



SZENT ISTVÁN EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
MECHATRONIKA TANSZÉK

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

KÉPFELDOLGOZÓ ELVEN MŰKÖDŐ MÉRŐESZKÖZ
FEJLESZTÉSE

Készítette: **Horváth Roland**
Gépészmérnök MSc szak
II. évfolyam

Konzulens: **Dr. Jánosi László**
egyetemi tanár
tanszékvezető



Gödöllő
2012

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉSE.....	1
1. CÉLKITŰZÉS.....	2
2. MÉRÉS.....	3
3. OPTIKAI MÉRÉSEK KIALAKULÁSA, KORAI MEGOLDÁSOK.....	4
3.1 Abbe-féle (függőleges) hosszmérőgépek	4
3.2 Abbe-komparátor	5
3.3 Mikroszkópok	6
3.3.1 Mérőmikroszkópok.....	7
3.3.2 Műhelymikroszkópok.....	8
3.3.3 Egyetemes mérőmikroszkóp	9
4. MODERN MÉRÉSI ELJÁRÁSOK	11
4.1 Koordináta mérőgépek	11
4.2 Retrofit szkennelés.....	12
4.3 Fotogrammetria	13
4.4 Képfeldolgozás	13
5. MÉRÉS KÉPFELDOLGOZÁS ELVÉN.....	14
5.1 A képfeldolgozás kialakulása.....	14
5.2 Kép előállítása	15
5.2.1 A fény	15
5.2.2 A kép matematikai függvénye	15
5.2.3 Képdigitalizálás.....	16
5.2.4 Kamera	18
5.3 Kép feldolgozása	19
5.3.1 Élkeresés	20
5.3.2 Sub-pixelek	21
6. MÓDSZER	24
6.1 Elrendezés	25
6.1.1 Megvilágítás.....	25
6.1.2 Irány, távolság és felbontás:.....	26
6.1.3 Torzítás	27
6.2 LabView 2009 bemutatása.....	27
7. ESZKÖZ	28
7.1 Keret	28
7.2 Világítás	30

7.3	Kamera kiválasztása	30
7.4	Program.....	32
7.4.1	Kalibrációs programrész.....	33
7.4.2	Vonalkereső és szögmérő programrész	37
7.4.3	Rádiuszmérő programrész.....	40
7.4.4	Befoglaló méreteket mérő programrész	41
8.	EREDMÉNYEK	44
	ÖSSZEFOGLALÁS	47
	IRODALOM.....	48

BEVEZETÉSE

Ipari tömeggyártásban általános probléma a minőség-ellenőrzés, pontosabban a tömegesen gyártott alkatrészek ellenőrzése. A probléma abból fakad, hogy hagyományos módszerrel lehetetlen feladat az össze termék – adott esetben geometriai méretének – ellenőrzése.

A gyártónak elméleti célja, hogy selejt nélkül gyártson, ez persze nem megvalósítható cél. Ennek fényében arra kell ügyelni, hogy amennyiben selejt termék keletkezik, az ne kerüljön ki a megrendelőhöz, mert az a gyártó jó megítélését, piaci versenyképességét rontaná.

Ezért automatizált gyártásban mindennapos problémát okoz – lehetőség szerint az összes – selejt termék kiszűrése, tehát hagyományos statisztikai módszer nem elegendő a minőség 100%-os biztosítására. Megoldást nagy sebességű, automatizált ellenőrző rendszer kiépítése jelent.

Egy autóiipari beszállító cég szintén ebbe a problémába ütközött. Az említett cég megrendelői számára bonyolult vonalvezetésű rugókat gyárt tömeges mennyiségben. Autóiiparban szigorú minőségirányítási rendszer működik, egy selejt terméket átadó beszállító nem lehet életképes ebben az iparágban. Így felmerült az igény ezeknek a rugóknak a geometriai ellenőrzésére. Elvárás a kis átfutási idejű, és megfelelő pontosságú, automatizált működés.

1. CÉLKITŰZÉS

Célom egy olyan mérőállomás tervezése és az alkalmazott mérési eljárás kidolgozása, majd megépítése, mely alkalmas adott mérettartományú bonyolult geometriájú rugók geometriai alakjának ellenőrzésére.

A feladat legnagyobb kihívása a megfelelő mérési eljárás kiválasztása és az adott probléma megoldásához való illesztése. Az iparban számos mérési módszert kidolgoztak, de tömegesen gyártott termékek esetében ez komoly kompromisszumokkal jár. A pontos méretek meghatározása időigényes feladat, így a gyártónak két lehetősége van, minden gyártmányon elvégzi a mérést – ezzel súlyosan csökken a termelékenység – vagy csak statisztikai alapon kiválasztott munkadarabokon végzi el a mérést, ebben az esetben előfordulhat, hogy hibás termék kerül ki a megrendelőhöz, mely legtöbb esetben súlyos következményekkel jár.

Dolgozatomban bemutatom a napjainkban használatos mérési eljárásokat és azok kialakulását. Rámutatok az egyes megoldások hátrányaira és a szerzett ismeretanyagok alapján kiválasztok egy irányzatot és kidolgozom a fentebb említett probléma megoldására.

2. MÉRÉS

A mérés a természet jelenségeiről való ismeretek megszerzésének egyik alapvető módszere. Mérés során a mérendő mennyiséget összehasonlítsuk valamilyen mértékegységgel. A mérési tevékenység egy rendkívül tág terület, ezért konkretizálni kell, hogy mi az, amit mérni akarunk, és milyen tulajdonságát akarjuk mérni.

A dolgozat célkitűzésében már taglalásra került, hogy bonyolult alakzatú rugónak a geometriai méreteit akarom mérni. Geometriai méretek meghatározására számos lehetőségünk van, de az adott feladat esetén mindig meg kell vizsgálni, hogy mely mérési eljárások a megengedhetőek, és ezek közül melyiknek az alkalmazása a legcélszerűbb.

Jelen feladatban rugó munkadarabok geometriai méretét kell meghatároznom, mindezt a lehető legkisebb átfutási idővel és automatizált formában. A mérési eljárásokat számos módon lehet csoportosítani, ezek közül egy számomra fontos mód az érintéses és az érintés nélküli (vagy optikai) eljárások.

Érintéses eljárások esetében mindig van valamilyen tapintó, amivel meg kell érinteni a munkadarabot, így nyerhetünk információt a méretről. Jelen feladat esetében ez az eljárási mód több okból kifolyólag nem megfelelő. Az érintéses mérés nehezen automatizálható, a pontos méret levételhez ismerni kell a munkadarab pozícióját és térbeli orientációját, tehát pozícionálni kell a mérendő tárgyat. A pozícionáláshoz megfogásra és ülésre van szükség, ezek viszont feszültséget visznek a munkadarabba és deformációt okozhat, ezzel meghamisítva a mérés kimenetelét. További ok még, hogy egy bonyolultabb alakzatú munkadarab esetében sok méretet kell levenni egymás után a mérendő alkatrészről és ez túlzottan nagy átfutási időt eredményez.

Számba véve az előzőeket a feladat megoldásához valamilyen optikai mérési megoldást kell alkalmazni. A következőkben az optikai elven alapuló mérési eljárások kialakulásának rövid áttekintése után bemutatom a jelenlegi – iparban alkalmazott – mérési eljárást.

3. OPTIKAI MÉRÉSEK KIALAKULÁSA, KORAI MEGOLDÁSOK

Az optikai mérések úttörője Ernst Karl Abbe (Eisenach, 1840. január 23. – 1905. január 14.) német matematikus, fizikus és egyetemi tanár volt. 1866-ban néhány komolyabb optikai probléma megoldására kérte fel a Carl Zeiss Optikai Művek, az addig tapasztalati szabályok szerint készünk mikroszkóplencsék gyártását szeretne volna számítási módon tervezhetővé tenni. Abbe hosszas évek alatt, de sikerrel megoldotta a feladatot és ezzel a Carl Zeiss piacvezető lett a szakmában, cserébe pedig Abbe-t bevette társtulajdonosnak. Abbe folytatta kutatásait az optikai eszközök területén és letette az optikai hosszmerések alapköveit, melyeket ma már csak Abbe-elveknek nevezünk.

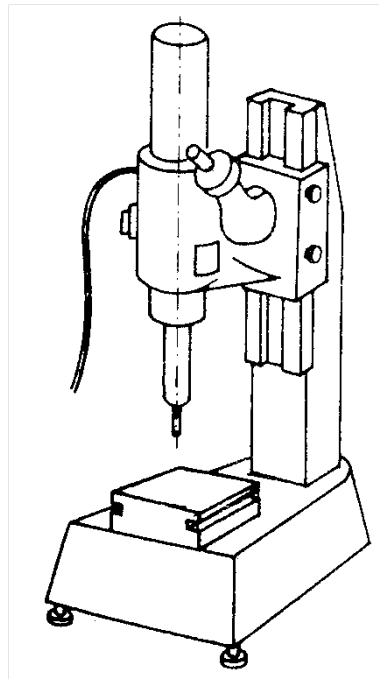
Abbe-elvek: a mérce a tárgy egyenes vonalú folytatása legyen (ezzel a műszerhibák minimumra csökkenthetők), és a mérce közvetlenül legyen leolvasható. Ezek a hosszmerőgépek szerkesztésének alapelvei, ezért a gépek 0,001 mm-es pontosságú mérésekre alkalmasak. [1]

A következőkben áttekintet néhány kezdetleges optikai elven működő hosszmerőgépet, melyek tekinthetők az optikai mérés technika kezdeteinek.

3.1 Abbe-féle (függőleges) hosszmerőgépek

A függőleges hosszmerőgép (3.1 ábra) közvetlen és közvetett mérésre egyaránt használható. A mérőasztal egy háromágú talpba van beépítve, ebből emelkedik ki a köszörült palástú oszlop, melyre egybekezdésű köszörült menetet is készítenek. Ezen oszlopon elhelyezkedő tartó vezeti a mérőelemet (üvegmércét) és benne helyezkedik el a leolvasást biztosító spirálmikroszkóp.

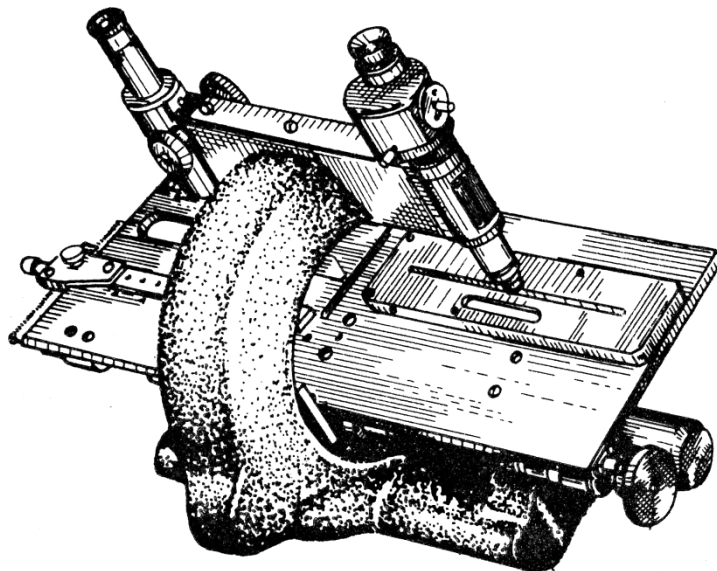
A tapintóban elhelyezett 100 mm hosszú 1 mm-es osztású üvegmérce minden közbenső áttétel nélkül a tapintócsúccsal együtt mozdul el. A leolvasás könnyítése végett az üvegmércét fényforrással átvilágítják. Osztásai és a spirál mikroszkóp segítségével a méret 0,001 mm-es pontossággal meghatározható.



3.1 ábra: Függőleges hossz mérő gép [1]

3.2 Abbe-komparátor

Vízszintes elrendezésű hossz mérő gép (3.2 ábra), egyike a legpontosabb régi mérőeszközeinknek. A bal oldali részen helyezük el a mérendő munkadarabot a tárgyasztalon a célzó mikroszkóp alatt. Az Abbe-elvnek megfelelően a tárgyasztalon van az üveg vonalzó is elhelyezve. Ennek osztásait a spirál mikroszkóppal olvassuk le. [1]



3.2 ábra: Vízszintes hossz mérő gép [1]

Mikroszkópokhoz hasonlóan mérünk vele. A célzómikroszkóppal a felületre állunk, a spirálmikroszkóppal leolvassuk, ennek a helyzetnek megfelelő mérceállást. A mikrométerorsóval az asztalt állítjuk úgy, hogy a célzómikroszkóp szátkeresztje alatt a mérendő távolság másik végpontja álljon. Ekkor újra leolvassuk a mérceállást. A keresett méret a két leolvasás különbsége. [1]

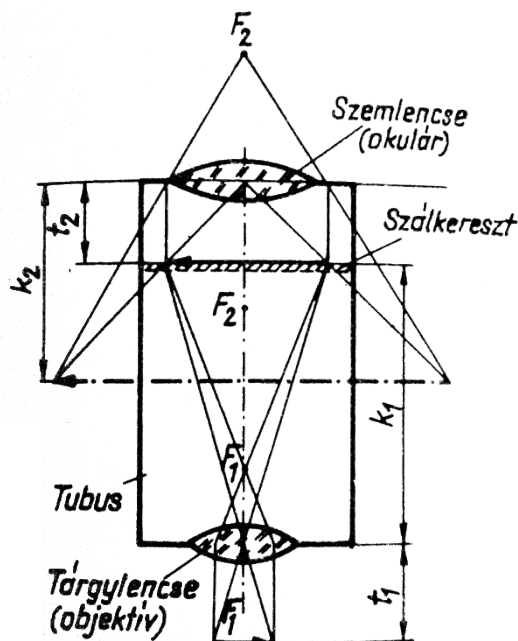
Az osztásvonalak hibája $1\text{ }\mu\text{m}$ alatt van. Legnagyobb mérési pontatlanság kisebb, mint $\pm 1,5\text{ }\mu\text{m}$. [1]

3.3 Mikroszkópok

Legáltalánosabban használt optikai mérőeszköz a mérőmikroszkóp. Három fő egységből áll:

1. az optikai rendszerből (célzómikroszkóp és megvilágítás);
2. merev állványból (test és oszlop);
3. a tárgytartó asztalból, melyhez hozzászámítjuk a kereszt és a hosszirányba mozgó mikrométercsavarokat, melyekkel méretek egy része is meghatározható.

A célzómikroszkóp lényegében egy tubusba szerelt, megfelelően elhelyezett lencserendszerből (két lencse) áll. A tárgyhöz közelebb álló lencsét tárgylencsének (objektívnek), azt a lencsét, amellyel a nagyított képet észleljük szemlencsének (okulárnak) nevezzük.



