

Kanban-rendszerű anyagellátás modellezése Arena szimulátorral

DR. BENKŐ JÁNOS

egyetemi tanár, SZIE, GEK, KÖRI, Logisztika Tanszék

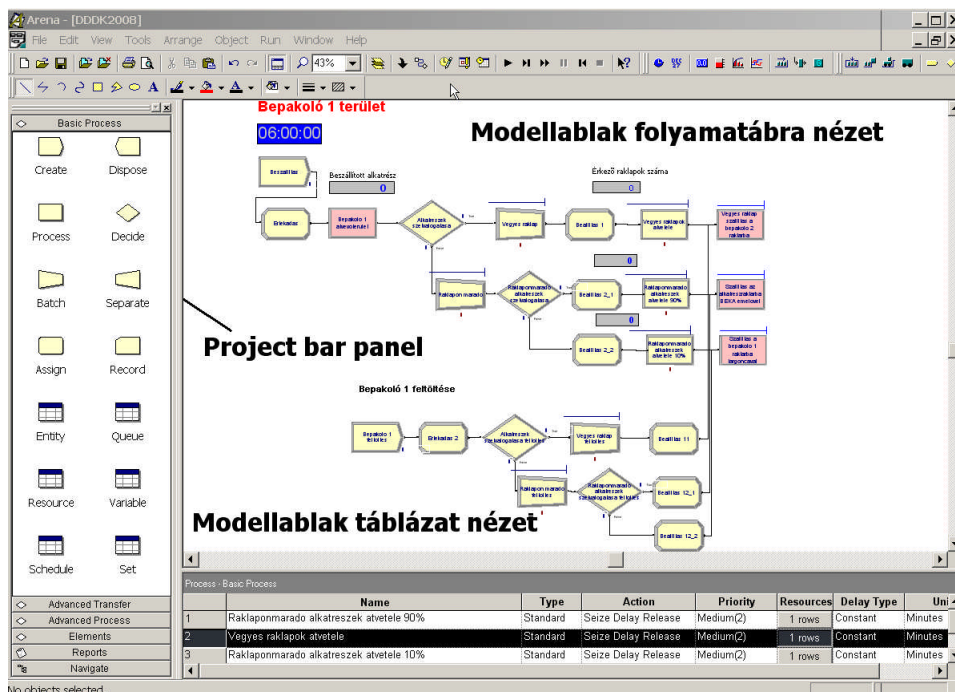
A szimuláció az analitikai módszerekhez hasonlóan magában foglalja a vizsgált rendszert és annak modelljét, ahol a rendszer lehet létező vagy megvalósítandó eszköz vagy folyamat, például egy ipari üzem gépekkel, emberekkel, szállítóeszközökkel és tároló helyekkel. A rendszerek tanulmányozásának célja lehet a teljesítmények mérése, a működés javítása, illetve új rendszerek tervezése. A cikk egy Kanban rendszerű termelési folyamat anyagellátási folyamatainak modellezését mutatja be szimuláció segítségével.

Kulcsszavak: anyagellátás, Kanban-rendszer, modellezés, szimuláció, termelési rendszerek

Bevezetés

A folyamat szimuláció a valós rendszerek viselkedését utánzó, általában számítógépre adaptált módszerek és alkalmazások széles gyűjteménye. Napjainkban a szimuláció a számítógépek és a szoftverek fejlődésének köszönhetően egyre közismertebb és erőteljesebb eszközzé vált, amit sok helyen használnak az iparban és a szolgáltatások területén [5].

A szimuláció területén használt terminológia korántsem egységes, ezért az alkalmazásfejlesztés megértése és követhetősége érdekében a következők rövid áttekintést adnak az Arena modellezési környezetről, amelyben később az anyagellátási folyamat modellje elkészül. A cikk az alapok ismeretében, lépésről lépésre haladva, ismerteti meg a strukturális modellfejlesztés fázisait.



1. ábr a. Az Arena modellezési környezete

Az Arena modellezési környezet

Modellezéskor az *Arena* alkalmazásablak három területe használható: a *Project Bar*, a modellablak folyamatábra nézete és a modellablak táblázat nézete (1. ábra). A *Project Bar*-on

elérhető a folyamatok definiálására hivatott *Basic Process*, *Advanced Process* és *Advanced Transfer* panelek, amelyek tartalmazzák a moduloknak nevezett modellformákat (alakzatokat). A *Reports* panel lehetővé teszi a szimulációs eredmények kijelzését, a *Navigate* panel a különböző szempontok szerinti modellmegjelenítést és a hierarchikusan felépülő almodellek közötti navigációt segíti.

A *modellablaknak* két fő területe van. A folyamatábra nézet (*flowchart view*) a grafikákat, beleértve a modulokból felépített folyamatábrát, az animációt és egyéb rajzi elemeket tartalmazza (1. ábra). Az alsó ablak a táblázat nézet (*spreadsheet view*) a modelladatokat jeleníti meg táblázatosan, mint pl. az idő, a költség és más paraméterek.

A *Project Bar*-on elérhető *modulok* lehetnek folyamatábra elemek és adatmodulok. A *modulok* az adott folyamat szimulációhoz szükséges információkat tárolják. Az egymáshoz kapcsolt folyamatábra modulok (pl. **Create**, **Dispose**, **Process**, **Decide**, **Transport**, **Assign** stb.) határozzák meg, hogy mi történik és milyen sorrendben a szimuláció alatt. E modulok működését befolyásoló paraméterek a modulokhoz rendelt dialógusablakokban adhatók meg. Az *adatmodulok* (**Entity**, **Queue**, **Resource**, **Variable** stb.) bizonyos objektumhalmazok tulajdonságait leíró modulok, vagyis adatobjektumok, amelyekre a folyamatábra modulok hivatkozhatnak. A folyamatábrán áramló objektumok *entitásoknak* nevezett alkatrészek. Az entitások változtathatják a státuszukat, hatnak más entításokra és a rendszer állapotára, illetve maguk is más entitások hatásainak lehetnek kitéve. Az entitások dinamikus objektumok,

amelyek rendszerint a szimulációban jönnek létre a **Create** modul segítségével, majd a rendszeren átáramolva a kilépési ponton, ez a **Dispose** modul, elhagyják a rendszert. Az entitások másolhatók, csoportosíthatók (batch képzés) és szeparálhatók (batch bontás). Az entitások tulajdonságai az **Entity** adatmodulban adhatók meg. Az *attribútumok* az entitásokhoz kapcsolódnak és egyéni jelleget kölcsönözhetnek azoknak. Az attribútum azonos típusú entitások közös jellemzője, de a specifikus értékkel felruházott attribútum alkalmas az azonos típusú entitások megkülönböztetésére is [1].

Az *Arena* kétféle változót ismer: beépített (pl.: *number in queue*, *number of busy servers*, *current simulation clock time* stb.) és a felhasználó által definiált változók (pl.: átlagos kiszolgálási idő, utazási idő, pillanatnyi szállítmány tömege stb.).

