

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2013/216



## ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

## A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

## 1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

|  |  |
|--|--|
| <b>Šifra projekta</b>                          | J4-2053  |
| <b>Naslov projekta</b>                         | Raziskave priprave in predelave hrane z metodami magnetno rezonačnega slikanja in spektroskopije         |
| <b>Vodja projekta</b>                          | 12056 Igor Serša   |
| <b>Tip projekta</b>                            | J Temeljni projekt   |
| <b>Obseg raziskovalnih ur</b>                  | 4172   |
| <b>Cenovni razred</b>                          | C  |
| <b>Trajanje projekta</b>                       | 05.2009 - 04.2012  |
| <b>Nosilna raziskovalna organizacija</b>       | 106 Institut "Jožef Stefan"  |
| <b>Raziskovalne organizacije - soizvajalke</b> | 1554 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko   |
| <b>Raziskovalno področje po šifrantu ARRS</b>  | 4 BIOTEHNIKA<br>4.03 Rastlinska produkcija in predelava<br>4.03.07 Tehnologija živil rastlinskega izvora |
| <b>Družbeno-ekonomski cilj</b>                 | 06. Industrijska proizvodnja in tehnologija  |

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS<sup>1</sup>

|                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| <b>Šifra</b>      | 2.09                             |
| <b>- Veda</b>     | 2 Tehniške in tehnološke vede    |
| <b>- Področje</b> | 2.09 Industrijska biotehnologija |

## B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek raziskovalnega projekta<sup>2</sup>

SLO

Pri spremljanju kvalitete hrane, procesov predpriprave in priprave in optimizaciji proizvodnih procesov imata lahko slikanje z magnetno resonanco (MRI) in magnetno rezonančna spektroskopija (MRS) pomembno vlogo. V okviru tega projekta smo razvili nekaj aplikacij, kjer s tema metodama spremljamo spremembe v postopku priprave, predelave ali skladiščenja

hrane. V projektu smo najprej razvili in nato preverili različne NMR metode za raziskave hrane. Poleg tega smo v okviru projekta tudi poskusili navezati stike z industrijskimi partnerji. Predstavili smo jim možnosti naših raziskav ter poskusili pridobiti zanimanje z njihove strani. V projektu smo se lotili naslednjih problemov: transformacija škroba v gel pri postopku kuhanja, vzhajanje in peka kvašenega testa, spremljanje poteka zmrzovanja in odtajevanja živil, nadzor kvalitete vakuumskega pakiranja ter spremljanje sušenja mesnih izdelkov. Spremljanje transformacije škroba v gel je pomembno pri razvoju instantnih prehrabnih proizvodov. Pri opazovanju vzhajanja in peke testa smo opazovali učinek kvašenja, časa vzhajanja in časa peke. Pravilen in hiter potek zmrzovanja in odtajanja živil je pomemben pri zagotavljanju njihove nepokvarljivosti in učinkovitosti postopka zmrzovanja. Razvili smo metodo nadzora kakovosti vakuumskega pakiranja, ki omogoča odkriti potencialno nevarno oziroma neustrezno embalažo. Z nadzorom sušenja mesnih izdelkov smo poskušali določiti pogoje, pri katerih poteka sušenje optimalno. Vse navedene proučevane probleme smo obravnavali s pomočjo različnih metod MR slikanja: slikanjem protonske gostote, T1 in T2 obteženim slikanjem s spinskim odmevom, visoko ločljivim 3D slikanjem s spinskim odmevom, dinamičnim T2 obteženim slikanjem z metodo RARE, difuzijsko obteženim slikanjem (DWI), metodami slikanja vzorcev s kratkimi relaksacijskimi časi (SPI, SPRITE). Za potrebe je bilo potrebno razviti tudi sistem za temperaturno regulirane poskuse. Ta je bil nujen za vse poskuse, kjer je bilo potrebno opraviti MR slikanje pri temperaturah, drugačnih od sobne temperature. To je pri poskusih peke oziroma kuhanja, kakor tudi pri zmrzovanju hrane. V vseh opravljenih poskusih se je MR slikanje izkazalo zaradi svoje neinvazivnosti ter visoke občutljivosti na spremembe koncentracije oziroma gibljivosti vodnih molekul. Menimo, da so opravljene raziskave pripomogle k boljšemu razumevanju procesov priprave in predelave živil ter imajo tako potencial, da bodo lahko pripomogle k varnejši in kvalitetnejši hrani ter bolj ekonomičnim proizvodnim procesom.

ANG

In food quality monitoring, food preparation and food processing magnetic resonance imaging (MRI) and magnetic resonance spectroscopy (MRS) play an important role. In this project, we have developed some applications where these methods were used to monitor changes in the process of preparing, processing or storage of food. A variety of NMR methods were first developed for the project needs and then tested to study food. In addition, during the project we also tried to establish contacts with industrial partners. We presented them the potential of our research and tried to gain their interest. The project encompassed the following problems related to food science: transformation of starch into gel during the cooking process, fermentation and baking of yeasted dough, monitoring of freezing and thawing of foods, monitoring of vacuum packaging quality, and monitoring the drying of meat products. Monitoring the transformation of starch to gel is important in the development of instant food products. Effect of different dough ingredients, time of fermentation and of baking was studied in baking of yeasted dough. Proper food freezing or thawing dynamic is important for ensuring good food quality and its preservation. We have developed a method of quality control of vacuum-packing, allowing detection of potentially dangerous or improper packaging. By controlling the drying of meat products, we try to determine the conditions in which there is an optimal drying. All these problems were studied using different MR imaging methods: proton density imaging, T1- and T2-weighted spin-echo imaging, high resolution 3D imaging using spin-echo, T2-weighted dynamic imaging using the RARE method, diffusion-weighted imaging (DWI), and methods for imaging of samples with short relaxation times (SPI, SPRITE). For some of the studies, it was necessary to develop a system for temperature-regulated experiments. This was inevitable for all the experiments that were performed at temperatures different than the room temperature, i.e., for baking and cooking, as well as for freezing of food. In all experiments performed for the project, MRI excelled with its harmlessness and high sensitivity to changes in the concentration and mobility of water molecules. We believe that the performed studies contributed to a better understanding of food preparation and processing and may thus have a potential to contribute to a safer and better quality food as well as to its more economical production.

#### 4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu<sup>3</sup>

Projekt je bil zastavljen kot sklop šestih raziskovalnih področij, kjer lahko slikanje z magnetno resonanco oziroma magnetno resonančna spektroskopija pomembno pomagata k razumevanju problemov procesov priprave in predelave hrane. Ti sklopi so naslednji: instantiranje hrane, vzhajanje in peka kvašenega testa, zmrzovanje in odtajevanje živil, vakuumsko pakirana hrana, sušenje mesnih izdelkov, določanje prostorske porazdelitve soli v solno konzerviranih izdelkih. Opravljeno delo oziroma realizacija projekta po sklopih je naslednja:

**Instantiranje hrane:**

Instantiranje hrane smo z metodami magnetne resonance proučevali v začetni fazi projekta na primeru instantiranja koruznega zdroba in riža. V teh raziskavah smo pokazali, da lahko z merjenjem sprememb relaksacijskega časa T2 in difuzijske konstante med procesom kuhanja pokažemo izrazite razlike med navadnimi in instantiranimi vzorci. Z uporabo hitre 3D RARE metode slikanja smo lahko opazovali prodiranje vode v zrna riža. Izdelan pa je bil tudi ustrezen matematični model, ki je opisal proces prodiranja vode v riževo zrno. Iz teh študij sta v sodelovanju s partnerji iz Nizozemske nastala dva znanstvena članka, ki sta navedena med znanstvenimi dosežki na 2. in 4. mestu. V nadaljevanju projekta smo se osredotočili na študij pretvorbe škroba v gel pri kuhanju živil. Z dinamičnim MR slikanjem z uporabo 3D RARE in 3D SPI metode smo spremljali namakanje in kuhanje fižola. RARE je hitra metoda slikanja, njena slabost pa je, da lahko z njo slikamo samo vzorce, ki imajo dolg T2 relaksacijski čas. Pri SPI metodi je bil čas slikanja daljši, vendar nam ta metoda omogoča slikanje vzorcev s kratkim T2 časom. S pomočjo termoregulirane sonde smo lahko dinamično slikali fižolovo zrno z magnetno resonanco med namakanjem in kuhanjem. Temperaturno stabilizacijo v sondi smo dosegli z dovajanjem vročega zraka točno določene temperature. Prvih 12 ur smo spremljali prodiranje vode in nabrekanje fižola pri sobni temperaturi. Tako smo dobili serijo slik ob različnih časih, iz katerih je bilo moč analizirati dinamiko prodiranja vode v zrno ter spremembe med kuhanjem. Iz meritev smo lahko določili spremembo velikosti fižolovega zrna med namakanjem ter mesta, kjer voda prodre v zrno. Ugotovili smo, da voda najprej prodre v zrno skozi hilum in mikropilo ter zapolni prostor med obema kličnima listoma. Kasneje voda iz vmesnega prostora in skozi kožo prodira v klična lista. Iz poskusov sledenja kuhanja fižola z MRI smo napisali znanstveni članek, ki pa je še v postopku objave.

**Vzhajanje in peka kvašenega testa:**

Spremljali smo vzhajanje in peko kvašenega testa s pomočjo magnetno resonančnega slikanja. Vzorci so bili pripravljene iz različnih mok (belo, mešano, polnozrnat) z dodatki za peko kruha v avtomatih. Po navodilih proizvajalca mok smo z dodatkom vode pripravili testo, ki smo ga oblikovali v majhne kroglice z maso približno 4g. Te smo nato vstavili v naš sistem za peko in MR slikanje, ki je bil sestavljen iz posebne termoregulirane magnetno resonančne sonde, razvite za potrebe tega projekta. S pomočjo te sonde smo lahko dinamično slikali živila z magnetno resonanco med njihovo peko. Temperaturno stabilizacijo v sondi smo dosegli z dovajanjem vročega zraka točno določene temperature. Zrak je lahko dosegel temperaturo do 200 °C, kar je bilo dovolj za uspešno peko vzorcev. Kroglice testa smo prvi dve uri prepihavali z zrakom temperature 33 °C, tako da je v tem času lahko testo učinkovito vzhajalo. Temu pa je sledila 40 minutna peka testa pri temperaturi 200 °C. Ves čas poskusa (vzhajanja in peke) smo testo slikali s 3D visoko ločljivim magnetno resonančnim slikanjem. Na ta način smo za vsak vzorec dobili serijo slik, iz katerih je bilo moč analizirati dinamiko nastajanja por (zračnih žepov) v kvašenem testu pri vzhajanju. Analizirali smo tudi velikostno porazdelitev por. Pri peki testa pa smo lahko spremljali dinamiko nastajanja skorje kruha. Izvedena je bila tudi primerjalna analiza različnih vrst mok. Iz rezultatov teh poskusov je bila objavljena znanstvena publikacija v reviji Magnetic Resonance Imaging.

**Zmrzovanje in odtajevanje živil:**

Opisani sistem za peko in MR slikanje omogoča tudi dinamično spremljanje zmrzovanja in odtajevanja hrane. Zmrzovanje dosežemo tako, da z grelcem, potopljenim v tekoči dušik, dosežemo izparevanje tekočega dušika s temperaturo -196 °C. Tega nato z drugim grelcem dogrevamo do želene temperature in vodimo v sondo za slikanje. S tem sistemom smo proučevali strukturne spremembe živil pri zmrzovanju in ponovnem odtajanju. Vzorce živil velikosti nekaj kubičnih centimetrov smo postopno zmrznili na -20 °C in jih nato odtajali. Proces zmrzovanja in ponovnega odtajanja živila smo dinamično sledili s hitro metodo 2D slikanja z magnetno resonanco. Zmrzovanje živila je potekalo od zunanjih plasti navznoter, kar se je dalo določiti z magnetno resonančnimi slikami. Z metodo magnetne resonance lahko namreč zelo dobro ločimo med zmrznjenim in nezmrznjenim delom živila; iz zmrznjenega področja ne dobimo nobenega signala, medtem ko je signal iz nezmrznjenega področja visok. Tako smo lahko spremljali dinamiko zmrzovanja živil. Struktura odtajanega živila, predvsem zelenjave, se je bistveno razlikovala od strukture svežega živila. Pred zamrznitvijo je imelo živilo heterogeno strukturo, pri počasnem zmrzovanju pa so kristali zmrznjene celične in medcelične vode poškodovali notranjo strukturo tkiva, zaradi česar je bila ta po odtajanju precej bolj homogena. Molekule vode znotraj tkiva po odtajanju so bile zaradi poškodbe notranje strukture bolj gibljive, kar se je dobro videlo iz primerjave difuzijskih map, dobljenih z difuzijsko obteženim magnetno resonančnim slikanjem. Manjše spremembe strukture živila nastanejo pri hitri zamrznitvi živila na nizko temperaturo. To smo dosegli s potapljanjem živil v tekoči dušik. Zaradi nizke temperature tekočega dušika so vzorci hitro ohlajene hrane razpadli na več večjih kosov, notranja struktura teh kosov pa je bila po odtajanju bolj heterogena kot struktura počasno zmrznjene hrane. Vpliv načina ohlajanja na spremembo notranje strukture hrane smo

preverili tudi s klasično optično mikroskopijo tankih plasti različno zmrznjenih vzorcev hrane. V tkivu počasno zmrznjene hrane so se pojavile več sto  $\mu\text{m}$  velike razpoke, medtem ko so bile razpoke v tkivu hitro zmrznjene hrane precej manj številčne in manjše (tipično okrog velikosti rastlinske celice). Z omenjeno metodo smo proučevali različna živila, kot so sadje, zelenjava, meso, testo ... Ti poskusi so bili predstavljeni na mednarodni konferenci Magnetic Resonance in Food Science, kakor tudi na domači konferenci »7. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah«, iz njih pa je bil objavljen tudi znanstveni članek v posebni izdaji Royal Society of Chemistry. Ti poskusi so tudi predmet nastajajočega diplomskega dela, ki vključuje tudi matematični model zmrzovanja vzorcev hrane različnih oblik.

Vakuumsko pakirana hrana:

Vakuumsko pakiranje hrane je pogosta oblika konzerviranja živil. Pomanjkljivost te metode pa je, da moramo v celoti zaupati nepropustnosti folije, v katero je zapakirano živilo, in tesnosti zvarov folije. V tej študiji smo s pomočjo moderne metode oksimetrije s pomočjo elektronske paramagnetne resonance (EPR) želeli preveriti, kako zanesljiva je tovrstna embalaža. Iz različnih folij za vakuumsko pakiranje živil, ki so namenjene domači in industrijski uporabi, smo izdelali manjše vrečke dimenzije približno  $5 \times 5 \text{ cm}$ , v katere smo vstavili litijev ftalo cianid. To je snov, katere širina EPR spektralne črte je močno odvisna od koncentracije kisika, v kateri se ta snov nahaja. Vrečke smo nato prepihali z čistim dušikom in tudi v dušikovi atmosferi zavariili s pomočjo aparata za varjenje vakuumske embalaže. Temu je sledilo redno spremljanje koncentracije kisika s pomočjo EPR v obdobju do dveh mesecev po pripravi vzorcev folij. V nasprotju s pričakovanji smo opazili, da so med folijami precejšnje razlike glede prepustnosti kisika in da je bila pri nekaterih folijah že po nekaj dneh dosežena praktično atmosferska koncentracija kisika, kar je precej sporno za varno pakiranje živil. Izsledke te študije nameravamo predstaviti v kateri od revij, namenjene potrošnikom, saj so bile v raziskavo vključene različne folije, ki jih je možno dobiti na našem tržišču, njihove razlike v kvaliteti pa so se izkazale za precejšnje.