3.3 ábra: A lencseszerkezet nagyítása [1]

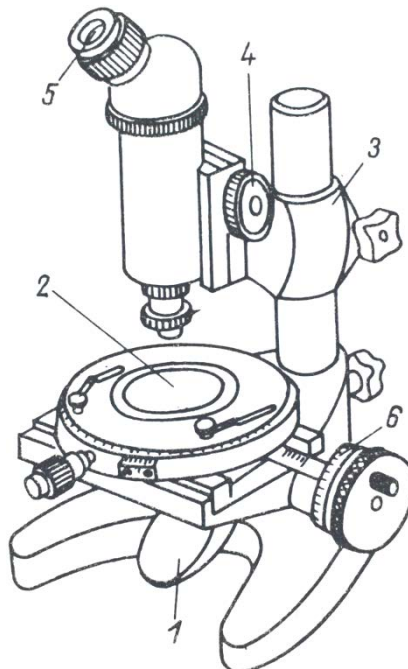
A tárgylencse által nagyított képet a szemlencse tovább nagyítja (3.3 ábra), és így a mikroszkóp nagyítása a két lencse nagyításának szorzata

$$N = N_t \cdot N_{sz} = \frac{k_1 \cdot k_2}{t_1 \cdot t_2}. \quad (1)$$

Két nagy csoportja alakult ki, a mérőmikroszkópok és a belőlük kifejlesztett egyetemes mérőmikroszkópok. [1]

3.3.1 Mérőmikroszkópok

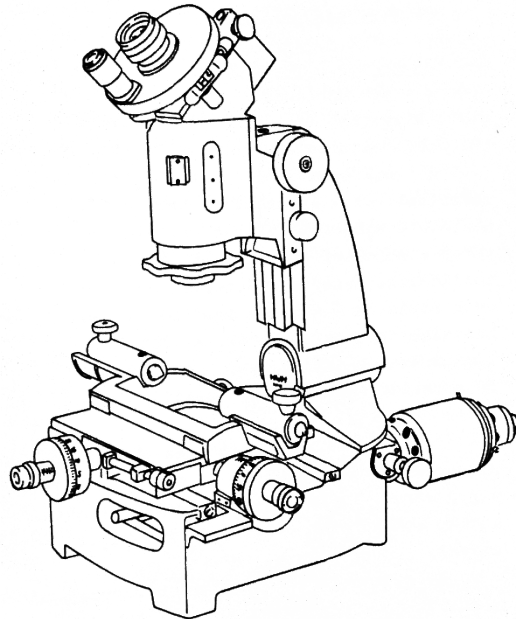
A mérőmikroszkóp (3.4 ábra) elsősorban egyszerűbb bemérésekre készült. A környezet vényét egy tükör (1) vetíti a tárgyasztalon elhelyezett munkadarabra alulról. Alulról történő megvilágítás esetében kontúrosabb képet kapunk. A konzol (3) és a finomállító (4) segítségével a munkadarab képét a mérés megkezdése előtt élesre állítjuk, és az okulárban (5) látható szálkeresztbe állítjuk a mérendő tárgy képét. A mikrométerorsón (6) leolvassuk a méretet, majd a mikrométerorsóval a tárgyasztalt elmozdítjuk, hogy a szálkeresztben a hossz méret másik végpontja legyen látható, közben vigyázni kell, hogy a mérés végig azonos irányú legyen, ne vigyünk be irányváltási hibát. Újra leolvassuk a mikrométerorsót, a két leolvasott méret közötti különbség a méret. [1]



3.4 ábra: Mérőmikroszkóp [1]

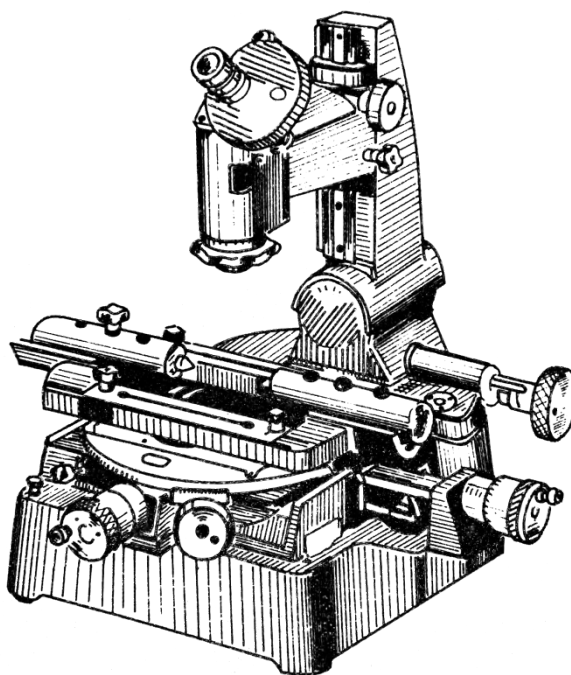
3.3.2 Műhelymikroszkópok

A kis műhelymikroszkóp (3.5 ábra) a mérőmikroszkópnál merevebb állványú. Koordináta-, menet-, szög-, alak- és hosszmerésekre alkalmas. Revolverfejes okulárral és vetítőernyővel is felszerelhető, ezzel összehasonlító mérésekre is alkalmas. Objektív cseréjével 10-, 15-, 30- vagy 50-szeres nagyítás érhető el. Kereszt- és hosszirányú méréstartománya 0-25 mm, de ez mérőhasáb behelyezésével 75 mm-ig növelhető. [1]



3.5 ábra: Kis műhelymikroszkóp [1]

A nagy műhelymikroszkóp (3.6 ábra) szintén hossz- és keresztirányú mérésekre, szög, alak, menet ellenőrzésre és koordinátamérésekre alkalmas. Mérési tartománya kereszt- és hosszirányba 0-25 mm, de mérőhasábok behelyezésével hosszirányba 150 mm-re, keresztirányba 50 mm-re növelhető. [1]



3.6 ábra: Nagy műhelymikroszkóp [1]

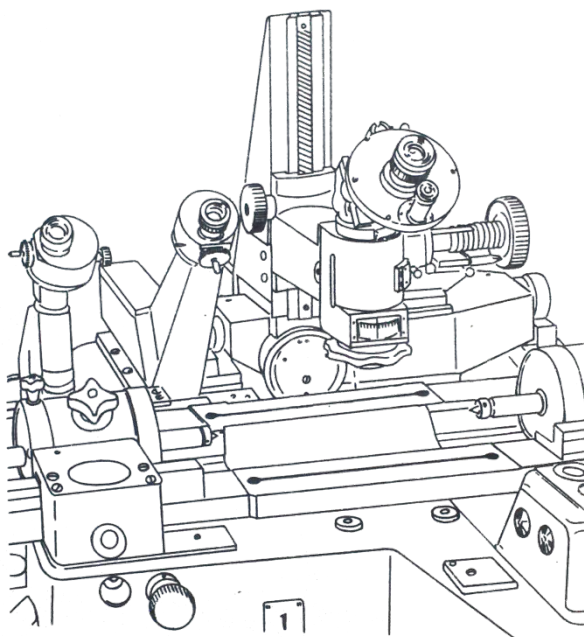
3.3.3 Egyetemes mérőmikroszkóp

Az egyetemes mérőmikroszkóp (3.7 ábra) nehéz öntöttvas ágygal készül. Finoman tükrösített és kemény vezetőfelületein görgős pálya van kialakítva a hossz- és keresztzán vezetésére. [1]

Eltérően az előzőktől, a hossz- és keresztzán elmozdítását nem mikrométercsavarral, hanem optikai leolvasó berendezéssel olvassuk le. Ezeket a leolvasó mikroszkópokat az ágyazaton találjuk. Mindkettőnek egymástól független megvilágító berendezése van.

Az üvegmércék a hossz- és keresztzánra vannak erősítve, azok osztásait leolvasó okuláron olvashatjuk le. [1]

Az egyetemes mérőmikroszkóp üvegmércés (Abbe-féle mérőelem) optikai leolvasó berendezése nagyságrendileg pontosabb leolvasást biztosít a kisebb mikroszkópok mikrométercsavaros leolvasási pontosságánál. [1]



3.7 ábra: Egyetemes mérőmikroszkóp [1]

A mikroszkóp tartozékaival rendkívül sokoldalú feladatok elvégzésére alkalmas. Vele külső és belső, hengeres és kúpos, valamint síkfelületek, szögek, menetek, fogaskerekek, vezértárcsák, büttyöstengelyek, alakos kések, szerszámok mérete ellenőrizhető. [1]

Hosszirányú méréstartománya 0-200 mm, a keresztirányú 100 mm. Leolvasási pontossága az üvegmérce és a spirálmikroszkóp alkalmazása következtében 1 μm . [1]

4. MODERN MÉRÉSI ELJÁRÁSOK

Napjainkban a legmodernebb mérési eljárás a munkadarab háromdimenziós modelljének a digitalizálása. A digitális modelltől bármilyen méret levehető, így alkalmas méretellenőrzésre, vagy akár az alkatrész továbbfejlesztésére és újragyártására. Ez a lehetőség tulajdonképpen a Reverse Engineering (fordított mérnöki tevékenység) alapját képezi.

4.1 Koordináta mérőgépek

A háromdimenziós geometriai adatnyerésnek alapvetően két fő változata alakult ki. Az egyik a tapintó csúcsokkal ellátott, úgynevezett koordináta mérőgépekkel (4.1 ábra) történik (CMM – Coordinate Measuring Machines; kézi- és automatikus vezérlésűek). Ezek a mérőgépek számítógép segítségével gyűjtik azoknak a térbeli pontoknak a koordinátáit, amelyeket a tapintó csúccsal megérintünk. Az így nyert adatok – az adott mérőgép típusától függően – igen pontosak, az ezred milliméteres pontosságot is elérhetik. Kezelésük nem túl egyszerű, és a magas költségük se teszi lehetővé széles körű elterjedésüket. [3]



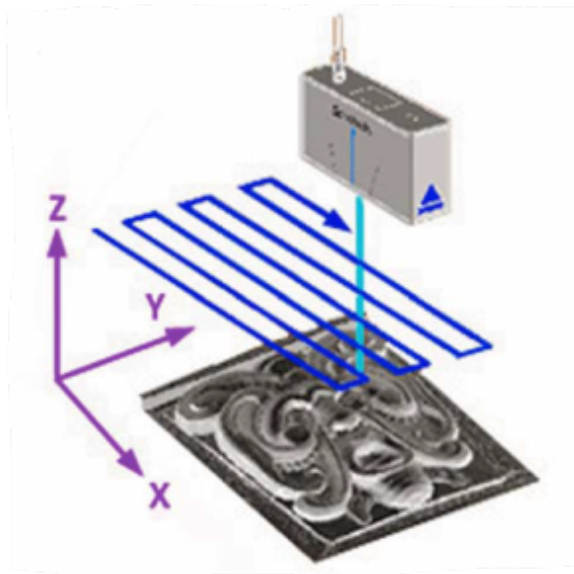
4.1 ábra: Hagyományos koordináta mérőgép [2]

A koordináta mérőgépek alkalmazásának előnye, hogy a méréseket nagy pontossággal képes elvégezni, illetve hagyományos eszközökkel nem mérhető alakzatok, munkadarabok mérésére is alkalmas. Hátránya, hogy a munkadarabot pozícionálni kell, hogy a mérőgép és az alkatrész koordinátarendszere illeszthető legyen. További hátrány, hogy a méreteket fizikailag lassan tudja levenni, a kijelölt mérési pontokat egymásután megközelítve és megérintve veszi fel.

4.2 Retrofit szkennelés

A másik jellegzetes adatnyerési lehetőség az, amikor a tapintó csúcs helyett egy lézeres berendezéssel, tapintás nélkül gyűjtjük a 3D-s adatokat. Ennek a módszernek is több változata létezik, amelyből most az ún. Retrofit eljárást részletezem. [3]

A 3D-s Retrofit szkennelésnél egy meglévő CNC marógép főorsójához rögzítjük a lézerfejet, és egy – a marógép vezérlő egységétől független – számítógéppel gyűjtjük a térbeli adatokat. Fontos megjegyezni, hogy bármilyen CNC marógépre utólag felszerelhető a Retrofit 3D-s szkennelést biztosító lézer egység (4.2 ábra). [3]



4.2 ábra: Retrofit szkennelés elve [3]

A térbeli pontok x , y és z koordinátáit a Retrofit szkennelési eljárásnál úgy tudjuk gyűjteni, hogy a CNC marógép főorsóját az x – y sík fölött egy állandó z magasságban a beszkennelendő objektum területe fölött mozgatjuk. A mozgatás során a lézerfej mintavételezését az x , y mozgatás lépéseivel szinkronizáljuk. A szinkronizáláshoz a CNC marógép léptetőmotorjainak vagy szinkronmotorjainak elektronikus jeleit használjuk. A mérőfej a kibocsátott lézersugár visszaverődéséből származó sugarakat két optikán keresztül egy-egy lineáris CCD-vel méri, a visszaverődés távolságának megfelelő mértékben, az adatgyűjtő számítógép a beszkennelt pontok szinkronizált, és egyben digitalizált x , y , z koordinátáit tárolja. [3]

A Retrofit szkennelési eljárás használatával pontos háromdimenziós modellt készít a munkadarabról, mely mérésre is alkalmas. Ellenben az eljárás legnagyobb hátránya, hogy a tömeggyártásba való illeszthetőség szempontjából hosszú az általuk elvégzett mérések átfutási ideje.

4.3 Fotogrammetria

A háromdimenziós modellhez szükséges adathalmazt a szkennelésen kívül más eljárással is elő lehet állítani. Ilyen eljárás a fotogrammetria.

A fotogrammetria olyan tudomány, amely a fényképről vett méretekből meghatározza a valós tárgyak kiterjedéseit. Térképészetben légi felvételek alapján a Föld felszínének leképezésére használják, de az utóbbi néhány évben a mérnöki tevékenységben is megjelent. Elsősorban az építészetben, épületek, területek digitalizálására, mérésére használják, majd az eljárás megjelent a munkadarab modellezésben is. [4]

Lényegében több fényképet (általában legalább hármat) készítenek az adott testről különböző szögekből, majd ezeket a képeket számítógépes szoftver fűsüli össze egy háromdimenziós modellé. A felvételek készítésekor a munkadarabot fekete-fehér, zebracsíkos mintával világítják meg, esetenként egymásután többször, különböző sűrűségű csíkozással. [5]

Az eljárás segítségével jelentősen gyorsabban lehet előállítani a munkadarab modelljét és a méréseket elvégezni, de a szkennelés folyamata körülményes, referencia pontokat kell meghatározni, hogy a szoftver össze tudja illeszteni a modellt a képek alapján. A folyamat nagy számítási képességű számítógépet és megfelelő szoftvert igényel, illetve nagyobb méretű testek szkennelését részletekben lehet elvégezni, amit majd a számítógépnek kell összekapcsolnia, ez tovább növeli a számítógépes teljesítményigényt.

4.4 Képfeldolgozás

Utóbbi években, az iparban egyre inkább elterjed az úgynevezett képfeldolgozás elvén alapuló mérés. Leegyszerűsítve a mérési eljárás lényege, hogy a munkadarabról készítenek egy képet és a mérést ezen végzik el egy előre meghatározott algoritmus alapján.

A módszer előnye, hogy a munkadarab összes mérendő felületét, alaksajátosságát egy időben lehet bevinni digitális formában a mérést végző számítógépbe, tehát nincs pozícionálási idő. Tovább növeli a feldolgozási sebességet az a lehetőség, hogy egyszerre több kamera képén is lehet mérést végezni, így a kritikusabb pontok külön feldolgozhatóak.

A módszer hátránya, hogy a kamera természetes terepe a sík, térbeli alakzatok mérése ezzel az eljárással nem vagy csak nagyon nehezen megoldhatóak.

5. MÉRÉS KÉPFELDOLGOZÁS ELVÉN

Az előzőekben ismertetett modern eljárások közül alapján megállapítható, hogy a koordináta mérőgépek, illetve a retrofit szkennerek átfutási ideje túlságosan nagy, a fotogrammetria elvén alapuló szkennelés pedig nagy számolási teljesítményt igényel. Alapvető méretek meghatározására nincs szükség a teljes modell előállítására, a folyamat túlságosan sok időbe telik és nagy teljesítményű számítógépes háttérrel igényel.

Ezen megállapítások fényében a képfeldolgozás a lehetséges megoldás. Az eljárás hátránya, hogy a kamera által készített kép csak kétdimenziós információt tartalmaz, tehát csak síkban van lehetőség mérések végzésére. Ez a hiányosság kiküszöbölhető azzal, hogy a vizsgált alkatrészek – bonyolult vonalvezetésű rugók – méretei két egymással szöget bezáró síkban vizsgálhatóak.

Az eszközök kiválasztása, a rendszer összeállítása és a szoftveres algoritmus kialakítása előtt mindenféleképpen szükséges a képfeldolgozás irodalmi háttérének megismerése.

5.1 A képfeldolgozás kialakulása

Már az 1950-es években megjelentek az igények a nagy pontosságú képfeldolgozásra (például radarképek kiértékelésénél), ekkor már a technikai háttér alkalmas volt, hogy az analóg felvételeket A/D konverzió segítségével digitális képpé alakítsák. Az évtized végére komolyabb feldolgozási művelet is el tudtak végezni, de a korai hardveres háttér miatt ezeknek az átfutási ideje óriási volt. [6]

Az 1970-es években az ipar felismerte, hogy automatizálási alkalmazásokban lehetetlen ezt a technológiát adaptálni megfelelő elméleti háttér nélkül. A kutatók egzakt vagy matematikailag közelítő eljárásokat dolgoztak ki. Az évtized végére megjelent a képfeldolgozás alkalmazása az ipari folyamatokban és terjedése a polgári felhasználások irányába is megkezdődött. [6]

Az 1990-es évekre a képfeldolgozás a mindennapi élet része lett. Olyan területeken, mint például az orvosi képfeldolgozás, ipari folyamatszabályozás, minőség-ellenőrzés, optikai karakterfelismerés. Az árak folyamatos csökkenésével mindenki számára elérhetővé vált.

A fejlődési tendenciák egyre jobban a háromdimenziós látás megvalósítása felé tartanak, ezzel megvalósítva az intelligens gépi látást. [6]

5.2 Kép előállítása

Képfeldolgozó elven működő berendezéseknek két lényeges feladat elvégzését kell megvalósítaniuk. Ezek közül az egyik a kép előállítása, másik pedig az előállított kép feldolgozása számítógépes algoritmusok felhasználásával. A következőkben ennek a két feladatnak az elméleti háttérét ismertetem, kimondottan a kamerás képelőállításra koncentrálva.

