

Doktori (PhD) értekezés

Soproni Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Vezető: Prof. Dr. Tolvaj László egyetemi tanár

Doktori program: Faanyagtudomány

Programvezető: Prof. Dr. Németh Róbert

Tudományág: Anyagtudomány és technológiák

**Sarangolt választékok fotóanalitikus mennyiségi meghatározására
vonatkozó feldolgozó algoritmus fejlesztése spline függvények
segítségével**

Készítette: Polgár Rudolf

Témavezető: Dr. Pásztory Zoltán

Sopron

2017.

**Sarangolt választékok fotóanalitikus mennyiségi meghatározására
vonatkozó feldolgozó algoritmus fejlesztése spline függvények
segítségével**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák
Doktori Iskolája

Faanyagtudomány programja

Írta:

Polgár Rudolf

Készült a Soproni Egyetem Cziráki József Doktori Iskola

Faanyagtudomány programja keretében

Témavezető: Dr. Pásztory Zoltán
Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton 100 % -ot ért el,

Sopron, 2014. július 9.

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....
Az EDHT elnöke

Nyilatkozat

Alulírott, Polgár Rudolf kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem, és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan rész, amelyet szó szerint vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával jelöltem.

Sopron, 2017. május 23.

.....

aláírás

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, dr. Pásztory Zoltánnak, hogy megismertetett az értekezés alapját adó témájával és annak problémáival. Tanácsaival és véleményeivel irányt mutatott, kérdéseivel előremutató gondolatokat ébresztett. Köszönöm építő kritikáit, amelyekkel a téma kifejtését és az értekezés végső formáját elérhettem.

Külön köszönettel tartozom Csiszár Tibor barátomnak, az Initon Kft. fejlesztési igazgatójának. Több, mint két évtizedes informatikai tapasztalatainak és önzetlen segítőkészségének köszönhetően létrejöhett az értekezésben bemutatásra kerülő elemző és kiértékelő módszer alapján a Java programnyelven írt WSA szoftver.

Utoljára, de nem utolsó sorban, köszönöm családomnak a türelmet és a támogatást, melyet az értekezés megírása alatt tanúsítottak.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. Iparági háttér bemutatása.....	4
2.1 Faválasztékok mértékegységei.....	4
2.2 Értékesítési problémák, átszámítások	4
2.3 Faátvételi módszerek.....	5
2.3.1 Űrméterezés.....	8
2.3.2 Xilometrálas	9
2.3.3 Atro-súly meghatározás	10
2.3.4 Nedves átvétel	11
3. Sarangolt faanyagok fotóanalitikus átvétele.....	12
3.1 A módszer vizsgálatának menete	12
3.1.1 A képfelvétel	13
3.1.2 A kép transzformálása.....	13
3.1.3 A бүтү felület meghatározása manuális kiválasztással	15
3.1.4 Az eredményközlés	16
3.2 A módszer használata során szerzett első tapasztalatok, módosítások	16
3.2.1 A megvalósítás lehetséges eszközei.....	17
3.2.2 Kép léptékhelyessé tevő módszerek transzformáció.....	18
3.2.3 Rakodás eltérőse.....	21
4. A fotóanalitikus elemzés számítási algoritmusának fejlesztése	22
4.1 Képfeldolgozási módszerek alkalmazása.....	23
4.1.1 Digitális képek alapvető jellemzői	23
4.1.2 A színek és a radiometriai felbontás	24
4.1.3 Színtér fogalma, nevezetes színterek	26
RGB.....	26
CMY, CMYK.....	27
CIE, LAB	28

HSV, HSL	30
4.2 A fotóanalitikus elemzés színezési eljárásának automatizálása.....	32
4.2.1 A színkód konvertálás	34
4.2.2 Színezési eljárás, színekép elemzés – az automatizálás felé tett első elemzési feladat és eredménykiértékelés	36
1. lépés: csoportosítás.....	38
2. lépés: mozgóátlagolás	39
3. lépés: hasznos színtartomány meghatározása	41
4. lépés: színezés és kiértékelés	42
+1 lépés: út az automatizáláshoz és az optimális eredményhez.....	43
4.3 Az elemzéshez szükséges paraméterek	45
4.3.1 Farönkök бүтү felületeinek két paraméteres színelemzése	46
4.3.2 Az S és V értékeinek paraméterezése	50
4.4 A rácsozás	53
4.4.1 A módosított algoritmus.....	54
4.4.2 Az optimális rács megválasztása.....	57
I. elemzési mód: Különböző h értékek mellett történő telítettség vizsgálata.....	59
II. elemzési mód: A szem vagy a program hitelesebb?.....	61
4.5 Eredmények összehasonlítása	66
4.6 Rönkök határvonalának meghatározása spline alkalmazásával	66
4.6.1 Általánosított spline approximáció	69
4.6.2 A variációs feladat megoldása	71
5. Összegzés, eredmények értékelése	75
5.1 Összefoglalás.....	75
5.2 További kutatási feladatok	76
Irodalomjegyzék	78
Ábrajegyzék	82
Táblázatjegyzék	85

1. Bevezetés

Az erdőgazdálkodásban a sarangolt választékok mennyiségi meghatározása űrméterben vagy tömör köbméterben történik. A két mértékegység között átszámítási tényezők segítségével váltják át az értékeket (Stark & Schiberna, 2008). Az átszámítási értékeket a XIX. század első felében mérésekkel és statisztikai számításokkal alakították ki, majd később a különböző választékokra is megkülönböztették. Az elmúlt évtizedekben a választékok száma lecsökkent, illetve a legtöbb esetben a termelők egyetlen választékot állítanak elő különböző hosszúságokban.

A magyarországi erdőkből kikerülő hengeres faanyagok nagyon nagy arányban – közel 70%-ban – sarangolt választékok. A korábbi évek kifinomult gyakorlatával szemben napjaink erdőgazdálkodási gyakorlata nem különböztet meg több célú sarangolt választékot, hanem csupán egyféle választékot készítenek a korábbi anyagok válogatása nélkül. Az egységes választékokra a korábban kidolgozott választékonkénti köbméter-űrméter átszámítási tényezők, gyakorlati mérések szerint, jelentős hibával lehetnek terheltek.

A XX. század első felében a sarangolt faválasztékok számára sok mérés alapján dolgoztak ki űrméter és köbméter közötti átszámítási tényezőket. A sok mérés ellenére a természet sokszínűsége miatt a szórás nagyon magas az egyes rakatok, fafajok, termőhelyek között. Az akkori módszer pontosítása érdekében differenciálták a fafajokat és a választékokat. Külön átszámítási értéket rendeltek a kemény- és lágylombosoknak és külön a fenyőknek. A választék milyenségét illetően is megkülönböztettek rost, forgács és tűzifát. Ezzel a differenciálással határozottan pontosítani tudták a köbmétert és űrmétert összekötő számokat. Az eltérések több tényezőre vezethetőek vissza, mint a termőhely adottságai szerinti görbeségek, a választék átmérő szórása, az ágcsonkok levágásának igényessége, vagy az összerakás alapossága.

Az elmúlt két évtizedben több változás is módosította a gyakorlatban alkalmazott átszámítási értékek pontosságát, szinte minden esetben negatív irányban. Az erdőállományok ma nem tudják azt a minőségi faanyagot biztosítani, mint amit 50-100 évvel ez előtt tudtak. Az átmérő dimenziók csökkennek és a faanyag görbesége is

gyakoribb lett. Sajnálatos, hogy az időjárási szélsőségek megjelenésével a biotikus és abiotikus károsítások is gyakoribbá váltak, ennek következtében a vágásforduló sem minden esetben tartható az 50-100 évvel korábbi szinten. Az időjárás egyre szélsőségesebb körülményeket biztosít az erdőknek, ma már nem ritka száraz nyarakkal, esetenként pedig a hirtelen nagy mennyiségű csapadékok sokkolják az erdőket. A széltörések kényszere következtében kitermelt faanyag mennyisége is megnőtt az elmúlt negyed évszázadban. Így az akkor kidolgozott tényezők aktualizálásra szorulnak. Vagyis a közel egy évszázados erdőgazdálkodási gyakorlat tapasztalatain kiforrott ipari faanyagválasztékok számba vételi technikájának új – a technika mai állásának megfelelő innovatív - módszerre cserélése a cél.

A sarang térfogatának meghatározásakor azzal a feltevéssel élünk, hogy a rakat végén a fa бүтү felületek olyan részarányt foglalnak el a területből, mint amekkorát a tömör faanyag a térrészből. Ha a sarangot a бүтү felületre merőleges síkban metszenénk hasonló részarányt kapnánk.

A matematikai és informatikai eszközök fejlődésével lehetőség nyílik olyan feldolgozási algoritmusok és az ezt megvalósító hardverek kialakítására, amelyek egyedileg képesek meghatározni az adott rakat vagy rakomány átszámítási tényezőjét, melyek a jelenlegi gyakorlatnál pontosabb és gyorsabb anyagfelmérést tesznek lehetővé.

Az egyik lehetséges új technológia fotóanalitikus és matematikai módszereken alapszik. A nagy felbontású képek számítástechnikai feldolgozása komoly számítási kapacitást és hosszabb feldolgozási időt igényel, emiatt az egyik fontos célkitűzés gyorsabb feldolgozó algoritmusok kidolgozása. Tudományos matematikai eszközök segítségével a számítási igény és a feldolgozási idő csökkenthető. A бүтү felületről elkészített, mérethelyessé transzformált fotó, feldolgozott képpontjainak megadott algoritmus szerinti csökkentésével a feladat gyorsabban és kisebb kapacitású gép segítségével is elvégezhető. A kutatás fő feladata a simító algoritmus kidolgozása úgy, hogy a feldolgozási pontosság is szabályozható legyen.

A digitális fényképezés és a digitális képfeldolgozás ma már lehetővé teszi 10-12 megapixeles képek készítését és feldolgozását. A nagy felbontás jelentősége abban van, hogy a valójában pl. 10 cm átmérőjű бүтүkorong hány pixellel fogható be. Ha a 10 cm-t

mindössze 10 pixel fogja át, akkor pixelenként 1 cm-es felbontásunk van, ha azonban 20 vagy 30 pixel jut a 10 cm-re akkor 5- illetve 3,3mm-es felbontással dolgozhatunk. A nagy felbontású képek alapján alkalmas algoritmusok segítségével le lehet tapogatni és információkat lehet kinyerni a képekből. Ennek az információnak a kinyerése igényli az intelligens algoritmusok kifejlesztését, amely sok ellenőrző mérésen alapul és folyamatos finomításokkal fejlődik. Ennek megvalósítását is célozza jelen kutatás.

További lehetséges gyorsítási lehetőség statisztikai módszerek alkalmazásával érhető el. A képpontok közül szabályozottan (mintaszám, eloszlás) kiválasztott mintából következtetni lehet a teljes kép jellemzőire. A kiválasztott képpontok számának változtatásával meghatározható, az elvárt pontosságot biztosítani képes mintaszám és a feldolgozás során csak ezt az előre kalkulált pixel számot kell feldolgozni.

Az algoritmusok kidolgozása és működésének igazolása jelentős szakmai és feldolgozás pontossági előrelépést jelenthet a faipari és erdészeti szakma számára.

2. Iparági háttér bemutatása

2.1 Faválasztékok mértékegységei

A faválaszték a különböző alakú, méretű, rendeltetésű fa nyersanyagok gyűjtőfogalma. A fakitermelés helyén, a kidöntött fatörzs darabolásával, faragásával, hasításával készített, közvetlenül feldolgozható fatermékek, illetve tűzifaválasztékok (Lugosi, 1976).

A faválasztékok mennyiségi meghatározására az alábbi mértékegységek használatosak:

- 1 m^3 (*1 erdei köbméter*), ami $1,00 \times 1,00 \times 1,70$ méter térfogatú famennyiséget jelent, vagyis az a térfogat, ami 1,00 köbméter tömör fát ad ki. Az 1,70-s szorzót az erdészeti kutatások statisztikai -és tapasztalati eredményei alapján dolgozták ki a szakemberek.
Pontosabban: a MSZ-08-0636:1992 az 1,70 m magasságot határozta meg a vastag kérgű keménylombos anyagra, így került ez a mérték a köztudatba (Földművelésügyi, 1992).
A szabvány bevezetése előtt 1,75-ös szorzót alkalmaztak, melyet helyenként még napjainkban is alkalmaznak (FARM-KER Kft., 2014), (ELBIR, 2016), (Energia.Ma, 2012).
- 1 űrm (*1 normál űrméter*), $1,00 \times 1,00 \times 1,00$ méter térfogatú famennyiség. Ez a mennyiség azonban nem ad 1 köbméternyi faanyagot, a benne lévő famennyiség: $1 \text{ űrm} = 0,588 \text{ m}^3$. Ezen mértékegység reciprokon viszonyban van a tömör fa tartalomra vonatkoztatva az erdei űrméterrel, azaz számszerűsítve $1/1,70 = 0,588235 \approx 0,588$.
- 1 űrm (*1 erdei űrméter*), $1,00 \times 1,00 \times 1,35$ méter térfogatú famennyiség, ma már nem használatos (Földművelésügyi, 1992).

2.2 Értékesítési problémák, átszámítások

Mint minden piaci kereskedelemben, itt is igaz, hogy minden érintett a jó üzletre hajt. Az eladó ugyanazért az árért kevesebbet szeretne eladni, a vevő pedig többet szeretne kapni. A faválasztékok eladása során az űrméter és a tömör köbméter közötti átszámítási tényező több bizonytalanságot hordoz, már csak az alaki tényezők miatt is. Az eladó megpróbálja a valós szerződött mennyiséget minél pontosabban meghatározni,

mivel tisztában van a vevői oldal kételkedésében és a biztonság kedvéért átadott többlet a saját vesztesége.

Nyilvánvaló következmény, akkor helyette kerüljön alkalmazásra más pontosabb módszer, ami az értékesítés alapja lehet. Ilyen mód lehetséges a súly és a tömör köbméter közötti átszámítási tényezők alkalmazása, ám ezen esetben is a minőségi jellemzők sok mindent befolyásolnak, köztük például a faanyag nedvesség tartalma, sűrűsége.

A felmérés során nyilván a legpontosabb eredményt az egyedi köbözés módszere szolgáltatja, mely módszert már Bedő Albert megfogalmazta a XIX. században (Bedő, 1875). Ugyanakkor napjainkban fizikai képtelenség minden egyes darabot egyenként felmérni a sarangban. A gyakorlatban a felmérés átlagolással történik. A rakomány vagy sarang hosszát, illetve több helyen a magasságát megméri, és ezen adatokból kapnak egy felületértéket. Ezt a számot a kivágott faanyag hosszával szorozva kapják az űrméter térfogatot.

2.3 Faátvételi módszerek

A faátvételi módszerek fontosságát mutatja, hogy az első magyar nyelvű dokumentálása egyetemünk jogelőd intézményében született. Dr. Wilckens Henrik Dávid az erdészet első magyarországi oktatója 1808. december 16-án az udvari kamarához írt jelentésében kiemelte az erdészeti oktatás fontosságát. Megalkotta öt kötetes erdőismeret (Forstkunde) jegyzetét, mely Nedeczey Ferenc kéziratában maradt fenn (Wilckens, 1809), amely az NymE Könyvtárában található meg jelenleg is. A könyv III. kötetében foglalkozott az erdőgazdaság fő ágazataival, köztük a fabecsléssel.

A jelentés alapján Ferenc József 1810. évi 811-es rendeletében kimondta az erdészeti tanulmányok fontosságát és önállóságát, aminek hatására már 1811. évben elindult a felsőbb erdészeti szakoktatás. A képzés 3. félévében önálló tantárgyként szerepelt a Fabecslés, a fa köbtartalmának meghatározásának módszertana.

A téma hazai tudományos megközelítésében jelentős mérföldkövet jelent Sóltz Gyula és Fekete Lajos Az erdőbecsléstan kézikönyve (Sóltz & Fekete, 1893), Fekete Zoltán Erdőbecsléstan című könyve (Fekete, 1951), és Lámfalussy Sándor erdei választékok

kőbtartalmának megállapításával foglalkozó cikkei (Lámfalussy, 1956), (Lámfalussy, 1961).

Az E. az erdőbecslés módjait ismertető tudomány, melynek részeit képezik: az egyes fák, farakások és állabok (l. o.) fatömegének meghatározása, fák és állabok korának megállapítása, a növedék meghatározása és viszonyainak felderítése és végre a fatermési táblák felállítása. V. ö. Soltz Gy. és Fekete L., Erdőbecsléstan, Selmezbánya, I. kiad. 1882. II. bővített kiad. 1893. Baur, Holzmesskunde, IV. kiad. Berlin 1891.

Az idézet a Pallas Nagy Lexikona 1893. évi kiadásában olvasható (Pallas, 1893-97), amely egyben igazolja a Soltz-Fekete munkásságának és korának meghatározó szerepét is.

A régóta fennálló tudományos igény mellet, mely már több mint 200 éve foglalkoztatja az erdészet és faipar tudósait, napjainkban már nincs érvényben szabvány az faátvételi módszerek, illetve mértékegységeik között: $\text{üm} - \text{m}^3 - \text{atro t.}$

Szokvány, illetve cégenkénti átváltási tényezők vannak használatban, illetve szállítói szerződések a meghatározóak (ld. 1. táblázat). Ezzel szemben számos fontos tényezőre már, mint például a nedvességmérésre, akkreditált előírások vannak.

Az értekezésben a későbbiekben bemutatásra kerülő fotóanalitikus módszeren kívül az alábbi fontosabb faátvételi módszerek ismereteseek:

- i) űrméterezés,
- ii) xilometrálas,
- iii) atro-súly meghatározás,
- iv) nedves átvétel.

1. táblázat Ipari választékok, forrás: (Stark & Schiberna, 2008)

	Ipari választékok I. osztályú minőségben				
	Késelési	Hámozási	Fűrészrönk lombos	Fűrészrönk fenyő	Kivágás
Hossz (m)	1,8 -tól 0,1 m ugrásokkal	1,4 vagy 2,2 illetve ezek többszöröse	2,0-6,0 0,1 m ugrásokkal	2,0-6,6 0,25-0,3 m ugrásokkal	0,5-től 0,1 m ugrásokkal
Átmérő (cm)	30-36-től fafajtól függően	24-26-től fafajtól függően	16-től	16-től	10-16-től
Ággöcs egészséges	0,5 cm-ig korlátlanul 5 cm-ig 2 db	1 cm-ig korlátlanul 5 cm-ig 2 db	3 cm-ig korlátlanul 2 m hossz felett méterenként 1 db 8 cm-es	4 cm-ig korlátlanul	3 cm-ig korlátlanul
Ággöcs korhadt	2 cm mélységig korlátlanul	2 cm mély 1db	2 cm-ig 1 db méterenként	nem lehet kivéve lucfenyő	2 cm-ig 1 db méterenként
Hengeresség	2 cm eltérés a legkisebb és legnagyobb átmérő között		-	-	-
Sudarlósság	-		-	2 cm átmérőkülönbség méte- renként	-
Síkgörbeség	1 cm méterenként		4 cm méterenként	2 cm méteren- ként	2-4 cm méte- renként
Fagyrepedés	nem megengedett				
Egészséges álgeszt	megegyezés alapján				
Csillagos álgeszt	nem lehet	csúcsátmérő 25%-ig	nem lehet		
Bélkorhadás	nem lehet	max. 5-8. cm	nem lehet		
	Egyéb választékok				
	Oszlop	Papírf	Rostfa	Tűzifa	
Hossz (m)	1,8 felett felhasználási cél függvényében	1 vagy 2	1 vagy 2	1	
Átmérő (cm)	10 cm felett felhaszná- lási cél függvényében	10-től 35 felett hasítva	4-től (kéregben)	5-től 25 felett egyszer, 35 felett kétszer hasítva	
Egyéb	síkgörbeség 4 cm méterenként, csak egészséges	ággöcs 2,5 cm-ig korlátlanul 5 cm-ig max. 5 db méterenként	bélkorhadás nem lehet	max 18 cm húрма- gasság elágazás nem lehet	

2.3.1 Űrméterezés

A legegyszerűbb faátvételi módszer, amely a geometriai méretek felvétele alapján történik. A rakat vagy felrakott hasáb-, dorong-, rőzse- vagy tuskófa esetén olyan „kocka alakú” mérték felvétel, melynek minden éle 1 m. A „kocka alakú” mérték alatt pontosabban egy befoglaló téglatestet értünk, melyet az 1. ábra jobb oldali képén láthatunk.

Amennyiben gúlába rakott fáról van szó, úgy az alapterület és magasság szorzatának harmada adja a térfogatot.



1. ábra Űrméter meghatározása *forrás: (Pásztory, 2009)*

A korábbi szokvány, majd szokvány szerint $1,70 \text{ m}^3$ normál Űrméter fa mennyiség felel meg 1 m^3 tömör fa mennyiségnek, melyet más néven 1 m^3 erdei köbméternek neveznek.

A fő problémája ezen átvételi módszernek, hogy a rakat külső méretei alapján történik a mennyiségi becslés, ami jelentősen függ a lerakás módjától. Például homorú alakú a rakat teteje, rakatban keresztbe álló darabok, sok görbe fa egymásra hatása.



2. ábra Űrméterezési problémák

forrás: felső képek: (Pásztory, 2009) , alsó képek: (Jorgesen & Kristiansen, 2008.)

2.3.2 Xilometrálás

A xilométer a fának vízbe süllyesztése által való köbözésre szolgáló edény fizikai értelemben. Elve az Arkhimédész-törvényen alapul, azaz a vízbe nyomott test helyéből saját térfogatának megfelelő vízmennyiséget szorít ki.

Elsősorban hasábfának, göcsös dorongfának, de Olaszországbam ipari fának (3. ábra) pontos köbözésére használják, főként az űrmérték tömörfa tartalmának meghatározása végett.



3. ábra Xilometrálation forrás: (Pásztory, 2009)

Legegyszerűbb kialakítása egy 1,5 m. magas és mintegy 50 cm. széles kád, mely felső részén csappal van ellátva és csordultig töltetik vízzel. Az átfolyó alá egy másik nagy edény kerül, azután a köbözendő anyagot a vízbe nyomjuk s a kiszorított és a csapon kifolyó víz litereinek száma adja köbdeciméterekben az illető anyag köbtartalmát.

A xilometrálation iparban elterjedtebb változata, amikor a vízbemártást végző gép egy mérlegen áll, és a bemártás előtti és utáni súly különbségéből határozzák meg a kiszorított víz mennyiségét, illetve ebből annak térfogatát.

2.3.3 Atro-súly meghatározás

Amíg az erdőtulajdonosok számára a legegyszerűbb és legkézenfekvőbb faátvételi módszer az űrméterezés a sarangolt választékok értékesítése során, addig a faipari cégek számára az abszolút száraz tömeg jelenti a legobjektívebb mennyiségi felvételt.

A problematikáját viszont jól megfogalmazza az alábbi idézet: „*A sarangolt választékok térfogatának tömör m^3 -re és (tonnában kifejezett) „atro-súlyra” való átszámítása több évtizedes szakmai vita tárgya.*” (Varga, et al., 2007)

Az atro-súlyozás¹ során mintavétel alapján meghatározzák a választék, illetve a szállítmány szárazanyagtartalmát, majd ezek után a nettó száraz tömegre átszámítják a teljes mennyiséget, melynek ismeretében az átvétel, majdan a számlázás alapja az ún. *atrotonna*.

