

**DR.01 PRIJAVA NACRTA DOKTORSKOGA RADA**

Molimo datoteku nazvati DR.01_-_Prezime_Ime.pdf

Ispunjeni obrazac DR.01 poslati u elektroničkom i tiskanom obliku, potpisan, u nadležnu referadu.

PODACI O DOKTORANDU/DOKTORANDICI

Ime i prezime doktoranda / doktorandice	Zvonimir Lipšinić, mag. ing. mech.
Matični broj doktoranda / doktorandice	35003393
Adresa	Zajačko Selo 34, Ozalj, Hrvatska
Telefon / mobitel	00385913038791
E-mail	zvonimir.lipsinic@fsb.hr

OPĆI PODACI O STUDIJU

Nositelj studija	Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje
Naziv studija	Strojarstvo, brodogradnja, zrakoplovstvo, metalurgija
Naziv partnerske institucije (u slučaju da se radi o dvojnem doktoratu)	
Naziv upisanog doktorskog studija na partnerskoj instituciji (u slučaju da se radi o dvojnem doktoratu)	
Područje / polje / grana (ako se doktorski studij izvodi u grani)	tehničke znanosti / interdisciplinarne tehničke znanosti

ŽIVOTOPIS DOKTORANDA / DOKTORANDICE

Obrazovanje (kronološki od novijeg k starijem datumu)	1. Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, <i>Strojarstvo</i> , Diplomski, Hrvatska (2020./2021.) 2. Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, <i>Strojarstvo</i> , Prijediplomski, Hrvatska (2018./2019.)
Radno iskustvo (kronološki od novijeg k starijem datumu)	10/2022. – Asistent Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje 9/2021. – 10/2022. Inženjer za tehnologiju i razvoj Flammifer d.o.o.
Popis radova i aktivnih sudjelovanja na znanstvenim skupovima ili javno predstavljenih umjetničkih radova	1. Lipšinić, Zvonimir; Pavković, Neven Integrating life cycle assessment in model-based systems engineering // Engineering for a Changing World : Proceedings; 60th ISC, Ilmenau Scientific Colloquium / Sattler, Kai-Uwe (ur.). Ilmenau: Technische Universität Ilmenau, 2023. str. 1-16 2. Martinec, Tomislav; Valjak, Filip; Horvat, Nikola; Goudswaard, Mark; Nygård Ege, Daniel; Ballantyne, Robert; Berg, Martin Francis; Glaser, Tobias; Grosse, Cornelius; Lipšinić, Zvonimir et al. Virtual design hackathons: a data collection framework // Proceedings of the Design Society,



	Volume 4: DESIGN 2024 / Štorga, Mario; Škec, Stanko; Martinec, Tomislav et al. (ur.). Cambridge University Press, 2024. str. 45-54. doi: 10.1017/pds.2024.7 3. Lipšinić, Zvonimir; Husung, Stephan; Pavković, Neven; Weber, Christian Supporting circular economy strategies for design of sustainable mechatronic systems using MBSE // Proceedings of the Design Society, Volume 4: DESIGN 2024 / Štorga, Mario; Škec, Stanko; Martinec, Tomislav et al. (ur.). Cambridge University Press, 2024. str. 2645-2654. doi: 10.1017/pds.2024.267		
PRIJEDLOG NASLOVA DOKTORSKOGA RADA			
Jezik pisanja rada	Engleski		
Naslov na hrvatskom	Integracija SysML modela s grafovima znanja za poboljšanu analizu funkcionalne sigurnosti u razvoju održivih sustava		
Naslov na engleskom	Integrating SysML models with knowledge graphs for enhanced functional safety analysis in development of sustainable systems		
Naslov na jeziku na kojem će se pisati rad (ako nije na hrvatskom ili engleskom)			
PREDLOŽENI MENTOR(I) (navesti drugog mentora ako se radi o interdisciplinarnom istraživanju ili ako postoji neki drugi razlog za dvostruko mentorstvo)			
	Ime i prezime, titula	Ustanova, država	E-Mail
Mentor	prof. dr. sc. Neven Pavković	Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, Hrvatska	neven.pavkovic@fsb.hr
KOMPETENCIJE MENTORA			
Mentor	<i>Popis do pet objavljenih relevantnih radova u posljednjih pet godina</i> Lipšinić, Zvonimir; Husung, Stephan; Pavković, Neven; Christian, Weber: Supporting circular economy strategies for design of sustainable mechatronic systems using MBSE, Proceedings of the 18th International DESIGN conference DESIGN 2024; Cambridge University Press; svibanj 2024; DOI: 10.1017/pds.2024.267 Lipšinić, Zvonimir; Pavković, Neven: Integrating Life Cycle Assessment in Model-Based Systems Engineering, Proceedings of the 60th Ilmenau Scientific Colloquium; studeni 2023; DOI: 10.22032/dbt.58905 Škec Stanko, Beccatini Niccolo; Cascini Gaetano; Pavković, Neven: "E-Learning Infrastructure Prototype for Geographically Distributed Project-Based Learning", Proceedings of the 16th International DESIGN conference DESIGN 2020; Cambridge University Press; svibanj 2020, pp. 1667-1676, DOI: 10.1017/dsd.2020.282 Juranić, Jasmin, Pavković, Neven, Jurinić, Dominik: "Management of design iterations on coupled parameters in design teamwork using multiple domain matrix and Coloured Petri Nets", Proceedings of the 16th International Design Conference (DESIGN 2020), Cambridge University Press; svibanj 2020, (pp. 617-626). DOI:10.1017/dsd.2020.264		



