

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/133



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-4072
Naslov projekta	Kompleksni hiperspektralni sistem za avtomatsko analiziranje in vodenje procesov oblaganja farmacevtskih pelet
Vodja projekta	15678 Boštjan Likar
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	8430
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	106 Institut "Jožef Stefan" 787 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo 2294 Sensum, sistemi z računalniškim vidom d.o.o.
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.06 Sistemi in kibernetika
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Pelete se najpogosteje pridobivajo s postopkom aglomeracije, kjer se praškasti delci postopoma združujejo v pelete. Na ta način se izboljša homogenost, pretočnost ter zmanjša prašnost in segregacija. Pelete se običajno še filmsko obložijo, kar dodatno zaščiti aktivno sestavino pred vplivi iz okolice, bistveno izboljša nadzor nad sproščanjem aktivne sestavine, spremeni barvo in/ali okus ter vpliva na končno obliko in velikost pelet. Na izjemno pomemben

proces sproščanja aktivne sestavine je mogoče vplivati z razmerjem med prostornino in površino pelet in z debelino ter sestavo filmske obloge in/ali sestave matriksa pelet. Zaradi omenjenih prednosti pelete vse bolj nadomeščajo praškaste zmesi pri izdelavi kapsul, delno tudi tablet. Po drugi strani pa je oblaganje pelet izjemno kompleksen multivariabilni proces, ki zahteva natančno vodenje, saj v nasprotnem primeru hitro pride do napak pri oblaganju, kar ne zagotavlja ciljev oblaganja, in pomeni nepotrditve ustreznosti izdelka in s tem povezane velike finančne izgube. Vse to zahteva številne postopke za merjenje in ocenjevanje lastnosti pelet. Velikost pelet in debelina filmske obloge se običajno merita v laboratorijih ob pomoči mikroskopa ali posredno s testom raztapljanja, medtem ko se kemijska sestava običajno vrednoti s tekočinsko kromatografijo (HPLC). Žal so omenjene metode časovno dolgotrajne, retrospektivne, ireverzibilne, lahko tudi ekološko manj sprejemljive ter zato neprimerne za izvajanje meritev v realnem času med procesom oblaganja. Slednje je nujno potrebno za uspešno načrtovanje, vodenje in izboljševanje procesov oblaganja, kar je edino zagotovilo za visok izkoristek in trajno visoko kakovost izdelkov. To še prav posebej poudarja FDA (Food and Drug Administration) s PAT (Process Analytical Technologies) smernicami, ki jih pri svojih postopkih implementira tudi evropska agencija za zdravila EMA, in pričakovati je, da bo ta zahteva postala v bližnji prihodnosti nujna in obvezna. V predlaganem aplikativnem projektu smo se osredotočili na razvoj novih učinkovitih metod za avtomatsko, brezkontaktno in nedestruktivno hiperspektralno vrednotenje geometričnih, fizikalnih in kemijskih lastnosti pelet v realnem času. V ta namen smo razvili nove robustne postopke za učinkovito sistemsko kalibracijo in obnovo zajetih hiperspektralnih slik ter nove postopke za avtomatsko analizo multispektralnih in hiperspektralnih slik v realnem času, s poudarkom na analizi velikosti, oblike in sestave pelet ter debeline in homogenosti filmske obloge. Omenjene postopke smo združili v prototipnem industrijskem sistemu za neprestano vrednotenje pelet med oblagalnim procesom, ki bo osnova za izdelavo sodobnih inovativnih kompleksnih merilnih sistemov in naprav, primernih za uspešno načrtovanje, vodenje in izboljševanje farmacevtskih oblagalnih procesov skladno s PAT smernicami.

ANG

Pharmaceutical pellets are made by agglomeration process in which fine particles are joined to improve content uniformity and flow characteristics, and to reduce segregation and dustiness. Additionally, pellets are typically coated with a thin film, serving as a protective layer against environmental factors, preventing degradation of the active pharmaceutical ingredients, controlling drug release rates, modifying color, masking taste, and defining the final size and shape of pellets. The highly important API release rates can be controlled by the volume-to-area ratios of pellets and with the compositions and thicknesses of the coating layers and/or composition of the pellet matrix. Due to these advantages, coated pellets are increasingly replacing powder blends for filling pharmaceutical capsules and partially also the powders used in the tablet pressing processes. However, the highly complex multivariate pellet coating processes need to be controlled well to ensure high product yields and to prevent process failures, resulting in discarded batches and significant losses of revenues. For this purpose, a number of analytical methods are required for measuring the chemical (composition), physical (coating thickness) and geometrical (shape and size) properties of pellets. Unfortunately, the existing analytical methods are highly time consuming, retrospective, destructive, environment-harmful, provide no information on the spatial distributions of the pellet composition and film coating thickness, and are infeasible for real-time in-process pellet measurements, essential for effectively designing, controlling and optimizing the coating process and thereby assuring the high yield, quality and consistency of the final product – as stressed out in the PAT (Process Analytical Technology) initiative proposed by FDA (Food and Drug Administration) and EDA (European Drug Agency) as well. In the proposed applied project, we focused on the development of novel methods for fully automatic, contactless and nondestructive real-time assessment of the geometrical, physical and chemical properties of pharmaceutical pellets by hyperspectral and multispectral imaging modalities. For this purpose we have developed novel methods for effective calibration and enhancement of the acquired hyperspectral images and novel robust fully automated methods for real-time analysis of the acquired images, focusing on the assessment of size, shape, composition, coating homogeneity and coating thickness of pellets. The findings were used to construct and validate a prototype industrial system for real-time in-process measurement of the most prominent pellet properties, which presents a solid foundation for construction of innovative complex measurement systems and instruments, providing the means for efficiently designing, optimizing and controlling the production of

pharmaceutical pellets and assessing the quality of pellets according to the PAT initiative.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