5.2.1 A fény

Környezetünk megismeréséhez, jelen esetben a környezetről készített kép előállításához információt kell szerezni a környezetről, tehát érzékelni kell. Ezt a feladatot látják el a fényérzékeny szenzorok, melyek technikai kialakítását az 5.2.4 fejezetben részletezem. Ezek a szenzorok a környezet érzékelését a felületükre érkező fénysugarak alapján érzékelik.

A fény kettőstermészetű jelenség, kép előállítása során mind a kettő természete fontos szerepet játszik. A fénynek egyrészt van egy részecske természete, tehát fotonok formájában energiát tud közvetíteni. Ezt az energiamennyiséget érzékelik a fényérzékeny szenzorok és alakítják elektromos jellé. Második természete, a hullámtermészete. A fény egy elektromágnesen hullám, mely haladási irányára merőleges összes irányba hullámozik. Polárszűrő segítségével a hullámozást egy meghatározott irányra lehet korlátozni, ezzel megoldható például a kellemetlen visszaverődések kiszűrése. A hullámjelenség másik fontos tulajdonsága a hullámozás frekvenciája, mely meghatározza a fény színét. Ennek jelentősége a színes képek előállítása során érdekes. [7]

5.2.2 A kép matematikai függvénye

Az érzékelt kép matematikai függvénnyel leírható. Ez a függvény fizikai tartalommal rendelkező változóktól függ, ez alapján a kép lehet egydimenziós (például időtől függő), kétdimenziós (például két koordinátától függő), háromdimenziós (például térbeli alakzatot leíró) vagy többdimenziós.

A függvényeket három kategóriába sorolhatjuk: folytonos, diszkrét és digitális. Folytonos függvények az értékkészlete és az értelmezési tartománya is tetszőleges értéket vehet fel, diszkrét függvény esetén az értékkészlet nem folytonos, csak diszkrét értéket vehet fel, digitális függvény esetén pedig mind az értékkészlet, mind az értelmezési tartomány csak diszkrét érték lehet. [8]

Az általános értelemben vett képet matematikailag $f(x,y)$ folytonos, kétváltozós függvénynek modellezzük, ahol (x,y) a kép síkjának koordinátái. Előfordul, hogy ez a függvényt $f(x,y,t)$ háromváltozós függvényre bővítik, ahol t az idő. [8]

A (szürkeárnyaltos) képet leíró matematikai függvény értékei megfelelnek a kép adott pontjában lévő világosságnak. A világosság különböző optikai mennyiségeket egyesít egy alapvető mennyiségbe. A különböző mennyiségek vizsgálatának akkor van értelme, ha a képet három-dimenzióban kell feldolgozni, dolgozatomban a képet síkban (két-dimenzióban) szándékozom feldolgozni, tehát nem kell ezeknek a mennyiségeknek a tartalmával foglalkoznom. Két-dimenziós képeken a világosság a kontúrok meghatározásakor lesz mérvadó, a kontúrok feldolgozásával az 5.3.1 fejezetben foglalkozom.

Ahhoz, hogy a kép számítógéppel feldolgozható legyen, egy közelítő digitális adathalmazra van szükség, például egy mátrixban. A mátrixban megadott digitalizált képben a koordináták természetes számok. A kép függvényének értelmezési tartománya egy R terület a síkban,

$$R = \{(x,y), 1 \leq x \leq x_m, 1 \leq y \leq y_n\}, \quad (2)$$

ahol x_m, y_n a maximális kép koordináták. A kép függvényének értékkészlete szintén korlátozott, egy fekete-fehér kép esetén a legalacsonyabb érték a feketének felel meg, a legmagasabb érték a fehérnek felel meg. A világosság értéke ezekkel a határokkal a szürke-szinteknek felel meg. [8]

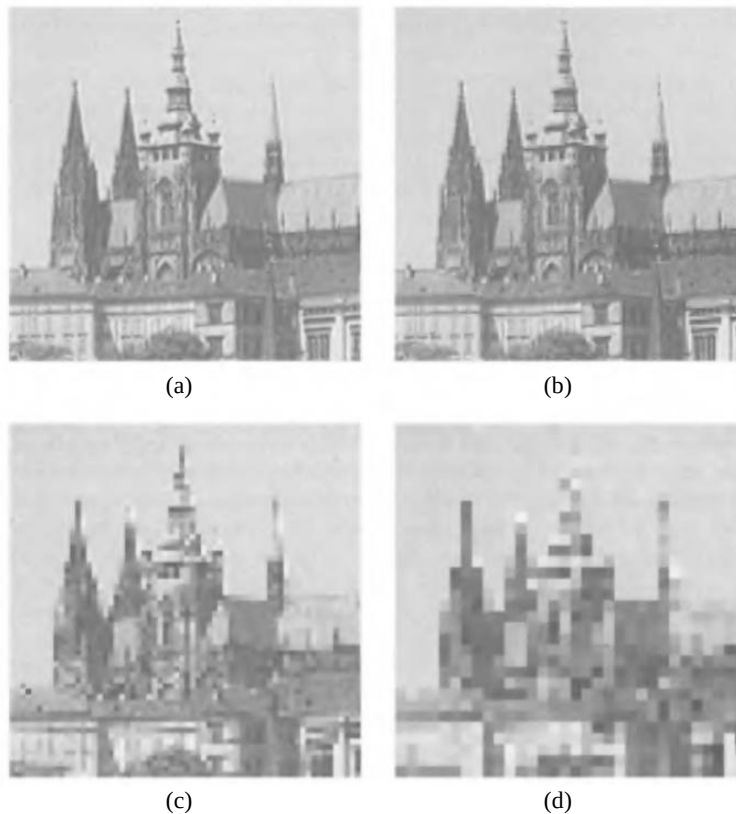
5.2.3 Képdigitalizálás

A szenzor által előállított kép $f(x,y)$ folytonos, kétváltozós függvény. A digitális kép mátrixának előállításához két műveletre van szükség. Egyik során a kép $f(x,y)$ függvényét egy mátrix M sorába és N oszlopába mintavételezzük. A másik művelet a kvantálás, mely során a függvény világosság értékét egy K intervallumba osztjuk. [8]

Annál jobban közelíti a digitális kép a folytonos függvényt, minél finomabb a mintavételezés (minél nagyobb M és N) és a kvantálás (minél nagyobb K).

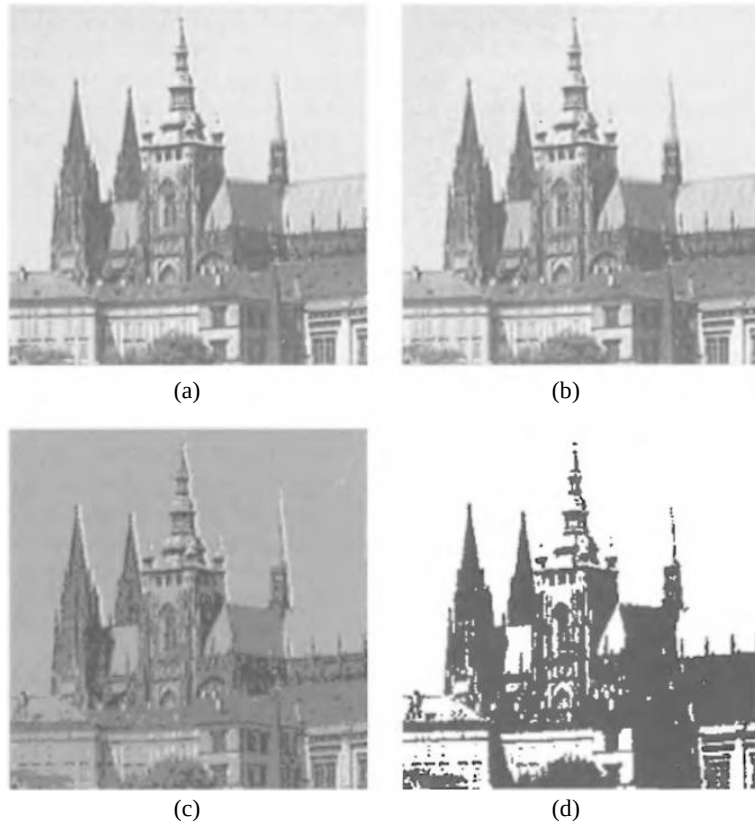
A mintázás elvét Shannon törvénye foglalja össze, miszerint ahhoz, hogy az eredeti jel (kép folytonos függvénye) visszaállítható legyen, a mintavételezés frekvenciáját legalább a jelben előforduló legnagyobb frekvenciájú összetevő kétszeresére kell választani. Mintavételezés során meg kell határozni egy hálót (egy rácsot), és a háló pontjaiban

(mintavételi pontok) mintát veszünk az eredeti képből. A mintavett pontokat kép elemeknek, vagy pixeleknek nevezzük és ezeknek a pixeleknek a vízszintes- és függőleges irányba vett száma meghatározza a felbontást. Az 5.1 ábra bemutatja, hogy a felbontás csökkentése milyen mértékű információvesztést okoz.



5.1 ábra: Mintavételezett kép (a) 256×256 , (b) 128×128 , (c) 64×64 , (d) 32×32 pixel felbontás mellett.[8]

Kvantálás során minden pixel világosság értékét k darab egyenlő méretű intervallumba osztjuk. Amennyiben b bitet használunk fel, hogy egy pixel világosságát szétosszuk, $k = 2^b$ egyenlő intervallumba tudjuk osztani a világosság szinteket. A kontúrok hibás meghatározásának legfőbb oka a kvantálási hiba. Amennyiben a világossági szinteket túlzottan kicsinek választjuk meg, a kép fontos információtartalmát veszíthetjük el. A hiba elkerüléséhez érdemes legalább 100 világossági szintet meghatározni a kvantálás során. A ábra bemutatja, hogy a kvantálás bitszámának – tehát a szürkeségi szintek számának – megválasztása milyen mértékű információvesztést okoz. [8]



5.2 ábra: Kvantált kép, (a) 64, (b) 16, (c) 4, (d) 2 bit szürkeségi szinttel. [8]

5.2.4 Kamera

Az általános értelemben vett képet sokféle módon elő lehet állítani, mint például fényérzékeny szenzor (kamera) felhasználásával, elektromágneses (EM) módon, mágneses rezonancia (MR) elvén vagy lézer mammográfia (CT) elvén. Jelen dolgozatban csak a kamerával előállított képpel foglalkozom. [8]

A fény érzékeny szenzor a felületére érkező fény intenzitását érzékeli, és ennek megfelelően alakítja át a valóság képét számunkra feldolgozható elektromos jelekké. A kamerákban általában található fényérzékeny szenzorokat alapvetően két csoportba soroljuk.

Az egyik a fény-emisszió elvén alapuló szenzorok. Működése lényegében annyi, hogy a szenzorra érkező foton sugárzás formájában energiát közöl, minek hatására az egy szabad elektront bocsájt ki. Ez a jelenség elektromosan érzékelhető. [8]

Másik csoportja a fényérzékeny szenzoroknak, a fotovillamosság elvén működő érzékelők. Alkalmazásuk széleskörűen a félvezetők feltalálásával és térnyerésével terjedt el. Működésük annyiból áll, hogy a becsapódó fotonok energiájának hatására a félvezető vegyérték héját elhagyja egy elektron, mely a vezető héjra lép át. A kimozdított elektron

feszültség forrás, mely hatására növekedni fog az áramerősség. Ez az áramerősség növekedés a beérkező energiával – vagyis a fotonok számával – arányos. [8]

Napjainkban a kamerákban félvezetős fényérzékeny szenzorokat használnak, ennek is két típusa terjedt el. Egyik az úgynevezett CCD-k (charge-coupled devices – töltés-csatolt eszköz), a másik pedig az úgynevezett CMOS (complementary metal oxid semiconductor – komplementer fém-oxid félvezető). [8]

A CCD szenzorban minden egyes pixel töltését egyetlen kimeneten keresztül váltják át feszültségre, ezeket az értékeket egy buffer összegyűjti, majd elküldi a lapkáról analóg jel formájában. Legnagyobb hátránya a CCD-k alkalmazásának a kis fénytartományban való használhatóság. Ezzel szemben előnye a nagy érzékenység (sötétben is alkalmas kép készítésére) és az alacsony zajszint. Digitális kamerákban, fényképezőgépekben széleskörben alkalmazzák. [8]

A CMOS szenzorokban minden egyes pixelnek saját töltés-feszültség átváltója van, és sok esetben a szenzorba beépítik az erősítőt, a zajszűrőt és a digitalizáló kört is, így a kimenetén digitális jelet ad. Ezeknek a funkcióknak az egybeépítése növeli az eszköz komplexitását, ugyanakkor lehetőséget ad arra, hogy egy lapkán elvégezzük a szükséges képfeldolgozást is. Ezzel megvalósíthatóak lesznek az úgynevezett Smart-Camera-k (okos kamerák). A CMOS érzékelők nagy előnye, hogy nagyobb fénytartományban alkalmazhatóak, mint a CCD-k, továbbá nagy sebességgel lehet olvasni és az egyes pixelek egymástól függetlenül is elérhetőek. Hátrányuk a CCD-knél nagyobb zajszint. [8]

A fentebb említett fényérzékelő szenzorok önmagukban monokromatikus (szürkeárnyaltos) képet állítanak elő, de különböző megoldásokkal elérhető, hogy az érzékelt kép színes legyen. Ilyen megoldás például a színszűrők alkalmazása, vagy a fény színösszetevőkre történő szétbontása prizmák segítségével. [8]

5.3 Kép feldolgozása

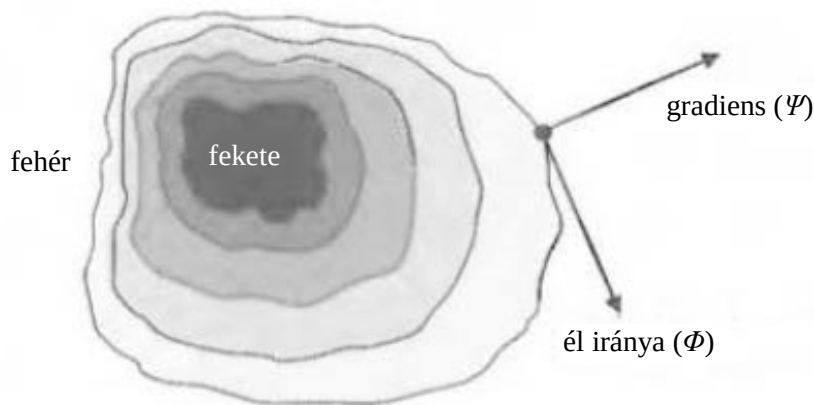
A különböző célú igények számára rengeteg képfeldolgozási algoritmust kidolgoztak, melyeket egy korszerű képfeldolgozó szoftver alkalmazása esetén előre programozott módon lehetőségünk van használni. Lehetőségünk nyílik a képen pontokat, vonalakat, alakzatokat vagy akár színeket keresni, összehasonlításokat végezni egy előre meghatározott mintához képest illetve mérni. A számtalan lehetőség közül dolgozatomban csak az élkeresés elméleti háttérét mutatom be, mert a feladat szempontjából egyedül ez lényeges.

5.3.1 Élkeresés

Az élek egy képen az emberi szem számára olyan jelenségek, melyek nagy fontosságúak egy kép megítéléséhez, nagy mennyiségű információt tartalmaz megértésükhöz. Digitalizált kép esetében az élek olyan pixelek, ahol a kép intenzitás függvénye (világosság) hirtelen megváltozik. Az élkereső algoritmusok ezt a hirtelen változást képesek megtalálni, emiatt az egyik legfontosabbak az algoritmusok közül.

Az intenzitás függvény egy folytonos függvény, melyben a változás meghatározható a deriváltak alapján. A kép függvényértéke két változótól függ – a kép síkjának koordinátáitól – tehát az éleket meghatározó operátorok a parciális deriváltak kiszámításával írhatóak le. A kép függvényében történő változás leírható egy gradienssel, mely a kép függvényének legnagyobb változása irányába mutat.

Az él egyetlen különálló pixel tulajdonságaként értelmezhető, mely meghatározható a kép függvényének a pixel környezetében tapasztalható viselkedéséből. Az él nem más, mint egy vektorváltozó két összetevővel, nagysággal és iránnyal. Az él-vektor nagysága megfelel a gradiens nagyságának, iránya (Φ) pedig merőleges a gradiens irányára (Ψ) és hozzá képest -90° -ot zár be (5.3 ábra).



5.3 ábra: A gradiens iránya (Ψ) és az él iránya (Φ)

A gradiens nagysága ($|grad\ g(x,y)|$) és a gradiens iránya (Φ) folytonos kép függvények és meghatározhatóak az

$$|grad\ g(x,y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2}, \quad (3)$$

$$\psi = \arg\left(\frac{\partial g}{\partial x}, \frac{\partial g}{\partial y}\right) \quad (4)$$

összefüggésekkel, ahol $\arg(x, y)$ az (x, y) pontnak az x (vízszintes) tengellyel bezárt szöge radiánban.

