Szegedi Tudományegyetem

Informatikai Tanszékcsoport

**Ipari folyamat szimulációja és irányítása programozható logikai vezérlővel**

Diplomamunka

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Készítette: |  | Témavezető: |  |
|  | Miklós Árpád |  | Dr. Kincses Zoltán |  |
|  | mérnök informatikus szakos hallgató |  | egyetemi adjunktus |  |

Szeged

2017

Ipari folyamat szimulációja és irányítása programozható logikai vezérlővel.



**Diplomamunka mérnök-informatikus MSc szakos hallgató számára**

**Témavezető: Dr. Kincses Zoltán**

**Témakör: ipari informatika, rendszer szimuláció, irányítás**

**Műszaki Informatika Tanszék**



**A feladat leírása, a munka célja**

A hallgató feladata egy ipari folyamat emulációjának és irányításának elkészítése. A munka célja, egyrészt az Országos Ajtonyi István Irányítástechnikai Programozó Versenyen szereplő technológia emulációjának elkészítése egy HIL szimulátor eszköz segítségével. A munka másik célja az így elkészített rendszer irányításának megvalósítása egy programozható logikai vezérlővel. Ez elkészült munka később jól alkalmazható a későbbi PLC versenyekre történő felkészítésben

**A munkavégzés fontosabb lépései:**

* A HIL szimulátor eszköz és a hozzá tartozó szoftverek megismerése, ismertetése
* Az emulálni kívánt technológia megismerése
* A programozható logikai vezérlő és a hozzá tartozó szoftver megismerése, ismertetése
* A HIL emuláció elkészítése
* Az elkészült emuláció irányításának megvalósítása programozható logikai vezérlővel
* Hibakezelés
* Tesztelés
* A dolgozat megírása

**A fejlesztéshez rendelkezésre álló erőforrások:**

* OMRON CJ2M PLC, I/O egységek és a programozásához szükséges szoftver
* Lucas Nülle I/O interfész PRO/TRAIN-hez
* Lucas Nülle BORIS szoftver csomag
* Lucas Nülle PRO/TRAIN



**A jelentkezés feltételei:**

* Érdeklődés a PLC alapú vezérlések és vizualizációjuk iránt
* Angol nyelvtudás

# Tartalmi összefoglaló

* **A téma megnevezése:**

Ipari folyamat emulálása Hardware-In-the-Loop (HIL) eszközzel és ennek irányítása programozható logikai vezérlővel.

* **A megadott feladat megfogalmazása:**

Emulálnom és irányítanom kell egy ipari folyamatot, amelyik egy korábbi Országos Ajtonyi István Irányítástechnikai Programozó Versenyen szerepelt. Az irányításhoz Programozható Logikai Vezérlőt (PLC) kell alkalmaznom, az emulációhoz pedig a WinFACT szoftvercsomagot. Az alap feladatkiíráson túl plusz feladatként meg kell terveznem egy olcsóbb alternatívát a Lucas Nülle I/O interfész helyettesítésére.

* **A megoldási mód:**

A feladatkiírásban szereplő szoftvercsomagok és a hozzájuk tartozó technológiák megismerése és ismertetése. A kiválasztott ipari folyamat emulációjának és a hozzá tartozó irányításnak a megtervezése és megvalósítása, majd ezek tesztelése. Az I/O interfész és a hozzá tartozó szoftver közötti kommunikáció feltárása, tanulmányozása és az eredmények alapján egy saját eszköz megtervezése és tesztelése.

* **Alkalmazott eszközök, módszerek:**
* Alkalmazott eszközök: Lucas Nülle I/O interfész, Omron CJ2M-CPU32 PLC, CX-Programmer 9.1, mikroC PRO for PIC 6.6.2 és Microsoft Visual Studio 15 fejlesztőkörnyezetek, WinFACT 7 BORIS tervezőszoftver, Altium Designer 16.1.7 NYÁK-tervező szoftver, MikroElektronika EasyPIC v7 fejlesztőlap.
* Alkalmazott módszerek: kommunikáció, fejlesztőkörnyezet és fejlesztőeszközök tanulmányozása, fejlesztés, tesztelés, áramkör-szimuláció, mérés és kiértékelés.
* **Elért eredmények:**

A WinFACT 7 szoftvercsomag BORIS (Block Oriented Simulation System) szoftverét kiismertem és dokumentáltam. Megterveztem és teszteltem a kiválasztott ipari folyamatot – karosszéria gyártósor –, illetve elkészítettem a hozzá tartozó irányítást. Megvizsgáltam az I/O interfész és a BORIS közötti kommunikációt, az I/O interfész felnyitása nélkül. Az eredmények alapján megterveztem egy alternatív áramkört, amelyik képes az említett eszközt helyettesíteni. A terveket szimulációval és egy fejlesztőlap segítségével teszteltem, majd az elkészíttetett eszközzel sikeresen működtettem az emulációt.

