

## Vzpostavitev informacijske podpore vodenju proizvodnje v manjšem podjetju

Sebastjan Zorzut, Giovanni Godena, Vladimir Jovan  
Institut Jožef Stefan

Odsek za sisteme in vodenje, Jamova 39, 1000 Ljubljana

[sebastjan.zorzut@ijs.si](mailto:sebastjan.zorzut@ijs.si), [giovanni.godena@ijs.si](mailto:giovanni.godena@ijs.si), [vladimir.jovan@ijs.si](mailto:vladimir.jovan@ijs.si)

**Implementation of an information system for support of production management in a small enterprise**

*Abstract: The factory management demands an efficient communication among individual organizational units where one of the most important information flows is the communication between a business management level and a shop-floor. The development of this information support is usually demanding and so it should strictly follow the systematic life-cycle approach with clear distinction between particular phases and activities. A case study of interconnecting an existing ERP business information system and a control system in PVA glue production plant is given along with the description of the approach applied and its main characteristics. Since the project is still in the implementation phase its final evaluation hasn't been done yet but the preliminary results indicate that it will fulfill the expectations of its users.*

### 1 Uvod

Funkcije proizvodnega nivoja so upravljanje prodajnih in proizvodnih nalogov, izvajalnih receptur, razvrščanje dela na različne proizvodne vire, razvrščanje delavcev, kontrola kakovosti, evidenca vzdrževalnih del in različne izredne naloge, kot je npr. popravljanje slabih izdelkov. V proizvodnih sistemih brez računalniške podpore se večina teh funkcij upravlja in dokumentira v papirni obliki, kar ima za posledico razpršenost arhiva podatkov, poizvedbe po preteklih dogodkih so dolgotrajne ali nemogoče, uporaba raznih analitičnih orodij za obdelavo podatkov je omejena itd. Vodje obratov na proizvodnem nivoju potrebujejo za uspešno vodenje proizvodnje jasno sliko o stanju proizvodnega procesa, zalog surovin,

zasedenosti virov in jasna in pravočasna navodila iz poslovnega nivoja o potrebah po proizvodih. Po drugi strani proizvodnja gladko teče takrat, ko vsak posamezni del proizvodnega procesa v ustreznih trenutkih dobi ustrezne ukaze in podatke za izvrševanje nalog in ko ima vse delovne vire in potrebne surovine na voljo. Dobre poslovne odločitve so tudi tesno povezane s kvalitetnimi podatki in informacijami o stanju v proizvodnem procesu. Iz povedanega lahko razberemo, da je komunikacija med različnimi organizacijskimi enotami v podjetju za uspešno delo potrebna, vprašanje pa je, kako jo omogočiti in doseči.

Z ustrezno računalniško arhitekturo in programsko opremo lahko postavimo ogrodje, ki omogoča hitrejšo komunikacijo, postavimo okvire za jasne in predefinirane oblike podatkov, ki se med posameznimi enotami pretakajo, omogočimo strukturirano arhiviranje podatkov in s tem poznejše analize, ki omogočajo odločanje na podlagi dejstev in vplivanje na izboljšanje procesov v podjetju.

### 2 Življenjski cikel

Izgradnja sistema za računalniško podporo proizvodnemu nivoju v podjetju poteka v več fazah, ki jih umestimo v koncept življenjskega cikla. Zavedati se moramo, da je takšen sistem most med procesnim in poslovnim nivojem in kot tak ima veliko vhodno/izhodnih točk in je po naravi za vsako podjetje specifičen. V teh točkah se povezuje tako s SCADA sistemom na procesnem nivoju kot z ERP sistemom na poslovnem nivoju, kar v času planiranja, izgradnje in vzdrževanja sistema zahteva sodelovanje izvajalcev vseh opisanih sistemov. Ker so velikokrat izvajalci različni, je potrebno precej pozornosti nameniti zagotavljanju dobre komunikacije med vsemi udeleženi, saj bomo

le tako lahko projekt dobro peljali in se izognili nepotrebnim zapletom.

Koncept življenjskega cikla obsega več faz, od analize potreb preko specificiranja, načrtovanja, izvedbe do zagona in poznejšega obratovanja in končno upokojitve sistema. Na koncu vsake faze imamo vmesne rezultate – dokument, realiziran sistem itd., ki so posledica opravljenih aktivnosti v posamezni fazi in omogočajo vpogled v stanje projekta, preverjanje rezultatov in končno tudi vrednotenje sistema.