A gradiens operátorokat – mint az él tisztaságának mérőszámát – három kategóriába lehet sorolni:

1. Operátorok, melyek a kép függvényének deriváltjait különbségek felhasználásával közelítik. Közülük néhány forgatásra invariánsak (például a Laplace operátor).
2. Operátorok, melyek a kép függvény második deriváltjának nulla-átmenetén alapulnak (például a Canny élkereső).
3. Operátorok, melyek a kép függvényét egy parametrikus élmodellhez próbálják illeszteni.

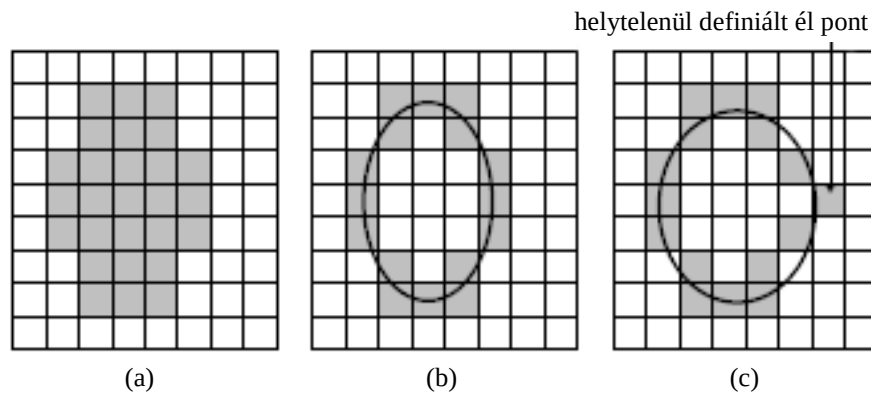
5.3.2 Sub-pixelek

Az élkereséssel meghatározható él pontossága korlátozott. Ennek oka, hogy az él egyetlen pixel tulajdonsága, ezért a pontosság korlátja a felbontás. Minél finomabb a felbontás, annál nagyobb pontossággal lehet meghatározni az éleket és az él által meghatározott alakzatok kiterjedését, méretét.

Ez a korlát komoly következményekkel jár a képfeldolgozó elven működő berendezések használatára, a kamerák felbontásának növelése nagymértékben megnöveli ezeknek az eszközöknek a költségét.

Megoldást jelenthet, ha pixelek diszkrét változását egy folytonos függvénnyel közelítjük, így pontosabban határozhatóak meg, hogy egy pixelen belül hol található az él. Ezt a megközelítési módot sub-pixeles élkeresésnek nevezzük. A ma létező sub-pixeles élkereső módszereket három fő csoportba lehet sorolni: görbe-illesztés módszere, nyomaték-alapú módszer és rekonstrukciós módszer. [9]

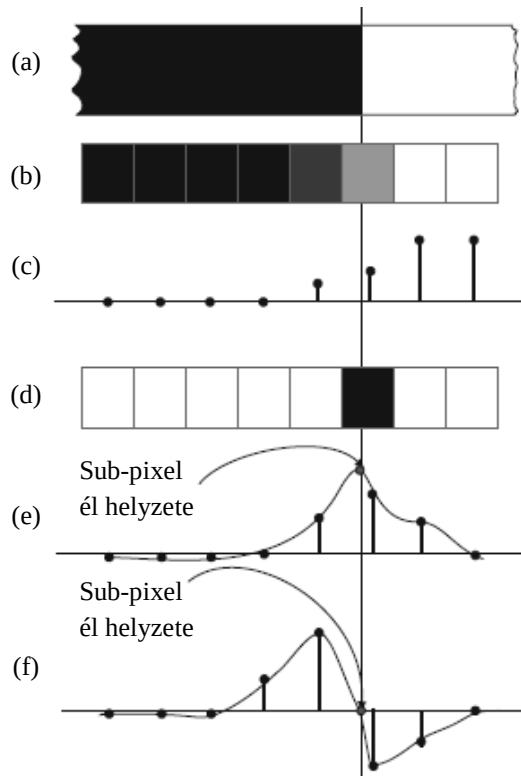
A görbe-illesztés módszer működésének lényege, hogy egy hagyományos élkereső módszerrel meghatározott, pixel pontosságú él pontjaira egy folytonos kontúrt épít görbék illesztésével (5.4 ábra (a) és (b)). A görbe-illesztés módszerének pontossága nagyban függ a pixel szintű él meghatározás pontosságától. Erre a módszerre épülő élkereső eljárások érzékenyek a rosszul definiált él pontokra (5.4 ábra (c)). [9]



5.4 ábra: Sub-pixel pontosságú élkeresés görbe-illesztés módszerrel, (a) bemeneti kép, (b) helyesen érzékelt élre illesztett görbe, (c) helytelenül érzékelt él pontra illesztett görbe

A nyomaték-alapú módszer kép nyomatékok felhasználásával határozza meg az élek helyzetét. A nyomatékok meghatározhatóak az adott pixeltől a pixel négyzetes szomszédjainak súlypontjaiba mutató vektor tulajdonságai alapján. Az első nyomaték-alapú módszer kidolgozásakor (1981) az élt tartalmazó területet integrálták és az éleket az integrált területen belül található nyomatékok alapján határozták meg. [10]

A rekonstrukciós módszer az éleknél újraalkotja az eredeti kép intenzitás függvényét egy közelítő függvénnyel. A él kép intenzitás függvényét modellező függvény tulajdonságai alapján határozza meg a sub-pixel pontosságú élt. A élt lemodellező függvény előállítását a diszkrét kép függvénynek folytonos függvénnyel történő közelítésével történik [9]. Ezt parametrikus élmodellek nevezik, a diszkrét kép intenzitás függvény felfogható az alapjául szolgáló folytonos vagy szakaszonként folytonos kép intenzitás függvény mintázott és zajos közelítéseként. A folytonos függvény nem ismert, viszont becsülhető a diszkrét függvény alapján, és így ebből a folytonos, becsült függvényből meghatározhatóak a kép tulajdonságai. A kép modellezése egyetlen folytonos függvénnyel egy magas fokú intenzitás függvényt eredményez, de ebből gyakorlatilag lehetetlen a meghatározni a kép intenzitásokat. Ezzel szemben a szakaszosan folytonos függvény csak a pixeleket és közvetlen szomszédjait becsüli [8]. Az él sub-pixel pontossággal történő meghatározása az 5.5 ábrán látható. A szakaszosan folytonos függvényt felhasználva hagyományos módszerekkel – a kép függvényének első deriváltja alapján (5.5 ábra (e)) vagy a kép függvény második deriváltjának nulla-átmenete alapján (5.5 ábra (f)) – meghatározható az él helyzete sub-pixel pontossággal.

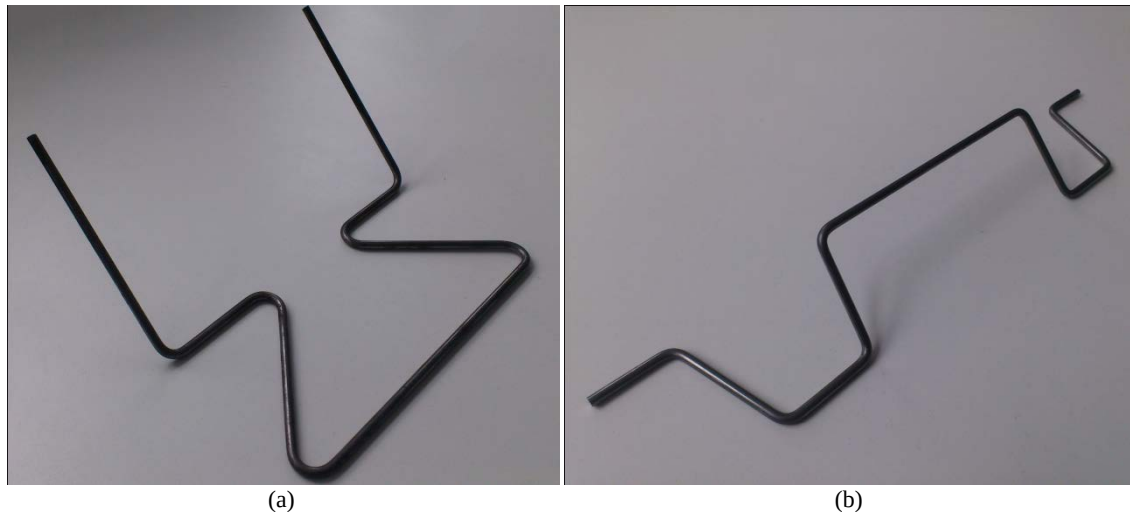


5.5 ábra: Sub-pixel pontosságú élkeresés rekonstrukciós módszerrel, (a) eredeti látvány, (b) látvány képe, (c) él intenzitás profilja, (d) él durva helyzete, (e) él sub-pixel helyzete első derivált alapján, (f) él sub-pixel helyzete második derivált alapján.

Parametrikus élmodellek használatával az élkeresés során javítható a pontosság, így a felbontás növelésének igénye csökkenthető, tehát költséghatékony megoldás. Sub-pixelek felhasználásával egy nagyságrenddel növelhető az élek meghatározásának pontossága.

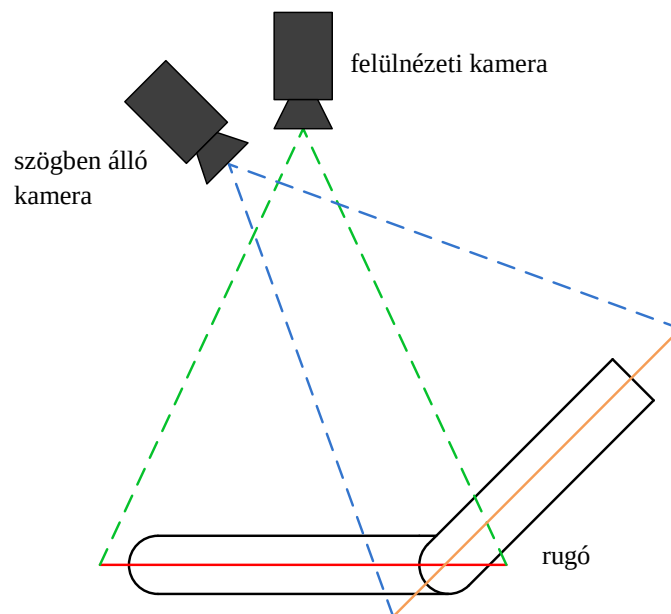
6. MÓDSZER

Képfeldolgozó elven működő eljárással csak a felvételt készítő kamerára merőleges síkjában lehet mérésre alkalmas képet készíteni. Ennek oka, hogy a rádiuszok még a betekintési szög ismeretében sem határozhatóak meg egyértelműen. Jelen dolgozatban vizsgált alkatrészek – bonyolult vonalvezetésű rugók – térbeli alakzatok. Az említett rugók a 6.1 ábrán láthatóak. A két alkatrész térbeli kiterjedés szempontjából hasonló, jelen dolgozat további részében csak az 1-es számú rugóval foglalkozom.



6.1 ábra: Bonyolult vonalvezetésű rugók, (a) 1-es számú rugó, (b) 2-es számú rugó

Megfigyelhető, hogy a térbeliség ellenére két egymással szöget bezáró síkban vizsgálható a rugó (6.2 ábra). Ennek értelmében két kamerával kell a felvételeket elvégezni, egy függőleges (vagy felülnézeti) kamerával és egy szögben álló kamerával.



6.2 ábra: Rugó vizsgálata két szögben álló síkban.

Jelen dolgozatban csak a felülnézeti kamerával foglalkozom. Amennyiben a vizsgálatok során a módszer használhatónak bizonyul, kiterjesztése (mind a mérőprogram, mind a berendezés) könnyen megoldható.

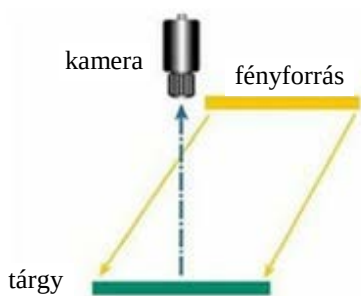
6.1 Elrendezés

Kamerás vizsgálat esetében figyelembe kell venni számos körülményt és beállítást, mint a megvilágítást, a felvétel készítésének távolságát és irányát, illetve a hagyományos kameralencsék esetében a torzítást. A kamera beállításai közül pedig a felbontás kiválasztása a mérvadó. A következőkben ezeknek a körülményeknek a hatásait taglalom, illetve ezek alapján meghatározom a mérőberendezésen belüli elrendezést.

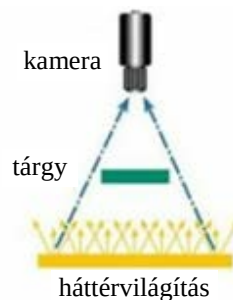
6.1.1 Megvilágítás

A kamerák működésének lényege, hogy a kép készítése során egy blende (takarólemez) nyílik ki és az megfigyelt tárgyról visszavert fényt a fényérzékeny szenzorra engedi. A visszavert fény fogja kirajzolni az alkatrész körvonalát a kamera érzékelőjén. A nem megfelelő megvilágítás árnyékvetüléseket okoz, melyek rontják a körvonal megítélését.

Megvilágítással kapcsolatban két csoport alakult ki, egyik a kamera oldali megvilágítás (6.3 ábra), másik a munkadarab oldali megvilágítás (6.4 ábra).

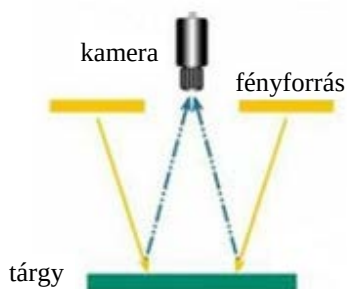


6.3 ábra: Kamera oldali megvilágítás [11]

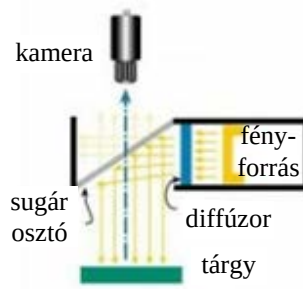


6.4 ábra: Munkadarab oldali megvilágítás [11]

Kamera oldali megvilágítással kapcsolatban több módszer terjedt el. Cél, hogy minél inkább a kamera szemszögéből történjen a megvilágítás, így az árnyékvetődés minimalizálható az alkatrész alá. Megoldások például a gyűrű megvilágítás (6.5 ábra), vagy fátyol megvilágítás (kamera tükrözése és egyesítése a megvilágítással) (6.6 ábra).



6.5 ábra: Gyűrű megvilágítás [11]



6.6 ábra: Egytengelyű fátlyol megvilágítás [11]

Megvilágítási probléma az alkatrész csillogása. A csillogás minden esetben visszavert fény, tükröződő felületek esetén (például fólia vagy fém) és csak a kamera oldali megvilágítás esetén beszélünk róla. A gyakorlat, szűrők alkalmazásában talált megoldást a problémára. A csillogás megszüntetésére polárszűrőket alkalmaznak.

Alkatrész oldali megvilágítást főként akkor alkalmaznak, ha a munkadarab körvonala a fontos. Ügyelni kell a lehető legegyszerűsebb megvilágításra az árnyékvetődés miatt. Ebben az esetben a kamera képe kontrasztos alakzat lesz, felületi részletek (felület színe, anyaga, rányomtatott információ) elvesznek.

Jelen feladatban – az alkatrész méreteinek méréséhez – a kontrasztok érzékelése lesz a mérvadó, tehát a megvilágítási lehetőségeket számba véve egyértelműen meghatározható, hogy tárgy oldali megvilágítást kell alkalmazni.

6.1.2 Irány, távolság és felbontás:

A felvételek készítésének az irányait már a fejezet elején érintettem. Két kamerával a két meghatározó síkra merőlegesen kell felvételt készíteni. Ezek közül egyik függőleges irányú, másik pedig az asztal síkjával 45° -ot bezáró irányú.

A kamera távolsága és a felbontás összefüggő paraméterek. A kamera felbontását úgy kell megválasztani, hogy a felvétel pixelszáma a mérni kívánt pontossáig felbontsa azt. A rugó mérete a felülnézeti síkban $206 \times 100 \text{ mm}$, a szögben álló síkban pedig $206 \times 130 \text{ mm}$. A nagyobbik méretet figyelembe véve, ha tized milliméter pontossággal akarok mérni, akkor legalább 2060×1300 pixel felbontást kell elérni. Hagyományos élkeresési módszert alkalmazva a tized milliméter pontosságú méréshez százados felbontást kellene megoldani, de sub-pixeles élkeresét alkalmazva egy nagyságrenddel javítható a mérés pontossága. Felfelé kerekítve a legközelebbi szabványos felbontás az 5 megapixel, mely 4:3 képarányban 2584×1936 pixelt eredményez, tehát legalább ilyen felbontású érzékelőre van szükség.

