

VARGA ROLAND
SZAKDOLGOZAT

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK



SZAKDOLGOZATOK



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
MECHATRONIKA, OPTIKA ÉS GÉPÉSZETI INFORMATIKA TANSZÉK

VARGA ROLAND
SZAKDOLGOZAT

**Ember és robot kooperációjának demonstrálása
Sakkozó iiwa robotkar segítségével**

*Demonstrating human-robot collaboration
With chess-playing iiwa robotic arm*

Konzulens:

Magyar László
tesztmérnök

Témavezető:

Dr. Czmerk András
egyetemi adjunktus

Budapest, 2018

Ide kell befűzni az eredeti feladatkiírási lapot!

NYILATKOZATOK

Beadhatósági nyilatkozat

A jelen szakdolgozat az üzem által elvárt szakmai színvonalnak mind tartalmilag, mind formailag megfelel, beadható.

Kelt,

Az üzem részéről:

üzemi konzulens

Elfogadási nyilatkozat

Ezen szakdolgozat a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara által a Diplomatervezési és Szakdolgozat feladatokra előírt valamennyi tartalmi és formai követelménynek, továbbá a feladatkiírásban előírtaknak maradéktalanul eleget tesz. E szakdolgozatot a nyilvános bírálatra és nyilvános előadásra alkalmasnak tartom.

A beadás időpontja:

témavezető

Nyilatkozat önálló munkáról

Alulírott, Varga Roland (XZYX5L), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a szakdolgozatot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Budapest, 2018

szigorló hallgató

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	1
1.1. Célkitűzés	1
1.2. Áttekintés – még nem végleges	1
2. Irodalomkutatás	2
2.1. Ipar 4.0 eredete	2
2.2. Előnyei	2
2.3. Kialakítási alapelvek	3
2.3.1. Összekapcsolás	3
2.3.2. Információs átláthatóság	4
2.3.3. Decentralizált döntéshozatal	5
2.3.4. Technikai asszisztens	5
2.4. Ember-robot kollaboráció	6
2.4.1. Fogalmak tisztázása	6
2.4.2. Biztonsági szempontok ember-robot kollaboráció esetén	7
2.4.3. Érzelmi megfontolások	10
2.5. KUKA-specifikus biztonsági funkciók	10
2.5.1. Használt szakkifejezések	11
2.5.2. Biztonság szempontú funkciók	14
3. Alkalmazáshoz szükséges műszaki feltételek elemzése	16
3.1. Projekt részletes leírása	16
3.2. A megfogó kialakításának és vezérlésének bemutatása	17
3.3. QR-kód generálás és képfeldolgozás	17
3.3.1. A forráskód build-je	17
3.3.2. ZXing könyvtár beimportálása és használata	18
4. Robotkar kalibráció, referencia felvétel kidolgozása	20
5. Robotkar mozgásának definiálása és programozása	21
6. Sakkalgoritmus beágyazása	22
7. Eredmények értékelése	23

JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

A táblázatban a többször előforduló jelölések magyar és angol nyelvű elnevezése, valamint a fizikai mennyiségek esetén annak mértékegysége található. Az egyes mennyiségek jelölése – ahol lehetséges – megegyezik hazai és a nemzetközi szakirodalomban elfogadott jelölésekkel. A ritkán alkalmazott jelölések magyarázata első előfordulási helyüknél található.

1. BEVEZETÉS

1.1. Célkitűzés

A szakdolgozat célja megismertetni az olvasóval az Ipar 4.0 (az ipari fejlődés egyik legújabb és legmeghatározóbb trendje) fontos elemét, az ember-robot kollaborációt. A fókuszban egy gyakorlati megvalósítás, egy demo áll, viszont általános irányelvek és módszerek is taglalásra kerülnek. A szakdolgozat feltételezi, hogy az olvasó rendelkezik alapszintű ismeretekkel az Ipar 4.0 főbb elemeit illetően. A dolgozat fő szerepe az Ipar 4.0 egy kisebb részletének praktikus, szemléletes bemutatása, de mégis érdemes rendszerszemléletűen hozzágondolni a többi elemét is, mivel így kaphatunk csak teljes képet ennek funkciójáról.

1.2. Áttekintés – még nem végleges

Első körben a 4. ipari forradalom főbb vonásai kerülnek bemutatásra, különös tekintettel az ember-robot együttműködésre (későbbiekben HRC - Human-Robot Collaboration). Ezen belül több balesetmegelőző lépcsőfokról is szó lesz azért, hogy szemléletesebbek legyenek az előnyök. Ezt követően a szakdolgozat magját jelentő demóhoz használt KUKA LBR iiwa 7 R800 robotkarhoz tartozó biztonságtechnikai fogalmakat és specifikációkat ismertetem, mivel ennek keretében beszélhetünk a HRC-vel kapcsolatos funkciókról.

2. IRODALOMKUTATÁS

2.1. Ipar 4.0 eredete

Az Ipar 4.0 koncepcióját Németországban dolgozták ki, ahol világszinten kiemelkedő a termelési iparág, illetve világvezető a gyártó eszközök területén. Az Ipar 4.0 a német kormány stratégiai kezdeményezése volt, mely nagy mértékben támogatta az ipari szektor fejlesztését. Ilyen értelemben az Ipar 4.0-ra tekinthetünk egy olyan mozgalomként, amelynek célja megőrizni Németország befolyását a gépiparban és az autógyártás területén.[1]

Az alap koncepciót először a Hanover Fair-en¹ prezentálták 2011-ben. A bemutató óta az Ipar 4.0 Németország vezető témája a kutatások területén, egyetemi és ipari környezetekben különféle eseményeken. A fő irányvonal az új technológiákban és koncepciókban rejlő potenciál kihasználása felé mutat, ilyen területek:

- az IoT (Internet of Things²) elérhetősége és kihasználása,
- a technológiai és gazdasági folyamatok integrációja cégen belül,
- a valóság virtuális leképezése,
- 'okos' gyárak beleértve az 'okos' gyártást és termékeket.

2.2. Előnyei

Amellett hogy a digitalizáció és az új technológiák természetes következménye, az Ipar 4.0 megjelenése szintén kapcsolatban áll azzal a ténnyel, hogy a gyártásban a profit növelésére irányuló kezdeményezések, lehetőségek nagy része kiaknázásra került, új megoldásokat kellett keresni. A gyártási költségek csökkentek a Just-In-Time (röviden JIT) termelés bevezetésével, a lean elveinek alkalmazásával és a gyárak olyan helyre telepítésével, ahol a munkaerő lényegesen olcsóbb. Ha az előállítási költségek minimalizálása a célunk, az Ipar 4.0 egy ígéretes megoldásnak tűnik. Számos forrás alapján az Ipar 4.0 alkalmazása csökkentheti[2]:

- a gyártás költségét 10-30%-kal,
- a logisztikával kapcsolatos kiadásokat 10-30%-kal,

¹A hannoveri a világ egyik legnagyobb kereskedelmi bemutatója. Körülbelül 6500 kiállító és 250.000 látogató vesz részt ezen a rendezvényen.