¹ Az atro elnevezés a német *absolut trocken* szókapsolat rövidítéséből származik.

2.3.4 Nedves átvétel

A nedves átvétel lényege, hogy az adott famennyiséget nem térfogatra, hanem súlyra adják el. Ezt az eladási módot például a tűzépek alkalmazzák, tűzifák esetén szinte mindig. Fontos tisztában lenni evégett a két mérték, a térfogat és a súly közötti összefüggéssel.

A frissen kivágott fa nedvességtartalma igen magas, 50-80 % körüli, vagy akár még magasabb is lehet.

A légszáraz fa mennyiségi meghatározására vezették be a *lutro súly* fogalmát². Mivel a fa higroszkópos anyag, sűrűsége erősen függ a nedvességtartalmától. Evégett fontos tudni, hogy egy adott érték

- nyers (élőnedves) anyagra,
- *légszáraz* (12%–18% nedvességtartalmú) vagy
- *abszolút száraz* anyagra

vonatkozik-e?

2. táblázat 1 m³ tűzifa sűrűsége (tapasztalati szélsőértékek és átlag: kg/m³)

forrás: <http://www.hmbp.webzona.hu/hu/tuzifa/vasarlas-tanacsok>

fafaj	élőnedvesen	légszárazon	abszolút szárazon
tölgy	1000- 1050 -1100	697- 720 -746	640- 665 -690
bükk	820- 1070 -1270	540- 720 -910	490- 680 -880
cser	1000- 1060 -1100	720- 770 -810	570- 690 -850
akác	800- 900 -950	580- 770 -900	540- 740 -870

² A légszáraz fára gyakran a *lutro* rövidítés utal, amely a német *lufttrockenes Holz* szókapcsolat rövidítéséből kapta nevét.

3. Sarangolt faanyagok fotóanalitikus átvétele

A módszer lényege, hogy a sarangokról a бүтү-felületre merőlegesen fényképeket készítenek, melyeket számítógépen, fotóanalizáló program segítségével elemeznek. Tulajdonképpen a faanyag бүтү-felületeinek és az üreges részeknek a területarányát határozzák meg, és ennek ismeretében lehet kiszámítani a tényleges kitöltési tényezőt.

A módszer az informatika elmúlt húsz évben tapasztalható gyors fejlődésének köszönheti létét, de a módszerben korához képest számos tudományos eredmény született (Knyaz & Sibiryakov, 1998), (Knyaz & Viziliter, 2000), (Knyaz, 2002), (Fink, 2004.), (Knyaz, et al., 2004), (Varga, et al., 2007), (Pásztory, 2009), (Boros, et al., 2013). (Pásztory, et al., 2013), (Dralle, 2014.), (Dralle, 2015), (Pásztory & Polgár, 2016).

3.1 A módszer vizsgálatának menete

A sarang térfogatának meghatározásakor azzal a feltevessel élnek, hogy a rakat végén a fa бүтү felületi oldalán a fa korongok felületi részaránya területből akkora, mint a tömör faanyag aránya a rakatban. További feltevés, hogy ha rakatot a rönkökre merőleges síkban metszenénk hasonló részarányt kapnánk, azaz a képzeletbeli vágás ugyanolyan metszeti képet ad.

A feltételezésekre alapozva kidolgozásra került egy digitális optikai módszer, amely egyben elvégzi a szükséges számításokat a felületi részarány kalkulációjára, ezáltal a tömör faanyagtartalom meghatározására is, illetve az eszköz első továbbfejlesztése (Boros, et al., 2013).

A módszerrel először egy nagyfelbontású fényképet készítenek megfelelő beállítás mellett a rakat бүтү felőli oldaláról. Ennek a lépésnek kulcsszerepe van a további lépésben történő részarány kiszámításában, mivel a felbontás minősége nagymértékben befolyásolja a számítás pontosságát, azaz a felvétel által eldől, hogy egy pixel mekkora felületnek feleltethető meg a valóságban.

Második lépésben a felvett fénykép alapján a módszerrel automata vagy félautomata módon elvégezhető a részarány számítás. Félautomata üzemmód esetén a kezelő többlet információk megadásával és egyéb beállításokkal pontosíthatja a kalkulált eredményt.

Harmadik lépés az eredményközlés, azaz a tömör faanyag mennyiség kalkulált értékének kiírása, dokumentálása.

3.1.1 A képfelvétel

Az első lépésben megtörténik adott beállítási viszonyok mellett a nagyfelbontású digitális fénykép felvétele.



4. ábra Nagy felbontású digitális fénykép a rakomány bütü felületéről

A digitális fénykép adatai valamilyen képformátumban mentésre kerülnek. A képfájlban már számszerűsített formában megjelennek a kép adatai: a pixelek helye, színe, a kép mérete egyéb tulajdonságai, amelyek a feldolgozás szempontjából egyben lényegesek is.

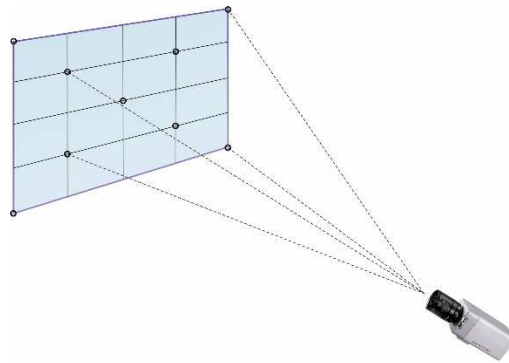
A képfeldolgozás ezután több lépésben történik:

- a kép léptékhelyessé formálása, azaz transzformálás egyszerű lineáris algebrai lépésekkel,
- a kép lényeges tartományának kijelölése, szerkesztése,
- további szerkesztési lehetőségek, azaz a manuális beavatkozás,
- elindul a számítási algoritmus, majd utána az eredményközlés következik.

3.1.2 A kép transzformálása

A számítások megkezdése előtt az egyik legfontosabb feladat a fénykép léptékhelyessé tétele.

A léptékhelyessé transzformálásához ismerni kell legalább négy rögzített pontot a képen, továbbá egy X és Y irányú távolságot, azaz a képen látható felvétel valós méreteit vagy méretezését.



5. ábra A transzformáláshoz szükséges tájékozási pontok

A felvett képen még a lencse optikai tulajdonságai miatt a fókuszpont kivételével minden pontra hat kisebb-nagyobb mértékű torzítás, melynek mértéke a fókuszponttól lévő távolságtól függ. A fotósok a jelenséget gyakran hordóhatásként említik. Érdeemes megjegyezni, hogy a kép téglalap alakú, míg a lencse kör alakú, aminek hatásaként még az emberi szem számára további optikai csalás is fellép.

A kifejlesztett képfeldolgozó rendszerben a valóságban mért pontok megjelölhetőek és a pontok koordinátái egy adatbeviteli panel segítségével megadhatóak. A szoftver a képet, mint egy gumilepedőt az ismert pontokhoz igazítja, úgy hogy a pixel méreteket a teljes képen kiszámolja.

A transzformációt a lineáris algebrában ismert mátrix transzformáció biztosítja. A kép minden egyes pontját, mint egy vektort, a transzformációs mátrixszal szorozva, megkapjuk az új helyvektort, azaz a képpont torzítatlan, vagy másképpen léptékhelyes pozícióját. Az eljárás végén keletkezik egy új, léptékhelyes digitális kép. Ezt az eljárást alkalmazzák ortofotó készítésénél is, ami az erdészeti térinformatikában általánosan elterjedt megoldás.

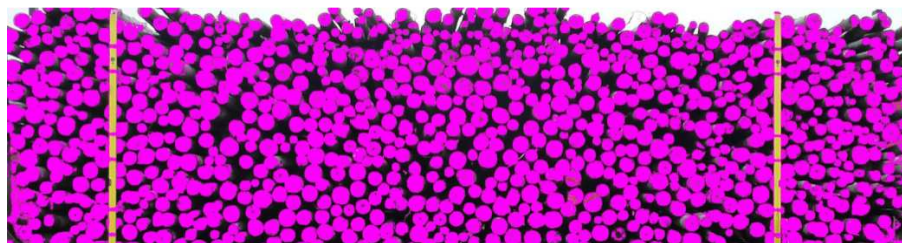
A transzformált képen a méretek már valóság hűek és a torzítások is eliminálva vannak, ezáltal pontosabb számítások lesznek elvégezhetőek az új képen. Az eljárást úgy is felfoghatjuk, mintha egy ideális fényképezőgéppel készítettünk volna képet, ahol a sarang minden pontja velünk szemben található, az eredeti képpel ellentétben, ahol csak a fókuszpontban lévő pont van a helyén.

Fixen telepített kamerarendszer esetén a további számítások során könnyebb helyzet adódik, mivel rögzíteni lehet a fókuszpont és a viszonyítási pontok adatait, illetve a

transzformációs mátrix sem változik. Elviekben ez egy tökéletesen idealizált eset, mely a gyakorlatban nem valósítható meg könnyen. Az emberi tényezőt nem szabad kifelejteni: igaz, hogy a kamera rögzített, de a szállítójármű beállítását a képfelvétel elkészítésének helyszínére már a sofőr végzi, és ettől rögzített beállítási paraméterek esetén 2-3% többlet hiba adódhat. Ezt a problémát viszont orvosolni tudja egy jó telephely vezető, mivel a sofőrök hibahatáron belül is képesek jól beállni, megfelelő ösztönzés mellett.

3.1.3 A бүтү felület meghatározása manuális kiválasztással

A mérethelyes képen a következő lépés a faanyag бүтүт takaró pixelek kiválogatása a kép pixelei közül. A válogatás a minta megadással történik, ami azt jelenti, hogy a mérést végző személy rákattint a képen egy olyan pontra, amely biztosan бүтү felületet jelent. A program rögzíti a kijelölt pixel RGB színekoordinátáját (a 4.1.2 részben részletesen ismertetésre kerülnek a digitális színek és színkeverések). A kezelő beállít egy tolerancia szintet, mely alapján kiválaszthatóak azok a pixelek, amelyek e tolerancia tartományban benne vannak. Az így kiválasztott pontokat az új megoldású technológia már színezéssel jelöli.



6. ábra Minta megadással kiválasztott, бүтү felületet jelző pixelek

A toleranciahatár a kijelölést követően is változtatható, és az algoritmus újbóli lefutásával az aktuális kiválasztás lesz látható. Ha a tolerancia állításával nem jelölhető ki kellő pontossággal az összes бүтү pixel, akkor új minta pontot kell megadni. Az így kiválasztott pontok a korábban kiválasztottakhoz hozzáadódnak.

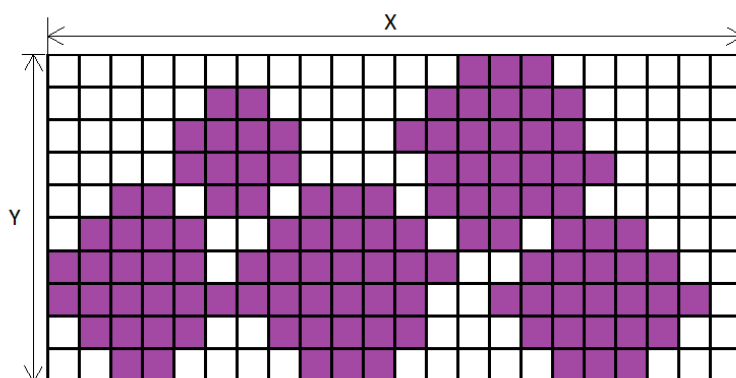
A rendszer a kiválasztott pixeleket a transzformálás során meghatározott felületük arányában integrálja és eredményként megadja az összes бүтү felület nagyságát. A kapott értéket a választék hosszával beszorozva az algoritmus a tömör faanyag mennyiségét adja ki.

3.1.4 Az eredményközlés

A бүтү felület beszínezése után az eredmény könnyen kiszámítható. A kijelölt területen lévő színezett pixelek számát (*SZP*) el kell osztani a kijelölt területen lévő pixelek számával (*KTP*), ami alapján megkapjuk a színezés sűrűségét. A kezelő számára ez százalékos formában jelenik meg a programban. Az *X* és *Y* értékek (méterben, ld. 3.1.2) és a faáru átlagos hosszának (*L*; méterben) ismeretében pedig ismerté válnak a területi és térfogati mérőszámok:

$$\text{Bütüfelület területe (BFT)} = SZP / KTP * X * Y \text{ (m}^2\text{)} \quad (3.1)$$

$$\text{Becsült térfogat} = BFT * L \text{ (m}^3\text{)} \quad (3.2)$$



7. ábra Bütüfelület területének meghatározása; a képen $SZP / KTP = 110 / 220 = 50\%$

3.2 A módszer használata során szerzett első tapasztalatok, módosítások

A tesztelés alatt álló eszköz először hordozható formában került kivitelezésre. A tesztelés során tapasztaltak szerint az eszköz ki van téve időjárási viszonyoknak, a mozgatás révén többször kell kalibrálni, súlyánál fogva pedig cipelni és tartani kell. A kezelőnek folyamatos feladatot jelent a бүтүк alapján a minta pixelek manuális kiválasztása. Már csak ezen tényezők is két további fejlesztési útnak adnak irányt, egyrészt kültéren is elhelyezhető rögzített eszköz megalkotása, másrészt automata vagy félautomata бүтү felület kiválasztó eljárás kidolgozása.

3.2.1 A megvalósítás lehetséges eszközei

Az eszköz életében egy fontos célkitűzése a fixen felszerelt kamera rendszer kifejlesztése volt. A tapasztalatok azt mutatták, hogy kamerát olyan helyre lesz célszerű felszerelni, ahol rendszeresen elhaladnak a szállítójárművek, és ez a hely várhatóan kültéren lesz. Ennek a célnak az elérése csak egy időjárási viszonyosságokat bíró eszközzel lehetséges.

„Technikai kérdés, hogy milyen típusú, digitális képet készíteni tudó, kamera alkalmas az év minden szakában megfelelő minőségű nagyfelbontású képet biztosítani a felméréshez. A kamerák kültéri elhelyezése a kamerával szemben komoly feltételeket támaszt, hiszen ki kell állnia a nagy hőmérséklet-ingadozásokat, csapadéktól védettnek kell maradnia és a lencse párasodását is meg kell akadályozni.” (Boros, et al., 2013)

A térmegfigyelő kamerák ki vannak képezve a kültéri körülmények elviselésére, de a felbontásuk nem felel meg a cél által megkívántnak. A digitális fényképező gépek újabb generációja nagy felbontással rendelkezik, de nem tartós kültéri használatra tervezték őket és a távvezérlést sem teszik lehetővé. Az ipari elemző kameráknak magas bekerülési költsége van, ami az eszköz rentabilitását veszélyezteti.

Megoldásként az STP cég „logipix” kamerája került alkalmazásra az eszközben. A kamera 9,2 megapixeles felbontással rendelkezik, egyúttal a kültéri feladatokra is alkalmazható. „Az STP cég külön ehhez a fejlesztéshez készített egy segédprogramot, mely a folyamatos képek közül leválogatta a kezelő által kívánt képet.” (Boros, et al., 2013) Ezen segédprogram segítségével történik a kép konvertálása a számításokat elvégző programba.

A rendszer üzembe állításához a kamerát fel kell szerelni, olyan helyen ahol zavartalan rálátása van a gépjárművön elhelyezett rakat bütö felületére. A kamera felszerelésekor figyelembe kell venni néhány alapvető szempontot annak érdekében, hogy a rendszer az elvárt pontosságot biztosítani tudja. A következőkben ezeket a szempontokat vesszük számba: távolság, megvilágítás, tájolás.

A távolság megválasztásában segítséget ad a kamera elé felszerelt optika. Több fókusz-távolságú optika választható, ezzel tágítható a kamera képsík távolság

tartománya. Kisebb fókusz távolságú optikák nagyobb látószöveget biztosítanak, szemben a nagyobb fókusz távolságúakkal, melyek szűkebb nyílásszögűek. A nagy látószög a kis távolságra szerelt kamerákhoz alkalmas. Geometriailag a szűkebb nyílásszögű optikával nagyobb pontosság érhető el a transzformálás ellenére is. A kép közepét és széleit érintő vetítő sugarak szögeltérése kisebb, ellenben egy nagy nyílásszögű optikánál a vetítő sugarak szögeltérése nagyobb. A kisebb szögeltéréssel a pixelek közötti méret különbségek is kisebbek. Következésképpen célszerűbb a kamerát a képsíktól messzebb elhelyezni és nagy fókusz távolságú optikát alkalmazni.

A téli időszakban a reggeli és délutáni időpontban, továbbá borús időben a rakomány megvilágítást igényel, a megfelelő minőségű képek elkészítéséhez. A rakatban lévő anyagok бүтű felülete esetenként nem síkban helyezkedik el, így célszerű több fényforrást alkalmazni és azokat is távolabb elhelyezni. Az árnyékos бүтű felületek így kiküszöbölhetőek. A fényforrások megválasztásánál célszerű a be- és kikapcsolások gyakoriságát figyelembe venni. A fényforrások folyamatos üzemeltetése költséges eleme lehet a rendszernek, mert a megfelelő megvilágításhoz nagy teljesítményű lámpákra van szükség. Előnyös, hogy a bekapcsolást követően a fényforrás minél hamarabb érje el a szükséges lux értéket.

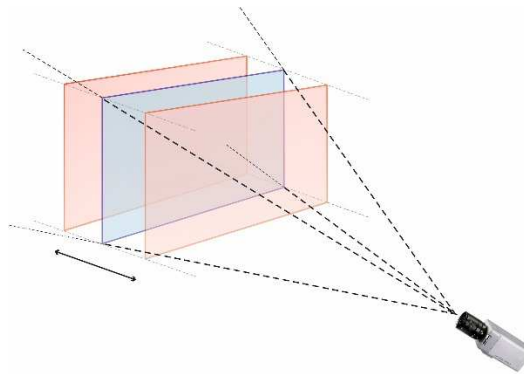
Előnytelen lehet tájolási szempontból, ha a nap a kamerával szembe süt. Ilyen esetben a kép minősége gyengébb és a kontrasztok is gyengébbek, jelentős pontossági romlást okozva. Van lehetőség a kamerát vezérlő szoftverben úgynevezett maszkolásra. A maszkolás során a képnek bizonyos részeit ki lehet takarni, hogy az automata fénybeállító rendszer ezeket a ki nem takart helyeket vegye figyelembe. A maszkolás problémája, hogy az eltérő méretű gépkocsik esetében eltérő maszkolást kellene alkalmazni. Azonban, ha egy fix referencia felületre állítjuk be a maszkolást, közel azonos minőségű jó képet kapunk.

3.2.2 Kép léptékhelyessé tevő módszerek transzformáció

A fix kamera működési gyorsaságához járul hozzá, hogy megfelelő beállítások esetén a kezelőnek nem kell minden egyes szállítmányon elhelyezni a tájékozási pontokat. A kamera telepítésekor egy általuk kifejlesztett tájoló eszközzel, pontos tájékozási pontokat állítunk fel és a tájékozást ezen pontok alapján elvégezzük. Az új rendszer fejlesztése során alapvető szempont volt a fix beállítási paraméterek elmentési

lehetősége. A tájékozási paraméterek lementhetőek egy konfigurációs fájlba, ahonnan a későbbi transzformációk során a rendszer behívja és automatikusan alkalmazza. A kezelőnek a későbbiekben csak egy gombnyomással kell parancsot adnia a transzformálásra, anélkül, hogy személyesen ki kellene mennie az irodából a rakományhoz. Mindebből az is következik, hogy a gépkocsiknak ugyan abba a képsíkba kell beállniuk, a pontosság biztosításához.

Amennyiben e síkból bármely irányban kitérnek a rendszer felmérési pontossága romlik, melyet a következő ábra mutat be.



8. ábra A képsík eltolódása felmérési hibát okoz, *forrás:* (Boros, et al., 2013)

Számításokat végeztek a síkból való kitérés pontosságrontó hatására vonatkozóan. Az eredményeket a 3. táblázat mutatja be.

A táblázatban szereplő számok százalékban adják meg a felületi hiba eltérést a fejlécben mutatott gépkocsi beállási hiba és a kamera távolságának függvényében.

3. táblázat Gépkocsi beállási hiba, *forrás*: (Boros, et al., 2013)

<i>FELÜLET %</i>	Gépkocsi beállási hiba, oldal irányban [cm]							
Kamera távolság a képsíktól [m]	-30	-20	-15	-10	10	15	20	30
10	5,9	4,0	3,0	2,0	-2,0	-3,0	-4,0	-6,1
15	4,0	2,6	2,0	1,3	-1,3	-2,0	-2,7	-4,0
18	3,3	2,2	1,7	1,1	-1,1	-1,7	-2,2	-3,4
20	3,0	2,0	1,5	1,0	-1,0	-1,5	-2,0	-3,0
25	2,4	1,6	1,2	0,8	-0,8	-1,2	-1,6	-2,4

A számítás több fontos dologra is rávilágít.

A gépkocsi beállási hiba a képsíkhöz közelebb felszerelt kameránál jelentősen nagyobb ugyanazon eltérés esetén, mint a távolabb felszerelt kamera esetében. Például a 10 cm-es hibával beálló gépkocsi 2%-os hibát eredményez 10 méterre szerelt kamera esetében, ellenben csak 0,8%-ot a 25 méter távolságban lévő kameránál. A 10 cm hiba a 10 méter távolság század része, a 25 méter távolságnak csak kettőszázötvened része. Az arányok miatt a 10 cm hibát a nagyobb távolság jobban „elnyeli”.

A 25 méterre elhelyezett kamera vetítősugarai szűkebb nyílásszöggel bírnak, mint a 10 méteresnél. A szűkebb nyílásszögnél a kép közepére mutató sugár és a kép szélére mutató sugár között sokkal kisebb a szögeltérés, mint a 10 méteres távolságban. A transzformáció során a szögeltérésből származó pixel méret matematikailag ki van

egyenlítve, de a kisebb távolság esetében a transzformációs algoritmus érzékenyebb a hibára mint a nagyobb távolságú kameránál.

A számítás arra is választ ad, hogy a kamerához közelítő képsík hiba növeli a felmérés eredményét, a kamerától távolodó gépkocsi beállási hiba pedig csökkenti. Ugyanaz a rakomány többnek tűnik a felmérés során, ha a gépjármű a kamerához közelebb áll be, mint a valóságban. 30 cm-el nagyobb távolság a kamerától a pontos képsíkhöz képest pedig 6,1%-kal kisebb felmérést ad, a 10 méterre elhelyezett kameraállásnál, mint a pontos képsíkba álláskor.

A nagyobb kamera képsík távolság ezt a hibát is csökkenti.

E két dologból következően előnyösnek mutatkozik a kamerát messzebb szerelni a képsíktól.

3.2.3 Rakodás eltérősége

A felmérési rendszerben további hibát okozhat a gépjárműre rakodás eltérései és pontossága.

Az eltérések adódhatnak abból, hogy ugyanarra a gépjárműre az egyes rakományok akár 10-15 cm eltéréssel kerülnek fel. Még ha a gépkocsi milliméterre ugyanoda áll is több esetben, a rajta lévő rakomány eltolódásai miatt további hiba kerülhet a rendszerbe. Az egyes hibák dolgozhatnak egymás ellen is valamilyen mértékben csökkentve egymás hatását és ezen keresztül pontosabb felmérési értéket eredményeznek. Szélsőséges esetben azonban összeadódhatnak és a felmérés eredménye nagyobb mértékű hibát is rejthet.

