

GDK 681.3:621.3

Prispelo / Received: 27. 05. 1999
Sprejeto / Accepted: 24. 06. 1999

Pregledni znanstveni članek
Review scientific paper

RAČUNALNIŠKO PODPRTA ANALIZA SLIKE MIKRO- IN MAKROOBJEKTOV

Tom LEVANIČ*

Izvleček

Delo prikazuje možnost uporabe analize slike za preučevanje mikroskopskih in makroskopskih objektov v gozdarski in lesarski stroki. Opiše strojno in programsko opremo za postavitve sistema za analizo slike in pove, kako dobimo sliko v računalnik. Ko je slika zajeta in shranjena na računalniški medij jo je potrebno pripraviti za nadaljnjo obdelavo. Najprej ji je potrebno izboljšati kakovost, nato izvesti klasifikacijo pikslov, umerjanje sistema in na koncu opraviti meritve. Meritve lahko opravljamo na klasificirani in neklasificirani sliki. Na koncu je podanih še nekaj teoretičnih in praktičnih primerov uporabe analize slike.

Ključne besede: računalništvo, avtomatska obdelava podatkov, analiza slike, lesna anatomija, dendrologija, dendrokronologija

COMPUTER ASSISTED IMAGE ANALYSIS OF MICRO- AND MACROOBJECTS

Abstract

Presented herewith are the possibilities of image analysis of micro- and macro objects in wood technology and forestry. Described hardware and software needed to established an operational image analysis system. There is also described how to convert analogue pictures into a digital form and how to enhance image quality of the image. Image analysis is a five step process: (1) capturing the image, (2) enhancing the quality, (3) thresholding, (4) calibration of the system and (5) measuring. Measuring could be done on the original image for density studies or on thresholded images for different kinds of object analysis. Finally, some theoretical and practical examples are presented.

Key words: Computers, data processing, computer assisted image analysis, wood anatomy, dendrology, dendrochronology

* doc. dr., Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Rožna dolina c. VIII/34, p.p. 2995, 1001 Ljubljana, SVN, e-mail: tom.levanic@uni-lj.si

VSEBINA
CONTENTS

	UVOD	
	INTRODUCTION.....	143
2	UPORABLJENA STROJNA IN PROGRAMSKA	
	OPREMA	
	HARDWARE AND SOFTWARE USED IN THE STUDY	143
3	PRIPRAVA OBJEKTA ZA ANALIZO SLIKE	
	SAMPLE PREPARATION FOR THE IMAGE ANALYSIS	144
4	TEORETIČNI IN PRAKTIČNI PRIMERI	
	SOME THEORETICAL AND PRACTICAL EXAMPLES	155
5	POVZETEK	165
5	SUMMARY	166
7	VIRI	
	REFERENCES.....	166

1 UVOD INTRODUCTION

Analiza slike postaja v moderni znanosti vse pomembnejša. Reklo "slika pove več kot tisoč besed" dobiva z uvajanjem modernih računalniško podprtih tehnik v znanosti povsem nov pomen. Vsaka slika nosi v sebi zakodirane informacije, ki jih lahko izluščimo s pomočjo orodja, imenovanega analiza slike.

Z analizo slike spreminjamo slikovne informacije v numerične (SMOLEJ 1995). S pomočjo analize slike, ki ima ponavadi več sto kilobajtov, izločimo le podatke, ki so nosilci informacij - ponavadi jih je le za nekaj kilobajtov in predstavljajo bistvo naše raziskave. Tipičen potek luščenja informacije iz slike se začne z zajemom slike, teče preko različnih obdelav slike in se konča v obliki numerične informacije v tabeli.

Vse več je raziskovalnih problemov, kjer je potrebno izmeriti večje število parametrov v sorazmerno kratkem času. Če se da analizirane predmete pretvoriti v digitalno obliko, se jih da tudi analizirati s pomočjo programov za analizo slike. V gozdarstvu in lesarstvu gre večinoma za dva tipa objektov - mikro- in makroobjekte. Med mikroobjekte spadajo mikroskopski preprati lesa, hif gliv, mikorize, koreninskih pletežev mladih drevesc, ipd. Med makroobjekte pa spadajo na primer slike osutosti drevja, slike branike, listi in iglice ipd. V gozdarstvu poznamo sicer še t.i. nano raven kamor spadajo satelitski in letalski posnetki, vendar to področje presega okvir našega prispevka.

2 UPORABLJENA STROJNA IN PROGRAMSKA OPREMA HARDWARE AND SOFTWARE USED IN THE STUDY

V prispevku smo vse analize objektov opravili s programom *UTHSCSA Image Tool v 2.0*, ki so ga razvili v Health Science Centre of Texas University in je prosto dotopen prek interneta na naslovu: <ftp://maxrad6.uthscsa.edu>

Za zajem mikroskopskih slik smo uporabili raziskovalni mikroskop NIKON E-800, barvno video kamero SONY mod. DXC-151P z ločljivostjo 756 x 581 točk in zajemalnik

slike¹ firme Data Translation DT-3153, ki omogoča zajem barvnega RGB signala z video camere. Zajemalnik slike potrebuje za pravilno delovanje ustrezno matično ploščo in procesor, zato je pred nakupom dobro vedeti, kakšen računalnik potrebujemo za vgradnjo zajemalnika slike.

Makroskopske slike smo preskenirali s skenerjem PRIMAX 4800 pri ločljivosti 150 in 300 DPI². Vse slike smo shranili v TIFF zapisu, ki je splošno priznan in prenosljiv med različnimi programskimi paketi. Značilnost TIFF zapisa je, da ohrani vse informacije, ki jih vsebuje slika.

Obdelave so potekale na osebem računalniku z matično ploščo INTEL SE440ZX, procesorjem PENTIUM II 350 MHz s 128 MB pomnilnika, z 8 GB trdim diskom in 17 palčnim barvnim zaslonom z ločljivostjo 1024 x 768. Na računalniku je tekel operacijski sistem Microsoft Windows 95 OSR2.

3 PRIPRAVA OBJEKTA ZA ANALIZO SLIKE SAMPLE PREPARATION FOR THE IMAGE ANALYSIS

3.1 ZAJEM SLIKE IMAGE ACQUISITION

Slika, ki jo želimo analizirati s pomočjo računalnika, moramo najprej prevesti v digitalno obliko in jo shraniti na računalniški medij. Na medij jo lahko prenesemo na dva načina - posredno, s skeniranjem fotografij, negativov ali diapozitivov ter neposredno s pomočjo video kamere in zajemalnika slike, ki je vgrajen v računalnik.

Posreden način je enostaven in ga lahko opravimo z razmeroma poceni strojno in programsko opremo. Daje dokaj dobre rezultate, njegova slaba stran pa je, da moramo slike objekta najprej posneti s fotoaparatom, film razviti in slike poskenirati. Zaradi tega

¹ Zajemalnik slike ali po angleško frame grabber - kos računalniške strojne opreme za zajem video signala.

² DPI (an. Dots Per Inch) po slovensko pike na palec, prevedeno v mednarodni sistem merskih enot je 150 DPI 59 pik na cm, 300 DPI pa 118 pik na cm. Za primerjavo, laserski tiskalniki dosegajo ločljivosti od 300 - 1200 DPI.

je celoten postopek precej dolgotrajen. Dodatno se lahko postopek podaljša, če se fotografije ne posrečijo in moramo celoten postopek ponoviti.