## 2.1 Analiza potreb

V fazi izdelave analize potreb in zahtev za računalniški sistem za podporo vodenju proizvodnega nivoja je najprej potrebno opraviti posnetek obstoječega stanja in seznam želja in potreb, ki jih izražajo bodoči uporabniki. Da dobimo zadovoljive rezultate, je potrebno informacije, ki jih dobimo pri razgovorih z zaposlenimi, na ustrezen način zapisati in na skupnih sestankih ovrednotiti. Postopek je iterativen in z večanjem števila iteracij pridobivamo realnejšo in podrobnejšo sliko o dejanskih funkcijah, ki jih mora sistem podpirati. Za zapis teh funkcij se uporablja ustrezne modele in notacije (ARIS, UML, ...).

## 2.2 Specificiranje in načrtovanje

Naslednja faza je izdelava specifikacij, ki so osnova za izdelavo sistema. Specifikacije opisujejo konkretno izbrano rešitev z uporabo enakih ali drugačnih (nižjenivojskih) notacij, kot v fazi analize potreb. Modeli so obsežnejši in bolj podrobni, nivo abstrakcije pa je nižji. Sam prehod iz faze analize potreb v fazo specificiranja je precej mehak, saj se določene potrebe samo podrobneje obravnavajo in formulirajo. Proces specificiranja poteka na štirih nivojih:

- specificiranje poteka (organizacije) dela
- specificiranje podatkovnega modela
- specificiranje arhitekture sistema
- dekompozicija sistema na programske module in njihovo podrobno specificiranje.

### 2.2.1 Specificiranje poteka (organizacije) dela

V specifikacijah poteka dela delovne procese razbijemo na manjše, zaključene in med seboj povezane enote, ki imajo svoje funkcije, svoje vhodne in izhodne parametre, dokumente, proizvode itd. Na tem nivoju podamo tudi zadolžitve zaposlenih po delovnih enotah. Na takšen način dobimo model, ki nam omogoča razumevanje in reorganizacijo delovnih procesov. Z dobrim modeliranjem lahko zaobjamemo tudi izredne dogodke in predvidimo ustrezne scenarije obnašanja v primeru nastopa takšnih dogodkov, kar seveda poveča obseg dela in kompleksnost modela in poznejše aplikacije, po drugi strani pa s tem pristopom povečamo determinističnost in varnost delovanja, bolje posnamemo dogajanje v procesu itd.

### 2.2.2 Specificiranje podatkovnega modela

Proizvodni sistem sprejema različne podatke iz procesnega in poslovnega sistema. Ti podatki so lahko samo prehodni ali pa se morajo arhivirati zaradi zagotavljanja sledljivosti proizvodnega procesa, poznejših analiz itd. V specifikacijah podatkovnega modela definiramo kategorije podatkov in zgradimo podatkovni model, na podlagi katerega se realizira baza podatkov.

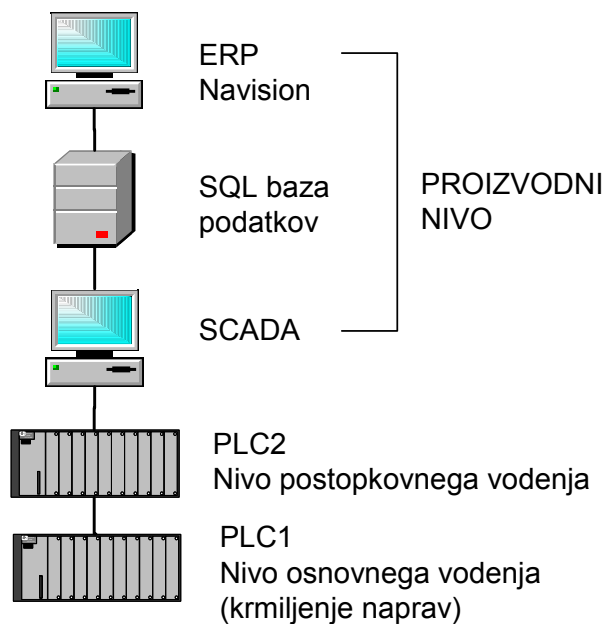
### 2.2.3 Specificiranje arhitekture sistema

V prejšnjih odstavkih smo definirali strukturo podatkov, ki se pretakajo med procesnim in poslovnim sistemom, na tem mestu pa definiramo poti, po katerih se pretakajo in skladišča, kjer se shranjujejo. Problem povezovanja različnih sistemov nastopa na več nivojih:

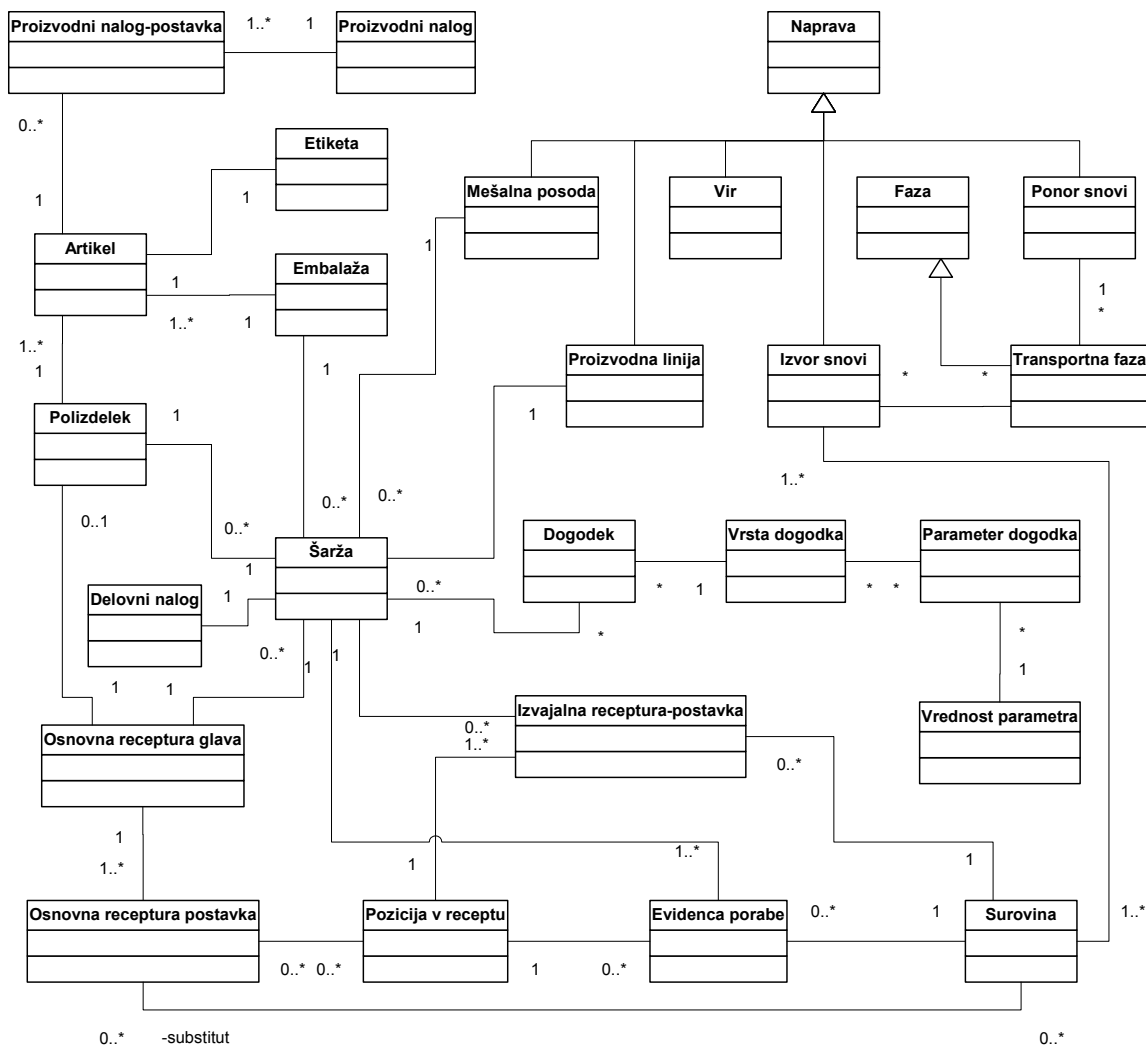
- različni protokoli
- različni formati podatkov v različnih sistemih
- skladiščenje in dosegljivost podatkov za različne uporabnike
- zanesljivost povezave in delovanje sistema v primeru izpada povezave (proizvodnja se ne sme ustaviti).

