



## НАМЕНСКИ ЈЕЗИК И ОКРУЖЕЊЕ ЗА МОДЕЛОВАЊЕ ПРОИЗВОДНИХ ПРОЦЕСА И ГЕНЕРИСАЊЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ

### A DOMAIN-SPECIFIC LANGUAGE AND A FRAMEWORK FOR PRODUCTION PROCESS MODELING AND GENERATING DOCUMENTATION

Милица Тодоровић, Факултет техничких наука, Нови Сад

#### Област : ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО

**Кратак садржај** – У овом раду описан је текстуални наменски језик за моделовање производних процеса. Креирани наменски језик омогућава једноставно и брзо креирање формалних, рачунарима разумљивих модела производних процеса неопходних за одвијање процеса производње у паметним фабрикама. За описани наменски језик имплементирани су генератори техничке документације. Генератори омогућавају аутоматско креирање неопходне техничке документације, чиме се смањује време потребно за израду документације, али и повећава њена конзистентност и квалитет. За развој мета-модела коришћено је окружење Eclipse Modeling Framework, радни оквир Xtext за развој текстуалне синтаксе и језик Xtend за развој генератора.

**Кључне речи:** производни процеси, техничка документација, индустрија 4.0, наменски језици, развој софтвера вођен моделима

**Abstract** – In this paper, we present a textual domain-specific language for production process modeling. The created domain-specific language enables easy and efficient creation of formal, machine-readable production process models, which are necessary for production in smart factories. For the described language, technical documentation generators were implemented. Generators enable automatic creation of required technical documentation, which reduces the time necessary for the creation process and increases quality and consistency of the documentation. Eclipse Modeling Framework was used to create the meta-model. Xtext was used to develop the concrete language syntax, while Xtend was used to implement documentation generators.

**Keywords:** Production Processes, Technical Documentation, Industry 4.0, Domain-Specific Languages, Model-Driven Software Development

#### 1. УВОД

Кроз историју, три велике индустријске револуције проузроковале су значајне промене у начину на који се реализује производња. Тренутно се дешава четврта индустријска револуција, проузрокована повећаном потражњом за производима прилагођеним специфичним жељама и потребама купаца. Немачка, Сједињене

Америчке Државе и друге државе са високо развијеном индустријом, покренуле су националне програме и истраживања на тему четврте индустријске револуције.

Четврта индустријска револуција заснива се на новим технологијама и концептима попут сајбер-физичких система (енгл. *Cyber-Physical System*), интернета свега (енгл. *Internet of Things*) и бежичних мрежа сензора (енгл. *Wireless Sensor Network*). Ове технологије омогућавају креирање паметних објеката, попут паметних машина, производа и материјала. Паметни објекти, заједно са људима, чине паметне фабрике. Паметне фабрике су свесне тренутног стања производног система и плана производње. На основу познавања тих података, паметна фабрика доноси одлуке о оптималном начину производње у реалном времену и врши координисање и синхронизацију људи и паметних објеката у оквиру производног система. Да би паметна фабрика могла изабрати оптималан начин производње, она мора познавати производне процесе. Због тога, производни процеси морају бити формално описани на начин који је разумљив паметним фабрикама.

Формални модели производних процеса могу се користити и за генерисање техничке документације. Правне регулативе обавезују произвођаче да обезбеде пратећу техничку документацију за производ и процес производње. Ово резултује потребом за постојањем велике количине техничке документације. Велика количина потребне техничке документације као резултат има велике трошкове, ниску ефикасност и дуго трајање процеса креирања документације, али и низак квалитет документације [1]. Аутоматско генерисање дела или све потребне документације на основу формалног описа производног процеса решило би описане проблеме.

Анализом постојећих језика за моделовање производних процеса установљено је да ниједан од њих не омогућава моделовање свих детаља производног процеса неопходних за аутоматско генерисање техничке документације. Због тога, одлучено је да се креира нови наменски језик за описивање производних процеса назван *Production Domain-Specific Language (pDSL)*.

Осим Увода и Закључка, овај рад садржи три поглавља. Пoglавље *Преглед постојећег стања у области* садржи опис постојећих начина креирања формалних модела производних процеса, а затим даје теоријске основе моделом вођеног развоја и наменских језика.

#### НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Владимир Димитријески, доцент.

Поглавље *Наменски језик за моделовање производних процеса* описује креирани наменски језик. Поглавље *Генерисање документације* описује имплементирани генераторе техничке документације.