Neposreden način zajema slike poteka prek različno zmogljivih digitalnih kamer, kabla, zajemalnika slike in računalnika. Poznamo več tipov digitalnih kamer, ki se med seboj razlikujejo v zmogljivosti in ceni. Njihove osnovne značilnosti prikazuje preglednica 1. Vidimo, da imajo digitalne kamere za zajem slike zelo različne ločljivosti in sposobnosti zajema barv oziroma sivih odtenkov. Uporabne so skoraj vse kamere, razen multimedijških, ki imajo premajhno ločljivost.

Preglednica 1: Različni tipi digitalnih kamer imajo različne ločljivosti zajete slike. Večja ko je ločljivost, bolj kakovostna je slika in več prostora na disku zavzema

Table 1: Different type of digital cameras - they differ in the resolution of the captured image

TIP KAMERE TYPE OF CAMERA	LOČLJIVOST V PIKSLIH ³ RESOLUTION IN PIXELS	VELIKOST DATOTEKE FILE SIZE
Kamera s programsko nastavljivo ločljivostjo <i>Camera with a selectable resolution programme</i>	3000 x 2000 v 16-milijonih barv <i>3000 x 2000 in 16 million colours</i>	18 MB
Slow scan kamera na scanning elektronskem mikroskopu <i>Slow scan camera on scanning electron microscope</i>	4096 x 4096 v 256 sivih odtenkih <i>4096 x 4096 in 256 grey shades</i>	16 MB
12-bitna slow scan CCD kamera <i>12-bit slow scan CCD camera</i>	1280 x 1024 v 4069 sivih odtenkih <i>1280 x 1024 in 4069 grey shades</i>	2 MB
SEM Frame Store kamera <i>SEM frame store camera</i>	1024 x 1024 v 256 sivih odtenkih <i>1024 x 1024 in 256 grey shades</i>	1 MB
Barvna TV kamera <i>Colour TV camera</i>	768 x 512 v 16 milijonih barv <i>768 x 512 in 16 million colours</i>	400 kB
Multimedijška računalniška kamera <i>Multimedia computer camera</i>	pribl. 200 x 100 <i>approx. 200 x 100</i>	40 kB

³ piksel (an. pixel) je slikovni element digitalno zajete slike, nosi informacijo o barvi in koordinatah X in Y, s pomočjo katere se ga da umestiti v sliko. Glede na informacijo o barvi ločimo piksele z 8-, 16- in 24-bitno barvno globino. Odvisno od števila bitov v barvni globini lahko piksel predstavlja 256, 65.536 in 16,777.216 različnih barv, s tem pa je slika 8-, 16- oziroma 24 krat večja kot enostavna črno-bela slika. V slovenščini za piksel še ni ustrezne besede, mnogokrat se prevaja kot slikovni element ali kot točka.

✓ v praksi najpogosteje uporabljamo črno-bele ali barvne TV kamere, ki ne dosegajo velike ločljivosti so pa cenovno zelo sprejemljive. Najdražje so SLOW SCAN kamere in kamere s programsko nastavljivo ločljivostjo, ki stanejo več tisoč dolarjev. S povečevanjem ločljivosti kamere in s povečevanjem barvne globine pikslov se zahteva po rrostem pomnilniškem prostoru povečuje s tretjo potenco, zato je z nakupom kvalitetne kamere tesno povezan tudi nakup ustrezno zmogljivega računalnika.

Sliko, ki jo vidi kamera, preko posebnega kosa strojne opreme imenovane zajemalnik slike, prenesemo v računalnik. Tu teče posebna programska oprema, ki iz video signala izlušči sliko in jo shrani na magnetni medij v standardnem slikovnem formatu (TIFF ali BMP). Formatov za shranjevanje slike je veliko, največ se uporabljata formata TIFF in BMP, v zadnjem času pa so razvili tudi posebne formate za shranjevanje slik v programih za analizo slike (YING / CHEUNG 1999). Ko je slika zajeta jo lahko shranimo in kasneje analiziramo ali pa jo takoj analiziramo in shranimo samo rezultat analize.

Neposredni zajem slike nam omogoča hitro delo, zato lahko analiziramo več slik v krajšem času. Slabost neposrednega zajema slike je v precej visoki ceni strojne in programske opreme - potrebujemo namreč zajemalnik slike, video kamero, zmogljiv računalnik in poseben program za zajem video signala.

3.2 IZBOLJŠEVANJE KAKOVOSTI SLIK ENHANCING IMAGE QUALITY

Pri prenosu slike na digitalni medij se zaradi pretvorbe analognih informacij v digitalne kakovost slike poslabša (KVAMME et al. 1997). Zaradi tega je potrebno pred nadaljnjo analizo kakovost slike izboljšati. Postopke za izboljševanje kakovosti slik uporabimo takrat, kadar želimo izboljšati kakovost popačenih slik, a ne poznamo matematičnega modela vzroka za njihovo popačenje, ali kadar želimo poudariti določene lastnosti slik (Matko 1996). Za odpravljanje napak uporabljamo tehniko digitalnega filtriranja. Digitalno filtriranje je postopek, kjer s pomočjo posebnih matematičnih algoritmov izboljšujemo lastnosti slike - povečujemo njeno informativnost in odstranjujemo nepomembne informacije - šume. Digitalni filter je ponavadi matrika lihih dimenzij (npr. 3 x 3, 5 x 5 ali več), ki ima v sredini največjo vrednost, proti robovom pa vrednosti upadajo. Če s takim filtrom "prečistimo" sliko, lahko poudarimo robove, sliko izostrimo

odstranimo naključne napake - smeti. Postopki digitalnega filtriranja so matematično dokaj intenzivni in zahtevajo močne procesorje.

Z digitalnimi filtri največkrat izboljšujemo kontrast, svetlost in ostrino slike. Pri povečevanju kontrastnosti izravnavamo ravni sivine v histogramu. Poznamo dva načina popravljanja kontrasta, (1) z izravnavo in (2) s hiperbolizacijo histograma (MATKO 1996).

Ko popravljamo ostrino slike, s filtrom povečamo vrednosti sivih odtenkov na mejah med slikovnimi področji, drugod pa jih zmanjšamo. Zaradi tega dobi histogram sivih odtenkov po izboljšavi izrazitejšo sedlasto obliko.

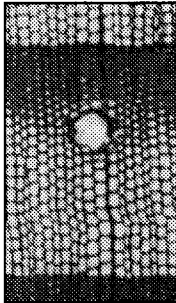
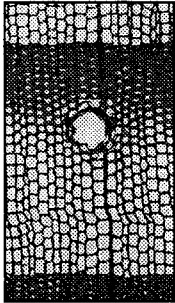
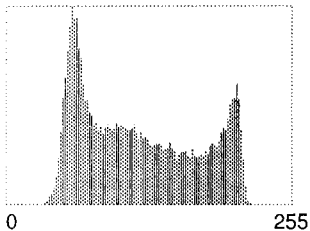
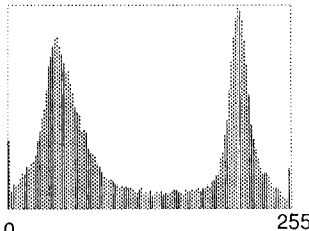
Rezultat izboljševanja kakovosti slik je viden na histogramu porazdelitve sivin. Ta predstavlja grafičen prikaz frekvenčne porazdelitve pikslov na sliki. Piksli imajo vrednosti med 0 (črn piksel) in 255 (bel piksel). Program avtomatsko naredi analizo slike in v grafični obliki prikaže deleže pikslov z določeno sivo vrednostjo. Histogram porazdelitve sivin je tudi osnova za kasnejšo klasifikacijo pikslov.