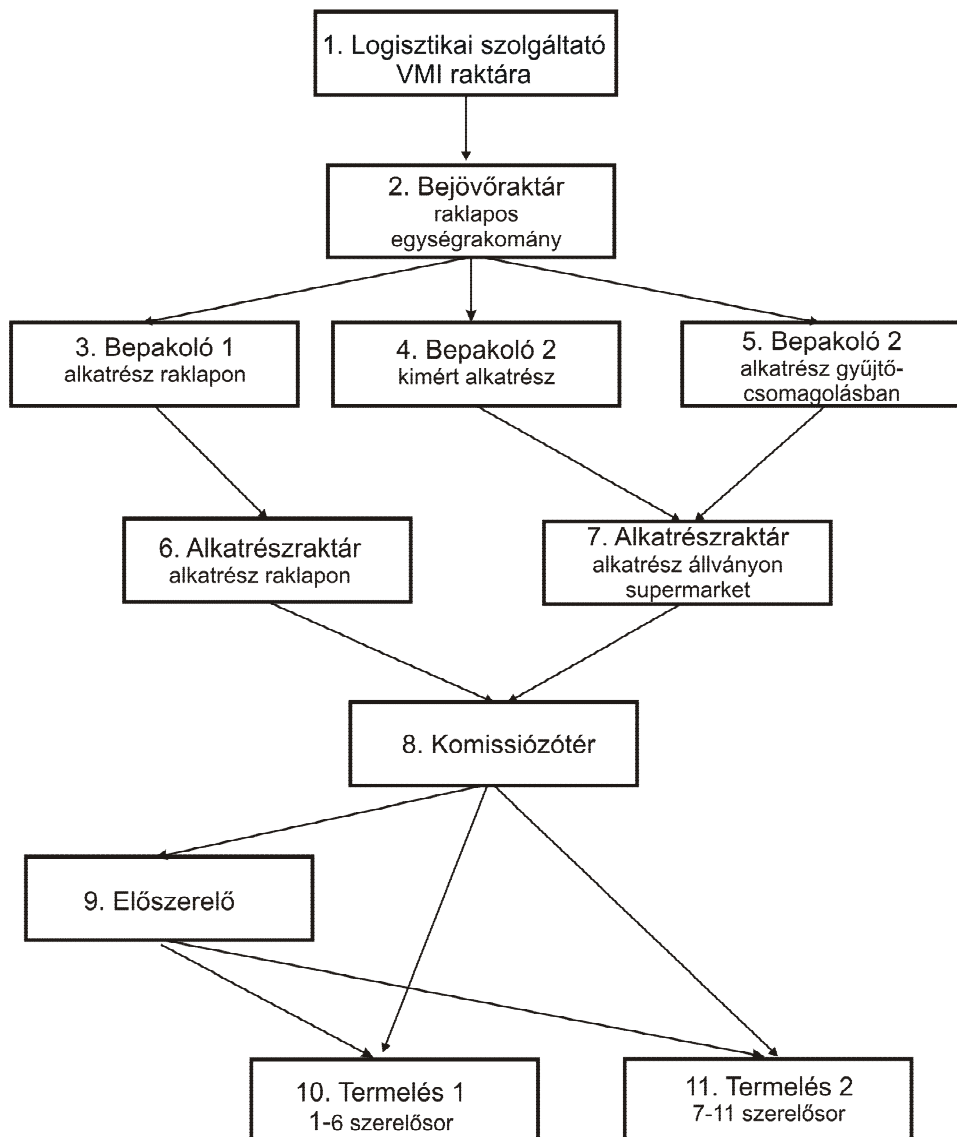
Az entitásokat kiszolgáló objektumok a *resources* (erőforrások), amelyek lehetnek emberek, eszközök, tárolóhelyek stb. korlátozott méretekkel. Az erőforrások igénybevételét jelentő lehetséges tevékenységek (actions): *seize* (megfogás), *delay* (késleltetés) és *release* (elengedés). Ezek a tevékenységek késedelem nélkül, egymást követően vagy időeltolódással, valamilyen feltételhez kötötten jelentkezhetnek. Amikor egy entitás a modellben a megadott szekvenciának megfelelően nem tud tovább mozogni, mert a soron következő művelet erőforrása foglalt, akkor várakozásra kényszerül. A várakozások helyei a *Queues* (sorok).

A szimuláció eredményeinek követését szolgálják az ún. *Statistical Accumulators*-nak (statisztikai akkumulátoroknak) nevezett változók, amelyek az entitások, a sorok, az erőforrások, folyamatok, állomások stb. statisztikai jellemzőiről gyűjtenek adatokat. Alapvetően a szimuláció során minden az *events* (események) körül forog. Az esemény azt jelenti, hogy egy adott időpontban történik (érkezik, befejeződik, távozik stb.) valami, ami megváltoztathatja az attribútumok, a változók és a statisztikai akkumulátorok értékét.

3. A vizsgált anyagellátási folyamat bemutatása

A vizsgált rendszerben a termékek gyártása, illetve összeszerelése nagyszámú és sokféle alkatrész kezelését (fogadását, bevételezését, raktározását és mozgását) igényli, ezért a gyártás

hatékonysága szorosan összefügg a logisztikai folyamatok, elsősorban a raktározás és komissiózás szervezettségével, megfelelő színvonalú elvégzésével.



2. ábra. Az anyagellátási rendszer folyamata

A raktározás, a gyártás objektumait és a köztük lévő kapcsolatokat a 2. ábra szemlélteti. Az ábrán a téglalapok helyeket, a vonalak pedig folyamatokat jelölnek. A beszállítótól raklapos egység rakományként érkező alkatrészeket (kit) az ún. VMI (Vendor Managed Inventory) rendszerben a logisztikai szolgáltató raktárában tárolják, ahonnan azokat a gyártás ütemének megfelelően, naponta két alkalommal (9 és 17 órakor) szállítják át az összeszerelés területére. A raklapok megbontása, a rakományok ellenőrzése, átvétele és a gyártó nyilvántartási rendszerének megfelelő azonosító címkékkel való ellátása az erre kijelölt területen (az ún. bejövő területen) történik. A bevételezést követően a nagyobb méretű alkatrészek raklapon maradnak, és az átvevő területtel egy térben elhelyezett raklapos állványokra kerülnek. A kisebb méretű alkatrészeket előkészítés után a *Bepakoló 2* nevű raktárban polcos állványokon tárolják. Az előkészítés során a papírdobozokban (gyűjtőcsomagolásban) szállított alkatrészek egyik részét (mintegy 60–70-féle alkatrészt) kisebb csomagokba mérik szét. Az alkatrészek másik része az eredeti gyűjtőcsomagolásban marad.

Az anyagellátási folyamat helyei a *Bepakoló 1* és a *Bepakoló 2* elnevezésű raktárak, amelyek a raklapon maradó alkatrészek tárolására hivatott raklapos állványrendszerből, a gyűjtőcsomagolásban maradó, valamint a kimért alkatrészeket tároló polcos állványrendszerből állnak és előkészítő feladatokat végeznek. A raklapos állványrendszer az átvevő területtel egy térben, az ún. hidegraktárban helyezkedik el, a polcos állványrendszer pedig a belső ún. melegraktárban kapott helyet.

A raklapon maradó szállítmányokat targoncával szállítják és pakolják be a raklapos állványok tárhelyeire. A gyűjtőcsomagolásban maradó és a kimért alkatrészeket kézikocsival mozgatják a *Bepakoló 2* raktár manipulációs terébe, ahol az érkező alkatrészeket bevételezik, kimérik, címkézik és azonosítóval ellátott tárolóhely pozícióra helyezik.

