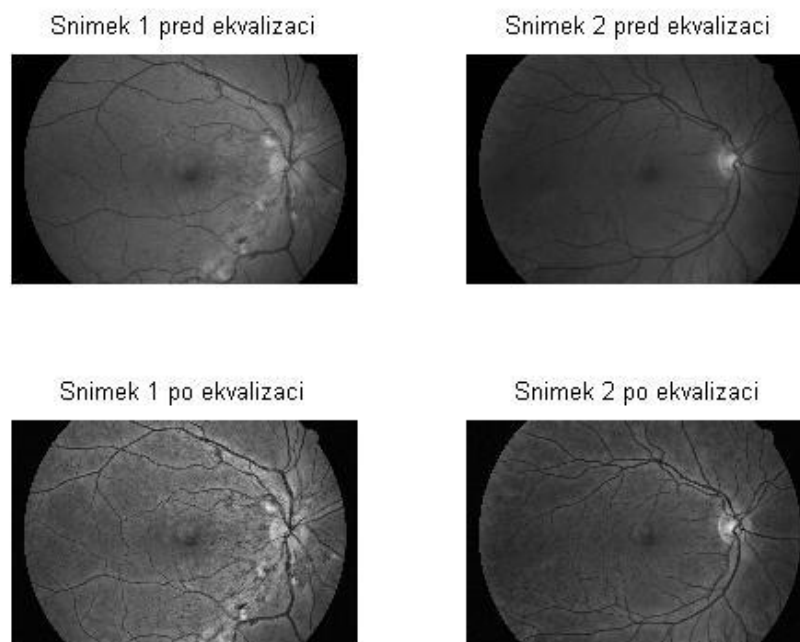


Obr. 11: Ekvalizované histogramy snímků v barevném profilu G

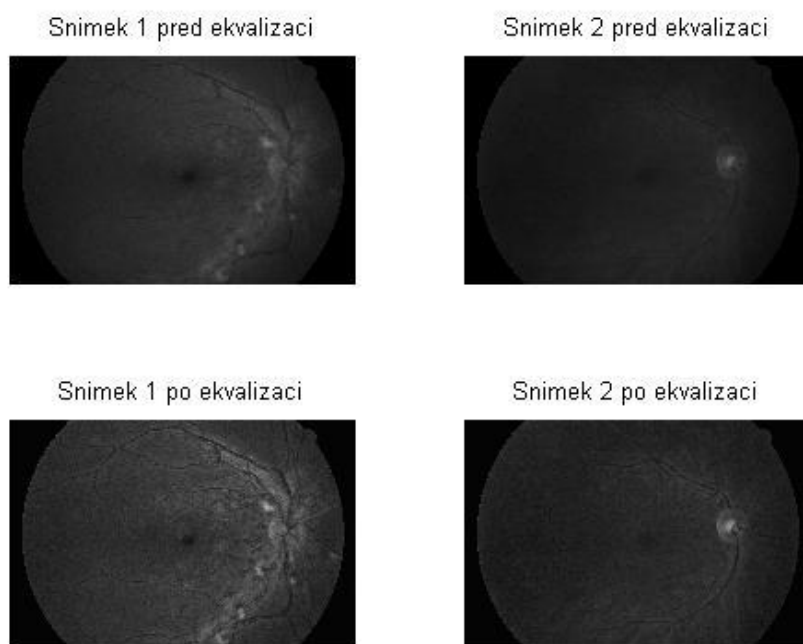
Další úprava musí probíhat s ohledem na to, v jakém barevném profilu budou parametry měřeny. Jak je výše uvedeno, nejlépe viditelné jsou cévy v zelené složce obrazu. Po vykreslení snímků z obr. 9 v jednotlivých barevných profilech a provedení ekvalizace jejich histogramů jsou výsledky vykresleny na obr. 12, 13 a 14. Na obr. 12 lze vidět červenou složku obrazů, není zde dostatečný kontrast a cévy nejsou dobře viditelné. Obr. 13 zobrazuje zelenou složku obrazů a jejich ekvalizaci, cévy jsou zde dobře viditelné. Na obr. 14 je modrá složka obrazů, která je velmi tmavá i po ekvalizaci, a cévy v této složce jsou viditelné velice špatně. Z tohoto porovnání je patrné, že B složka se při měření parametrů může úplně vyloučit, měření by v tomto případě nemělo význam. Potvrzuje se, že nejvhodnější je pro měření složka G, ale i v R složce je možné dosáhnout výsledků měření.



Obr. 12: Snímky před a po ekvalizaci v barevné složce R



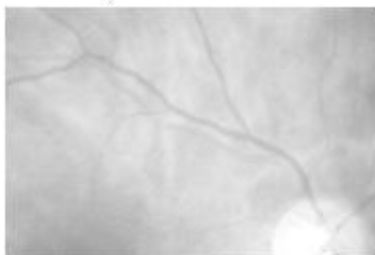
Obr. 13: Snímky před a po ekvalizaci v barevné složce G



Obr. 14: Snímky před a po ekvalizaci v barevné složce B

Pomocí ekvalizace histogramu je dosaženo lepšího kontrastu ve snímcích, a tím také lepší viditelnosti a odlišení cév. Na obr. 15 lze vidět úsek cév ze snímku 2 z obr. 9. Po ekvalizaci histogramu v jednotlivých složkách jsou lépe viditelné cévy a lze je lépe rozlišit. Před následným měřením potřebných parametrů je tedy potřeba provést ekvalizaci histogramu u všech použitých snímků v červené a zelené barevné složce.

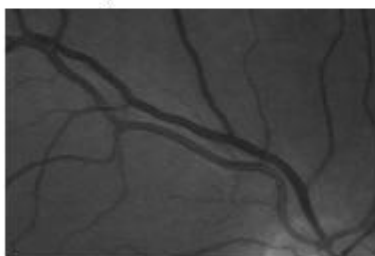
Snimek 2 pred ekvalizaci-R slozka



Snimek 2 po ekvalizaci-R slozka



Snimek 2 pred ekvalizaci-G slozka



Snimek 2 po ekvalizaci-G slozka



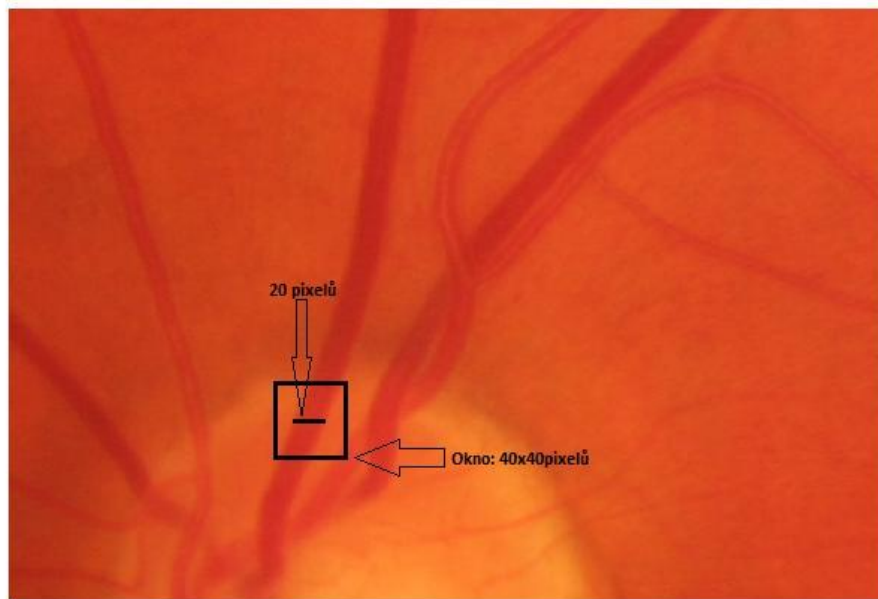
Obr. 15: Viditelnost cév před a po ekvalizaci v R a G složce

### 3.3 Měření zvolených parametrů

Parametry budou měřeny jak v červeném tak v zeleném barevném spektru obrazů. Po načtení databáze snímků jsou postupně vybírány jednotlivé barevné snímky a k nim jejich vysegmentované černobílé, dále jen BW, obrazy. Je vybrán skelet BW obrazů, čili středové jednopixelové linie cév, a získány souřadnice všech pixelů. Následně je procházen celý obraz a v něm je postupně měřen kontrast, jas středové linie a celkový jas tepen a žil.