* **Kulcsszavak:**

ipari informatika, rendszer szimuláció, irányítás, HIL, PLC, technológia-visszafejtés

# Tartalomjegyzék

[Tartalmi összefoglaló 3](#_Toc478226792)

[Tartalomjegyzék 4](#_Toc478226793)

[Bevezetés 5](#_Toc478226794)

[1. A HIL szimulációhoz rendelkezése álló eszközök 7](#_Toc478226795)

[1.1. Az ipari folyamat emulációját lehetővé tevő programok 7](#_Toc478226796)

[1.2. Az emulált technológia és az irányítást végző eszköz közötti kapcsolat 7](#_Toc478226797)

[1.3. Az irányítást megvalósító programozható logikai vezérlő 7](#_Toc478226798)

[2. Az emuláció bemutatására kiválasztott ipari folyamat 8](#_Toc478226799)

[3. A BORIS használatának gyakorlati bemutatása 9](#_Toc478226800)

[3.1. A példaprogram ismertetése 9](#_Toc478226801)

[3.2. A példaprogram megvalósításának bemutatása 9](#_Toc478226802)

[3.3. A példaprogramhoz tartozó vizualizáció megvalósításának bemutatása 9](#_Toc478226803)

# Bevezetés

Az iparban használt rendszerek üzembe helyezése rendkívül magas költségekkel jár. A költségek egyik forrása a ráfordított idő, amit az ilyen rendszerek tervezésének és fejlesztésének körülményessége okoz. Sok esetben az automatizálást végző beágyazott rendszerek fejlesztése az irányítani kívánt rendszerre kapcsolva történik, ami a körülményektől függően akár azt is megkövetelheti, hogy az ilyen munkálatok a beüzemelés helyszínén történjenek. Az ilyen nehézségek csökkentése érdekében ma már HIL (Hardware-In-the-Loop) szimulátorok is alkalmazhatók, amik nem csak az irányítani kívánt rendszerek helyettesítését képesek ellátni a fejlesztési munkálatok alatt, de a napjainkban egyre kiemeltebb szempontot képviselő minőség biztosításában is jelentős szerepet kaphatnak. A végtelenítve futó automata-teszt rendszerek információt adnak a rendszer megbízhatóságáról, amik a HIL szimulátorok alkalmazásával költséghatékonyan megvalósíthatók. Mindezek mellett a HIL szimulátorok jól alkalmazhatók az oktatásban és a különböző képzési programokban is.

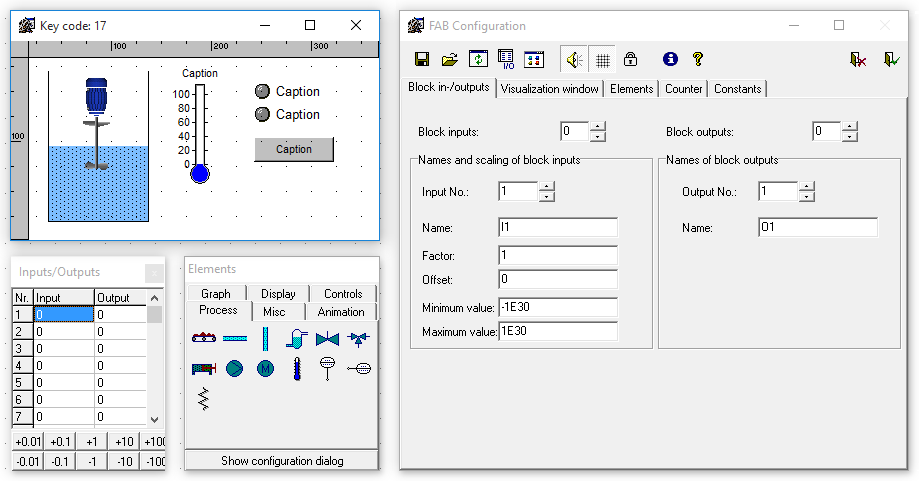
A diplomamunkám elsődleges célja egy létező HIL szimulátor tanulmányozása, a használatának a bemutatása egy konkrét példán keresztül és egy lehetséges helyettesítő eszköz megtervezése. A bemutatásra szánt példa egy karosszéria gyártósor lesz, aminek az irányítását az ipari automatizálásban elterjedt módon, egy programozható logikai vezérlővel fogom megvalósítani. A helyettesítő eszköz megtervezéséhez a helyettesíteni kívánt I/O interfészt annak megbontása nélkül fogom tanulmányozni, ellenkező esetben ugyanis az I/O interfész elvesztené a garanciális javítás lehetőségét. A másik célom a helyettesítő eszköz megvalósítása és összehasonlítása a helyettesíteni kívánt I/O interfésszel alkalmazhatósági és ráfordítási szempontokból, illetve a bemutatásra szánt példa futtatásával mindkét eszközön.