A manipulációs területől indulnak az alkatrésraktár feltöltésére szolgáló kézikocsik is. Ezeket a kocsikat a *Kanban* ciklus szerint, az alkatrésraktár igényének megfelelően kiírt és kiszedett alkatrészekkel rakják meg és szállítják át az alkatrésraktárba. Ezzel párhuzamosan ugyancsak kézikocsival (BÉKA emelővel) mozgatják a raklapon maradó anyagokat az alkatrésraktár raklapos tárolóterületére. A *Bepakoló 1* és a *Bepakoló 2* területen a leírt feladatokat 7–8 fő (ún. bepakoló raktáros) látja el.

Az összeszerelő területekre (*Előszerelő, Termelés 1 és Termelés 2*) ESD ládákban és *Kanban* kocsikon beszállított alkatrészek kikészítése az ún. kikészítő területen (kommissiózó tér) történik. Az alkatrészek beszállítását itt is a *Kanban*-elv szabályozza. Gyakorlatilag az összeszerelő területől kikerülő, azonosítóval ellátott üres ESD ládák jelzik, hogy mely alkatrészeket kell pótolni. Az összeszerelő területre félórás ütemben szállítják be a kikészített alkatrészeket, illetve szállítják ki onnan az üres ládákat.

A kikészítés gyakorlatilag egy egylépcsős kommissiózás, amelynek műveletei: az alkatrészek kiírása a számítógépes rendszerben, a címkenyomtatás, a *Kanban* ládák (electrostatic discharge-ESD ládák) feltöltése és a *Kanban* ládák kocsira helyezése. A két összeszerelő területre telepített 11 összeszerelő sort soronként 1 darab *Kanban* kocsi látja el alkatrészekkel. A feltöltött kocsikat félórás ütemben vontatják át a gyártósorokhoz, ahol a feltöltött ESD ládákat a sor megfelelő pozíciójára helyezik, az üres ESD ládákat pedig összegyűjtik és visszaszállítják a kommissiózóterbe.

A röviden bemutatott ellátási és gyártási rendszerben a folyamatok és a folyamatokat alkotó műveletek időigényei nem determinisztikusak, hanem különböző külső és belső tényezők hatásainak kitett valószínűségi változók. A sztochasztikus változókkal jellemezhető folyamatok kapacitásai összehangolása általában csak szimulációval oldható meg.

4. Az anyagellátási folyamat logikai modellje és paraméterei

A szimuláció az alkatrészbeszállítás és az -összeszerelés közötti műveleteket foglalja magában és célja egy olyan eszköz kifejlesztése, amely alkalmas a rendszerelemek kapacitásainak az összehangolására, „a mi van akkor, ha ...” típusú kérdések megválaszolására.

A gyártás input oldali logisztikai folyamatait modellező szimulációs program fejlesztésekor a kutatási feladat előzményeire, a 2. ábrán szemléltetett valóságos anyagellátási folyamat logikai hálójára és a megfigyelt részfolyamatok idő-, kapacitás-, intenzitásjellemzőire lehet támaszkodni.

A könnyebb kezelhetőség és áttekinthetőség érdekében a modell almodellekre bontott. Az almodellek az anyagellátási- és termelési rendszer különböző, fizikailag is elkülönülő területein (*Bepakoló 1* terület, *Bepakoló 2* terület, alkatrésraktár és összeszerelés) zajló termelési és logisztikai folyamatokat írják le. A főmenüből a megfelelő menüpont kiválasztása után, a

program futása közben is el lehet jutni az érdeklődésre számot tartó almodellhez, illetve a diagramokhoz és az animációhoz (3. ábra).

Anyagellátási folyamat szimulációja

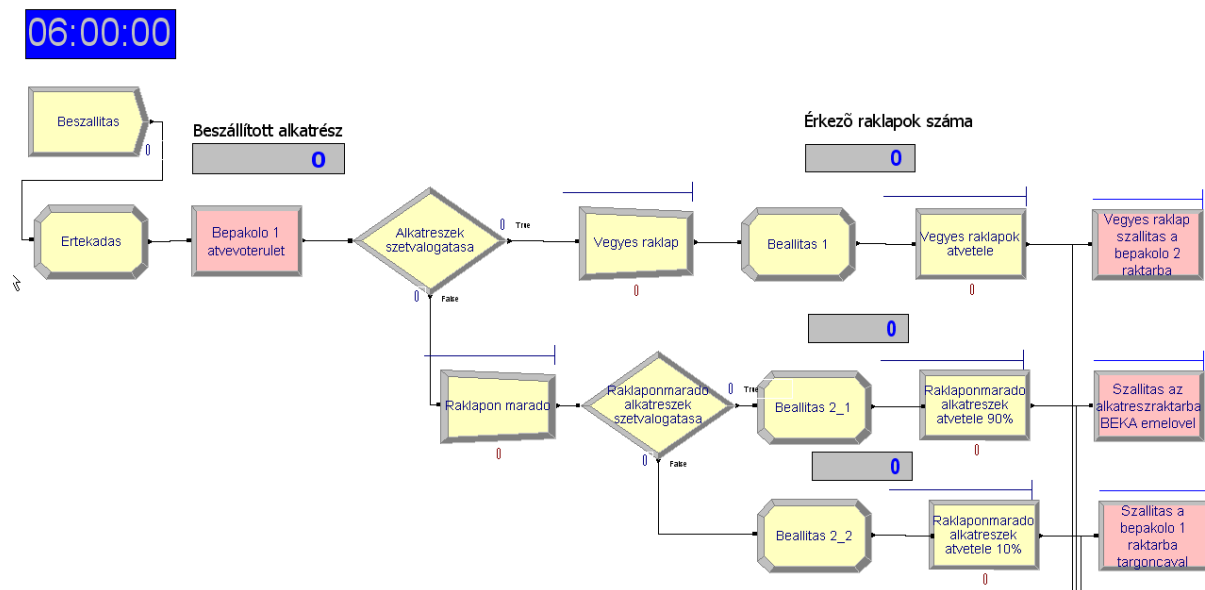


3. ábra. A szimuláció főmenüje

4.1. Az átvétel almodellje

A *Bepakoló 1* területen megvalósuló átvételi folyamat logikai hálóját a 4. ábra szemlélteti, amelyen a modellbe szerkesztett *flowchart* modulok és a köztük lévő kapcsolatok láthatók. A modellablakba helyezett modulok a modellhez csatolt a *Basic Process* és az *Advanced Process* panelekhez tartoznak.

Bepakoló 1 terület



4. ábra. Az átvételi folyamat almodellje

A modell belépési pontja a „*Beszallitas*” nevű **Create** modul (4. ábra). A **Create** modul feladata az entitások létrehozása. A modulban létrehozott „*Alkatresz114*” nevű entitások 1 termék előállításához szükséges, 114 darab alkatrészt tartalmazó alkatrész csomagok, és ütemezve (*Schedule*) érkeznek, naponta két alkalommal, délelőtt 9 órakor és délután 5 órakor. Egy-egy beszállítás alkalmával, a műszak alkatrészigényéhez igazodóan, több mint egy millió alkatrész érkezik. A modul nevét: „*Beszallitas*”, az entitás típusát: „*Alkatresz114*”, az érkezési időköz típusát (**Schedule**), az érkezésenkénti entitások számát (9 000) és az érkezések számát (1) a modul dialógusablakának megfelelő mezőjébe kell beírni.