²A Dolgok internete fizikai eszközökből, járművekből, otthoni felszerelésekből és további elektronikát, szoftvert, szenzorokat, aktuátorokat tartalmazó tételekből álló hálózat, amelyek képesek egymással kapcsolatba lépni, adatot fogadni és küldeni.

- a minőségmenedzsmenthez köthető költségeket 10-20%-kal.

Ezekon kívül a koncepció alkalmazásának számos egyéb előnyéről szólhatunk: (1) új termékek piacra kerülési ideje csökken, (2) érzékenyebb reagálás a megváltozott vásárlói igényekre, (3) lehetővé teszi a személyreszabott tömeggyártást az összegyártási költség jelentős növelése nélkül, (4) rugalmasabb és barátságosabb munkakörnyezetet teremt, (5) a természetes erőforrásokat hatékonyabban hasznosítja.

2.3. Kialakítási alapelvek

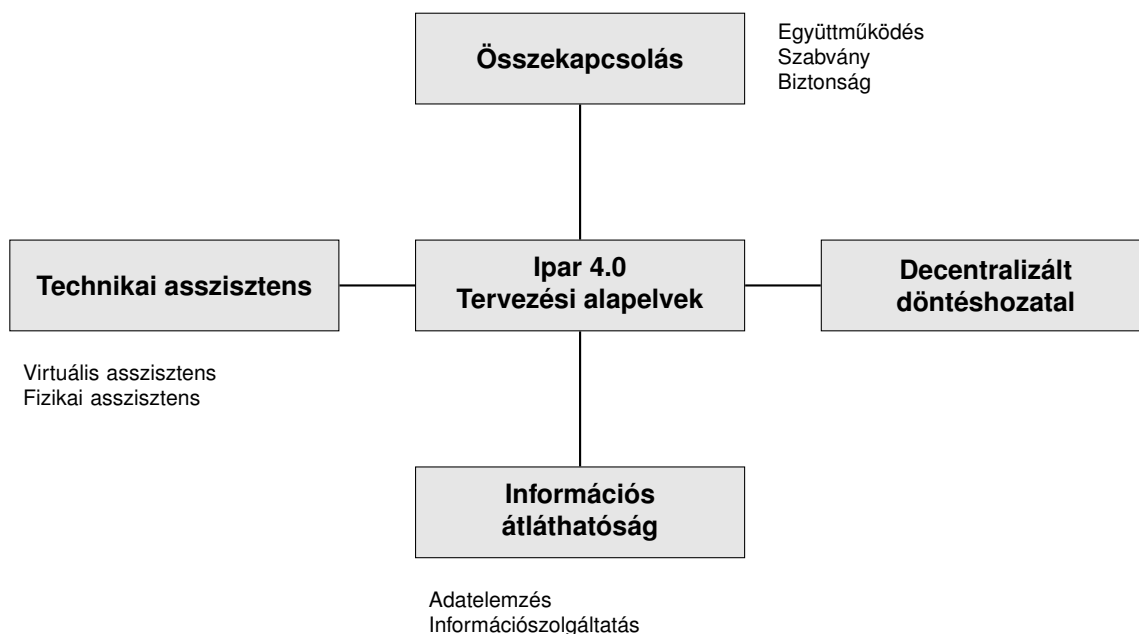
A számos szövegelemzés és átfogó irodalmi áttekintés négy fő dizájn elvet emelt ki, hogy irányvonalat mutasson a szakértőknek és tudósoknak az Ipar 4.0 környezet kialakításához: összekötés, információs átláthatóság, decentralizált döntéshozatal és technikai asszisztens (2.1. ábra). Ezek az alapelvek a következő alfejezetekben kerülnek részletes tárgyalásra az egyetemi és ipari publikációkban használt kifejezések (és következésképpen a kialakítási alapelvek) rövid elemzése után.

Összességében a két különböző típusú publikáció szövegelemzése nem mutat lényeges eltérést, mindkettő típus külön-külön elemzése ugyanazokat a kialakítási alapelveket eredményezi. Azonban szembe tűnő, hogy egyes dizájn elemeket gyakrabban tárgyalnak a gyakorlati publikációkban. Az ember-robot kollaboráció, adat- és információbiztonság és a decentralizált döntéshozatal gyakrabban fordul elő ipari kiadványokban. Az első kettővel kapcsolatos értekezések magas száma rávilágít az Ipar 4.0 eredményes implementálásának legnagyobb kihívásaira amivel az iparban dolgozók szembesülnek. Mindeközben a decentralizált döntéshozatalt tekintik az Ipar 4.0 legproblémásabb elemének, és ezért ez rendkívül részletes és átfogó tárgyalásra kerül.

2.3.1. Összekapcsolás

Gépek, eszközök, szenzorok és emberek kapcsolatba lépnek IoT-n (Internet of Things - Dolgok internete) és IoP-n (Internet of People - Emberek internete[3]) keresztül és így formálnak egy IoE-t (Internet of Everything - Minden internete[4]). A vezeték nélküli technológiák kiemelkedő szerepet játszanak az interakciók során, mivel lehetővé teszik az internetes hozzáférést mindenfelé. Az IoE-n keresztül összekötött emberek és eszközök képesek egymással információt megosztani, ami a kollaboráció alapját jelenti a közös célok elérése érdekében. 3 különböző típust különböztethetünk meg az IoE kapcsán: ember-ember együttműködés, **ember-robot kollaboráció** és robot-robot kollaboráció.[5]

A különböző gépek, eszközök, érzékelők és emberek egymás közti interakciója során elengedhetetlen szerepe van a széles körben elfogadott kommunikáci-



2.1. ábra: Ipar 4.0 tervezési szempontok

ós szabványoknak. Ezek teszik lehetővé a különböző gyártóktól érkező moduláris eszközök rugalmas kombinálását. Ez a modularizáció az alapfeltétel, hogy az Ipar 4.0 'okos' gyárai alkalmazkodni tudjanak a folyamatosan változó piaci igényekhez vagy a személyreszabott rendelésekhez.

Ahogy nő az IoE-ben részt vevők száma, a monetáris³ és politikai érdekek meg fogják növelni az ilyen létesítmények elleni káros támadások számát, így az igény is nőni fog a magasabb fokú informatikai biztonság iránt.