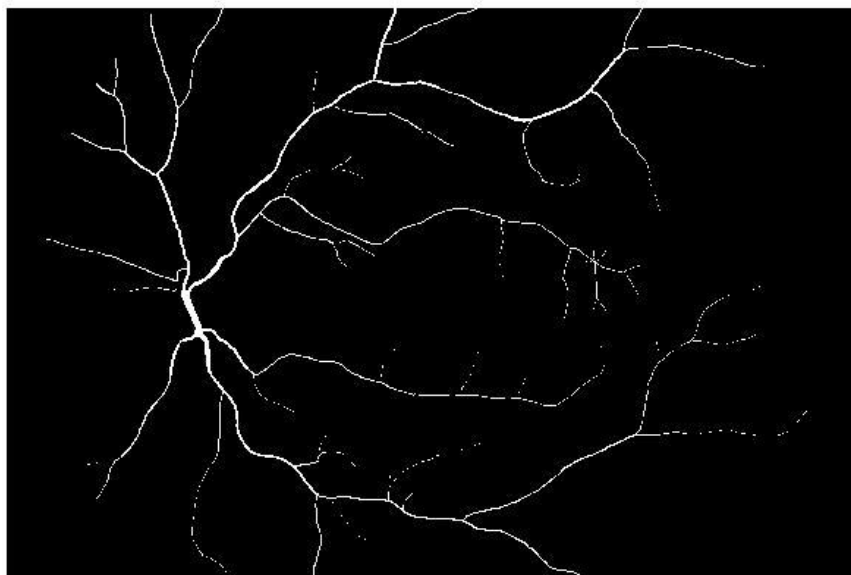
#### 3.3.1 Měření kontrastu

Prvním měřeným parametrem je kontrast cév vůči okolí v obraze. Nejprve je zvoleno okno, ve kterém se bude kontrast měřit. Okno musí být dostatečně velké, aby obsahlo celou šířku cévy a i její okolí. Na obr. 16 je vidět výsek cévy, která má v nejsilnější části šířku 20 pixelů. Aby mohl být spočítán kontrast, je potřeba zvolit okno aspoň dvojnásobně široké, čili 40x40 pixelů. Vzhledem k tomu, že se vzdáleností od optického disku, se cévy zužují, tato velikost okna není vhodná pro celý obraz.

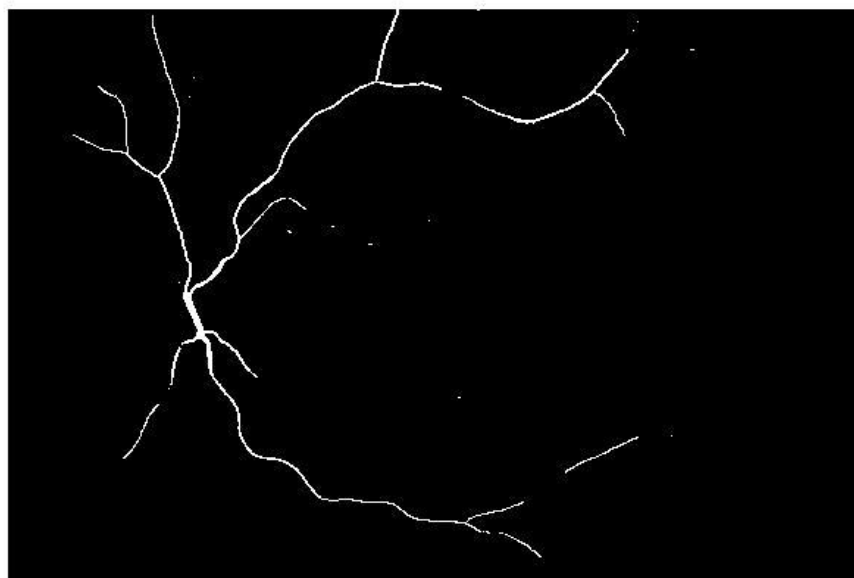


Obr. 16: Volba velikosti okna

Nejvhodnější je provádět měření jen na velkých cévách, jelikož vzdálenější, tenké cévy, splývají s okolím a nedá se změřit kontrast. Měření pouze velkých cév lze zajistit pomocí funkce *imopen*, díky které dojde z BW obrazů k vymazání všech segmentů menších než je velikost předem daného disku. K tomuto účelu je vhodné odmazat segmenty menší než 4 nebo 5 pixelů.



Obr. 17: Původní BW obraz



Obr. 18: Použití disku pro odmazání čtyřpixelových částí



Obr. 19: Použití disku pro odmazání pětipixelových částí

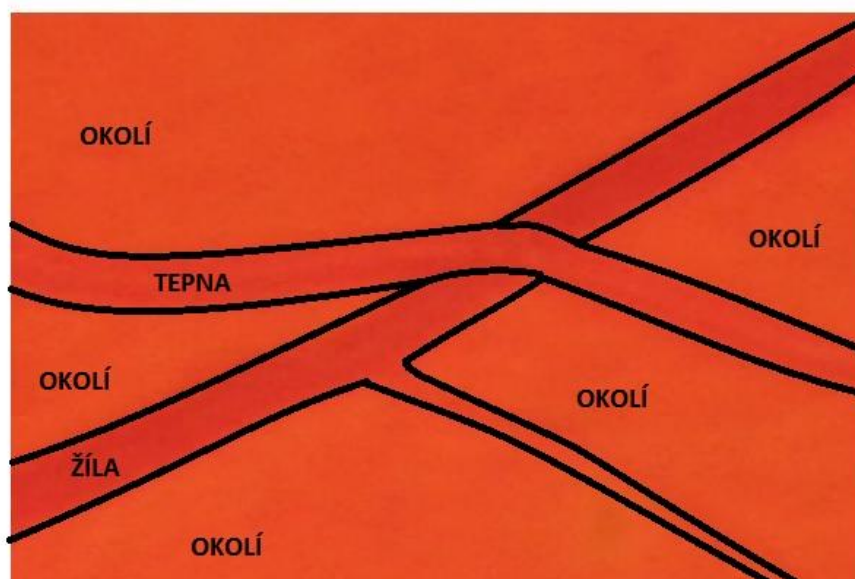
Z výše uvedených obrázků je vidět, že touto metodou se odstraní malé cévy a měření může dále probíhat jen na větších, hlavních cévách. Vlastní měření kontrastu probíhá v každém bodě obrazu v předem zvolené velikosti okna podle vzorce

$$\text{kontrast} = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2), \quad (3.1)$$

kde  $I_1$  je průměrná hodnota jasu pixelů představujících cévu a  $I_2$  je průměrná hodnota jasu pixelů představujících okolí cévy. V místech křížení cév by mohlo dojít k chybám měření, proto je tu výpočet upraven. V místě křížení tepny a žíly jsou detekovány zvlášť souřadnice tepny a zvlášť souřadnice žíly z BW segmentovaných obrazů. Tím je zjištěno okolí, které neobsahuje žádné cévy. Kontrast pro tepny je pak měřen tak, že  $I_1$  je jas v pixelech, představujících tepnu a  $I_2$  je jas v pixelech představujících okolí, jak je vyznačeno na obr. 21. Kontrast pro žíly se vypočítá obdobně.