Előállhat olyan eset is, amikor a felrakott anyag bütü végei nem egy síkot képeznek, hanem egymáshoz képest 10-15 cm-es eltolódással szerepelnek a rakatban. A síkfelület diverzitása kedvezően tudja kiegyenlíteni az anyagok elhelyezkedési hibáját, ha a valódi képsík a bütü végek között helyezkedik el.

Szerencsés, hogy a sofőrök a szállítás biztonsága érdekében is igényesek a gépkocsin elhelyezett rakatra. Az eddigi felméréseink során nem tapasztaltunk durva eltéréseket a rakományoknál.

4. A fotóanalitikus elemzés számítási algoritmusának fejlesztése

Célunk az eszköz – mint mérőeszköz–, és egyben, mint számításokat végző eszköz további fejlesztéséhez szükséges elméleti alapok lefektetése. Ennek eléréséhez két-három féle út járható:

- a hardver oldal fejlesztése, ami jelen eszköz esetén jobb optikát és jobb processzort, több memóriát jelent. Ennek jelentős költség oldala van, hisz a korábbi eszközök részben vagy teljes egészében cserére szorulnak, ami a használónak nagyobb kiadást jelenthet;
- a szoftver fejlesztése, amivel ugyanazon hardveren jobb eredményeket lehet elérni, vagy akár időben gyorsabban lehet megkapni ugyanazt az eredményt. A jobb eredmény eléréséhez nélkülözhetetlen, hogy a kiértékelési módszer tudományos alapjai is fejlesztésre kerüljenek, illetve más tudományágak eredményei is beépüljenek. A programozás során használt algoritmusok optimalizálásával elsősorban a gyorsabb futást, azaz rövidebb számítási időt lehet elérni. Ez a módszer – mint jelen esetben is– elméleti fejlesztést igényel.
- harmadsorban az előző kettő eset kombinációja, amire általában akkor van szükség, ha szoftver fejlesztése során bonyolultabb algoritmus futtatása vagy nagyobb számítási igény lép fel, amellyel viszont a korábbiakhoz képest jelentős pontosságot lehet elérni a korábbi állapotokhoz képest.

Az értekezésben a második úton haladunk tovább, de egyidejű cél a kiértékelést végző program futásidejének csökkentése és a számítások pontosságának növelése.

A cél eléréséhez szükséges a következő tudományágak és azok részterületeinek ismerete:

- i) digitális képfeldolgozás (pixel grafika, színezési eljárások),
- ii) geometria (simító spline-ok, körelhelyezések),
- iii) statisztika (mintavételezés),
- iv) funkcionál analízis (spline-ok alkalmazhatósága),
- v) programozás (algoritmusok optimalizálása).

Az értekezésben fontosságánál fogva fentiek közül az első pont kerül bemutatásra az első alfejezetben, míg a másik négy pontra lokálisan az adott témánál hivatkozok, illetve ott kerülnek szűk körűen bemutatásra.

Az értekezés következő három alfejezete a mérő- és kiértékelő eszköz szoftverének továbbfejlesztését mutatja be, amely kifejezetten a kiértékelő algoritmus automatizálására és gyorsítására fókuszál, a következő sorrendben:

- i) automatizált színezési eljárás,
- ii) gyorsítás statisztikai módszerekkel,
- iii) geometriai mértékekkel történő pontosítás.

4.1 Képfeldolgozási módszerek alkalmazása

A módszer továbbfejlesztéséhez szükséges részletesebben megérteni a képfelvételi módokat és képfeldolgozási eljárásokat, a színeképések közötti konverziókat.

4.1.1 Digitális képek alapvető jellemzői

A digitális képeket két fő csoportba soroljuk, egyik csoportot a vektor grafikus (helyvektorokkal jellemzett) ábrázolásmód jellemzi, míg a másik csoportba a raster grafikus képek tartoznak, amelynek elemi alkotói a képpontok (pixelek). Vektorgrafikus rendszerek esetében az objektumok kiterjedését helyvektorokkal írják le. Előnye a rastergrafikus képekkel ellentétben, hogy kiértékelésének erőforrásigénye sokkal kisebb, másrészt képesek relációs adatkapcsolatok kiépítésére.

A digitális fényképek rasztergrafikus képek. A rasztergrafikus kép pixelekből áll. A pixel (picture element) a kép tovább nem bontható úgynevezett elemi része. Raszteres képfájlok adathordozón történő tárolásakor a következő részekből épülnek fel:

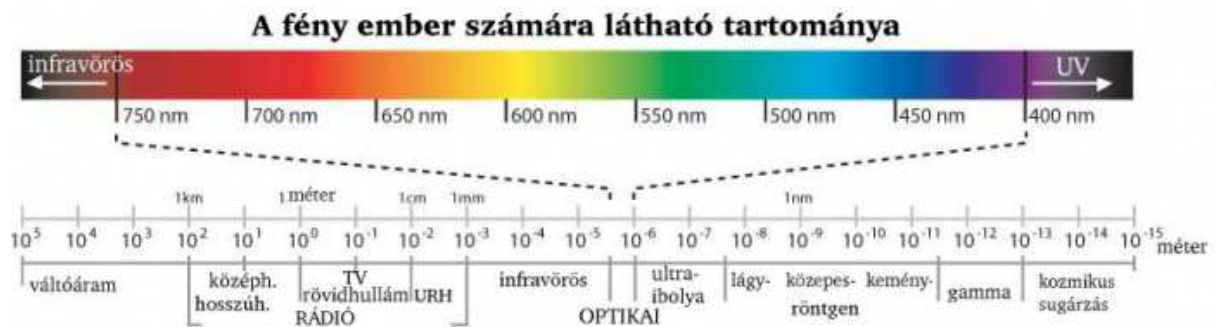
- i) fejléc – tartalmazza a kép formátumát, palettáját és dimenzióját (X , Y) pixeleken,
- ii) adatrész – pixelek helyét és színekódjait tartalmazza (általában RGB érték formában).

A digitális kép egyik meghatározó jellemzője a megapixel, amely a digitális fényképezőgépek, webkamerák és egyéb képdigitalizáló eszköz felbontóképességének jellemzésére szolgáló mutatószám. Azt mutatja meg, hogy az adott eszközben hány darab fényérzékelő elem található, vagyis milyen maximális felbontásban tud digitális képet alkotni. A használatban lévő készülékek többsége több millió képpontra (pixelre) bontja a digitalizálandó képet, ezért vált közkeletűvé a „mega” prefixummal ellátott egység, mintha mértékegység lenne: 1 megapixel, azaz egymillió képpont. A megapixelben megadott felbontóképesség vagy képpontszám meghatározható a digitalizáló mátrixban lévő függőleges oszlopok és vízszintes sorok számának összeszorozásával.

A felbontás a képalkotó eszközöknek az egyik legfontosabb paramétere, melyben megkülönböztetjük a geometriai és a radiometriai felbontást. A felvételt készítő rendszer egyik legfontosabb jellemzője a geometriai felbontás, hiszen az egymáshoz közeli objektumok megkülönböztethetőségének mértékét szolgáltatja. Informatikai szempontból a leglényegesebb vonatkozása, hogy a felbontás növelésével a rögzítésre kerülő adatmennyiség négyzetesen növekszik. Mértékegységei a dot per inch (dpi), lines per inch (lpi), pixels per inch (ppi).

4.1.2 A színek és a radiometriai felbontás

Szemünk az elektromágneses sugárzás kb. 380 és 780 nm közötti hullámhossztartományát képes érzékelni. A különböző hullámhosszú fénysugarakat finoman változó szivárványszíneknek látjuk (ld. 8. ábra). A látható fény hullámhossz tartományát alulról az ultraviola, felülről az infravörös sugárzás határolja.



9. ábra A szemünk által érzékelt színek a hullámhossz függvényében

forrás: <http://www.energiacentrum.com/mas-energiak/hullamok-hatan/>

A fényképezőgépet az emberi szem mintájára alkották meg. A fényképezőgép sötétkamrája a szem belsejének felel meg. A fény a pupillán keresztül hatol a szemgolyó belsejébe. Ennek átmérője a fény intenzitásának függvényében változik, szabályozva a szembe jutó fény mennyiségét. A fényképezőgép fényrekesze (blende) hasonló funkciót lát el.

A radiometriai felbontás a digitalizálás során használt mérési szintek számát adja meg, amely általában 2 valamely hatványának feleltethető meg. Egy 256 szinttel jellemzett felvétel tárolásához képpontonként 8 bitre van szükség. A mai felvételek általában 16 bites szintmélységgel rögzítenek (65536 árnyalat), illetve az RGB teljes színskálát (16 777 216 árnyalat) kihasználó legalább 24 bites kódolás is elterjedt. Értelemszerűen a nagyobb radiometriai felbontáshoz, nagyobb adatmennyiség tartozik. Mértékegysége: bit per pixel (bpp).

Minden egyes pixel színét külön adatként tárolja a digitális képállomány. Minden színnek saját értéke van. A színmélység a pixelek színét meghatározó értékek (bitek) mennyiségét jelenti, amik egy-egy képpontot határoznak meg. A kép minőségét befolyásolja, hogy a szín hány bites értékkel van meghatározva. Minél több bittel határozzuk meg egy pixel színét, annál több szín jeleníthető meg a képen.

Megjeleníthető színek mennyisége alapján négyfajta raszteres képtípus különböztethető meg:

- i) bittérképes (bitmapped),

- ii) szürkeárnyalatú (grayscale),
- iii) színpalettával indexelt (indexed color),
- iv) valódi színezetű (true color).

4.1.3 Színtér fogalma, nevezetes színterek

A képek elemzése során nemcsak a felbontással és a színmélységgel fogunk találkozni, hanem a különböző színterekkel is.

A színterek a színek ábrázolására használt virtuális terek, koordinátarendszerek, ahol az egyes színeket azok koordinátái fejezik ki. A szín koordinátái arra utalnak, hogy az adott szín milyen mennyiségben tartalmazza a színtér alapszíneit.

RGB

Az RGB színtér a vörös (red), zöld (green), kék (blue) alapszínekből kikeverhető színeket tartalmazza. A színrendszer alapelemei az emberi szemmel is látható vörös 700 nm, zöld 546nm, kék 435nm hullámhosszú fénysugaraknak felelnek meg.

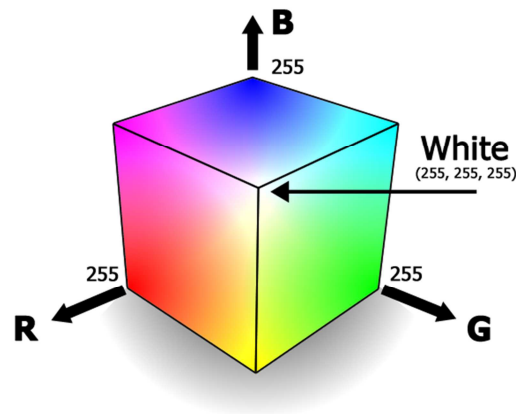
A színtér három alapszínét elsődleges színvegyértéknek hívjuk. Az RGB színtér esetében ez a vörös a zöld és a kék elsődleges színek úgynevezett színvegyértékhármast alkotnak.

Egy tetszőleges színvegyérték előállítható az alábbi színegyenlettel:

$$C = r \cdot R + g \cdot G + b \cdot B \quad (4.1)$$

ahol, $0 \leq r, g, b \leq 1$ az alapszínek keverési aránya.

Számítástechnikában 3×8 bites szín adattárolás esetén a vörös szín koordinátái a (255; 0; 0), vagyis a vörös színt maximálisan tartalmazza, míg a többi alapszínt nem. Az értékek normálásával, azaz a koordinátaértékek 255-tel történő osztásával, megfeleltethetők az (4.1) egyenletben szereplő $r=1, g=0, b=0$ keverési aránynak.



10. ábra Az RGB színtér

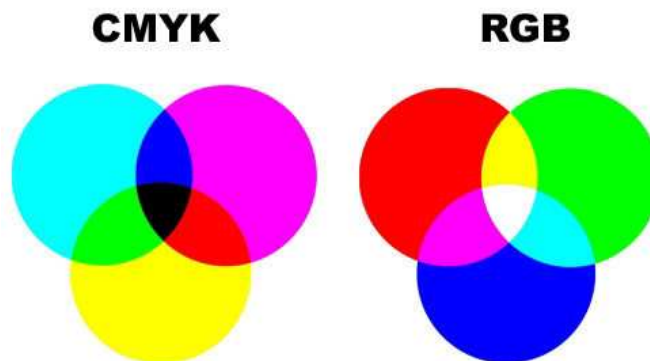
forrás: <https://www.medialooks.com/mformats/docs/CK%20Advanced.html>

CMY, CMYK

Az RGB színrendszerrel szemben – ahol az alapszínek valamelyikében szereplő összetevő az eredőnek is része – a CMY eredőjéből hiányozni fog, ami valamelyik alapszínből hiányzik. Ezért nevezik különbségi (szubtraktív) színrendszernek. A CMY színrendszer a festékkeverés színrendszere. A festék által fedett területről – fehér megvilágítás esetén – az a fény jut a szemünkbe, amit a festék nem nyel el. A szubtraktív színkeverés tehát azt jelenti, hogy amit az egyik komponens elnyel, azt az eredő is el fogja nyelni. A CMY színrendszer is az alapszíneiről kapta a nevét: kékeszöld (cyan), bíbor (magenta), sárga (yellow). Az RGB színrendszer alapszíneinek kiegészítő színei a CMY színrendszer alapszínei (és fordítva), így egymásba igen egyszerűen átszámíthatók.

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 255 \\ 255 \\ 255 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Módosítását, a CMYK színteret a nyomdatechnika hívta életre, megegyezik a CMY színtérrel, azzal a különbséggel, hogy az alapszíneihez hozzáadjuk a fekete színt is. Ennek az az oka, hogy a CMY alapszínek keverésével csak sötétszürke színt tudunk előállítani.



11. ábra Az RGB és CMYK színtér összehasonlítása

forrás: <https://picsart.com/blog/post/introduction-to-photo-color-theory>

Érdemes megemlíteni, hogy az RGB és CMY színrendszerekből hozták létre a televíziós műsorszórások különböző szabvány színtér rendszereit: YUV –Pal/Secam, YIQ – NTSC, YCbCr – digitális rendszerek. Minden esetben az emberi szem által érzékeny és kevésbé érzékeny komponenseket vizsgálták, ezáltal a különböző műsorszórások minőségét tudták-tudják javítani, nem beszélve a technikai háttér mondhatni rohamos fejlődéséről. Az adatok konvertálás egyszerűen leírható lineáris algebrai eszközökkel:

$$\begin{aligned} U &= 0,492(B - Y), \\ V &= 0,877(R - Y). \end{aligned} \quad (4.3)$$

vagy másképp

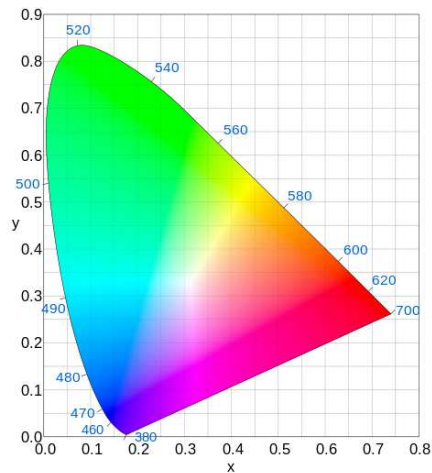
$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ -0,147 & -0,289 & 0,436 \\ 0,615 & -0,515 & -0,100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}. \quad (4.4)$$

CIE, LAB

Említésre méltó az LAB színtér, amely a CIE elméleti színtér módosítása.

A CIE színteret 1931-ben fejlesztették ki, a színek szabványos mérési lehetőségére. A munkát a Nemzetközi Szakbizottság (Commission Internationale de l'Eclairage) végezte. (CIE, 1931)

A modell felállítása az emberi szem látására alapszik. A szem három féle színérzékelő receptort tartalmaz, melyekből a három ún. *tristimulus* függvényeket származtatták, ezeket rendre X , Y , Z -vel jelölik. Ezt három dimenzióban lehetne ábrázolni, azért szétválasztották a színességet (x , y) és a világosságot (Y).

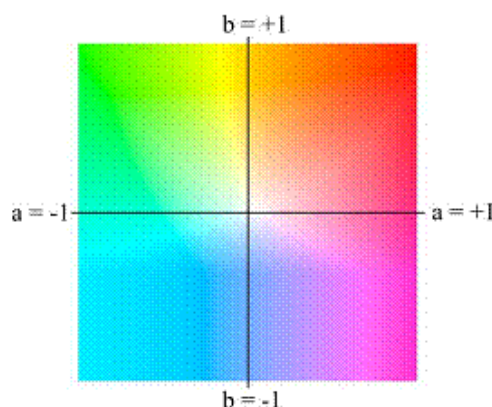


12. ábra A CIE színtér

forrás:

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Sz%C3%ADnt%C3%A9r#/media/File:CIExy1931.svg>

A CIE színteret 1976. évben továbbfejlesztették, ebből született a LAB vagy Lab színtér. A rövidítésben az L betű a fényességet jelenti (Luminance), míg az A és B betűk a zöld és vörös, illetve a kék és sárga közötti átmenet jellemzik. A Lab-modellt olyan speciális feladatokra használják, ahol a fényerősség változása lényeges szerepet kap.



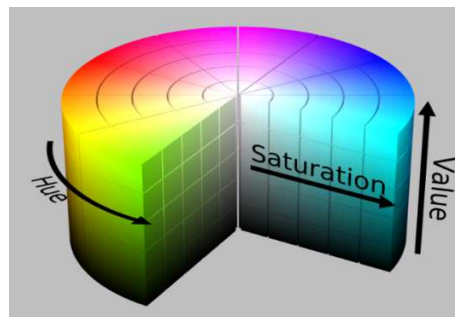
13. ábra Lab színtér ab színsíkja

forrás: http://centroszet.hu/tananyag/multimedia/129_lab_sznmodell.html

Az értekezés szempontjából lényegi szempont a színek vizsgálata mellett a fényesség, de sajnos nem elégséges, mivel nem vizsgálható vele közvetlenül a színtelítettség.

HSV, HSL

A kutatás célja szempontjából a legfontosabb a HSV színtér. A HSB, illetve HSV színtér, nevét a H (Hue) színárnyalat, az S (Saturation) színtelítettség és a B (Brightness) vagy V (Value) világosság, angol kifejezések rövidítéséből kapta. Ezt a színteret egy hengerkoordináta-rendszerben ábrázolhatjuk legszemléletesebben.

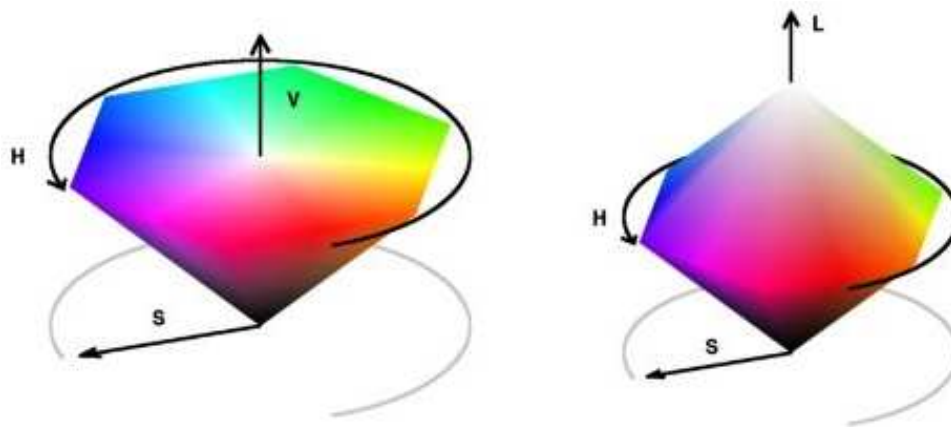


14. ábra A HSV színtér

forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV

A HSV színrendszernek rendkívül fontos szerepe van a digitális képfeldolgozásban. Egyrészt a feladatok egy része egyetlen komponens módosításával elvégezhető. Például a szemmel érzékelhető világosság növelése-csökkentése, kontúréresítés, kontraszt növelés és csökkentés, illetve más világosság transzformációk csak a V komponenst érintik. Ezen tény lényege nem csak abban rejlik, hogy kevesebb számítást igényel, hanem ennél fontosabb, hogy bizonyos műveletek az RGB színtérben színtorzuláshoz vezethetnek, és ezek kezelhetők és kiküszöbölhetők a HSV színrendszerben végrehajtott transzformációkkal.

Egy másik módosulata a HSL színtér, ahol a H és az S ugyanaz, mint az előzőekben ismertetett HSV modellben, de az L (Lightness) a fényerőt jelenti. A HSV modelltől annyiban különbözik, hogy a maximális szín telítettséget akkor kapjuk, ha az L érték normálva 0,5 értéket vesz fel. L=0 esetén a feketét, L=1 esetén a fehéret kapjuk a többi paraméter értékétől függetlenül.



15. ábra A HSV és HSL színterek összehasonlítása

forrás:

https://ece.uwaterloo.ca/~nnikvand/Coderep/colospace_pascal/colospace/colospace.html

Az RGB és HSV kapcsolatát a következő transzformáció (algoritmus) írja le:

1. lépés: $Min = \min(R, G, B), Max = \max(R, G, B)$

2. lépés: ha $Min = Max$, akkor $S = 0, H = 0, V = Max$,

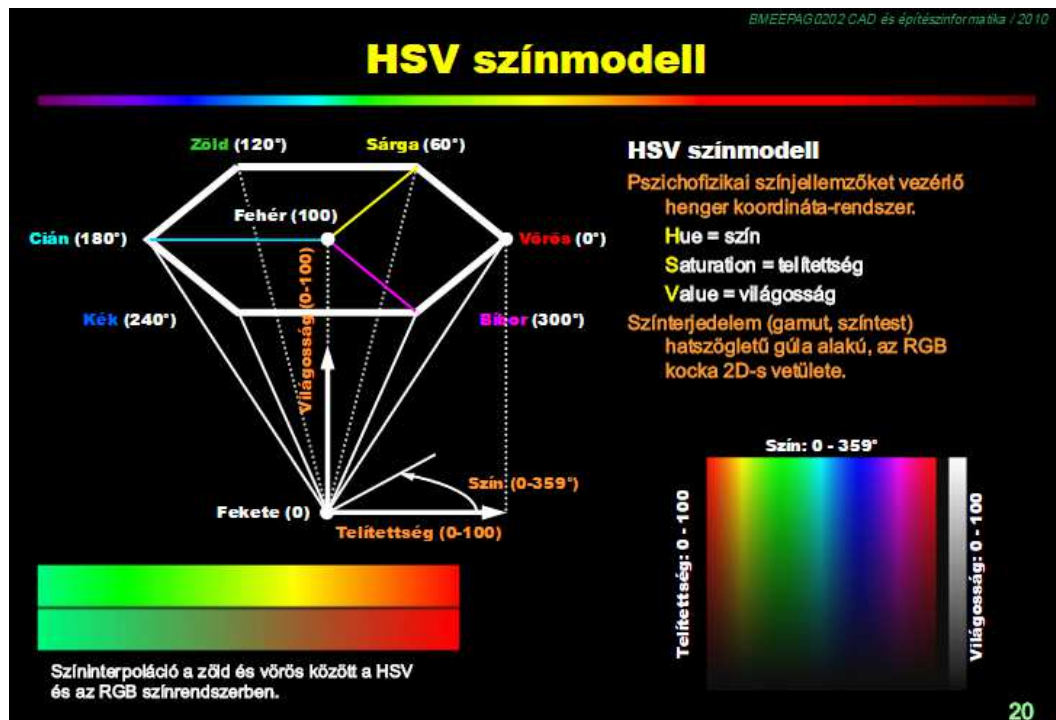
különben

3. lépés: ha $R = Max$, akkor $H = 60 \frac{G-B}{Max-Min}$, (4.5)

ha $G = Max$, akkor $H = 120 + 60 \frac{B-R}{Max-Min}$,

ha $B = Max$, akkor $H = 240 + 60 \frac{R-G}{Max-Min}$,

és $S = \frac{Max-Min}{Max}, V = Max$.