OBRAZLOŽENJE ZA DVOJNO MENTORSTVO

OBRAZLOŽENJE NACRTA DOKTORSKOGA RADA

Sažetak na hrvatskom jeziku
(maksimalno 1000 znakova s praznim mjestima)

Inženjerstvo sustava na bazi modela (MBSE) je učinkovita metodologija za razvoj kompleksnih sustava jer omogućuje strukturirano modeliranje (pomoću SysML-a) i rano prepoznavanje potencijalnih problema putem analiza i simulacija. Analize provedene tijekom razvojnog procesa rezultiraju znanjem koje čini temelj za donošenje konstrukcijskih odluka. Literatura ističe kako pravilno zapisivanje i korištenje tog znanja može značajno doprinijeti procesu konstruiranja. Analize funkcionalne sigurnosti pritom su iznimno zahtjevne i podložne pogreškama. Ipak, integracija SysML modela sustava i zapisa znanja u svrhu poboljšanja tih analiza još uvijek nije dovoljno istražena. Stoga je cilj ovog istraživanja razviti teorijski okvir koji će objasniti i omogućiti integraciju modela sustava i zapisa znanja, u kontekstu funkcionalne sigurnosti. Dodatno, istraživanje ima za cilj razviti metodu za mjerenje indikatora kvalitete analize funkcionalne sigurnosti u takvom integriranom okruženju.

Sažetak na engleskom jeziku
(maksimalno 1000 znakova s praznim mjestima)

Model-Based Systems Engineering (MBSE) is an effective methodology for developing complex systems, enabling structured modeling (using SysML) and early identification of potential errors through analysis and simulation. Analyses performed during the development process result in knowledge that supports design decision making. The literature highlights that the correct recording and use of this knowledge can significantly contribute to the design process. Functional safety analyses are extremely demanding and error-prone. However, the integration of SysML models and knowledge records to improve these analyses has not yet been sufficiently explored. Therefore, the aim of this research is to develop a theoretical framework that will explain and enable the integration of system models and knowledge records in the context of functional safety. In addition, the research aims to develop a method for measuring quality indicators of functional safety analysis in such an integrated environment.

Uvod i pregled dosadašnjih istraživanja (preporučeno 7000 znakova s praznim mjestima)

Trend razvoja suvremenih proizvoda kao mehatroničkih ili kiber-fizičkih sustava značajno je u porastu. Takav razvoj integrira mehaničko, električno i područje računarstva u usko povezane arhitekture. Ta integracija stvara složene međuovisnosti na razinama sustava i kroz faze životnog vijeka. Nelinearne interakcije i teško predvidivo ponašanje dodatno otežavaju razvojni proces, zahtijevajući holistički pristup u razvoju i analizi kompleksnih sustava [1]. Istovremeno, održivost postaje ključan zahtjev u inženjerstvu, potaknuto sve većim regulatornim pritiskom i zahtjevima za ekološkom odgovornošću [2]. Kao rezultat toga, razmatranja održivosti moraju biti uključena već u najranijim fazama razvoja. Početna istraživanja bila su usmjerena na ta razmatranja, što je rezultiralo studijom o analizi životnog vijeka složenog proizvoda [3]. Nadalje, novi poslovni modeli poput leasinga i proizvoda-kao-usluge zahtijevaju sustave koji nisu samo dugotrajni i prilagodljivi, već i konstruirani za dugoročnu očuvanost vrijednosti [4].