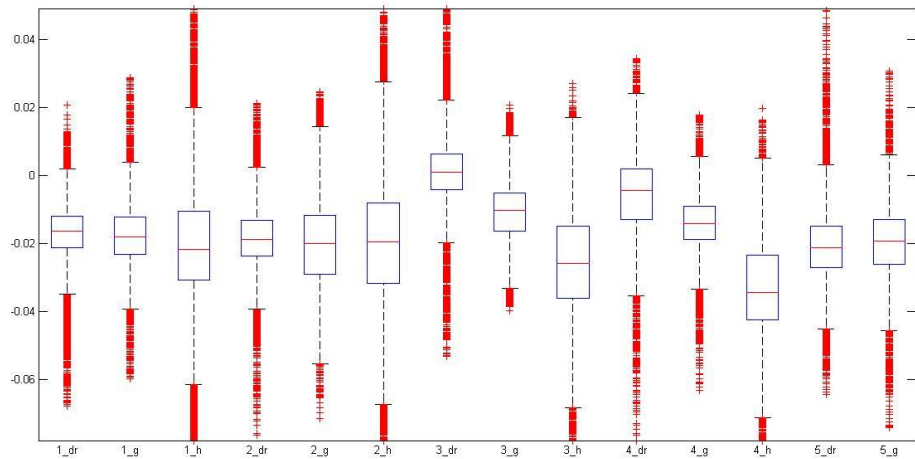


Obr. 20: Místo křížení tepny a žíly

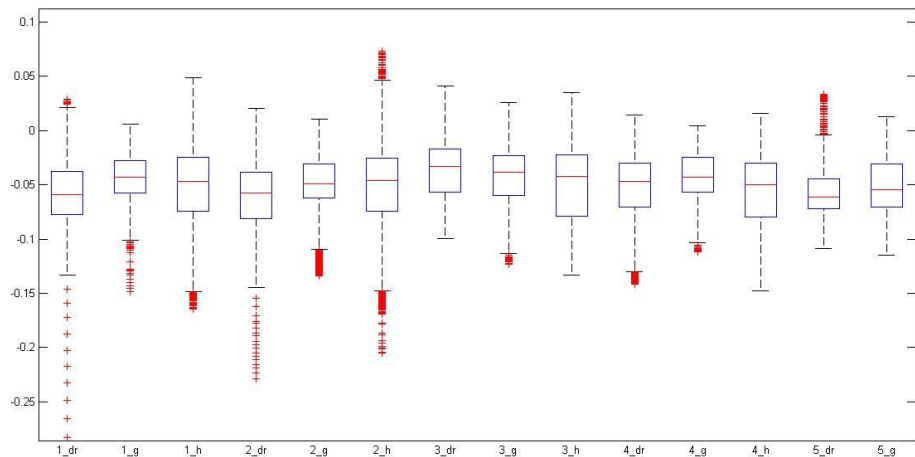


Obr. 21: Výpočet kontrastu v místě křížení

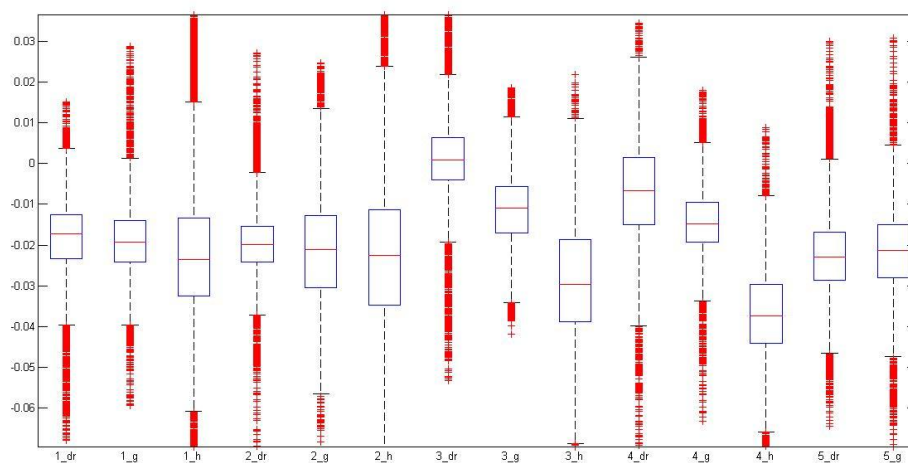
Byly vypočteny kontrasty pro červenou a zelenou složku a pro různě velké cévy, byla použita velikost disku 4 a 5, tedy odmazány čtyřpixelové nebo pětixelové segmenty. Výstupem jsou tedy 4 typy souborů pro každý typ tkáně. Zobrazeny jsou pomocí boxplotů, aby byli dobře vidět rozdíly.