2.3.2. Információs átláthatóság

Az összekapcsolt objektumok és emberek növekvő számának köszönhetően, a fizikai és a virtuális világ egybeolvadása lehetővé tesz egy újfajta információs modellt[6]. Az érzékelők összekapcsolása révén képezhetünk egy digitális, virtuális leképezést a világunkról.

Az összefüggés-tudatos információ az IoE résztvevői számára elengedhetetlenek a megfelelő döntések meghozatalához. Az ilyen összefüggés-tudatos rendszerek a feladataikat virtuális és a fizikai világból érkező információk alapján látják el. A virtuális világból érkező információkra példák az elektronikus dokumentumok, rajzok, szimulációs modellek. A fizikai világ információi például a pozíció vagy a szerszám állapota. A fizikai világ elemzéséhez az érzékelők felől érkező nyers adatokat magasabb szintű értelmezési és egyéb információval kell kiegészíteni. Ahhoz,

³pénzhez vagy valutához kötődő

hogy az átláthatóságot fenntartsuk, az adatelemzés eredményeit egy olyan kisegítő rendszerbe kell bevinni, ami minden IoE résztvevő számára elérhető. A folyamatkritikus információk esetén a valós idejű adatszolgáltatás elengedhetetlen.

2.3.3. Decentralizált döntéshozatal

A decentralizált döntések meghozatalának két alappilére az objektumok és emberek összekapcsolása, illetve a termelő létesítményen belülről és kívülről érkező információk átláthatósága. Az összekapcsolt és decentralizált döntéshozó egységek lehetővé teszik a lokális információk globálissal együtti felhasználását egyazon időben, így elősegítve az átgondoltabb döntéshozatalt és így növelve összességében a termelékenységét. Az egyes IoE elemek a feladataikat annyira önállóan látják el, amennyire csak lehet. A feladatok csak kivételek, zavarok vagy ellentmondásos célok esetén kerülnek továbbításra magasabb szintre.

Gyakorlati szempontból a decentralizált döntéshozatalt a kiber-fizikai rendszerek teszik lehetővé. Ezek beágyazott számítógységeinek, szenzorainak és aktuátorainak felhasználásával történik fizikai világ autonóm nyomon követése és az irányítása.

2.3.4. Technikai asszisztens

Az Ipar 4.0 'okos' gyáraiban az ember szerepe alapvetően megváltozik, gépkezelő helyett inkább stratégiai döntéshozóvá és rugalmas problémamegoldóvá válik. A termelési folyamatok növekvő komplexitása miatt, ahol a kiber-fizikai rendszerek összetett hálózatot alkotnak és decentralizált döntéseket hoznak, az embereknek támogató rendszerekre van szükségük. Ezeknek a rendszereknek a szerepe az információk összegyűjtése és megjelenítése egyértelműen és érthetően annak érdekében, hogy az emberek jól megalapozott döntéseket tudjanak hozni, és magas prioritású problémákat tudjanak megoldani rövid időn belül. Jelenleg az embereket főként az okostelefonjaik és táblagépeik kötik össze az IoT-vel[7]. A hordozhatóság kiemelkedően fontossá fog válni a jövőben amint a jelenlegi kihívásokon (mint például az energiaellátás) sikerül felülkerekedni.

Az emberek robotok általi fizikai kisegítése (a robotika területen elért fejlesztésekkel) szintén a technikai asszisztens szerep részét képezi. A robotok számos feladatot képesek elvégezni, amelyek az ember számára kellemetlenek, túl fárasztóak vagy veszélyesek más munkásokra nézve[8]. Az emberek fizikai feladatokban hatékony, sikeres és biztonságos segítésének érdekében szükséges, hogy a robotok az ember társaikkal zökkenőmentesen és intuitívan működjenek együtt[8]. Ezen felül elengedhetetlen, hogy az emberek megfelelő képzésben részesüljenek az adott

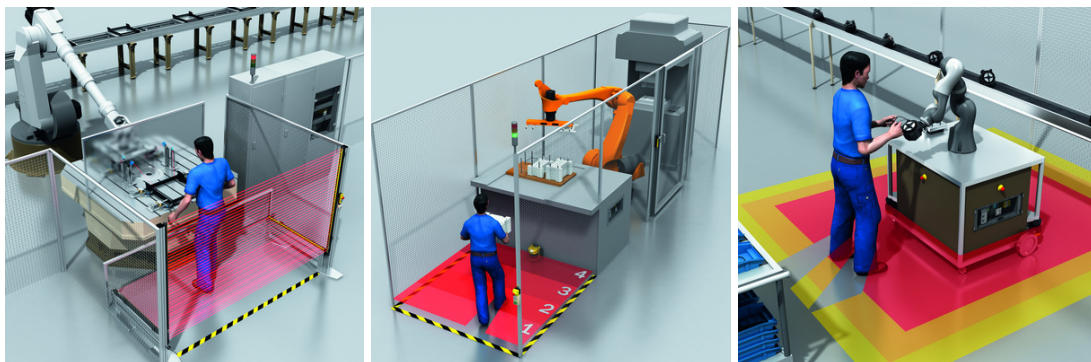
ember-robot kollaborációhoz[9].

2.4. Ember-robot kollaboráció

2.4.1. Fogalmak tisztázása

Az ember és a robot közösen végzett feladataikat különböző interakciós szinteken valósíthatják meg, ezeket érdemes egymástól elhatárolni⁴ (2.2. ábra):

1. Robot cella (Robotic cell): a robot önállóan végzi a feladatát az embertől kerítéssel elválasztva. Ez esetben nem beszélhetünk ember-robot együttműködésről.
2. Együttes jelenlét (Coexistence): a robot és az ember közel helyezkedik el egymáshoz védőkerítés nélkül, de nincs közös munkaterük. A robotnak van saját meghatározott tere.
3. Szinkronizált munkavégzés (Synchronized work): olyan elrendezés, melyben az ember és a robot osztozik egy közös munkateren, de egyszerre csak egyikük aktív. A munkamenet az ember és a robot jól definiált 'koreográfiája'.
4. Kooperáció (Cooperation): a két „partner” mindegyike a saját feladatával foglalkozik. A munkaterük lehet közös, de nem dolgozhatnak sem ugyanazon a terméken, sem ugyanazon a munkadarabon.
5. Kollaboráció (Collaboration): olyan elrendezés, amely esetén az ember és a robot közösen és szimultán dolgozik egyazon terméken vagy munkadarabon. Tipikusan a robot megfogja, átnyújtja és tartja a munkadarabot amíg a munkás dolgozik rajta.