Az ütemezés megváltoztatható a *Basic Process Panel*-en elérhető **Schedule** adatmodul segítségével. A **Schedule** adatmodul dialógusablakában a *Value (Arrival Rate)* mezőben adható meg az óránkénti érkezések száma, a *Duration* mezőben pedig az érkezés időtartama állítható be.

Az „Ertekadas” nevű **Assign** modul dialógusában attribútumok definiálhatók a későbbi rakomány-megosztáshoz.

1. táblázat. Az „Ertekadas” modulban definiált attribútumok

Assignments			
	Type	Attribute Name	New Value
1	Attribute	TarolasmodIndex	DISC(0.09,1 , 1.0,2)
2	Attribute	Entity.Picture	Alkatresz kep(TarolasmodIndex)
3	Attribute	BEKA index	0
4	Attribute	Karbankocsi index	1

Az **Assign** modulban új értéket adhatók a változóknak, az entitásoknak, az attribútumoknak, az entitás típusoknak, az entitást megjelenítő képeknek és más rendszerváltozóknak. Például: az első attribútum neve „*TarolasmodIndex*”, értéke pedig DISC(0.1,1, 0.7,2, 1.0,3), ami a háromféle tárolási mód szerinti (raklapon = 10%, kimért = 60%, gyűjtőcsomagban maradó = 30%) alkatrészmegoszlásnak felel meg. Az alkatrésztípusok a „*TarolasmodIndex*”-szel különböztethetők meg, és ezekhez a **Set** modulban rendelhetők értékek. Az „Ertekadas” nevű **Assign** modulban definiált további attribútumok az 1. táblázatban olvashatók.

A „*Bepakolo 1 atvevoterulet*” nevű **Station** modul (4. ábra) funkciója az átvétel helyének, a *Bepakoló 1* raktárterületnek a definiálása. Az *Arena* a fizikai rendszerek modellezéséhez állomásoknak (*Station*) nevezett helyeket azonosít. Az állomások olyan helyek, ahol valamilyen folyamat megy végbe. A modellben az állomások olyan helyeket reprezentálnak, ahova alkatrészek érkeznek, és ahonnan alkatrészek távoznak. Az önálló névvel rendelkező állomások egyrészt, mint a modell logikai folyamatának belépő pontjai szerepelnek, másrészt együtt dolgoznak az *Station Transfersnek* (állomás transzfernek) nevezett, itt nem részletezett fogalommal.

Az „*Alkatreszek szetvalogatasa*” nevű **Decide** modulban (4. ábra) arról születik döntés, hogy a beérkező alkatrészcsoomagok milyen arányokban oszlanak meg a „*Gyujtocsomagolasban-marado*”, „*Kimert*” és a „*Raklapon marado*” tárolási formák között. A **Decide** modul dialógusában megadható a modul neve („*Alkatreszek szetvalogatasa*”), a lenyíló listából kiválasztható a döntés típusa (*N-way by Condition*) és végül beírhatók a feltételek a *Conditions* mezőbe. Az entitás útját a „*Tarolasmodindex*” attribútum határozza meg, és annak az értékétől függően az entitásokat a „*Gyujtocsomag kezi kocsin*”, a „*Kimertcsomag kezi kocsin*” vagy a „*Raklapkepzes*” nevű **Batch** modulokba irányítják. Az új entitások, azaz a rakományok a „*Gyujtocsomag-raklapon*”, a „*Kimertcsomag raklapon*” és a „*Raklaponmarado*” nevű **Batch** modulokban jönnek létre. A **Batch** modul a csoportosító mechanizmus szerepét tölti be a szimulációs modellben. A batch-ek lehetnek állandóak vagy ideiglenesek. Az ideiglenes batch-ek későbbi időpontban **Separate** modullal oszthatók meg. A „*Gyujtocsomagraklapon*” dialógusában a batch típusa ideiglenes, mivel később majd vissza kell térni az eredeti, „*Alkatresztipus114*” entitáshoz. A *Batch Size* mezőbe kerül a csomagnagysága (806), ami azt jelenti, hogy a raklapon 806 darab 114 alkatrészt tartalmazó csomag helyezkedik el. A „*Kimertcsomag raklapon*” és a „*Raklaponmarado*” nevű **Batch** modulok esetében hasonlóan kell eljárni.

A „*Beállítás 1*”, „*Beállítás 2*” és a „*Beállítás 3*” nevű **Assign** modulokban az entitás típusa és képe változik (4. ábra).

A logikai folyamatban az **Assign** modulokat *Process* modulok követik (4. ábra). A „*Gyujtocsomag atvetel*” nevű **Process** modul dialógusablakában választható ki az átvételi folyamatra jellemző *Action* mező (*Seize Delay Release*), megadhatók az erőforrások (*Resources*) és végül beállítható a folyamat végrehajtási ideje. A végrehajtási időt jellemző *Delay Type* mező állandó, a mértékegység (*Units*) perc, és az egy raklap átvételére jellemző idő (*Value*) 5 perc. A

„*Kimertcsomag atvetel*” és a „*Raklaponmarado alkatreszek atvetele*” nevű **Process** modulok paraméterei a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat. A **Process** modulok paraméterei

Process - Basic Process					
	Name	Type	Action	Priority	Resources
1	Raklaponmarado alkatreszek atvetele 90%	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows
2	Vegyres raklapok atvetele	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows
3	Raklaponmarado alkatreszek atvetele 10%	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows

A folyamatokhoz erőforrások („*Bepakolo raktaros*”) is rendelhetők. Az erőforrás paramétereit a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat. A „*Gyujtocsomag atvetel*” nevű **Process** modul erőforrásának jellemző adatai

Resources			
	Type	Resource Name	Quantity
1	Resource	Bepakolo raktaros	2

Double-click here to add a new row.

A folyamat következő lépése a háromféle formában kezelt alkatrészek átszállítása a bepakoló területre. Ezt a műveletet a modellben az *Advanced Transfer* panelhez tartozó **Leave** modulok valósítják meg (4. ábra). A **Leave** modul entitásokat mozgat egy állomásra vagy egy modulba. Amikor egy entitás megérkezik a **Leave** modulba, akkor várakozik a szállítóeszköz (erőforrás, szállítóeszköz, anyagmozgatógép) elérésére, és megadható a rakodási művelet időigénye (*delay*) is.

Az entitások a *Bepakoló 1* raktár területét a „*Gyujtocsomag szallitas a bepakolo 2 raktarba*”, „*Kimertcsomag szallitas a bepakolo 2 raktarba*” és a „*Szallitas a bepakolo 1 raktarba targoncaval*” nevű **Leave** modulok segítségével hagyják el (4. ábra).

Annak érdekében, hogy a szimulációs modell valósághűen kövesse a reálfolyamatokat, a „*Beszallitas*” nevű **Create** modulban az érkezés típusa ütemezett (*Schedule*).