### 2.2.4 Dekompozicija sistema na programske module in njihovo podrobno specificiranje

V tem delu specificacij razdelimo sistem na posamezne programske module in jih podrobno specificiramo. Sistemski pristop je zelo pomemben pri obravnavi kompleksnih sistemov, saj mora biti informacija prilagojena kontekstu obravnave. Tako npr. na nivoju celotnega proizvodnega nivoja ne moremo obravnavati stanje posameznega ventila, pač pa nas zanimajo vprašanja, kot so stanje naročila, stanje šarže, razpoložljivost virov, glavni vzroki izpadov in podobno. Ko obravnavamo postopek izdelave ene šarže lepila v mešalni posodi, definiramo strukturo recepta, ki je sestavljen iz več med seboj povezanih faz in operacij. Funkcije v posamezni operaciji nadalje popišemo v psevdo jeziku, kjer natančno



Slika 1: Arhitektura računalniškega sistema podjetja



Slika 2: Podatkovni model, podan s statičnim modelom jezika UML

definiramo sosledje pogojev, ukazov in akcij, ki so potrebni za izvajanje operacije. V fazi implementacije se psevdo kodo posameznih operacij preslika v programsko kodo krmilnika.

### 3 Praktična izvedba projekta

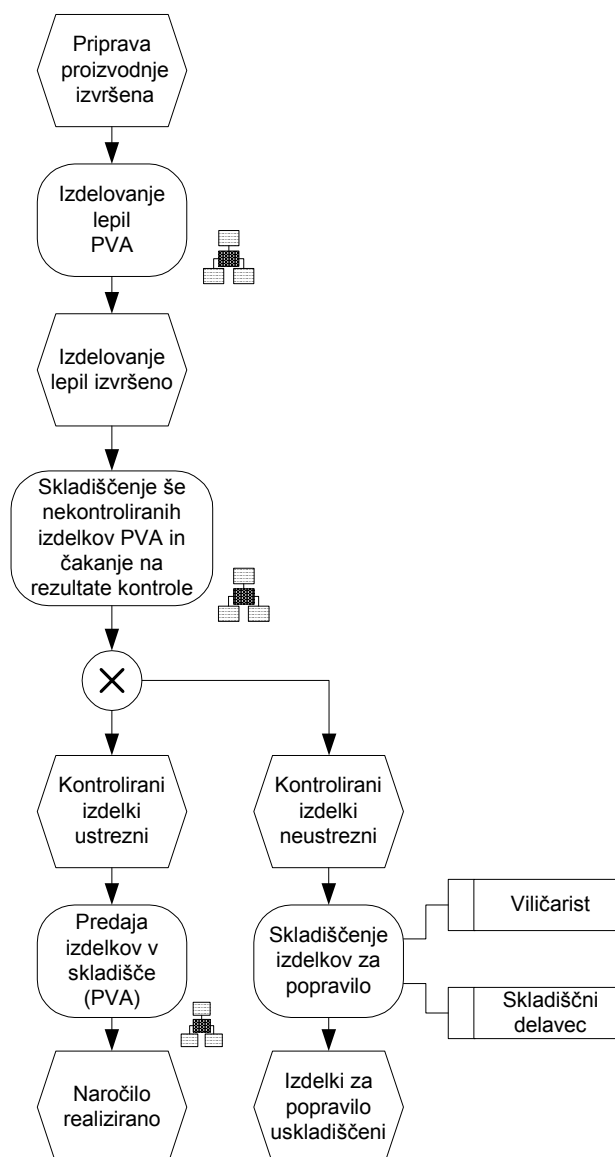
V podjetju Mitol v Sežani je za obrat PVA lepil na procesnem nivoju avtomatizacija izvedena s krmilniki proizvajalca Mitsubishi in SCADA sistemom Factory Link, poslovni procesi pa so podprti s sistemom Navision Manufacturing. Na procesnem nivoju obrata PVA imamo šest pretežno avtomatiziranih in dve neavtomatizirani mešalni posodi, procesi, ki se na njih izvajajo, pa so šaržne narave. Vsak šaržni proces ima svojo strukturo recepta, po katerem se izvaja. Recept je sestavljen iz operacij in faz, kot so doziranje emulzij, topil, vode, kalcita in drugih dodatkov ter mešanj, pri čemer so nekatere operacije/faze avtomatizirane, druge pa ročne. Ko imamo v procesu ročne operacije, ki niso podprte z informacijskim sistemom, sledljivost porabe surovin, dogodkov, itd. ni zagotovljena v celoti, kar posledično vodi v nepoznavanje dejanskih razmer kot tudi zgodovine proizvodnega procesa. Zato je podjetje sprejelo odločitev, da bo vodenje posameznih obratov v proizvodnji podprlo z informacijskim sistemom in v obratu PVA lepil so bile izražene naslednje zahteve:

- elektronski prenos naročil iz poslovnega na proizvodni nivo.
- zagotovljena sledljivost porabe surovin (tudi ročno doziranih)
- arhiviranje poteka izvajanja posamezne šarže.