Sušenje mesnih izdelkov:

Izvedena je bila MRI študija sušenja mesnih izdelkov. Pri sušenju ima pomembno vlogo temperatura in vlaga v prostoru. Prehitro sušenje namreč lahko privede do nastanka trde skorje, ki preprečuje nadaljnje sušenje sredice. Neprimerna izbira temperature in vlažnosti sušenja lahko tudi vodi do razvoja patogenih bakterij, na primer zlatega stafilokoka (*Staphylococcus aureus*). V namen proučevanja sušenja mesnih izdelkov smo izdelali tri komore, v katerih smo vzdrževali stalne temperature  $12 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  in  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ . V vsako od komor smo namestili tri eksikatorske posode, v katerih smo s pomočjo uporabe izbranih soli nameščenih v dna posod vzdrževali tudi stalno vlažnost  $0\%$ ,  $34\%$  in  $76\%$ . V vsako od posod smo vstavili po en vzorec sveže salame, ki smo jo nato dva meseca sušili. Postopek sušenja salam smo nato spremljali s pomočjo slikanja z magnetno resonanco v rednih tedenskih intervalih, in sicer s T1 in T2 obteženim MR slikanjem. Hkrati z MR slikanjem smo vzorce pred vsakim slikanjem tudi tehtali in tako določali delež vode v sušenih salamah. Iz meritev smo lahko analizirali dinamiko sušenja salam za različne pogoje sušenja. Preverili smo lahko tudi, v katerih pogojih sušenja se je pojavila trda skorja in kdaj je sušenje potekalo enakomerno. Iz opravljenih meritev je v pripravi znanstveni članek.

Določanje prostorske porazdelitve soli v solno konzerviranih izdelkih:

V smeri raziskav porazdelitve soli v solno konzerviranih izdelkih smo večkrat neuspešno poskusili narediti sondo za MR slikanje natrija. Izkazalo se je, da je izdelava te sonde dosti bolj zahtevna kot smo predvidevali, za njen nakup pa nismo imeli na razpolago dovolj sredstev. Tako smo obstali pri prototipu natrijeve sonde, katere občutljivost je bila premajhna, da bi z njo lahko slikali realne vzorce. Poleg tega se je izkazalo, da je problem tudi v tem, da bi naša sonda morala biti precej velika. Izgradnja velikih RF sond je namreč še precej zahtevnejša od izgradnje manjših, saj tehnologija uporabe običajne solenoidalne tuljave odpove in je potrebno za ta namen uporabiti RF resonatorje.

Poleg navedenih sklopov projekta je bilo v okviru projekta potrebno pripraviti tudi raziskovalno opremo, ki je služila več sklopom projekta. To je bila predvsem naprava za termoregulirano slikanje z magnetno resonanco. Naprava je sestavljena iz temperaturne nadzorne enote, grelca, temperaturnega senzorja, kakor tudi iz zračnega kompresorja, ki je zagotavljal stalen pretok zraka skozi sondo. Na izdelavo naprave je bila vezana tudi diplomska naloga, v kateri je študent analiziral temperaturno območje, stabilnost in dinamiko termoregulacijske enote.

V prvih letih izvajanja projekta smo poskusili tudi vzpostaviti smo stik z industrijo prehrabnih izdelkov, točneje z Drogo-Kolinsko. Strokovnjakom v Droginem razvoju smo predstavili našo dejavnost v okviru tega raziskovalnega projekta in tudi siceršnje aktivnosti in zmogljivosti našega laboratorija za slikanje z magnetno resonanco. Partnerji iz Droge pa so nam predstavili

njihove razvojne probleme. Dogovorili smo se tudi že za konkretne meritve z magnetno resonanco, s katerimi bi jim pomagali razrešiti nekatere probleme v proizvodnji hrane. Vendar pa je v nadaljevanju projekta to sodelovanje zamrlo zaradi prodaje Droge-Kolinske tujemu lastniku. Zaradi dolgotrajnega postopka izdelave in testiranja naprave za termoregulirano slikanje z magnetno resonanco, ki smo jo nujno potrebovali za izvajanje projekta, smo potrebovali več časa, da smo izvedli željene meritve. Zaradi tega je prišlo tudi do nekaterih zakasnitev pri objavah znanstvenih člankov.

#### 5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev<sup>4</sup>

Stopnja realizacije po posameznih sklopih projekta je različna. Po naši oceni je bil najbolj popolno proučevan sklop projekta »Vzhajanje in peka kvašenega testa«. Ta del vključuje številne meritve, zahtevno obdelavo posnetih slik, iz katerih je bila ocenjena dinamika vzhajanja testa, velikost nastalih por (velikostna porazdelitev in povprečna velikost) ter dinamika nastajanja zapečene skorje in sredice pri peki. Vse to je bilo narejeno za različne zmesi pripravljene za peko kruha v kruhomatih. Omenjene meritve so bile predstavljene na mednarodni konferenci in iz njih je objavljen tudi znanstveni članek v ugledni reviji. Objavljeni članek je bil že ustrezno opažen v mednarodni javnosti, kar dokazujejo že tudi prvi citati. Do podobne mere je bil obdelan tudi projektni sklop »Zmrzovanje in odtajevanje živil«. Pri tem smo prišli do zanimivih ugotovitev v zvezi z razlikami med hitrim in počasnim zmrzovanjem. Pri nekaterih živilih (malina) pa smo pri zmrzovanju opazili celo pojav podhlajene tekočine, kar je bilo veliko presenečenje. Rezultati tega sklopa so ravno tako bili predstavljeni na mednarodni konferenci, iz njih je bil objavljen znanstveni članek, prav tako pa je v pripravi je še eno diplomsko delo. V sklopih »Instantiranje hrane« in »Sušenje mesnih izdelkov« smo opravili vse potrebne meritve in jih analizirali, nista pa trenutno še v celoti podkrepjena z ustreznimi mednarodnimi objavami. V sklopu »Instantiranje hrane« imamo objavljena dva članka v soavtorstvu s tujimi partnerji, v postopku objave pa je še članek na temo spremljanja namakanja in kuhanja fižola (Noninvasive detection of water distribution during soaking and cooking in common bean by high-resolution MRI). Sklop »Vakuumsko pakirana hrana« je obrodil zanimive rezultate predvsem s praktičnega vidika, saj smo v njem pokazali presenetljivo velike razlike med kvaliteto različnih folij za vakuumsko varjenje hrane. Te rezultate zato nameravamo poslati v ustrezno potrošniško revijo, saj mislimo, da v njih v sedanji obliki ni ustrezne znanstvene vsebine, da bi jih lahko objavili tudi v kateri znanstveni reviji. Smo pa pri tem sklopu uporabili zelo inventiven način merjenja količine kisika v embalaži, ki je temeljil na oksimetriji na osnovi elektronske paramagnetne resonance. Zadnji od sklopov »Določanje prostorske porazdelitve soli v solno konzerviranih izdelkih« pričakovanih rezultatov ni obrodil, saj se je za ta sklop potrebna izdelava RF sonde za detekcijo NMR signala natrija izkazala prezahtevna. Uspeli smo narediti le preprost prototip natrijev RF sonde, ki je bil premalo občutljiv in tudi ni dopuščal slikanja dovolj velikih vzorcev. Za nakup ustrezne natrijeve sonde pa tudi ni bilo dovolj denarja. Premalo uspešni smo bili tudi pri navezovanju stikov s partnerji iz gospodarstva. Obetajoči stiki Drogo-Kolinsko niso obrodili sadov zaradi prodaje tega podjetja tujemu lastniku.