Az alkatrész szállítmányok naponta két alkalommal délelőtt 9 órakor és délután 5 órakor érkeznek. Ez a választás, mivel a szimuláció indításakor a modellben nincsenek entitások (alkatrészek), azt eredményezné, hogy 9 óráig a modell entitás hiányában nem működne. A valóságban a műszak indulásakor a termeléshez szükséges alkatrészek az előző műszakban átvett és bepakolt készletekből származnak, amit a modellben úgy lehet szimulálni, hogy a megfelelő belépési pontokon még a műszakkezdés előtt (a szimuláció indulása előtt) a valóságos készletekkel azonos mennyiségű alkatrésszel kell feltölteni az adott raktári területet. Ilyen belépési pontok a *Bepakoló 1*, a *Bepakoló 2*, az alkatrésraktár (szupermarket és raklapos tároló) és az összeszerelő sorok. A *Bepakoló 2* terület feltöltését az 5. ábra alsó részén elhelyezett „*Bepakolo 2 feltoltes*” nevű **Create** modul és a hozzá kapcsolódó **Assign**, **Decide** és **Batch** modulok valósítják meg. A megfelelő mennyiségű és a megfelelő tulajdonságokkal felruházott entitások (alkatrészek) a „*Kezikocsi osszeallitas*” nevű **Batch** és a „*Beallitas 23*” nevű **Assign** modulok előtt lépnek be a modellbe.

4.2. A bepakolás almodellje

A *Bepakoló 1–2* területeken, illetve a *Bepakoló 1–2* és az alkatrésraktár közötti szállítási folyamatokat az 5. ábrán látható *flowchart* modellezi.

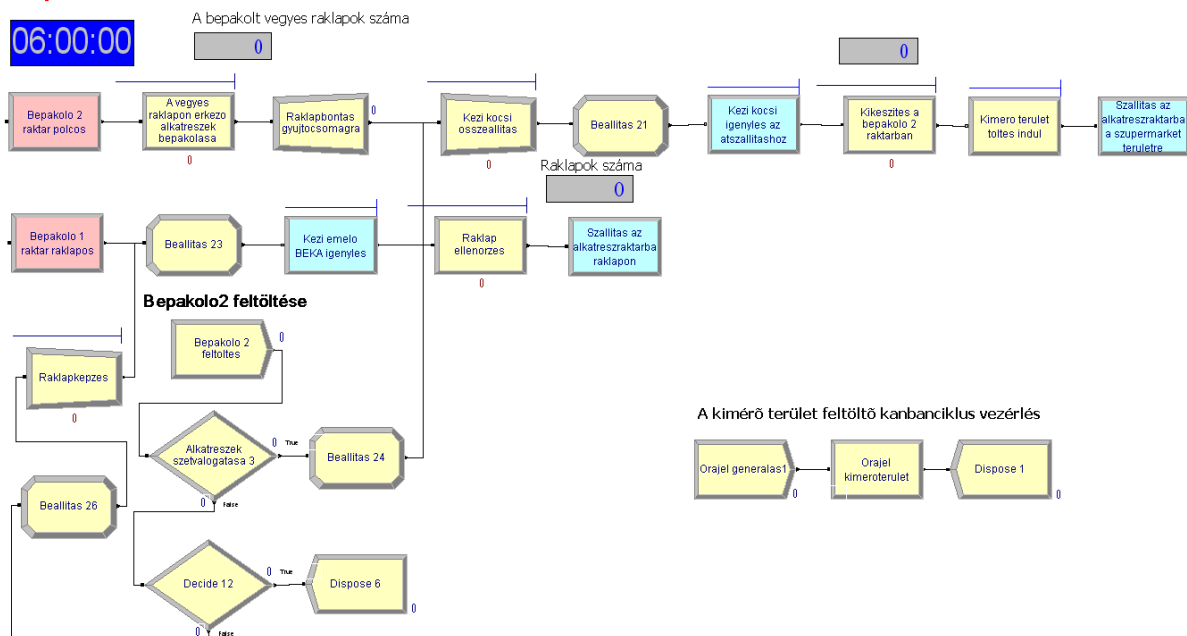
A *Bepakoló 2* terület belépési pontjai a „*Bepakolo 2 raktar gyujtocsomag*”, „*Bepakolo 2 raktar kimert*” és a „*Bepakolo 1 raktar raklap*” nevű **Enter** modulok, amelyekhez az entitá-

sok a *Bepakoló 1* területről a **Leave** modulokból érkeznek, és amelyek egyebek mellett a területen folyó műveletek helyének azonosítására is hivatottak. Az **Enter** modul fizikai és logikai helyeknek megfelelő állomást vagy állomások halmazát definiálja, ahol a folyamatok történnek. Amikor egy entitás érkezik az **Enter** modulba, akkor időgénnyel (*delay*) jellemezhető lerakódás történhet, továbbá az entitásslállításra használt eszköz felszabadítható (*released*).

Az állomáshoz vagy az állomáshalmaz minden eleméhez tartozik egy tevékenységi terület (*Activity Area*), amely az állomáson előforduló és az entitással összefüggésben felmerülő időkről és költségekről gyűjt adatokat és készít riportot. Az *Activity Area* neve megegyezik az állomás nevével.

Az *Advanced Transfer* panelen található, a szállítás kezdő és végpontját reprezentáló **Leave** és **Enter** modulok mindig párosan fordulnak elő. A „*Bepakolo 2 raktar gyujtocsomag*” nevű **Enter** modul dialógusablakában, adható meg a helyet azonosító állomás neve (*Station Name*), a lerakodási idő (*Delay*), a szállítóeszköz neve (*Transporter Name*), és a szállítóeszközt felszabadító opció (*Free Transporter*). A „*Bepakolo 2 raktar kimert*” és a „*Bepakolo 2 raktar raklap*” nevű **Enter** modulok paraméterezése a leírtakhoz hasonlóan történik.

Bepakoló 2 terület



5. ábra. A bepakolási folyamat almodellje

4. táblázat. A **Transporter** adatmodul jellemző adatai

Transporter - Advanced Transfer							
	Name	Capacity	Distance Set	Velocity	Units	Initial Positions	Report Statistics
1	Kezi emelo BEKA	3	Kezi emelo BEKA.Distance	30	Per Minute	3 rows	<input type="checkbox"/>
2	Targonca	1	Targonca.Distance	85	Per Minute	1 rows	<input type="checkbox"/>
3	Kezi kocsi nagy	1	Kezi kocsi nagy.Distance	40	Per Minute	1 rows	<input type="checkbox"/>
4	Kanbankocsi	10	Kanbankocsi.Distance	40	Per Minute	9 rows	<input type="checkbox"/>
5	Kanbankocsi lemezés	1	Kanbankocsi lemezés.Distance	40	Per Minute	1 rows	<input type="checkbox"/>

A **Leave** moduloknál már említett és használt szállítóeszközök az *Advanced Transfer* panelen található **Transporter** adatmodulban definiálhatók (4. táblázat).

A táblázat első két oszlopában a szállítóeszköz neve (*Name*) és kapacitása (*Capacity*) adható meg. A kapacitás a szállítóeszközök számával jellemezhető. Például a „Kezi emelo BEKA” nevű szállítóeszközből három darab áll rendelkezésre.