A kamera távolságát úgy kell beállítani, hogy a fentebb meghatározott 2584×1936 pixeles kép egy $258,4 \times 193,6 \text{ mm}$ nagyságú területen belül legyen, ezáltal biztosítható a $1 \text{ pixel} < 0,1 \text{ mm}$ feltétel. Ehhez érdemes egy olyan konstrukciót kialakítani, melyen a kamera távolságok állíthatóak.

6.1.3 Torzítás

A hagyományos kameralencsék ipari feladatokra történő alkalmazásának fő problémája a kamera torzítása. A köznap felhasználású lensék egy pontba fókuszálnak és csak ebben a pontban készítenek éles képet, a fókuszponttól távolodva a kép élessége romlik és torzul. Torzult képről méretet megállapítani nem célszerű, mert nem lesz valós a vizsgált méret. Megoldás a torzulás kiküszöbölésére a kompenzált lencsével szerelt kamerák alkalmazása. Ilyen eszközök alkalmazása esetén a teljes vizsgált kép éles és torzulásmentes lesz.

Esetekben, mikor nem áll rendelkezésre kompenzált lencsés kamera, a torzítási probléma javítható szoftveres megoldásokkal is.

6.2 LabView 2009 bemutatása

Az elkészített felvétel feldolgozásához a National Instruments által fejlesztett LabView 2009 folyamatirányítási szoftvert használtam. A LabView egy multifunkcionális mérnökinformatikai alpprogram, melyez számtalan célorientált modul adható hozzá a legkülönbözőbb feladatok elvégzésére [12]. Ahhoz, hogy képfeldolgozási feladatok elvégzésére is alkalmas legyen a program, szükséges kiegészíteni a Vision Development modullal, mely több mint 250 elemet tartalmaz az alapvető képfeldolgozó műveletektől egészen a komplex algoritmusokig.

A új program létrehozásakor a LabView-ban két ablak jelenik meg. Az egyik a Front Panel, ahol megformázható az elkészítendő program kezelőfelülete, a másik pedig a Block Diagram, ezen a felületen történik a program létrehozása blokkorientált nyelven. Jobb gombbal kattintva a felületeken, a különféle csomópontokat vagy kezelőeszközöket tartalmazó függvény eszköztár jelenik meg. Az elhelyezett csomópontokat vezetékekkel (wire) kell összekötni a bal gomb segítségével. [12]

A szoftver az elkészített programokat .vi kiterjesztésű fájlokba menti. Ezek különlegessége, hogy VI-on (Virtual Instrument) belül lehetőség nyílik más VI-okat (subVI-okat) is meghívni és futtatni. [12]

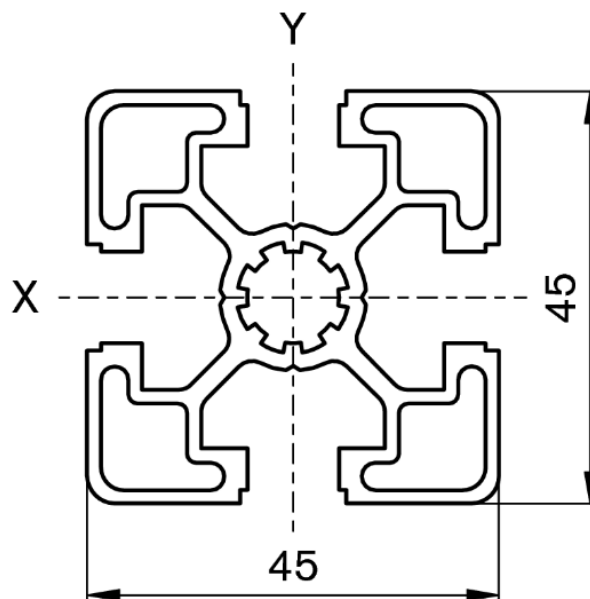
7. ESZKÖZ

Az előző fejezetben megfogalmazottak alapján ki kell alakítani egy berendezést, mely megoldja a vizsgálathoz szükséges két kamera helyzetének és irányának biztosítását, és a rugó feszítés nélküli támasztását/tartását úgy, hogy a szükséges megvilágítás az alkatrész alatt legyen elhelyezve.

7.1 Keret

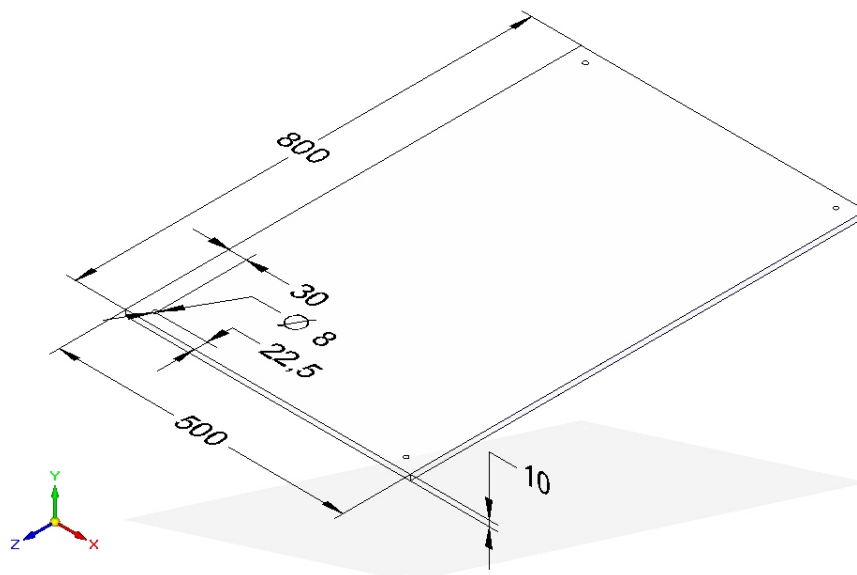
A kerettel szemben támasztott követelmény, hogy a kamerák pozícionálását megoldja, illetve ki legyen rajta alakítva egy olyan felület, amire ráhelyezve a vizsgált rugókat, alulról megvilágítható. Lehetőleg olyan megoldás választása a célszerű, mely szerelése egyszerű, így könnyen megoldható a kameratávolságok beállítása. További szempont, hogy a keretbe helyezett alkatrész hozzáférhető legyen a későbbi automatizálhatóság miatt. Tervezetten a rugók behelyezését, illetve eltávolítását manipulátorokkal lehetne megoldani.

A keret elemeinek Bosch Rexroth 45×45 L alumínium profilt választottam. Választásom fő oka az egyszerű szerelhetőség és a tetszőleges méretre vágás lehetősége. Az alumínium profil alkalmazásának fő hátránya a magas ár. Az alumínium profilok keresztmetszete a 7.1 ábrán látható, a feltüntetett méretek milliméterben értendők. A profilok egymáshoz erősítéséhez Bosch Rexroth Winkel 45×45 sarokkonzolt választottam, az összeszerelést M8-as hatlapfejű csavarokkal, M8-as kalapácsfejű anyacsavarokat használtam.



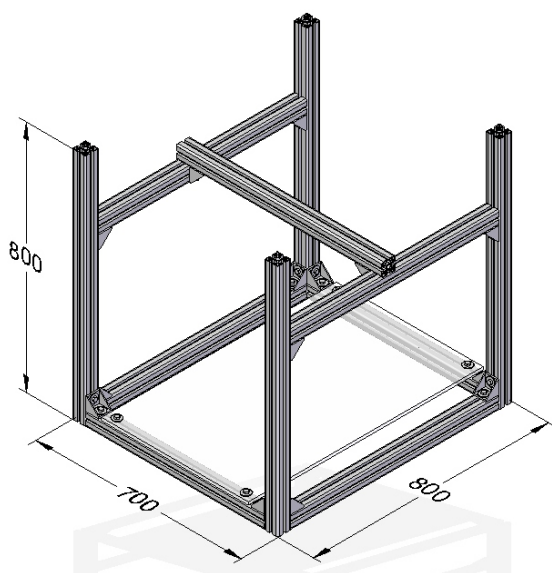
7.1 ábra: Bosch Rexroth 45×45 L alumínium profil keresztmetszet

Az alulról történő megvilágítás megvalósításához egy átlátszó asztalra van szükség. Ezt az igényt tökéletesen kielégíti egy plexi lap, melyet a keret alsó elemeire erősítettem, így elegendő hely kínálkozik alatta a világítás elhelyezésére. A plexi lap 3D-s modellje a feltüntetett méreteivel a 7.2 ábrán látható, a feltüntetett méretek milliméterben értendők.



7.2 ábra: Plexi lap 3D modell

A keret kialakításához szükséges profilelemeket a XXL Mechanika kft. biztosította számomra. A keret és a ráerősített plexi lap 3D-s modellje (a) és az összeszerelt keret (b) a 7.3 ábrán látható, a feltüntetett méretek milliméterben értendők.



(a)



(b)

7.3 ábra: A berendezés kerete, (a) 3D CAD modell, (b) megvalósított keret.

A keret szilárdsági méretezésére nincs szükség, a profiloknak mindösszesen a kamerák tömegét kell megtartania, egyéb terhelés üzemeltetés közben nem éri a berendezést.

7.2 Világítás

A világítással kapcsolatban támasztott követelmény, hogy minél szórtabb, egyenletes fényt biztosítson. Kézenfekvő megoldásnak kínálkozik egy LED égősor elhelyezése a plexi lap alá, és a minél egyenletesebb megvilágítás előállítása érdekében a plexi lapot egy fehér színű, fényáteresztő papírlappal letakarni. A papír alkalmazásának további előnye, hogy a rugók behelyezése és eltávolítása során esedékesen keletkező karcolásoktól megvédi a plexit, illetve a rányomtatott rácsosztást fel lehet használni kalibrációhoz.

7.3 Kamera kiválasztása

A kamerákkal szemben támasztott elvárás, hogy érzékelőjük legalább 5 megapixeles felbontásra legyen képes, és mind ezt 4:3 képarányban, tehát a készített kép 2584×1936 pixelből épüljön fel.

Az ipari rendeltetésű kamerák között ritkaságnak számít az 5 megapixeles felbontással rendelkező példányok. Bevált gyakorlat, hogy kisebb (1-2 megapixeles) felbontású eszközöket alkalmaznak, és minden egyes vizsgált ponthoz helyeznek egyet. Olyan esetekben használatos a nagyobb felbontás, ahol egy vizsgált területen több kamerát ki lehet vele váltani. Az ipari kamerák legnagyobb előnye, hogy megbízhatóak, könnyen felszerelhetőek, torzításmentes lencsével rendelkeznek és a legkülönbébb objektíveket fel lehet rájuk szerelni. Ezzel szemben komoly hátrányuk a magas árak. Egy 5 megapixeles felbontással rendelkező ipari kamera ára meghaladja az 1 millió forintot, de még egy kisebb felbontású eszköz ára is 300 ezer forinttól kezdődik.

Megoldás lehet webkamera alkalmazása, de fontos megemlíteni, hogy a legtöbb általános rendeltetésű webkamera mindössze 1,3 vagy 2 megapixel felbontású érzékelővel van felszerelve, és a nagyobb felbontású képet (5 vagy akár 8 megapixel) matematikai módszerrel – lineáris interpolációval – állítják elő. Interpolációval előállított nagyobb felbontású kép mérésre való alkalmasságáról nincs információ, használhatóságának vizsgálata érdekes és célszerű lehet, hiszen az ilyen eszközök ár szempontjából sokkal kedvezőbbek az ipari eszközökhöz képest.

Nagy valós felbontású érzékelővel rendelkeznek a digitális fényképezőgépek. Ilyen eszköz használata célszerű lehet, hiszen manapság a legolcsóbb modellek is 12-14 megapixeles felbontással rendelkeznek, és az árak emellett töredéke (akár már 20 ezer forinttól elérhető) az ipari kiviteleknek. Hátránya, hogy külön szoftver kell a fényképező képének automata beolvasásához, illetve az eszközbe szerelt lencsét minősége arányos az árával. A lencse okozta torzítás szoftveresen korrigálható, de az egyéb lencsehibákból fakadó pontatlanságok továbbra is jelentkeznek. Viszont azt is figyelembe kell venni, hogy a felbontást többszörösére növeltük, tehát célszerű lenne vizsgálni azt a kérdést, miszerint a lencsehibák okozta bizonytalanságot a nagy felbontás képes-e kompenzálni. Fontos megemlíteni, hogy az ilyen fényképezőgépek nem ipari kivitelűek, de amennyiben állandó környezeti körülmények között üzemeltetjük ilyen kivitelre nincs is szükség, megfelelő egy polgári rendeltetésű eszköz, melyet a feladathoz kalibrálunk.

A vizsgálat elvégzéséhez egy 12 megapixel felbontású Olympus μ 7000 típusú digitális fényképezőgépet választottam. Az eszköz által készített felvételek automatikus olvasásához külön szoftverre lenne szükség, jelen dolgozatban az elkészített képeket manuálisan másoltam fel a számítógépre további feldolgozáshoz. Későbbiekben megoldandó feladat a felvételek készítésének automatizálása. A 7.4.1 fejezetben bemutatott program segítségével a felvételeket kalibráltam, majd az ellenőrzéshez olyan méreteket vettem le, melyeket az alkatrészen hagyományos mérőeszközökkel is meg tudtam mérni. A használhatóság ellenőrzésének eredményeit a 8. fejezet tartalmazza.

A rendelkezésre álló fényképezőgép alsó felületén található egy menetes zsákfurat, mely merőleges az eszköz lencséjére. A furat kimondottan fényképezőállványra való erősíthetőség céljával készült, tehát a fényképező felfogatásához, és ezzel egyidejűleg a merőlegesség biztosításához megfelelő. Az említett furat menete $\frac{1}{4}$ colos UNC szabványú, a rögzítéshez ehhez megfelelő hatlapfejű csavarra volt szükség.

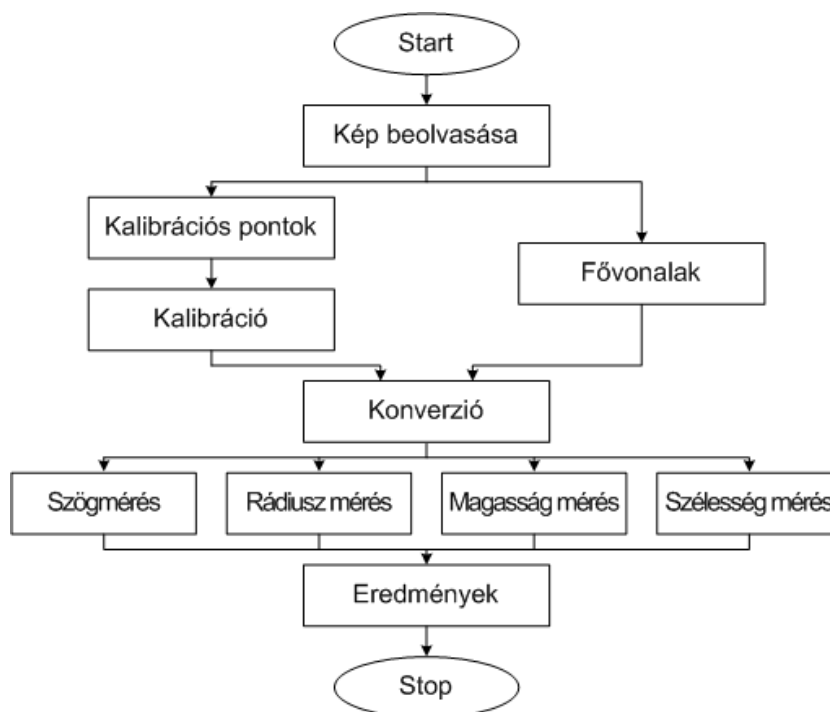


7.4 ábra: Digitális fényképező rögzítése, (a) kialakított konzol, (b) felfogatott fényképező

A digitális fényképezőgépet egy derékszögű konzol segítségével erősítettem a kerethez. Ehhez lekötve a függőleges és a keresztirányú elmozdulási lehetőségeit. Csavarkötés segítségével a konzolhoz erősítettem egy másik derékszögű elemet, hogy ezzel lekössem az eszköz elfordulási lehetőségét is. A 7.4 ábrán látható a kialakított konzol a digitális fényképező rögzítésére (a) és a felrögzített eszköz (b).

7.4 Program

Programtervezési feladatokat célszerű a megvalósítandó folyamatot leíró folyamatábra felállításával kezdeni. A felvételek kiértékelésére szolgáló program folyamatábrája a 7.5 ábrán látható.