16. ábra HSV színmodell

forrás: <http://slideplayer.hu/slide/2060881>

4.2 A fotóanalitikus elemzés színezési eljárásának automatizálása

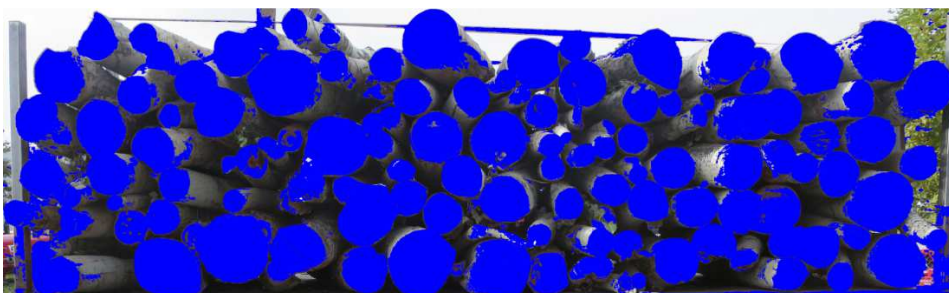
A sarangolt választékról készült digitális kép valósághelyes transzformálása után a következő legfontosabb feladat a kép alapján megállapítani a faanyag térfogatát. A továbbiakban is azzal a feltétellel élünk, hogy a rönkök hossza konstans, azaz a бүтү felületekről merőlegesen készült képen egy adott eljárás keretében kijelölhető бүтү felületek összterülete egyenesen arányos a választék térfogatával.

A módszer a korábbiakban ismertetettek szerint már alkalmas a kezelő operátor bevonásával meghatározni az össz бүтү felületet: a képen kijelölt egy pixelnyi területet, ahol biztosan fát vélt felfedezni a képen, majd az RGB színkód alapján egy szoftver beszínezte egy bizonyos tolerancia tartományon belül a hasonló színeket. Ha nem lett elég pontos a színezés, akkor újabb referencia pont kerül kijelölésre és ez alapján indult az újabb színezés. A folyamat addig tart, amíg az operátor kellő pontosságúnak nem találja az eredményt.

Ezen eljárás hibája legjobban az operátor személyétől függ: mit vél fának felfedezni, mennyire hagyja „lyukacsosan” a képet, stb., de nem szabad figyelmen kívül hagyni a színek kód rendszerből fakadó hibákat sem: az emberi szem és a digitális szín közötti különbségek, észlelési módok közötti különbség.

Adott tehát a feladat, hogy az emberi tényező kiiktatása mellett, hogy lehet eljutni a bütü felületek összterületének meghatározásához. Elsődleges cél a valóság helyesre transzformált digitális képen bütü felületek automatikus kijelölése, illetve az értekezésben a továbbiakban „színezés”-nek nevezve.

A felhasználók számára a színezési eljárás segítségével szemléletessé, könnyen érthetővé válik a digitális kép elemzésének eredménye. A módszer fejlesztése során olyan szín került kiválasztásra, amely biztosan nem zavarja meg az eredmény kiértékelésének szemléltetését (sötét kék).



17. ábra Valósághelyes és színezett kép (K4-p_cut mérés)

A következőkben bemutatásra kerül, hogy valósághelyes transzformált (színezetlen) képből milyen úton jutunk el a színezett, azaz kiértékelte képhez.

4.2.1 A színkód konvertálás

A digitális kép RGB színkód segítségével kerül rögzítésre valamilyen digitális formátumban, ami esetünkben *jpg* formátumot jelent. Amíg operátor segítségével, azaz kézi kiválasztás mellett történik a „kvázi-automatizálás”, mivel az elkészült képről az emberi elme és a környezeti paraméterek ismeretének segítségével történik a referencia pontok kiválasztása: napsütésben vagy felhős időben, fák árnyékában, stb. készült a kép. A referencia pontok RGB koordinátáihoz meg lehet határozni egy sugarat, hogy melyik szín közel azonos vele, és ezeket be lehet jelölni. Fentiekben már említett módon addig lehet ismételni a referencia pontok kiválasztását, míg pontos, vagy kellően pontos megoldás lesz eredményül.

Az automatikus eljárás kidolgozásánál figyelembe kell venni, hogy fenti segédinformációk mind hiányoznak, csak pixelek állnak rendelkezésre, azaz digitálisan tárolt hely- és színkoordináták.

Első problémaként felmerül, mit jelent „fa - bütüfelület” színűnek lenni a képen? Mikor lesz két pixel színe azonos, illetve kellően pontosan azonos? Milyen árnyalatok felelnek a természetben ugyanannak a bütüfelületnek (ugyanazon rönk napos és árnyékos képe)? Mitől lesz egy képen kiválasztható a világos vagy sötét barna, okker, stb. szín?

Az automatizáló algoritmus előtt előző kérdésekre kell választ kapni. Tényszerűen a következő problémák állnak fenn:

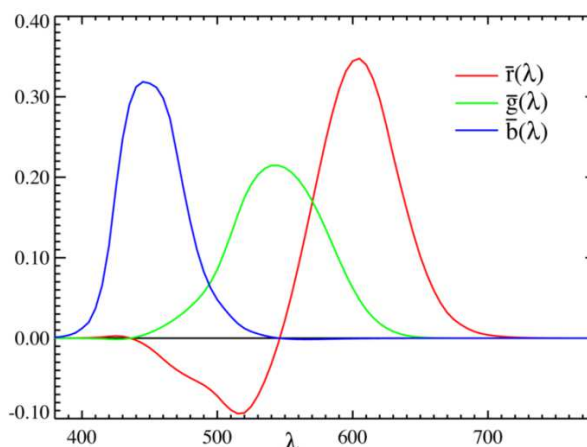
- az RGB színkód 16 777 216 (digitális szint, helyesebben) színárnyalatot különböztet meg. Nyilvánvaló, hogy ennyi szint nem lehet egyszerre kezelni és összehasonlítani
- az RGB skálán egy adott r sugarú távolságot egy referencia értéktől miképp veszünk fel? Matematikai, vektoralgebrai értelemben 1-es (csúcsára állított kocka), 2-es [euklideszi] (gömb) vagy ∞ -normát (kocka) használjunk? Jó lenne a 2-es norma, de nehezebb számítani. Kompromisszumos megoldás a ∞ -norma. Vektoralgebrai leírásban:

$$\|\bar{x} - \bar{y}\|_p = (\sum_{i=1}^3 (x_i - y_i)^p)^{1/p}, \text{ ahol}$$

$$p=1,2, \infty \text{ (ami az ún. Csebisev-metrika) és} \quad (4.6)$$

$$\bar{x}, \bar{y} \in RGB \subset \mathbb{N}^3 \subset \mathbb{R}^3, \text{ ahol } R, G, B \in \{0;1;\dots;255\}.$$

- a színlátási probléma, azaz a barna szín kb. 650 nm hullámhosszon érzékelhető, mint a sárga és vörös szín keveréke, de a barna szín önállóan nem létezik. Az RGB színtér miként jeleníti meg egy szín árnyalatait, miként a barnát? Ha lineáris vagy egyéb egyszerű függvénykapcsolattal írható le, akkor az megkönnyítheti egy elemző algoritmus elkészítését. Ehelyett a valóságban érzékelhető fizikai (emberi) látás és az RGB színtér kapcsolatát a következő grafikon mutatja, melyet Wright és Guild mérései alapján ismerünk (Wright, 1928) (Guild & Smith, 1931).



18. ábra RGB színinger megfelelő függvények

forrás:

https://hu.wikipedia.org/wiki/RGB_sz%C3%ADnt%C3%A9r#/media/File:CIE1931_RGBCMF.png

Az előzőekben felsorolt három tény is elég ahhoz, hogy szembesülni lehessen azzal, miszerint az RGB színtérrel nem lehet jól vagy könnyedén megvalósítani egy automatizáló eljárást.

Az előző alfejezetben számos színtér rendszer került bemutatásra, ezek közül a feladat megoldására a választás a HSV színtérre irányult, mivel az eszközvezérlő rendszerek számítógépes grafikai elemzéséhez ez a legalkalmasabb. Figyelembe veszi a digitális szín tulajdonságai közül

- a színezetet (Hue),
- a telítettséget (Saturation), vagyis egy felület saját világosságához viszonyított színdúságát, illetve

- a relatív világosságot (Value), azaz a felület kevesebb vagy több fényt bocsát ki.

4.2.2 Színezési eljárás, színek elemzés – az automatizálás felé tett első elemzési feladat és eredménykiértékelés

Az értekezés további részében a színezési eljárás a Wood Spectrum Analysis (rövidített neve: WSA) nevű szoftver, egy Java programozási nyelven írt saját fejlesztésű célprogram segítségével kerül bemutatásra. A program bemenetelét a valóság helyesre transzformált digitális kép adja, kimeneteleit a színezett kép, annak analitikus jellemzői és azok értékei.

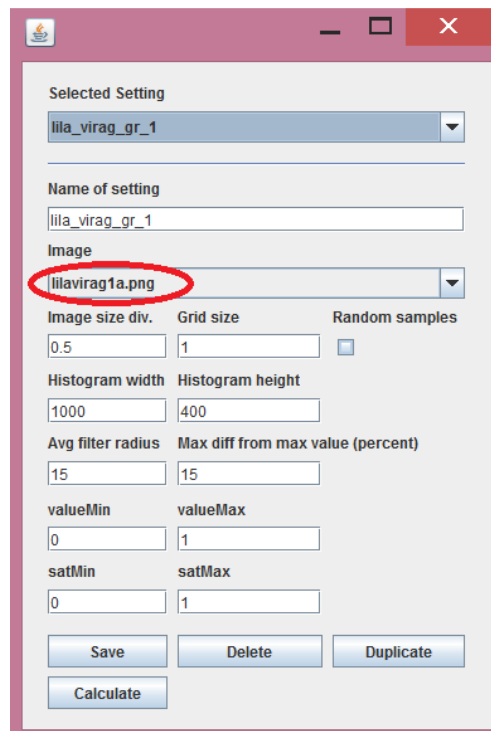
A kidolgozott eljárás nemcsak fa rakatok színek elemzését tudja elvégezni, hanem tetszőlegesen megadott digitális formátumban adott képét.

Az elemzési eljárás kidolgozásakor alapfeltételnek tekintettük, hogy az adott képen a vizsgált objektum képpontjainak a száma a leggyakoribb. Például, a vizsgált rakatról készített képen elsődlegesen a rakat a „főszereplő”.

Az eljárás lépései egy mintapéldán keresztül, egy tesztkép elemzésén kerülnek bemutatásra.

0. lépés: az indítás

A WSA program a 3. fejezetben bemutatott eszköz automatizált elemzési eljárását hivatott szolgálni, ezért az elemzés kezdőlépéseként beolvasunk egy analizálni kívánt digitális képet, a WSA szerepe a mérő- és kiértékelő eszközben a valóság helyessé transzformált digitális kép megléte után kezdődik.



19. ábra SWA nyitópanel

A nyitópanelen található beállítási lehetőségek az elemző eljárás egymást követő lépéseinél kerülnek bemutatásra.



20. ábra Tesztkép

forrás: <https://pixabay.com/hu/lila-vir%C3%A1g-lila-vir%C3%A1g-debrecen-739346/>

A választott *lila virág* digitális képe, mint tesztkép két célt hivatott bemutatni: egyrészt a kifejlesztett eljárás nem csak faanyagok elemzésére alkalmas, másrészt egy szemmel is könnyen látható színdominancia fedezhető fel a lila szín különböző árnyalataiban.

1. lépés: csoportosítás

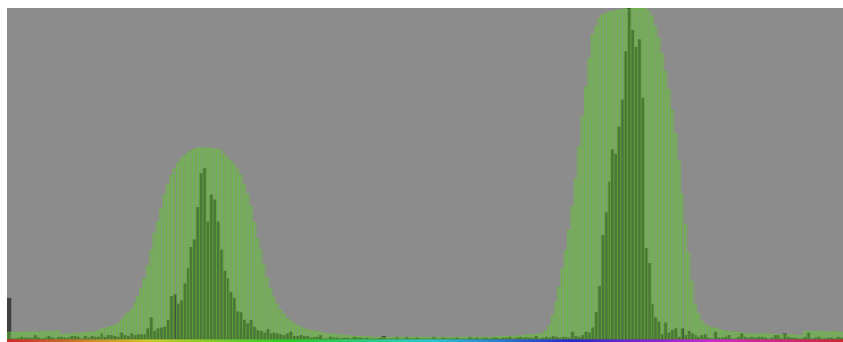
A program futás első lépéseként elkészül a kép RGB színterének HSV színtérre való leképezése, és HSV adatok statisztikai rendszerezése. A mérőeszkővel készített képek kb. 4 millió pixelt tartalmaznak.

Mind a H 0-360, mind az S és V 0-1 közötti értékeit 2^8 , azaz 256 osztályba soroljuk. A csoportok számának önhatalmú meghatározása nem a statisztikában klasszikus elveket követi, azaz sem az N db javasolt

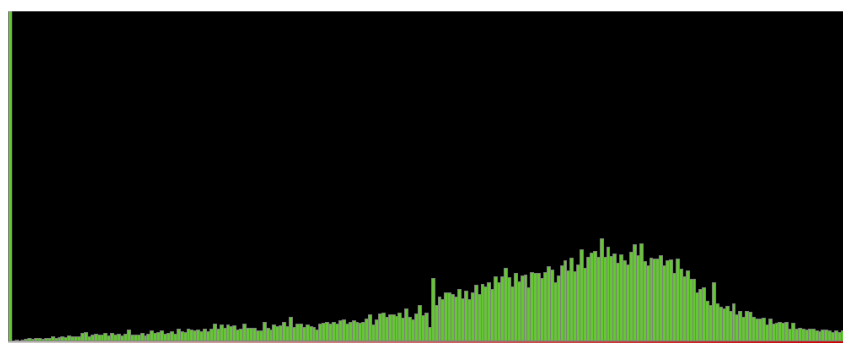
$$c = \lfloor \log_2 N \rfloor + 1, \quad (4.7)$$

sem az általánosságban a nagyobb mintákra javasolt 10-20 nagyságrendű osztályok számát.

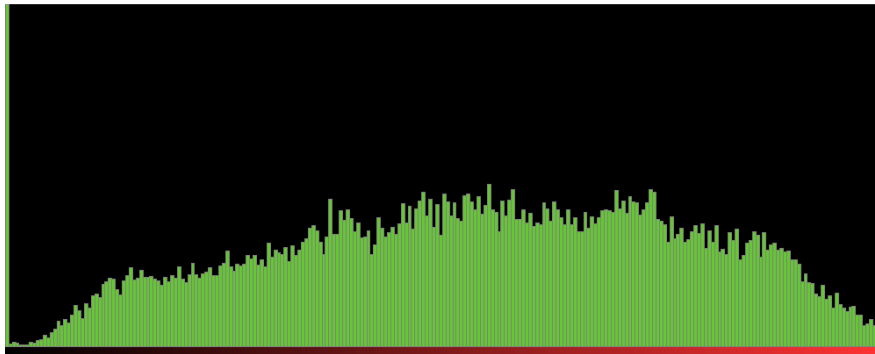
Két okból történt önkényes választás: egyrészt a nagy mennyiségű digitális adatot gépi feldolgozás esetén nem probléma sok csoportba osztani, azaz a futási időt jelentősen nem befolyásolja, másrészt a kevesebb csoportba osztással a kiértékelés pontossága kerülne veszélybe.



21. ábra A tesztkép H értékeinek eloszlása



22. ábra A tesztkép S értékeinek eloszlása



23. ábra A tesztkép V értékeinek eloszlása

Az oszlopdiagramok alatti sávok a következő szimbolikus jelentéssel bírnak:

- i) H – egy adott oszlop helyzete a hozzátartozó pixelek H értelemben vett „színét”, színezetét jelenti;
- ii) S – az adott oszlop helyzete milyen szintelítettségi értéket jelent (miként megy át szürkébe); a piros szín tetszőlegesen választott;
- iii) V – egy oszlop helyzete milyen a világossági aránya; a fekete és fehér (a láthatóság kedvéért pirossal jelölve) között.

2. lépés: mozgóátlagolás

Az elemzés egyik legfontosabb eleme a H értékek eloszlásának vizsgálata. A H értékekről készült diagramról két információt olvashatunk le:

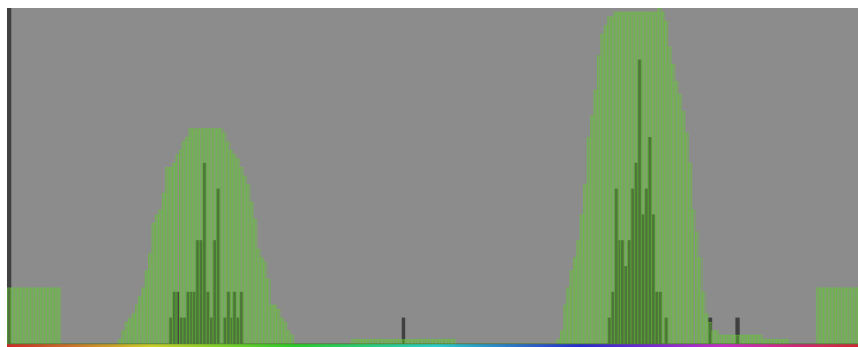
- a fekete pálcikákból álló oszlopdiagram a H értékek csoportosított gyakoriságát mutatja abszolút skálázással (a legmagasabb értékhez arányosítva a többi értéket),
- a zöld pálcikából álló oszlopdiagram egy „mozgóátlagot” mutat, szintén abszolút skálázás mellett.

Histogram width	Histogram height
<input type="text" value="1000"/>	<input type="text" value="400"/>
Avg filter radius	Max diff from max value (percent)
<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="15"/>
valueMin	valueMax
<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>

24. ábra A mozgóátlag szélességének értékadása

A mozgóátlag kifejezést elsősorban idősorok elemzése során használni. Esetünkben két okból került ezen szó használatára:

- a H értékek a színtérben tulajdonképpen egy „körön” vagy „zárt poligonon” helyezkednek el, így formálisan az értékeket tekinthetjük az egymást követő elemeknek, igaz nem idő szerint indexelve,
- a vizsgálat tárgya miatt nem a leggyakrabban előforduló elemre van szükségünk, hanem arra a színtartományra, amely a képen a legtöbb azonos jellegű színt tartalmazza. Ez a jelenség tesztkép vizsgálatakor a $grid\ size = 15$ választás jól értelmezhető: a szemmel alig látható piros (pontosabban H értelemben piros) színből van a legtöbb, míg a szemet gyönyörködtető lila virág számos lilához közeli színen eloszlik. (A rácsozással – angolul: grid – a 4.3 fejezetben külön foglalkozunk. A módszer lényege, hogy nem minden pixelt használunk fel az elemzés során, hanem csak egy h lépésköz távolságú négyzetrács pontjaira eső pixeleket.)



25. ábra A tesztkép H értékeinek eloszlása ($grid\ size=15$ választás mellett)

A tesztkép lila tartományba eső legmagasabb értéke jól leolvashatóan kisebb, mint az oszlopdiagram maximumát adó pirosnál látható gyakorisági érték, de a mozgóátlagolással kapott oszlopdiagram már jól mutatja a lila szín dominanciáját.

Érdeemes megfigyelni, hogy a H oszlopdiagramjáról is könnyen látszik a tesztkép másik jellemző színvilága: a sárga és zöld közötti tartomány. Arányait tekintve a lilához képest kb. 1:2-höz szemmel érzékelhetően.

A mozgóátlagolás szélességét 5-21 között érdemes választani a csoportok nagyobb számára való tekintettel.

3. lépés: hasznos szintartomány meghatározása

A mozgóátlagolással kapott gyakoriságok maximuma környezetében helyezkednek el azok a H értelemben vett színek, melyek a képen legnagyobb számban helyezkednek el. Ebben a lépésben határozzuk meg, melyek azok a színek amelyekre szükség van. A vizsgálat ezen szakaszában még nem kapnak szerepet az S és V értékek.

Általánosságban kimondható, hogy a természetben készült fotók esetén, mint a rakatokról készíttettekről is, a maximum érték körül ún. Gauss eloszlás lesz jellemző. A maximumhely körüli hasznos tartomány megállapítása statisztikai módszer segítségével történik.

Kétféle módszer segítségével készült elemzés.

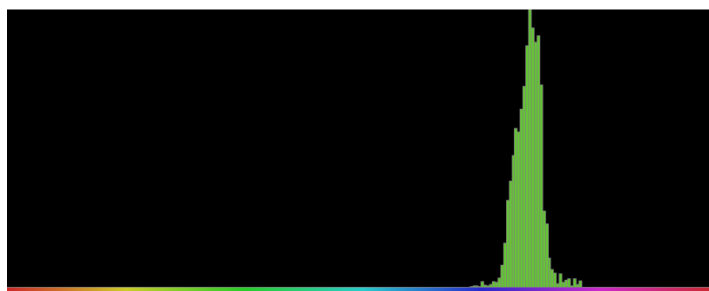
I. módszer: először is választunk egy konfidenciaszintet (pl. 95%) vagy egy megfelelő szignifikancia szintet egy kétoldalú próbához, majd a maximumhely körüli helyek iterációs eljárás során lépésről lépésre bevonjuk. Minden iterációs lépésben kiszámítjuk a bevont csoportok gyakoriságok átlagát és szórását, majd az iterációt addig folytatjuk, míg az egymást követő lépések összehasonlított értéke hibahatáron belül kerül. Az eljárás egy a maximumhely középpontú szintartományt ad eredményül

II. módszer: az I. módszer vizsgálati tapasztalatai alapján meghatározható egy empirikus összefüggés, hogy a keresett szintartomány peremén található gyakorisági értékek milyen nagyságrendi viszonyban vannak a maximumértékkel. Az analitikus jellegű összefüggést a két módszer között a fénykép készítés fényviszonyai és a fafajta szintulajdonságai befolyásolják. Az WSA program fejlesztése ebbe az irányba folytatódott.

Histogram width	Histogram height
1000	400
Avg filter radius	Max diff from max value (percent)
15	15
valueMin	valueMax
0	1

26. ábra A hasznos szintartomány meghatározásához történő empirikus érték megadása

A megadott értéknek megfelelően kijelölésre kerül egy összefüggő színintervallum, amelynek nem feltétlenül a középpontjában helyezkedik a maximumhely. A maximumhelyről kiindulva mind csökkenő, mind növekvő irányban addig tart a tartomány határainak kijelölése, amíg teljesül, hogy a mozgóátlagolt csoportosított gyakorisági értékek nem kisebbek, mint a maximum gyakoriságnak a beállított %-os értéke, de a következő helyen lévő gyakorisági érték már kisebb.