Az 1. fejezetben azokat az eszközöket mutatom be, melyeket a Műszaki Informatika Tanszék biztosított a HIL szimuláció megvalósítására. Ezeknek az eszközöknek a tanulmányozását Görbedi Ákos kollégámmal együtt végeztük. A 2. fejezetben ismertetem az emulálni kívánt ipari folyamatot, a karosszéria gyártósort, majd a 3. fejezetben a vizualizációra fókuszálva egy gyakorlati példán keresztül mutatom be a BORIS használatát. A 2. fejezetben ismertetett technológia és a hozzá tartozó irányítás megvalósítását a 4. fejezetben foglalom össze. Az 5. fejezetben a BORIS projektek hordozhatóságának problémájáról és az általam megvalósított megoldásról írok. Ezeket követően a 6. fejezetben rátérek az alkalmazott I/O interfész és az általam tervezett helyettesítő eszköz műszaki jellemzőire, majd a 7. fejezetben összegzem a diplomamunka készítése során szerzett tapasztalatokat és az elért eredményeket.

# A HIL szimulációhoz rendelkezése álló eszközök

## Az ipari folyamat emulációját lehetővé tevő programok

FAB…



1.1. ábra: Flexible Animation Builder

## Az emulált technológia és az irányítást végző eszköz közötti kapcsolat

## Az irányítást megvalósító programozható logikai vezérlő

# Az emuláció bemutatására kiválasztott ipari folyamat

# A BORIS használatának gyakorlati bemutatása

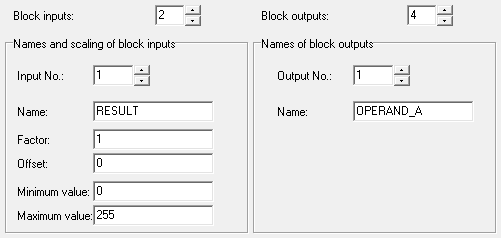
## A példaprogram ismertetése

## A példaprogram megvalósításának bemutatása

## A példaprogramhoz tartozó vizualizáció megvalósításának bemutatása

A 3.2. fejezet jól példázza, hogy a BORIS-ban készült szimulációk nem feltétlenül igényelnek vizualizációt, az eszköztára számos olyan blokkot biztosít, amikkel a felhasználó kölcsönhatásba kerülhet a futó szimulációkkal. Ennek ellenére a vizualizációk sokkal áttekinthetőbb interfészeket biztosíthatnak a szimulációk számára, illetve lehetőségeket adnak a rendszerek könnyebb megértését biztosító animációk elkészítésére is.

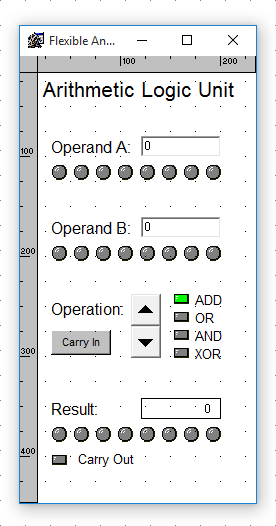
Egy új vizualizáció létrehozásához a blokkdiagramon a *Blocks 🡪 User-DLL-Block 🡪 Flexible Animation Builder* menüponton keresztül elérhető blokkot kell elhelyezni. Ez a blokk az eszköztár *User* fülén is megtalálható ugyanilyen néven. A vizualizáció szerkesztéshez elő kell hívni a FAB szerkesztőfelületét (1.1. ábra), ami az imént említett blokk szerkesztőablakából a *Dialog…* gombra kattintva érhető el. Itt legjobb első lépésként beállítani a be- és kimeneteket, ami a *FAB Configuration* ablak *Block in-/outputs* fülén végezhető el. A példában a vizualizáció legyen egyben beviteli és megjelenítő felület is. Ehhez kettő bemenetre és négy kimenetre lesz szükség (3.1. ábra).