#### 6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine<sup>5</sup>

Menimo, da je prišlo večjega odstopanja projekta od načrtanega programa pri sklopu »Določanje prostorske porazdelitve soli v solno konzerviranih izdelkih«. Pogoji za izvedbo tega sklopa je bila izdelava oziroma nabava NMR sonde za detekcijo natrijevega signala. Nabava te sonde zaradi visoke cene in nastale krizne ekonomske situacije ni bila možna, njena izdelava pa se je izkazala za prezahtevno in bi nam vzela gotovo vsaj pol leta raziskovalnega časa. Izid tega dela pa bi bil negotov. Zaradi navedenih razlogov smo se morali temu sklopu začasno odpovedati. Ob ponovnem izboljšanju finančnih razmer oziroma pridobitvi natrijeve sonde za MR slikanje se bomo lahko lotili tudi tega sklopa projekta, kot je bilo prvotno zamišljeno.

#### 7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine<sup>6</sup>

| Znanstveni dosežek |           |          |   |
|--------------------|-----------|----------|---|
| 1.                 | COBISS ID | 24389671 | Vir: COBISS.SI  |
|                    | Naslov    | SLO      | Spremljanje fermentacije testa in peka kruha z magnetno resonančno mikroskopijo |

|              |   |          |  |
|--------------|---|----------|--|
|              |   | ANG      | Continuous monitoring of dough fermentation and bread baking by magnetic resonance microscopy  |
| Opis         |   | SLO      | Kot rezultat študije spremljanja vzhajanja testa in peke kruha z magnetno resonanco smo objavili znanstveni članek, v katerem smo predstavili dinamiko nastajanja zračnih žepov in s tem povezano dinamiko volumna testa med vzhajanjem ter dinamiko nastajanja skorje med peko. Študijo smo izvedli za štiri različne vrste moke z dodatki za peko kruha v avtomatih, magnetnoresonančne slike pa so bile analizirane s pomočjo zapletenejših metod matematične morfologije.  |
|              |   | ANG      | As a result of the MRI study of dough fermentation and bread baking we have published an original research article, in which we presented dough pore dynamics and dough volume dynamics during fermentation as well as dynamics of bread crust formation during bread baking. Dough samples were prepared from four different wheat flour types, while MR images were analyzed using complex mathematical morphology routines.   |
| Objavljeno v | Pergamon Press; Magnetic resonance imaging; 2011; Vol. 29, issue 3; str. 434-442; Impact Factor: 1.991; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.128; Avtorji / Authors: Bajd Franci, Serša Igor  |          |  |
| Tipologija   | 1.01 Izvirni znanstveni članek  |          |  |
| 2.           | COBISS ID   | 2157412  | Vir: COBISS.SI   |
| Naslov       |   | SLO      | Vpliv mikrostrukture riževega zrna na njegove lastnosti kuhanja  |
|              |   | ANG      | The effect of rice kernel microstructure on cooking behaviour  |
| Opis         |   | SLO      | V sodelovanju z raziskovalci na Nizozemskem (Univerza Delft, Univerza Wageningen, industrija - Unilever) je bila razvita metoda optimizacije parametrov hitrega 3D slikanja za spremljanje procesov v bioloških sistemih za potrebe prehranske industrije. Metoda je bila uporabljena za spremljanje in analizo kuhanja različnih tipov riža.  |
|              |   | ANG      | In collaboration with researchers in the Netherlands (University of Delft, Wageningen University, the industry - Unilever) a method of optimizing the parameters of rapid 3D imaging has been developed. The method was used to monitor processes in biological systems for the food industry. Specifically, it was used to monitor and analyze various types of rice in cooking.  |
| Objavljeno v | Applied Science Publishers; Food chemistry; 2009; Vol. 115; str. 1491-1499; Impact Factor: 3.146; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.209; A': 1; Avtorji / Authors: Mohorič Aleš, Vergeldt Frank, Gerkema Edo, van Dalen Gerard, van den Doel L. R., van Vliet Lucas J, Van As Henk, van Duynhoven John |          |  |
| Tipologija   | 1.01 Izvirni znanstveni članek  |          |  |
| 3.           | COBISS ID   | 24919079 | Vir: COBISS.SI   |
| Naslov       |   | SLO      | Vpliv zamrzovanja in odtajevanja na kvaliteto živil  |
|              |   | ANG      | MR microscopy of food freezing and thawing   |
| Opis         |   | SLO      | Z dinamičnim 3D magnetnoresonančnim slikanjem smo spremljali proces zmrzovanja in odtajevanja različnih živil. Ugotovili smo, da se struktura živila med zmrzovanjem spremeni, saj nastali kristalčki ledu, ki nastanejo med zmrzovanjem, uničijo celične stene. Študirali smo tudi razliko med hitrim in počasnim zmrzovanjem živil. Rezultati kažejo, da na spremembe strukture zmrznjene hrane vpliva postopek zmrzovanja. Pokazali smo, da je MRI zelo učinkovita metoda za opazovanje sprememb živila med zmrzovanjem in taljenjem in zato uporabna za določitev optimalnih pogojev zmrzovanja. |
|              |   |          | Freezing and thawing processes of different food products were followed by dynamical 3D magnetic-resonance imaging. Changes in the food structure  |

|    |              |         |   |
|----|--------------|---------|---|
|    |              |         | during freezing were observed. They were attributed to formation of ice crystals that break the cells walls. The difference between fast and slow freezing was studied as well. The results show that resulting structural changes depend on freezing parameters. It was shown that MRI is capable to follow the freezing and thawing processes and therefore to determine the optimal freezing and thawing conditions to preserve food quality.  |
|    | Objavljeno v |         | Royal Society of Chemistry; Magnetic resonance in food science; 2011; Str. 190-197; Avtorji / Authors: Serša Igor, Bajd Franci, Sepe Ana  |
|    | Tipologija   |         | 1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci  |
| 4. | COBISS ID    | 2175844 | Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov       | SLO     | Matematično modeliranje 3D difuzijskega prodiranja vode v nehomogen nabrekajoč substrat   |
|    |              | ANG     | Mathematical modeling of water uptake through diffusion in 3D inhomogeneous swelling substrate  |
|    | Opis         | SLO     | Med kuhanjem živil se spreminja njihova molekularna struktura, saj prihaja do transporta substrata in vode. Teh procesov ne moramo opisati z enostavno difuzijo ali imbibicijo, njihovo poznavanje pa je zelo pomembno pri razumevanju vpliva predpriprave in priprave jedi, časa kuhanja ter strukture in užitnosti jedi. Projektna skupina je sodelovala z raziskovalci na Nizozemskem (Univerza Delft, Univerza Wageningen, industrija - Unilever) pri izdelavi kompleksnega difuzijskega modela hidratizacije poroznega škroba.   |
|    |              | ANG     | During the cooking food is changing its molecular structure due to transport of substrate and water. These processes cannot be described with a simple diffusion or imbibition, however, their understanding is very important to understand the impact of food preparation and precooking, the cooking time and the structure and edibility of dishes. The project group has collaborated with researchers in the Netherlands (Delft University, University of Wageningen, the industry - Unilever) in the construction of a complex diffusion model of porous starch hidratacion. |
|    | Objavljeno v |         | American Institute of Chemical Engineers; AIChE journal; 2009; Vol. 55, no. 7; str. 1834-1848; Impact Factor: 1.955; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.278; A': 1; Avtorji / Authors: van den Doel L. R., Mohorič Aleš, Vergeldt Frank, van Duynhoven John, Blonk Han, van Dalen Gerard, Van As Henk, van Vliet Lucas J  |
|    | Tipologija   |         | 1.01 Izvirni znanstveni članek  |
| 5. | COBISS ID    | 2362212 | Vir: COBISS.SI  |
|    | Naslov       | SLO     | Analiza dinamike polimerov z zaporedjem za spinski odmev z moduliranim gradientom   |
|    |              | ANG     | Analysis of polymer dynamics by NMR modulated gradient spin echo  |
|    | Opis         | SLO     | Razvili smo novo metodo za študij difuzije v polimernih vzorcih. Metoda temelji na NMR zaporedju s spinskim odmevom in sočasnim moduliranim gradientom. Ta metoda omogoča določanje premikov posameznih delov polimerne verige s pomočjo merjenja avtokorelacijske funkcije hitrosti. Metoda je uporabna predvsem za preučevanje gibanja molekul v različnih vzorcih živil, zlasti tistih, ki jih lahko obravnavamo kot polimere.   |
|    |              | ANG     | A new method for studying diffusion in polymer samples was developed. The method is based on NMR modulated gradient spin echo, which enables quantification of polymer segmental displacement via measurement of the velocity autocorrelation. The method is useful for studying molecular motion in various food samples, in particular those that can be considered as polymers.  |
|    |              |         | Hüting & Wepf Verlag; Polymer spectroscopy July 2011; Macromolecular  |

|              |   |
|--------------|---|
| Objavljeno v | symposia; 2011; Vol. 305; str. 55-62; Avtorji / Authors: Stepišnik Janez, Mohorič Aleš, Serša Igor, Lahajnar Gojmir |
| Tipologija   | 1.01 Izvirni znanstveni članek  |