27. ábra A kijelölt H tartomány

4. lépés: színezés és kiértékelés

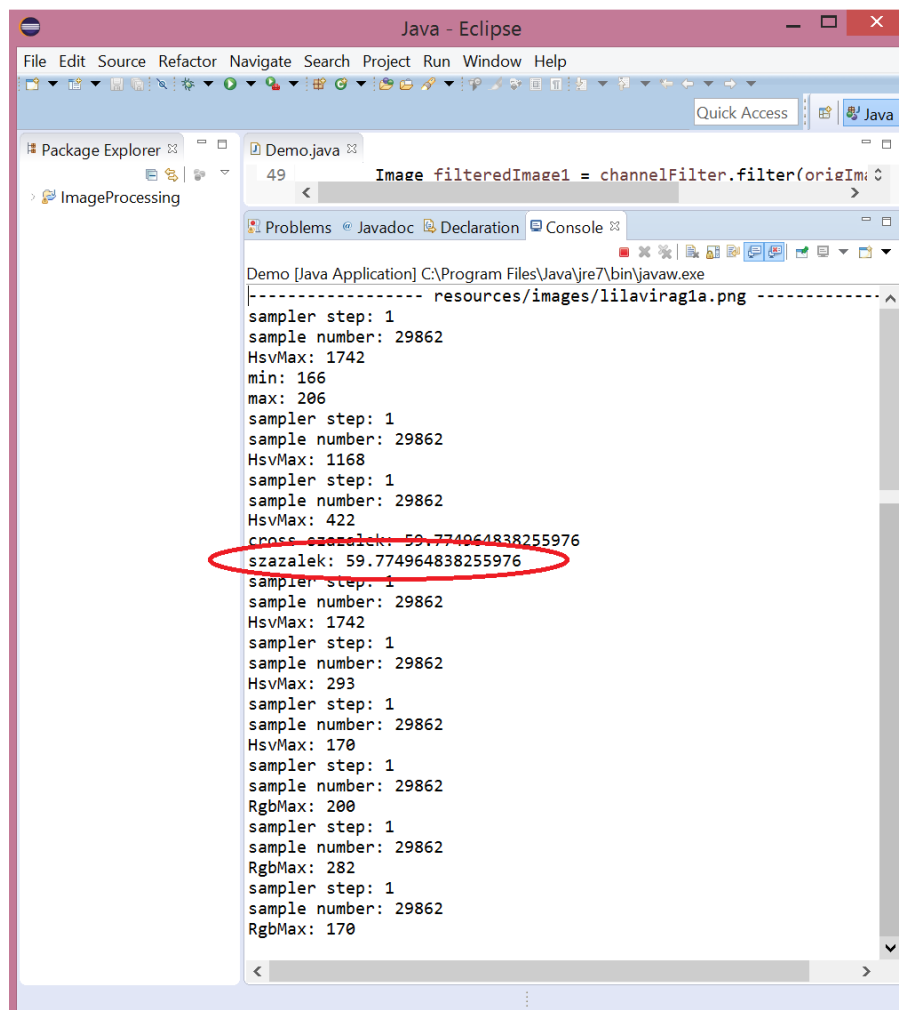
Az előző lépésben meghatározott színtartományhoz tartozó pixeleket az eredeti képen megjelöljük egy olyan színnel, ami várhatóan a feldolgozott képen nem lehet jelen. A programban a RGB színskála kék színére esett a választás, mivel a program fő célja elsődlegesen fa rakatok бүтү felületeinek elemzése, és a barna színt és árnyalatait várjuk eredményül. A H skálán, mint körbefutó színintervallumon, a barna szín ellentett színe a kék.



28. ábra A színezett tesztkép; a lila virágból kék lett

A program segítségével számos adatot lehet megkapni az eredmény kiértékelésére. Ezen adatok közül a fő célt szem előtt tartva, miszerint rakatok бүтү felületeinek nagyságát

kell megállapítani, a legfontosabb érték a beszínezett területnek a digitális kép összterületéhez viszonyított százalékos értéke.



```

Java - Eclipse
File Edit Source Refactor Navigate Search Project Run Window Help
Quick Access Java

Package Explorer
ImageProcessing

Demo.java
49 Image filteredImage1 = channelFilter.filter(origIm

Problems Javadoc Declaration Console

Demo [Java Application] C:\Program Files\Java\jre7\bin\javaw.exe
----- resources/images/lilaviraglia.png -----
sampler step: 1
sample number: 29862
HsvMax: 1742
min: 166
max: 206
sampler step: 1
sample number: 29862
HsvMax: 1168
sampler step: 1
sample number: 29862
HsvMax: 422
cross százelek: 59.774964838255976
százelek: 59.774964838255976
sampler step: 1
sample number: 29862
HsvMax: 1742
sampler step: 1
sample number: 29862
HsvMax: 293
sampler step: 1
sample number: 29862
HsvMax: 170
sampler step: 1
sample number: 29862
RgbMax: 200
sampler step: 1
sample number: 29862
RgbMax: 282
sampler step: 1
sample number: 29862
RgbMax: 170

```

29. ábra A kiértékelés numerikus eredményei

A tesztképen a százalékos értékre közelítőleg 59.775% jött ki, amely a színezett pixelek számának és kép összes pixelének a hányadosából adódik. Amennyiben rendelkezünk metrikus értékekkel a kép méretéről, úgy egyszerű algebrai művelettel át lehet váltani terület értékre, illetve ha a rönkök hosszát is ismerjük, akkor térfogat értékre.

+1 lépés: út az automatizáláshoz és az optimális eredményhez

A WSA programba beírt, kézzel beállított két paraméter segítségével eljutottunk a kívánt célig: a digitális képen kijelölésre kerültek a legnagyobb gyakorisággal jelenlévő színek. Pontosabban egy szín és annak különböző árnyalatai.

A két paraméter értékének megadása kísérlet sorozat tapasztalatai útján került meghatározásra, melynek alapját statisztikai elemzéseknél ismert eljárások és nagyságrendi becslések adják.



30. ábra A tesztkép és a színezett kép

Az első eredmények után rögtön felmerültek további kérdések a digitális kép elemzése során:

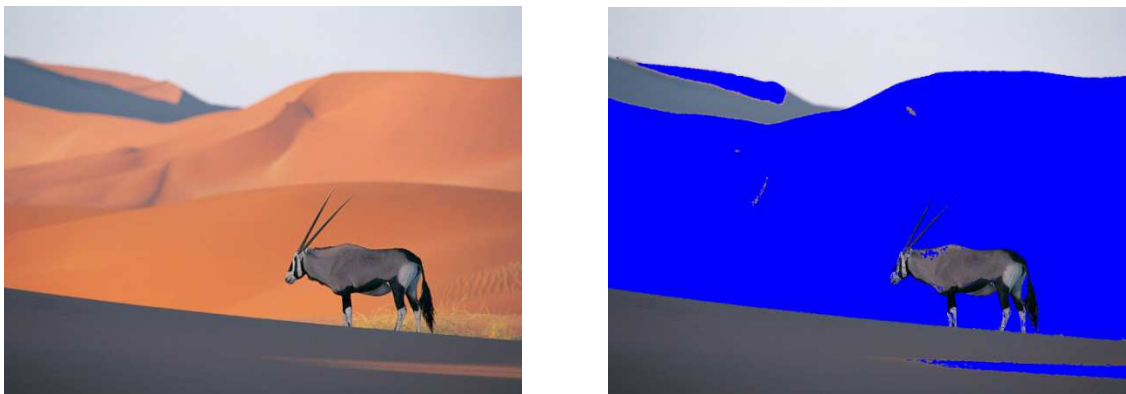
- minden kép esetében jól működnek-e a két ismertett paraméterre az elméleti és tapasztalati értékek, azaz „mozgóátlagolás szélességének” és a „Gauss görbe hasznos értékeinek” megadásával kapcsolatban? Létezik optimális paraméter, vagy létrehozható-e a „paraméterek nagy könyve”, ahol adott környezeti és képi ismérvek ismerete mellett kiolvassuk az optimális választást?
- a farönkökről készített képekhez elégséges-e vizsgálni csak a színezetet, azaz H értékeit a két fenti paraméter ismerete mellett?
- ha szükség van más paraméterek beállítására, akkor azon tényezőket mi befolyásolja?
- megvalósítható-e, hogy a mérőeszköz által a kép készítésekor lenyomott „felvétel” gomb lenyomásával teljesen automatikusan fut le az elemzés, optimális és automatikus paraméter választások mellett?
- ha már működik a félautomata (néhány paraméter kézi megadása) vagy az automata elemzés, akkor annak eredménye megegyezik-e a valós adatokkal?
- miként lehet gyorsítani vagy optimalizálni az elemzési algoritmust, hogy akár a számítógépekhez képest kisebb teljesítményű tableteken is véges idő alatt lefusson?

Az értekezés további részében ezekre és ezekhez hasonló kérdésekre keresünk és adunk válaszokat.

4.3 Az elemzéshez szükséges paraméterek

A szükséges paraméterek számának és azok optimális értékének meghatározása több szálon folyt egyidejűleg.

Az egyik út kitért olyan képek vizsgálatára, amelyen már megjelennek a fák бүтүінек színeihez hasonló színek. Egy ilyen példa egy Oryx antilopról készült sivatagi kép.



31. ábra A „faszínű” sivatagi háttér

forrás: bal oldali kép:

http://jupiter.plymouth.edu/~rgkleinpeter/PSDemos/Album/pages/Oryx%20Antelope_jpg.htm

Ezen az úton szerzett észrevételek szerepet kaptak az eljárás finomításában, de mivel túl általános feladatról van szó, ezért inkább csak főbb tanulságok kerültek megállapításra. Bizonyításuk a lehetőségek szerteágazása miatt nem lett ezen értekezés része.

Néhány megállapítás, amely általánosságban kijelenthető:

- a H értelemben két-három jól elkülönülő színtartományra bontható képek esetén nem szükséges további paraméter beállítás, az elvi statisztikai értelmezés és az empirikus tapasztalati értékek elégségesek a színezéshez,
- a szemmel nehezen észrevehető részeket is bejelöl az algoritmus (a lila virág esetén a zöld növényzet között megbúvó „pamacsk”, az antilop nyakán lévő

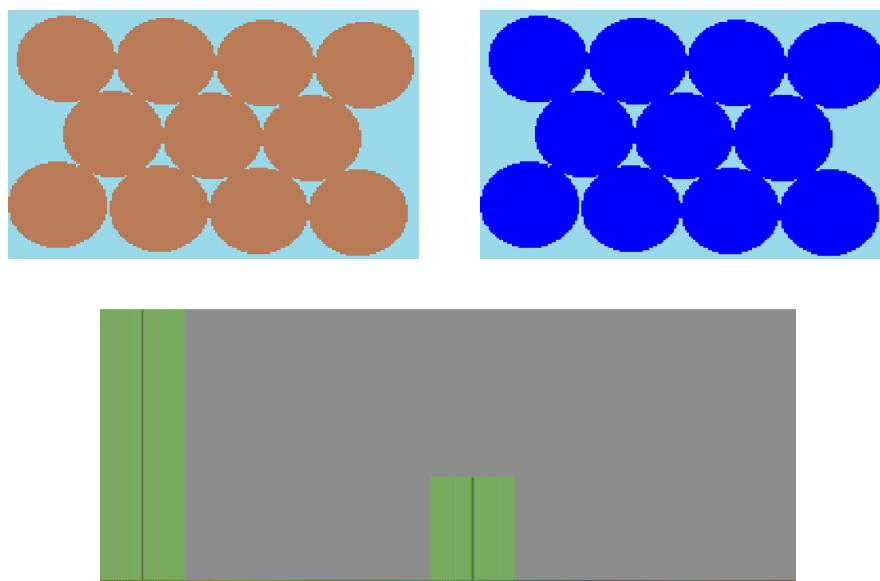
sivatagi homokszemek), azaz nem feltétlenül alkalmas kontúrok meghatározására (erre a rönkök vizsgálatánál még külön kitérünk)

- ugyanarról a képről különböző napszakokban készült digitális kép esetén a kép készítő eszköz digitalizációs eljárása a képben „szennyeződések” okoz. Borús, esti időszakban az objektum adott részéről készült pixeleknél nem csak a színmélysége, hanem árnyalatai, ezáltal H értékei is eltolódnak, ami nyilvánvalóan befolyásolja a kiértékelés pontosságát.

4.3.1 Farönkök бүтү felületeinek két paraméteres színelemzése

A másik, mely vizsgálódásunk tárgyaként a fontosabb út, a farönk modellek és a róluk készített digitális képek vizsgálata.

- a) Először is nézzünk egy idealizált fa бүтү felületet. Egy egyszerűen készített grafikus rakat (Paint program segítségével), mely két színt használ, egyet a szimbolikus rönk, másikat a háttér jelölésére.

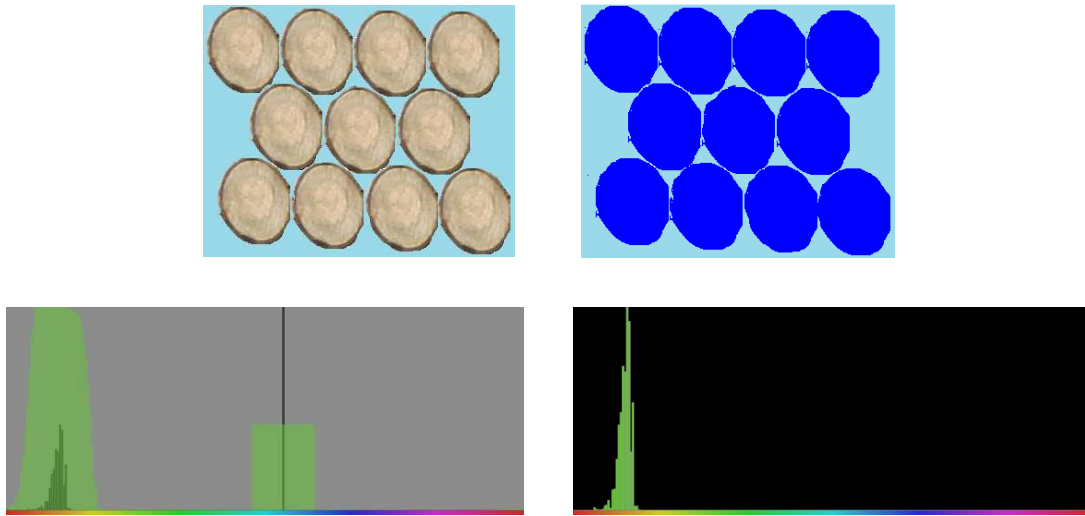


32. ábra (Túl)idealizált rakat, színezése és H diagramja

A megállapítás nyilvánvaló: tökéletesen ideális világban, tökéletes megoldás adódik. A H domináns színe egyértelműen meghatározható, akár mozgóátlagolás nélkül is.

- b) Második példaként megvizsgálunk egy közel ideális rakatot, homogén háttérrel, egy rakat digitális képéből kivágott és nyújtott бүтү felület segítségével (szimulálva a

valóság helyessé transzformálást, de igazából a folyamat ellenkezőjét, torzítást alkalmazva).



33. ábra Az ideális rakat, a színezett kép, a mozgóátlagolt H diagram és a színezett H tartomány

Fontos megemlíteni, hogy a háttérben nincsenek zavaró tényezők, amik az erdei környezetben és faipari átvételi helyeken a valóságban jelen vannak. A fényképezés történhet akár erdőben is, ahol a háttérben is fák, illetve más rakatok lehetnek. Ezenkívül az idealizált háttérrel kikerültük a zavaró napszaki és időjárási viszonyokat.

c) Harmadik példaként pedig egy rakatról készített valóság helyessé transzformált digitális képet nézzünk meg, amely már a képelemzés problémáit is magával hordozza.

Egy teherautón megérkező rakatról látunk képet:

- a fák már össze-vissza helyezkednek el
- a felrakás és szállítás folyamán szennyeződtek a бүтű felületek; sárpsak vagy olajosak is lehetnek (más képek vizsgálatánál az emberi tényező is közrejátszott: a rönkökön krétás jelzések, számozások is szerepeltek)

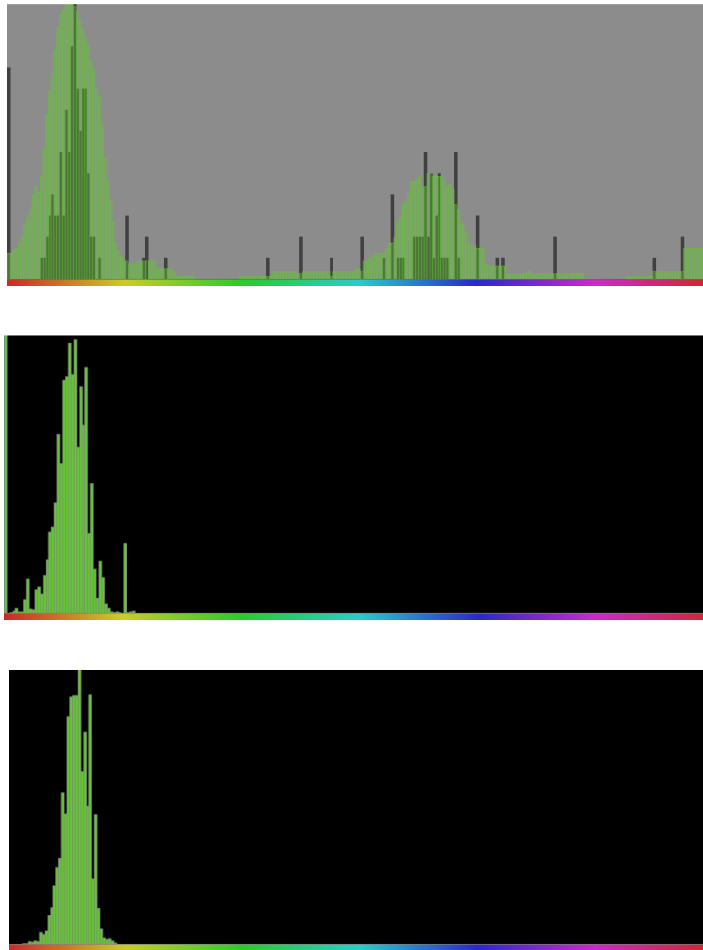


34. ábra A rakatról készített valósághelyessé transzformált kép (felső), a többlet paraméter beállítások nélküli színezett kép (középső), és egy sokkal elfogadhatóbb eredmény (alsó kép)

A középső kép, mint színezett kép alapján egyértelművé válik, hogy az eddigi módszertan nem elégséges a digitális kép megfelelő elemzéséhez. Biztosan szükségessé válik a H értékek vizsgálatán kívül figyelembe venni egyéb szűrési feltételeket.

A középső képről a következő észrevételeket tehetjük, mint fellépő problémák:

- a szállítójármű rozsdás alkatrészei H értelemben fának látszanak,
- a szemmel jól elkülönülő felhős háttér (bal felső sarok) H értelemben a fa színéhez közeli barnás-szürke árnyalata,
- a fakérgen megtörő fények is barnás árnyalatot vetnek digitális képrögzítéskor



35. ábra A rakatról készített kép H értékeinek eloszlása (felső kép), a két paraméteres színezett kép H értékei (középső kép), illetve az egyéb paraméterek (S és V) figyelembe vételével készült színezett kép H eloszlása (alsó kép)

A két alsó H eloszlás összehasonlításáról két dolgot érdemes megemlíteni. Az első eloszláshoz képest a második

- alakja „letisztultabb”, a gyakorisági értékek kisebbek,
- H tartománya szűkebb.

A két kép közötti különbséget az adta, hogy a WSA programban az S és V értékeit is engedjük változni, melynek másodlagos hatásaként visszacsatolódott a H tartománynak szűkülésére.

Felvetődhet ezáltal rögtön egy kérdés, akkor miért nem próbálkozunk jobb beállításokkal a két eddigi paraméter esetén. Ennek több oka van:

- a legfontosabb, hogy olyan felhasználó barát program kerüljön kialakításra, amely az bármely felhasználó számára is könnyen használható legyen. Más szóval automatizált, ne kelljen több oldalas „kézikönyvvel” rendelkezni mellette. Legfeljebb néhány ikonos beállítási lehetőség elég legyen a program használatához (pl. borús idő van);
- a „kézi” beavatkozás által a H gyakorisági értékei nem változnának meg, azaz egy adott szín különböző telítettségei és világosságai még mindig színezésre kerülnének (rozsa, felhők);
- mozgóátlagolás elméleti módszertana jól megalapozott, adott nagyságú mintához jól behatárolható értékeket lehet megadni. A program felhasználása egy mérőeszközben kerül megvalósításra, ahol pontosan ismert fényképészeti paraméterek állnak rendelkezésre (hány megapixeles kép készül, azaz mennyi adat feldolgozását jelenti).

4.3.2 Az S és V értékeinek paraméterezése

Az S paraméterrel tudjuk a színtelítettséget (angolul: saturation) figyelembe venni, azaz hogy egy adott szín miként szürkül el, adott világossági szint mellett. A V paraméter segítségével világosság (angolul: lightness) értékét (angolul: value) vesszük figyelembe, azaz hogy egy szín a fehér és fekete között hol helyezkedik el, adott telítettségi érték mellett³.

The screenshot shows a software interface with the following elements:

- Avg filter radius**: Input field with value 15.
- Max diff from max value (percent)**: Input field with value 15.
- valueMin**: Input field with value 0.
- valueMax**: Input field with value 1.
- satMin**: Input field with value 0.
- satMax**: Input field with value 1.
- Buttons**: Save, Delete, Duplicate, and Calculate.

A red circle is drawn around the four input fields (valueMin, valueMax, satMin, satMax) to highlight them.

36. ábra Az S és V értékek paraméterezési lehetősége a WSA programban

³ Értelmezésük részletesebben a 4.1.3 fejezetben van kifejtve

Mind az S, mind a V értékei 0 és 1 közötti valós számok lehetnek. A programban a valós intervallum 256 részintervallumra lett bontva a statisztikai elemezhetőség céljából. Mint a korábbiakban, itt is elmondható, hogy nem a klasszikus osztályba sorolásoknál alkalmazott csoportszám került megállapításra. A célja továbbra is a részletesebb információgyűjtés lehetősége.