Projekt se je začel izvajati julija 2011. V skladu s predvidenim načrtom uresničevanja projekta smo se v prvi polovici prvega leta izvajanja projekta osredotočili predvsem na izgradnjo laboratorijskega sistema za slikanje pelet, razvoja osnovne programske opreme za zajem slik ter postopkov za njihovo obdelavo. Laboratorijski sistem temelji na kameri z visoko prostorsko ločljivostjo in enostavno povezljivostjo z osebnim računalnikom. Razvili smo programsko knjižnico, ki omogoča popolni nadzor nad vsemi pomembni parametri laboratorijskega sistema. Poleg tega smo razvili tudi številne nove postopke za statistično vrednotenje geometrijskih lastnosti pelet, kot so velikost in oblika pelet ter njihova porazdelitev. Meritve kažejo, da je na podlagi izračunanih geometrijskih lastnosti pelet mogoče sklepati na številne pomembne parametre oblagalnega procesa, kot sta hitrost prirastka obloge ter pojav aglomeracije (sprijemanja) pelet tekom oblaganja. Pristopili smo tudi k sistematičnemu testiranju različnih merilnih postavitev, ki vključujejo različne izvedbe svetil s svetlečimi diodami in halogenskimi sijalkami ter različne optične postavitve. Prva prototipna izvedba laboratorijskega sistema je omogočala slikanje pelet v letu in na vibratorju. Dinamika gibanja pelet pri omenjeni dveh postavitvah je zelo podobno dinamiki gibanja pelet med oblagalnim procesom v Wursterjevi oblagalni komori, kar zagotavlja relevantnost pridobljenih podatkov.

V skladu s predvidenim načrtom uresničevanja projekta smo se v letu 2012 najprej lotili testiranja obstoječih metod za vrednotenje geometrijskih lastnosti pelet. Za ta namen smo zgradili referenčno zbirko različno obloženih pelet, ki smo jih vzorčili tekom oblagalnih procesov. V naslednjem koraku smo pridobljene vzorce ovrednotili z uveljavljenimi referenčnimi postopki za merjenje debeline obloge pelet, ki so vključevali analizo slik prereзов pelet zajetih z vrstičnim elektronskim mikroskopom ter analizo s sodobno tekočinsko kromatografijo. Pridobljeni kvantitativni podatki o debelini in sestavi obloge s pripadajočo zbirko pelet so služili kot osnova za objektivno vrednotenje obstoječih metod za določanje geometrijskih lastnosti pelet neposredno iz zajete slikovne informacije. Za ta namen smo dodatno izpopolnili prototipni laboratorijski sistem za slikanje pelet na vibratorju in v letu, ki je v dopolnjeni izvedbi omogočal ponovljivo rutinsko zajemanje in analizo vzorcev obloženih in neobloženih pelet različnih dimenzij. Na ta način je bilo mogoče pridobljene vzorce pelet hitro ovrednoti. Poleg tega smo razvili tudi nove postopke za vrednotenje debeline obloge pelet, ki so primerni za spremljanje prirastka obloge v realnem času. Postopki temeljijo na robustni statistični analizi geometričnih lastnosti pelet na podlagi značilnic izluščenih iz zajetih spektralnih slik ter časovnem spremljanju porazdelitev izračunanih parametrov. Rezultati kažejo na dobro ujemanje med referenčnimi kvantitativnimi podatki in debelino obloge izračunano neposredno iz zajete slikovne informacije. Fizikalne in kemijske lastnosti pelet so poleg debeline obloge lahko odvisne tudi od elementarne zgradbe in homogenosti pelet, ki pa se v običajni praksi redko vrednotijo, saj na razpolago ni splošnih postopkov, ki bi zagotavljali zanesljivo vrednotenje teh lastnosti. V okviru izvajanja projekta smo izvedli študijo vrednotenja homogenosti in elementarne sestave pelet z rentgensko fluorescenco. Pridobljeni rezultati kažejo, da je v primerih, ko jedro in obloga pelet vsebujeta težje elemente, tako vrednotenje ustrezno, a s časovnega vidika zamudno.

V letu 2013 smo se skladno z načrtom izvajanja posvetili ključnim točkam projekta. Primarni namen je bil razvoj novih postopkov za kvantitativno vrednotenje sestave in geometričnih lastnosti pelet na podlagi zajete slikovne in spektralne informacije, razvoj ustreznih samovalidacijskih in kalibracijskih postopkov za zagotavljanje točnosti in ponovljivosti meritev ter nadgradnja laboratorijskega slikovnega sistema v prototipni industrijski slikovni sistem. Za razvoj novih postopkov vrednotenja geometričnih lastnosti pelet smo uporabili že zgrajeno zbirko podatkov in pelet, ki vključuje slikovno ter spektralno informacijo pelet, zajeto tekom celotnega oblagalnega procesa, ter referenčne podatke o časovnem spreminjanju debeline obloge in oblike pelet. Referenčne podatke o povprečni debelini in homogenosti obloge smo pridobili s pomočjo analize vzorcev s sodobno tekočinsko kromatografijo, analizo slik prereзов pelet zajetih z vrstični elektronskim mikroskopom ter analizo slik prereзов pridobljenih z nizkoenergijsko rentgensko fluorescenčno tehniko. S širokim naborom referenčnih meritev smo zagotovili visoko stopnjo točnosti pridobljenih podatkov neglede na sestavo in debelino obloge. Na podlagi zajete slikovne informacije smo razvili nove postopke za statistično vrednotenje geometričnih lastnosti pelet, ki temeljijo na razgradnji in obdelavi zajete slikovne informacije. Vsi razviti postopki se izvajajo v realnem času in omogočajo vrednotenje velikosti in oblike več tisoč pelet v sekundi. Na podlagi relativnih časovnih sprememb geometričnih lastnosti pelet, je mogoče sklepati na prirastek debeline obloge ter nastanek zlepkov. Pravočasno zaznavanje