### 8. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine<sup>7</sup>

| Družbeno-ekonomski dosežek |   |  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
|----------------------------|---|--|----------|----------------|--------|-----|---|-----|---|------|-----|---|-----|--|-------|---|--|--------------|---|--|------------|---|--|
| 1.                         | <table border="1"> <tr> <td>COBISS ID</td> <td>25302311</td> <td>Vir: COBISS.SI</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Naslov</td> <td>SLO</td> <td>Magnetna resonanca</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>Magnetic Resonance</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Opis</td> <td>SLO</td> <td>V novembru 2011 je bila na slovenski nacionalni televiziji na sporedu oddaja Ugriznimo znanost na temo slikanja z magnetno resonanco, v kateri je bilo predstavljeno delo našega laboratorija za slikanje z magnetno resonanco, med drugim tudi rezultati raziskav hrane.</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>In November 2011, the Slovenian national television broadcasted a TV show "Ugriznimo znanost" on magnetic resonance imaging in which the work of our laboratory for magnetic resonance imaging, including research results of MRI of food, was presented.</td> </tr> <tr> <td>Šifra</td> <td colspan="2">F.18 Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</td> </tr> <tr> <td>Objavljeno v</td> <td colspan="2">2011; Avtorji / Authors: Serša Igor, Bajd Franci, Mikac Urška</td> </tr> <tr> <td>Tipologija</td> <td colspan="2">3.11 Radijski ali TV dogodek</td> </tr> </table>   | COBISS ID  | 25302311 | Vir: COBISS.SI | Naslov | SLO | Magnetna resonanca                            | ANG | Magnetic Resonance                                      | Opis | SLO | V novembru 2011 je bila na slovenski nacionalni televiziji na sporedu oddaja Ugriznimo znanost na temo slikanja z magnetno resonanco, v kateri je bilo predstavljeno delo našega laboratorija za slikanje z magnetno resonanco, med drugim tudi rezultati raziskav hrane.   | ANG | In November 2011, the Slovenian national television broadcasted a TV show "Ugriznimo znanost" on magnetic resonance imaging in which the work of our laboratory for magnetic resonance imaging, including research results of MRI of food, was presented.  | Šifra | F.18 Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference) |  | Objavljeno v | 2011; Avtorji / Authors: Serša Igor, Bajd Franci, Mikac Urška |  | Tipologija | 3.11 Radijski ali TV dogodek                      |  |
| COBISS ID                  | 25302311  | Vir: COBISS.SI   |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Naslov                     | SLO   | Magnetna resonanca   |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
|                            | ANG   | Magnetic Resonance   |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Opis                       | SLO   | V novembru 2011 je bila na slovenski nacionalni televiziji na sporedu oddaja Ugriznimo znanost na temo slikanja z magnetno resonanco, v kateri je bilo predstavljeno delo našega laboratorija za slikanje z magnetno resonanco, med drugim tudi rezultati raziskav hrane.  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
|                            | ANG   | In November 2011, the Slovenian national television broadcasted a TV show "Ugriznimo znanost" on magnetic resonance imaging in which the work of our laboratory for magnetic resonance imaging, including research results of MRI of food, was presented.  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Šifra                      | F.18 Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)   |  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Objavljeno v               | 2011; Avtorji / Authors: Serša Igor, Bajd Franci, Mikac Urška   |  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Tipologija                 | 3.11 Radijski ali TV dogodek  |  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| 2.                         | <table border="1"> <tr> <td>COBISS ID</td> <td>2498148</td> <td>Vir: COBISS.SI</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Naslov</td> <td>SLO</td> <td>NMR in transport</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>NMR and transport</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Opis</td> <td>SLO</td> <td>V predavanju je bila izpostavljena povezava med NMR signalom in vplivi kolektivnega gibanja (tok tekočine, perfuzija ...) oziroma naključnega gibanja posameznih molekul (difuzija). S posebnimi NMR zaporedji lahko namreč dobimo informacijo o načinu gibanja tekočin v snovi in preko tega lahko sklepamo na zgradbo snovi. V predavanju so bili predstavljena tudi različna področja uporabe teh metod, med drugim tudi uporaba na področju raziskav hrane.</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>In the lecture a link between the NMR signal and the effects of collective motion (fluid flow, perfusion ...) as well as random movement of individual molecules (diffusion) was exposed. By using special MRI sequences it is possible to get information on fluid flow in the material, and through this information one the structure of matter can be inferred. Various applications of these methods were also presented in the lecture, including some of those that are in the field of food science.</td> </tr> <tr> <td>Šifra</td> <td colspan="2">B.04 Vabljen predavanje</td> </tr> <tr> <td>Objavljeno v</td> <td colspan="2">2012; Avtorji / Authors: Mohorič Aleš</td> </tr> <tr> <td>Tipologija</td> <td colspan="2">3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa</td> </tr> </table> | COBISS ID  | 2498148  | Vir: COBISS.SI | Naslov | SLO | NMR in transport                              | ANG | NMR and transport                                       | Opis | SLO | V predavanju je bila izpostavljena povezava med NMR signalom in vplivi kolektivnega gibanja (tok tekočine, perfuzija ...) oziroma naključnega gibanja posameznih molekul (difuzija). S posebnimi NMR zaporedji lahko namreč dobimo informacijo o načinu gibanja tekočin v snovi in preko tega lahko sklepamo na zgradbo snovi. V predavanju so bili predstavljena tudi različna področja uporabe teh metod, med drugim tudi uporaba na področju raziskav hrane. | ANG | In the lecture a link between the NMR signal and the effects of collective motion (fluid flow, perfusion ...) as well as random movement of individual molecules (diffusion) was exposed. By using special MRI sequences it is possible to get information on fluid flow in the material, and through this information one the structure of matter can be inferred. Various applications of these methods were also presented in the lecture, including some of those that are in the field of food science. | Šifra | B.04 Vabljen predavanje   |  | Objavljeno v | 2012; Avtorji / Authors: Mohorič Aleš                         |  | Tipologija | 3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa |  |
| COBISS ID                  | 2498148   | Vir: COBISS.SI   |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Naslov                     | SLO   | NMR in transport   |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
|                            | ANG   | NMR and transport  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Opis                       | SLO   | V predavanju je bila izpostavljena povezava med NMR signalom in vplivi kolektivnega gibanja (tok tekočine, perfuzija ...) oziroma naključnega gibanja posameznih molekul (difuzija). S posebnimi NMR zaporedji lahko namreč dobimo informacijo o načinu gibanja tekočin v snovi in preko tega lahko sklepamo na zgradbo snovi. V predavanju so bili predstavljena tudi različna področja uporabe teh metod, med drugim tudi uporaba na področju raziskav hrane.  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
|                            | ANG   | In the lecture a link between the NMR signal and the effects of collective motion (fluid flow, perfusion ...) as well as random movement of individual molecules (diffusion) was exposed. By using special MRI sequences it is possible to get information on fluid flow in the material, and through this information one the structure of matter can be inferred. Various applications of these methods were also presented in the lecture, including some of those that are in the field of food science. |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Šifra                      | B.04 Vabljen predavanje   |  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Objavljeno v               | 2012; Avtorji / Authors: Mohorič Aleš   |  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Tipologija                 | 3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa   |  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| 3.                         | <table border="1"> <tr> <td>COBISS ID</td> <td>23974951</td> <td>Vir: COBISS.SI</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Naslov</td> <td>SLO</td> <td>Dinamično spremljanje vzhajanja in peke testa</td> </tr> <tr> <td>ANG</td> <td>Dynamically monitoring of dough fermentation and baking</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Razvita je bila metoda za hitro dinamično MR slikanje v kombinaciji s temperaturno kontrolo. S hitrimi MRI metodami smo študirali dinamične strukturne spremembe med vzhajanjem in peko kvašenega testa pri različnih pogojih – temperatura, čas vzhajanja testa, vpliv dodatkov k</td> </tr> </table>  | COBISS ID  | 23974951 | Vir: COBISS.SI | Naslov | SLO | Dinamično spremljanje vzhajanja in peke testa | ANG | Dynamically monitoring of dough fermentation and baking |      |     | Razvita je bila metoda za hitro dinamično MR slikanje v kombinaciji s temperaturno kontrolo. S hitrimi MRI metodami smo študirali dinamične strukturne spremembe med vzhajanjem in peko kvašenega testa pri različnih pogojih – temperatura, čas vzhajanja testa, vpliv dodatkov k  |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| COBISS ID                  | 23974951  | Vir: COBISS.SI   |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
| Naslov                     | SLO   | Dinamično spremljanje vzhajanja in peke testa  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
|                            | ANG   | Dynamically monitoring of dough fermentation and baking  |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |
|                            |   | Razvita je bila metoda za hitro dinamično MR slikanje v kombinaciji s temperaturno kontrolo. S hitrimi MRI metodami smo študirali dinamične strukturne spremembe med vzhajanjem in peko kvašenega testa pri različnih pogojih – temperatura, čas vzhajanja testa, vpliv dodatkov k   |          |                |        |     |   |     |   |      |     |   |     |  |       |   |  |              |   |  |            |   |  |