Nekaj primerov izboljševanja kakovosti slike prikazuje preglednica 2. Podaja najpogostejše tipe napak, ki se pojavljajo pri prenosu slik v računalnik, to so neostra, pretemna in slabo kontrastna slika. V zgornji vrstici preglednice je opis napake, sledi ji slika z vidno napako, na koncu pa je prikazan histogram porazdelitve sivin.

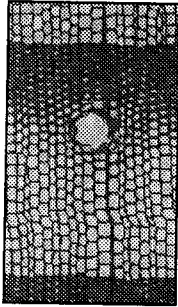
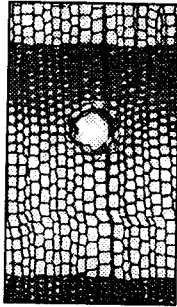
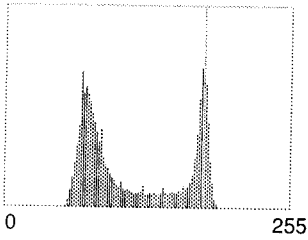
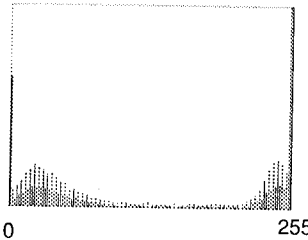
Na desni strani preglednice je prikazana digitalno izboljšana slika z opisom izboljšave, slika in histogramom odtenkov sivin. Razlike v histogramu porazdelitve sivin na levi in desni strani tabele so posledica digitalnega filtriranja slike.

Prejlednica 2: Najpogostejše napake pri skeniranju slik so neostrina, preslaba osvetlitev in premajhna kontrastnost. Levo je pomanjkljiva in desno z digitalnim filtrom izboljšana slika.

Table 2: The most frequent problems when scanning images are blurred and scans that are dark and lacking contrast. In the table the problem is shown on the left, and on the right, the solution

OSTRINA / SHARPNESS	
Neostro / Blurred	Ostro / Sharp
<p>Meje med lumnom in celično steno so zabrisane, slika niostra, klasifikacija je otežena, dostikrat nemogoča</p> <p><i>The borders between the lumen and the cell wall are blurred, the picture is out of focus, and classification is impeded – or often impossible.</i></p>	<p>Slika smo izostrili s filtrom, ki poveča vrednosti ravnih svin na mejah med slikovnimi področji, drugod pa jih zmanjša. Celične stene so postale jasne in dobro vidne. Klasifikacija tako pripravljene slike je enostavna.</p> <p><i>The picture has been focussed using a filter that intensifies the shades of grey at the borders between the depicted areas, and reduces their intensity elsewhere. The cell walls have thus become easily recognisable allowing simple classification.</i></p>
	
 <p>0 255</p>	 <p>0 255</p>

Preglednica 2: Nadaljevanje
Table 2: Continued

KONTRAST IN SVETLOST CONTRAST / BRIGHTNESS	
Temno / nekontrastno <i>Too dark / bad contrast</i>	Svetlo / kontrastno <i>Bright / high contrast</i>
<p>Razlika v svetlobnem odčitku med celično steno in lumnom je majhna, klasifikacija je močno otežena. <i>The difference in brightness depicted between the cell wall and the lumen is small, therefore classification is greatly impeded</i></p>	<p>Z izravnavo histograma sivin slike smo dosegli večjo razliko v svetlobnem odčitku med celično steno in lumnom. Klasifikacija je enostavna. <i>By balancing the histogram of shades of grey, a greater difference in brightness depicted between the cell wall and the lumen was reached. Classification is simplified.</i></p>
	
	

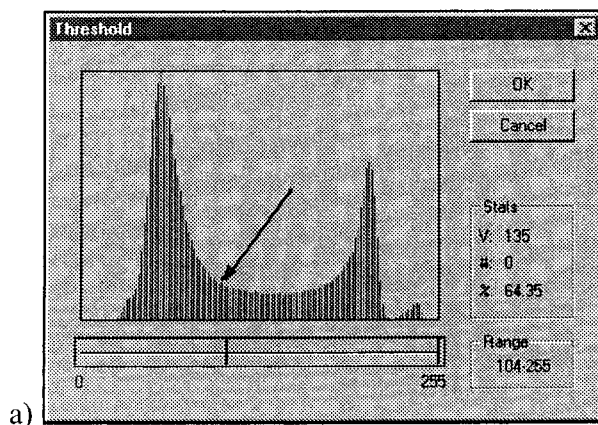
Z digitalnimi filtri se da kakovost slike precej izboljšati, nikakor pa ne moremo iz slabe slike narediti dobro, zato še vedno velja, da je kakovosten zajem slike nujen pogoj za uspešno delo.

3. KLASIFIKACIJA SLIKE

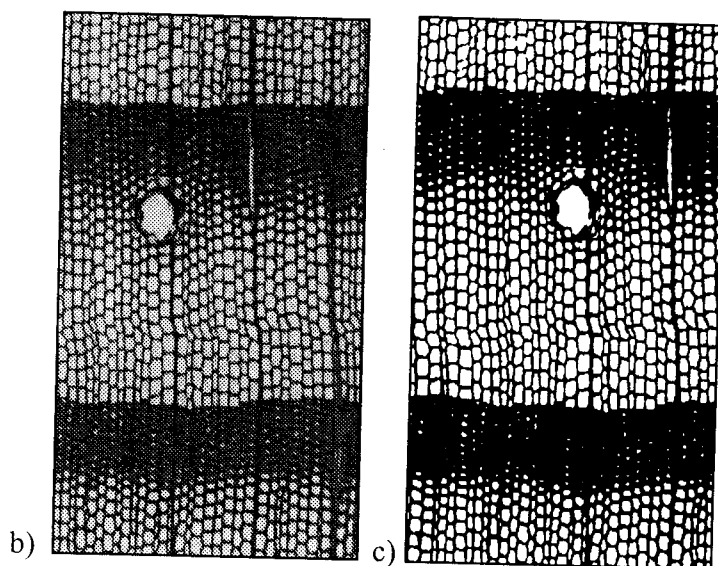
TRESHOLDING - CONVERTING GRAY-SCALE IMAGE TO A BINARY IMAGE

Pred računalniško analizo slike moramo sliko, sestavljeno iz različnih odtenkov sive barve, prevesti v črne (1) in bele (0) piksele. Postopek se imenuje klasifikacija ali binarizacija⁴. Klasifikacijo izvedemo zato, da pikslom določimo pripadnost. Ta faza je v analizi slike najpomembnejša, saj se odločimo, kateri piksli nosijo informacijo in kateri ne. Odvisno od raziskovalnega problema nas enkrat zanima število belih, drugič pa število črnih pikslov (enkrat nas zanima na primer lumen celice, drugič celična stena (slika 1)). Bistvo računalniške analize slike je v štetju črnih in belih pikslov. Vsi nadaljnji računi temeljijo na tem preprostem principu.

Poseben problem klasifikacije je pravilna določitev meje med črnim in belim, oziroma med tem kateri sivi odtenki se bodo pretvorili v belo in kateri v črno barvo. To je posebno težavno v slabo kontrastnih območjih, kot je na primer pri kasnem lesu, ki ima debele celične stene in majhne lumne in je zato težko ločiti, kaj je celična stena in kaj lumen (slika 2). Posledica teh težav pri klasifikaciji je napaka, ki nastane, ker so se nekateri lumni napačno pretvorili v črne piksele, v resnici pa predstavljajo celično steno.