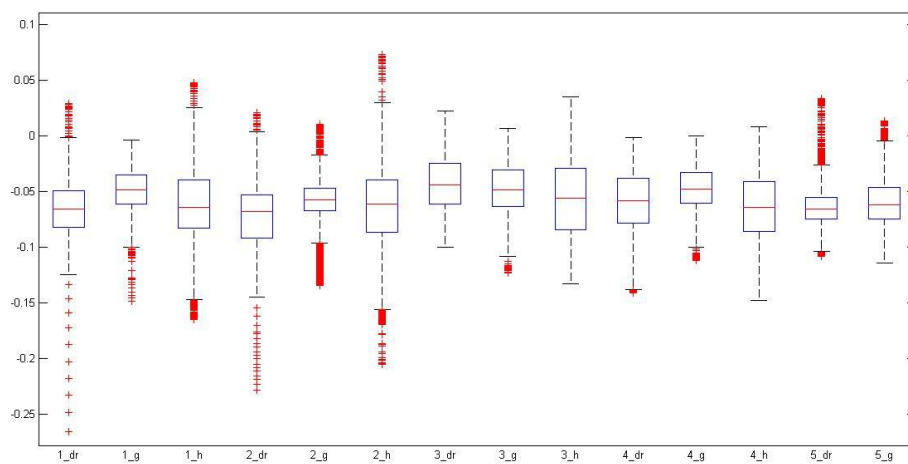
a) kontrast tepny, R složka, disk 4



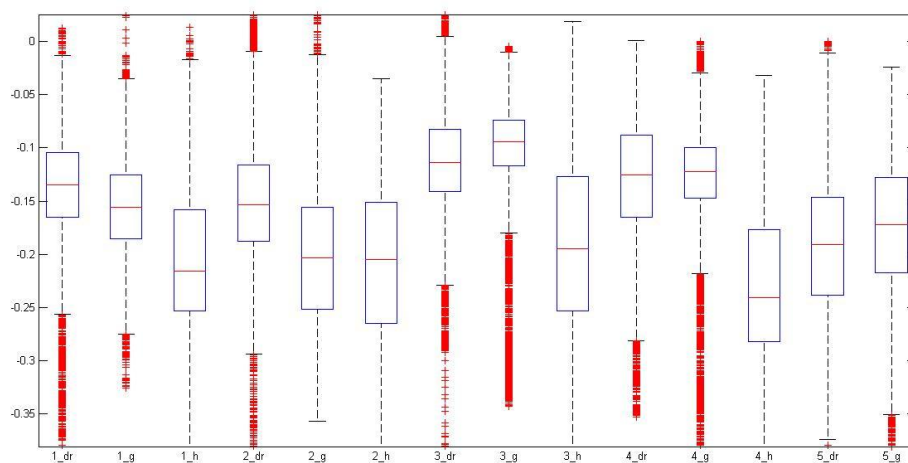
b) kontrast žíly, R složka, disk 4



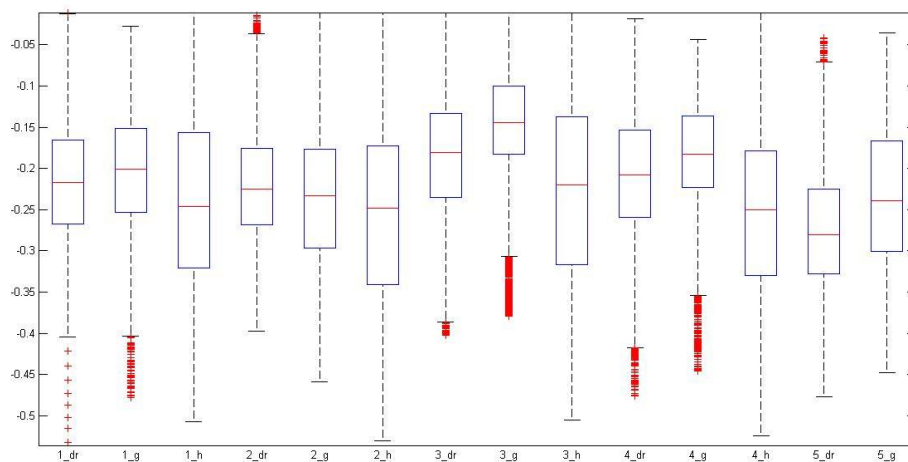
c) kontrast tepny, R složka, disk 5



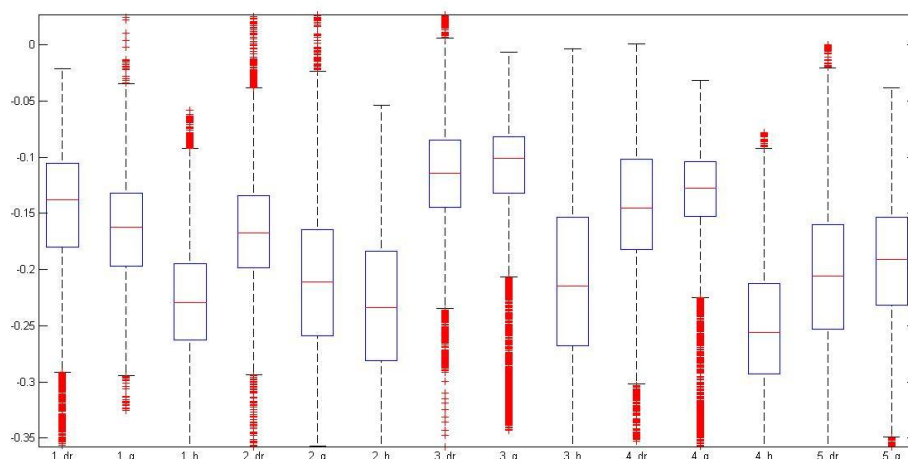
d) kontrast žily, R složka, disk 5



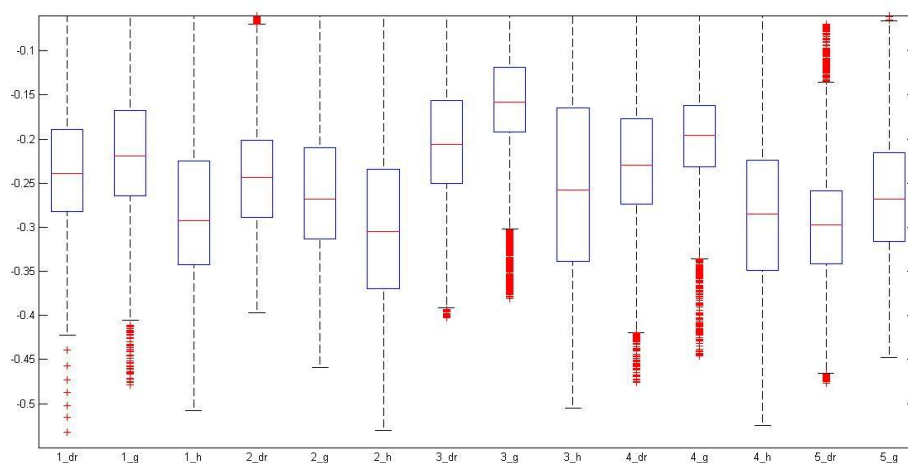
e) kontrast tepny, G složka, disk 4



f) kontrast žily, G složka, disk 4



g) kontrast tepny, G složka, disk 5



h) kontrast žíly, G složka, disk 5

Obr. 22: Naměřené hodnoty kontrastu tepen a žil

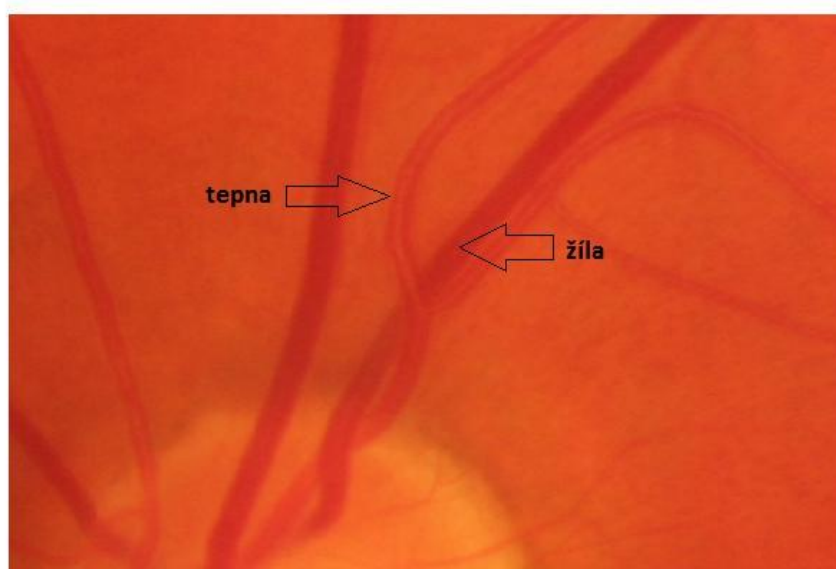
Spodní strana boxu je na percentilu 25%, horní strana boxu na percentilu 75%. Červená čára v boxu označuje medián. Horní a spodní krajní hodnoty souboru dat jsou vyznačeny černými svorkami. Červené osamocené body značí odlehlé hodnoty, tzv. outliers.

Z naměřených hodnot vychází hodnoty kontrastu pro R profil u tepen  $-0,02$  a u žil  $-0,05$ . Pro G profil vychází kontrast pro tepny  $-0,2$  a pro žíly  $-0,25$ . Jako více určující se

ukázal barevný profil R, kde bylo menší kolísání hodnot. Kontrast tedy vychází pro tepny o něco vyšší.

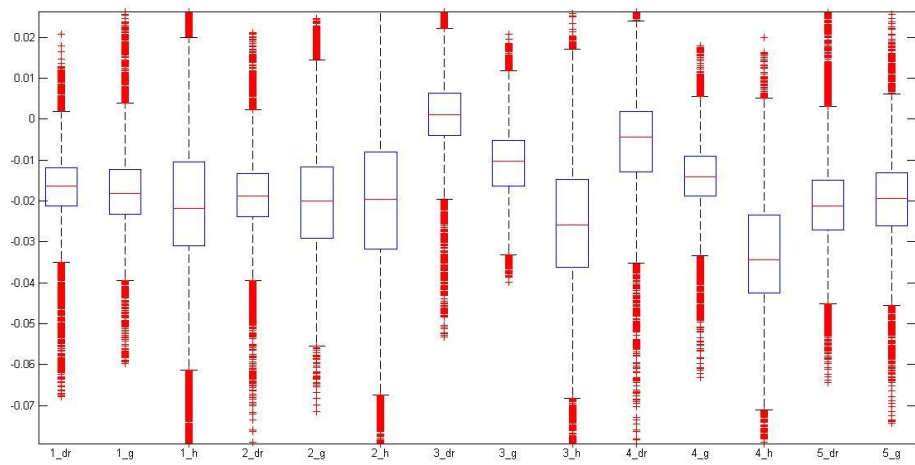
### 3.3.2 Měření jasů středové linie

Další parametr, viditelný pouhým okem, je jas středové linie cév. Jak je vidět na obr. 22, tepny mají jasnou středovou linii a žíly jsou plně červené a není u nich středová linie tolik patrná.