slednjih je še posebej pomembno iz vidika vodenja oblagalnega procesa ter s tem zagotavljanja kakovosti in konsistentnosti obloge. Ponovljivost in točnost meritev smo zagotovili z ustrezno geometrično kalibracijo in karakterizacijo optičnih lastnosti slikovnega sistema, samovalidacijo pa s vključitvijo ustreznega kalibra v del vidnega polja. Vrednotenje sestave pelet tekom oblagalnega procesa, smo izvedli s pomočjo zajete bližnje infra-rdeče spektralne informacije. V ta namen smo dopolnili zbirko podatkov z NIR spektri vzorcev pelet odvzetih tekom oblagalnega procesa ter s spektri obloge in spektri peletnih jeder. Na podlagi razširjene zbirke smo razvili nove postopke za analizo in vrednotenje sestave pelet, ki ob ustrezni predhodni multivariatni kalibraciji, omogočajo neprestano kvantitativno vrednotenje debeline obloge in vsebnost vlage, ki je ključna za razumevanje in obvladovanje nastajanja zlepkov tekom oblagalnega procesa. Multivariatno kalibracijo postopkov za vrednotenje sestave pelet smo izvedli s pomočjo referenčne zbirke podatkov, ki vsebuje potrebno spektralno informacijo ter pripadajoče referenčne analitične podatke za izvedbo kalibracije. S posodabljanje referenčne zbirke z vzorci in pripadajočimi referenčnimi analitičnimi podatki iz novih oblagalnih procesov, smo zagotovili zanesljivo kalibracijo in samovalidacijo obstoječih multivariatnih modelov, ki povezujejo zajeto spektralno informacijo z izračunanimi kvantitativnimi podatki. V okviru projektnih nalog, smo v letu 2013 izvedli tudi nadgradnjo obstoječega laboratorijskega slikovnega sistema v prototipni industrijski slikovni sistem. V ta namen smo razvili nova svetila, ki temeljijo na svetlečih diodah (LED) velike sevalne moči. Z izboljšanim pulznim krmiljenjem LED smo bistveno skrajšali ekspozicijski čas in s tem omogočili zajem kakovostnih slik pelet v hitrem gibanju. Z uporabo najsodobnejših CMOS kamer smo dosegli zajem slikovne informacije s hitrostjo do 1000 sličic na sekundo, kar je omogočilo enostavnejšo in zanesljivejšo analizo geometričnih lastnosti pelet. Mehanske in optične lastnosti prototipnega sistema smo prilagodili, tako da omogočajo relativno enostavno združljivost z industrijskimi oblagalniki pelet. Razvili smo tudi nov uporabniški vmesnik, ki omogoča pregledno prikazovanje izmerjenih kvantitativnih lastnosti pelet tekom oblagalnega procesa.

V letu 2014 smo se skladno s predvidenim načrtom dela lotili izdatnega testiranja nadgrajenega prototipnega merilnega sistema. V ta namen smo izvedli serijo oblagalnih procesov na Fakulteti za farmacijo Univerze v Ljubljani, ki so vključevali različne tipe oblog ter različne začetne porazdelitev velikosti peletnih jeder. Poleg tega smo celotni postopek oblaganja vrednotili z dvema merilnima postavitevama, in sicer smo vrednotili pelete v nasutju in v letu. Na ta način smo preverili statistično signifikantnost zajete slikovne informacije oblagalnega procesa ter ovrednotili morebitni vpliv velikosti in barve delcev ter hitrosti oblaganja na rezultate meritev. Referenčne meritve smo izvedli po ustaljenem postopku, in sicer na vzorcih, ki so bili odvzeti tekom oblagalnega procesa. Z namenom, da bi razpolagali s čim bolj verodostojnimi referenčnimi meritvami, smo oblogi dodali nizko koncentracijo težjih kemijskih elementov (Ti, S) in na ta način omogočili izvedbo točkovnih in slikovnih referenčnih meritev z nizkoenergijsko rentgensko fluorescenco. Rezultati referenčnih meritev so bili v celoti skladni z neprestanimi medprocesnimi meritvami industrijskega prototipnega sistema.

4.Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Stopnja realizacije zastavljenih ciljev je skladna z načrtom uresničevanja projekta. V začetni fazi izvajanja projekta smo uspešno razvili in zgradili prototipni sistem za laboratorijsko vrednotenje debeline obloge in geometrijskih lastnosti pelet. Sledila je izgradnja referenčne baze pelet s pripadajočimi kvantitativnimi podatki, ki je služila kot osnova za objektivno vrednotenje obstoječih metod za določanje geometrijskih lastnosti pelet ter debeline obloge. Na podlagi rezultatov vrednotenja smo razvili nove in učinkovitejše postopke za statistično vrednotenje debeline obloge pelet neposredno iz zajete slikovne informacije. Izvedli smo tudi študijo vrednotenja homogenosti ter elementarne sestave obloge in jedra pelet, ki je zaradi pomanjkanja učinkovitih ter splošnih postopkov vrednotenja še posebej zahtevna, lahko pa dodatno osvetli kemijske in fizikalne lastnosti pelet. Skladno z načrtom izvajanja projekta smo razvili tudi nove postopke za kvantitativno vrednotenje sestave in geometričnih lastnosti pelet. Razvite postopke smo validirali s pomočjo referenčnih podatkov zbranih v zbirki pelet.

Za določitev referenčnih podatkov smo uporabili različne referenčne metode, ki omogočajo natančno vrednotenje sestave in geometričnih lastnosti pelet. Po svoji naravi so uporabljene referenčne metode časovno potratne in destruktivne ter zato primerne zgolj za laboratorijsko vzorčno analizo pelet. Na podlagi zbranih referenčnih podatkov smo izvedli zanesljivo kalibracijo ter samovalidacijo multivariatnih postopkov spektralne analize pelet. Karakterizacijo in kalibracijo optičnega sistema smo izvedli z uporabo posebnih kalibracijskih objektov ter s tem zagotovili točnost ter ponovljivost meritev geometričnih lastnosti pelet. Uspešno smo izvedli posodobitev laboratorijskega sistema v prototipni industrijski sistem, ki je združljiv z industrijskimi oblagalniki pelet. Pri tem smo uporabili najsodobnejše CMOS kamere in razvili novi sodobni sistem osvetlitve, ki omogoča zajem kakovostne slikovne informacije tudi za hitro gibajoče se pelet. Temeljita validacija nadgrajenega prototipnega sistema na podlagi realnih oblagalnih procesov je pokazala visoko skladnost med neprestanimi meritvami prototipnega sistema in referenčnimi meritvami na vzorcih odvzetih tekom oblagalnega procesa. Dognanja in spoznanja na področju kalibracije in validacije hiper-spektralnih slikovnih sistemov ter učinkovitih osvetlitve, kakor tudi nove postopke analize geometričnih lastnosti pelet in debeline obloge na podlagi zajete slikovne informacije, smo objavili v uglednih SCI revijah z visokimi faktorji vpliva.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