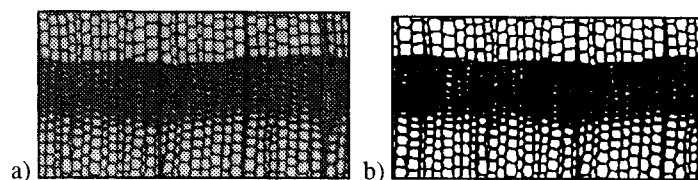


⁴ V slovenščini še nimamo uveljavljenega izraza za pretvorbo slike v sivih odtenkih v binarno sliko, ki je sestavljena samo iz črnih in belih slikovnih elementov. Ker se dejansko odločamo, v katero skupino bo kakšen slikovni element spadal, opravljamo neke vrste klasifikacijo, rezultat pa je binarna slika.



Slika 1: Na sliki a (glej prejšnjo stran) je klasifikacijski histogram. Meja med svetlimi in temnimi slikovnimi elementi je postavljena ročno na mesto, kjer dosegamo najboljše razločevanje med lumnom in celično steno (puščica). Na spodnjem delu slike je na levi strani (b) originalna preskenirana slika pred klasifikacijo, na desni strani (c) pa je že klasificirana slika, sestavljena samo iz belih in črnih pikslov.

Figure 1: On the figure a (see previous page) is a thresholding histogram which is used to threshold the picture - to convert it from greyscale into a binary format. Thresholding was performed by hand (see arrow). On the left side of the picture (a) is an original scanned image and on the right side (b) is a thresholded image.



Slika 2: Na sliki je kasni les pred klasifikacijo (a) in po njej (b). Določen delež lumnov kasnega lesa je bil pri klasifikaciji napačno preveden v celično steno.

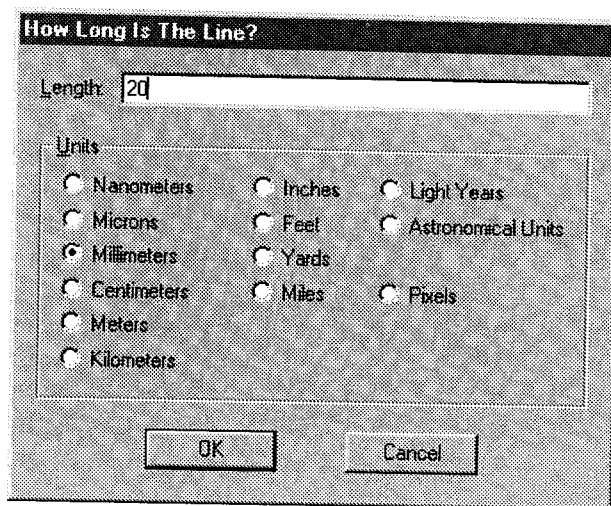
Figure 2: A special problem is the thresholding of a dense latewood with thick cell walls. Some parts of the cell lumen are wrongly recognised as the cell wall.

3.4 UMERJANJE MERITEV IMAGE CALIBRATION

Umerjanje ali kalibracija meritev je prvi pogoj za pravilne in uporabne meritve. Z umerjanjem uskladimo meritve na zaslonu s standardnim merskim sistemom (milimetri, centimetri ali mikrometri). Pri umerjanju moramo upoštevati ločljivost zaslona, ločljivost vhodne enote (skenerja ali video kamere) in povečavo mikroskopa ali lupe.

Uporabljamo različna merila za umerjanje mikro in makroposnetkov. Za umerjanje makroposnetkov uporabljamo mreže različnih dimenzij (npr. 1 x 1 cm ali 10 x 10 cm), za umerjanje mikroposnetkov pa uporabljamo milimetrsko skalo, razdeljeno na 100 delov in narisano na objektno stekelce.

Umerjanje poteka tako, da na ekranu izmerimo znano dolžino, nato pa programu povemo, koliko je ta razdalja dejansko dolga. Tako smo na primer na zaslonu z ločljivostjo 1024x768 izmerili razdaljo 20 mm in ugotovili, da je enaka 116 pikslom. V posebno pogovorno okno moramo le še vtipkati, da je 116 pikslom dejansko 20 mm, in umerjanje je opravljeno (slika 3). Ker je sistem umerjanja odvisen od ločljivosti ekrana, povečave mikroskopa ali lupe in od ločljivosti vhodne enote (skenerja ali video kamere), je potrebno umerjanje opraviti vsakič, ko se eden od teh parametrov spremeni. V praksi sistem najprej umerimo za različne povečave objektivov in različne kombinacije skenerja ali video kamere ter podatke shranimo v posebne datoteke. Nato pa po potrebi pokličemo tisto datoteko, ki ustreza trenutnim delovnim pogojem.



Slika 3: S pomočjo enostavnega pogovornega okna programu za analizo slike povemo, kolikšna je bila dejanska izmerjena razdalja.

Figure 3: A simple dialog box is used to enter the calibration data.

3.5 MERITVE V PROGRAMIH ZA ANALIZO SLIKE IMAGE MEASUREMENT

V programih za analizo slike lahko opravljamo meritve na originalni ali na klasificirani sliki. Na originalni sliki opravljamo meritve, pri katerih je pomembno dobiti popolno informacijo o preučevanem objektu, na primer gostotni profil branike ali pogostnost pojavljanja sivih odtenkov na sliki. Poleg tega lahko tudi kaj preštejemo in označimo, ne moremo pa opravljati kakšnih drugih meritev. Za prepoznavanje objektov in za meritve na njih pa je potrebno sliko najprej klasificirati. Na klasificirani sliki je mogoče opraviti različne meritve. Med najpogostejše spadajo merjenje dolžin, kotov, površin in obsegov. Poleg osnovnih meritev lahko določamo še deleže črnih in belih pikslov ter štejemo in združujemo objekte glede na izbrani kriterij. V večini programov za analizo slike imamo tudi možnost pisanja lastnih računskih algoritmov.

podnja preglednica prikazuje najbolj tipične obdelave, ki jih zmorejo vsi programi za nalizo slike. Del analiz se lahko opravi le na neklasificirani sliki (npr. gostotni profil), za ečino meritev pa je potrebno sliko prej klasificirati (preglednica 3).

Preglednica 3: Najpogostejši tipi analiz in meritev v programih za analizo slike

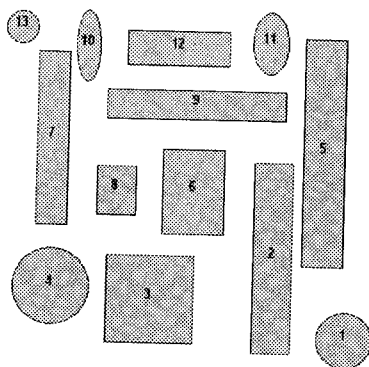
Table 3: The most typical procedures for analysis and measurements in programmes for image analysis

MERITVE IN ANALIZE OBJEKTOV NA SLIKI MEASUREMENTS AND ANALYSIS ON THE IMAGE	
Slika v sivih odtenkih <i>Grayscale image</i>	Klasificirana slika <i>Thresholded image</i>
<ul style="list-style-type: none"> • gostotni profil <i>grayscale profile</i> • histogram pogostnosti pojavljanja pikslov določenega odtenka sivine <i>grayscale histogram</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • dolžina <i>length</i> • koti <i>angles</i> • površine <i>surface</i> • obseg <i>perimeter</i> • % deleži belih in črnih pikslov <i>percent of black and white pixels</i> • klasificiranje po izbranem kriteriju <i>classification of the objects</i> • štetje <i>counting</i>

4 TEORETIČNI IN PRAKTIČNI PRIMERI SOME THEORETICAL AND PRACTICAL EXAMPLES

Prikaz delovanja programov za analizo slike najlaže opravimo na dveh preprostih teoretičnih primerih, podanih na slikah 4 in 5. Obe sliki smo narisali v risarskem programu Adobe PHOTOSHOP LE in shranili v TIFF obliki. Program za analizo slike je objekte prepoznal in oštevilčil, rezultate analize pa izpisal v tabelo. V večini programov za analizo slike lahko izberemo, katere parametre naj prikaže tabela.