2.2. ábra: Balról jobbra: együttes jelenlét, kooperáció, kollaboráció⁵

⁴Forrás: <https://hohmannchris.wordpress.com/2017/02/08/cobots-more-cooperation-than-collaboration/>

2.4.2. Biztonsági szempontok ember-robot kollaboráció esetén

A biztonságos ember-robot együttműködés érdekében az elmúlt években különböző stratégiák lettek kifejlesztve. Ezek a módszerek különböző biztonságtípusra építenek, többek közt[10]:

- az ütközésbiztonság érdekében csak 'biztonságos' /kontrollált ütközésre kerülhet sor robotok, emberek és akadályok között. Az emberekre gyakorolt erő/nyomaték határolása a fő szempont.
- aktív biztonsági rendszer az ember és a berendezés közötti közelgő ütközések időben történő észlelésére és a műveletek megszakítására ellenőrzött módon. Távolságérzékelők, látórendszerek és erő/érintkező érzékelők használhatóak erre a célra.
- a hardver elemek működtetése során adaptív biztonsági stratégia a beavatkozáshoz, illetve korrekciós eljárások implementálása, amelyek az ütközéseket a munkafolyamat megszakítása nélkül kerülik el.

Ilyen irányban nemzeti és nemzetközi szabványokat, irányelveket és törvényeket vezettek be annak érdekében, hogy a rendszerintegrátorok könnyen be tudják építeni a biztonsági metódusokat a saját rendszerükbe. Tekintettel arra, hogy egy kollaborációs munkatér nem csak az ember és a robot tartózkodik, hanem egyéb segédberendezések is megjelennek (például: elektromos csavarbehajtók, elektromos szorítóberendezések stb.) minden egyes cella egyedülálló kockázatot jelent biztonságtechnikai szempontból. Ebből kifolyólag minden berendezés és folyamat esetén be kell tartani az ezekre vonatkozó hatályos törvényeket és szabványokat. A 2.1., 2.2. és 2.3. táblázatok indikatív példákat tartalmaznak az EU legismertebb törvényei és általános normáiból válogatva.

2.1. táblázat: EU Directives

Title	Description
2006/42/EC	Machinery Directive (MD)
2009/104/EC	Use of Work equipment Directive
89/654/EC	Workplace Directive
2001/95/EC	Product Safety Directive
2006/95/EC	Low Voltage Directive
2004/108/EC	Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

⁵Képek forrása: <https://www.safetysolutions.net.au/content/machine/article/safety-solutions-for-intelligent-human-robot-collaboration-990038334>

2.2. táblázat: Indicative general standards

Title	Description
EN ISO 12100	Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction
EN ISO 13849-1/2	Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design, Part 2: Validation
EN 60204-1	Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements
IEC 62061	Safety of machinery - Functional safety of safety related electrical, electronic and programmable electronic control systems

2.3. táblázat: Robot standards

Title	Description
EN ISO 10218-1	Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots
EN ISO 10218-2	Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration
ISO/PDTS 15066	Robots and robotic Devices - Collaborative Robots

Jelenleg közel 30 aktív uniós irányelv és körülbelül 600 szabvány létezik a biztonságtechnikával kapcsolatosan. Különösen robot cellákkal kapcsolatban 2.3. táblázat előrevetít számos különböző stratégiát a megfelelő biztonság kialakítására. Pár a legfontosabbak közül[10]:

- **Biztonsággal kapcsolatos vezérlőrendszerek teljesítménye:** biztonságkritikus vezérlőrendszer-egységeknek biztosítaniuk kell, hogy az egyes hibákra van oly mértékű tolerancia, hogy a biztonságot nem veszélyezteti.
- **Robotmegállító funkciók:** minden robotnak rendelkeznie kell védőleállító funkcióval, továbbá független vészleállító funkcióval. Külső biztonsági berendezésekkel való kapcsolatot is biztosítani kell.
- **Sebességkorlátozás:** a robot végén található beavatkozó és a szerszámközéppont (TCP - Tool Center Point) sebessége kontrollálható kell legyen. Kollaboratív munkaállomások esetén a TCP sebessége nem haladhatja meg a 250 mm/s-ot.
- **Kollaboratív műveletekre vonatkozó követelmények:** együttműködésre képes robotok kell hogy működtessenek valamilyen látható indikátort amikor a robot kollaboratív műveletet hajt végre. A következő követelmények érvényesek:

- **Biztonsági rendszer által kezdeményezett felügyelt megállás:** a robotnak kötelező megállnia, amikor az ember a kollaboratív munkaterületen tartózkodik. Amint az ember elhagyja ezt a területet, a robot folytathatja az automatikus munkavégzési folyamatot.
- **Kézi vezetés** (Hand guiding): a kézi vezetéshez alkalmazott berendezésnek tartalmaznia kell egy vészleállítót és egy engedélyező szerkezetet. E művelet során biztonságkritikai szempontból tanúsított módon nyomon kell követni a robot sebességét. Számos technológia felhasználható az ember által kézzel történő irányításhoz, mint például az impedancia vagy a merevség szabályozása.
- **Sebesség és pozíció monitorozása**⁶: a robot fent kell tartson egy adott távolságot az üzemeltetőtől. Ezt integrált jellemzők vagy külső inputok kombinációjának figyelésével tudja megvalósítani.
- **Teljesítmény- és erőhatárolás belső dizájnnal:** a teljesítmény-/erőhatároló funkcióknak be kell tartatniuk a szabvány által meghatározott határértékeket. Ha ezt túllépik, megállást kell eszközölniük.
- **Vezérlőrendszer által határolt erő és teljesítmény:** egy vezérlőfunkció biztosítja, hogy a maximális erő és teljesítmény értékeket ne lehessen túllépni.
- **Robot mozgásterének korlátozása:** feleslegesen nagy tér elhatárolása szükséges, ha a robotnak engedélyezett a teljes mozgástartomány kihasználása. A mozgástér leszűkítése lehetséges a robotba integrált rendszerek kihasználásával vagy külső korlátozó eszközök telepítésével, illetve e kettő kombinációjával. Dinamikus korlátozás érhető el vezérlőeszközök (kapcsolók, fényfüggönyök stb.) alkalmazásával, ha további limitációkra van szükség a robotprogram végrehajtása során.
- **Minimális távolság meghatározása:** feladattól függően kockázatelemzés útján kerül meghatározásra az ember és a robot közötti minimális távolság. Az elemzés során érdemes figyelembe venni a) a végeffektorokhoz és az esetlegesen ezek által tartott munkadarabokhoz kapcsolódó kockázatokat, b) a munkaterület elrendezését, c) a munkás feladatát és d) a rendszer felhasználhatóságát.
- **Ütközésérzékelés:** a biztonsági funkcióknak meg kell tudniuk határozni mind az ember, mind pedig a robot pillanatnyi pozíciója és sebessége alapján, hogy a minimális távolság alá csökkenhet-e az ember és a robot távolsága (ütközés).