A harmadik oszlopban a szállítóeszközökhöz rendelt távolságok (*Distance Set*), az ugyancsak az *Advanced Transfer* panelen található, **Distance** adatmodulban definiálhatók (5. táblázat). Például a „Kezi emelo BEKA” nevű szállítóeszközhöz tartozó szállítási távolságokat a „Kezi emelo BEKA.Distance” nevű, 7 elemű halmaz tartalmazza a kezdő és cél állomásokkal, továbbá az állomások közötti távolságokkal.

A negyedik oszlopban (*Velocity*) a szállítóeszközök sebességei szerepelnek. Tekintettel arra, hogy a **Distance** adatmodulban a távolságok méterben adottak, a 4. táblázatban pedig a *Units* mezőben (ötödik oszlop) *Minute* látható, a sebesség mértékegysége m/min. A sebességből és a távolságból a program automatikusan számítja a modell működése szempontjából lényeges szállítási időt.

A 4. táblázat hatodik oszlopa a szállítóeszközök kezdeti pozícióit tartalmazza, azaz megadható, hogy a műszak kezdetén a szállítóeszköz, vagy a szállítóeszköz halmaz valamely eleme hol tartózkodik.

A bemutatott módon a 4. táblázatban felsorolt valamennyi szállítóeszköz paraméterezhető és a paraméterek megváltoztathatóak. Növelhető vagy csökkenthető az eszközök száma, sebessége, változtathatók a távolságok stb.

5. táblázat. A **Distance** adatmodul jellemző adatai

Distance - Advanced Transfer			
	Name	Stations	
1	Targonca.Distance	1 rows	
2	Kezi emelo BEKA Distance	7 rows	
3	Kezi kocsi nagy.Distance	Stations	
4	Kanbankocsi.Distance		
5	Kanbankocsi lemezkes.Distance		
	Double-click here to add a new row.		
	Beginning Station	Ending Station	Distance
1	Bepakolo1	Bepakolo21	25
2	Bepakolo1	Bepakolo22	25
3	Bepakolo23	Alkatreszraktar raklapos.Station	40
4	Bepakolo23	Bepakolo1	30
5	Bepakolo21	Bepakolo22	0
6	Bepakolo22	Bepakolo23	30
7	Alkatreszraktar raklapos.Station	Bepakolo1	35
	Double-click here to add a new row.		

6. táblázat. A **Resource** adatmodul jellemző adatai

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Schedule Name	Schedule Rule	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures
1	Sorkiszolgáló	Based on Schedule	Sorkiszolgáló utemezes	Ignore	0.0	0.0	0.0		0 rows
2	Kiszédo	Based on Schedule	Kiszédo utemezes	Wait	0	0.0	0.0		0 rows
3	Bepakolo raktáros	Based on Schedule	Bepakoloraktáros utemezes	Ignore	0.0	0.0	0.0		0 rows
4	Osszeszerelő sorok1	Based on Schedule	Osszeszerelő sorok 1 utemezes	Ignore	0.0	0.0	0.0		0 rows
5	Alaplemez kiszédo	Based on Schedule	Alaplemez kiszédo utemezes	Wait	0.0	0.0	0.0		0 rows
6	Osszeszerelő sorok2	Based on Schedule	Osszeszerelő sorok 2 utemezes	Ignore	0.0	0.0	0.0		0 rows
	Double-click here to add a new row.								

Az almodellben (5. ábra) az **Enter** modulokat a „A gyujtocsomagolásban marado alkatreszek bepakolasa” és „A kimert alkatreszek kimerese es bepakolasa” nevű **Process** modulok követik. A bepakolás erőforrásai a bepakoló raktárosok, akik az alkatrészeket az átvevő területről átszállítják, a rakományokat megbontják, bevételezik, címkézik és pozícióra helyezik.

A **Process** modulok működésében fontos szerepet töltenek be az erőforrások (*Resources*). Új erőforrás definiálása esetén az *Add* gombra, létező erőforrás esetén az *Edit* gombra klikkelve megjelenik a *Resource* című dialógusablak. Ebben megadható az erőforrás típusa (*Type*), amely egyedi erőforrás (*Resource*) vagy erőforráshalmaz (*Set*) lehet. Az erőforrás egyedi névvel (*Resource Name*) azonosítható, és megadható az erőforrás kapacitása (*Quantity*).

Az erőforrás létrehozása után az erőforrás automatikusan beíródik a *Basic Process* panelen elérhető **Resource** adatmodulba (6. táblázat) és annak egy rekordját alkotja. Például a „*Bepakolo raktaros*” nevű erőforrás a harmadik sorban jelent meg. Az adatmodulban az erőforrások további tulajdonságokkal ruházhatók fel. Az erőforrás kapacitás lehet állandó (*Fixed Capacity*) vagy ütemezett (*Based on Schedule*). A „*Bepakolo raktaros*” nevű erőforrás típusa például ütemezett), mivel a műszakidőt szünetek szakítják meg.

4.3. A Kanbankocsi összeállítás almodellje

Az alkatrészraktár területén végzett műveletek folyamatábrája az alkatrészek belépésétől a Kanbankocsis szállításig a 6. ábrán látható. A bepakoló raktárakból az entitások kézi kocsin vagy raklapon érkeznek az alkatrészraktárba, az „*Alkatreszraktar supermarket*” nevű állomásra és az „*Alkatreszraktar raklapos*” nevű **Enter** modulban definiált „*Alkatreszraktar raklapos. Station*” állomásra.

Az alkatrészraktár két területének (polcos és raklapos) azonosítása kétféle módszerrel, egy **Station** és egy **Enter** modul beillesztésével történt. Ennek oka, hogy a polcon tárolt alkatrészek pozícióra helyezése további műveletet és erőforrást igényel, amit a „*Pozicióra helyezés a Supermarket területen*” nevű **Process** modul szimulál. Ezzel szemben a raklapos rakományok lerakásának időigénye az „*Alkatreszraktar raklapos*” nevű **Enter** modulban egyszerűbben is megadható.

A supermarket polcokon elhelyezett alkatrészek folyamatát követve, a „*Kezikocsi nagy felszabadítás*” nevű **Free** modulban felszabadul az alkatrészek átszállítására használt „*Kezi kocsi nagy*” nevű eszköz (6. ábra).

A rakományokat a „*Kezi kocsi bontas*” nevű **Separate** modul 114 egységet tartalmazó alkatrész csomagokra bontja, azaz visszaállítja az eredeti entitásokat. Ehhez az ideiglenes jelleggel létrehozott „*Kezikocsi*” nevű entitás típusokat a *Split Existing Batch* és a *Retain Original Entity Values* opciókkal megosztani.

A „*Kanbankocsi igény sorkiszolgáló*” és a „*Kanbankocsi igény lemezés*” nevű **Request** modulok feladata a Kanbankocsi rendelés.