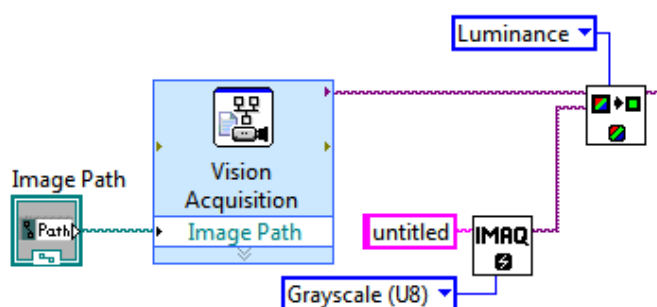


7.5 ábra: Képfeldolgozó program folyamatábrája

Indításkor a program beolvassa a képet, melyen a kalibrációs pontok meghatározása és a kalibráció párhuzamosan történik a rugó fővonalainak megkeresésével. Majd ezeknek végpontjait egy konverter a kalibráció alapján valós koordinátákká alakítja. Az így kapott pontok felhasználásával egy lépésben megtörténik a rugó szögeinek, hajlítási sugarainak, magasságának és szélességének a mérése. A folyamat az eredmények kiírása után fejeződik be.

A képfeldolgozást végző programot a National Instruments által fejlesztett LabView 2009 szoftverrel készítettem el. A feladat elvégzéséhez az alapszoftveren felül a Vision Development eszköztár hozzáadására volt szükség.

Legelső feladat, hogy a merevlemezre lementett képet meg kell hívni a VI-ba. Ehhez szükség van egy Vision Acquisition csomópontra, melyre kattintva felugrik egy ablak, melyben számos beállítási lehetőség kínálkozik a kép beolvasására. Mappából való képbeolvasást választottam, egyszeri meghívással, majd megadtam neki a kép elérési útvonalát, végül beállítottam a csomópont be- és kimeneteit. A 7.6 ábrán látható a kép beolvasását és színsíkjának leszűkítését megvalósító kapcsolat. Az IMAQ Create csomópont egy memóriahivatkozást hoz létre, melybe a kép beletöltése megtörténik.



7.6 ábra: Kép beolvasását megvalósító kapcsolat

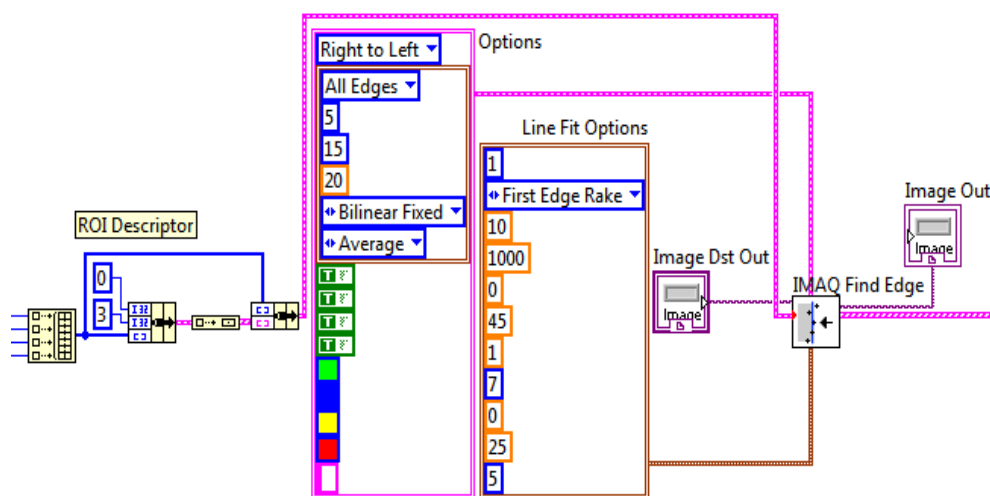
Ezt követően már fel lehet dolgozni a képet. A méretek vizsgálata előtt mindenképpen el kell végezni egy kalibrációt, hogy a kép és a valóság koordinátái illeszthetők legyenek. Ezt követően az alkatrész fő vonalait kell megkeresni, élkeresési és vonalillesztési algoritmusok segítségével. Végül koncentrikus ívkereső algoritmussal a lekerekítések nagyságát kell meghatározni.

7.4.1 Kalibrációs programrész

A kalibrációhoz IMAQ Learn Calibration Template csomópontot használtam, melybe bevezetve a képet és a kalibráláshoz szükséges adatokat, a kimenetén a kalibrált kép jelenik meg. A kalibrációs csomópont több lehetőséget kínál a kalibrációra, én a referenciapontok megadását választottam. Ehhez szükséges meghatározni a képen pixelkoordinátákat és hozzápárosítani a valós koordinátákat. A szükséges koordináta adatok előállítására és előkészítésére létrehoztam egy Kalibráció nevű subVI-t.

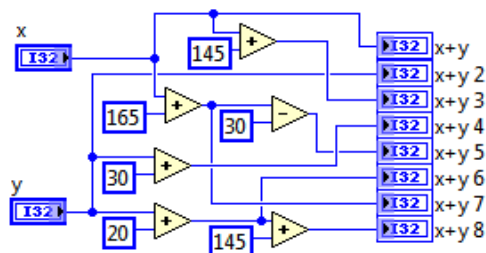
Az alprogram a megvilágított plexire helyezett papírlapon lévő rácsosztás négyzeteinek megkeresi a jobb felső sarkait, ezek lesznek a kitüntetett pixelkoordináták. A rácsosztás négyzetei $10 \times 10 \text{ mm}$ nagyságúak, ennek megfelelően a valós koordináták meghatározhatóak.

A részprogram elkészítéséhez először a rácsosztások sarkait kell megkeresni. Ehhez újabb subVI-t hoztam létre Négyzet él keres néven. Ez tartalmaz kettő IMAQ Find Edge élkereső és vonalillesztő csomópontot, melyek egy kijelölt területen belül, adott irányból éleket keres, és a megtalált élekre egy egyenest illeszt, mely végpontjainak pixelkoordinátái a cluster adattípusú kimenetéből kiolvashatóak. IMAQ Find Edge csomópont használatához a bemenetére rá kell kapcsolni a képet, illetve három konstans cluster-t a ROI Descriptor (ROI – Region of Interest, vizsgált terület leíró), Options és a Line Fit Options bemenetére. A ROI számára egy olyan cluster kell megadni, mely tartalmazza a vizsgált terület jellegét (vonal, téglalap, körgyűrű, stb.), illetve annak koordinátáit. A két Options közül az előbbi az élkeresés beállításait tartalmazza, itt állítható be a keresés iránya, a keresett élk intenzitás váltása (felfutó, lefutó vagy mind), az élk keresési paraméterei és a megjelenítési opciók. Utóbbi pedig az élekre illesztett vonal beállításait tartalmazza. Az IMAQ Find Edge kapcsolása a használt paraméterekkel a 7.7 ábrán látható.



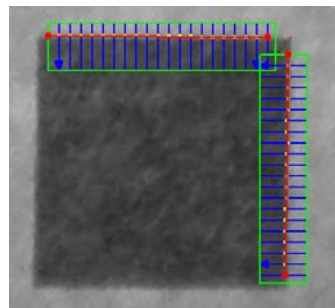
7.7 ábra: IMAQ Find Edge kapcsolása és paraméterei

A ROI Descriptorok előállítását egy Válto elnevezésű belső programot végzi el. Ennek feladata, hogy kapcsolatot teremtsen a két élkereső csomópont vizsgálati területe között, így elegendő a felső élkeresési terület bal felső sarkának koordinátáit megadni. A Válto subVI kapcsolása a 7.8 ábrán látható.

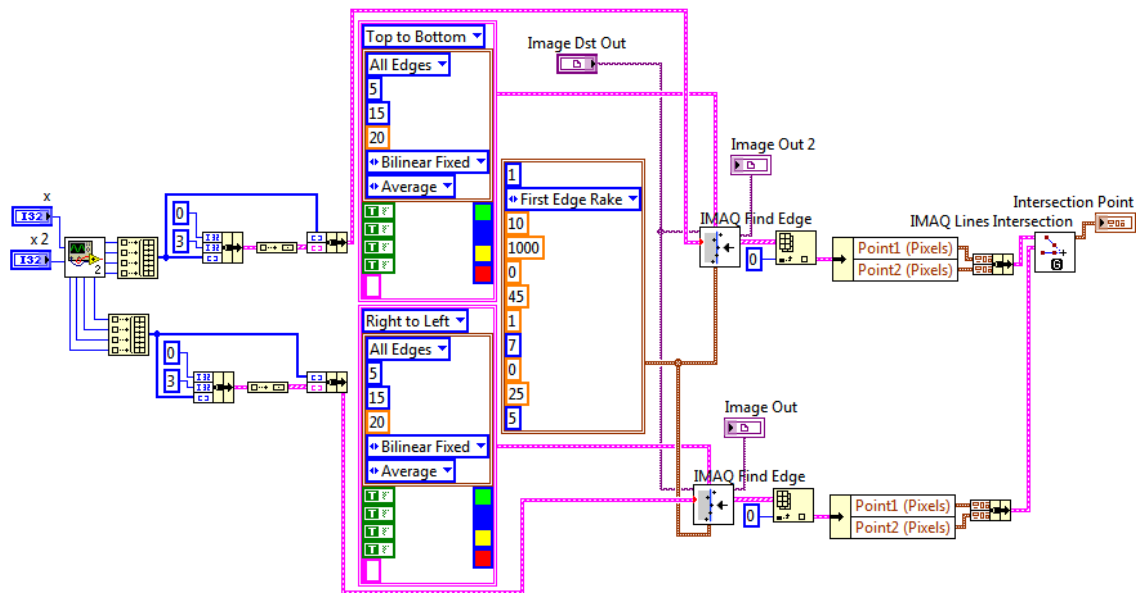


7.8 ábra: Váltó subVI

A IMAQ Find Edge csomópontok a négyzet felső élét és jobb oldali élét megkeresik, és egy egyenest illesztenek rá. Az egyenesek végpontjait egy IMAQ Line Intersection csomópontra vezetve megkapható a két egyenes metszéspontját, mely a négyzet jobb felső sarkának felel meg. A 7.9 ábrán látható a Négyzet él keres subVI által megtalált élek egy négyzeten (a), illetve a kapcsolása (b).



(a)



(b)

7.9 ábra: Négyzet él keres subVI, (a) megtalált élek, (b) kapcsolás

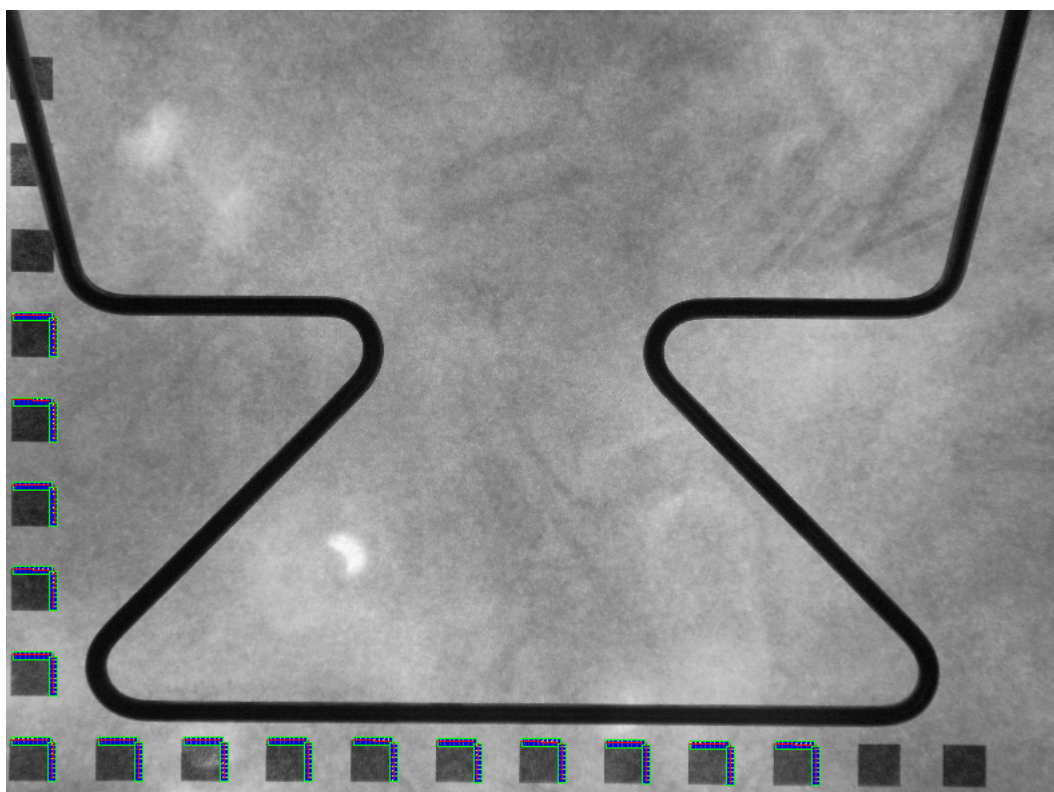
A Négyzet él keres subVI felhasználásával a bal alsó négyzettől kezdve függőleges irányba 5, vízszintes 9 négyzet sarkának koordinátáját kerestem meg. A kapott pontok koordinátáit egy tömbbe gyűjtöttem. A megkeresett pontokat érdemes jelölni a Front Panel-re

kihelyezett képen, erre szolgál IMAQ Overlay Points csomópont. A valós koordináták megadása is szükséges, ezek ismeret mennyiségek, mivel minden négyzet egy sarkát kerestem meg, a közöttük lévő távolság 20 mm. Ennek értelmében a 7.1 táblázatban feltüntetett koordinátákat kell generálni. Kialakítottam két For ciklust, mely segítségével egyszerűen megoldható a koordináták generálása és a pixelkoordinátákhoz hasonlóan ezeket is egy tömbbe gyűjtöttem.

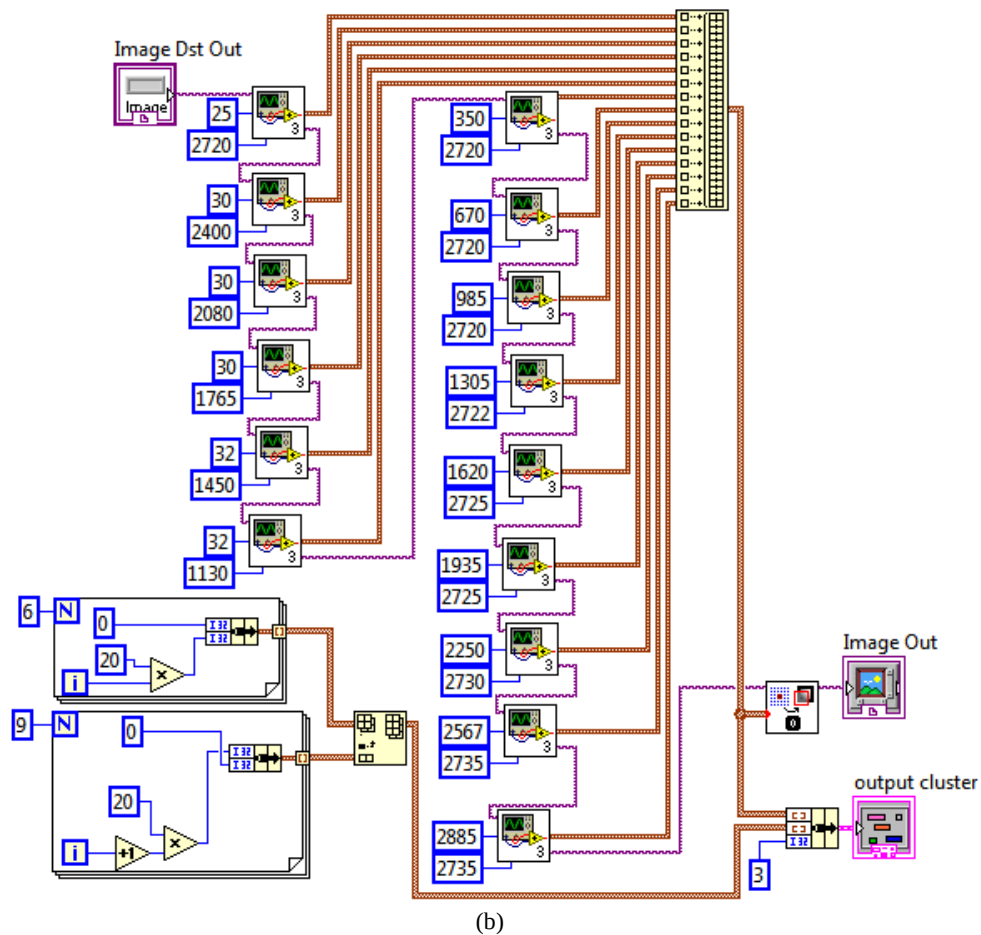
7.1 táblázat: Valós koordináták

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
X	0	0	0	0	0	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Y	0	20	40	60	80	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A pixelkoordináták és a valós koordináták tömbjeit, egy további konstans 3-mas értékkel együtt egy háromelemű cluster adattípusba kell tölteni. A konstans 3 érték fogja meghatározni a mértékegységet, adott esetben milliméter. A Kalibráció subVI Front Panel képe (a) és kapcsolása (b) a 7.10 ábrán látható.