Kao odgovor na potrebu za održivim proizvodima i produženim životnim ciklusima, cirkularna ekonomija (eng. Circular Economy, CE) nudi strateški okvir za razvoj koji promiče sužavanje, usporavanje i zatvaranje tokova resursa [5]. Ove strategije ostvaruju se kroz R-strategije kao što su ponovna upotreba, ponovna proizvodnja (eng. remanufacturing) i recikliranje, od kojih svaka dodatno komplicira proces konstruiranja. Početna istraživanja istražila su implementaciju CE-a koja zahtijeva razmatranja na razini sustava kroz više potencijalnih faza životnog ciklusa, uključujući ažuriranja proizvoda, ponovnu upotrebu komponenti, njihovu kompatibilnost i proces degradacije [6]. Cirkularni sustavi, međutim, predstavljaju jedinstvene i manje istražene sigurnosne izazove. Takvi su sustavi često podložni promjenama u arhitekturi primjenom R-strategija. Promjene u arhitekturi mogu dovesti do neželjenih i teško predvidivih ponašanja. Ponovna upotreba ili obnova komponenti također uvodi rizike povezane s degradacijom, kompatibilnošću i promijenjenim sučeljima [7]. Literatura ukazuje da nove tehnologije poput digitalnih blizanaca (eng. Digital Twins, DT) [8] mogu unaprijediti održivost kompleksnih sustava. U kontekstu CE-a, nadzor temeljen na DT-u može smanjiti nesigurnosti vezane za stanje sustava omogućujući preciznije procjene degradacije. Smanjenje takvih nesigurnosti utječe i na reverznu logistiku [9]. Osiguravanje funkcionalne sigurnosti tijekom više iteracija životnog ciklusa sustava posebno je zahtjevno, osobito kada se sustavi razvijaju kroz nadogradnje ili ponovnu upotrebu. U takvim slučajevima, kada se dijelovi sustava periodično zamjenjuju radi povećanja održivosti, postaje očita potreba za



ponovnom procjenom funkcionalne sigurnosti. Trenutačne inženjerske prakse nude ograničene metode za sigurnosnu validaciju u takvim dinamičnim i neizvjesnim CE scenarijima. Tradicionalne metode sigurnosne procjene poput Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA) i System-Theoretic Process Analysis (STPA) i dalje su industrijski standard, ali zahtijevaju znatne resurse i podložne su ljudskim pogreškama [10]. Takve su analize obično nepovezane s modelom sustava. Ove su prakse često neučinkovite i slabo prilagođene za praćenje promjenjivih konfiguracija sustava ili za praćenje rizika u novonastalim varijantama proizvoda (arhitekturama). Posljedično, raste potreba za integriranim, modelskim pristupima koji podržavaju sljedivost, ponovnu upotrebu znanja i procjenu funkcionalne sigurnosti uzimajući u obzir životni ciklus.

Inženjerstvo sustava na bazi modela (eng. Model-Based Systems Engineering, MBSE) pojavilo se kao obećavajuća metodologija za upravljanje sa složenošću u razvoju suvremenih proizvoda [11]. Međunarodno vijeće za inženjerstvo sustava (INCOSSE) definira MBSE kao formaliziranu primjenu modeliranja za podršku aktivnostima definiranja zahtjeva, konstruiranja, analize, verifikacije i validacije (V&V) koje započinju u fazi konceptualnog konstruiranja i nastavljaju se tijekom razvoja i kasnijih faza životnog ciklusa. MBSE metodologija temelji se na tri stupa: pristupu modeliranju (metodi), jeziku modeliranja i programskom okruženju (alatu) koje omogućava modeliranje. SysML [12], široko prihvaćen djelomično formaliziran jezik modeliranja, omogućuje strukturirano definiranje strukture i ponašanja sustava, zahtjeva i parametara. Pristupi modeliranju poput MagicGrid-a [13] nude strukturirani razvojni proces koji uključuje ključne inženjerske aktivnosti poput inženjeringa zahtjeva, definiranja arhitekture te validacije i verifikacije. Međutim, MBSE alati pružaju okruženje za kreiranje modela, upravljanje varijantama i konfiguracijama, te integraciju sa simulacijskim alatima, bazama podataka i alatima za upravljanje životnim ciklusom. Osim što podržava razvoj sustava, MBSE može uključiti i analizu funkcionalne sigurnosti izravno u model sustava [14]. Korištenjem SysML dijagrama, konstruktori mogu prikazati izvore rizika [15], putove propagacije [16] i strategije ublažavanja rizika kao dio arhitekture sustava. To omogućuje sljedivost između rizika, sigurnosnih zahtjeva i konkretnih komponenti, osiguravajući da se sigurnost razmatra od najranijih faza konstruiranja. Takve prakse također omogućuju temelj za automatizaciju i čvršću integraciju sa simulacijskim i testnim radnim tokovima, omogućujući učinkovitiju, dosljedniju i proaktivnu analizu funkcionalne sigurnosti.