|    |              |  |  |
|----|--------------|--|--|
|    | Opis         | SLO  | testu. Ugotovili smo, da lahko z MR slikanjem določimo strukturo testa, opazujemo proces vzhajanja in formiranje skorje med peko testa. MR slikanje lahko pripomore k optimizaciji pogojev vzhajanja ter peke kvašenega testa, saj omogoča neinvazivno spremljanje sprememb, ki nastanejo med procesom priprave hrane.   |
|    |              | ANG  | A method for fast dynamically MR imaging in combination with temperature controlling was developed. Fast MRI methods were used to study dynamic structural changes during fermentation and baking at different conditions: temperature, fermentation time, the influence of different supplements. It was shown that the method provides information on dough structure, observation of fermentation process and crust formation during baking. Since MRI allows non-invasive monitoring of changes that occur during fermentation and baking processes, it can help to determine the optimal parameters for food preparation. |
|    | Šifra        | B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci   |  |
|    | Objavljeno v | s. n.]; MR In food 2010; 2010; Avtorji / Authors: Bajd Franci, Sepe Ana, Serša Igor  |  |
|    | Tipologija   | 1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci  |  |
| 4. | COBISS ID    |  | Vir: vpis v poročilo   |
|    | Naslov       | SLO  | Karakterizacija sistema za temperaturno regulirane poskuse z magnetno resonančnim slikanjem  |
|    |              | ANG  | Characterization of the temperature-regulated system for magnetic resonance imaging  |
|    | Opis         | SLO  | Opravljen je bila analiza delovanja in zmogljivosti sistema za temperaturno regulacijo, ki je bil uporabljen pri poskusih magnetno resonančnega slikanja hrane. Na osnovi teh analiz je bila izdelana diplomska naloga.  |
|    |              | ANG  | The operation and performance of the system for temperature control, which has been used in magnetic resonance imaging of food, was tested and analyzed. Based on these analyses a diploma thesis was done.  |
|    | Šifra        | F.07 Izboljšanje obstoječega izdelka   |  |
|    | Objavljeno v | PENE, Alexander. Temperaturni regulator za pretočni grelec : diplomsko delo. Ljubljana: [A. Pene], 2010. 52 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 2298980] |  |
|    | Tipologija   | 2.11 Diplomsko delo  |  |
| 5. | COBISS ID    | 26161959   | Vir: COBISS.SI   |
|    | Naslov       | SLO  | MR mikroskopija v biomedicinskih raziskavah  |
|    |              | ANG  | MR microscopy in biomedical research   |
|    | Opis         | SLO  | V vabljenem predavanju je bil predstavljen pregled različnih uporab visoko-ločljivega slikanja z magnetno resonanco v raziskavah s področja biologije, medicine in materialov. V slednje pogosto sodijo tudi različni prehrabni proizvodi. Tako so bili na predavanju predstavljeni tudi nekateri dosežki našega laboratorija s področja raziskav hrane.   |
|    |              | ANG  | An overview of the different uses of high-resolution magnetic resonance imaging in studies in the field of biology, medicine and materials was presented in an invited lecture. Various food products are often regarded also as materials for MRI. Therefore, in the lecture, some of our recent achievements in the field of food research were presented as well.   |
|    | Šifra        | B.04 Vabljen predavanje  |  |
|    | Objavljeno v | Department of Computational Science & Engineering, Yonsei University; 2012; Avtorji / Authors: Serša Igor                                      |  |
|    | Tipologija   | 3.14 Predavanje na tuji univerzi   |  |

## 9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine<sup>8</sup>

## 10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine<sup>9</sup>

### 10.1. Pomen za razvoj znanosti<sup>10</sup>

SLO

V projektu smo pokazali, da lahko z metodami magnetno resonančnega slikanja uspešno spremljamo spremembe hrane pri njeni predelavi, pripravi in konzerviranju. Za potrebe projekta je bila razvita tudi posebna naprava, ki je omogočala MR slikanje v precej velikem temperaturnem območju. To je od temperatur pod lediščem, ki so omogočale poskuse zmrzovanja, pa do temperatur vse do 200 °C, ki so omogočale peko ob sočasnem MR slikanju. Ravno tako je bilo potrebno prilagoditi številna slikovna zaporedja. Ta so morala omogočati hitro (dinamično) slikanje pri precejšnji prostorski ločljivosti. Uporabili smo tudi moderne pristope analize slik temelječe na operacijah matematične morfologije. Razviti so bili tudi matematični modeli, ki opisujejo proces zmrzovanja in odtajevanja različnih tkiv in napovejo optimalne pogoje zmrzovanja in odtajevanja. V raziskavah zmrzovanja smo opazili tudi nekatere pojave, ki jih nismo pričakovali, kot na primer pojav podhlajene tekočine pri zmrzovanju nekaterih vrst sadja. S posebnimi metodami MR slikanja smo lahko ločevali med prosto in vezano vodo, kar se je izkazalo za pomembno pri poskusih namakanja in kuhanja. Raziskali smo vpliv vlage in temperature na proces sušenja mesnih izdelkov. Pri tem smo spremljali prostorsko porazdelitev vode v izdelku, zmanjševanje njene količine kot funkcijo časa sušenja in proučili možnost nastanka suhe skorje in mokre sredice. Z izvirno metodo merjenja količine kisika s pomočjo signala elektronske paramagnetne resonance smo lahko merili prepustnost različnih folij namenjenim vakuumskemu pakiranju živil za kisik. Rezultati naših raziskav omogočajo boljše razumevanje različnih procesov vezanih na hrano in so bili že v času izvajanja projekta večkrat citirani.