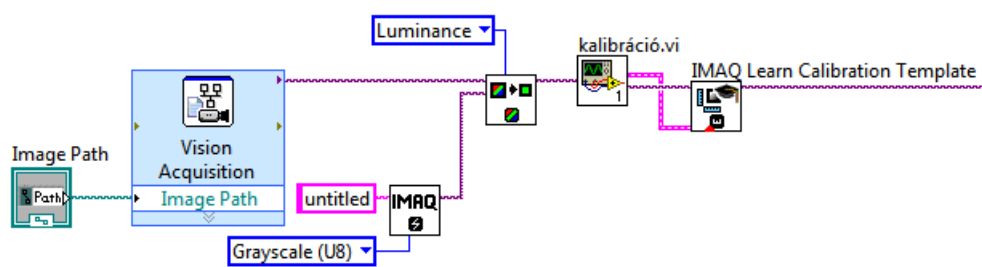


(a)



7.10 ábra: Kalibráció subVI, (a) Front Panel képe, (b) kapcsolása

A subVI segítségével előállított cluster azokat az adatokat tartalmazza, melyre az IMAQ Learn Calibration Template csomópontnak szüksége van egy kalibráció elvégzéséhez. A 7.11 ábrán látható a kalibrációs csomópont illeszkedése az eddigi programba.



7.11 ábra: IMAQ Learn Calibration Template kapcsolata az eddigi programmal

7.4.2 Vonalkereső és szögmérő programrész

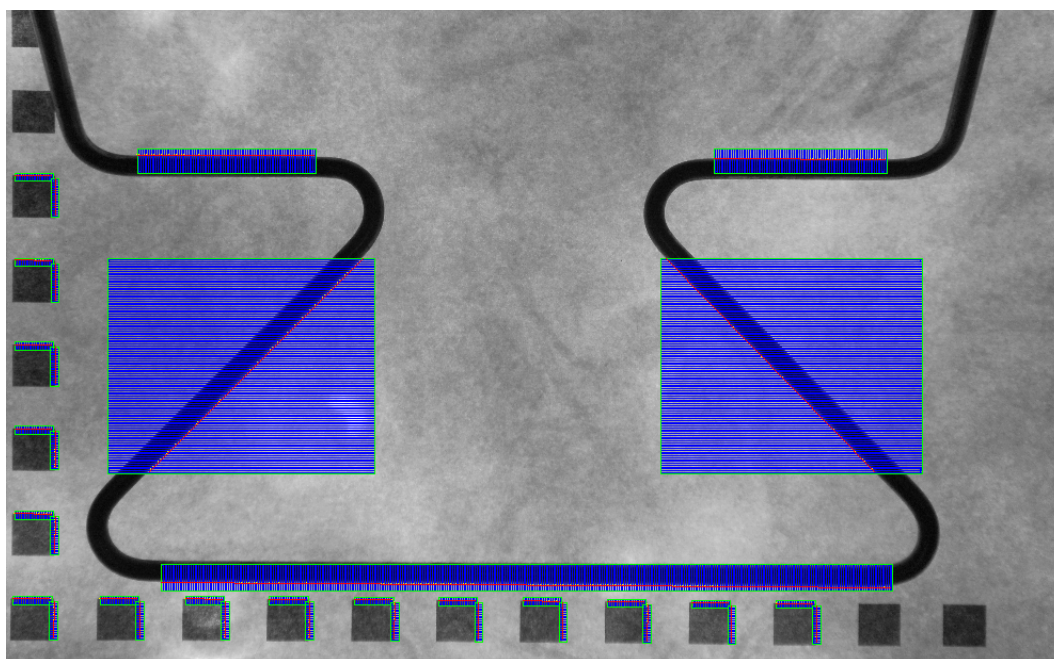
A következő programrész feladata az alkatrész kitüntetett vonalainak megkeresésére, és ezek egymással bezárt szögeinek meghatározására. A kitüntetett vonalak – a 7.10 ábra (a) alapján – a felső vízszintes rész felső éle mind a két oldalon, a középső szögben álló részek belső vonalai, és az alsó rész alsó vonala.

A vonalak megkereséséhez a 7.5.1 fejezetben már részletesen bemutatott IMAQ Find Edge csomópontot használtam. A három bemeneti konstans cluster-t külön mindegyik él megkereséséhez beállítottam és ezeket subVI-okba helyeztem. Különbség közöttük a ROI Descriptor-ok koordinátái és a keresés iránya. Az Alsó él subVI esetében az IMAQ Find Edge csomópont kimenetén a koordinátákon kívül az illesztett egyenes szögét is kiolvastam későbbi felhasználás céljából. A beállításokhoz szükséges paramétereket a 7.2 táblázat tartalmazza.

7.2 táblázat: Vonalkereső subVI-ok paraméterei

	Bal felső	Bal belső	Jobb felső	Jobb belső	Alsó
X_{kezd}	490	380	2650	2450	580
Y_{kezd}	1040	1450	1040	1450	2600
X_{vég}	1160	1380	3300	3430	3320
Y_{vég}	1130	2260	1130	2260	2700
Keresés iránya	<i>Top to Bottom</i>	<i>Right to Left</i>	<i>Top to Bottom</i>	<i>Left to Right</i>	<i>Bottom to Top</i>

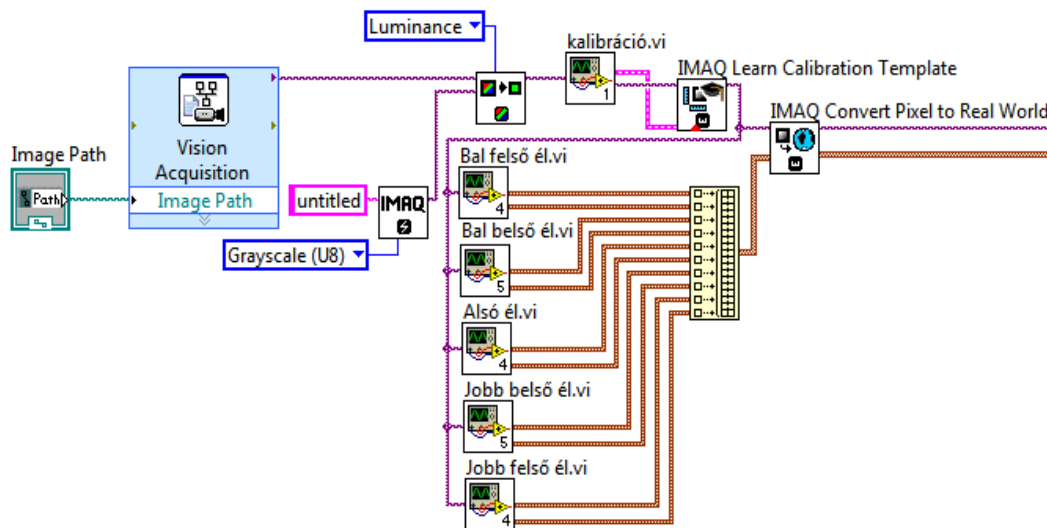
A vonalkeresők keresési területe és az illesztett vonalak az egész alkatrészre a 7.12 ábrán láthatóak.



7.12 ábra: Vonalkeresés eredménye

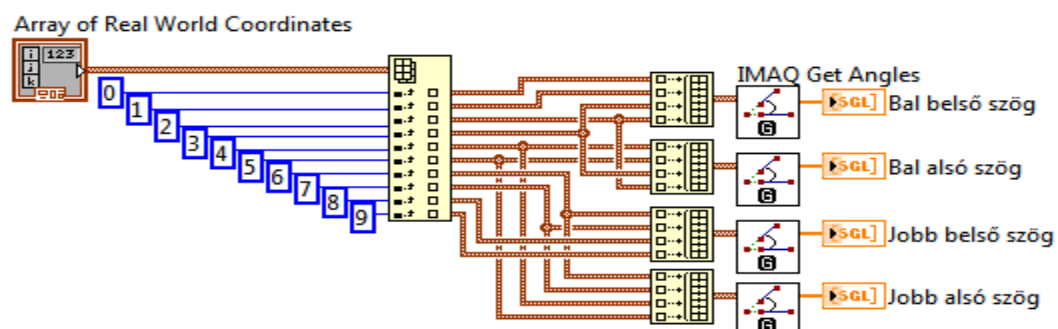
A vonalkereső subVI-ok kimenetein az illesztett egyenesek kezdő- és végpontjait szolgáltatják, cluster-be töltött koordinátpárok formájában. Az említett értékek pixel koordinátaértékek, mérések elvégzéséhez ezeket át kell konvertálni valós koordinátákká. A konverzióhoz az IMAQ Convert Pixel to Real World csomópontot használtam. A pixel

koordinátpontokat egy tömbbe rendeztem és a tömb értékét és konvertáló csomópont bemenetére kapcsoltam, akárcsak az IMAQ Learn Calibration Template csomópont kimenetén megkapott kalibrált képet. A konverter kimenetén szintén egy tömb jelenik meg, de ez már a valós koordinátákat tartalmazza milliméter dimenzióban. Az eddigi program kapcsolása a 7.13 ábrán látható.



7.13 ábra: Kalibrált beolvasott kép, valós koordinátákkal

A valós koordinátákat felhasználva meghatározhatóak az alkatrész fő vonalai által bezárt szögek. A szögek mérésére létrehoztam egy Szögmérő elnevezésű subVI-t. Az alprogram bemenetére csak a valós koordináták tömbjét kell rákapcsolni, kimenetén pedig négy szögérték jelenik meg fok dimenzióban. A Szögmérő a tömböt felbontja darabokra és megfelelően újratömbösíti a koordinátákat, melyeket négy különböző IMAQ Get Angles csomópontra rákapcsolva a kimenetén a keresett szögeket szolgáltatja. A 7.14 ábrán a szögmérő subVI látható.



7.14 ábra: Szögmérő subVI

7.4.3 Rádiuszmérő programrész

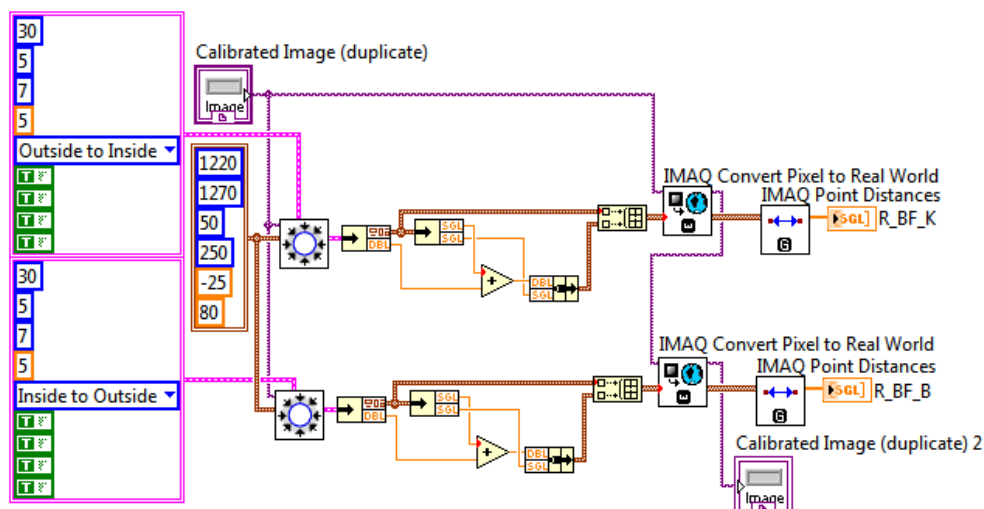
A meghajlítási rádiuszok mérésére egy külön részprogramot készítettem. A vizsgálathoz a IMAQ Find Circular Edge csomópontot használtam. Működéséhez a bemenetére a kalibrált képet kell kapcsolni, illetve két konstans cluster-t a Circle or Annulus és az Settings bemenetekre. Előbbi segítségével lehet megadni a vizsgálati területet (ROI), mely ebben az esetben egy gyűrűcikk. A területet a középpont, a külső és belső sugár, és a kezdő- és végszőggel kell megadni. A Settings csomópontban a vizsgálat élkeresési paramétereit, a megjelenítési lehetőségeket és a vizsgálat irányát lehet megadni. A csomópont Best Circle kimenetről az élpontokra legjobban illeszkedő kör adatait (középpont koordinátái és a sugár) lehet kiolvasni egy cluster-ben. Ahhoz, hogy ebből meghatározhassam a sugár valós értékét, át kell konvertálni. Az IMAQ Convert Pixel to Real World csomópont csak koordináta értékeket tud átkonvertálni, ezért a sugarat is koordinátává kell alakítani. Ennek elvégzéséhez a legjobban illeszkedő kör középpontjának koordinátapárját szétbontottam és X értékéhez hozzáadtam a sugár értékét, majd visszaalakítottam koordinátapárrá. Az így nyert középponti és sugárral növelt koordinátapárokat egy tömbbe töltöttem és átkonvertáltam valós értékekké. A valós koordinátákat tartalmazó tömböt egy IMAQ Point Distances csomópont bemenetére kapcsoltam, melynek kimenetén a rádiusz valós értéke olvasható ki.

7.3 táblázat: Rádiusz subVI-ok vizsgálati területei

	Rádiusz_BF	Rádiusz_JF	Rádiusz_BA	Rádiusz_JA
X	1220	2590	500	3300
Y	1270	1280	2460	2480
r_{belső}	50	50	50	50
r_{külső}	250	250	250	250
α_{kezd}	-25	100	145	-70
$\alpha_{\text{vég}}$	80	205	250	35

Minden meghajlításnál a külső és a belső rádiuszt is meg kell vizsgálni, a IMAQ Find Circular Edge csomópont a rádiusz élpontjaira egy kört illeszt, külső és belső rádiusz esetén ezek koncentrikusak, tehát egy vizsgálati területen belül meghatározhatóak. Ennek megfelelően létrehoztam négy subVI-t a négy meghajlítás vizsgálatára, melyek mindegyike két IMAQ Find Circular Edge csomópontot tartalmaz a külső és a belső rádiuszok meghatározásához. Ezeket rendre elneveztem Rádiusz_BF-nek (bal felső), Rádiusz_JF-nek (jobb felső), Rádiusz_BA-nak (bal alsó) és Rádiusz_JA-nak (jobb alsó). A subVI-ok csak

vizsgálati terület beállításaiiban térnek el, ezeknek a beállításait a 7.3 táblázat tartalmazza, a 7.15 ábrán pedig a Rádiusz_BF subVI látható.

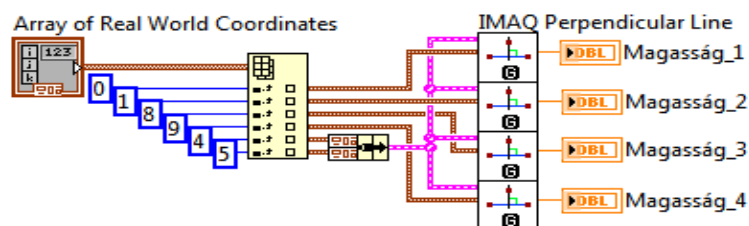


7.15 ábra: Rádiusz_BF subVI

A négy Rádiusz subVI-t elhelyeztem a főprogramban, bemeneteikre a kalibrált képet kötöttem, kimeneteiken pedig a rádiuszok értékét olvastam le. A rádiuszok értékét a Front Panelen rövidítve tüntettem fel, ezek jelentése: R – rádiusz, BF – bal felső, BA – bal alsó, JF – jobb felső, JA – jobb alsó, K – külső, B – belső.

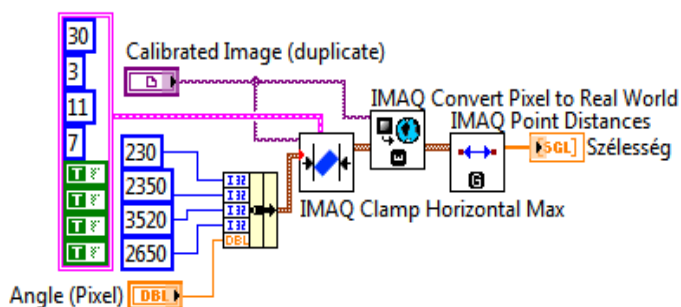
7.4.4 Befoglaló méreteket mérő programrész

Az alkatrész befoglaló méreteinek vizsgálata meghatározó a mérés szempontjából. A magasságot a bal -, illetve jobb oldali felső él és az alsó él között mérem, oly módon, hogy a felső élek által meghatározott pontoknak megmértem az alsó éltől való merőleges távolságát. Ennek megvalósítására az IMAQ Perpendicular Line csomópontot használtam, melynek bemenetére az alsó illesztett vonalat és a merőlegesen vizsgált pont koordinátapárját kell kapcsolni, és kimenetén a távolság értéke olvasható ki. Létrehoztam egy Magasságmérő elnevezésű subVI, mely a felső egyenesek által meghatározott négy pontnak az alsó vonaltól való merőleges távolságát méri. A Magasságmérő subVI kapcsolása a 7.16 ábrán látható.