Osnovna podatka o analiziranih objektih sta obseg in površina. Podatki o kotu in naklonu najdaljše in najkrajše osi nam posredujejo koristno informacijo o možni obliki analiziranega objekta. Če dobljene podatke prenesemo v kakšen drug program za analizo podatkov (npr. MS EXCEL ali SPSS) lahko dodatno izračunamo še številne druge parametre (npr. fraktalno dimenzijo, centroid...). Na obeh analiziranih slikah smo uporabili avtomatsko prepoznavanje objektov, lahko bi uporabili tudi ročno prepoznavanje in analizirali samo izbrane objekte.



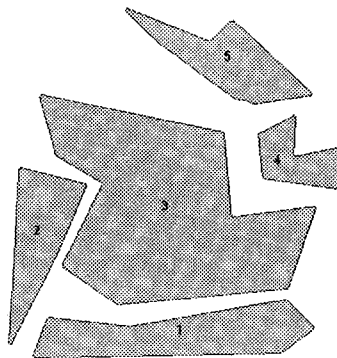
Slika 4: Program za analizo slike je prepoznal 13 enostavnih objektov, jih obrisal in označil z zaporedno številko.

Figure 4: Image analysis program has recognised 13 simple objects. Recognised objects are outlined and marked with a number.

Preglednica 4: Podatki o analiziranih objektih s slike 4 (meritve niso umerjene)

Table 4: Results of the analysis on picture 4 (measurements are not calibrated)

OBJEKT	POVRŠINA	OBSEG	DOLŽINA NAJDALJ. OSI	KOT NAJDALJ. OSI	DOLŽINA NAJKRAJ. OSI	KOT NAKRAJ. OSI
OBJECT	AREA	PERIME.	MAJOR AXIS LENGTH	MAIN AXIS ANGLE	MINOR AXIS LENGTH	MINOR AXIS ANGLE
Povprečje Mean	125,63	49,18	19,08	53,05	8,40	-37,04
Štd.odklon Std. Dev.	77,10	22,63	10,53	31,54	4,63	31,35
#1	69,49	30,67	9,43	11,31	9,26	-78,49
#2	210,41	77,31	32,57	78,69	6,53	-11,89
#3	218,74	59,16	20,68	45,00	20,68	-45,00
#4	130,64	42,43	12,93	8,97	12,77	-80,91
#5	270,49	90,76	38,77	79,76	6,99	-9,69
#6	153,04	50,08	17,68	53,89	12,88	-35,97
#7	157,28	69,24	29,54	79,84	5,31	-10,95
#8	56,49	30,25	10,53	51,48	8,37	-38,48
#9	151,68	70,25	30,31	9,25	4,95	-80,22
#10	39,40	27,66	11,77	88,36	4,04	-2,39
#11	49,83	27,15	10,29	85,31	5,90	-4,90
#12	101,83	46,39	18,07	18,43	6,01	-72,07
#13	23,87	17,97	5,47	79,38	5,47	-10,62



Slika 5: Program za analizo slike je prepoznal 5 zaprtih poligonov, jih obrisal in označil z zaporedno številko.

Figure 5: Image analysis program has recognised 5 complex objects. Recognised objects are outlined and marked with a number.

Preglednica 5: Numerični podatki o objektih s slike 5 (meritve niso umerjene)

Table 5: Results of the analysis from the picture 5 (measurements are not calibrated)

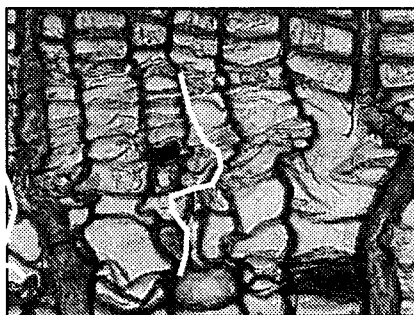
OBJEKT <i>OBJECT</i>	POVRŠINA <i>AREA</i>	OBSEG <i>PERIMET.</i>	DOLŽI. NAJDALJ. OSI <i>MAJOR AXIS LENGTH</i>	KOT GLAVNE OSI <i>MAIN AXIS ANGLE</i>	DOLŽI. NAJKR. OSI <i>MINOR AXIS LENGTH</i>	KOT NAJKR. OSI <i>MINOR AXIS ANGLE</i>
Povprečje <i>Mean</i>	932,15	154,28	58,46	-4,35	24,53	13,72
Std. odklon <i>Std. Dev.</i>	935,15	66,46	23,57	42,63	17,16	65,24
#1	800,40	173,61	76,55	6,71	14,51	-83,12
#2	497,39	123,10	48,36	65,41	18,57	-24,51
#3	2570,76	259,12	85,57	-37,57	55,11	52,51
#4	269,74	85,37	26,05	-32,93	16,88	57,01
#5	522,45	130,20	55,75	-23,37	17,58	66,70

4.1 ANALIZA SLIKE IN MIKROOBJEKTI IMAGE ANALYSIS ON MICROSCOPIC LEVEL

Merjenje širine kambijeve cone

Merjenje širine kambijeve cone na vzorčkih, odvzetih v različnih obdobjih rastle sezone, je izjemno zahtevna naloga, ki bi bila brez programov za analizo slike zelo težko rešljiva. Kambijeva cona zdravega drevesa je na višku rastle sezone zelo široka in delež hitro delečih se celic zelo visok. Značilnost teh celic kambijeve cone je, da imajo tanke celične stene in velike lumne, zaradi česar jih je zelo težko pripraviti za mikroskopsko analizo in nadaljnje meritve. Kljub zelo skrbnem odvzemu in pripravi zorcev se velikokrat zgodi, da je kambijeva cona nekoliko stisnjena ali zamaknjena. V takem primeru meritev ne moremo opraviti preko merilnega okularja na svetlobnem mikroskopu, ampak je potrebno poseči po analizi slike. Tako se da meriti dolžine poligonov in v bistvu ni problem izmeriti širine nekoliko zamaknjene ali potlačene kambijeve cone. Pri slabih vzorcih pa niti analiza slike ne da uporabnega rezultata. Slika 6 prikazuje merjenje širine kambijeve cone na nekoliko deformiranem, a še vedno uporabnem vzorcu. Poligon (bela črta) smo brez težav natančno vodili ob radialnem nizu kambijevih celic in na osnovi treh meritev ugotovili, da je kambijeva cona debela med 0,09 in 0,12 mm. Za meritve

cambijeve cone smo uporabili raziskovalni mikroskop NIKON E-800, video kamero in zajemalnik slike ter osebni računalnik. Slike smo obdelovali neposredno po zajemu.