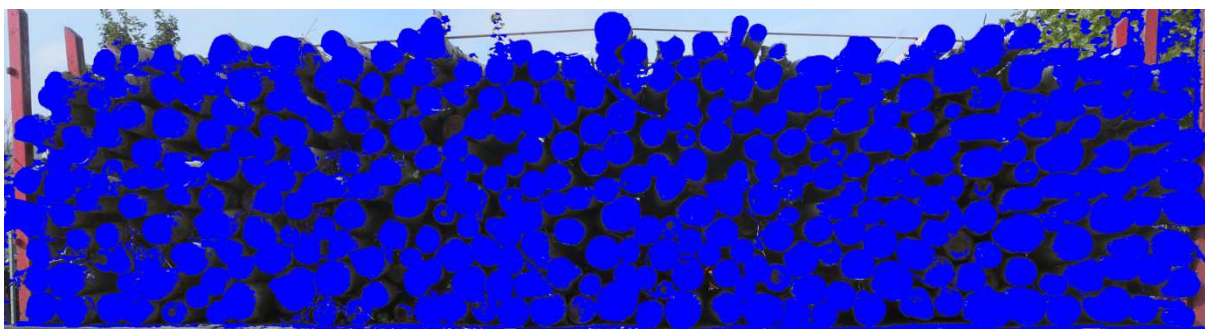
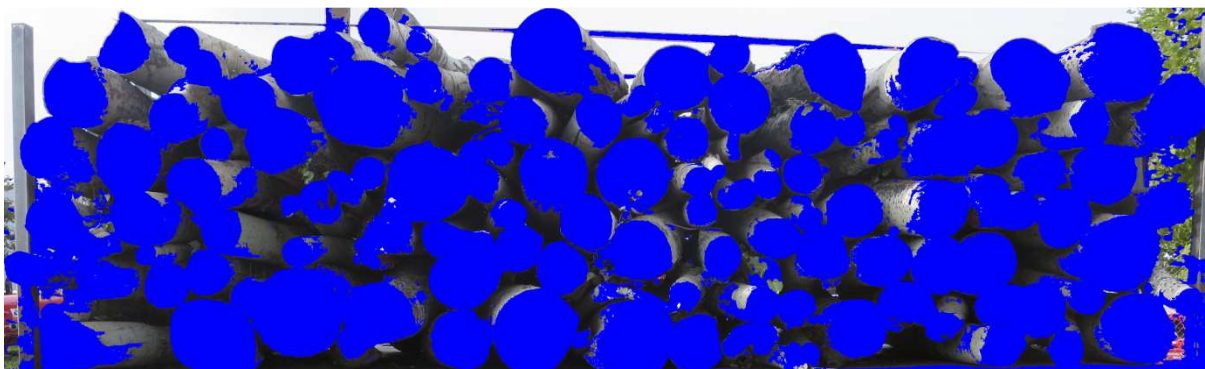
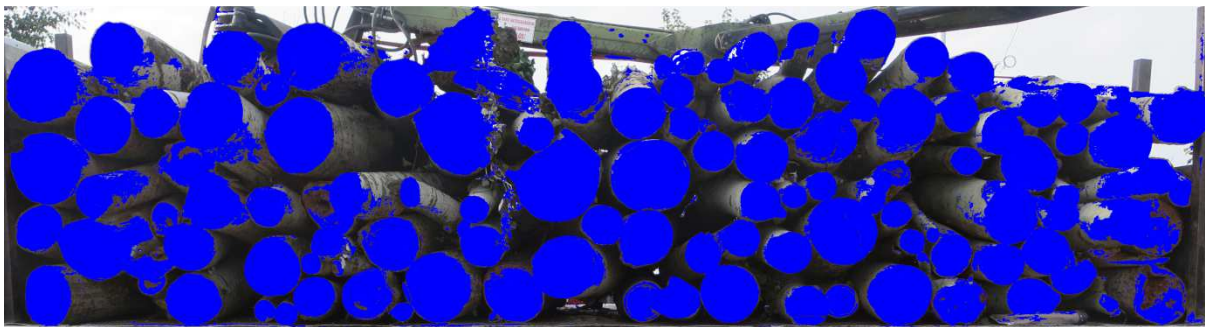
A paraméterek „helyes” értékeinek meghatározásra számos képelemzés elvégzése történt meg. A tesztelések alatt a különböző irányokba történt tanulmányozás:

- a) rakatról, annak részéről,
- b) külön az S és külön a V értékeinek részintervallumra bontásával (pl. tized hosszúságú részintervallum bontásra)
- c) vizsgálva lett ugyanazon rakat többféle fényviszonyban: különböző napszakokban, illetve időjárási viszonyok között.

Az eredmények táblázatos formában lettek rögzítve az adott paraméter beállítások mellett.

4. táblázat Részlet az elemzési vizsgálatok adatrögzítésből (a beállítási értékek a táblázat alatt található felső képre vonatkoznak)

K3_h_cut.jpg	Im. size div.	2,5
	Hist. Widht	1000
	Hist. Height	400
	Avg filter radius	15
	Max diff from max value (%)	15
	valueMin	0,225
	valueMax	0,95
	satMin	0,1
	satMax	0,95
	colored %	58,48



37. ábra Tesztképek rakatokról, rendre a K3, K2 és K1 elnevezésűek

A vizsgálódások során sikerült olyan empirikus paraméterezési csomagokat összeállítani, amelyek különböző viszonyok ismeretében jó megoldást adnak. A korábbiakban is említésre került, hogy a kívánt cél a valós köbmétertartalom minél pontosabb közelítése.

Célunk olyan automata eljárás kidolgozása, amely 3%-os hibahatár alatt ad eredményt. Ebben a fejezetben az automatizálás megvalósíthatóságával foglalkoztunk, de célszerű egyidejűleg kezelni a két feltétel egyidejű teljesülését is.

A módszer kidolgozásban elérkeztünk oda, hogy a mérő- és kiértékelő módszer és a WSA program összekapcsolására térjünk.

Az eszköz első verziójában a kezelőre volt bízva, hogy a farönkökön kijelöljön kontroll pontokat, amelyek segítségével az akkori szoftver kiválogatta a közel azonos színeket. Így kapták meg a színezett képet és annak százalékos telítettségi értékét, azaz átszámítva a rakat köbtartalmát.

A WSA programhoz kapcsolódva be lehet állítani olyan tapasztalati paraméter csomagot, amely alkalmas alapbeállításokra, illetve a kezelőre bízva olyan „ikonos” beállítási lehetőségeket (pl „felhő” ikon borús idő esetén), amelyekre szintén a statisztikai elemzések során jutottunk. Az „ikonok” mögött egy-egy speciálisan összeállított paraméterezés bújik meg.

A napszaknak és környezeti viszonyoknak megfelelő beállítás mellett az eszköz már automatikusan képes az eredmény vizuális és analitikus megadására.

A program még automatizáltabbá tételéről, továbbfejlesztési lehetőségéről az 5. fejezetben teszünk említést.

4.4 A rácsozás

A mérőeszköz mobil verziója, azaz tabletes megvalósítása nem csak a program helyes és automatizált futását igényli, hanem az eszközben található hardverek is korlátosabb számítási teljesítményeket jelentenek.

Célszerű megvizsgálni annak lehetőségét, hogy lehet a számítási algoritmus egyszerűbbé tenni, hibahatáron belül azonos megoldási eredmény mellett.

Az egyik lehetőség a programozásban rejlik. Nagy mennyiségű adatot kell feldolgozni, ehhez megfelelően kell tárolni az adatokat, illetve az adatfeldolgozás számítási algoritmusát kell optimalizálni.

Ha feltételezzük, hogy a program már optimalizálva lett, akkor milyen lehetőség van tovább gyorsítani az adatfeldolgozást?

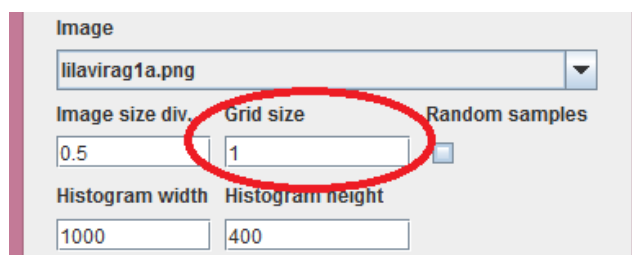
Egy lehetséges megoldás a rácsozás (angolul: grid), mely alapja a mintavételezésen alapul. Az adott nagy mennyiségű adatból kivesszünk egy – lehetőség szerint reprezentatív– mintát, és a minta elemzésével döntést hozunk meghatározott biztonsági szint mellett a nagy mennyiségű adatra, mint populációra.

A mintavételezésnek többféle módja van, ezek közül a rácsozós módszer lett első körben kiválasztva. A téma további kutatásában szerepelnek statisztikai (sztochasztikus) mintavételi eljárásokkal történő elemzések, erről az 5. fejezetben lesz említés.

4.4.1 A módosított algoritmus

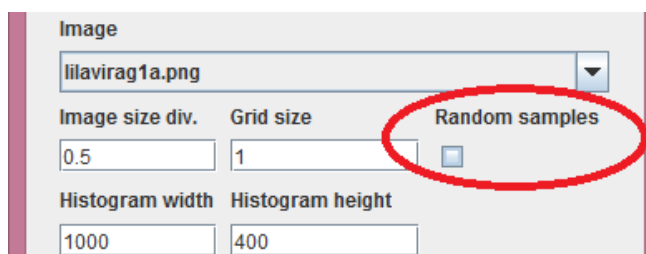
Rácsot készíteni sokféle technikával lehet a feladat jellegétől függően. A legjellemzőbb rács típusok a téglalap-, négyzet-, háromszög- és véletlen rácsok.

A feladat szempontjából a legegyszerűbbre, a négyzetrácsra esett a választás, mivel fénykép elemzéséről van szó. Először választanunk kell egy h lépésközt, majd a fénykép kezdőpontjából kiindulva minden h . oszlop minden h . sorában létrejönnek a rács pontok. A digitális fényképek adattárolásánál általában a bal felső sarokban van a kezdőpont. A h lépésközzel azt az egész számot adjuk meg, amekkora távolságot szeretnénk két kijelölt, egymáshoz legközelebb lévő pixel között. Pixelek távolsága alatt a két pixel közötti pixelek száma plusz egyet értünk.



38. ábra A lépésköz megadása

A WSA programba egy módosított négyzetrács került megvalósításra, előkészítve a program véletlenszerű mintavételezésének lehetőségét, az ún. egyenletesen véletlenszerű mintavételezést.



39. ábra A véletlenszerű mintavételezés lehetőségének kapcsolója

A kezdőpontból kiindulva az első rácspont a $(h/2)$. oszlop $(h/2)$. sorába kerül, majd innen számítva többi rácspont már h lépésközű négyzetrácsot ad.



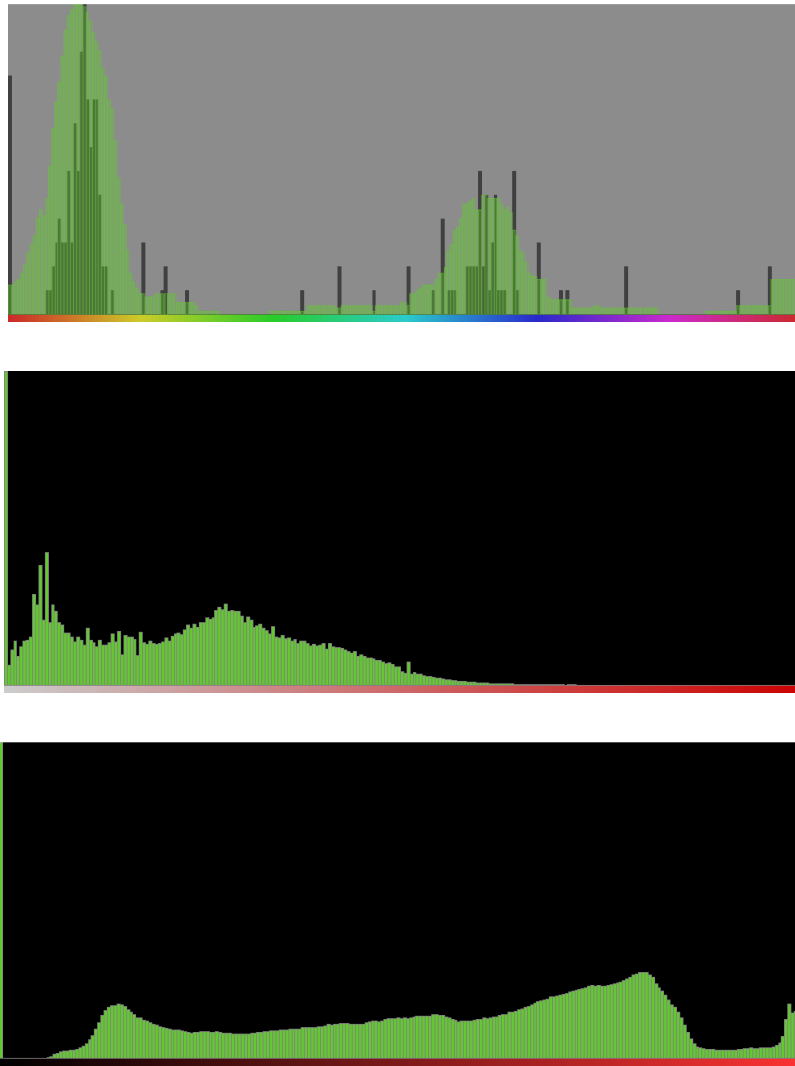
40. ábra A választott mintakép és a négyzetrács háló (grid size=150)

A kiválasztott rácspontokban szereplő pixelekkkel elvégezzük a 4.2.2 fejezetben ismertetett eljárást, kiegészítve a 4.3.2 fejezetben megismert újabb paraméterek egyidejű használatával.

A lépések a következőképp módosulnak:

0. lépés: beállítjuk a vizsgálandó képet és megadjuk a kép elemzéséhez tartozó paramétereket (mozgóátlagolás szélessége, maximumhelyhez tartozó közeli elemek meghatározásának mértéke, S és V minimum, illetve maximum értékei, rácstávolság).

1. lépés: a kiválasztott rácspontokra eső pixelekre vonatkozóan elkészülnek a HSV színtérben történő adatgyűjtések.



41. ábra A mintakép H, S és V diagramjai (rendre föntről lefelé)

2. lépés: elkészül a mozgóátlagolás, de már csak az S és V megadott határai közé eső rácspontra eső pixelek szerepelnek benne.

3. lépés: a mozgóátlagolás után elkészül az elemzés: a maximumérték helyének környezetében lévő hasznos tartománya



42. ábra A színezendő pixelek H tartománya



43. ábra A négyzetrácsból azon pontok, melyeket a WSA program „fának” vélt a megadott paraméter beállítások mellett

4. lépés: a kép összes pixeljére vonatkozóan megtörténik a színezés, az előző lépések mintájának elemzése alapján



44. ábra A rácsponatok, mint minta alapján elemzett és színezett kép

Az analitikus eredmények is egyidejűleg elkészülnek, legfőbb mutató közöttük a telítettségi-színezési arány.

4.4.2 Az optimális rács megválasztása

A rácsozás során felmerül a kérdés: milyen h értéket válasszunk, hogy az elemzés értékét érzékelhető módon ne befolyásolja?

A megfogalmazás finoman árnyalt: „érezhető módon”. Oka egyszerű: mihelyst egy populációból mintát veszünk, és azon végezzük el az elemzést, biztosan hiba lesz benne (Korpás, 2004.). Ennek ellenére kijelenthető, hogy vannak kidolgozott eljárások és mintavételi nagyságra vonatkozó irodalmi adatok, amik bizonyos hibakorlátok mellett jó közelítést adnak.

A h értékének megadásával arányos lesz a kiválasztott minta nagysága. Mivel négyzetrácsról van szó, ezért

$$n = \left\lceil \frac{N}{h^2} \right\rceil, \text{ illetve } h = \left\lceil \sqrt{\frac{N}{n}} \right\rceil, \quad (4.8)$$

ahol N jelenti a vizsgált kép pixeleinek a számát, míg n a minta nagyságát jelöli. Az összefüggéseket alkalmazhatjuk az általunk használt rács esetén is.

A minta nagysága az adatfelvétel pontosságával és megbízhatóságával van összefüggésben. Gyakran használják, hogy a jó mintának reprezentatívnak is kell lenni, de erről tudni illik:

„A minta reprezentativitása viszont nem a mintaelemszám, hanem a minta kiválasztás módszerének függvénye.” (Köves & Párniczka, 1973)

A minta nagyságának meghatározásának módszertana feladatunk miatt a piackutatáshoz hasonlatos: amennyiben az alapsokaság – esetünkben a pixelek száma – kellően nagy, úgy a minta nagysága független az alapsokaság terjedelmétől (Sándorné, 1978).

Az alábbi táblázatban lévő adatok $t=2$, vagyis 95,5%-os megbízhatósági szintre vonatkoznak. A táblázatból kiolvasható, hogy egy meghatározott hiba esetén mekkora mintára van szükség, illetve az adatfelvétel eredményei milyen hibahatár mellett igazak.

5. táblázat Mintavétel nagyságának becslése, *forrás*: Sándorné, 1978

A hiba nagysága (%)	Az ismélvelosztás várható értékei				
	10% vagy 90%	20% vagy 80%	30% vagy 70%	40% vagy 60%	50%
0,1	360 000	640 000	840 000	960 000	1 000 000
0,5	14 400	25 600	33 600	38 400	40 000
1,0	3 600	6 400	8 400	9 600	10 000
1,5	1 600	2 844	3 733	4 267	4 444
2,0	900	1 600	2 100	2 400	2 500
2,5	576	1 024	1 344	1 536	1 600
3,0	400	711	933	1 067	1 111
4,0	225	400	525	600	625
5,0	144	256	336	384	460
6,0	100	178	233	267	278
8,0	56	100	131	150	156
10,0	36	64	84	96	100

Feltételezésünk igazolására különböző, rakatokról készült képek alapján kétféle összehasonlító elemzést végeztünk.

I. elemzési mód: Különböző h értékek mellett történő telítettség vizsgálata

Az egyik módszer szerint ugyanazon paraméter beállítások mellett, a h különböző értékeire vizsgáltuk a színezés telítettségi mértékét és annak változását. A vizsgálat módszertanát és részeredményeit a 6. táblázat tartalmazza.

A vizsgálat eredményeképp igazolódott, hogy a relatív eltérés az 5. táblázatban található értékeknél is kedvezőbb eredményt mutat. Kijelenthető, hogy a mérőeszköz rakatokról készített digitális képeinek elemzésénél, ahol néhány millió pixel adott, a $h=100$ -ig minden mérési eredmény 1% alatti relatív eltérést okozott a minden pixelt felhasználó elemzéshez képest. Megjegyzendő, hogy a minták döntő többségében h értékét néhány százig (3-4-5) választva is 1% alatt maradt a relatív hiba.

6. táblázat Adott beállítások mellett a h változtatásával a színezés telítettsége

kép neve	beállítások neve /	érték	Grid size	2D % (színezett/teljes)	rel. eltérés (%)	minta nagysága
K2-p2_cut	Im. size div.	2,5	1	63,8777301	0,000000%	3564704
	Hist. Widht	1000	10	63,8777301	0,000000%	35739
	Hist. Height	400	25	63,8777301	0,000000%	5760
	Avg filter radius	15	50	63,45733054	-0,658132%	1440
	Max diff from max value (%)	15	100	64,0990388	0,346457%	360
	valueMin	0,225	250	63,28618028	-0,926066%	56
	valueMax	1	500	63,26373803	-0,961199%	14
	satMin	0,05	750	65,46521114	2,485187%	5
	satMax	0,95	1000	63,13968846	-1,155397%	4
K2-g_cut	Im. size div.	2,5	1	57,07285492	0,000000%	3249897
	Hist. Widht	1000	10	57,07285492	0,000000%	32400
	Hist. Height	400	25	57,07285492	0,000000%	5184
	Avg filter radius	15	50	57,14639572	0,128854%	1296
	Max diff from max value (%)	15	100	57,14639572	0,128854%	324
	valueMin	0,2	250	57,07285492	0,000000%	56
	valueMax	1	500	56,98986768	-0,145406%	14
	satMin	0,05	750	56,74958314	-0,566420%	5
	satMax	0,95	1000	56,45711233	-1,078871%	4

Ez azt jelenti, hogy egy 4 millió pixelt tartalmazó képen elég az összes pixel $1/h^2 = 0,0001$ -ed részét vizsgálni, azaz 400 pixelt (!), hogy a kiértékelés ne okozzon 1%-nál nagyobb hibát.

Érdemi észrevétel még a vizsgált minták alapján, hogy $h=25$ választás mellett 0%-os relatív eltérés lépett fel. Ha ezt általános értelemben igazolni lehetne, akár csak a farönkök vizsgálatának eseteire, akkor már ez maga egy jelentős előrelépés lenne: 4 millió pixel helyett elég lenne 6400 pixelt vizsgálni a gyakorlatilag relatív hiba-mentes eredményhez. Konklúzióként levonhatjuk, hogy a $h=25$ optimális választásnak tűnik.

II. elemzési mód: A szem vagy a program hitelesebb?

A másik módszer egy monumentális összehasonlító eljárás.

Az egyik adatsomagot szemrevételezéssel kapjuk: egy általunk meghatározott valós mértéknek megfelelő lépték választása mellett a rácsozott digitális képen meg kell számolni, hogy mely rácspontok esnek rönkre. Ez a szám különböző léptékek mellett a különböző képeknél kerül felírásra (ld. 7. táblázat „rácsköz” sora) az összes rácspont számával egyetemben. (Megjegyzés: a módszer monumentalitását egy nagy elemszámú rács esetén lehet megtapasztalni.) Így megkapunk egy kitöltöttségi értéket, amelyből következtetéseket kívánunk levonni:

- mekkora a hasznos kitöltöttség aránya?
- milyen rácsozás mellett lehet pontos eredményt kapni?

A leolvasás hibaforrását nyilvánvalóan több tényező okozza, ezek közül az emberi tényező az egyik legjelentősebb, a másik pedig a minta nagyságának megválasztása. Ezen két szempont fordított arányosságban áll: minél nagyobb a mintavétel nagysága, annál könnyebb elszámolni a rönkökre eső pontok számát. A kis elemszámú minta esetén pedig nagyon nagy a leolvasás eredményéből adódó hiba, amely látszik a 7. táblázatból is.

Az összehasonlítás másik oldalának adatait a WSA program segítségével határozzuk meg. A h érték megadása után a programból ki tudjuk olvasni hány darab rácspontot jelöltetett ki a képelemzés alapjául, illetve az elemzés 3. fázisában mennyi rácspont került „rönkre esőként” kijelölésre.