Ni bilo bistvenih sprememb.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	8830804	Vir: COBISS.SI
Naslov	SLO	Spremljanje procesa oblaganja farmacevtskih pelet s postopki vizualnega pregledovanja	
	ANG	A study of a visual inspection technique for in-process monitoring of coating of pharmaceutical pellets	
	SLO	Sistematični pristop k razvoju procesno analitskih orodij za spremljanje in vrednotenje proizvodnega procesa v realnem času je izjemno pomemben korak pri zagotavljanju kakovosti v farmacevtski industriji. Namen te študije je bil ovrednotiti primernost vizualnega pregledovanja za procesno kontrolo oblaganja farmacevtskih pelet v Wursterjevi oblagalni komori. Za ta namen je bil zgrajen poseben laboratorijski sistem s strojnim vidom, ki posnema gibanje pelet v oblagalnem kotlu ter omogočal zajem slik pelet v realnem času. Debelina filmske obloge izračunana s pomočjo predlaganih postopkov za vrednotenje zajetih slik se je dobro ujemala z oceno debeline filmske obloge pridobljene z referenčnimi meritvami.	
	ANG	A systemic approach to development of process analytical technology (PAT) tools for monitoring the critical quality and performance attributes of the manufacturing process is of great importance in ensuring final product quality in the pharmaceutical industry. The aim of this study was to examine the possibilities for a visual inspection technique as a PAT tool for in-process and on-line monitoring of the coating process of pharmaceutical pellets. The in-process conditions of the Wurster coating system were studied and an experimental visual imaging system that mimics these conditions was set up. Image analysis methods were developed that allow the determination of pellets' coating thickness estimation from the images acquired during the coating process. The results of the proposed visual imaging method were evaluated through comparison with a reference	

			method and a good agreement of the coating thickness estimations by the two methods was found.
	Objavljeno v		Institute of Electrical and Electronics Engineers = IEEE; ICIT 2011; 2011; Str. 239-243; Avtorji / Authors: Oman Nika, Možina Miha, Tomaževič Dejan, Pernuš Franjo, Likar Boštjan
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
2.	COBISS ID	9507924	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Avtomatski postopek kalibracij hiper-spektralnih sistemov zgrajenih na podlagi spektrografa
		ANG	Automated model-based calibration of short-wavelength infrared (SWIR) imaging spectrographs
	Opis	SLO	Hiper-spektralnimi sistemi na podlagi spektrografa izstopajo po hitrem zajemu in dobrem razmerju med signalom in šumom zajetih slik. Po drugi strani pa so, zaradi neidealnosti uklonskega sistema, leč in ostalih optičnih gradnikov, zajete hiper-spektralne slike pogosto popačene v prostorski in spektralni smeri. Omenjena popačenja pomembno omejujejo točnost in natančnost analize zajetih slik, zato jih je potrebno odstraniti. V ta namen smo razvili nov postopek kalibracije, ki temelji na uporabi dve pasivnih kalibracijskih vzorcev, ki poskrbita za neodvisno karakterizacijo popačenj v prostorski in spektralni smeri. Rezultati validacije predlaganega postopka kažejo, da je nov kalibracijski pristop izjemno točen in natančen, ter hkrati primeren za uporabo v številnih standardnih slikovnih postavitvah.
		ANG	Among the variety of available hyperspectral imaging systems, the line-scan technique stands out for its short acquisition time and good signal-to-noise ratio. However, due to imperfections in the camera lens and, in particular, optical components of the imaging spectrograph, the acquired images are spatially and spectrally distorted, which can significantly degrade the accuracy of the subsequent hyperspectral image analysis. In this work, we propose and evaluate an automated method for correction of spatial and spectral distortions introduced by a line-scan hyperspectral imaging system operating in the short wavelength infrared (SWIR) spectral range from 1000 nm to 2500 nm. The proposed method is based on non-rigid registration of the distorted and reference images corresponding to two passive calibration objects. The results of the validation show that the proposed method is accurate, efficient, and applicable for calibration of line-scan hyperspectral imaging systems. Moreover, the design of the method and of the calibration objects allows integration with systems operating in diffuse reflectance or transmittance modes.
	Objavljeno v		Society for Applied Spectroscopy.; Applied spectroscopy; 2012; Vol. 66, no. 10; str. 1128-1135; Impact Factor: 1.942; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.269; A': 1; WoS: OA, XQ; Avtorji / Authors: Kosec Matjaž, Bürmen Miran, Tomaževič Dejan, Pernuš Franjo, Likar Boštjan
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	10837332	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Kalibracija in obnova slik linijskih hiper-spektralnih sistemov na podlagi dekonvolucije z valovno in prostorsko odvisno prenosno vunkcijo
		ANG	Push-broom hyperspectral image calibration and enhancement by 2D deconvolution with a variant response function estimate
		SLO	Razviti novi postopki za kalibracijo hiper-spektralnih sistemov in obnovo hiper-spektralnih slik na podlagi dekonvolucije bodo omogočilo zajem visoko kakovostnih slik z uporabo standardnih optičnih rešitev in InGaAs ter MgCdTe slikovnih tipal nizke ločljivost. S pomočjo razvitih postopkov bo