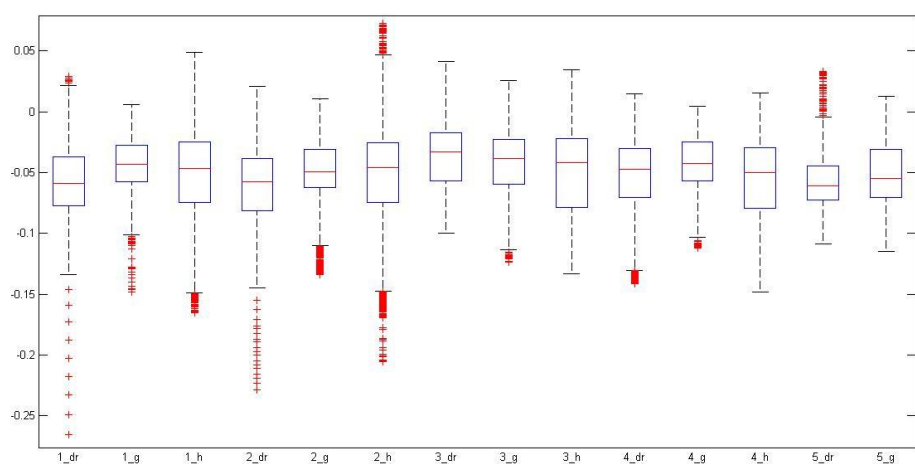


Obr. 23: Jas ve středové linii tepen

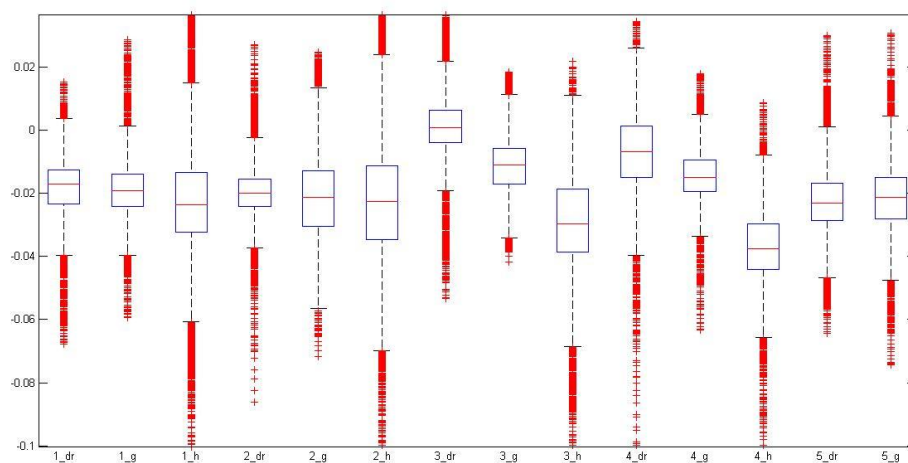
V programu je středový jas spočítán jako jas všech bodů v jednopixelovém skeletu tepen a žil. Byly vypočteny středové jasy pro červenou a zelenou složku a pro různě velké cévy, byla použita velikost disku 4 a 5, tedy odmazány čtyřpixelové nebo pětixelové segmenty. Výstupem jsou tedy 4 typy souborů pro každý typ tkáně. Zobrazeny jsou pomocí boxplotů, aby byli dobře vidět rozdíly.