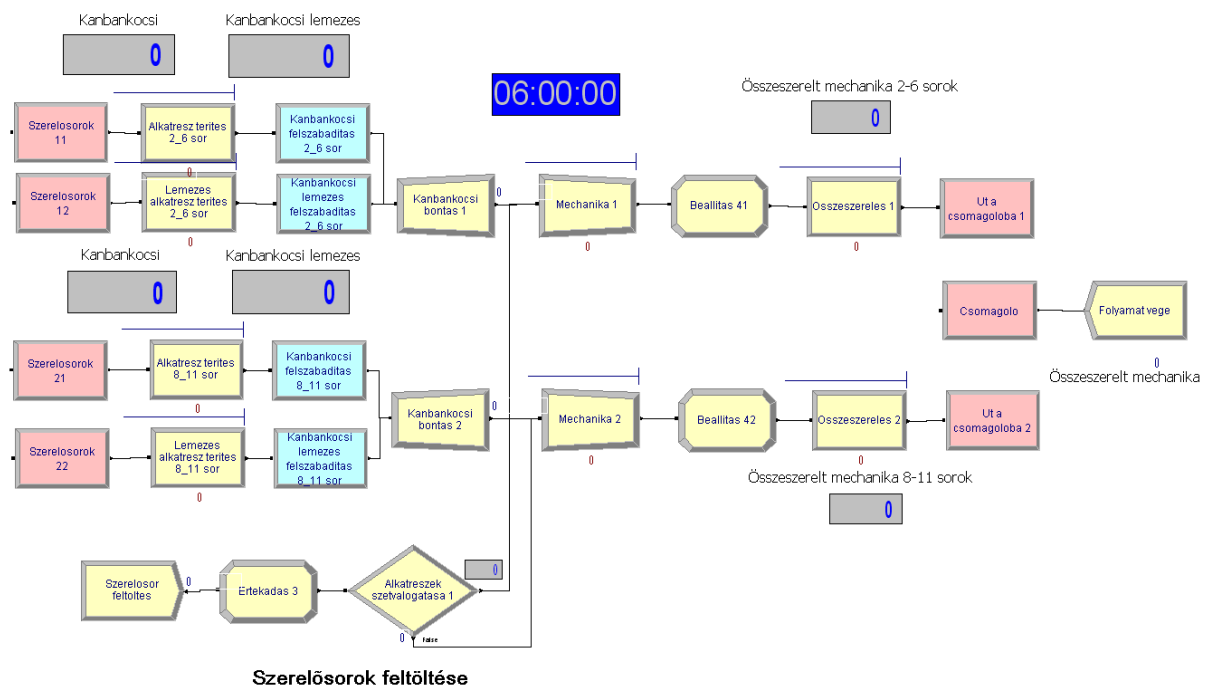
A logikai folyamatban az új entitások belépnek a „*Kiszedés a supermarketbol*” és a „*Kiszedés a raklaprol*” nevű **Process** modulokba (6. ábra). E modulokban definiálják a kiszedés idő- és erőforrásigényét. A „*Kiszedés a supermarketbol*” **Process** modul szimulálja a kiszedés és a Kanbankocsi megrakás műveletét. A Kanbankocsi feltöltésében a sorkiszolgálók és a kiszedők egyaránt részt vesznek, ezért a **Process** modul dialógusában a kiszedéshez két erőforrást, „*Sorkiszolgáló*” és „*Kiszedo*” kell rendelni.

Ezek az erőforrások *Based on Schedule* típusú ütemezett kapacitásúak, hasonlóan a bepakoló raktárosokhoz (6. táblázat).

A félórás Kanban ciklust ebben az almodellben is **Hold** („*Kanbankocsi indul*”, „*Kanbankocsi indul lemezés*”) és **Signal** („*Orajel kanbankocsi*”, „*Orajel lemezés kanbankocsi*”) modulok vezérlik.

ba 1” és az „Ut a csomagoloba 2” nevű **Leave** modulokon keresztül a „Csomagoló” nevű **Enter** modult érintve távoznak a rendszerből.

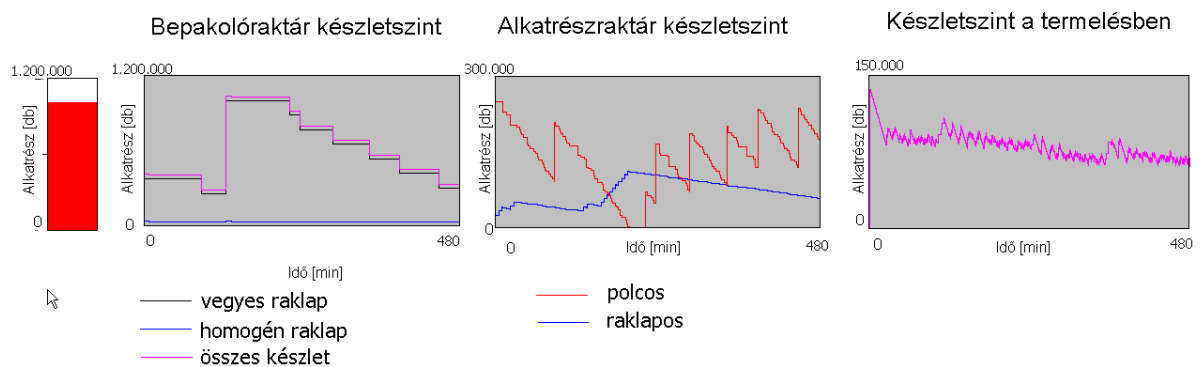
Szerelősorok



7. ábra. Az összeszerelés almodellje

4.5. Diagramok a modellben

A reálfolyamatok vizuális megjelenítése érdekében a modellbe néhány diagram is beépült. A grafikus elemek nemcsak látványossá teszik a programot, hanem hasznos információk megjelenítésére is alkalmasak. A diagramok elsősorban a modell változóinak, illetve a változók-ból számított kifejezéseknek grafikus szemléltetését teszik lehetővé.



Beszállított alkatrész: **1 0 1 8 4 4 0** Idő: **14:00:00**
 Működő összeszerelősorok száma: **9**
 Legyártott mechanika: **8 8 7 1**

8. ábra. A készletek változását szemléltető diagramok

A modellben a diagramok a különböző raktári területeken mérhető, időben változó készlet-szintek megjelenítésére alkalmasak (8. ábra). Balról jobbra haladva, az első oszlopdiagram a beszállított alkatrész mennyiséget mutatja.

A második diagramból a *Bepakoló 2* raktárban tárolt gyűjtőcsomagolású, kimért, raklapon maradó és az összes készletváltozás olvasható le az idő függvényében. A harmadik diagram az alkatrészraktárban tárolt anyagok készletváltozást szemlélteti. A negyedik diagramon az összeszerelő sorokon tárolt alkatrészek készletváltozása látható.