3.1. ábra: a vizualizáció be- és kimeneteinek beállító felülete

Az első bemenet fogadja majd az ALU eredményét, a másik bemenet pedig az átvitel jelzőbitjét. A négy kimenet közül az első kettő szolgáltatja az operandusokat, a harmadik a művelet sorszámát, a negyedik pedig a kezdeti átvitelt jelző bitet.

A munkafelületre új elemeket az *Elements* ablakban megjelenő eszköztárról lehet behelyezni. Amennyiben ez az ablak nem jelenne meg, a munkafelületen előhívható helyi menüből előtérbe hozható az *Elementfenster* menüpontra kattintva. Az operandusok beviteléhez két beviteli mezőre lesz szükség, melyek a *Controls* fülön *Edit field* néven találhatók meg. Emellett a logikai műveletek jobb szemléltetése érdekében az operandusok és az eredmény binárisan is meg lesznek jelenítve, amikhez LED elemekre is szükség lesz (3.2. ábra). A LED-ek a *Display* fülön *LED* néven találhatók meg.



3.2. ábra: az ALU példaprogram vizualizációja

A műveletek közötti váltást egy léptető nyomógombpár fogja megvalósítani (3.2 ábra), ami a *Controls* fülön található *Spin element* néven. Ugyanezen a fülön található *Switch* elem egy kapcsoló, amelyik majd a kezdeti átvitel jelzőbitjét fogja jelenteni. Az eredmény megjelenítése a *Display* fülön levő *Numerical field* elemmel valósítható meg. A címkézés vagy a különböző szerepet ellátó LED-ek eltérő elemekkel való jelölése egyéni döntés kérdése, a vizualizáció működésében nem játszanak szerepet. A címkék a *Graph* fülön *Static text* néven szerepelnek, a négyszögű LED-ek pedig a *Display* fülön *Rectangular LED* néven találhatók meg. A vizualizáció működésének beállítása előtt célszerű az említett elemeket először a 3.2 ábra szerint vagy egyéni elrendezés alapján behelyezni.

Az elemek beállításai a méreteiken és a színeiken túl kiterjednek arra is, hogy egy-egy elem valamelyik paramétere melyik be- vagy kimenettel áll kapcsolatban. A munkafelületre behelyezett elemek listája a *FAB Configuration* ablak *Elements* fülén található meg. A listában szereplő elemek tulajdonságai a lista melletti *Element properties* táblázatban módosíthatók. Ez a táblázat mindig a listában kijelölt elem tulajdonságait jeleníti meg. Itt a működtetés szempontjából a legfontosabb az operandusokat biztosítók beviteli mezők, a műveletet meghatározó nyomógombpár és az eredményt kijelző számmező összekötése a megfelelő ki- vagy bemenetekkel. A beviteli mezők és a nyomógombpár esetén a kimenetet az *Output* tulajdonság határozza meg. Ebbe a mezőbe a megfelelő kimenet sorszámát kell beírni. A beviteli mezőknél az engedélyezett értékek tartományát a *MinValue* és a *MaxValue* tulajdonságok szabályozzák, a nyomógombpár esetén ugyanezt a *Min* és *Max* tulajdonságok látják el. Mivel az ALU csak négy műveletet tud elvégezni a nyomógombpár *Min* értéke az 1 lesz, a *Max* pedig a 4, a léptetés nagysága – *Increment* – pedig szintén 1 lesz. A számmező és az átvitelt jelző LED kapcsolatai hasonlóképpen állíthatók be, az *Input* tulajdonság segítségével. Az operandusokat és a kiválasztott művelet eredményét binárisan megjelenítő LED-ek esetében a kapcsolatot nem lehet ilyen egyértelmű módon megadni, mivel a FAB nem biztosít külön lehetőséget a bemenetek bitjeinek a közvetlen elérésére. Azonban a legtöbb tulajdonság kifejezéssel is megadható [1]. Egy egész szám n-edik bitje valójában a számnak és a 2 n‑edik hatványának osztásából származó érték 2-vel képzett maradékának az egész része (3.1).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.1) |