## 2. ПРЕГЛЕД ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА У ОБЛАСТИ

У оквиру овог поглавља испитани су постојећи начини моделовања производних процеса. Затим су дате теоријске основе моделом вођеног развоја софтвера. На крају је испитана могућност њихове примене за формално моделовање производних процеса и аутоматско генерисање техничке документације.

### 2.1. Преглед постојећих начина за моделовање производних процеса

Производни процеси у фабрици обично су описани са више различитих техничких докумената. Различите скице и документи попут *Bill of Materials (BOM)* моделују изглед, карактеристике и састав производа. На основу њих и карактеристика производног система дефинише се производни процес. На пример, компаније често креирају карте токова процеса (енгл. *Flow Process Chart*) или *Bill of Operations (BOO)* да би описале производне процесе. Наведени документи описују кораке производног процеса, али не описују ток материјала. Дакле, подаци потребни паметној фабрици подељени су у више различитих докумената. Такви модели не морају нужно бити разумљиви рачунарима и извршиви, а у појединим случајевима нису ни дигитални.

Осим приказа модела производног процеса кроз поменути документацију, модели производних процеса могу се креирати помоћу језика за концептуално моделовање процеса. На пример, *Business Process Modeling Notation (BPMN)*, *Unified Modeling Language (UML)* и Петријеве мреже могу се користити за моделовање производних процеса. Поменути формализми нису креирани са циљем да се њима моделују производни процеси, већ имају општу намену. Због тога, недостају им концепти за изражавање дела особина производних процеса.

Постоји више проширења поменутих формализама развијених са циљем превазилажења поменутих недостатака. На пример, у раду [2] предложено је проширење *BPMN*-а концептима потребним за опис ресурса и материјала потребних за извршавање производних корака. Предложено проширење подразумева навођење конкретних ресурса, па је модел креиран његовом употребом зависан од производног система. Моделовање сарадње више учесника да би се обавио заједнички циљ није могуће.

Сличне недостатке имају и остали анализирани језици. Због тога, предложено је креирање новог наменског језика. Нови наменски језик треба да омогући ефикасно и лако креирање формалних модела производних процеса, који садрже све детаље потребне да би се техничка документација аутоматски генерисала.

### 2.2. Теоријске основе моделима вођеног развоја

Моделима вођене (енгл. *Model-Driven*) парадигме подразумевају употребу модела у свим корацима

развоја комплексног система. Моделима вођене парадигме обухватају и моделима вођен развој софтвера (енгл. *Model-Driven Software Development, MDSD*). Неки од основних циљева моделом вођеног развоја софтвера (*MDSD*) су бржи поступак развоја софтвера, повећање квалитета софтвера, повећање степена поновне употребљивости, олакшавање управљања сложеним системима, повећање укључености доменских експерата у развој софтвера и побољшање комуникације између наручиоца и тима који развија софтвер [3].

У овом раду примењен је моделима вођен развој софтвера на процес пројектовања производних процеса, при чему је главни циљ примене овог приступа било омогућавање аутоматског генерисања техничке документације за производни процес. *MDSD* захтева постојање формалних модела. Поред генерисања документације, формални модели производних процеса могу се употребити за симулацију и оптимизацију процеса, визуелизацију и праћење извршавања процеса, као и одлучивање и контролу у стварном времену. Формални модели такође омогућавају лакшу валидацију и проверу логичке исправности модела, чиме се повећава квалитет финалног модела процеса.

Изабрани начин формирања модела јесте употребом наменског језика. С обзиром на то да је наменски језик прилагођен домену за који се креира, процес моделовања би требало да је ефикаснији и лакши него што би био да се користи језик опште намене.

На крају, трансформације модела у текст аутоматизују процес генерисања документације. Аутоматизација процеса креирања документације резултује бржим креирањем документације и смањењем трошкова.