7. táblázat A szabad szemmel végzett és a WSA porgrammal történő rácsozási eredmények összehasonlítása (részlet) – a hivatkozott képek betűjelzése megegyezik a 4.3 fejezetben látható rakatok betűjelzéseivel

					Rácsvonal sűrűség képpontban								
					sorszám	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
					rácsköz	567	283,5	141,75	70,88	35,4	17,72	8,85	
K1-p_cut	szemrevételezéssel				Össz.	12	52	216	864	3 654	14 322	57 288	
					Rönk	4	25	101	414	1 530	6 108	21 768	
					%	33,33	48,08	46,76	47,92	41,87	42,65	38,00	
képméret:	program	filter; diff value sat	15; 15	h (grid)	613	295	145	72	35	18	9	1	
3847*1174			0,25-1	képpontok (db)	12	52	216	848	3 740	13 910	55 937	4 516 378	
(képpont)			0,05-0,95	telítettség (%)	59,72	60,02	59,95	60,02	60,19	60,10	60,10	60,10	
4 516 378		rel.hiba	a teljes képhez(grid 1)	rel.h.(%)	-0,6323	-0,1331	-0,2496	-0,1331	0,1498	0,0000	0,0000	0,0000	

K2-g_cut	szemrevételezéssel				Össz.	6	36	150	600	2525	10 150	41 412	
					Rönk	2	20	78	301	1160	4 618	18 264	
					%	33,33	55,56	52,00	50,17	45,94	45,50	44,10	
képméret:	program	filter; diff value sat	15; 15	h (grid)	736	300	147	74	36	18	9	1	
3599*903			0,2-1	képpontok (db)	5	36	144	588	2 500	10 000	40 000	3 249 897	
(képpont)			0,05-0,95	telítettség (%)	56,61	57,07	57,22	57,03	57,07	57,07	57,07	57,07	
3 249 897		rel.hiba	a teljes képhez(grid 1)	rel.h.(%)	-0,8060	0,0000	0,2628	-0,0701	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	

K2-p1_cut	szemrevételezéssel				Össz.	6	36	150	663	2754	11 275	45 210	
					Rönk	3	19	79	320	1301	5 076	20 328	
					%	50,00	52,78	52,67	48,27	47,24	45,02	44,96	
képméret:	program	filter; diff value sat	15; 15	h (grid)	771	315	154	73	36	18	9	1	
3643*980			0,25-1	képpontok (db)	5	36	144	650	2 727	10 908	44 145	3 570 140	
(képpont)			0,05-0,9	telítettség (%)	60,45	61,71	62,40	61,92	61,80	61,85	61,74	61,74	
3 570 140		rel.hiba	a teljes képhez(grid 1)	rel.h.(%)	-2,0894	-0,0486	1,0690	0,2915	0,0972	0,1782	0,0000	0,0000	



45. ábra A K1-p_cut nevű minta 8. táblázat 1. sorszámu elemzése WSA-val. A 12 mintavételi pontból 7 pont (zöld karikával jelölve) esik rönkre, melyek a további elemzés alapját képezik

A szemrevételezésből és a WSA programból kapott adatok összehasonlításából az alábbi észrevételek tehetők meg:

- a WSA-ból származó adatok esetén a rácpontok számának növelésével a színezett (rönkre eső) rácpontok és az összes rácpont hányadosának az értéke konvergál az WSA elemző algoritmusából származó eredményekhez;
- kis elemszámú minta esetén jelentős eltérések adódnak mind a szemrevételezés, mind a WSA által a rácpontokra vonatkozó eredményeinek a WSA elemző algoritmus értékeihez képest;
- a szemrevételezés eredménye a WSA eredményeitől jelentősen eltér.

Fentiek oka:

- a szemet könnyebb becsapni, sokkal nehezebb az árnyalatokat megkülönböztetni, ezáltal eldönteni, hogy valamelyik rácpont rönkre esik vagy sem;
- sűrű rács esetén szemrevételezésnél nagy a számolási tévedés lehetősége;
- kis elemszámú rács esetén nem mérvadóak sem a szemrevételezésből, sem a WSA rácpontozási arányából származó adatok;

- a WSA rácsponozási aránya statisztikai értelemben jól konvergál az elemzési módszer adataihoz, mely alapján a mintavételezés módszertana analóg az 5. táblázatban található mintavétel nagyságának becsléséhez (ld. *WSA tel. - kék kereszt/képpontok sz. (%)* sor);
- nem érdemes használni a szemrevételezés módszerét, túl nagy hibaforrást jelent: ld. a táblázat *szemrevétel - kék kereszt./képpontok sz. (%)* sora;
- a WSA program futás idejét nem érdemes a rácsponok arányosításának módszerével gyorsítani, mivel további hibaforrást jelent (annak ellenére sem, hogy statisztikai értelemben vett hibahatáron belül maradnak a relatív hibák).

8. táblázat A szabad szemmel végzett és a WSA porgrammal történő rácsozási eredmények többszintű összehasonlítása (részlet) – a hivatkozott kép betűjelzése megegyezik a 4.3 fejezetben látható rakatok betűjelzéseivel

				Rácsvonal sűrűség képpontban									
				sorszám	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.		
				rácsköz	567	283,5	141,75	70,88	35,4	17,72	8,85		
K1-p_cut	szemrevételezéssel			Össz.	12	52	216	864	3 654	14 322	57 288		
				Rönk	4	25	101	414	1 530	6 108	21 768		
				%	33,33	48,08	46,76	47,92	41,87	42,65	38,00		
képméret: 3847*1174 (képpont) 4 516 378	program	filter; diff	15; 15	h (grid)	613	295	145	72	35	18	9	1	
		value	0,25-1	képpontok (db)	12	52	216	848	3 740	13 910	55 937	4 516 378	
		sat	0,05-0,95	telítettség (%)	59,72	60,02	59,95	60,02	60,19	60,10	60,10	60,10	
		rel.hiba	a teljes képhez(grid 1)	rel.h.(%)	-0,6323	-0,1331	-0,2496	-0,1331	0,1498	0,0000	0,0000	0,0000	
					kék keresztszám	7	35	135	518	2 255	8 331	33 676	2 716 469
					kék ker./képpont (%)	58,33	67,31	62,50	61,08	60,29	59,89	60,20	60,10
		WSA tel. - kék kereszt			/képpontok sz. (%)	1,39	-7,29	-2,55	-1,06	-0,10	0,21	-0,10	0,00
szemrevétel - kék kereszt./képpontok sz. (%)				-25,00	-19,23	-15,74	-13,17	-18,42	-17,24	-22,21			

K2-g_cut	szemrevételezéssel			Össz.	6	36	150	600	2525	10 150	41 412		
				Rönk	2	20	78	301	1160	4 618	18 264		
				%	33,33	55,56	52,00	50,17	45,94	45,50	44,10		
képméret: 3599*903 (képpont) 3 249 897	program	filter; diff	15; 15	h (grid)	736	300	147	74	36	18	9	1	
		value	0,2-1	képpontok (db)	5	36	144	588	2 500	10 000	40 000	3 249 897	
		sat	0,05-0,95	telítettség (%)	56,61	57,07	57,22	57,03	57,07	57,07	57,07	57,07	
		rel.hiba	a teljes képhez(grid 1)	rel.h.(%)	-0,8060	0,0000	0,2628	-0,0701	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
					kék keresztszám	3	29	79	334	1 448	5 768	22 922	1 854 809
					kék ker./képpont (%)	60,00	80,56	54,86	56,80	57,92	57,68	57,31	57,07
		WSA tel. - kék kereszt			/képpontok sz. (%)	-3,39	-23,49	2,36	0,23	-0,85	-0,61	-0,23	0,00
szemrevétel - kék kereszt./képpontok sz. (%)				-26,67	-25,00	-2,86	-6,64	-11,98	-12,18	-13,20			

4.5 Eredmények összehasonlítása

A mérési eljárás összehasonlítása, úgynevezett etalonnal – annak nem léte–, vagy más mérések (pl. Knyaz és munkatársai) azonos mintáival nem lehetséges. Ennek okán egy teszt sor került vizsgálatra a módszer helyességének ellenőrzésére.

Három kép készült egy rönk belső téglalap alakú keresztmetszetéről, különböző képszerkesztési fázisban.

Az első lépésben homogén háttérben idealizált, homogén rönk került megrajzolásra, majd egy rönk бүтү felületéből azonos méretű téglalap került beillesztésre. A harmadik képen a homogén háttér került kicserélésre a természetben található színekkel és formákkal.

A WSA programmal végzett vizsgálat eredményeképp az előállított digitális minták mindegyikén 100%-os egyezés mutatkozott a színezés nagyságrendjére, azaz téglalap alakú бүтү felület arányára a kép teljes méretéhez képest (a pixelek arányában).



46. ábra A vizsgált mintasorozat mindegyik eleme 52,42%-os hasznos területi arányt ad a WSA programmal történő elemzés után

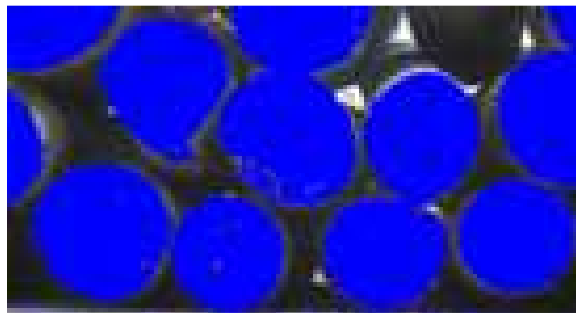
4.6 Rönkök határvonalának meghatározása spline alkalmazásával

A színezési eljárással nagyon jó közelítésben lehet meghatározni a rönkök бүтү összfelületének arányát a kép teljes méretéhez képest, de az ideális paraméterek keresése esetén gyakran találkozunk „szennyezési” problémával a бүтү felületeken.

Ezek több módon jöhetnek létre:

- a felrakás, szállítás során szennyezés éri a rönköket; például földes lesz;
- mesterségesen szennyeződnek; például krétával jelzést írnak rá;

- a fénykép készítés során a lencséről, vagy a digitális kép létrehozásával; például egy árnyékban lévő rönköt milyen alapszín árnyalatához közelíti a digitális konvertálást végző szoftver.

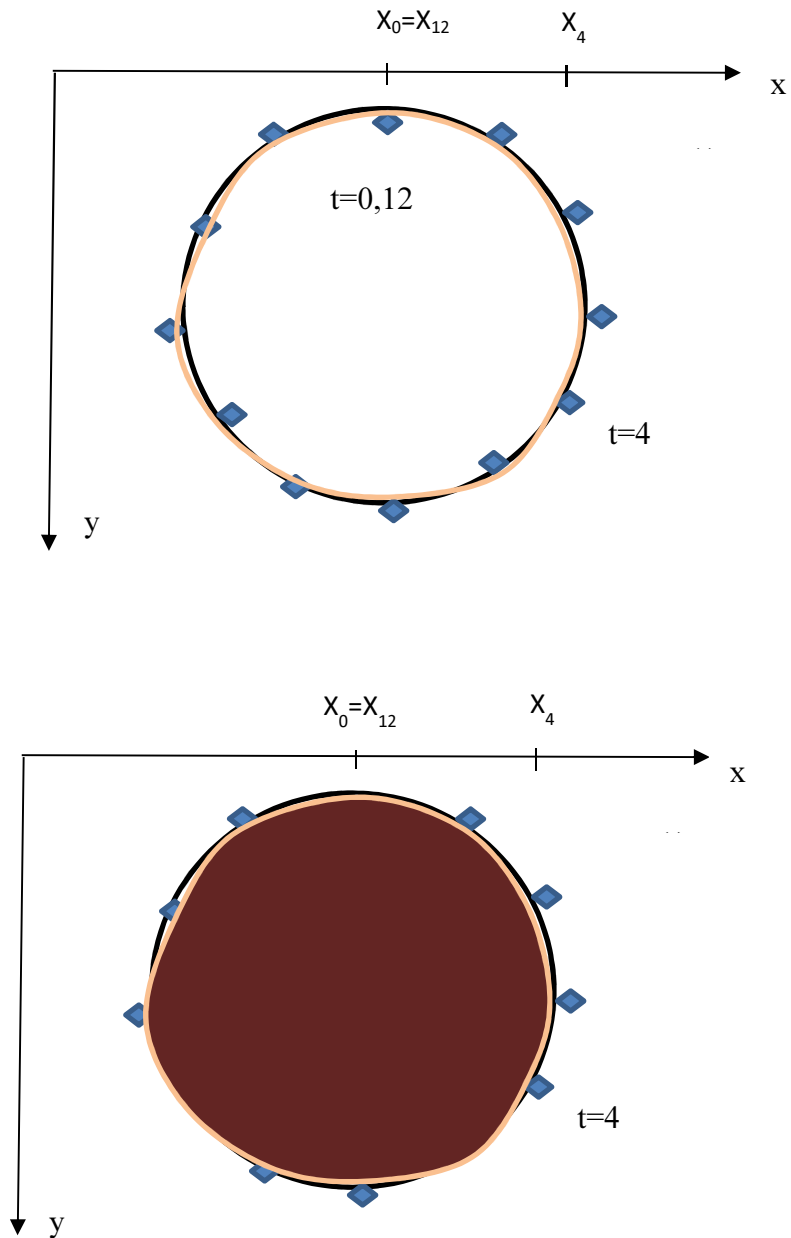


47. ábra Szennyezésből származó pixel színezési hibák láthatók a színezett területeken belül

A számítógépes grafika és képfeldolgozás során számos eljárást kidolgoztak a hibák – az úgynevezett zajok – javítására. A legismertebb eljárások a szűrések és az élkeresés, melyek segítségével többféle képjavító eljárást dolgoztak ki, például a Roberts-, illetve Laplace-operátorral.

Esetünkben az élkeresési módszerek egy módosított változatát dolgoztuk ki. A feltételezés és elképzelés szerint a rönkök kör- vagy ellipszisszerűek, ezáltal ha sikerül megtalálni a rönkök középpontjait, akkor ebből a pontból adott sugár irányokba – például a teljes kör 12 vagy 16 egyenlő részre osztásával keletkező irányokba – kijelölhetők a rönk kerületén elhelyezkedő kontroll pontok. Ezen eljárást, úgynevezett parkettázós-módszert, az NymE Innovációs Központ munkatársai dolgozták ki.

Feladatunk onnan kezdődik, miszerint adottnak tekintjük, hogy a parkettázós-módszerrel kijelölésre kerültek a rönkök középpontjai, illetve a kerületeken a kontroll pontok. A feladat a körvonal, pontosabban a rönk kerületének, megrajzolása a kontroll pontok segítségével, majd ezután már egyszerűen csak be kell színezni a rönköt.

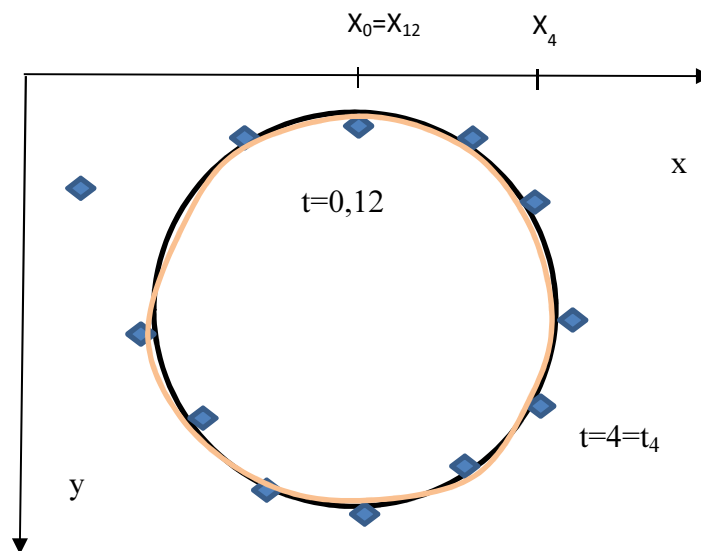


48. ábra A parkettázás-módszerrel meghatározott kontroll pontokra illesztett görbe a rönk kerületének kijelölésére, illetve az ideális kör alakú rönk körvonala. A t paraméter az óramutató járás szerint körbefut, ennek segítségével indexeljük a kontroll-pontokat: $(x(t), y(t)) = (x_t, y_t)$.

A kontroll pontokra spline függvényt illesztettünk. Spline-on szakaszonként polinomokkal leírt görbét értünk, amely egyszerű számítógépes grafikai szerkesztést tesz lehetővé, de pontossága és stabilitása miatt nagyon jól lehet komplex formákat is közelíteni.

A feladat megoldásában harmadfokú spline-ok kerültek alkalmazásra. Mivel a kontroll-pontok hibával terhelt lehetnek, ezért az általánosított spline módszer került alkalmazásra.

A kontroll-pontok hibájának egyik oka, hogy a parkettázó-módszer a rönk középpontjából kiindulva a teljes kör, azaz a 360° , 12 vagy 16 egyenlő részre osztásának adott irányában keresi a kontroll-pontot, amelyeknél előfordul, hogy az adott rönkhöz tartozik.



49. ábra Hibával terhelt kontroll-pont

4.6.1 Általánosított spline approximáció

Az általánosított spline approximáció⁴ (Polgár, 2004) (Polgár, 2010) lényege, hogy ötvözi az approximációs spline-ok elméletét a robosztus becsléseknél és kiegyenlítő számításoknál megismert technikákkal, azaz a

⁴ A módszer többváltozós függvények elemzésére is alkalmas. A 3D-s térben értelmezhető 2D-s függvényszerű felületek bilineáris modellezése 2006-ban került kidolgozásra (Polgár, 2006) (Polgár, 2010).

A módszer első gyakorlati alkalmazása során magasabb rendű mozgásgeometriai jellemzők vizsgálata lett elvégezve vasúti pályagörbéken. A vasúti pályaépítésben gyakran használt klotoid pályáiv magasabb rendű mozgásjellemzőinek elemzése annak definíciója miatt nem volt a korábbiakban lehetséges, de az általánosított spline approximációval történő leírásával már elemezhetővé váltak (Andor & Polgár, 2004a)

$$\delta(g) = \lambda \int_{t_0}^{t_N} (\partial^d g)^2 dt + \sum_{i=1}^N p_i (g(t_i) - f_i)^2 = \min_{W_2^2} \quad (4.9)$$

funkcionál megoldását adja. A funkcionál első tagja a spline approximációt biztosítja (Sard, 1971), azaz olyan megoldást biztosít, ahol $n \leq N$ esetén a $g_i(t)$, $i=1, \dots, n$ polinomok d -ik deriváltban is folytonosak. Sard tétele alapján minden $g_i(t)$ függvény egy-egy $m = (2d-1)$ -ed fokú polinom.

A (4.9) második tagja a Gauss-féle legkisebb négyzetek elméletét (Stoyan Gisbert & Takó, 2005.), (Mészáros, 2011) ötvözi a robusztus becslések (Fegyverneki, 2011) (Kemény & Deák, 2000) és kiegyenlítő számítások (Detrekői, 1991) alapfeladatával, azaz a kiugró értékeket ki tudja szűrni a p_i paraméterek helyes megválasztásával.

A funkcionál minimum feladatának megoldása egy lineáris egyenletrendszer ad, melynek programozása könnyű, és egyúttal gyors megoldást eredményez.

Különböző paraméter beállítások mellett más-más megoldási lehetőségeket kaphatunk a (4.9) variációs feladatra:

- i) ha minden $i = 1, \dots, N$ esetén a p_i súlyok értéke 0, akkor spline interpolációt kapunk.
- ii) ha $\lambda = 0$ és minden $i = 1, \dots, N$ esetén a p_i súlyok értéke konstans 1, akkor polinomiális regressziót kapunk. A regressziós polinom fokszáma Sard tételéből következően $m = 2d - 1$.

Ez a módszer egy lépésből áll, iterációra nincs szükség.

- iii) ha $\lambda = 0$ és p_i súlyok értékét a funkcionál minimum keresésének minden egyes algoritmus lépése után újra súlyozzuk, akkor súlyozott regressziós görbét kapunk. A módszert a robusztus becsléseknél, illetve kiugró értékek (outlier-ek) esetén érdemes használni.

- iv) ha $\lambda \neq 0$ és p_i súlyok értéke 1, amely a vizsgálat során nem változik, akkor spline approximációt, más néven simító spline-t kapunk.

Ezen beállítások mellett két úton lehet megoldást kapni:

(Andor & Polgár, 2004b) (Polgár & Andor, 2004) (Andor & Polgár, 2005) (Andor & Polgár, 2014) (Andor & Polgár, 2015).

- a) ha nagyszámú adatról van, akkor az adatok részintervallumokra történő osztásával, azaz részcsoporthoz szedéssel, ahol az intervallumok határain írjuk elő a csatlakozási feltételeket, illetve
- b) kisszámú adat esetén klasszikus simító spline approximációval, azaz minden pont helyébe igazodó spline darabokkal.

A minta nagyságának segítségével dönthetünk, hogy melyik módszert válasszuk.

Ahhoz, hogy az a) eset stabilan megoldható legyen, a részintervallumokon legalább $2d$ darab adat kell legyen, azaz nagyságrendileg legfeljebb $N / (2d)$ csoportot hozhatunk létre, illetve legalább három csoportra van szükség a megoldhatóságához.

Összegezve, ha az adatok száma legalább a módszer választott rendjének kétszeresének háromszorosánál több, akkor az a) módszer választható, azaz $2d \cdot 3 = 6d \leq N$ esetén. Például másodrendben folytonos ($d=2$) megoldás esetén legalább 12 pontnak kell adottnak lenni.

- v) amennyiben $\lambda \neq 0$ és p_i súlyok értéke változhat, akkor eljutunk az eljárásban felhasznált kerülő általánosított spline approximációhoz.

4.6.2 A variációs feladat megoldása

A rönkök körbe rajzolásához elégséges a határoló görbe görbületének folytonosságát biztosítani, ezért (4.9) variációs feladat megoldása $d = 2$ választás mellett történt. A variációs feladat minimumának megoldása ekkor szakaszonként harmadfokú polinomokat eredményez.

Tegyük fel a továbbiakban, hogy adott az $[a, b]$ intervallumon⁵ egy nagy elemszámú minta, melynek számossága N , illetve a keresett $f_{hg}(t)$ függvény⁶ adatai a t_i paramétereknél $f_i = f_{hg}(t_i) + \varepsilon_i$ hibával torzítottak lehetnek.

Vegyük az $[a, b]$ intervallum $a = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_n = b$ felosztását úgy, hogy a $[\tau_{i-1}, \tau_i]$ részintervallumokban legyenek a minta részhalmazai, azaz minden olyan

⁵ A feladat megoldásánál $a = b$, mivel zárt görbéről van szó.

⁶ Az f_{hg} jelölés alsó indexe a feladat alapját képező határoló görbe keresésre utal

$(t_{i,j}, f_{i,j})$, $j = 1, \dots, N_i$, mérési pont, amelyre $t_{i,j} \in [\tau_{i-1}, \tau_i)$ minden $i=1, \dots, n-1$ és $x_{n,j} \in [\tau_{n-1}, \tau_n]$ esetén, illetve ekkor $\sum_{i=1}^n N_i = N$.

Tehát $g(t)$ függvény előállítható $P_i(t)$ harmadfokú polinomokkal, azaz minden $i = 1, \dots, n$ esetén

$$g_i(t) = P_i(t) = \sum_{k=0}^3 c_{i,k} (t - \tau_{i-1})^k \quad (4.10)$$

alakba írható.

Ezen felírás mellett a feladatot átfogalmazva, a Lagrange-féle multiplikátorok segítségével oldjuk meg, azaz a

$$\begin{aligned} & \text{Func}(c_{1,0}, c_{2,0}, \dots, c_{n,0}, c_{1,1}, \dots, c_{n,3}, \Lambda_1, \dots, \Lambda_{n-1}, \theta_1, \dots, \varepsilon_{n-1}) = \\ & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_j} p_{i,j} (f_{i,j} - g(t_{i,j}))^2 + 2 \sum_{i=1}^n \Lambda_i (g_{i+1}(\tau_i) - g_i(\tau_i)) + \\ & 2 \sum_{i=1}^n \theta_i (g'_{i+1}(\tau_i) - g'_i(\tau_i)) + \sum_{i=1}^n \varepsilon_i (g''_{i+1}(\tau_i) - g''_i(\tau_i)) = \min_{W_2^2} \end{aligned} \quad (4.11)$$

szélsőérték feladat megoldását keressük, azzal a jelölésbeli megkötéssel, hogy $g_{n+1}(t) \equiv g_1(t)$, amely feltétellel biztosítjuk a görbe zártságát.

A felírásból látszik, hogy az $c_{i,j}$ ismeretlen paraméterek száma $4n$, míg a multiplikátorok miatt $3n$, ezért összesen $7n$ független lineáris egyenletre van szükség a megoldásra, amiket analitikus szélsőérték keresési módszerrel kapunk a funkcionálból.

A feladat megoldásának problémáját a lineáris egyenletrendszer megoldása jelenti, viszont algebrai átalakításokkal egy n méretű egyenletrendszerre eliminálható, ami igaz, hogy már nem ritka a más spline eljárások egyenletrendszereihez képest.