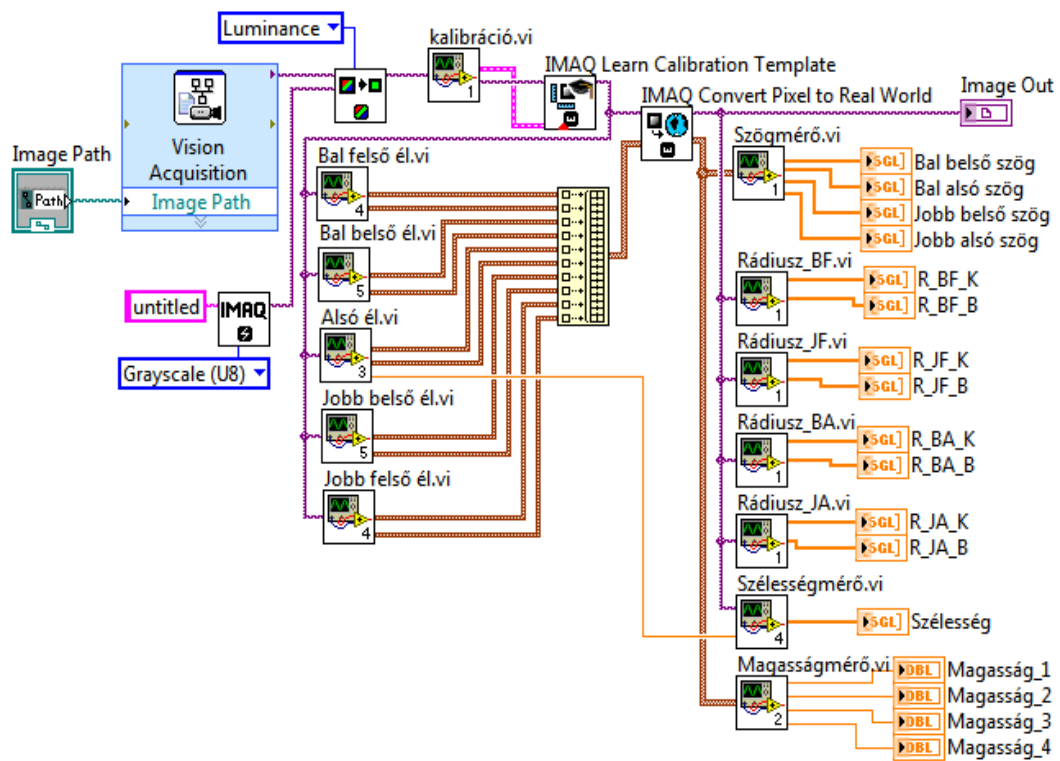
7.16 ábra: Magasságmérő subVI kapcsolása

Az alkatrész szélességének mérése körülményes, mivel alsó egyenes része mind két oldalán rádiuszba végződik. Jelen esetben a rugó alsó részének legszélesebb pontjait kell megkeresni. Kimondottan erre a feladatra kézenfekvő megoldásnak kínálkozik egy IMAQ Clamp Horizontal Max csomópont használata. Bemeneteire a kalibrált képet, egy vizsgálati téglalapot meghatározó cluster-t, és egy élkeresési paramétereket tartalmazó cluster-t kell kapcsolni, kimenetén pedig a két legtávolabbi pont koordinátáit lehet kiolvasni. Létrehoztam egy Szélességmérő elnevezésű subVI-t, melyben elhelyeztem a csomópontot és a bemeneti cluster-eit. A vizsgálati téglalap megadásakor a cluster-be be kell vezetni az alsó él meredekségét az Alsó él subVI-ból, így a vizsgálat az alsó éllel párhuzamosan fog történni. A kimeneten megkapott koordinátákat egy IMAQ Convert Pixel to Real World csomópont felhasználásával valós koordinátákká konvertáltam, végül egy IMAQ Point Distances csomópont segítségével megmértem az alkatrész szélességét. A Szélességmérő subVI kapcsolása a 7.17 ábrán látható.

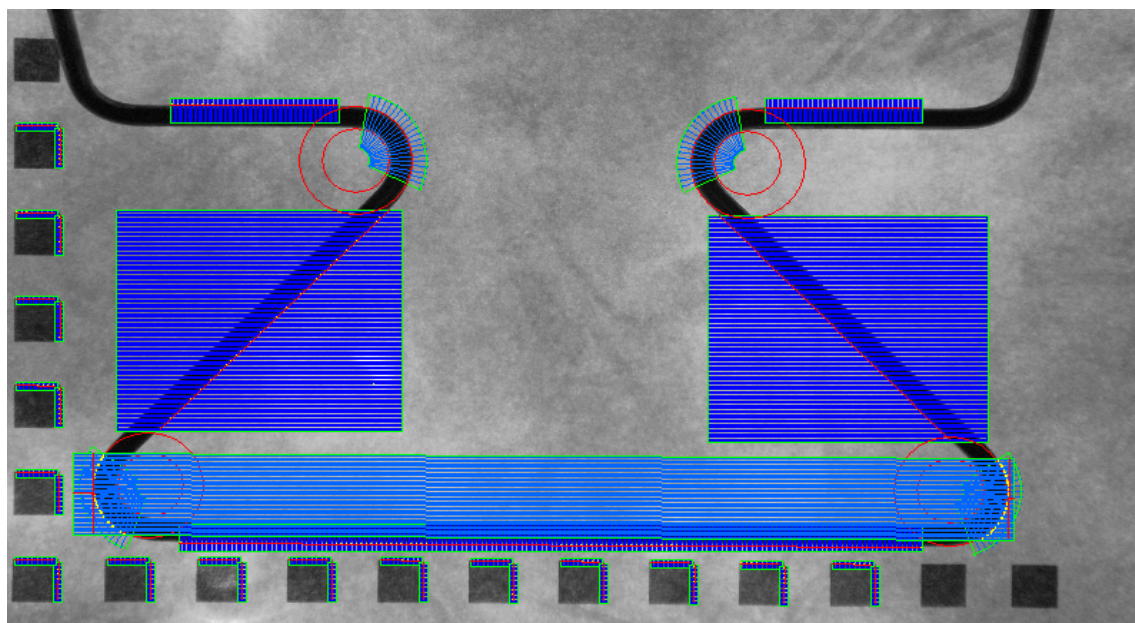


7.17 ábra: Szélességmérő subVI kapcsolása

A létrehozott program beolvassa a háttértárolóban lévő képet, elvégzi a szükséges kalibrációt, majd elvégzi a mérést az alkatrészen. A 7.18 ábrán látható a teljes főprogram (a) és a program Front Paneljén megjelenő kép az élkeresési vizsgálatokkal (b).



(a)

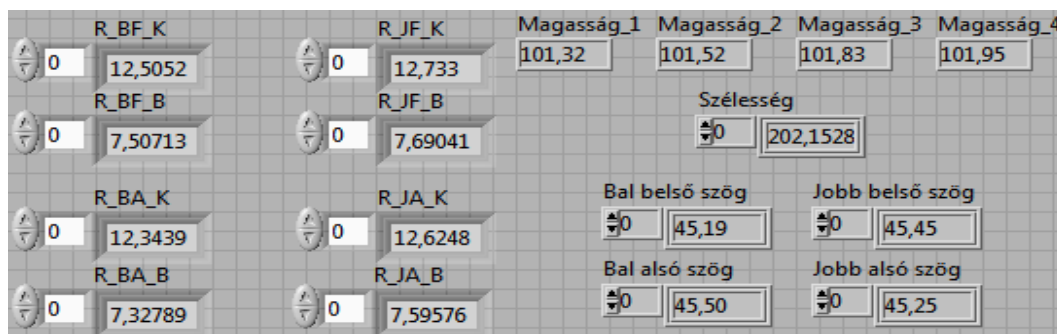


(b)

7.18 ábra: Kép feldolgozása, (a) főprogram, (b) beolvasott kép az elvégzett vizsgálatokkal

8. EREDMÉNYEK

Az elkészített program lefuttatása után a Front Panel-ről leolvashatóak a mérési eredmények. Ezeket az értékeket mutatja be a 8.1 ábra, a feltüntetett adatok milliméterben és fokban értendők.



8.1 ábra: Mérési eredmények a Front Panel-en

A kapott mérési adatok ellenőrzéséhez méréseket végeztem az alkatrészen hagyományos mérőeszközökkel, egy 5 százados pontosságú tolómérővel és egy szögmérővel. A rugó bonyolult formája miatt nagyon korlátozott mennyiségű méretét tudtam lemérni, ezekkel vettem össze a képfeldolgozás eredményéül kapott értékeket. A kézzel mért és a képfeldolgozásból származó adatokat a 8.1 táblázatban foglaltam össze, és a különbségeket, illetve a hibát is feltüntettem. A feltüntetett értékek milliméterben és fokban értendők.

8.1 táblázat: Kézi méréssel és képfeldolgozással meghatározott méretek

	Kézi mérés	Képfeldolgozás	Különbség	Hiba [%]
Magasság_1	100	101,32	1,32	1,320
Magasság_2	100,05	101,52	1,47	1,469
Magasság_3	100,35	101,83	1,48	1,475
Magasság_4	100,4	101,95	1,55	1,544
Szélesség	198,85	202,1528	3,3028	1,661
Bal alsó szög	45,4	45,5	0,1	0,220
Jobb alsó szög	45,3	45,25	0,05	0,110

A kézi méréssel meghatározott szögméretek a szögmérő kis mérési pontossága miatt nem használhatóak fel méretellenőrzéshez, mindössze becslésre jók. A hibák meghatározását

$$H = \frac{|Kézi - Képfeldolgozás|}{Kézi} \cdot 100 \quad (5)$$

összefüggés alapján végeztem. A hiba átlagos értéke +1,5% körül mozog, mely általános műszaki gyakorlatban elfogadhatónak minősül, de precíziós mérésekre nem alkalmas.

Megfigyelhető, hogy a hiba nagysága arányosságot mutat a hosszméretek nagyságával, a feltevés bizonyítására azonban további nagyszámú mérés elvégzésére szükséges. A szögek becsléssel meghatározott értékéhez képest a képfeldolgozásból kapott szögértékek hibája egy nagyságrenddel kisebb, mint az a hosszértékekénél tapasztalható volt. Ezek alapján következtetni lehet arra, hogy a pontatlansági probléma a kalibráció helytelenségére vezethető vissza, mivel a hosszméretek hibája linearitást mutat, a szögek pedig, függetlenek a kalibrációtól. További vizsgálatot igényel a kalibráció javítása.

További észrevétel, hogy az élkeresési bizonytalanság csökkenthető nagyobb intenzitású és egyenletesebb eloszlású megvilágítása alkalmazásával.

A dolgozat eredményeiből levont megállapítások:

- A mérőeszköz jelen állapotában alkalmas durva hibák kiszűrésére, és 100 mm-es mérettartományra vonatkoztatva $\pm 1,5$ mm mérési hibával való mérésre.
- A kalibráció hibáinak feltárása és kiküszöbölése után az eszköz alkalmas lesz a jelenleginél kisebb mérési hibával terhelt mérések végzésére.
- A nagy felbontású digitális fényképezőgép geometriai vizsgálatok elvégzésére megfelelő, és ezen feladatok elvégzése során – állandó környezeti viszonyok mellett – kiválthatja a költséges ipari kamerákat.

Javítási és fejlesztési lehetőségek:

- A mérési hibák nagy valószínűséggel a kalibrációra vezethetők vissza, elsődleges javítási lehetőség ennek korrekciója.
- Másik javítási lehetőség: a megvilágítás intenzitásának növelése és a megvilágítás egyenletesebbé tétele annak érdekében, hogy a készített felvételeken a kontúrok markánsabbak legyenek, ezzel csökkenthető az élkeresés bizonytalansága.
- Fontos fejlesztési irány a mérőeszköz automatizálása annak érdekében, hogy ez a mérési módszer alkalmazható legyen az iparban. Ez kiterjed a munkadarab cserélésre, a felvételek készítésére és a mérési eredmények alapján elvégezendő minősítésre.
- További fejlesztési cél a saját képalkotó fejlesztése.

Az eredmények alapján nyilvánvalóvá vált, hogy a nagy felbontású képalkotóknak és szoftveres képjavításnak van létjogosultsága az ipari alkalmazásban, sőt mi több, a nagyobb

felbontás következtében nagyobb területek vizsgálatára, mérésére nyílik lehetőség, ami új lehetőségeket kínál a pontos méretellenőrzésre a tömeggyártásban.

ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban egy adott műszaki probléma megoldásához mérési eljárást kellett kidolgoznom. Munkám elején behatároltam, hogy a mérendő alkatrész – bonyolult vonalvezetésű rugó – vizsgálatához valamilyen érintés nélküli, gyors átfutási idővel dolgozó megoldásra van szükség. Bemutattam az optikai mérés fejlődését, alapjait, és megvizsgáltam, a jelenleg iparban alkalmazott mérési eljárásokat, technológiákat. A szerzett ismeretanyag alapján az adott probléma megoldásához képfeldolgozó elven működő mérőeszközt választottam.

Ismertettem a képfeldolgozás elméleti hátterét, a digitális kép előállítását, és az élkeresési algoritmusok működését, alkalmazását és a sub-pixeles élkeresés használatának jelentőségét.

Bemutattam egy általános képfeldolgozó elven működő mérőrendszer felépítését, és számba vettem a kialakítások lehetőségét. Kiválasztottam az adott probléma megoldásához legjobban illeszkedő beállításokat. A beállítások a munkadarab oldali világítást, illetve az alkatrész egymással szöget bezáró fősíkjainak két kamerával való vizsgálatát jelentik. A feladat elvégzésére alkalmas kamerafajták előnyeit és hátrányait figyelembe véve a mérőeszközhöz kiválasztottam egy nagy felbontású digitális fényképezőgépet.

Megterveztem és összeszereltem a mérőeszköz keretszerkezetét ügyelve az állítható kameratávolságokra és az alsó megvilágítás lehetőségére. LabView 2009 szoftver segítségével előállítottam a digitális fényképező által készített képek feldolgozására és kiértékelésére alkalmas programot.

A mérőberendezéssel végzett mérés eredményeit összevetettem hagyományos mérőeszközökkel végzett kézi mérés eredményeivel. A két mérés közötti különbséget és a képfeldolgozás hibáját kiértékeltem, és következtetéseket vontam le a hiba okáról, mely a kalibrációra vezethető vissza. Az eredmények alapján megfogalmaztam a mérőeszköz és az alkalmazott módszer használhatóságát, és taglaltam a fejlesztési irányokat és lehetőségeket.

IRODALOM

- [1] Szilágyi László: Gépipari méretellenőrzés. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1977.
- [2] http://www.mitutoyo.hu/termek/crysta_pm
- [3] Falk György: A Rapid Prototyping és a 3D-s szkennelés a terméktervezés szolgálatában. Műanyag és Gumi, XLI. évf. 3. szám, 2004.
- [4] Karl Kraus: Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans. Walter de Gruyter, Berlin · New York, 2007.
- [5] Morovič Ladislav: Az Optikai 3D szkennelés. Fiatal Műszakiak XV. Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2010. március 25-26.
- [6] Grósz Gergely: Digitális képfeldolgozás alkalmazása üvegházi és szabadföldi kísérletek kiértékelésénél. PhD dolgozat, Kolozsvár, 2010.
- [7] Julie Dorsey, Holly Rushmeier, Francois Sillion: Digital Modeling of Material Apparance. Elsevies, 2008.
- [8] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle: Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Thomson, 2008.
- [9] Anna Fabijańska: A Survey of Subpixel Edge Detection Methods for Images of Heat-Emitting Metal Spiecemens. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science. Volume 22, Issue 3, Pages 695–710, September 2012.
- [10] Machuca, R. and Gilbert, A.L. (1981). Finding edges in noisy scenes, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 3(1): 103–111.
- [11] <http://www.amivision.eu/ipari-kepfeldolgozas-2/alapismeretek/ipari-kepfeldolgozas/>
- [12] Horváth Roland: EFCE szabványnak megfelelő nyírókészülék tervezése szemcsehalmozok mikro-mechanikai jellemzőinek meghatározására. Országos tudományos diákköri dolgozat, OTDK 2011.