A FAB egyik hiányossága, hogy nem rendelkezik a maradékképzéshez szükséges függvénnyel, ezért a maradékot a vele ekvivalens kifejezéssel [2] kell kiszámíttatni (3.3).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.2) |
|  |  | (3.3) |

A (3.3) kifejezés eredménye 0 vagy 1, ennek megfelelően a LED-ek *OnValue* tulajdonságainak 1-es értékűeknek kell lenniük. Ennek a tulajdonságának a nagyobb vagy egyenlő kiértékelése miatt a (3.3) kifejezésből elhanyagolható a maradékképzés eredményének tört részét levágó művelet. A LED-ek *Input* mezőibe az elfoglalt helyüktől függően a 3.1. táblázat szerinti kifejezéseket kell beírni, ahol „O1” az első kimenetet jelenti. A kimeneteket a FAB kifejezésekben az „O” betűjel vezeti be, a bemeneteket pedig az „I” betűjel.

|  |  |
| --- | --- |
| Megjelenítendő bit | Kifejezés |
| 0 | O1 - (2 \* INT(O1 / 2)) |
| 1 | (O1 / 2) - (2 \* INT((O1 / 2) / 2)) |
| 2 | (O1 / 4) - (2 \* INT((O1 / 4) / 2)) |
| 3 | (O1 / 8) - (2 \* INT((O1 / 8) / 2)) |
| 4 | (O1 / 16) - (2 \* INT((O1 / 16) / 2)) |
| 5 | (O1 / 32) - (2 \* INT((O1 / 32) / 2)) |
| 6 | (O1 / 64) - (2 \* INT((O1 / 64) / 2)) |
| 7 | (O1 / 128) - (2 \* INT((O1 / 128) / 2)) |

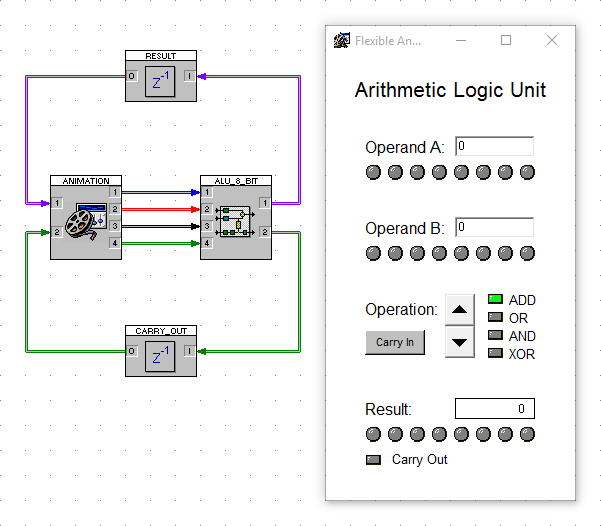
3.1. táblázat: a LED-ek ki- és bekapcsolását végző utasítások a FAB-ban.

A műveletek kijelzésénél nem a művelet sorszámának bináris reprezentációjára van szükség, hanem a sorszámnak megfelelő LED felgyújtására. A LED-ek *OnValue* tulajdonságainak nagyobb vagy egyenlő kiértékelése miatt minden ilyen LED *Input* mezőjében olyan kifejezésre van szükség, amelyiknek a hozzá tartozó *OnValue* érték a maximuma. A (3.4) kifejezés egy lehetséges megoldása az említett problémának, ahol „x” a be- vagy kimenetnek a szimbóluma, az „n” pedig az az érték, amelyikre az adott LED-nek fel kell gyulladnia.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.4) |

A (3.4) kifejezésben, ha az „x” értéke kisebb, mint „n”, az *Input* értéke az *OnValue* értékénél kisebb pozitív valós szám lesz. Amennyiben az „x” és az „n” megegyeznek az *Input* is meg fog egyezni az *OnValue* értékével. Abban az esetben pedig, ha az „x” nagyobb az „n” értékénél, az *Input* értéke negatív valós szám lesz.

A FAB külön fájlokba is képes az elkészített vizualizációt kimenteni. Ez a funkció a vizualizációk újrahasznosításakor lehet hasznos, azonban ettől függetlenül a vizualizáció a tartalmazó BORIS fájl mentésekor szintén mentésre kerül a tartalmazó fájlba. Az elkészült vizualizáció és a 3.2. fejezetben bemutatott szuperblokk közvetlenül nem összeköthető, ugyanis a BORIS algebrai huroknak fogja venni, ahol a kimenetek és a bemenetek körkörösen függenek egymástól. Ez könnyen feloldható a *Unit delay* blokk segítségével, amelyik a Blocks 🡪 Dynamics 🡪 Unit delay menüpont segítéségével helyezhető be a blokkdiagramba (3.3. ábra). Ez egy mintavételező elem, amelyik alapértelmezetten 1 másodperces időközönként vesz mintát a bemenetéről, de ez csökkenthető.