⁶folyamatos megfigyelés

- **Esetleges ütközések elkerülése:** ez a funkció lehetővé teszi a robot számára, hogy megelőzze az ütközéseket a) lassítás vagy megállás, b) az meghatározott útja során eszközölt irányváltás és c) egy másik biztonságos útvonalon haladás által.
- **Technológiai és ergonómiai követelmények:** az ember és robot közötti esetleges ütközés esetén megfelelő óvintézkedéseknek kell biztosítaniuk, hogy éles, hegyes vagy durva felületek nem találhatók az érintkezési zónában. Továbbá a környező munkaterületet (ahol az ember a kollaboratív robottal ütközhet) úgy kell kialakítani, hogy a felhasználó számára elegendő tér biztosítva legyen ahhoz, hogy kockázatos helyzeteket elkerülje.

Ezeket a funkciókat szabványosítással foglalkozó szervek dolgozták ki a különböző biztonsági szempontok átfedés nélküli ellenőrzésének érdekében. Átfedések előfordulhatnak az egyes projektek kivitelezésekor; a biztonsági követelményeknek teljes mértékben való megfelelést minden esetben felül kell vizsgálni.

2.4.3. Érzelmi megfontolások

Az ember-robot együttműködésnek és a kollaboratív celláknak a kialakítása, valamint az ember és a robot között hatékony feladatmegosztás szorosan kapcsolódik társadalom-fiziológiai kérdésekhez. A mélyebb megértés és az ember viselkedésének megjósolása, valamint a HRI (Human-Robot Interaction - Ember-Robot Interakció) fejlődése részben a kognitív mérnökséghez, pszichológiához és szociológiához kötődik. A bizalom, a terheltség és a kockázatosság a legfontosabb emberi tényezők, amik befolyásolják az automatizálási technológiák alkalmazását. Az emberközpontú robotcella kialakítása során az emberi tényezők, mint a terheltség, éberség, helyzetfelismerés, hibák stb. figyelembe vétele ugyanúgy fontos, mint a kognitív mérnöki szempontok és az ergonómia[11].

2.5. KUKA-specifikus biztonsági funkciók

A következő részben a KUKA Sunrise OS 1.16[12] biztonsági funkciói kerülnek taglalásra. Az alábbi fogalmak és szempontok egy része már a 2.4.2 fejezetben előkerült általánosságban, viszont gyakorlati szempontok miatt ezek specifikus tárgyalására is szükség van. Az itt leírtak tájékoztató jellegűek, céljuk a szakdolgozat értelmezhetőségének javítása, nem foghatóak fel általános iránymutatásként. Adott OS (Operating System) és egyéb kiegészítő berendezések esetén mindig található ezekhez mellékelt biztonsági utasítás, ezek betartása elengedhetetlen a hatékony és biztonságos működtetéshez.

A biztonsági funkciókat két csoportra lehet osztani:

- Biztonságkritikus funkciók az emberi biztonság fenntartása érdekében
Az ipari robot biztonságkritikus funkciói megfelelnek a felsorolt biztonsági követelményeknek:
 - EN ISO 13849-1 (2.2. táblázat) szabvány 3-as kategóriája (Category 3), illetve a d teljesítményszint besorolás (Performance Level d)
 - EN 62061 (2.2. táblázat) SIL 2 követelménye Ezek a követelmények azonban csak a következő feltételek fennállásakor teljesülnek:
 - Az ipari robot minden biztonsági szempontból releváns mechanikus, illetve elektromechanikus komponense a biztonságos működés szempontjából le lett tesztelve a beüzemeléskor és legalább egyszer minden évben, hacsak nem a kockázatelemzők másképp határoztak. Ilyen eszközök:
 - * Vészstop eszköz (Emergency stop device) a smartPAD-en
 - * Engedélyező kapcsoló a smartPAD-en
 - * Kulcsos kapcsoló a smartPAD-en
- Nem biztonságkritikus funkciók a gépek védelme érdekében
Az ipari robot nem biztonságkritikus funkciói nem tartoznak kitüntetett biztonsági követelményekhez.

2.5.1. Használt szakkifejezések

2.4. táblázat: A használt szakkifejezések

Kifejezés	Leírás
Tengely mozgástartománya (Axis range)	Az a tartomány, amelyben a tengely mozoghat. Ezt a tartományt minden tengelyre külön meg kell határozni.
Megállási út (Stopping distance)	Megállási út = reakcióidő alatt megtett út + fékút. A megállási út része a veszélyzónának.
Munkatér (Workspace)	A beavatkozó (manipulator) ezen tartományon belül mozoghat. A munkatér az egyes tengelyek mozgástartományából származtatott.
Automatikus (AUT) (Automatic)	A programvégrehajtáshoz tartozó üzemmód. A beavatkozó a programozott sebességgel mozog.
A következő oldalon folytatódik	

2.4. táblázat – a 11. oldalon kezdődik

Kifejezés	Leírás
Gépkezelő/Felhasználó (Operator/User)	Az ipari robot üzemeltetője lehet a menedzsmenst, alkalmazott vagy megbízott ember, aki felelős a robot működtetéséért.
Veszélyzóna (Dangerzone)	A veszélyzóna a munkaterületből és a megállási útból áll.
Élettartam (Service life)	A biztonságkritikus komponensek élettartama az ügyfélnek kiszállítástól számítandó. Az élettartam nem függ attól, hogy a komponens a robotvezérlőbe került beépítésre vagy máshova, vagy akár egyáltalán nem is volt használva, mivel a biztonságkritikus alkatrészek is ki vannak téve előregedésnek a tárolás alatt.
CRR	<p>Irányított Robot Visszatérés (Controlled Robot Retraction)</p> <p>A CRR egy olyan üzemmód, amelybe akkor lehet lépni, ha az ipari robotot megállította a biztonsági vezérlő a következő okok valamelyike miatt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A robot megsértett egy tengelyspecifikus vagy egy descartesi koordinátára vonatkozó szabályt. • A biztonság-orientált szerszám elhelyezkedése a megfigyelt tartományon kívülre esik. • A robot megsérti az erőre vagy a nyomatékra vonatkozó korlátozásokat. • A pozíciószenzor nem 'mastered' vagy 'referenced'.⁷ • A csuklóban lévő nyomásszenzor nem 'referenced'. <p>CRR üzemmódba lépés után a robotot újra lehet mozgatni.</p>
KUKA smartPAD	Lásd „smartPAD”
Beavatkozó (Manipulator)	A robotkar és a hozzá telepített elektronika.
A következő oldalon folytatódik	