A másik problémát a $p_{i,j}$ súlyok meghatározása jelenti, de erre van alkalmas iterációs eljárás. Először egyensúlyokkal oldjuk meg az egyenletrendszert, majd a kapott megoldásgörbe segítségével a robosztus becsléseknél megszokott gondolat alapján újra súlyozunk, majd a kívánt iterációs feltétel teljesüléséig ismételjük az eljárást.

Az iteráció egy lehetséges megállítási feltétele lehet, hogy először is választunk egy kilépési küszöbértéket (legyen ez ε^*), majd az eljárás lefuttatása után kiszámítjuk a megadott pontok és az eredményül kapott spline függvény eltéréseinek négyzetösszegét, ami a k . iterációs lépésben legyen

$$e_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_j} (f_{i,j} - g(t_{i,j}))^2. \quad (4.12)$$

Ezután vizsgáljuk meg, hogy teljesül-e az

$$\frac{|e_k - e_{k-1}|}{e_k} < \varepsilon^* \quad (4.13)$$

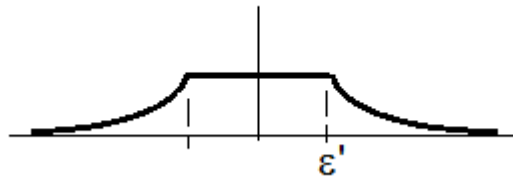
reláció. Ha igen, akkor leállunk, ha nem, akkor újra súlyozunk.

Az újra súlyozás egy lehetséges módja:

Minél nagyobb az eltérés egy megadott $(t_{i,j}, f_{i,j})$ pont és a spline között, a $p_{i,j}$ súly értékét annál kisebbre érdemes választani. Például

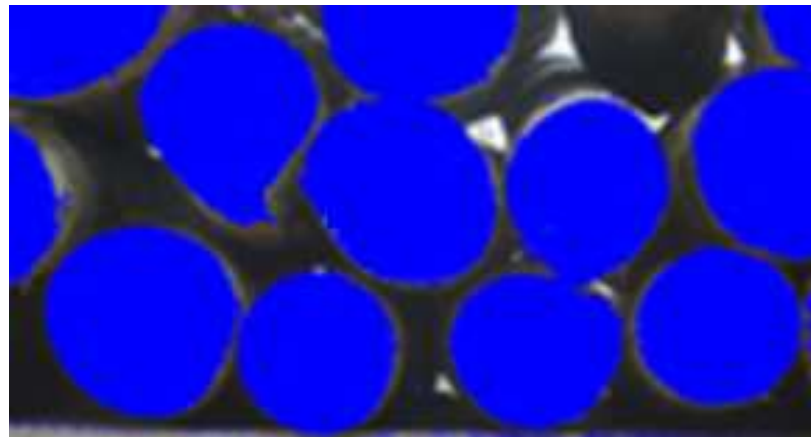
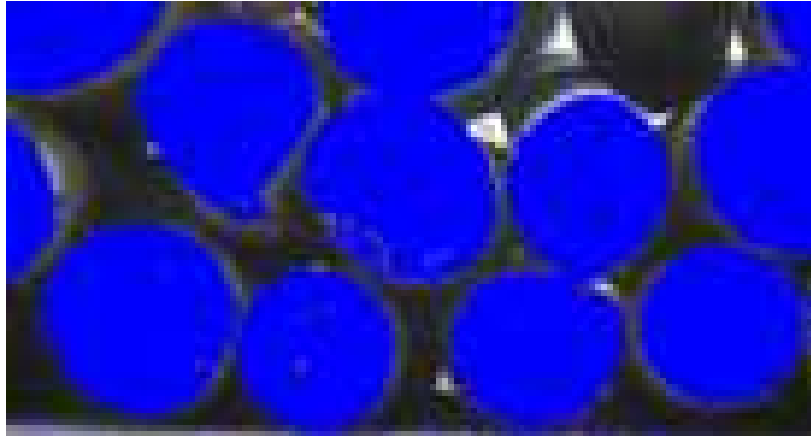
$$p_{i,j} = \begin{cases} \frac{1}{|f_{i,j} - g(t_{i,j})|} & \text{ha } |f_{i,j} - g(t_{i,j})| > \varepsilon' \\ \frac{1}{\varepsilon'} & \text{ha } |f_{i,j} - g(t_{i,j})| \leq \varepsilon' \end{cases} \quad (4.14)$$

ahol $\varepsilon' > 0$ elég kicsi szám (pontosabban a vizsgált adatok nagyságrendjéhez képest több nagyságrenddel kisebb).



50. ábra Az eljárás során alkalmazott súlyfüggvény alakja

A mozgások függetlenségének elvét (Budó, 1981) (Nagy, 1993) kihasználva – a számítási algoritmus gyorsítása végett – a két dimenziós feladat x és y koordinátáira külön-külön lett az általánosított spline módszer lefuttatva (Jánossy & Tasnádi, 1980), így a (4.9)-es egyenletben szereplő keresendő g függvény és f_i értékek helyébe rendre az $x(t)$, illetve $y(t)$ függvények és X_i , illetve Y_i értékek kerültek behelyettesítésre.



51. ábra Képjavítás előtt és után

5. Összegzés, eredmények értékelése

5.1 Összefoglalás

Az értekezés célja bemutatni egy olyan digitális képfeldolgozó módszert, amellyel faválasztékok бүтү felületeiről készült kép elemzésével meghatározható a vizsgált faválaszték tömör térfogata, feltételezve, hogy azonos hosszúságúak a rönkök.

A módszer kidolgozásának célja a már meglévő eszközök és eljárások (Knyaz & Sibiryakov, 1998), (Varga, et al., 2007) továbbfejlesztése volt. A korábbi eredmények jelentősen függtek a kezelőtől, azaz a mérést végző egyén szakmai felkészültségétől. Célként fogalmazódott meg ezért egy automatizált elemző eljárás, amely a kezelő szakmaiságától nem, vagy csak kis mértékben függ.

A módszer kidolgozásánál különböző tudományágak ismeretei kerültek felhasználásra: statisztika, matematika, fizika, számítógépes grafika. Az ismertetett eljárás több lépésben meghatározza egy digitális kép esetén a leggyakrabban előforduló színtartományhoz tartozó pixeleket, melyeket eredményközléskor egy semleges színnel megjelöl.

A módszer tesztelésére egy JAVA programnyelven, az Eclipse integrált fejlesztői környezetben megírt program került kivitelezésre, amely a WSA (Wood Spectrum Analysis) nevet kapta.

A kísérleti mérések során igazolódtak a kezdeti feltételezések, miszerint egy бүтүről készült fénykép alapján a rakomány vagy rakat бүтү összfelülete, átszámítással a tömör térfogati aránya meghatározható. Optimális esetben a rendszer képes a hagyományos felmérési hiba töredékét elérni. Ehhez jó felbontású, jó fényviszonyokkal rendelkező képre, minimális távolsági hibára van szükség.

A felmérés pontosságát egyrészt a faanyag бүтү felületének színe és tisztasága befolyásolja. Bekoszolódott (például földes), beszürkült és megjelölt (például krétával) vágásfelületek esetében a szín szerinti elkülönítés sokkal nehezebb feladat. Az elemzést befolyásoló tényezők másik csoportját a kép készítésekor fennálló fényviszonyok alkotják (napszak, időjárás: napsütés vagy borús idő).

5.2 További kutatási feladatok

A következőkben néhány fontosabb jövőbeni kutatási irány kerül bemutatásra. A módszer tesztelése és azok eredménye alapján három olyan területet érdemes megemlíteni, amely a módszer hatékonyságát tovább javíthatja.

i) a kialakítandó mérőeszközbe fényerősség mérő beépítése.

Az elemzések során az egyik fő probléma a rönkök бүтү felületeiről készült digitális kép minőségéből adódott. Az optikai felbontóképességet lehet jobb paraméterekkel rendelkező lencsével megoldani, de a kép elkészítésének minőségét ez egy szinten túl nem tudja megoldani.

Nagyobb gondot a rakat бүтү felületének minősége (például beszennyeződött), illetve a kép készítésének fényviszonyai jelentik. Utóbbit fényerősség mérő beszerelésével tudnánk mérni, ezáltal tovább lehetne pontosítani a 4.3 pontban ismertetett paramétereket, melyekkel még könnyebbé lehetne tenni a felhasználók számára a program használatát, illetve nagyobb pontosságot lehetne elérni.

ii) a WSA program véletlen rácsokkal való tesztelése.

A 4.4 fejezetben foglalkoztunk a módszer statisztikai elveken alapuló gyorsítási lehetőségével. A téglalap- (négyzet-) rácson végzett elemzések azt mutatták, hogy a módszer hibahatáron belül gyorsítható.

Ahhoz, hogy ne csak kimutatásra kerüljön az analógia a mintavételi nagyságok becsléseivel, célszerű többféle véletlen mintavételezés mellett is alátámasztani az eredményeket.

iii) élkeresés.

A 4.5 fejezetben említett parkettázós-módszer alternatívájaként kidolgozható a WSA program további tesztelésével és a paraméterek változtatásával egy élkereső algoritmus. A rönkök kerületének meghatározása után a színezési eljárás tovább egyszerűsödne.

Az előzetes vizsgálódás során olyan lineáris vagy nemlineáris összefüggéseket lehetett megállapítani a H–S–V értékek között, amelyek arra utalnak, hogy létezik a rönkök vizsgálata esetén élkereső eljárás.

Megoldást jelenthet más élkereső eljárásokkal való összevetése és esetleges kombinációja is.

Selected Setting
ujronk_ronkok

Name of setting
ujronk_ronkok

Image
ujronk.png

Image size div. Grid size Random samples
2.5 50 ☐

Histogram width Histogram height
1000 400

Avg filter radius Max diff from max value (percent)
5 5

valueMin valueMax
0,6 0,7

satMin satMax
0,1 0,3

Save Delete Duplicate

Calculate



52. ábra A WSA programmal végzett élkereső algoritmus kísérlete

Irodalomjegyzék

- Andor, K. & Polgár, R., 2004a. Spline-ok alkalmazása a mozgásgeometriában. *Közlekedéstudományi Szemle*, 3. kötet, pp. 111-112.
- Andor, K. & Polgár, R., 2004b. Die Anwendung der Splines bei Absteckung und Kontrolle von Übergangsbögen. *Der Eisenbahn Ingenieure*, 7. kötet, pp. 25-28.
- Andor, K. & Polgár, R., 2005. Beschreibung der Bahn des Wagenschwerpunktes eines sich auf der Strecke bewegenden Wagens mit Hilfe der Splines. *Der Eisenbahn Ingenieure*, 4. kötet, pp. 45-47.
- Andor, K. & Polgár, R., 2014. Localization of bearing errors using spline method. *Periodica Polytechnica - Civil Engineering*, 58. No. 4. kötet, pp. 339-345.
- Andor, K. & Polgár, R., 2015. Matematikai módszerek a mechanikában. *Dimenziók - Matematikai Közlemények*, III. kötet, pp. 49-52.
- Bedő, A., 1875. Az erdőszet, mint az internationalis statisztika tárgya. IV.. kötet.
- Boros, J., Edelényi, M. & Pásztory, Z., 2013. Fotoanalitikus módszerek használata a fafeldolgozás területén. *Faipar*, 61 (1). kötet, pp. 15-20.
- Budó, Á., 1981. *Kísérleti fizika I.*. Budapest: Tankönyvkiadó Vállalat.
- CIE, 1931. *Commission internationale de l'Eclairage proceedings*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Detrekői, Á., 1991. *Kiegyenlítő számítások*. Budapest: Tankönyvkiadó.
- Dralle, K., 2014.. *sScale -Measure, track and trade*. Hoersholm
- Dralle, K., 2015. www.dralle.dk.
- ELBIR, 2016. *Mázsa, köbméter, erdőszeti köbméter, mit érdemes tudni favásárlás előtt?*, Mezőtúr
- Energia.Ma, M., 2012. *Mázsa, köbméter, erdőszeti köbméter, mit érdemes tudni favásárlás előtt?*

- FARM-KER Kft., 2014. *Újabb trükkök a tűzifa értékesítésben. Kalodára adják a „dudálósok” a tűzifát!*, Nyíregyháza: FARM-KER Kft..
- Fegyverneki, S., 2011. *Valószínűség-számítás és matematikai statisztika*. Miskolc: Miskolci Egyetem Földtudományi Kar.
- Fekete, Z., 1951. *Erdőbecsléstan*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Fink, F., 2004.. *Foto-optische Erfassung der Dimension von Nadelrundholzabschnitten unter Einsatz digitaler*. Freiburg: ismeretlen szerző
- Földművelésügyi, M., 1992. *MSZ--08-0636*. Budapest: Földművelésügyi Minisztérium.
- Guild, J. & Smith, T., 1931. The C.I.E. colorimetric standards and their use. 33 (3). kötet, pp. 73-134..
- Jánossy, L. & Tasnádi, P., 1980. *Vektorszámítás*. Budapest: Tankönyvkiadó Vállalat.
- Jorgesen, E. R. & Kristiansen, L., 2008.. *Digitale Fotovermessung von Industrieholzabschnitten*. 2/2008.. kötet.
- Kemény, S. & Deák, A., 2000. *Kísérletek tervezése és értékelése*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Knyaz, V. A., 2002. *Method for on-line calibration for automobile obstacle detection system, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Corfu, Greece, Proceedings of ISPRS, pp. 48-53.
- Knyaz, V. A., Visiliter, Y. & Zheltov, S., 2004. *PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUES FOR MEASUREMENTS IN WOODWORKING INDUSTRY*. Istambul, Proceedings of ISPRS.
- Knyaz, V. A. & Viziliter, Y. V., 2000. *Method for 3D non-contact measurements of cut trees package area*. Bellingham, USA, Proceeding of SPIE, pp. 276-285.
- Knyaz, V. & Sibiryakov, A., 1998. The Development of New Coded Targets for Automated point Identification and Non-contact 3D Surface Measurements. Vol. XXXII, part 5. kötet, pp. 80-85.

- Korpás, A. d., 2004.. *Általános statisztika I.* Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.
- Köves, P. & Párniczka, G., 1973. *Általános statisztika.* Budapest: Közgazdasági és Jogi Kiadó.
- Lámfalussy, S., 1956. Erdei faválasztékok köbtartalma megállapításának néhány kérdéséről. II. kötet, pp. 51-54.
- Lámfalussy, S., 1961. Hengeres erdei faválasztékok köbtartalmának pontosabb meghatározása. V. kötet, pp. 193-196.
- Lugosi, A., 1976. *Faipari kézikönyv.* Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- Mészáros, J., 2011. *Numerikus módszerek.* Miskolc: Miskolci Egyetem Földtudományi Kar.
- Mika János, U. Z. B. C. P. K. E., 2011. *Műholdakról távérzékelte adatok feldolgozása és hasznosítása.* hely nélk.:EKF TTK.
- Nagy, K., 1993. *Elméleti mechanika.* Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.
- Pallas, 3. c., 1893-97. *Pallas Nagy Lexikona.* Budapest: Pallas Irodalmi és Nyomdai Rt..
- Pásztory, Z., 2009. *A sarang valós, tömör faanyag tartalmának "pontos" meghatározása.* Sopron, ismeretlen szerző
- Pásztory, Z., Edelényi, M., Boros, J. & Kővári, Z., 2013. *Developing of new photo analytical method for measuring of wood stacks.* Zvolen, Slovakia, Arbora Publishers, pp. 69-72.
- Pásztory, Z. & Polgár, R., 2016. Photo Analytical Method for Solid Wood Content Determination of Wood Stacks. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, Vol. 3. kötet, pp. 54-57.
- Polgár, R., 2004. Általánosított spline approximáció. *Geomatikai Közlemények*, VII. kötet, pp. 197-209.

- Polgár, R., 2006. Általánosított bilineáris spline approximáció. *Geomatikai Közlemények*, IX.. kötet, pp. 97-105.
- Polgár, R., 2010. A Generalized Bilinear Spline Approximation. *Annales Univ. Sci. Budapest, Sect. Comp.*, 32. kötet, pp. 37-48.
- Polgár, R., 2010. A generalized spline approximation. *Annales Computatorica*, 32.. kötet, pp. 103-121..
- Polgár, R. & Andor, K., 2004. Using splines in setting out and controlling transition curves. *Der Eisenbahn Ingenieure*, 55:7. kötet, pp. 58-60.
- Sándorné, S. J., 1978. *A piackutatás kézikönyve*. Budapest: Közgazdasági és Jogi Kiadó.
- Sard, A., 1971. *A book os splines*. New York: John Wiley and Sons.
- Sóltz, G. & Fekete, L., 1893. *Az erdőbecsléstan kézikönyve*. Selmezbánya: Joerges Á. Özv. És Fia.
- Stark, M. & Schiberna, E., 2008. *Faipari ismeretek erdőtulajdonosknak*. Sopron: Magánerdőgazdálkodási Tájékoztató Iroda.
- Stoyan Gisbert & Takó, G., 2005.. *Numerikus Módszerek I.*. Budapest: Typotech.
- Varga, F., Molnár, S. & Komán, S., 2007. *Sarangolt anyagok fotoanalitikus átvétele*. Szeged, Alföldi Erdőkért Egyesület, p. 37.
- Wilckens, H. D., 1809. *Forstkunde (Erdőismeret)*. Selmezbánya: Nedeczey Ferenc kézírata.
- Wright, W. A., 1928. A re-determination of the trichromatic coefficients of the spectral colours. *Transactions of the Optical Society*, 30 (4). kötet, pp. 141-164..
- Wright, W. D., 1928. A re-determination of the trichromatic coefficients of the spectral colours. *Transactions of the Optical Society*. kötet, pp. 141-164..

Ábrajegyzék

1. ábra Űrméter meghatározása forrás: (Pásztory, 2009).....	8
2. ábra Űrméterezési problémák	9
3. ábra Xilometrálas forrás: (Pásztory, 2009).....	10
4. ábra Nagy felbontású digitális fénykép a rakomány bütü felületéről	13
5. ábra A transzformáláshoz szükséges tájékozási pontok	14
6. ábra Minta megadással kiválasztott, bütü felületet jelző pixelek	15
7. ábra Bütüfelület területének meghatározása; a képen $SZP / KTP = 110 / 220 = 50\%$	16
8. ábra A képsík eltolódása felmérési hibát okoz, forrás: (Boros, et al., 2013).....	19
9. ábra A szemünk által érzékelt színek a hullámhossz függvényében	25
10. ábra Az RGB színtér	27
11. ábra Az RGB és CMYK színtér összehasonlítása	28
12. ábra A CIE színtér.....	29
13. ábra Lab színtér ab színsíkja.....	29
14. ábra A HSV színtér	30
15. ábra A HSV és HSL színterek összehasonlítása	31
16. ábra HSV színmodell	32
17. ábra Valóság helyes és színezett kép (K4-p_cut mérés).....	33
18. ábra RGB színínger megfelelő függvények.....	35
19. ábra SWA nyitópanel.....	37
20. ábra Tesztkép	37
21. ábra A tesztkép H értékeinek eloszlása.....	38
22. ábra A tesztkép S értékeinek eloszlása	38
23. ábra A tesztkép V értékeinek eloszlása.....	39
24. ábra A mozgóátlag szélességének értékadása.....	39
25. ábra A tesztkép H értékeinek eloszlása (grid size=15 választás mellett)	40

26. ábra A hasznos színtartomány meghatározásához történő empirikus érték megadása	41
27. ábra A kijelölt H tartomány	42
28. ábra A színezett tesztkép; a lila virágból kék lett	42
29. ábra A kiértékelés numerikus eredményei	43
30. ábra A tesztkép és a színezett kép	44
31. ábra A „faszínű” sivatagi háttér	45
32. ábra (Túl)idealizált rakat, színezése és H diagramja	46
33. ábra Az ideális rakat, a színezett kép, a mozgóátlagolt H diagram és a színezett H tartomány	47
34. ábra A rakatról készített valósághelyessé transzformált kép (felső), a többlet paraméter beállítások nélküli színezett kép (középső), és egy sokkal elfogadhatóbb eredmény (alsó kép)	48
35. ábra A rakatról készített kép H értékeinek eloszlása (felső kép), a két paraméteres színezett kép H értékei (középső kép), illetve az egyéb paraméterek (S és V) figyelembe vételével készült színezett kép H eloszlása (alsó kép)	49
36. ábra Az S és V értékek paraméterezési lehetősége a WSA programban	50
37. ábra Tesztképek rakatokról, rendre a K3, K2 és K1 elnevezésűek	52
38. ábra A lépésköz megadása	54
39. ábra A véletlenszerű mintavételezés lehetőségének kapcsolója	54
40. ábra A választott mintakép és a négyzetrács háló (grid size=150)	55
41. ábra A mintakép H, S és V diagramjai (rendre föntről lefelé)	56
42. ábra A színezendő pixelek H tartománya	56
43. ábra A négyzetrácsból azon pontok, melyeket a WSA program „fának” velt a megadott paraméter beállítások mellett	57
44. ábra A rácspontok, mint minta alapján elemzett és színezett kép	57

45. ábra A K1-p_cut nevű minta 8. táblázat 1. sorszámu elemzése WSA-val. A 12 mintavételi pontból 7 pont (zöld karikával jelölve) esik rönkre, melyek a további elemzés alapját képezik	63
46. ábra A vizsgált mintasorozat mindegyik eleme 52,42%-os hasznos területi arányt ad a WSA programmal történő elemzés után	66
47. ábra Szennyezésből származó pixel színezési hibák láthatók a színezett területeken belül	67
48. ábra A parkettázós-módszerrel meghatározott kontroll pontokra illesztett görbe a rönk kerületének kijelölésére, illetve az ideális kör alakú rönk körvonala. A t paraméter az óramutató járás szerint körbefut, ennek segítségével indexeljük a kontroll-pontokat: $(x(t), y(t)) = (x_t, y_t)$	68
49. ábra Hibával terhelt kontroll-pont.....	69
50. ábra Az eljárás során alkalmazott súlyfüggvény alakja.....	73
51. ábra Képjavítás előtt és után	74
52. ábra A WSA programmal végzett élkereső algoritmus kísérlete.....	77

Táblázatjegyzék

1. táblázat Ipari választékok, forrás: (Stark & Schiberna, 2008).....	7
2. táblázat 1 m ³ tűzifa sűrűsége (tapasztalati szélsőértékek és átlag: kg/m ³)	11
3. táblázat Gépkocsi beállási hiba forrás: (Boros, et al., 2013)	20
4. táblázat Részlet az elemzési vizsgálatok adatrögzítésből (a beállítási értékek a táblázat alatt található felső képre vonatkoznak)	51
5. táblázat Mintavétel nagyságának becslése (Sándorné, 1978).....	59
6. táblázat Adott beállítások mellett a h változtatásával a színezés telítettsége	60
7. táblázat A szabad szemmel végzett és a WSA porgrammal történő rácsozási eredmények összehasonlítása (részlet) – a hivatkozott képek betűjelzése megegyezik a 4.3 fejezetben látható rakatok betűjelzéseivel	62
8. táblázat A szabad szemmel végzett és a WSA porgrammal történő rácsozási eredmények többszintű összehasonlítása (részlet) – a hivatkozott kép betűjelzése megegyezik a 4.3 fejezetben látható rakatok betűjelzéseivel	65