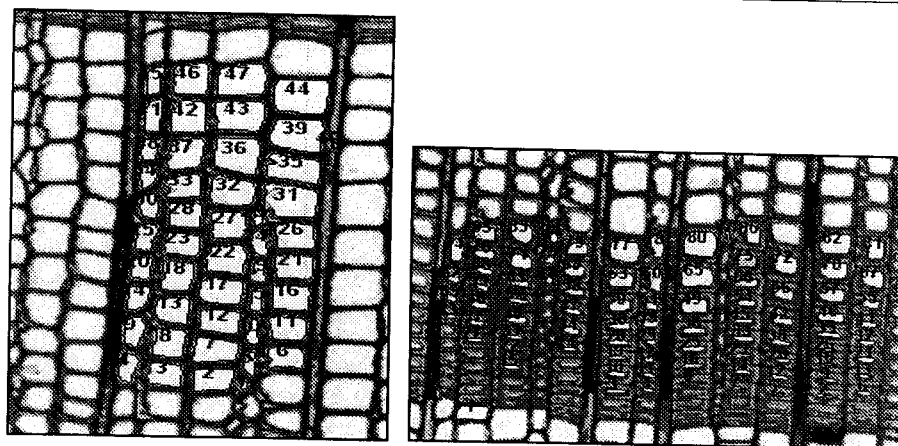


Slika 6: S pomočjo poligonov se da izmeriti širino nekoliko deformirane kambijeve cone. Kambijeve cone jelke (*Abies alba* Mill) pri 40 kratni povečavi (slika je zajeta z video kamere).

Figure 6: Slightly deformed cambial zone could be measured with a polygon tool in the image analysis program (Abies alba Mill. 40 x).

Merjenje različnih parametrov celic v ranem in kasnem lesu

Lesne anatome velikokrat zanimajo različni podatki o zgradbi lesa pri iglavcih in listavcih. S pomočjo analize slike lahko dobimo precej numeričnih podatkov o zgradbi lesa. Slika 7 prikazuje samo nekaj možnosti, ki jih nudi analiza slike na radialnem prerezu branike. Za analizo smo uporabili črno-bele fotografije, preskenirane pri ločljivosti 150 DPI in shranjene v TIFF formatu.



N=51 CELIC		
	POVRŠINA	OBSEG
	AREA	PERIMETER
	μm^2	μm
Povprečje Mean	9,02	11,69
Std. odklon Std. Dev.	5,54	3,73
#1	0,76	3,85
#2	10,65	12,80
#3	9,26	12,07
#4	5,73	10,46
....		
#49	1,47	5,42
#50	1,44	5,45
#51	0,93	5,52

N=92 CELIC		
	POVRŠINA	OBSEG
	AREA	PERIMETER
	μm^2	μm
Povprečje Mean	2,72	6,48
Std. odklon Std. Dev.	2,41	2,16
#1	7,20	11,02
#2	1,07	5,82
#3	1,58	6,03
#4	0,85	4,18
....		
#89	1,05	4,34
#90	1,50	5,56
#91	1,47	5,52
#92	0,93	5,52

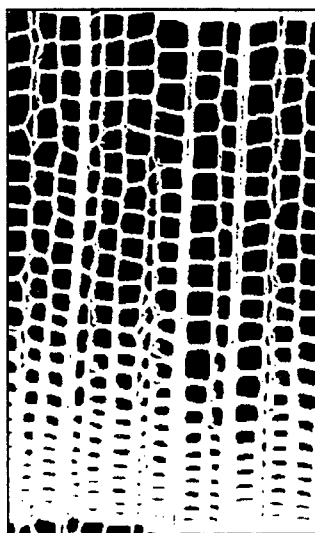
Slika 7: Avtomatska analiza celic ranega (levo) in kasnega (desno) lesa branike iglavca (*Abies alba* pri 40 kratni povečavi)

Figure 7: The fully automatised procedure for measuring cells of earlywood (a) and latewood (b) in the tree ring of the conifer (*Abies alba* 40 x)

Na sliki 7 smo opravili analizo površine in obsega celic v ranem in kasnem lesu jelke. Sorazmerno lahko smo ugotovili, da je povprečna površina celic ranega lesa $9,02 \mu\text{m}^2$ in obseg $11,69 \mu\text{m}$, kasnega lesa pa $2,72 \mu\text{m}^2$ in obseg $6,48 \mu\text{m}$.

Ugotavljanje deleža lumna in celične stene

Dokaj pogost problem v lesni anatomiji je problem razmerja med celično steno in lumnom. Od tega razmerja je odvisna gostota lesa in s tem povezane fizikalne, kemijske in mehanske lastnosti. Analizo smo opravili na preskenirani črno-beli fotografiji. Sliko smo preskenirali z ločljivostjo 150 DPI in shranili v TIFF formatu.



Slika 8: Na binarizirani sliki lahko preštujemo črne in bele piksele in določimo delež celične stene (beli piksli) in lumna (črni piksli)

Figure 8: On a thresholded picture program black and white pixels can easily be counted and the percentage of pixels can be calculated

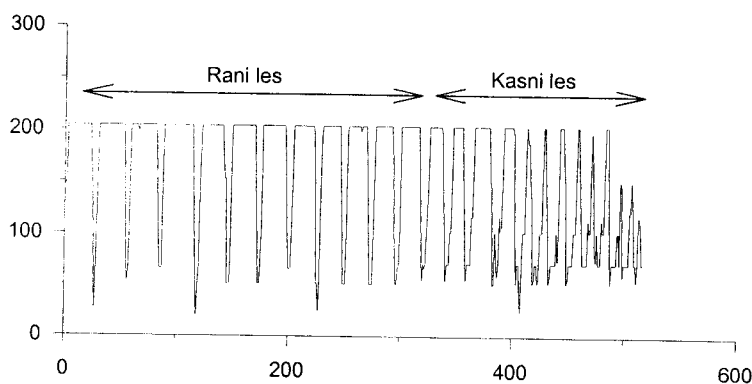
S štetjem črnih in belih pikselov smo ugotovili, da vsebuje preiskani vzorec 54 % celičnih sten in 45 % lumnov. Primer kaže analizo celotne branike, če pa bi nas zanimalo, kakšno je razmerje med celično steno in lumnom v ranem in kasnem lesu, bi morali analizirati vsakega posebej.

Gostotni profil branike lesa iglavca

S pomočjo gostotnega profila branike lahko ugotovimo, kje je meja med ranim in kasnim lesom v braniki. Rezultat analize je grafikon odtenkov sivin gostotnega profila. S

posebnimi programi lahko iz podatkov preračunamo debeline celičnih sten in premere lumna. Ta tip analize je zelo uporaben, kadar preučujemo razvoj branike v vegetacijski sezoni. Z analizo gostotnega profila lahko ugotovljamo različne anomalije pri nastajanju branike, oziroma identificiramo posledice zunanjih dejavnikov na strukturo branike, na razmerje med ranim in kasnim lesom, na pojavljanje lažnih branik in na številne druge posebnosti v anatomski zgradbi branike.

Gostotni profil smo dobili tako, da smo preskenirali črno-belo fotografijo branike jelke pri 40 kratni povečavi. Skenirali smo pri ločljivosti 300 DPI in sliko shranili v TIFF formatu.