## 3. НАМЕНСКИ ЈЕЗИК ЗА МОДЕЛОВАЊЕ ПРОИЗВОДНИХ ПРОЦЕСА

Приликом развоја наменског језика потребно је изабрати један или више типова конкретних синтакси које језик треба да поседује. Два најчешће кориштена типа конкретних синтакси су: графичка и текстуална конкретна синтакса [3]. Текстуалне конкретне синтаксе одликују се пре свега добром програмском подршком за моделовање. Алати за уређивање текста су распрострањени, изразито зрели и велики број корисника је већ навикнут на њих. Поред тога, алати за уређивање текста нуде додатне функционалности попут означавања синтаксе бојама, надопуњавања, аотирања грешака и приказа разлика између два документа или две верзије истог документа. Због тога, изабрано је да за наменски језик *pDSL* буде развијена текстуална синтакса. Међутим, најбоље решење за наменски језик *pDSL* је да буду развијене обе синтаксе. Поред свих предности поседовања текстуалне синтаксе, језик *pDSL* тако би имао и предности поседовања графичке синтаксе. На пример, графичка синтакса би омогућила графичку симулацију извршавања процеса. Креирање графичке конкретне синтаксе је један од могућих праваца даљег развоја наменског језика *pDSL*. Узевши ово у обзир, изабран је приступ креирања конкретне синтаксе на основу мета-модела.

### 3.1. Опис технологија кориштених за развој наменског језика *pDSL*

За креирање мета-модела кориштен је *Eclipse Modeling Framework (EMF)*. *EMF* је радни оквир за моделовање и генерисање кода намењен за креирање алата заснованих на структурираном моделу података. *EMF* као језик за мета-моделовање користи језик *Ecore*.

Концептима наменског језика за мета-моделовање *Ecore* није било могуће исказати сва потребна ограничења. Ова ограничења исказана су помоћу наменског језика *Object Constraint Language (OCL)*, односно помоћу његове имплементације под називом *Eclipse OCL*.

За имплементацију конкретне текстуалне синтаксе кориштен је *Xtext*. *Xtext* је радни оквир за развој програмских језика и наменских језика. Обезбеђује наменске језике и одговарајући API за описивање различитих аспеката језика. На основу описа аспеката језика омогућује генерисање свих алата потребних за употребу језика.

### 3.2. Апстрактна синтакса

На слици 1. приказани су основни концепти апстрактне синтаксе наменског језика *pDSL*.

Коренски концепт апстрактне синтаксе је процес (*Process*). За процес је, пре свега, потребно описати кораке који се реализују у циљу извршења процеса (*ProcessStep*). У наменском језику разликују се сложени кораци, односно потпроцеси (*CompossedStep*) и грануларни кораци (*SimpleStep*). Улога потпроцеса је пре свега омогућавање описивања различитог тока извршења корака, на пример, извршавање у паралели. Друга улога потпроцеса је омогућавање груписања корака, ради боље прегледности. Насупрот њима, грануларни кораци представљају недељиву активност, са јасно дефинисаним циљем, улазима и излазима. Поред тога, за корак се могу дефинисати конкретни ресурси, односно средства за рад (*Tool*) и извршилац активности (*Operator*) потребни за обављање корака,

или способности (*Capability*) које ресурси треба да имају да би обављали корак. Навођење способности уместо конкретних ресурса омогућава креирање модела независног од производног система. Ресурси могу бити накнадно изабрани на одговарајући начин, у складу са задатим способностима, жељеним квалитетом и производним системом.