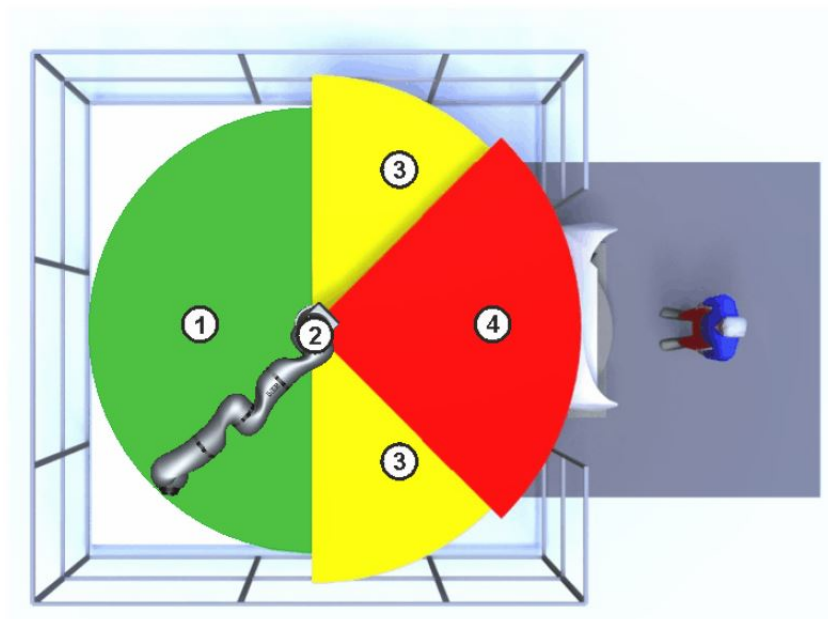
⁷A két kifejezést nem célszerű lefordítani magyarra.

2.4. táblázat – a 11. oldalon kezdődik

Kifejezés	Leírás
Biztonsági sáv (Safety zone)	A beavatkozó nem léphet a biztonsági sávba. Ez a tartomány kívül esik a veszélyzónán.
Biztonsági megállás	A biztonsági megállást a biztonsági vezérlő idézheti elő, így megszakítva a munkamenetet és megállítva a robot mozgását. Biztonsági megállás esetén a programadatok nem vesznek el, így a program folytatódhat a megszakítás pontjától kezdve. A biztonsági megállás lehet 'Stop category 0', 'Stop category 1' vagy 'Stop category 1 (path-maintaining)' (útvonal követés).
smartPAD	A smartPAD egy kézbevehető irányító panel a robotcellához (-állomáshoz). A robotállomás működtetéséhez szükséges összes üzemeltetői és megjelenítési funkciót tartalmazza.
Stop category 0	A motorok kikapcsolnak és a fékek összezárnak.
Stop category 1	A robotkar lefékeződik és közben nem marad a programozott útvonalon. A beavatkozó a motorok segítségével jut álló pozícióba. Amint megállnak a csuklók a motorok kikapcsolnak és a fékek behúzódnak.
Stop category 1 (path-maintaining)	A beavatkozó lefékeződik és közben a programozott útvonalon marad. Amint megállnak a csuklók a motorok kikapcsolnak és a fékek behúzódnak. Ha 'Safety category 1 (path-maintaining)'-et idéz elő a biztonsági vezérlő, akkor ez felügyeli is a megállítás folyamatát. A fékek behúzódnak és a motorok legkésőbb 1 másodperc elteltével kikapcsolnak. Hiba esetén 'Stop category 1' kerül végrehajtásra.
Rendszerintegrátor (System integrator / plant integrator)	A rendszerintegrátorok feladata az ipari robot integrálása egy rendszerbe és ennek hitelesítése.
T1	Teszt üzemmód, manuálisan csökkentett sebesség (Manual Reduces Velocity) (≤ 250 mm/s) Megjegyzés: kézi vezetés T1-ben esetén a sebesség nem kimondottan csökkentett, inkább limitált biztonság szempontú sebességmonitorozás által.
A következő oldalon folytatódik	

2.4. táblázat – a 11. oldalon kezdődik

Kifejezés	Leírás
	Megjegyzés: a 250 mm/s maximális sebesség a mobil platformokra nem vonatkozik.
T2	Teszt mode, manuálisan állított nagy sebesség (> 250 mm/s megengedett)



2.3. ábra: Példa a mozgástartományokra: 1. munkaterület, 2. beavatkozó, 3. megál-lási út, 4. biztonsági sáv

2.5.2. Biztonságszempontú funkciók

Az alábbi funkciók permanensen jelen vannak az ipari robot esetén:

- Vészleállító eszköz (EMERGENCY STOP device)
- Engedélyező eszköz (Enabling device)
- Az üzemmód lezárása (a kulcsos kapcsoló által)

A következő biztonságszempontú funkciók előre konfiguráltak és a robotvezérlő biztonsági interfészén keresztül bármikor a rendszerbe integrálhatóak:

- Üzemeltető biztonsága (= a fizikaileg jelen lévő biztonsági kerítések megfigye-lésére alkalmas csatlakozó)
- Külső vészleállító eszköz

- Külső, útvonalkövető megállást előíró eszköz (Stop category 1 (path- maintaining)) (2.4. táblázat)

Egyéb biztonsági funkciók konfigurálása esetleges, pl.⁸:

- Külső engedélyező eszköz
- Tengelyspecifikus munkatér monitorozás
- Descartes-i munkatér megfigyelés
- **Descartes-i védett tér monitorozás**
- Sebesség nyomonkövetés
- **Tengelyekben ébredő nyomatékok megfigyelése**
- **Ütközés detektálása**

Az egyes pontokról további információ a technikai specifikációban található[12].

⁸A vastag betűvel szedett pontok a szakdolgozat fontos elemei

3. ALKALMAZÁSHOZ SZÜKSÉGES MŰSZAKI FELTÉTELEK ELEMZÉSE

3.1. Projekt részletes leírása

A projekt célja egy olyan robot demo hardveres és szoftveres kidolgozása, amely képes egy emberrel (továbbfejlesztés után akár egy másik robottal) lejátszani egy sakkjátszmát. A demo az ember-robot kollaboráció bemutatására szolgál, fontos szempont az interakció biztonságos megvalósítása mind az emberre, mind a környező tárgyakra tekintettel.

A megvalósításhoz a következő problémák megoldására van szükség:

1. szükséges biztonsági funkciók beüzemelése,
2. a bábuk helyzetének felismerése az egyes lépések előtt és után,
3. a bábuk megfogása és mozgatása (ide tartozik a kalibráció és a referenciafelvétel),
4. sakkalgoritmus beágyazása a programba,
5. a sakkbábúk és a tábla megtervezése és megvalósítása,
6. jelzés a robotkar számára, ha lépés történt.