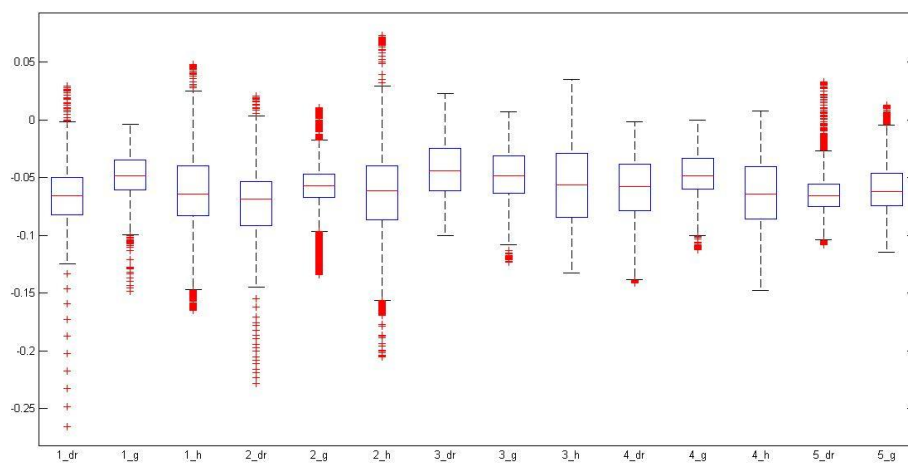
a) středový jas tepny, R složka, disk 4



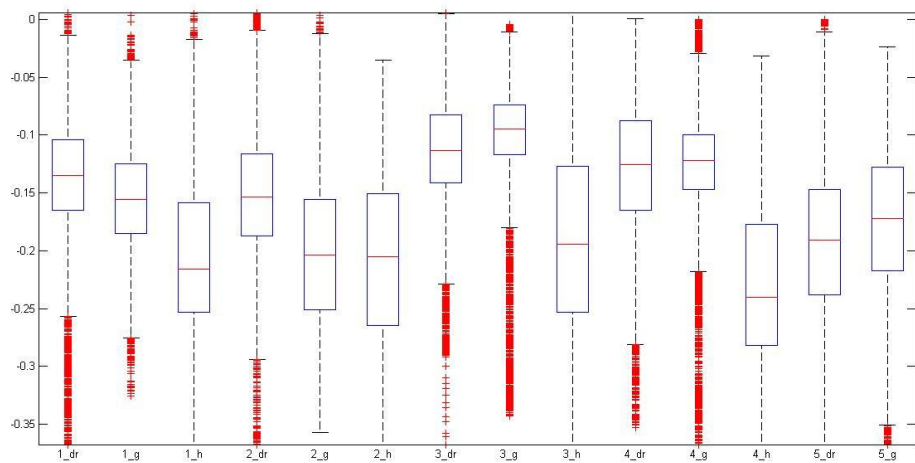
b) středový jas žíly, R složka, disk 4



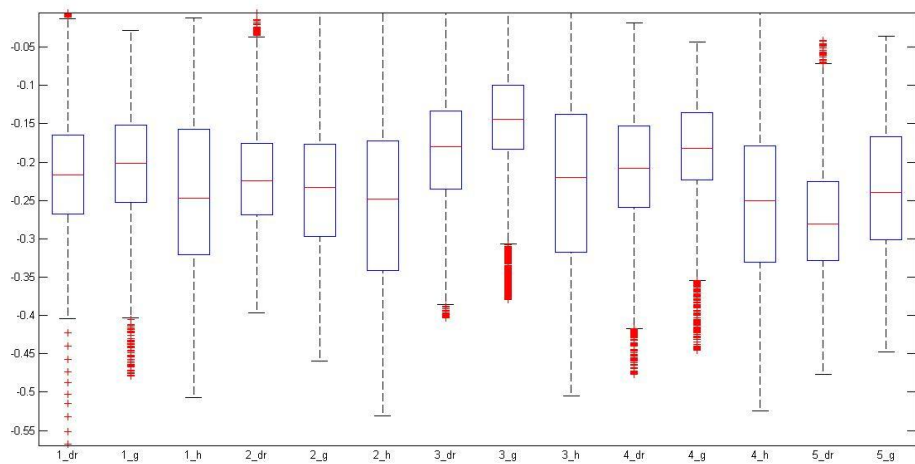
c) středový jas tepny, R složka, disk 5



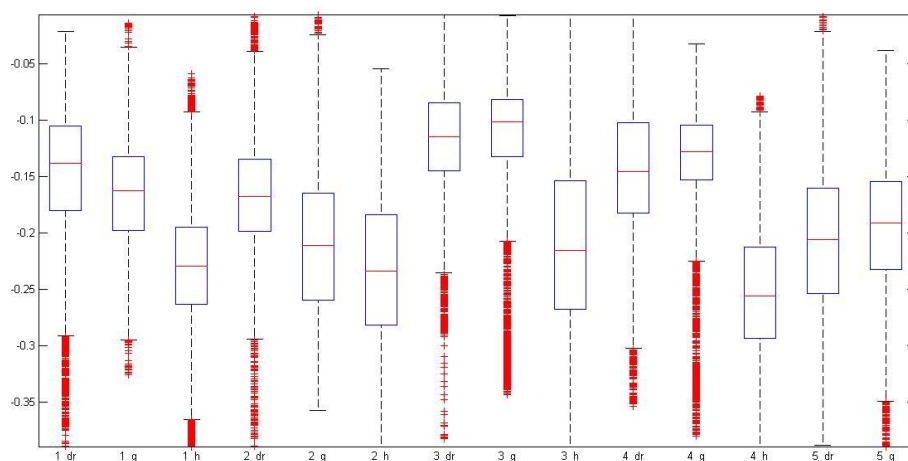
d) středový jas žíly, R složka, disk 5



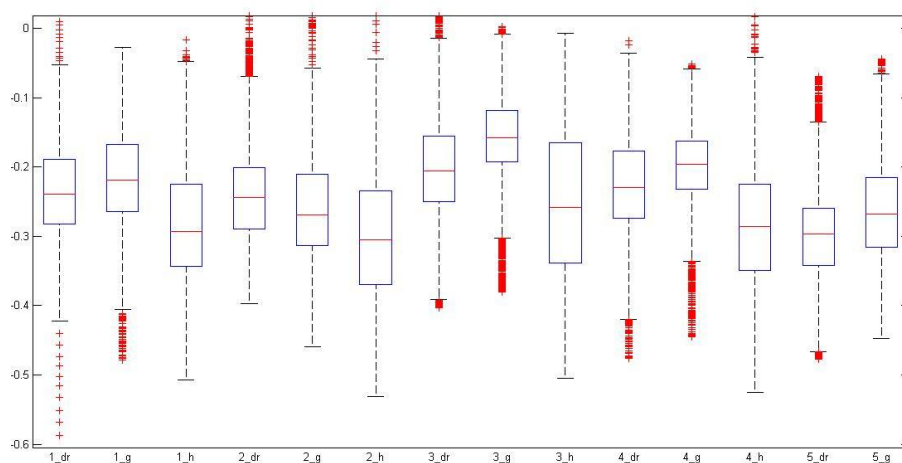
e) středový jas tepny, G složka, disk 4



f) středový jas žíly, G složka, disk 4



g) středový jas tepny, G složka, disk 5



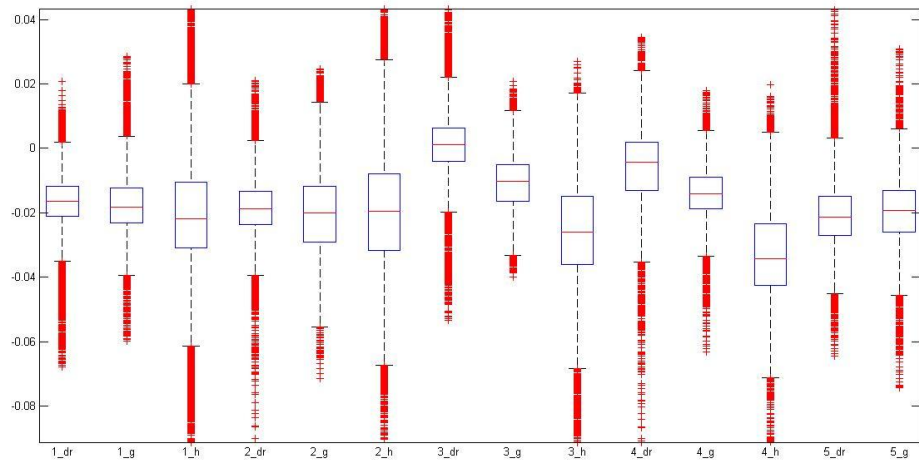
h) středový jas žíly, G složka, disk 5

Obr. 24: Naměřené hodnoty jasu středové linie tepen a žil

Z naměřených hodnot vychází hodnoty středového jasu pro R profil u tepen  $-0,02$  a u žil  $-0,05$ . Pro G profil vychází středový jas pro tepny  $-0,2$  a pro žíly  $-0,25$ . Jako více určující se ukázal barevný profil R, kde bylo menší kolísání hodnot. Středový jas zde také vychází pro tepny o něco vyšší.

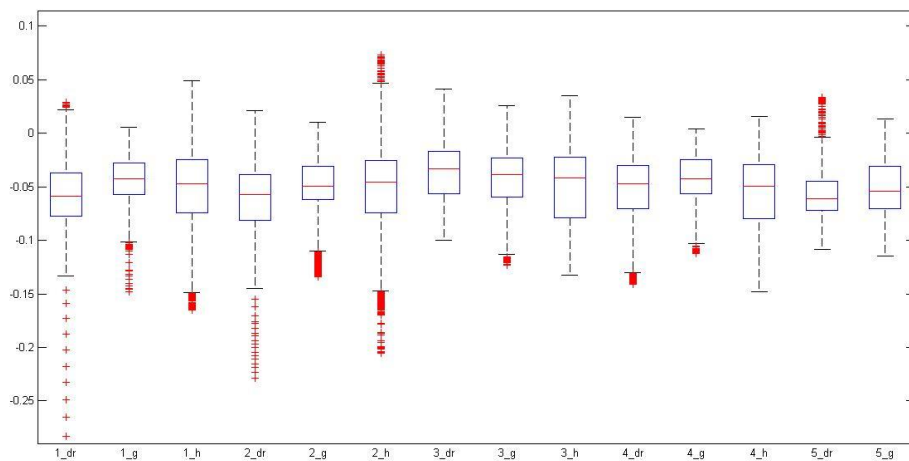
### 3.3.3 Měření celkového jasu

Celkový jas je měřen jako průměrný jas všech pixelů uvnitř cév. Byly vypočteny kontrasty pro červenou a zelenou složku a pro různé velké cévy, byla použita velikost disku 4 a 5, tedy odmazány čtyřpixelové nebo pětixelové segmenty. Výstupem jsou tedy 4 typy souborů pro každý typ tkáně. Zobrazeny jsou pomocí boxplotů, aby byli dobře vidět rozdíly.

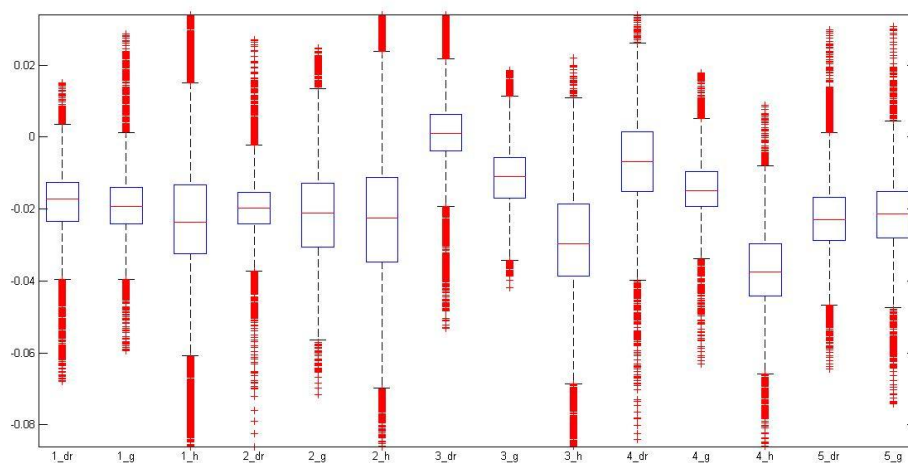


a) jas tepen, R složka, disk 4

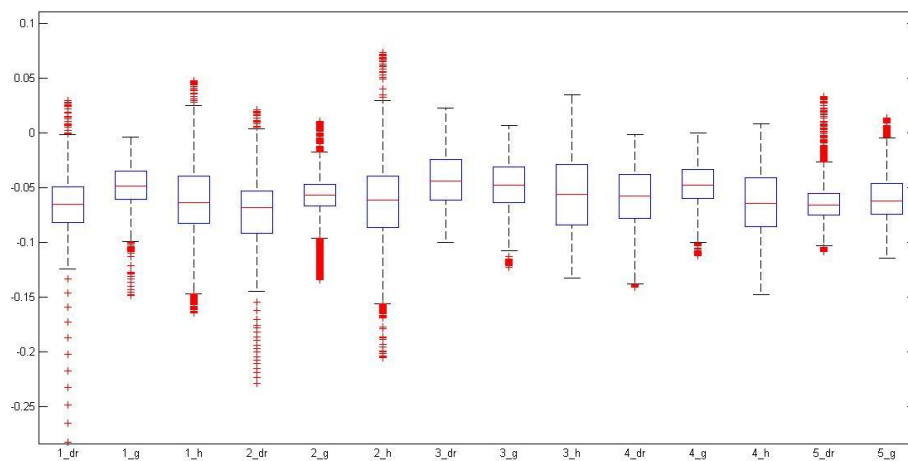
..