ANG

In this project, we have shown that MRI can be successfully used to monitor changes in food during processing, preparation and preservation. For the purpose of the project, a device that allowed MR imaging in a rather large temperature range was also developed. The device enabled MR imaging at temperatures below freezing, which allowed experiments of food freezing, while with the same device, it was also possible to reach temperatures up to 200 °C, which allowed baking while MR imaging. For the project needs it was also necessary to modify numerous MRI sequences. The sequences had to enable rapid (dynamic) imaging with a considerable spatial resolution. In the project, many modern approaches of image analysis based on mathematical morphology operations were used. Numerous mathematical models that describe the process of freezing and thawing of different tissues and predict the optimum conditions of freezing and thawing have also been developed. In studies of food freezing we noticed some interesting phenomena that we did not expect, such as the existence of supercooled liquid that was observed at freezing of some types of fruits. Using some special MR imaging methods we were able to distinguish between free and bound water. This was important in food soaking and cooking experiments. The effect of humidity and temperature on the drying of meat products was examined as well. In the experiments, the spatial distribution and the total amount of water in the product was monitored. A possible formation of dry crust and wet core was examined during drying. An original method of measuring the amount of oxygen using electron paramagnetic resonance signal was introduced. Using the method, the permeability of various films intended for food vacuum packaging was studied. We believe that results of the project may contribute to a better understanding of various processes related to food. Nevertheless, this is proved by citations of our work emerging during project implementation.

### 10.2. Pomen za razvoj Slovenije<sup>11</sup>

SLO

Magnetno resonančne metode lahko uporabimo za enkratno določitev optimalnih parametrov obdelave hrane, ali pa za spremljanje procesov na mestu obdelave. Uvedba novih metod za nadzor postopkov predelave in kakovosti hrane v prehrambni industriji, ki bi temeljile na metodah jedrske magnetne resonance (NMR/MRI) bi lahko pripomogle k večji kakovosti in konkurenčnosti naše prehrambne industrije v svetu. Kot je bilo tudi obljubljeno v predlogu projekta, smo poskusili navezati stik s slovensko prehrambno industrijo, točneje z Drogo Kolinsko. Z njihove strani smo tudi dobili nekaj sugestij za vzajemno zanimive raziskave, ki bi imele za nas tako zanimivo znanstveno vsebino in za njih tehnološki pomen, saj bi omogočala optimalnejšo in bolj kakovostno proizvodnjo živil. Poleg tega so rezultati tega projekta tudi nove, hitre in nedestruktivne preskusne metode za zagotavljanje varne in kakovostne hrane. Te vodijo k cenejšim postopkom predelave in skladiščenja hrane, ter zagotavljajo varne in kakovostne in bolj konkurenčne prehrambne proizvode.

ANG

MRI methods can be used to determine the optimal parameters for food processing or they can be used to monitor food production processes. The introduction of new MRI methods for control and monitoring of food manufacturing processes may help to improve the quality and competitiveness of our food industry in the world. As also promised in the project proposal, we contacted some representatives of the Slovenian food industry; specifically, we were in touch with Droga Kolinska. From them, we got some suggestions for mutually interesting research that would have for us an interesting scientific content and for them a technological importance, as it could help them in introduction of more optimal production processes. Moreover, the results of this project are also new, fast and non-destructive test methods of monitoring food quality and safety. The methods could lead to a reduction of food manufacturing and storage prices, or they could provide safer and better quality food, which would be therefore also more competitive in the market.

**11. 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        |  |   |
|-------------|--|---|
| <b>F.01</b> | <b>Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin</b> |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.02</b> | <b>Pridobitev novih znanstvenih spoznanj</b>                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.03</b> | <b>Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja</b>     |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.04</b> | <b>Dvig tehnološke ravni</b>                                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.05</b> | <b>Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja</b>       |   |

|             |  |   |
|-------------|--|---|
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.06</b> | <b>Razvoj novega izdelka</b>   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.07</b> | <b>Izboljšanje obstoječega izdelka</b>   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.08</b> | <b>Razvoj in izdelava prototipa</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.09</b> | <b>Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>                      |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.10</b> | <b>Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije</b>            |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.11</b> | <b>Razvoj nove storitve</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.12</b> | <b>Izboljšanje obstoječe storitve</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.13</b> | <b>Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b> |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |

|             |  |   |
|-------------|--|---|
| <b>F.14</b> | <b>Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov</b> |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.15</b> | <b>Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>                             |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.16</b> | <b>Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz</b>                   |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.17</b> | <b>Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso</b>                  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.18</b> | <b>Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.19</b> | <b>Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")</b>                        |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.20</b> | <b>Ustanovitev novega podjetja ("spin off")</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.21</b> | <b>Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>                           |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.22</b> | <b>Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov</b>                 |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             |  |   |

|             |  |   |
|-------------|--|---|
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.23</b> | <b>Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b>           |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.24</b> | <b>Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev</b> |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.25</b> | <b>Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>                               |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.26</b> | <b>Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev</b>                     |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.27</b> | <b>Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine</b>                      |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.28</b> | <b>Priprava/organizacija razstave</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.29</b> | <b>Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete</b>                                  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |
| <b>F.30</b> | <b>Strokovna ocena stanja</b>  |   |
|             | Zastavljen cilj  | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat   | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov   | <input type="text"/>                              |

|             |                             |   |
|-------------|-----------------------------|---|
| <b>F.31</b> | <b>Razvoj standardov</b>    |   |
|             | Zastavljen cilj             | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat                    | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov          | <input type="text"/>                              |
| <b>F.32</b> | <b>Mednarodni patent</b>    |   |
|             | Zastavljen cilj             | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat                    | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov          | <input type="text"/>                              |
| <b>F.33</b> | <b>Patent v Sloveniji</b>   |   |
|             | Zastavljen cilj             | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat                    | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov          | <input type="text"/>                              |
| <b>F.34</b> | <b>Svetovalna dejavnost</b> |   |
|             | Zastavljen cilj             | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat                    | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov          | <input type="text"/>                              |
| <b>F.35</b> | <b>Drugo</b>                |   |
|             | Zastavljen cilj             | <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE |
|             | Rezultat                    | <input type="text"/>                              |
|             | Uporaba rezultatov          | <input type="text"/>                              |

**Komentar**


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

|             | <b>Vpliv</b>                                       | <b>Ni vpliva</b>      | <b>Majhen vpliv</b>   | <b>Srednji vpliv</b>  | <b>Velik vpliv</b>    |  |
|-------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| <b>G.01</b> | <b>Razvoj visokošolskega izobraževanja</b>         |                       |                       |                       |                       |  |
| G.01.01.    | Razvoj dodiplomskega izobraževanja                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.01.02.    | Razvoj podiplomskega izobraževanja                 | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.01.03.    | Drugo: <input type="text"/>                        | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.02</b> | <b>Gospodarski razvoj</b>                          |                       |                       |                       |                       |  |
| G.02.01     | Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.02.    | Širitev obstoječih trgov                           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.03.    | Znižanje stroškov proizvodnje                      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.04.    | Zmanjšanje porabe materialov in energije           | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
|             |  |                       |                       |                       |                       |  |

|              |  |                       |                       |                       |                       |  |
|--------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| G.02.05.     | Razširitev področja dejavnosti   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.06.     | Večja konkurenčna sposobnost   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.07.     | Večji delež izvoza   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.08.     | Povečanje dobička  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.09.     | Nova delovna mesta   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.10.     | Dvig izobrazbene strukture zaposlenih  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.11.     | Nov investicijski zagon  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.02.12.     | Drugo:   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.03</b>  | <b>Tehnološki razvoj</b>   |                       |                       |                       |                       |  |
| G.03.01.     | Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti                                       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.03.02.     | Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.03.03.     | Uvajanje novih tehnologij  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.03.04.     | Drugo:   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.04</b>  | <b>Družbeni razvoj</b>   |                       |                       |                       |                       |  |
| G.04.01      | Dvig kvalitete življenja   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.04.02.     | Izboljšanje vodenja in upravljanja   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.04.03.     | Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave                               | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.04.04.     | Razvoj socialnih dejavnosti  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.04.05.     | Razvoj civilne družbe  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.04.06.     | Drugo:   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.05.</b> | <b>Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete</b> |                       |                       |                       |                       |  |
| <b>G.06.</b> | <b>Varovanje okolja in trajnostni razvoj</b>                                       |                       |                       |                       |                       |  |
| <b>G.07</b>  | <b>Razvoj družbene infrastrukture</b>  |                       |                       |                       |                       |  |
| G.07.01.     | Informacijsko-komunikacijska infrastruktura  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.07.02.     | Prometna infrastruktura  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.07.03.     | Energetska infrastruktura  | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| G.07.04.     | Drugo:   | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |  |
| <b>G.08.</b> | <b>Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva</b>                           |                       |                       |                       |                       |  |
| <b>G.09.</b> | <b>Drugo:</b>  |                       |                       |                       |                       |  |