	Opis		mogoče hiperspektralne slikovne sisteme, ki izkoriščajo celotno bližnje infrardeče območje do 2500 nm, uporabiti v najsodobnejših sistemih za vizualno kontrolo kakovosti, ki bodo dodatno informacijo o lastnostih merjencev črpali iz izboljšane prostorske in valovne ločljivosti v celotnem bližnjem infrardečem delu spektra.
	ANG		The novel methods for calibration and deconvolution-based resolution and spatial coregistration enhancement of hyperspectral images provide the means to capture high fidelity near infrared hyperspectral images using cost-effective optics and low resolution InGaAs or HgCdTe sensor arrays. The novel calibration and hyperspectral image enhancement methods will enable the transfer of hyperspectral imaging technology that exploits the full near infrared spectral range up to 2500 nm, into state-of-the art industrial visual inspection systems, and create opportunities for new studies using the improved resolution in the extend spectral range.
	Objavljeno v		Optical Society of America; Optics express; 2014; Vol. 22, no. 22; str. 27655-27668; Impact Factor: 3.525; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.087; A': 1; WoS: SY; Avtorji / Authors: Jemec Jurij, Pernuš Franjo, Likar Boštjan, Bürmen Miran
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID		3650417 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Medprocesno vrednotenje prirastka obloge pelet na podlagi slikovne informacije
		ANG	In-line monitoring of pellet coating thickness growth by means of visual imaging
	Opis	SLO	Debeline obloge je najpomembnejša lastnost obloženih farmacevtskih pelet, saj neposredno vpliva na sproščanja in stabilnosti učinkovine. V tem prispevku podrobno preučimo možnosti uporabe slikovne informacije za neuničujoče neprestano vrednotenje prirastka debeline obloge pelet med postopkom oblaganja, ki je skladno s smernicami procesno analitičnih tehnologij (PAT). Slikovna informacija se med postopkom oblaganja zajema skozi prozorno okno Wurster oblagalnika ter obdela s postopki za hitro in natančno merjenje debeline obloge. Primerjva medprocesnih meritev debeline obloge z referenčno vzorčno metodo je pokazala, da lahko s predlaganim postopkom natančno in točno vrednotimo prirastek debeline obloge, z dodatno analizo časovnih sprememb porazdelitve velikosti obloženih pelet, pa tudi debelino obloge v odvisnosti od velikosti pelet. Na podlagi pridobljenih rezultatov lahko potrdimo, da predlagani postopek za medprocesno vrednotenje pelet izpolnjuje zahteve iz naslova PAT smernic.
		ANG	Coating thickness is the most important attribute of coated pharmaceutical pellets as it directly affects release profiles and stability of the drug. Quality control of the coating process of pharmaceutical pellets is thus of utmost importance for assuring the desired end product characteristics. A visual imaging technique is presented and examined as a process analytic technology (PAT) tool for noninvasive continuous in-line and real time monitoring of coating thickness of pharmaceutical pellets during the coating process. Images of pellets were acquired during the coating process through an observation window of a Wurster coating apparatus. Image analysis methods were developed for fast and accurate determination of pellets' coating thickness during a coating process. The accuracy of the results for pellet coating thickness growth obtained in real time was evaluated through comparison with an off-line reference method and a good agreement was found. Information about the inter-pellet coating uniformity was gained from further statistical analysis of the measured pellet size distributions. Accuracy and performance analysis of the proposed method showed that visual imaging is feasible as a PAT tool for in-line and real time monitoring of the coating process of pharmaceutical pellets.

Objavljeno v	Elsevier/North-Holland; International journal of pharmaceutics; 2014; Vol. 470, iss. 1-2; str. 8-14; Impact Factor: 3.785; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.722; A': 1; WoS: TU; Avtorji / Authors: Oman Kadunc Nika, Šibanc Rok, Dreu Rok, Likar Boštjan, Tomažević Dejan
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	9764692	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Karakterizacije sistemov osvetlitve za hiper-spektralno slikanje
		ANG	A method for characterizing illumination systems for hyperspectral imaging
	Opis	SLO	Natančno poznavanje in prilagajanje parametrov osvetlitve v sistemih za hiperspektralno slikanje je ključnega pomena za zajem kakovostnih slik. Kakovostno svetilo je še posebej pomembno kadar zajemamo slike vzorcev razgibanih površin, ki zahtevajo spektralno in svetlostno homogeno osvetlitev. Načrtovanje in izdelava takega svetila je zapleten postopek, pri katerem nujno potrebujemo orodje za natančno vrednotenje ključnih spektralnih in svetlostnih lastnosti osvetlitve. V ta namen smo razvili posebno testno okolje ter postopke za vsestransko karakterizacijo kompleksnih osvetlitvenih sistemov za hiper-spektralno slikanje. Metoda temelji na zajemu in kompleksni analizi dveh standardnih kalibracijskih scen, ki vključujeta popolnoma difuzno odbojno podlago ter enakomerno mrežo odbojnih kovinskih kroglic. Predlagana metoda omogoča vrednotenje ključnih parametrov osvetlitve, kot so spektralna in svetlostna homogenost ter kotna porazdelitev svetilnosti, ter pripadajočih prostorskih porazdelitev.
		ANG	Near-infrared hyperspectral imaging is becoming a popular tool in various fields. In all imaging systems, proper illumination is crucial for attaining optimal image quality that is needed for the best performance of image analysis algorithms. In hyperspectral imaging, the acquired spectral signature has to be representative in all parts of the imaged object. Therefore, the whole object must be equally well illuminated—without shadows or specular reflections. As there are no restrictions imposed on the material and geometry of the object, the desired illumination of the object can only be achieved with completely diffuse illumination. In order to minimize shadows and specular reflections, the light illuminating the object must be spatially, angularly and spectrally uniform. The quality of illumination systems for hyperspectral imaging can therefore be assessed using spatial-intensity, spatial-spectral, angular-intensity and angular-spectral non-uniformity measures that are presented in this paper. Emphasis is given to the angular-intensity and angular-spectral non-uniformity measures, which are the most important contributions of this paper. The measures were defined on images of two reference targets—a flat, white diffuse reflectance target and a sphere grid target—acquired with an acousto-optic tunable filter (AOTF) based hyperspectral imaging system. The proposed measures were tested on a ring light and on a diffuse dome illumination system.
	Šifra	F.02 Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Objavljeno v	Optical Society of America; Optics express; 2013; Vol. 21, no. 4; str. 4841-4853; Impact Factor: 3.525;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.087; A': 1; WoS: SY; Avtorji / Authors: Katrašnik Jaka, Pernuš Franjo, Likar Boštjan	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