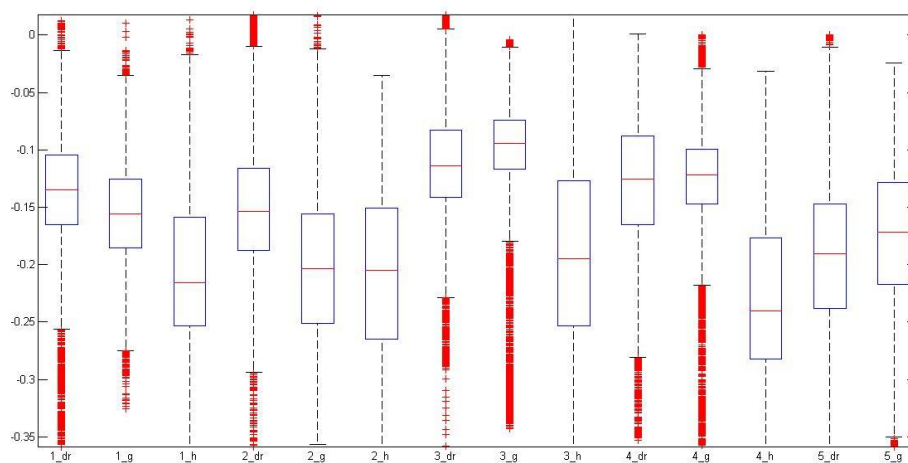
b) jas žil, R složka, disk 4



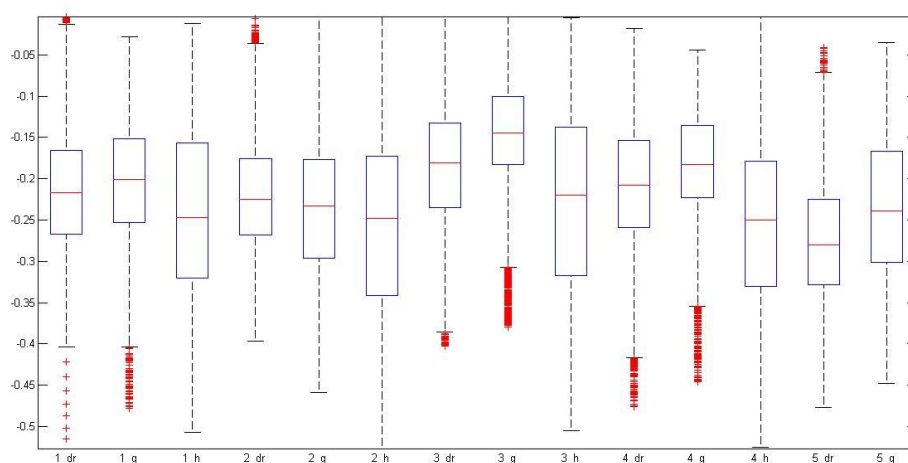
c) jas tepen, R složka, disk 5



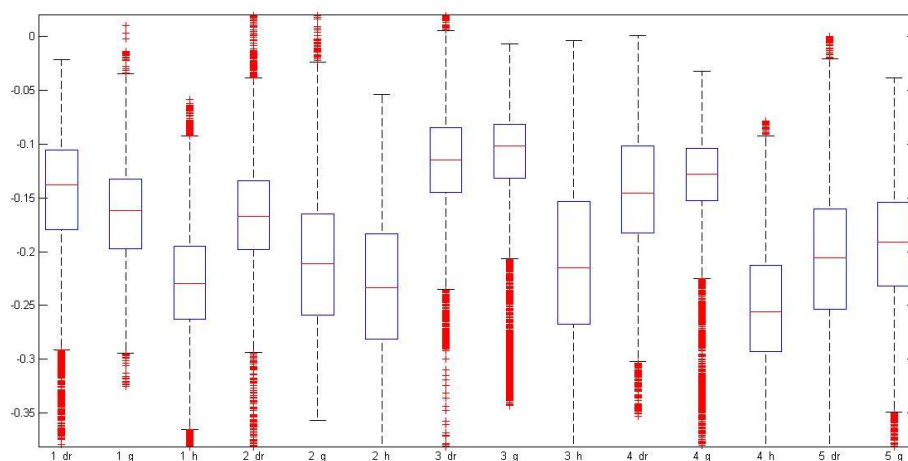
d) jas tepen, R složka, disk 5



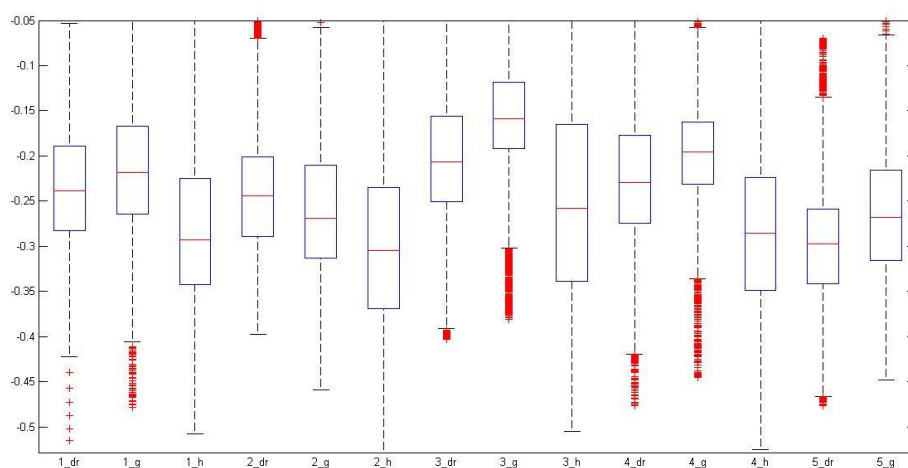
e) jas tepen, G složka, disk 4



f) jas žil, G složka, disk 4



g) jas tepen, G složka, disk 5



h) jas žil, G složka, disk 5

Obr. 25: Naměřené hodnoty celkového jasu tepen a žil

Z naměřených hodnot vychází hodnoty celkového jasu pro R profil u tepen  $-0,02$  a u žil  $-0,05$ . Pro G profil vychází celkový jas pro tepny  $-0,2$  a pro žíly  $-0,25$ . Jako více určující se ukázal barevný profil R, kde bylo menší kolísání hodnot. Celkový jas zde také vychází pro tepny o něco vyšší.

## 4 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Byly proměřeny tři parametry: kontrast, středový jas cév a jejich celkový jas. U každého parametru proběhlo měření ve dvou barevných kanálech: červeném a zeleném. Navíc v každém kanále došlo k měření různých šířek cév, jelikož menší cévy byly odmazány. Pro odmazání malých segmentů byl použit disk s velikostí 4 nebo 5 pixelů, čili stejně velké a menší části z obrazu vymazal. Ve výsledku tedy vznikly 3 sady naměřených hodnot. Každá obsahuje 4 typy měření od dvou typů cév.

Kontrast tepen v R kanále vyšel -0,02, v G kanále -0,2. Kontrast žil v R kanále vyšel -0,05, v G kanále -0,25. Ukázalo se, že volba velikosti disku pro odmazání částí obrazu nemá na výpočet skoro žádný vliv, oproti volbě kanálu. Celkové výsledky kontrastu byly tedy o něco vyšší u tepen než u žil.

Jas středové linie u tepen v R kanále vyšel -0,02, v G kanále -0,2. Středový jas žil vyšel v R kanále -0,05 a v G kanále -0,25. I zde se ukázalo, že volba disku nemá na výpočet vliv, na rozdíl od volby kanálu. Jas středové linie vyšel také o něco vyšší pro tepny než pro žíly.