Provedeni sustavni pregled literature otkrio je značajan porast znanstvenih radova koji se bave integracijom sigurnosne analize s MBSE metodologijom. U prošlosti se značajan dio literature bavio problemom transformacije modela sustava u sigurnosni model kako bi stručnjaci za sigurnost mogli provesti analize. Modelom potpomognuta sigurnosna procjena (eng. Model-Based Safety Assessment, MBSA) u kombinaciji s MBSE-om omogućuje integraciju takvih modela bez potrebe za transformacijama [17]. Kompromis u ovom slučaju je potreba da stručnjaci za sigurnost ovladaju SysML modeliranjem kako bi učinkovito provodili analize u novom okruženju. Stoga su daljnja istraživanja bila usmjerena na automatizaciju takvih MBSA procesa [18]. Cilj je smanjiti potreban trud, a time i mogućnost pogrešaka, skratiti razvojni ciklus i povećati pouzdanost sustava i konkurentnost. Kada se uzmu u obzir periodične promjene sustava pod utjecajem R-strategija, trajanje svakog razvojnog ciklusa utječe na ukupni uspjeh proizvoda, osobito kada je specifikacija sustava podložna strožim sigurnosnim regulativama. Istraživani su pristupi za procjenu kvalitete provedene sigurnosne analize. Primjerice, autori u [19] koriste opći IQ-okvir predstavljen u [20] za evaluaciju FMEA rezultata na razini informacijskog sadržaja. S druge strane, autor u [21] definira ciljeve kvalitete FMEA-e koji se mogu koristiti kao kriteriji evaluacije, npr. FMEA rezultati trebali bi dovesti do primjenjivih preporuka koje utječu na proces konstruiranja. Općenito, izrazi poput potpunosti (u identifikaciji rizika i njihovih uzroka) i dosljednosti (u ocjenama značaja, otkrivanju, učestalosti) koriste se za opis rezultata procjene rizika. Literatura [22] navodi da je jedan od načina povećanja učinkovitosti analiza funkcionalne sigurnosti korištenje stručnog znanja. Eksplicitno znanje vezano uz sigurnost zapisano je u modelima sustava i sigurnosnim modelima. U većini slučajeva, dokumentacija iz prethodnih projekata (npr. FMEA tablice) sadrži korisno znanje. Izazov u ponovnoj uporabi takvog znanja jest heterogena struktura i raznorodnost izvora. Potreban je okvir za harmonizaciju takvog znanja u baze podataka s naprednijim mogućnostima pretraživanja. Grafovi znanja (Knowledge Graphs – KG) nude rješenje tog izazova [23]. Uz navedenu prednost harmonizacije, KG pruža fleksibilne mogućnosti pretraživanja i napredno zaključivanje na temelju definiranih pravila. Mogućnosti zaključivanja KG-ova, koje trenutačno nisu podržane MBSE alatima, omogućuju stvaranje novog znanja otkrivanjem novih (prije nepoznatih) relacija između znanja ili elemenata sustava. Takvi se novostvoreni putevi zaključivanja i relacija ne mogu izravno izvesti iz SysML modela. Primjenu KG-a u MBSE-u istražili su Faheem i sur. [23] te Schummer i sur. [24]. Ta je primjena dodatno istražena u suradnji s autorima iz [23] tijekom istraživačkog posjeta. Trenutni zajednički istraživački naponi prikazuju transformaciju SysML modela u KG i mogućnost naprednog pretraživanja putem SPARQL upita. Tijekom suradnje, istražena je i potvrđena mogućnost transformacije sigurnosnih informacija iz dokumentacije nastale u prethodnim ciklusima razvoja. Ovo istraživanje bavi se izazovom ponovljene procjene funkcionalne sigurnosti u promjenjivim arhitekturama sustava podložnim R-strategijama. Originalnost leži u razvoju integriranog okvira koji povezuje SysML modele sustava s grafovima znanja radi unaprijeđenja zaključivanja i ponovne uporabe znanja. Osim toga, definiranjem i primjenom mjerljivih pokazatelja kvalitete, istraživanje ima za cilj mjerljivo poboljšanje kvalitete analize funkcionalne sigurnosti u složenim tehničkim sustavima.