2.	COBISS ID		9842516	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Radiometrična kalibracija in karakterizacija šumnih lastnosti hiperspektralnih sistemov na podlagi akustično optično nastavljivih filtrov	
		ANG	Radiometric calibration and noise estimation of acousto-optic tunable filter hyperspectral imaging systems	
	Opis	SLO	Natančno poznavanje radiometričnih lastnosti hiperspektralnih sistemov na podlagi akustično nastavljivih optičnih filtrov (AOTF) je ključno za kvantitativno analizo zajetih hiperspektralnih slik. V ta namen smo razvili nov radiometrični model AOTF hiperspektralnih sistemov, ki vključuje občutljivost tipala in prenosno funkcijo AOTF. Na podlagi predlaganega radiometričnega modela smo s premikanjem preprostega kalibracijskega objekta izmerili časovno neodvisni del šuma v zajetih hiperspektralnih slikah. Razvili smo tudi novi postopek za oceno časovno odvisne komponente šuma ter postopek, ki s pomočjo pridobljenih ocen šuma omogoča točno radiometrično kalibracijo slikovnega sistema. Predlagani postopek radiometrične kalibracije smo preizkusili na hiperspektralnih slikah zajetih z AOTF, kjer smo s kalibracijo dosegli 26 % izboljšanje razmerja signal-šum.	
		ANG	The accuracy of the radiometric response of acousto-optic tunable filter (AOTF) hyperspectral imaging systems is crucial for obtaining reliable measurements. It is therefore important to know the radiometric response and noise characteristics of the hyperspectral imaging system used. A radiometric model of an AOTF hyperspectral imaging system composed of an imaging sensor radiometric model (CCD, CMOS, and sCMOS) and an AOTF light transmission model is proposed. Using the radiometric model, a method for obtaining the fixed pattern noise (FPN) of the imaging system by displacing and imaging an illuminated reference target is developed. Methods for estimating the temporal noise of the imaging system, using the photon transfer method, and for correcting FPN are also presented. Noise estimation and image restoration methods were tested on an AOTF hyperspectral imaging system. The results indicate that the developed methods can accurately calculate temporal and FPN, and can effectively correct the acquired images. After correction, the signal-to-noise ratio of the acquired images was shown to increase by 26%.	
	Šifra		F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Objavljeno v		Optical Society of America; Applied optics; 2013; Vol. 52, no. 15; str. 3526-3537; Impact Factor: 1.649; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.087; WoS: SY; Avtorji / Authors: Katrašnik Jaka, Pernuš Franjo, Likar Boštjan	
	Tipologija		1.01	Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID		3650417	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Medprocesno vrednotenje prirastka obloge pelet na podlagi slikovne informacije	
		ANG	In-line monitoring of pellet coating thickness growth by means of visual imaging	
	Opis	SLO	Razvili smo industrijski prototip sistema za neprestalno medprocesno vrednotenje najpomembnejših lastnosti pelet kot so velikost in oblika ter debelina obloge. Sistem smo razvili na podlagi dognanj na področjih kalibracije in obnove kakovosti hiperspektralnih sistemov in slik ter novih metod za avtomatsko analizo zajete slikovne informacije. Rezultati obsežnega testiranja prototipnega sistema na oblagalnih procesih so pokazali visoko skladnost avtomatskih meritev z meritvami uveljavljenih referenčnih metod. Prototipni sistem bo služil kot osnova za razvoj in izdelavo sodobnih inovativnih kompleksnih merilnih sistemov in naprav,	

		primernih za načrtovanje, vodenje in izboljševanje farmacevtskih oblagalnih procesov skladno s PAT smernicami. Izdelava tovrstnih visokotehnoloških izdelkov z visoko dodano vrednostjo je edino zagotovilo za hitrejšo in višjo gospodarsko rast ter posledično ustvarjanje novih in kakovostnih delovnih mest.
	ANG	We have constructed an industrial prototype imaging system for real-time in-process measurement of the most prominent pellet properties, such as the size and shape of pellets and the coating thickness and uniformity, that effectively combines the novel methods for calibration and enhancement of hyperspectral images and the novel robust fully automated methods for real-time analysis of the enhanced images. Results of the extensive evaluation based on multiple coating processes showed that the prototype imaging system and the novel image processing methods developed during the project produce accurate measurements that match the results obtained by established off-line laboratory reference methods. The prototype system will provide a solid foundation for construction of innovative complex measurement systems and instruments, providing the means for efficiently designing, optimizing and controlling the production of pharmaceutical pellets and assessing the quality of pellets according to the PAT initiative. Development of such modern high-tech system with high value added, is essential for boosting the the economic growth, and generating new well-paid jobs.
Šifra	F.08	Razvoj in izdelava prototipa
Objavljeno v	Elsevier/North-Holland; International journal of pharmaceutics; 2014; Vol. 470, iss. 1-2; str. 8-14; Impact Factor: 3.785; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.722; A': 1; WoS: TU; Avtorji / Authors: Oman Kadunc Nika, Šibanc Rok, Dreu Rok, Likar Boštjan, Tomažević Dejan	
Tipologija	1.01	Izvirni znanstveni članek