Celkový jas tepen vyšel v R kanále -0,02, v G kanále -0,2. Celkový jas žil vyšel v R kanále -0,05 a v G kanále -0,25. Stejně jako u předchozích parametrů neměla velikost disku vliv na měření. Celkový jas je u tepen vyšší než u žil.

U měření všech tří parametrů se, navzdory již výše uvedenému, stal lépe klasifikující červený barevný kanál. Nebyly zde tak velké výkyvy jednotlivých hodnot u jednotlivých obrazů.

## 5 NÁVRH ROZŠÍŘENÍ METODY

Jak je vidět z dosažených výsledků, tři zvolené parametry nejsou pro klasifikaci cévního řečiště dostačující. Vhodné by bylo rozšíření metody o další parametry. Jak je uvedeno výše, určujícím by mohla být šířka cév.

Toto měření by se dalo realizovat pomocí aproximace přímkou. Při procházení obrazu by v každém bodě byly vzaty nejbližší okolní body a aproximovány přímkou, k ní vzata kolmice a na ní detekovány konce cévy, které by určily šířku. Ta by potom sloužila jako další rozlišovací parametr. Dále by se mohla využít pro přesnější měření ostatních parametrů a to tak, že by se měřilo zvláště v různých šířkách cév, lépe by se tím volila i velikost okna.

Dalším vhodným parametrem je jasový profil napříč cévou, který se dá díky znalosti šířky vykreslit. U tepen by měl vyšší amplitudu než u žil, díky světlejší středové linii.

V případě, že by všechny parametry měly dobrou rozlišovací schopnost, daly by se dále použít pro automatickou klasifikaci. Díky naměřeným hodnotám u všech parametrů by došlo k natrénování klasifikátorů. Bylo by to možné například pomocí neuronové sítě nebo shlukové analýzy.

# ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s metodami pro segmentaci cévního řečiště ve snímcích sítnice. Dále bylo úkolem navrhnout a realizovat vlastní metodu pro odlišení tepenného a žilního řečiště z již segmentovaných dat cévního řečiště.

Informace o anatomii oka, onemocnění cév, databázi potřebných snímků a některých již existujících metodách segmentace tepenného řečiště jsou obsaženy v teoretické části práce. V praktické části práce je popsána navržená metoda pro odlišení tepenného a žilního řečiště a je otestována její funkčnost.

Navržená metoda je realizovaná v prostředí Matlab a otestována na testovacích datech. Jsou zde měřeny parametry pro následné odlišení cévního řečiště ve 2 barevných kanálech. Proměřen je kontrast, jas středové linie a celkový jas cév ve všech bodech snímků. Výsledné hodnoty jsou velice podobné pro všechny 3 parametry. Kontrast, středový jas a celkový jas tepen je v R profilu -0,02 a v G profilu -0,2. U žil je kontrast, středový jas a celkový jas v R profilu -0,05 a v G profilu -0,25. Měření je více určující u kanálu R. Celkově vychází ve všech parametrech vyšší hodnoty pro tepny, což odpovídá, jelikož mají vyšší jas středové linie i celkový jas. Kontrast je díky světlé středové linii také vyšší.

Zadání bakalářské práce bylo splněno, ukázalo se však, že pro plně automatickou klasifikaci nejsou tyto měřené parametry dostatečně určující. Metoda by se dala rozšířit o měření dalších parametrů, které by lépe odlišily tepny a žíly. Pak by bylo možné vytvořit program pro automatické rozlišování na základě naměřených parametrů.

# SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HRAZDIRA, Ivo; MORNSTEIN, Vojtěch. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. 1. vyd. Brno : Neptun, 2004. 396 s. ISBN 80-902896-1-4
- [2] Atraktivní biologie: Anatomie oka. KRATOCHVÍLOVÁ, I. [online]. Olomouc, 2008 [cit. 2012-11-27]. Dostupné z: [http://atraktivnibiologie.upol.cz/?stranka=studentske\\_ppt](http://atraktivnibiologie.upol.cz/?stranka=studentske_ppt)
- [3] *Škola Ječná* [online]. [cit. 2012-12-13]. Dostupné z: [http://skolajecna.cz/biologie/Sources/Photogallery\\_Detail.php?intSource=1&intImageId=174](http://skolajecna.cz/biologie/Sources/Photogallery_Detail.php?intSource=1&intImageId=174)
- [4] *SCREENING ZRAKOVÉHO POSTIŽENÍ V DĚTSKÉ POPULACI*. Brno, 2009. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Doc. MUDr. Šárka Skorkovská, CSc.
- [5] KELCHER-OPTOMETRIST. *Kelcheroptometrist* [online]. [cit. 25. 11. 2010]. Obrázek, dostupné z: <<http://www.kelcheroptometrists.co.uk/digital-retinal-photography.php>>
- [6] TVARŮŽEK, Marek. *HODNOCENÍ KVALITY SNÍMKU SÍTNICE*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce doc. Ing. RADIM KOLÁŘ, Ph.D.
- [7] *Vitalion* [online]. [cit. 2012-12-05]. Dostupné z: <http://nemoci.vitalion.cz/diabeticka-retinopatie/>
- [8] NOVÁKOVÁ, Marie. *ANALÝZA ČASOVÝCH SNÍMKU SÍTNICE*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce doc. Ing. RADIM KOLÁŘ, Ph.D.
- [8] MURAMATSU, C., Y. HATANAKA, T. IWASE, T. HARA a H. FUJITA. Automated selection of major arteries and veins for measurement of arteriolar-to-venular diameter ratio on retinal fundus images. *Computerized medical imaging and graphics: the official journal of the Computerized Medical Imaging Society*. ISSN 0895-6111.
- [9] ODSTRČILÍK, J., J. JAN a R. KOLÁŘ. Segmentation Of Vessel Structure In Retinal Images By Matched Filtering. *Analysis of biomedical signals and images: 15th International Eurasip Conference, EuroConference BIOSIGNAL 2000 : proceedings : Brno, 2000 / editors Jiří Jan ... [et al.]*. s. 6. ISSN 1211-412x.
- [10] SVOBODA, O. *HODNOCENÍ AUTOMATICKÝCH METOD SEGMENTACE CÉVNÍHO ŘEČIŠTĚ*. Brno, 2011. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. Jan Odstrčilík.

## SEZNAM ZKRATEK

AVR	arterio-venulární poměr
RGB	barevný rastr: red, green, blue
BW	černobílé

## **SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA A: POPIS PROGRAMŮ

PŘÍLOHA B: OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

## PŘÍLOHA A: POPIS PROGRAMŮ

*Data.m*: Hlavní program, který načítá celou databázi snímků. Dochází k jejich úpravě pomocí ekvalizace histogramu a k odmazání menších cév. Pak je na výběr ze 2 barevných kanálů, pro změnu se musí změnit i číslo kanálu. Dále jsou ve for cyklu procházeny snímky tepen a počítán v nich celkový jas, středový jas a kontrast a ukládán do proměnných. V dalším for cyklu jsou procházeny snímky žil a v nich počítán celkový jas, středový jas a kontrast. Následně je program vykresluje do jednotlivých grafů. Po uložení všech proměnných, kde se naměřily hodnoty parametrů, do buňkového pole byly tyto parametry vykresleny do boxplotů. Jeden boxplot obsahuje jeden parametr od jednoho typu cévy naměřený u všech dostupných snímků.

*Histogramy.m*: Vedlejší program pro určení histogramů snímků a pro jejich ekvalizaci. Následně vykreslení ekvalizovaných snímků pro porovnání.

## PŘÍLOHA B: POPIS PŘILOŽENÉHO CD

*Dagmara\_Šumberová\_bp.pdf*: text bakalářské práce

*Databáze*: obsahuje všechny dostupné snímky

- *Mask*: masky všech snímků sítnice
- *Original*: barevné snímky
- *Vessel*: BW segmentované snímky
- *VesselParts*: BW segmentované snímky a rozlišené na tepny a žíly

*Soubory*: obsahuje složka obsahuje programy *Data.m* a *Histogramy.m*