Cilj i istraživačka pitanja i/ili hipoteze istraživanja (preporučeno 700 znakova s praznim mjestima)



Redoslijed navođenja cilja i hipoteza istraživačkih pitanja ovisi o području istraživanja

Ciljevi:

1. Razviti teorijski okvir koji definira kako se modeli sustava izrađeni pomoću MBSE alata (SysML) mogu sustavno integrirati s zapisima znanja pohranjenima u grafovima znanja, uz podršku naprednog zaključivanja i ponovne uporabe tijekom analize funkcionalne sigurnosti (FSA). Ova integracija treba pružiti vrijednu nadopunu koja omogućuje sveobuhvatniju analizu sa smanjenom učestalosti pojave grešaka.
2. Odrediti indikatore kvalitete (kao što su potpunost, mjere za smanjenje rizika, povećana sljedivost, smanjenje pogrešaka) analize funkcionalne sigurnosti sustava u razvojnim procesima temeljenima na MBSE pristupu. Razviti metodu za mjerenje određenih indikatora.
3. Validirati predloženi teoretski okvir integracije SysML-modela sustava i zapisa znanja kroz eksperimentalnu studiju koja uključuje razvoj složenog tehničkog sustava koji zahtijeva učestale ponovne procjene funkcionalne sigurnosti. Validacija će uključivati kvalitativne (stručno znanje) i kvantitativne (performanse) metrike.

Hipoteza istraživanja glasi:

Integracija SysML modela složenih tehničkih sustava i elemenata zapisa znanja (pohranjenih u grafovima znanja) poboljšati će indikatore kvalitete analize funkcionalne sigurnosti sustava.

Materijal, ispitanici, metodologija i plan istraživanja (preporučeno 6500 znakova s praznim mjestima)

Svrha ovog istraživanja je povećanje kvalitete analize funkcionalne sigurnosti složenih tehničkih sustava kroz integraciju elemenata modela sustava izrađenih pomoću MBSE alata (i programskog jezika SysML) te zapisa znanja pohranjenih u grafovima znanja. Preduvjet za to je teorijsko razumijevanje procesa analize funkcionalne sigurnosti u kontekstu razvojnog procesa temeljenog na MBSE pristupu. Taj se proces odnosi na razvoj složenih tehničkih sustava koji zahtijevaju periodične analize funkcionalne sigurnosti. Drugi preduvjet za poboljšanje kvalitete analize funkcionalne sigurnosti jest razumijevanje indikatora kvalitete te načina njihova mjerenja i kvantifikacije. Istraživanje će integrirati opću metodologiju istraživanja u području konstruiranja (Design Research Methodology) [23], okvir istraživanja znanosti o konstruiranju (Design Science Research) [24] te principe eksperimentalnog istraživanja u području konstruiranja (Experimental Design Research) [25], organizirane u četiri glavne faze: definiranje istraživačkih zahtjeva, deskriptivna studija I (uključujući sustavni pregled literature i preliminarna empirijska istraživanja), preskriptivna studija (koja predlaže teorijski model i metodu mjerenja) i deskriptivna studija II (koja validira razvijeni teorijski model i metodu).

Definiranje istraživačkih zahtjeva

Početna faza, usmjerena na definiranje istraživačkog cilja, uključuje pregled literature vezane uz metode i modele inženjerstva sustava na bazi modela (*eng. Model-based Systems Engineering*, MBSE), s naglaskom na procese analize funkcionalne sigurnosti. To uključuje i analizu razvojnog procesa održivih složenih tehničkih sustava. Nadalje, pregled literature u području zapisa znanja uključuje istraživanje metoda za kreiranje, manipulaciju i korištenje zapisa znanja u različitim oblicima. Fokus istraživanja bit će na zapisima znanja pohranjenima u grafovima znanja, iako će se istražiti i drugi potencijalno prikladni oblici za integraciju.

Pregled literature uključuje i trenutno stanje implementacije proučavanih metoda te realizaciju modela sustava i zapisa znanja korištenjem programskih jezika i alata. U ovoj su fazi korišteni dostupni (akademski licencirani) alati, uključujući CAPELLA, CATIA Systems of Systems Architect, Protege i Ontograph TextDB. Ova je faza ključna za stjecanje kompetencija u modeliranju složenih sustava i grafova znanja, što omogućuje bolje razumijevanje trenutnog stanja i mogućnosti implementacije, ali i buduću validaciju predloženog istraživanja. Sveobuhvatan pregled navedenih područja nužan je za postavljanje istraživačkih ciljeva, pitanja i hipoteze.