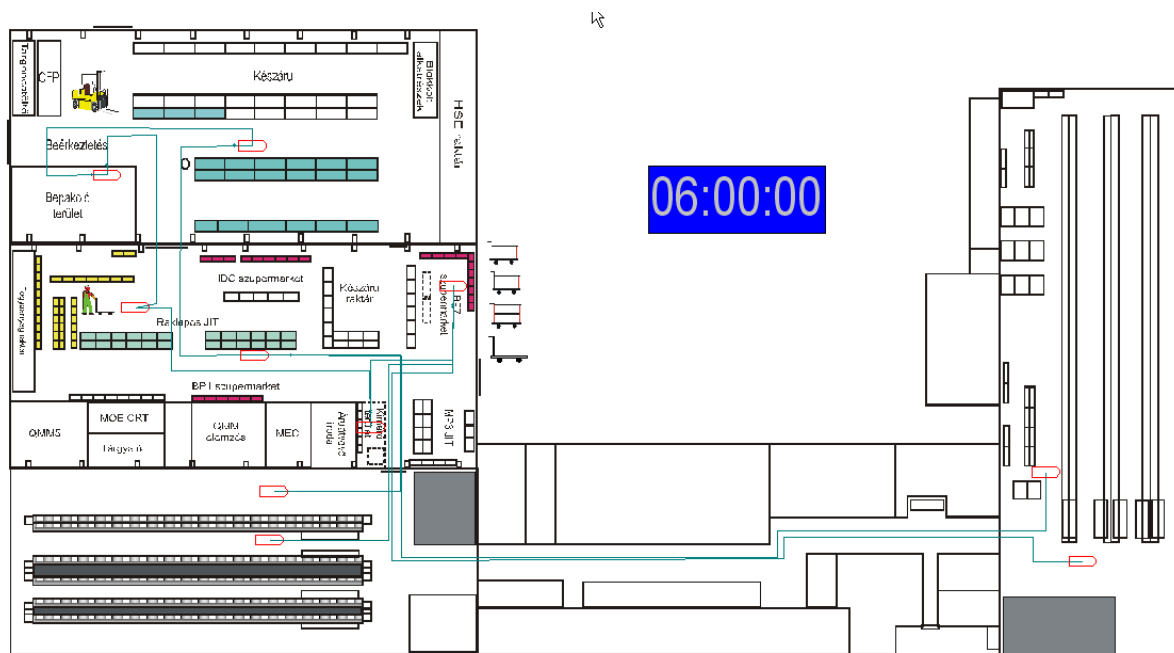
A diagramok a tényleges alkatrészmennyiségeket mutatják.

4.6. Animáció

A modellezésben fontos szerepet játszik az animáció, ami általában egyszerű, de rendkívül idő-igényes fejlesztési tevékenység [5].

Az animáció komponensei az entitások, a sorok és a változók. Az **Entity** adatmodulban található entitások akkor láthatók, amikor egyik modulból a másikba mozognak, illetve amikor sorban állnak. Minden egyes alkalmazott **Process** modulhoz az *Arena* automatikusan hozzáad egy animációs sort, amely a futtatás alatt megmutatja a sorban várakozó entitásokat. A modulban tartózkodó, illetve a modult elhagyó entitások számát jellemző változókat (*Variables*) szintén az *Arena* helyezi a modellbe.

Az anyagmozgatási folyamatok animálásához a folyamatokat jellemző állomásokat és útvonalakat kell az animációba illeszteni. Ehhez először el kell készíteni a szimulált folyamatok helyét jellemző alaprajz méretarányos képét valamilyen rajzoló program segítségével, ami az *Arena* programba illeszthető. A 9. ábrán látható alaprajz például *Corel Draw*-val készült. A rajz beillesztése után az *Animate Transfer* eszköztáron elérhető eszközök segítségével az animációba szerkeszthetők az állomások (piros vonallal rajzolt alakzatok), útvonalak (zöld vonalak) és szállítóeszközök (9. ábra).



9. ábra. Alaprajz az ellátási folyamat animálásához

5. A modell lehetőségei és eredményei

A számított és becsült adatokon alapuló kezdeti paraméterekkel futatott *Arena* modell eredményeit a program által készített angol nyelvű jelentés foglalja össze. Ezek a riportok információkat tartalmaznak az entitásokról, az erőforrásokról, a folyamatokról, a várakozó sorokról, az átlomásokról, a szállítóeszközökről stb. Az adatok különböző időjellemzők (pl. egységnyi entitásra eső minimális, maximális és átlagos műveleti, szállítási, rakodási, várakozási stb. idők), költség- és kihasználási mutatók lehetnek.

A következő példa a modell számos alkalmazási lehetősége közül egy, annak érzékeltetésére, hogy milyen haszonnal járhat a szimuláció. A változó volumenű megrendelések miatt gyakran kell egy vagy több összeszerelő sort leállítani. A bemutatott modell első közelítésben 9 összeszerelő sor működését feltételezi, és ehhez igazodik a többi erőforrás: a bepakoló raktárosok, kiszedők, sorkiszolgálók kapacitása. A termelés csökkenésekor kérdés, hogy egy vagy két sor leállításakor, hogyan kell az erőforrások kapacitását megváltoztatni ahhoz, hogy a kihasználtságuk ne csökkenjen.

Egy-egy összeszerelő sor kivonása a termelésből egyértelműen meghatározza, hogy mennyivel kell a sorokon dolgozók számát csökkenteni. Nem adható azonban ilyen egyértelmű válasz az anyagellátás kapacitásait illetően, ahol a dolgozók egyidejűleg több összeszerelő sor kiszolgálásában vesznek részt, és többféle feladatot végeznek. A válasz alaposabb vizsgálatot igényel, ami a modellel viszonylag könnyen, a paraméterek megváltoztatásával és a modell újra futtatásával elvégezhető.

A modellel végzett vizsgálatok fontos eredménye volt az is, hogy a Kanban ciklusok idejét 30 percről, 20 percre sikerült csökkenteni, ami jelentős hatékonyságnövekedéshez vezetett.

Általában elmondható, hogy a kifejlesztett modell alkalmas a bemutatott gyártási rendszer anyagellátási folyamatainak nyomon követésére, fejlesztésére, részfeladatok analizálására, az új megoldások kipróbálására. Egészen konkrétan a beszállítások ütemezésére, a készletszintek meghatározására, a kapacitások (dolgozók, eszközök) kihasználtságának vizsgálatára, a sorbanállást okozó szűk keresztmetszetek megkeresésére, a kihasználtságot rontó holtidők csökkentésére stb. A program nemcsak a tervezésben, hanem a közvetlen termelésirányításban is felhasználható. Más módszerekhez viszonyítva a szimuláció alkalmazásának egyik nagy előnye, hogy bizonyos szervezési változtatások hatása a bevezetés előtt megismerhető.

Summary

Simulation, like analysis methods, involves the studied system and its model, where the system can be an existing or non existing tool or process, for example an industrial plant with machines, workers, transporters and storages. Goals of studying systems to measure capacity of our production, to repair our operation or to design a new systems. This study discuss how to develop a modeling approach of a Kanban systemic production with simulation.

IRODALOM

1. *Arena Professional Reference Guide*, Rockwell Software Inc., 2000.
2. **Bratley, P., Fox, B. L., Schrage, L. E.**: *A Guide to Simulation*. Springer-Verlag, ISBN: 978-0-387-96467-6, 1987.
3. **Devore, L.**: *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*, Wadsworth Inc, Belmont, CA, ISBN-13: 9780495557449, 2008.
4. **Fishman, G. S.**: *Principles of Discrete Event Simulation*. John Wiley & Sons, Inc., ISBN: 0471043958, 1978.

5. **Kelton, W. D., Sadowski R. P., Sturrock, D. T.:** Simulation with Arena. Mc Graw Hill Higher Education, ISBN: 0-07-285694-7, 2004.
6. **Law, A. M., Kelton, W. D.:** Simulation Modeling and Analysis, Mc Graw Hill, ISBN-10: 0071165371, 2000.

Publikálva: GépGyártás (Tervezés és gyártás), XLIX. évf. 2009. 4-5. szám