Ker je podjetje manjše in je upravljanje proizvodnega nivoja relativno enostavno in obvladljivo, so se odgovorni v podjetju odločili, da se proizvodni nivo podpre z obstoječim SCADA in ERP sistemom in dodatno bazo podatkov SQL, ki deluje kot vmesnik med sistemoma in hkrati tudi kot podatkovno skladišče. Arhitekturo informacijskega sistema prikazuje Slika 1.

V ERP sistemu je podprta funkcija kreiranja delovnih nalogov iz prodajnih nalogov. Delovni nalog (zasledimo tudi izraz delovni list) je dnevni razpored dela v obliki seznama šarž, ki

jih je potrebno izdelati v obratu. Vsaka šarža izdelka ima tudi pripadajočo izvajalno recepturo (ang. control recipe). Vodja obrata torej priredi vsaki šarži ustrezno izvajalno recepturo, katera sestoji iz točnega seznama surovin in pripadajočih količin, ki v izdelku nastopajo, in navodil operaterju mešalnih posod. ERP sistem nato ta seznam šarž in pripadajočih izvajalnih receptur vpiše v izmejevalno tabelo v SQL podatkovni bazi, kjer jih SCADA sistem lahko prebere. Operater mešalnih posod iz seznama razpisanih šarž izbira šarže in jih nalaga v sistem SCADA. Operaterski sistem sam poskrbi za preslikavo osnovne recepture v ustrezno



Slika 3: ARIS diagram, ki prikazuje proizvodnjo PVA lepil

obliko, ki je nato osnova za vpis parametrov v ustrezne registre na krmilniku. Operater prične z izvajanjem recepta, tako da ga zažene, nakar sistem sam izvaja avtomatske operacije, pri tem pa operaterja, ko je to potrebno, opozarja na zahtevana ročna doziranja, posreduje mu količine in zahteva potrditve opravljenih ročnih vnosov. Ob zaključku avtomatskih in ročnih operacij/faz sistem proži dogodke in jih vpisuje v SQL podatkovno bazo, kjer se arhivirajo in tako zagotavljamo sledljivost dogodkov v procesu. Dogodke smo strnili v več skupin glede na skupne lastnosti:

1. sporočila postopkov (ukazi, stanja, vrednosti parametrov, izjemne situacije)
2. sporočila o porabi surovin
3. podatki o določenih zanimivih procesnih spremenljivkah
4. sporočila v zvezi z alokacijo skupnih virov
5. sporočila o prijavah/odjavah uporabnikov.

Za vodjo obrata so še posebej zanimivi dogodki, iz katerih je razvidna količina porabljene surovine, namen, čas in lokacija porabe.

Zaporedje izvajanja operacij/faz definira struktura recepta, ki je fiksno zakodirana v operaterskem sistemu.

Da se lahko dogodki ustrezno vpisujejo in hranijo v bazi podatkov, smo zgradili podatkovni model za proizvodni nivo z uporabo statičnega modela jezika UML (*Unified Modeling Language*), kot ga podaja Slika 2, kjer so grafično predstavljene vse entitete in relacije med njimi. V nadaljevanju smo za vsako entiteto definirali njen namen in podali seznam pripadajočih atributov.

Vpeljava sistema za podporo vodenju proizvodnje je zahtevala spremembe v operaterskem sistemu vodenja na naslednjih področjih:

- sprememba receptur (dodani ročni vnosi)

The screenshot displays a complex operator interface for a PLC control system. At the top, there is a menu bar with buttons labeled DP1 through DP6, along with 'Teh. shema', 'Izris slike', 'MF', and 'Pomoč'. Below this, a row of buttons includes 'Delovni list', 'Šarža:', 'Recept:', 'Prenos na PLC', 'Kreiraj šaržo', and 'Vpis Rcp'. The interface is divided into several functional areas:

- Control Panel:** Features buttons for 'Start', 'Zadrži', 'Nadaljuj', and 'Stop', along with input fields for 'Teža ob startu: 0' and 'Skupaj voda: 0'. A 'Stanje:' field and a 'Vnos opombe' button are also present.
- Ročni vnosi (Manual Inputs):** A table for recording raw material usage with columns for 'Surovina', 'Količina [kg]', 'Pakiranje', 'Št. šarže sur.', and 'Vnos izvršen'. The table has multiple rows and columns for recording data.
- Doziranje emulzije (Emulsion Dosing):** Contains two tables. The left table, titled 'VPIS', shows recorded dosing data with columns for 'Količina [kg]', 'Cist.', 'Surovina', 'Na razp.', 'Zaht.', and 'Doz.'. The right table, titled 'PRIKAZ Stanje: Obratovanje', shows the current status of dosing with similar columns. Both tables have a vertical label 'P R E N O S I P L C' on the left.
- Navodila (Instructions):** A section at the bottom with a table for displaying instructions.
- Diagram:** A central flowchart showing the process sequence with nodes labeled 'START', 'DO.EM', 'ČR.KA', 'ČR.TO', 'IZ.TO', 'DO.VO', 'IZ.KA', 'DO.VO', 'DO.VO', 'IZPUST', and 'END'.
- Status Bar:** At the bottom right, it displays 'Trenutni čas: Sre. 24.04.2002 18:15'.

Slika 4: Primer specificiranja operaterskega okna z uporabo grafičnega orodja

- izvedba povezave SCADA sistema s SQL bazo podatkov
- preslikava izvajalne recepture ERP sistema v obliko, ki jo prepozna operaterski sistem
- definicija in proženje dogodkov na operaterskem sistemu
- spremembe operaterskih oken v SCADA sistemu.

Z analizo poteka dela smo najprej posneli obstoječe stanje, za kar smo uporabili notacijo ARIS (*Architecture of Integrated Information Systems*). Model, ki smo ga dobili, nam je služil kot osnova za specificiranje sprememb aplikacije na SCADA sistemu. Slika 3 prikazuje diagram poteka dogodkov v proizvodnji PVA lepil, izdelan z notacijo ARIS, pri čemer so označene funkcije še nadalje razgrajene.

Spremembe operaterskih oken v SCADA sistemu smo specificirali na dva načina. Preprostejši način je z uporabo tabel in tekstovnih pojasnil, s katerimi definiramo vsebino posameznih operaterskih oken in pripadajoče funkcije, programerju pa je prepuščeno razporejanje posameznih elementov znotraj okna (razna vnosna polja, gumbi, ...). Drugi način je z uporabo grafičnih orodij, ki nam omogoča simulacijo dejanskega izgleda vmesnikov. Primer specificiranja operaterskega okna prikazuje Slika 4. S tem pristopom nam je omogočena optimizacija operaterskih oken tako s funkcionalnega kot estetskega vidika, za to pa je potrebno vložiti več časa in znanja.

#### 4 Sklep

Uspeh takšnega projekta je v veliki meri odvisen od poznavanja dejanskih potreb vodje

obrata in izgradnji sistema, ki te potrebe zadovoljuje.

Z ustrezno definicijo podatkov, ki se pretakajo med različnimi računalniškimi sistemi v podjetju, njihovim zajemanjem in izgradnjo ustrezne baze podatkov, ki te podatke lahko hrani, smo postavili temelje za zagotavljanje sledljivosti proizvodnega procesa in spremljanje dejanskega stanja v proizvodnem procesu.

Med povezovanjem različnih računalniških sistemov se je pokazalo, da je za uspešnost projekta zelo pomembna izbira ustreznega izvajalca s potrebnim znanjem in izkušnjami. Samo cenovni vidik pri izbiri izvajalca še ne zagotavlja dejanski uspeh projekta. Upoštevati je potrebno še druge faktorje, kot so komunikacija med izvajalci, skupni cilj, znanje in sposobnosti izvajalca, sistemski pristop in možnost poznejše nadgradnje/razširitve sistema. Konec koncev pomeni vpeljava takšnega sistema integriranje obstoječih računalniških sistemov v podjetju.

#### 5 Literatura

- [1] S. Zorzut, G. Godena, D. Janežič, M. Bizjak, *Specifikacije za izvedbo proizvodnega nivoja sistema vodenja proizvodnje PVA lepil v podjetju MITOL – Tovarna lepil d.d.*, Institut Jožef Stefan, delovno poročilo DP-8691/IJS, 2003.
- [2] S. Strmčnik, urednik, *Celostni pristop k računalniškemu vodenju procesov*, Ljubljana, za FE 1998, str 101-135.
- [3] G. Booch, I. Jacobson, J. Rumbaugh, *The Unified Modeling Language User Guide*, Addison-Wesley, 1999.