Deskriptivna studija I

Deskriptivna studija I nadovezuje se na znanja stečena u fazi razjašnjenja istraživanja. Cilj ove faze jest produbiti razumijevanje stečenog znanja sustavnim pregledom specijalizirane literature i provedbom preliminarnih eksperimentalnih istraživanja. Svrha je dodatno potvrditi



moгуćnosti integracije modela sustava izrađenih pomoću MBSE alata i zapisa znanja u kontekstu analize funkcionalne sigurnosti te identificirati indikatore kvalitete takve analize. U ovoj fazi istražuju se različite metrike, metode, metodologije i alati za mjerenje identificiranih indikatora. Koristit će se kombinacija kvantitativnih i kvalitativnih metoda, uključujući subjektivne alate poput ljestvica samoprocjene, upitnika i intervjua, kao i pristupe povezane s analizom funkcionalne sigurnosti poput FMEA-e. Preliminarna eksperimentalna istraživanja provodit će se na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu (UNIZG FSB), koristeći raspoloživu opremu Katedre za konstruiranje i razvoj proizvoda (CADLab). U istraživanjima će sudjelovati studenti i stručnjaci iz industrije, čime će se omogućiti sveobuhvatan uvid u različite razine stručnosti i znanja.

Preskriptivna studija

Preskriptivna studija gradi se na uvidima stečenima tijekom deskriptivne studije I. Fokus ove faze je razvoj teorijskog modela koji definira integraciju modela sustava izrađenih pomoću MBSE alata i zapisa znanja pohranjenih u grafovima znanja. Model će odražavati trenutno teorijsko razumijevanje područja te uključivati ključne mehanizme, elemente i utjecajne čimbenike. Teorijski model služiti će kao temelj za razvoj metode za mjerenje identificiranih indikatora kvalitete. Nadalje, model i metoda koristit će se za evaluaciju poboljšanja analize funkcionalne sigurnosti koje proizlazi iz integracije modela sustava i zapisa znanja. U ovoj fazi također će biti razrađen proces implementacije integracije, s naglaskom na transformaciju i prijenos zapisa znanja temeljen na prethodno proučenim metodama i alatima. Teorijsko razumijevanje bit će osnova i za oblikovanje eksperimentalnih istraživanja koja će služiti validaciji razvijenog modela i metode. Eksperimentalna istraživanja uključivat će definiranje uvjeta eksperimenta te primjenu postojećih okvira za prikupljanje, obradu i analizu podataka.

Deskriptivna studija II

Deskriptivna studija II predstavlja završnu fazu istraživačkog procesa. U ovoj se fazi provodi validacija teorijskog modela kroz eksperimentalna istraživanja s ciljem utvrđivanja doprinosa predložene integracije u poboljšanju indikatora kvalitete analize funkcionalne sigurnosti. Osim validacije modela, provjeravat će se i učinkovitost razvijene metode za mjerenje pokazatelja. Rezultati validacije pružit će uvid u prednosti i ograničenja predložene integracije te identificirati mogućnosti za daljnje unaprjeđenje. Konačni cilj ove faze jest potvrditi ili opovrgnuti glavnu istraživačku hipotezu na temelju rezultata provedenih eksperimenata. Rezultati istraživanja imaju visoku primjenjivost u industriji, s ciljem smanjenja trajanja i pojave pogrešaka u analizama funkcionalne sigurnosti, što je osobito važno u automobilske industriji [26], gdje složenost sustava i strogi sigurnosni zahtjevi nalažu učinkovitije procese.

Očekivani znanstveni ili umjetnički doprinos predloženoga istraživanja (preporučeno 500 znakova s praznim mjestima)

1. Teorijski okvir za integraciju (komplementiranje) modela sustava izrađenih pomoću MBSE alata (u SysML jeziku) sa zapisima znanja pohranjenima u grafovima znanja.
2. Definicija procesa integracije SysML modela i grafova znanja s potencijalom za automatizaciju unutar MBSE-kompatibilnih alatnih okruženja, uključujući smjernice za transformaciju elemenata SysML modela u format prikladan za reprezentaciju grafovima znanja.
3. Metoda za kvantificiranje ključnih pokazatelja kvalitete (kao što su potpunost, mjere za smanjenje rizika, povećana sljedivost, smanjenje pogrešaka) analize funkcionalne sigurnosti za sustave u razvojnim procesima temeljenima na MBSE pristupu.