A felsorolt pontok a projekt során következőképpen kerültek kidolgozásra:

- A bábuk helyzetének detektálása a projekt során QR-kód kereső és olvasó képfeldolgozó eljárásokon alapul (a bábuk tetején található a kód). A kamera a roboton kerül rögzítésre.
- A bábuk mozgatása egy elektromosan vezérelt, párhuzamos megfogó (gripper) segítségével történik.
- Ahhoz hogy a bábuk megfogása egyszerű legyen, azonos magasságú és azonos módszerrel megfogható bábuk készülnek.
- A biztonsági funkciók főként az tengelyekben ébredő plusz nyomatékok monitorozására és biztonsági zónák definiálására épül.
- A tábla és a robotkar, illetve a megfogó (egy jól definiált pontja) és a robotkar relatív helyzetének kalibrálására a robotvezérlő szoftverben elérhető alapfunkciók kerültek felhasználásra.

- A sakklépés megtörténtét a robotvezérlőhöz kötött külső gombbal tudja a felhasználó jelezni.
- A képek fogadása, feldolgozása és a sakkalgoritmus futtatása mind a robotvezérlőn történik.
- Mivel a robotvezérlőn Java alapú környezet fut magas szinten, így a képfeldolgozó és a sakkozó programok is ebben lettek implementálva.

3.2. A megfogó kialakításának és vezérlésének bemutatása

3.3. QR-kód generálás és képfeldolgozás

A képfeldolgozáshoz lehetne saját mintát is használni a bábuk tetején, de a QR-kódok olvasására jól kidolgozott programok érhetőek el. A projekthez a nyílt forráskódú ZXing („Zebra Crossing”) program került felhasználásra⁹. Ez a Java könyvtár (library) alkalmas különböző formátumú, egy- és kétdimenziós vonalkódokkal kapcsolatos képfeldolgozásra, ennek csak egyik eleme a QR-kód olvasás és generálás.

3.3.1. A forráskód build-je

A könyvtár egyszerű használatához célszerű .jar fájlokat generálni a forráskódból. Az első lépés a Github-on elérhető forráskód letöltése vagy klónozása a saját számítógépre. A programkód számos mappába és almappába van rendszerezve az egyes moduloknak megfelelően (pl.: core/ és javase/). **Fontos:** a mapparendszert olyan helyre tegyük a számítógépen, melynek elérési útjában nem található szóköz karakter (ékezetes karakter is probléma lehet)! Minden Java alapú modul esetén található egy pom.xml fájl, amit Apache Maven¹⁰ segítségével lehet használni.

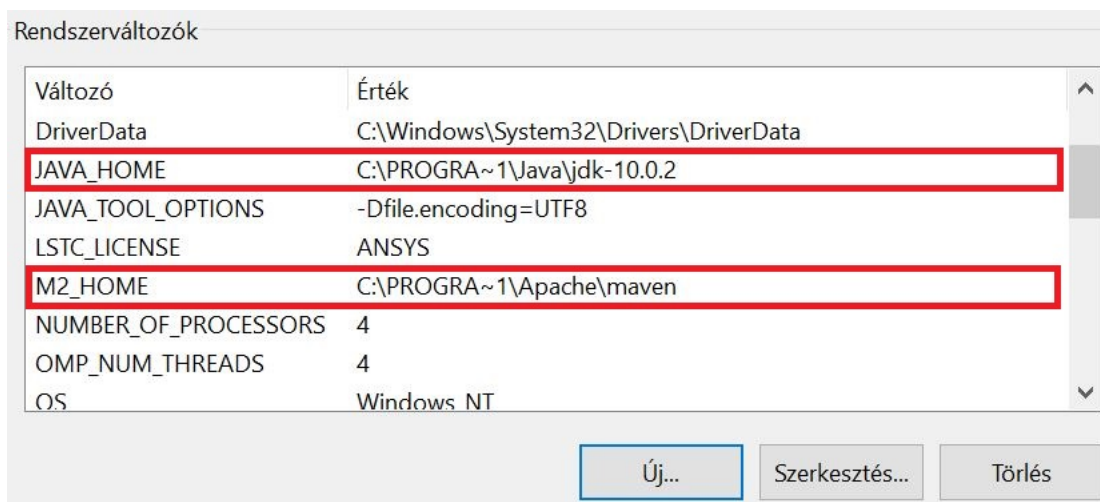
Szükségünk van megfelelő java verzió telepítésére. A JRE (Java Runtime Environment) helyett a JDK (Java Development Kit) valamelyik verzióját (a projekt jdk 10.0.2 verziót használ) érdemes telepíteni, ha fejlesztői funkciókat is igénybe szeretnénk venni (a JRE csomagot ez már tartalmazza). Az Apache Maven telepítése után szükségünk van az ehhez és a JDK-hoz tartozó környezeti változók beállítására. Ezt a Vezérlőpult->Rendszer->Speciális rendszerbeállítások->Környezeti változók...->Rendszerváltozók címszó alatt tehetjük meg. Szükségünk van egy 'JAVA_HOME' és egy 'M2_HOME' változóra (3.1. ábra).

Parancssorban navigáljunk a ZXing projekt gyökeréhez és futtassuk a 'mvn install' parancsot a fordításhoz, a tesztekhez és az összes modul felépítéséhez. A „-DskipTests” paraméter hozzáadásával a unit teszteket kihagyhatjuk. Szükség lehet

⁹További információk és forráskód: <https://github.com/zxing/zxing>

¹⁰Az Apache Maven program ingyenesen letölthető: <https://maven.apache.org/>

a `-Drat.ignoreErrors=true` paraméterre a licensz tesztekkel kapcsolatos problémák ignorálásához. A build folyamat akkor mondható sikeresnek, ha mindegyik modul felépítése sikeres (`'ANDROID_HOME'` környezeti változó beállítása nélkül az Androidhoz kapcsolódó modulokat nem build-eli) (3.2. ábra).



3.1. ábra: Szükséges környezeti változók beállítása

```
[INFO] Reactor Summary:
[INFO]
[INFO] ZXing 3.3.4-SNAPSHOT ..... SUCCESS
[INFO] ZXing Core ..... SUCCESS
[INFO] ZXing Java SE extensions ..... SUCCESS
[INFO] ZXing zxing.org web app 3.3.4-SNAPSHOT ..... SUCCESS
[INFO] -----
[INFO] BUILD SUCCESS
```

3.2. ábra: Sikeres build végeredménye

A lefordított .jar fájlokat ezt követően az egyes modulokon belül találjuk. Például a lefordított *core/* kód helye a *core/target/core-x.y.z.jar*. Ezeket lehet beimportálni a képfeldolgozást megvalósító projektbe.