3.3. ábra: az ALU példaprogram az elkészült vizualizációval.

A bemutatott vizualizáció megtalálható a mellékelt CD *Symulation* könyvtárának *examples* alkönyvtárában *alu\_8bit\_visualization.fab* néven.

# A karosszéria gyártósor emulációja és irányítása

## Az emuláció megvalósításának bemutatása

### A robotok és a futószalagok vizualizációja FAB segítségével

### A robotok mozgatása

### A karosszériák mozgatása

### A cellák ellenőrzőlogikái

### Különbségek az eredeti feladathoz képest

### A karosszéria gyártósor teljes vizualizációja

## Az irányítás megvalósításának bemutatása

### A cellák irányítása

### Az operátor beavatkozásaira reagáló irányítás

# A BORIS projektek hordozhatósági problémája és megoldása

A fejlesztői munkákban rendkívül fontos a verziókezelés [3], aminek a megvalósítására ma már több ingyenesen igénybe vehető eszköz is létezik. (A diplomamunka verziókezelése a Git szoftverrel történt, a GitHub szolgáltatásainak igénybevételével.) A verziókezelés nem csak a végtermék kiadott verzióinak menedzselése, biztonsági mentések előállítása és elágazások (branches) esetleges létrehozása miatt kiemelt fontosságú, de a csapatban végzett, hatékony fejlesztői munka gyakorlatilag elképzelhetetlen nélküle.

Egy BORIS projekt verziókezelése ugyanúgy megvalósítható, mint bármely más projekté, a forrásfájljai ugyanis rendkívül kisméretűek és karakteres alapúak. Ezek alapján még a csapatban végzett fejlesztés is elképzelhető, ezzel szemben azonban a BORIS egy igen kellemetlen akadályt emel: a több fájlból álló projekteket más útvonalra mozgatva a forrásfájlokon belül kereszthivatkozások célt tévesztenek. Amennyiben a fejlesztői csapat minden egyes tagja ugyanazon az útvonalon tárolja a projekt állományait, az említett hiba nem jelentkezik, azonban így a végtermék is csak a fejlesztés során alkalmazott útvonalon futtatható.

A BORIS által létrehozott állományok abszolút útvonalakat tárolnak, ugyanakkor a BORIS nem képes a relatív útvonalak feloldására sem. Ennek a megoldására a szoftver látszólag nem biztosít egyértelmű lehetőséget, azonban az általa létrehozott állományok karakteres mivolta miatt viszonylag egyszerűen programozható olyan segédprogram, amelyik korrigálja az állományokban tárolt abszolút útvonalakat.

A diplomamunka keretein belül a BORIS projektek hordozhatósági problémáját korrigáló segédprogram C++ nyelven lett megvalósítva Visual Studio 2015 fejlesztőkörnyezetben, a forrása pedig megtalálható a mellékelt CD *BORIS Tools* könyvtárának *BORISTeleporter* alkönyvtárában. Ez a program egy BORIS projekt gyökérkönyvtárában futtatva bejárja az alkönyvtárakat, összegyűjti a projekt állományainak abszolút útvonalait, majd mindegyiket megvizsgálva felülírja a bennük tárolt hivatkozásokat.

A BORIS által létrehozott állományok tartalmai elsősorban a szoftver számára szolgáltatnak adatokat, melyek alapján fel tudja építeni a blokkdiagramokat, azonban szövegszerkesztőben megnyitva emberileg is értelmezhető tartalommal rendelkeznek, ahogy azt az 5.1. táblázat is mutatja.

|  |
| --- |
| [Block #5]  383 SUPERBLOCK  ALU  175 575 246 659 100  4  2  0 0 0 0  E:\SZTE\Diplomamunka\Emulated System\Emulation\common\alu\_8bit.SBL  0  [Block #6]  430 BLOCKBUTTON  OP\_A\_B7  25 25 96 64 100  0  1  0 0 0 0  0  0 |

5.1. táblázat: Részlet egy a BORIS által létrehozott állományból.