Popis citirane literature / umjetničkih radova (maksimalno 30 referenci)

[1] R. Jonkers and K. E. Shahroudi, "CONNECTING SYSTEMS SCIENCE, THINKING, DYNAMICS AND ENGINEERING TO SYSTEMS PRACTICE FOR MANAGING COMPLEXITY," in *Proceedings of the 65th Annual Meeting of the International Society for the Systems Sciences, ISSS 2021 - The Art and Science of the Impossible: The Human Experience*, 2021.

[2] Z. Lipšinić and N. Pavković, "INTEGRATING LIFE CYCLE ASSESSMENT IN MODEL-BASED SYSTEMS ENGINEERING," 2023. Accessed: Nov. 10, 2023.



- [3] S. Bougain and D. Gerhard, "Integrating Environmental Impacts with SysML in MBSE Methods," *Procedia CIRP*, vol. 61, pp. 715–720, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.PROCIR.2016.11.196.
- [4] A. Urbinati, S. Franzò, and D. Chiaroni, "Enablers and Barriers for Circular Business Models: an empirical analysis in the Italian automotive industry," *Sustain Prod Consum*, vol. 27, pp. 551–566, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.SPC.2021.01.022.
- [5] N. Bocken and P. Ritala, "Six ways to build circular business models," *Journal of Business Strategy*, vol. 43, no. 3, pp. 184–192, Apr. 2022, doi: 10.1108/JBS-11-2020-0258.
- [6] Z. Lipšinić, S. Husung, N. Pavković, and C. Weber, "Supporting circular economy strategies for design of sustainable mechatronic systems using MBSE," in *Proceedings of the Design Society*, 2024, pp. 2645–2654. doi: 10.1017/pds.2024.267.
- [7] D. Inkermann, "Lifecycle Option Selection in Early Design Stages Based on Degradation Model Evaluation," in *Proceedings of the Design Society*, 2022, pp. 475–484. doi: 10.1017/pds.2022.49.
- [8] A. Preut et al., "Digital Twins for the Circular Economy," *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 10467, vol. 13, no. 18, p. 10467, Sep. 2021, doi: 10.3390/SU131810467.
- [9] C. M. Lee, W. S. Woo, and Y. H. Roh, "Remanufacturing: Trends and issues," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 113–125, Jan. 2017, doi: 10.1007/S40684-017-0015-0.
- [10] F. Mhenni, N. Nguyen, and J.-Y. Choley, "Automatic fault tree generation from SysML system models," in *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM*, 2014, pp. 715–720. doi: 10.1109/AIM.2014.6878163.
- [11] R. Cloutier, B. Sauser, M. Bone, and A. Taylor, "Transitioning Systems Thinking to Model-Based Systems Engineering: Systemigrams to SysML Models," *IEEE Trans Syst Man Cybern Syst*, vol. 45, no. 4, pp. 662–674, Apr. 2015, doi: 10.1109/TSMC.2014.2379657.
- [12] S. Friedenthal, A. Moore, and R. Steiner, "A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language, Third Edition," *A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language, Third Edition*, pp. 1–606, Jan. 2014, doi: 10.1016/C2013-0-14457-1.
- [13] A. Morkevicius, A. Aleksandraviciene, D. Mazeika, L. Bisikirskiene, and Z. Strolia, "MBSE Grid: A Simplified SysML-Based Approach for Modeling Complex Systems," *INCOSE International Symposium*, vol. 27, no. 1, pp. 136–150, Jul. 2017, doi: 10.1002/J.2334-5837.2017.00350.X.
- [14] R. Krishnan and S. V. Bhada, "Integrated System Design and Safety Framework for Model-Based Safety Assessment," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 79311–79334, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3193495.
- [15] M. Hecht, A. Chuidian, T. Tanaka, and R. Raymond, "Automated generation of FMEAs using SysML for reliability, safety, and cybersecurity," in *Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 2020. doi: 10.1109/RAMS48030.2020.9153708.
- [16] M. Hecht and D. Baum, "Failure Propagation Modeling in FMEAs for Reliability, Safety, and Cybersecurity using SysML," in *Procedia Computer Science*, 2019, pp. 370–377. doi: 10.1016/j.procs.2019.05.091.
- [17] X. Xu, R. Wei, and H. Wang, "Model-based Automated Safety Analysis Method for Safety-critical System," *2024 5th International Conference on Mechatronics Technology and Intelligent Manufacturing, ICMTIM 2024*, pp. 55–59, 2024, doi: 10.1109/ICMTIM62047.2024.10629307.
- [18] G. Girard et al., "Model based Safety Analysis using SysML with Automatic Generation of FTA and FMEA Artifacts," in *30th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2020 and 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference, PSAM 2020*, 2020, pp. 5051–5058.
- [19] J. Würtenberger, H. Klobardanz, J. Lotz, and A. Von Ahsen, "Application of the FMEA during the product development process - dependencies between levels of information and quality of result," in *Proceedings of the 13th International Design Conference DESIGN 2014 Dubrovnik*, 2014.