Slika 9: Gostotni profil branike lesa iglavca

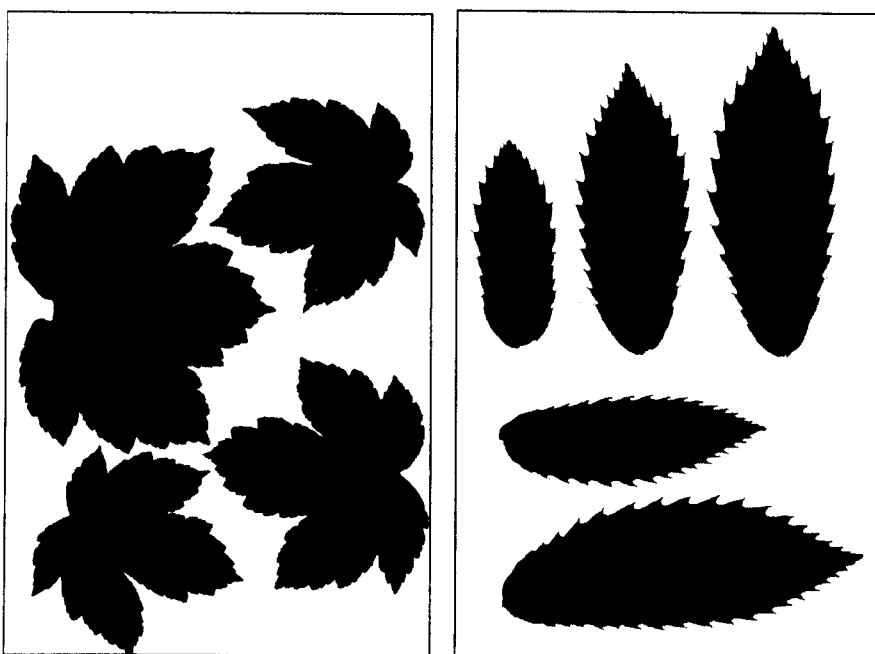
Figure 9: Density profile of the single tree ring in conifers

4.2 ANALIZA SLIKE IN MAKROOBJEKTI IMAGE ANALYSIS ON MACROSCOPIC LEVEL

Preučevanje variabilnosti listne površine

Gre za primer, ki ga v praksi dostikrat srečamo pri iskanju morfoloških razlik znotraj različnih rodov (npr. rod *Quercus*) in je povezan s precej zamudnim planimetriranjem površine listov (BATIČ et al. 1995, BREZNIKAR / HORVAT-MAROLT 1998). Ta problem se da z analizo slike relativno enostavno rešiti, saj poleg (poceni!) skenerja ne potrebujemo praktično nobene posebne strojne opreme. Ročno lahko izmerimo številne

parametre listne površine, avtomatsko pa dobimo podatka o površini in obsegu listne površine. V zadnjem času se s pomočjo analize slike preučuje tudi simetričnost določenih rastlinskih delov in na osnovi tega sklepa, ali so rastline v razvoju motene ali ne.



	POVRŠINA <i>AREA</i>	OBSEG <i>PERIM.</i>	DOLŽINA NAJD. OSI <i>MAJOR AXIS LENGTH</i>	DOLŽINA NAJKR. OSI <i>MINOR AXIS LENGTH</i>	RAZPOTE- GNJENOST <i>ELONGATI.</i>	OKROGLOST <i>ROUNDNESS</i>
GORSKI JAVOR (<i>ACER PSEUDOPLATANUS</i>)						
Povprečje / <i>Mean</i>	1941,50	278,72	61,23	49,60	1,23	0,30
Std. odklon / <i>Std. Dev.</i>	770,15	47,38	13,01	8,38	0,05	0,01
NAVADNI KOSTANJ (<i>CASTANEA SATIVA</i>)						
Povprečje / <i>Mean</i>	1282,48	227,21	69,74	25,77	2,71	0,31
Std. odklon / <i>Std. Dev.</i>	469,27	49,24	14,12	5,21	0,17	0,05

Slika 10: Listi gorskega javorja (*Acer pseudoplatanus*) in navadnega kostanja (*Castanea sativa*) ter njihova variabilnost

Figure 10: Variability of the leaves of the maple (*Acer pseudoplatanus*) and chestnut (*Castanea sativa*)

Slike listov smo dobili v računalnik tako, da smo jih položili na skener in jih preskenirali v računalnik. Ločljivost skeniranja je bila 150 DPI v odtenkih sivin, slike smo hranili na magnetni medij v TIFF formatu.

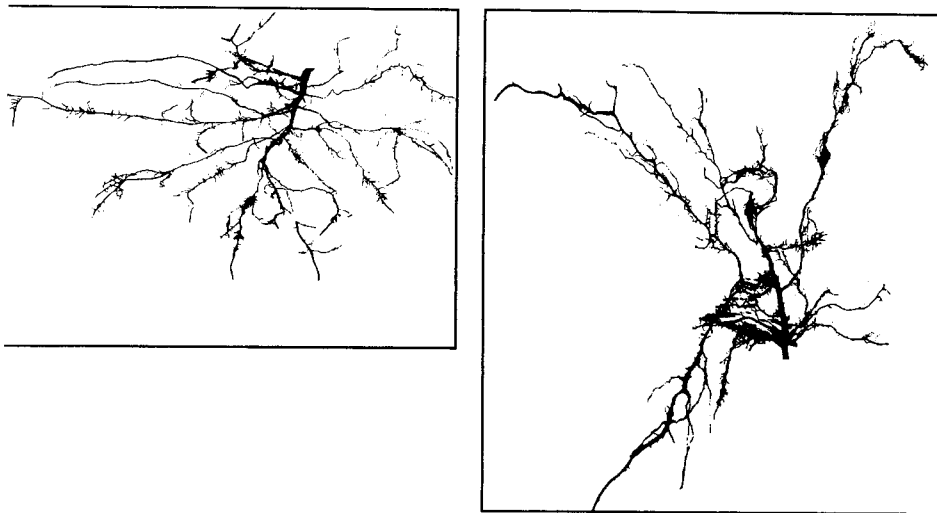
Povprečna površina 4 listov gorskega javorja je 1942 mm^2 , obseg pa 278 mm, medtem ko ima pet listov navadnega kostanja listno površino 1282 mm^2 in obseg 227 mm. Zanimiv je tudi podatek o razpotegnjenosti⁵ listne površine pri gorskem javorju in navadnem kostanju. Kostanjevi listi so bolj razpotegnjeni v primerjavi z javorjevimi in to se vidi tudi iz rezultatov analize - pri gorskem javorju je razpotegnjenost 1,23 pri navadnem kostanju pa 2,71.

Preučevanje koreninskega pleteža mladih drevesc

Analiza razvitosti koreninskega sistema mladih drevesc je zelo pomemben kazalec kakovosti sadik in je v tesni povezanosti s sposobnostjo mladega drevesca za preživetje. Avtomatska analiza koreninskega pleteža nam omogoča, da sorazmerno hitro ocenimo njegovo velikost in ugotovimo relativna razmerja med preučevanimi drevesci. Primer na sliki 11, je povzet iz študije vpliva mehanskih obremenitev na koreninski pletež mladih dreves (BOHINC et al. 1996). Z analizo slike se da relativno enostavno oceniti velikost koreninskega sistema in izvesti primerjavo med "tlačeni" in "netlačeni" smrečicami. Na sliki 11 levo je delež korenin pri "netlačeni" smreki 3,80 %, pri "tlačeni" desno pa 2,53 %. Relativno pa dosega koreninski sistem "tlačene" smreke le 66% velikosti koreninskega sistema "netlačene".