### 3.3. Конкретна синтакса

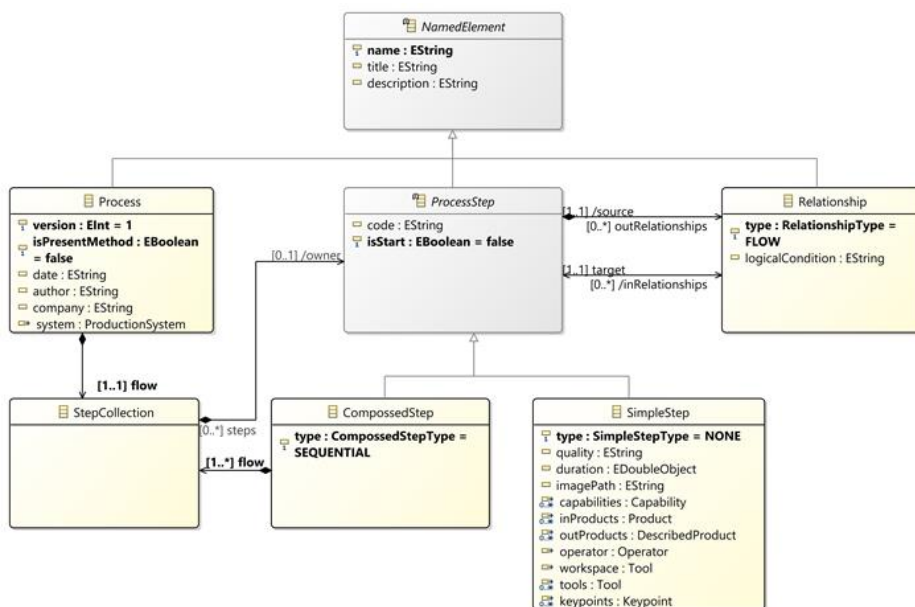
Радни оквир *Xtext* на основу мета-модела генерише почетну верзију конкретне синтаксе. Да би синтакса била употребљива, генерисану почетну граматику потребно је прилагодити домену. Поред граматике потребно је прилагодити и остале аспекте језика. У случају наменског језика *pDSL* постојала је потреба за делимичном изменом начина разрешавања опсега и увођењем додатних валидација. На основу граматике и описа осталих аспеката синтаксе, *Xtext* генерише алат за уређивање кода. По потреби, алат за уређивање кода се такође може прилагодити језику. У случају наменског језика *pDSL* било је потребно додати шаблоне (енгл. *templates*), али и делимично изменити начин на који алат за уређивање кода генерише сугестије приликом уноса модела (енгл. *content assist*). Ове измене начињене су како би се убрзало и олакшало креирање модела употребом алата за уређивање кода. На листингу 1. дат је пример изгледа конкретне синтаксе, који описује један корак производног процеса.

```

INSPECTION ProveraKvaliteta(
description: "Uzima se nasumični uzorak i nosi u laboratoriju na analizu."
workstation: LaboratorijaZaProcenuKvaliteta
tools: [OtvacKonzervi, UredjajZaMerenjeKiselosti,
        UredjajZaMerenjeKolicineSecera]
operator: Laborant
duration: 120
image: "C:\\temp\\quality.jpg"
links with other steps: [
    IdiNaPakovanje : GO TO Pakovanje,
    IdiOdlaganjeOtpada : GO TO Unistavanje
    if "Proizvod nije u skladu sa željenim kvalitetom."
]
)

```

Листинг 1. Пример описа процесног корака



Слика 1. Основни концепти наменског језика *pDSL*




#### 4. ГЕНЕРИСАЊЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ

Да би се омогућило аутоматско генерисање техничке документације развијено је више генератора од којих сваки за циљ има генерисање одређеног типа документације намењеног за планирање, реализацију, праћење и оптимизацију производних процеса. Имплементирани су следећи генератори: генератор карти токова процеса, генератор операционих листова, *BOM* (енгл. *Bill of Materials*) генератор, *BOMO* (енгл. *Bill of Materials and Operations*) генератор, *JBS* (енгл. *Job Breakdown Sheet*) генератор, генератор прегледа средстава за рад и генератор прегледа учесника процеса. За њихову реализацију кориштена је комбинација програмског кода писаног у програмском језику *Java* и кода писаног језиком *Xtend*.

Сви генератори свој излаз формирају на основу података садржаних у моделу производног процеса. Такође, сви генерисани документи имају исто заглавље и подножје, користе исти фронт и формат, као и исти начин приказа појединих елемената попут назива корака и производа. Све ово доприноси конзистентности докумената.

На слици 2. приказан је пример генерисаног документа *JBS*. *JBS* представља документ за обуку радника који приказује све кораке и за сваки од њих наводи кључне тренутке и објашњење како они утичу на извршавање корака. Кључне тачке излистане у *JBS* обухватају савете како процес обавити ефикасно и на безбедан начин.

Да би се за производни процес генерисао *JBS*, али и карта тока процеса и *BOMO*, корацима је потребно доделити ознаке које указују на редослед обављања корака. Додела ознака врши се аутоматски, на основу позиције корака унутар тока извршавања процеса. Након успешног генерисања ознака, могуће је генерисати документе.