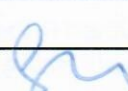
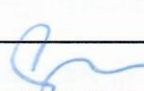
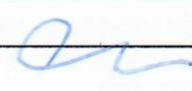


- [20] M. Helfert and O. Foley, "A context aware information quality framework," *4th International Conference on Cooperation and Promotion of Information Resources in Science and Technology, COINFO 2009*, pp. 187–193, 2009, doi: 10.1109/COINFO.2009.65.
- [21] C. S. Carlson, "Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis," *Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*, Apr. 2012, doi: 10.1002/9781118312575.
- [22] R. Cressent, V. Idasiak, and F. Kratz, "Reusing FIDES knowledge in the MéDISIS dysfunctional behavior database," in *11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference 2012, PSAM11 ESREL 2012*, 2012, pp. 1075–1084.
- [23] F. Faheem, Z. Li, and S. Husung, "Analysis of potential errors in technical products by combining knowledge graphs with MBSE approach," *Engineering for a changing world: Proceedings : 60th ISC, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 04-08, 2023*, Nov. 2023, doi: 10.22032/DBT.58898.
- [24] F. Schummer and M. Hyba, "An Approach for System Analysis with MBSE and Graph Data Engineering," pp. 1–37, 2022, doi: 10.1017/dce.2020.7.
- [25] L. T. M. Blessing and A. Chakrabarti, *DRM, a design research methodology*. Springer London, 2009. doi: 10.1007/978-1-84882-587-1/COVER.
- [26] A. Hevner, "A Three Cycle View of Design Science Research," *Scandinavian Journal of Information Systems*, vol. 19, no. 2, Jan. 2007, Accessed: Apr. 03, 2025.
- [27] P. Cash, T. Stanković, and M. Štorga, "Experimental design research: Approaches, perspectives, applications," *Experimental Design Research: Approaches, Perspectives, Applications*, pp. 1–270, Jan. 2016, doi: 10.1007/978-3-319-33781-4/COVER.
- [28] G. Xie, Y. Li, Y. Han, Y. Xie, G. Zeng, and R. Li, "Recent Advances and Future Trends for Automotive Functional Safety Design Methodologies," *IEEE Trans Industr Inform*, vol. 16, no. 9, pp. 5629–5642, Sep. 2020, doi: 10.1109/TII.2020.2978889.

Procjena ukupnih troškova predloženoga istraživanja (u eurima)

50 000

Predloženi izvori financiranja istraživanja

Nacionalno financiranje	Naziv projekta	Sredstva DATA-MATION projekta (Hrvatska zaklada za znanost)
	Voditelj projekta	Prof. dr. sc Mario Štorga
	Potpis	
Međunarodno financiranje	Naziv projekta	Sredstva DETAILLS projekta (ERASMUS)
	Voditelj projekta	Prof. dr. sc Mario Štorga
	Potpis	
Ostale vrste projekata	Naziv projekta	Sredstva Katedre za konstruiranje i razvoj proizvoda, FSB (suradnja s privredom, organizacija međunarodne konferencije DESIGN)
	Voditelj projekta	Prof. dr. sc Mario Štorga
	Potpis	
Samostalno financiranje		
Sjednica Etičkog povjerenstva na kojoj je		



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

DR.01 Prijava nacrtu doktorskoga rada

Obrazac je napravljen pomoću sustava OBAD

odobren prijedlog istraživanja
(navesti samo ako je potrebno)

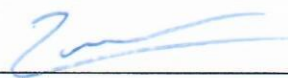
Suglasnost predloženog mentora i doktoranda s prijavom nacrtu doktorskoga rada

Izjavljujem da sam suglasan s nacrtom koji se prijavljuje.

Potpis


prof. dr. sc. Neven Pavković

Potpis


Zvonimir Lipšinić, mag. ing. mech.

IZJAVA

Izjavljujem da nisam prijavio / prijavila doktorski rad s istovjetnom temom na drugome studiju Sveučilišta,
odnosno na drugome sveučilištu. (Zanemariti u slučaju dvojnog doktorata - Cotutelle de thèse)

U Zagrebu, 12.05.2025.

Potpis


Zvonimir Lipšinić, mag. ing. mech.