**Komentar**

|  |
|--|
|  |
|--|

**13.Pomen raziskovanja za sofinancerje<sup>12</sup>**

|  |            |
|--|------------|
|  | Sofinancer |
|--|------------|



|          |  |    |       |     |
|----------|--|----|-------|-----|
| 1.       | Naziv  |    |       |     |
|          | Naslov   |    |       |     |
|          | Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala: |    |       | EUR |
|          | Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:                               |    |       | %   |
|          | Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja                    |    | Šifra |     |
|          |  | 1. |       |     |
|          |  | 2. |       |     |
|          |  | 3. |       |     |
|          |  | 4. |       |     |
|          |  | 5. |       |     |
| Komentar |  |    |       |     |
| Ocena    |  |    |       |     |

#### 14. Izjemni dosežek v letu 2012<sup>13</sup>

##### 14.1. Izjemni znanstveni dosežek

Na vabljenem predavanju na Yonsei University v Seulu v J. Koreji so bili predstavljeni tudi nekateri zanimivi rezultati projekta »Raziskave priprave in predelave hrane z metodami magnetno resonančnega slikanja in spektroskopije«. Precej zanimanja je vzbudil dinamični MR posnetek zmrzovanja in tajanja maline, na katerem je viden nepričakovan pojav podhlajene tekočine. Intuitivno bi namreč pričakovali, da vsi prekati okoli vsake koščice zmrznejo sočasno. To se ne zgodi, saj zmrzovanje poteka prekat po prekату povsem naključno in tekočina v posameznem prekату zmrzne hipoma in v celoti. Povsem drugače poteka proces tajanja. Ta je zvezen in vsi prekati se odvajajo od zunaj proti sredini praktično sočasno. V poskusih je bilo uporabljeno zmrzovanje s prepihanjem dušika pri temperaturi -18 °C. Zmrzovanje in tajanje je bilo posneto s serijo T2 obteženih MR slik s spinskim odmevom s parametri zaporedja TE/TR = 28/1000 ms, zajem posamezne slike pa je trajal 132 s.

##### 14.2. 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:*

Institut "Jožef Stefan"

Igor Serša

**ŽIG**

Kraj in datum: 

|           |           |
|-----------|-----------|
| Ljubljana | 13.3.2013 |
|-----------|-----------|

**Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2013/216**

<sup>1</sup> Opredelite raziskovalno področje po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevajalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

<sup>2</sup> Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

<sup>3</sup> 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](#)

<sup>4</sup> Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

<sup>5</sup> 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](#)

<sup>6</sup> 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](#)

<sup>7</sup> 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](#)

<sup>8</sup> Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

<sup>9</sup> 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](#)

<sup>10</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>11</sup> Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

<sup>12</sup> Rubrike izpolnite / prepisite 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](#)

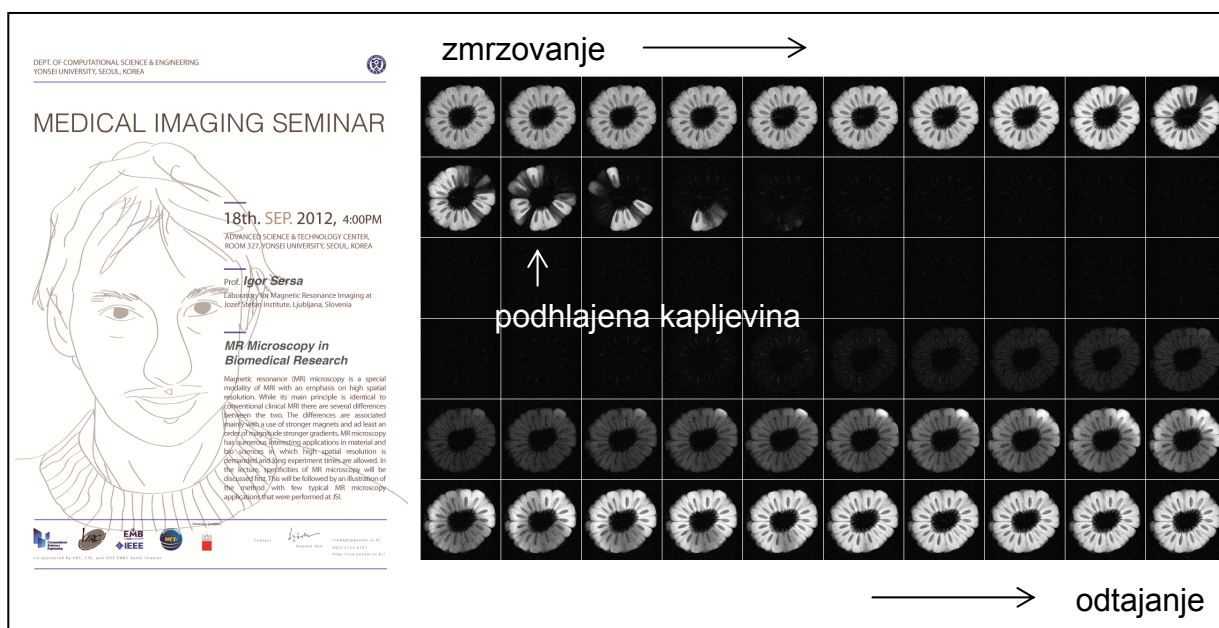
<sup>13</sup> Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2012 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot prilonko/-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/2013 v1.00  
A7-99-7B-F8-00-00-A5-39-07-3E-9D-C3-EF-62-C4-9B-22-3C-C5-66

VEDA

Področje: šifra in naziv področja

Dosežek 1: \_\_\_\_\_, Vir: COBISS.SI-ID 26161959



Na vabljenem predavanju na Yonsei University v Seulu, J. Koreja so bili predstavljeni tudi nekateri zanimivi rezultati projekta »Raziskave priprave in predelave hrane z metodami magnetno resonančnega slikanja in spektroskopije«. Precej zanimanja je vzbudil dinamični MR posnetek zmrzovanja in tajanja maline, na katerem je viden nepričakovan pojav podhlajene tekočine. Intuitivno bi namreč pričakovali, da vsi prekati okoli vsake koščice zmrznejo sočasno. To se ne zgodi, saj zmrzovanje poteka prekat po prekату povsem naključno, in tekočina v posameznem prekату zmrzne hipoma in v celoti. Povsem drugače poteka proces tajanja. Ta je zvezen in vsi prekati se odtajajo od zunaj proti sredini praktično sočasno. V poskusih je bilo uporabljeno zmrzovanje s prepihanjem dušika pri temperaturi  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zmrzovanje in tajanje je bilo posneto s serijo T2 obteženih MR slik s spinskim odmevom s parametri zaporedja TE/TR = 28/1000 ms, zajem posamezne slike pa je trajal 132 s.