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

--

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Projektna skupina je v času izvajanja projekta objavila številne znanstvene prispevkov v prvi četrtini SCI revij. Glede na visoke faktorje vpliva SCI revij pričakujemo, da bodo objavljeni članki odmevni in pogosto citirani. Odmevnost in kakovost objavljenih znanstvenih del sta še posebej pomembni za mednarodno razpoznavnost in ugled Univerze v Ljubljani, kakor tudi Republike Slovenije, ter s tem tudi dolgoročni razvoj tehniških in naravoslovnih znanosti na slovenskem. Skladno z naravo aplikativnih projektov pričakujemo, da bodo rezultati raziskav na področju medprocesnega vrednotenja glavnih lastnosti pelet, med katere sodijo velikost in oblika pelet ter prirastek in homogenost obloge, pospešili prenos znanja iz raziskovalne sfere v industrijsko okolje, ter vzpodbudili nove raziskave na področju uporabe hiperspektralnih tehnologij v proizvodnih procesih. Ker gre v primeru hiper-spektralnega slikanja za področje, ki si še utira pot v proizvodni procese farmacevtske industrije, je bilo tekom izvajanja projekta potrebno podrobneje raziskati in poiskati ustrezne rešitve za številne bazične probleme, ki se tičejo sistemske kalibracije, načrtovanja svetil in obnove kakovosti zajetih slik v smislu prostorske in spektralne ločljivosti. Dognanja so uporabna tudi na številnih drugih raziskovalnih področjih, kot je recimo oddaljeno zaznavanje, kjer so hiperspektralni sistemi že nekoliko bolj uveljavljeni. Številni rezultati in dognanja pridobljena tekom izvajanja aplikativnega projekta bodo pomembno vplivala na razvoj novih in izboljšave obstoječih postopkov na področju industrijskih aplikacij računalniškega vida, s katerimi je mogoče pomembno izboljšati

produktivnost proizvodnega procesa ter kakovost in varnost izdelkov. Na podlagi raziskav, ki obsegajo področja uporabe računalniškega vida v bližnjem infrardečem delu elektromagnetnega valovanja in povezovanje informacije zajete z več različnimi slikovnimi tehnikami, se pojavljajo številne priložnosti za razvoj novih tehnologij z veliko dodano vrednostjo. Le-te bodo omogočile učinkovito analiziranje, razvijanje in optimiziranje sodobnih proizvodnih procesov in tehnologij v farmacevtski industriji.

ANG

The results of the research activities conducted during the applied project were disseminated in top-ranking scientific journals with high impact factors. Consequently, this will increase the visibility and reputation of Slovenia and in particular of the University of Ljubljana, as well as impact the long term development of technical and natural sciences in Slovenia. With respect to the nature of the applied project, we expect that the novel methods for in-line assessment of the most prominent pellet properties, such as the size and shape of pellets and the coating thickness and uniformity, will accelerate the transfer of top scientific knowledge to industry and stimulate novel research on the use of hyperspectral imaging technologies in the pharmaceutical production processes. As hyperspectral imaging is currently in the process of slowly but surely finding its way from the laboratory towards the pharmaceutical production processes, the conducted project also involved a fair share of basic research in the field of calibration and enhancement of acquired images and design of efficient illumination sources that are applicable to other fields of research, such as remote sensing, where hyperspectral imaging is considered an established imaging modality. Many of the findings will significantly affect future studies in the field of quality control by computer vision and enable substantial improvements of the existing imaging systems. In particular, extension of computer vision from the visible to the invisible part of the electromagnetic spectrum and the integration of multiple imaging modalities and spectral regions was shown to offer almost unlimited possibilities for the development of new technologies with high value added. Such systems will enable analysis, development and optimization of modern manufacturing processes and technologies in the pharmaceutical industry.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Možnosti za uporabo rezultatov aplikativnega raziskovalnega projekta so številne. V splošnem bodo razviti postopki medprocesnega vrednotenja glavnih lastnosti pelet omogočali izvedbo sodobnih visokotehnoloških nadzornih sistemov in naprav za neprestano spremljanje, razumevanje, vodenje in izboljševanje procesov oblaganja pelet, kar se bo odražalo v višji kakovosti in varnosti izdelkov, večji produktivnosti ter okolju prijaznejši proizvodnji. Prvi korak v tej smeri je bil narejen z izgradnjo in nadgradnjo prototipnega sistema, ki omogoča neprestano vrednotenje naštetih lastnosti pelet tekom celotnega proizvodnega procesa. Izčrpno vrednotenje prototipnega sistema je pokazalo, da je predlagani sistem več kot odlična osnova za razvoj najsodobnejših naprav z visoko dodano vrednostjo, primernih za uporabo v industrijskih oblagalnih procesih. Poleg tega pričakujemo, da bodo razviti novi postopki za sočasno kalibracijo in obnovo kakovosti zajetih hiperspektralnih slik omogočili številne nove raziskave na dotičnem področju ter omogočili bistveno izboljšanje obstoječih sistemov s strojnim vidom. Omenjeni postopki so še posebej pomembni v industrijskih okoljih, kjer nam omogočajo ponovljiv zajem in pripravo visoko kakovostnih slik, ki so potrebne za hitro, natančno in zanesljivo avtomatsko analizo slik. Izvedeni projekt je tudi utrdil raziskovalno-razvojno ter inovacijsko sodelovanje med Univerzo v Ljubljani, Inštitutom Jožef Stefan in Tehnološkim parkom Ljubljana, v okviru katerega deluje sofinancer in soizvajalec Sensus, sistemi z računalniškim vidom d.o.o. Omenjena razvojno-tehnološka povezava je v preteklosti že pripeljala do razvoja številnih visokotehnoloških sistemov z računalniškim vidom, ki se vsakodnevno uporabljajo za kontrolo kakovosti tablet in kapsul v številnih farmacevtskih podjetjih po celem svetu (glej www.sensus.eu). Zato upravičeno pričakujemo, da bodo znanstveno spoznanja in tehnološke rešitve pridobljene tekom izvajanja projekta pripeljala do razvoja novih visokotehnoloških izdelkov z veliko dodano vrednostjo. Ocenjujemo, da je predlagani projekt dodatno utrdil in nadgradil sodelovanje med univerzitetno, znanstveno, tehnološko in podjetniško sfero ter tako pomembno pripomogel k neposrednemu prenosu

vrhunskega znanja v industrijsko okolje, kar je nujno potrebno za razvoj novih visokotehnoloških izdelkov z visoko dodano vrednostjo, hitrejšo in višjo gospodarsko rast ter posledično ustvarjanje novih kakovostnih delovnih mest.