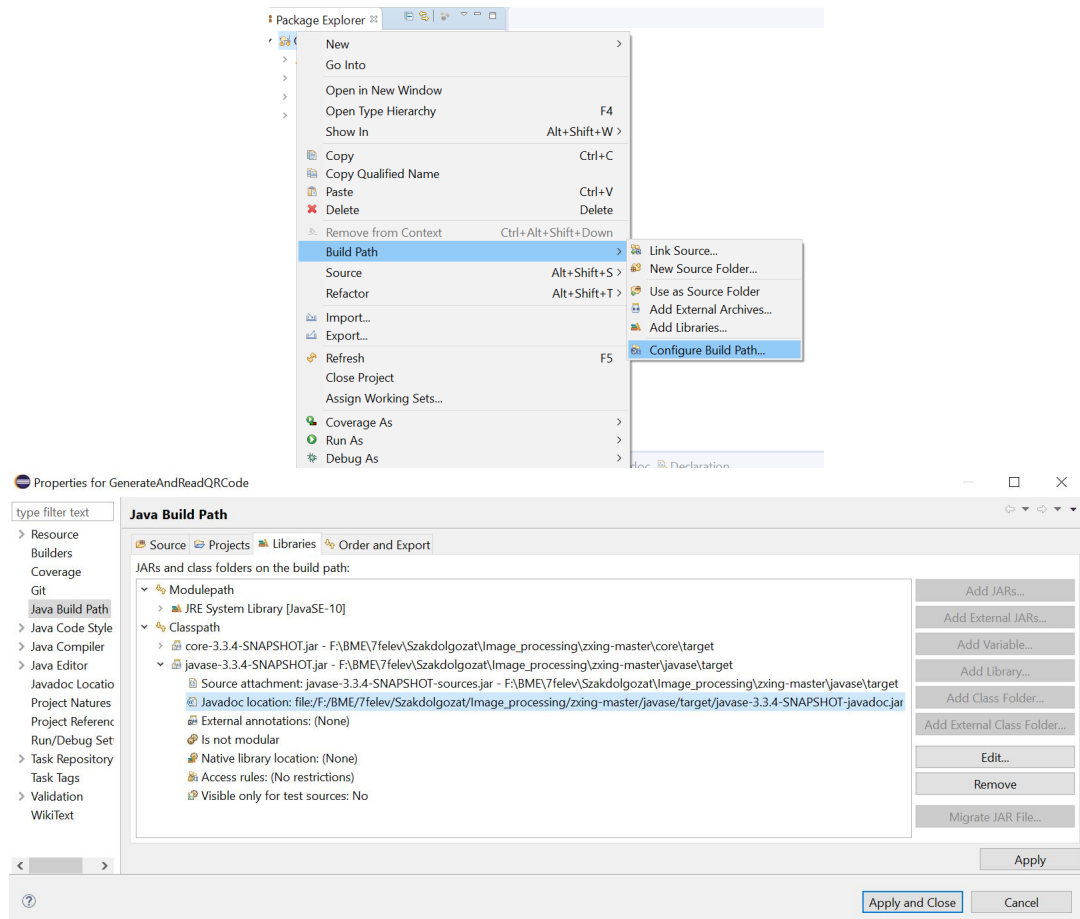
3.3.2. ZXing könyvtár beimportálása és használata

Az iiwa robotkart programozni Sunrise Workbench használatával a legegyszerűbb, ami egy JAVA Eclipse platformú szoftver. Emiatt praktikus okokból a szakdolgozat képfeldolgozási és sakkalgoritmus beágyazási része túlnyomó részt Eclipse-ben történt (verzió: 4.9.0)¹¹.

A könyvtár beimportálásához létrehoztam egy java projektet. Erre jobb egérgombbal kattintva elnavigáltam a `'Configure Build Path...'` menüponthoz (3.3. ábra).

¹¹Link: <https://www.eclipse.org/>

A 'Classpath'-t kiválasztva jobb oldalt aktivizálódik az 'Add External Jars...' gomb. Kiválasztottam a *core/* és a *javase/* modulok .jar fájljait. Ezeken belül lehetőség van forráskód (Source attachment) és dokumentáció (Javadoc location) csatolására (3.3. ábra). 'Apply and Close' után megjelennek a csomagok a hivatkozott könyvtárak (Referenced libraries) pont alatt.



3.3. ábra: ZXing hozzáadása a hivatkozott könyvtárakhoz

4. ROBOTKAR KALIBRÁCIÓ, REFERENCIA FELVÉTEL KIDOLGOZÁSA

5. ROBOTKAR MOZGÁSÁNAK DEFINIÁLÁSA ÉS PROGRAMOZÁSA

6. SAKKALGORITMUS BEÁGYAZÁSA

7. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

HIVATKOZÁSOK

- [1] Andreja Rojko. Industry 4.0 concept: Background and overview. 2017.
- [2] Thomas Bauernhansl, Jörg Krüger, Gunther Reinhart, and Günther Schuh. Wgp-standpunkt industrie 4.0. Technical report, Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik, 2016.
- [3] T. Vilarinho, B. A. Farshchian, J. Floch, and B. M. Mathisen. *A Communication Framework for the Internet of People and Things Based on the Concept of Activity Feeds in Social Computing*. July 2013.
- [4] F. J. N. d. Santos and S. G. Villalonga. Exploiting local clouds in the internet of everything environment. In *2015 23rd Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing*, March 2015.
- [5] C. Wesch-Potente G. Schuh, T. Potente and Annika Hauptvogel. Sustainable increase of overhead productivity due to cyber-physical systems. In *Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing*, March 2013.
- [6] Henning Kagermann. Change through digitization : value creation in the age of industry 4.0. 2015.
- [7] J. Miranda, N. Mäkitalo, J. Garcia-Alonso, J. Berrocal, T. Mikkonen, C. Canal, and J. M. Murillo. From the internet of things to the internet of people. *IEEE Internet Computing*, 19(2):40–47, Mar 2015.
- [8] M. Awais and D. Henrich. Human-robot interaction in an unknown human intention scenario. In *2013 11th International Conference on Frontiers of Information Technology*, pages 89–94, Dec 2013.
- [9] S. Jaschke. Mobile learning applications for technical vocational and engineering education: The use of competence snippets in laboratory courses and industry 4.0. In *2014 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, pages 605–608, Dec 2014.
- [10] George Michalos, S Makris, Panagiota Tsarouchi, Toni Guasch, Dimitris Kontovrakis, and George Chryssolouris. Design considerations for safe human-robot collaborative workplaces. *Procedia CIRP*, 37:248–253, 12 2015.

- [11] Olessia Ogorodnikova. Human weaknesses and strengths in collaboration with robots. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 52(1):25–33.
- [12] KUKA Deutschland GmbH. *System Software - KUKA Sunrise.OS 1.16 - Operating Instructions for End Users*, 2018.

HRC Human Robot Collaboration

IoT Internet of Things

IoE Internet of Everything

TCP Tool Center Point

HRI Human-Robot Interaction