| Инструкције за учеснике у процесу   | trenutna metoda<br>predložena metoda   | Finalni proizvod<br>Paketi konezviranog paradajza                | Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad   |
|---|--|--|--|
| <b>GLAVNI KORACI</b>  |  | <b>KLJUČNE TAČKE</b>   | <b>RAZLOG</b>  |
| 20. Za korak nije dodana šema.  | 10. Pranje   | Paziti na brzinu punjenja mašine.<br>Ne stavljati ruke u mašinu. | Paradajz se bolje opere kada mašina nije prepuna.<br>Možete se ozbiljno povrediti. |
| 20. Proizvodnja paradajz soka i komadića  | PARALELNO  |  |  |
| 20. Proizvodnja paradajz soka i komadića  | 1  |  |  |
| 20. Za korak nije dodana šema.  | 20.10. Zagrevanje  | Nema ključnih tačaka.  |  |
|  | 20.20. Mijevanje<br>Dodatno ustrijavanje paradajza dok se ne dobije pasta.           | Nema ključnih tačaka.  |  |
| 20. Za korak nije dodana šema.  | 20.30. Ukuvavanje  | Nema ključnih tačaka.  |  |
| 20. Proizvodnja paradajz soka i komadića  | 2  |  |  |
|  | 20.10. Guljenje  | Nema ključnih tačaka.  |  |
| 20. Za korak nije dodana šema.  | 20.20. Seckanje  | Nema ključnih tačaka.  |  |
| 20. Za korak nije dodana šema.  | 20.30. Cedjenje  | Nema ključnih tačaka.  |  |
| 20. Proizvodnja paradajz soka i komadića  | KRAJ   |  |  |
| 20. Za korak nije dodana šema.  | 30. Mešanje i početno zagrevanje   | Nema ključnih tačaka.  |  |
| 20. Za korak nije dodana šema.  | 40. Punjenje konzervi<br>Punjenje zagrejanih konzervi                                | Nema ključnih tačaka.  |  |
| 20. Za korak nije dodana šema.  | 50. Zatvaranje i pasterizacija   | Nema ključnih tačaka.  |  |
| 20. Za korak nije dodana šema.  | 60. Hlađenje   | Nema ključnih tačaka.  |  |
|  | 70. Provera kvaliteta<br>Uzima se nasumični uzorak i nosi u laboratoriju na analizu. | Nema ključnih tačaka.  |  |
| 20. Za korak nije dodana šema.  | 80. Pakovanje  | Nema ključnih tačaka.  |  |
| Autor<br>Milića Todorović   |  | Datum<br>10.6.2020.  |  |

Слика 2. Пример генерисаног документа *JBS*

За генерисање документа *JBS* осим концепата за моделовање тока процеса, значај имају концепт кључног тренутка корака (*Keypoint*), али и атрибути самог корака попут назива, скице и описа.

#### 5. ЗАКЉУЧАК

Наменски језик *pDSL*, описан у овом раду, омогућава креирање формалних, рачунарима разумљивих модела производних процеса. Језик поседује концепте помоћу којих је могуће описати сложене токове производних корака, материјала и ресурса. Поред тога, тестиране су могућности имплементације генератора од којих сваки за циљ има генерисање изабраног типа документације намењене за планирање, реализацију, праћење и оптимизацију производних процеса.

Осим тога што је погодан за функционисање паметне фабрике, формални модел производног процеса представља подлогу за реализацију система за симулацију и оптимизацију процеса, визуелизацију и праћење извршавања процеса, као и аутоматско генерисање техничке документације. Аутоматско генерисање документације побољшало би ефикасност и повећавало би брзину процеса креирања документације. Генерисање документације допринело би конзистентности техничке документације, као и њеној усклађености са прописаним стандардима, чиме би се осигурао квалитет документације.

Наменски језик *pDSL* може бити додатно развијен и унапређен. На пример, може се проширити графичком конкретном синтаксом. Графичка синтакса би, пре свега, омогућила реализацију система за визуелизацију и симулацију извршавања процеса. Поред тога, графичка синтакса би допринела лакшем моделовању и откривању грешака. Осим тога, могуће је и креирање додатних генератора за моделе описане наменским језиком *pDSL*. Додатни генератори који се могу имплементирати укључују генераторе документације у вези са системом квалитета, али и генераторе других видова техничке документације.

#### 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] A. Barthelme, D. Störkle, B. Kuhlenkötter, and J. Deuse, "Cyber Physical Systems for Life Cycle Continuous Technical Documentation of Manufacturing Facilities," *Procedia CIRP*, vol. 17, pp. 207–211, 2014, doi: [10.1016/j.procir.2014.01.050](https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.050).
- [2] S. Zor, D. Schumm, and F. Leymann, "A Proposal of BPMN Extensions for the Manufacturing Domain," *Proceedings of 44th CIRP international conference on manufacturing systems, Madison, Wisconsin, USA*, pp. 1–7, 2011.
- [3] M. Brambilla, J. Cabot, and M. Wimmer, *Model-driven software engineering in practice*, Second edition. San Rafael, Calif.: Morgan & Claypool Publishers, 2017.

#### Кратка биографија:



**Милица Тодоровић** рођена је 1997. године у Милићима у Босни и Херцеговини. Факултет техничких наука уписала је 2015. Дипломски рад из области Електротехника и рачунарство одбранила је 2019. године.