ANG

The potentials of exploiting the results of the applied research project are numerous. The novel methods for real-time in-process assessment of the most prominent pellet properties will enable construction of modern high-tech control systems and instruments for simultaneous monitoring, understanding and optimization of pharmaceutical pellet coating processes, which will result in higher quality and safety of products, higher productivity and environment-friendly production. The prototype imaging system developed during the project presents a huge step towards efficient real-time in-process monitoring of the pharmaceutical coating processes. The results of the thorough evaluation based on multiple coating processes showed that the prototype imaging system and the novel image processing methods developed during the project, present a solid foundation for development of state-of-the-art systems suitable for application in full industrial scale coating processes. Besides, we expect that the novel methods for simultaneous calibration and resolution enhancement of hyperspectral images will promote addition research in the field. The image calibration and enhancement methods are of the utmost importance in industrial imaging systems, where high fidelity images are required for efficient and reliable real-time quantitative analysis of the acquired image. Moreover, the project has further strengthened the cooperation between the University of Ljubljana, Jožef Stefan Institute and Technology Park Ljubljana, in which the co-financing company Sensum, Computer Vision Systems resides. This scientific and technological cooperation has already led to the development of numerous high-tech computer vision products that are used for quality inspection and sorting of tablets and capsules in the pharmaceutical companies worldwide (see www.sensum.eu). The applied project further enhanced and extended the existing cooperation between the R&D institutions and enterprises and, thereby, significantly contributed to the transfer of top scientific knowledge to industry, which is essential for development of new high-tech products with high value added, accelerating the economic growth, and generating new well-paid jobs.

10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.04	Dvig tehnološke ravni	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen bo v naslednjih 3 letih
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☒ DA ☐ NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Uporabljen bo v naslednjih 3 letih
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☒ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

11.Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!**Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja**

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☒	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☒	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☒	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☐	☒	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☒	☐	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☒	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☒	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☒	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☒	☐	
G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☒	☐	☐	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☐	☒	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☐	☐	☒	☐	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	☒	☐	☐	☐	

G.02.12.	Drugo:		☐	☐	☐	☐	
G.03	Tehnološki razvoj						
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti		☐	☐	☐	☒	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti		☒	☐	☐	☐	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij		☐	☐	☐	☒	
G.03.04.	Drugo:		☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj						
G.04.01.	Dvig kvalitete življenja		☒	☐	☐	☐	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja		☒	☐	☐	☐	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave		☒	☐	☐	☐	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti		☒	☐	☐	☐	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe		☒	☐	☐	☐	
G.04.06.	Drugo:		☐	☐	☐	☐	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete		☒	☐	☐	☐	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj		☒	☐	☐	☐	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture						
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura		☒	☐	☐	☐	
G.07.02.	Prometna infrastruktura		☒	☐	☐	☐	
G.07.03.	Energetska infrastruktura		☒	☐	☐	☐	
G.07.04.	Drugo:		☐	☐	☐	☐	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva		☒	☐	☐	☐	
G.09.	Drugo:		☐	☐	☐	☐	

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

	Sofinancer		
1.	Naziv	Sensum, sistemi z računalniškim vidom d.o.o.	
	Naslov	Tehnološki park 21, 1000 Ljubljana	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		97.539 EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		27 %
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	Izdelava prototipnega industrijskega sistema.	
	2.	Sposobnost za četek razvoja novih najsodobnejših	
			F.08
			F.05

		visokotehnoloških industrijskih sistemov.	
	3.	Izboljšanje kakovosti zajetih hiperspektralnih slik s postopki radiometrične kalibracije.	F.10
	4.	Novi postopki za sočasno geometrično in valovno sistemsko kalibracijo in obnovo kakovosti hiperspektralnih slik.	F.10
	5.	Vzgoja novih visoko izobraženih kadrov.	F.03
	Komentar	Kot sofinancerji projekta L2-4072 potrjujemo, da je delo na projektu potekalo skladno s programom dela. V letu 2012 smo v naši raziskovalni organizaciji zasnovali nov prototipni sistem, ki smo ga v letu 2013 realizirali in opravili prva testiranja v laboratorijskem okolju na Fakulteti za farmacijo Univerze v Ljubljani ter na ta način pridobili prve objektivne ocene o delovanju sistema v delno kontroliranem okolju. V letu 2013 smo v naši raziskovalni organizaciji, na podlagi testiranja laboratorijskega sistema, ki smo ga razvili tekom leta 2012, zasnovali in razvili prototip industrijskega sistema, ki je namenjen za spremljanje tako laboratorijskih kot tudi industrijskih oblagalnih procesov. Sistem je združljiv s procesno opremo, ki se uporablja v industrijskih oblagalnih procesih, in omogoča neprestano merjenje vseh pomembnih lastnosti pelet vključno z obliko delcev in debelino obloge. V prvi polovici leta 2014 smo preizkusili in ovrednotili delovanje novega prototipnega sistema na oblagalnih sistemih, ki so na razpolago na Fakulteti za farmacijo Univerze v Ljubljani. Rezultati meritev so v celoti izpolnili ali celo presegli pričakovanja.	
	Ocena	Ocenjujemo, da nam bo ta uspešno izveden projekt omogočil lažji in hitrejši razvoj visokotehnoloških sistemov za spremljanje in vodenje oblagalnih procesov, ki jih trenutno še ne poseduje nobeno konkurenčno podjetje. Na ta način se bo naše podjetje, ki želi postati vodilni svetovni proizvajalec naprav za kontrolo kakovosti farmacevtskih izdelkov, lažje in uspešneje uveljavilo na zahtevnem svetovnem tržišču. Velja izpostaviti tudi številne posredne učinke izvajanja projekta, ki se kažejo v vzgoji novih visoko izobraženih kadrov, in uspešnem prenosu znanja iz akademskega v industrijsko okolje, kar bo prav gotovo pozitivno vplivalo na razvoj podjetništva v Sloveniji. Tesno sodelovanje omenjenih sfer je ključnega pomena za razvoj novih visokotehnoloških izdelkov z visoko dodano vrednostjo.	

13. Izjemni dosežek v letu 2014¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
elektrotehniko

Boštjan Likar

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

13.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/133

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Rubrike izpolnite / prepišite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a

E2-B4-F8-4D-41-07-09-0D-1A-CF-3B-F6-FA-F7-48-7E-55-62-B6-D4