Zajem slike koreninskega pleteža je potekal nekoliko drugače kot pri listih. Koreninske pleteže smo najprej fotokopirali, nato pa fotokopije skenirali pri ločljivosti 150 DPI.

⁵ Razpotegnjenost je koeficient med najdaljšo in najkrajšo osjo analiziranega objekta.



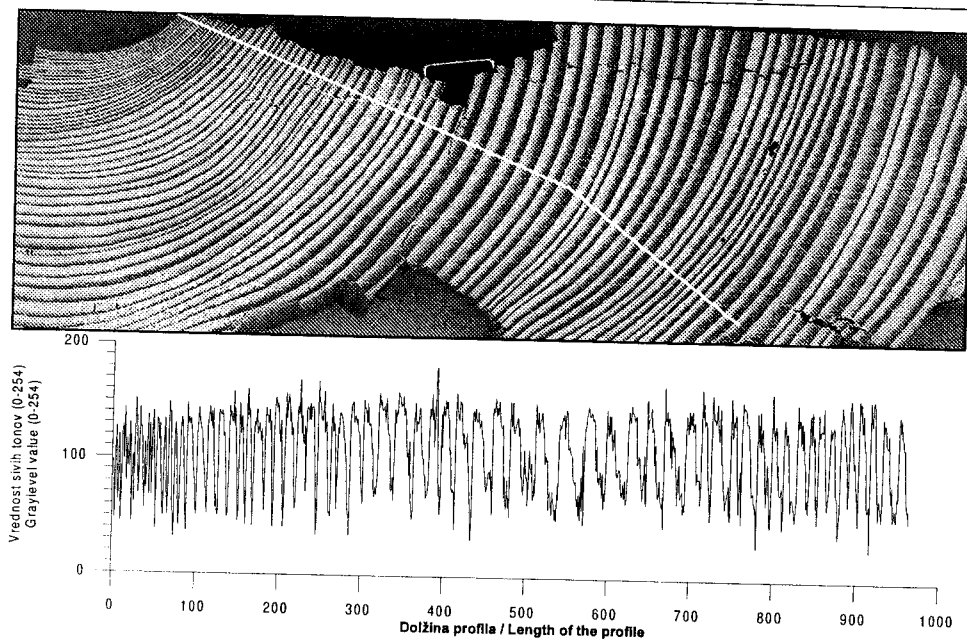
Slika 11: Primerjava koreninskega sistema "netlačene" (levo) in "tlačene" mlade smreke (desno)

Figure 11: A comparison of the root system of "compressed" (left) and "uncompressed" young spruces (right)

Preučevanje letnega nihanja gostote lesa v braniki - densitometrija

Densitometrija je posebna veja dendrokronologije, ki se ukvarja s preučevanjem nihanja gostote lesa v braniki (SCHWEINGRUBER et al. 1978). Za razliko od klasične dendrokronologije, ki meri le širino branike, se pri densitometriji meri prosojnost lesa branike in analizira sliko, ki nastane pri presevanju z rentgenskimi žarki. Rentgensko sliko prenesemo v računalnik in s programom za analizo slike dobimo grafično in numerično informacijo o gostotnem profilu vzorca. Tako dobimo podatke o gostoti ranega in kasnega lesa, o njihovih odstotnih deležih in tudi podatek o širini ranega in kasnega lesa ter širini branike.

Primer, predstavljen na sliki 12, je samo prikaz možnosti, ki jih nudijo programi za analizo slike. Vzorec lesa na sliki 12 zgoraj, smo preskenirali v računalnik in na prikazani črti opravili vrednotenje sivih odtenkov. Rezultat je v nekalibrirani obliki na sliki 12 spodaj. Če pa bi želeli dejansko izmeriti gostotni profil lesa, bi bilo potrebno opraviti dokaj zahteven postopek kalibracije, kajti prepustnost lesa za rentgenske žarke ni enostavno povezana z gostoto lesa.



Slika 12: Skenirani vzorec lesa (zgoraj) in njegov gostotni profil (spodaj)
Figure 12: Density profile (bottom) of the scanned wood sample (top)

5 POVZETEK

Delo prikazuje možnost uporabe analize slike za preučevanje mikroskopskih in makroskopskih objektov v gozdarski in lesarski stroki. Opiše strojno in programsko opremo za postavitve sistema za analizo slike in pove, kako dobimo sliko v računalnik. Ko je slika zajeta in shranjena na računalniški medij jo je potrebno pripraviti za nadaljnjo obdelavo. Najprej ji je potrebno izboljšati kakovost, nato izvesti klasifikacijo pikslov, umerjanje sistema in na koncu opraviti meritve. Meritve lahko opravljamo na klasificirani in neklasificirani sliki. Na koncu prispevek še podaja nekaj teoretičnih in praktičnih primerov uporabe analize slike.

5 SUMMARY

Presented are possibilities of image analysis of micro- and macro object in wood echnology and forestry. Described is hardware and software needed to established operational image analysis system. It is also described how to convert analogue picture nto a digital form and how to enhance image quality of the image. Image analysis is a five step process: (1) capturing the image, (2) enhancing the quality, (3) tresholding, (4) calibration of the system and (5) measuring. Measuring could be done on original image for density studies or on tresholded image for different kind of object analysis. Finally, some theoretical and practical examples are presented.

7 VIRI REFERENCES

- BATIČ, F. / SINKOVIČ, T. / JAVORNIK, B., 1995. Morphological and genetic variability of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) populations in Slovenia.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 46, s. 75-96.
- BOHINC, B. / KRAIGHER, H. / ROBEK, R., 1996. Quantification of root system under stress.- V: *Life sciences 1996*, Ljubljana, Society for Stereology and Quantitative Image Analysis, s. 37-38.
- BREZNIKAR, A. / HORVAT-MAROLT, S., 1998. Morfološka in fenološka variabilnost doba (*Quercus robur* L.) in gradna (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) na robnih območjih njunih naravnih rastišč v SV Sloveniji.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 57, s. 59-92.
- KVAMME, K. / OŠTIR-SEDEJ, K. / STANČIČ, Z. / ŠUMRADA, R., 1997. Geografski informacijski sistemi.- Ljubljana, Znanstvenoraziskovalni center SAZU, 476 s.
- MATKO, D., ed. 1996. Uporaba vesoljskih tehnologij.- Radovljica, Didakta, 312 s.
- SCHWEINGRUBER, F. H. / FRITTS, H. C. / BRAKER, O. U. / DREW, L. G. / SCHAR, E., 1978. The X-ray technique as applied to dendrochronology.- *Tree Ring Bulletin*, 38, s. 61-91.
- SMOLEJ, V., 1995. Avtomatska analiza slike - praktikum. Ljubljana, Društvo za stereologijo in analizo slike.
- YING, X. / CHEUNG, L., 1999. Image file formats for digital Microscopy.- *Microscopy and analysis*, 57, s. 9-12.

- SCHWEINGRUBER, F. H. / FRITTS, H. C. / BRAKER, O. U. / DREW, L. G. /
SCHAR, E., 1978. The X-ray technique as applied to dendrochronology.- Tree Ring
Bulletin, 38, s. 61-91.
- SMOLEJ, V., 1995. Avtomatska analiza slike - praktikum. Ljubljana, Društvo za
stereologijo in analizo slike.
- YING, X. / CHEUNG, L., 1999. Image file formats for digital Microscopy.- Microscopy
and analysis, 57, s. 9-12.