

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/187

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	J2-9536
Naslov projekta	Modeliranje anatomskih struktur za analizo obremenitev in poškodb udeležencev v prometnih nezgodah
Vodja projekta	9806 Ivan Prebil
Tip projekta	J Temeljni projekt
Obseg raziskovalnih ur	4.725
Cenovni razred	C
Trajanje projekta	01.2007 - 12.2009
Nosilna raziskovalna organizacija	782 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	206 Inštitut za kovinske materiale in tehnologije 381 Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta
Družbeno-ekonomski cilj	13. Splošni napredek znanja - RiR financiran iz drugih virov (ne iz splošnih univerzitetnih fondov - SUF)

2. Sofinancerji¹

1.	Naziv	
	Naslov	
2.	Naziv	
	Naslov	
3.	Naziv	
	Naslov	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta²

Osnova za napoved poškodb posameznih tkiv človeškega telesa je poznavanje časovnega poteka obremenitev posameznih segmentov. V ta namen smo princip modeliranja na osnovi dinamike sistema teles nadgradili z metodo končnih elementov (MKE), kjer je analiza dinamičnega odziva človeškega telesa lokalizirana na posamezne telesne segmente. Rezultat je časovni potek deformacijsko-napetostnega stanja, ki je osnova za oceno trenutka, lokacije in velikosti poškodb anatomskih struktur v telesnih segmentih.

Predhodno razvit model človeškega telesa na osnovi dinamike sistemov teles vsebuje 19 togih, medsebojno povezanih telesnih segmentov. Model je bil razvit v simbolični obliki, matematična formulacija predstavlja sistem diferencialnih in algebraičnih enačb (DAE), ki omogoča razmeroma enostavno dodajanje novih elementov in povezav v mehanski sistem.

DAE model človeškega telesa s togimi segmenti je namenjen vključitvi v interaktivni sistem za simulacijo dinamike vozil in potnikov pri trku, saj DAE formalizem omogoča boljšo povezljivost z modeli vozil in voznih ploskev v razviti aplikaciji, ter dokaj hitro simulacijo odziva telesa potnika v vozilu pri trku. Na podlagi DAE simulacije se določi časovni potek gibanja in obremenitev posameznih telesnih segmentov, ki je potreben za vzbujanje podrobnega MKE modela vratne hrbtenice. Sklopljena DAE-MKE simulacija je računsko učinkovitejša, hkrati pa omogoča lokalizirano analizo napetosti in deformacij v obremenjenih anatomskih strukturah.

V sklopu projekta je bila razvita samostojna aplikacija za modeliranje dinamike mehanskih sistemov na osnovi DAE. Aplikacija omogoča generiranje gibalnih enačb na osnovi splošnega mehanskega modela, numerično reševanje in nadzor preko uporabniškega vmesnika. Za numerično reševanje sistema DAE je uporabljena metoda particioniranja koordinat. Aplikacija je splošno uporabna in deluje na osnovi programskega jezika Fortran, ki omogoča krajše računске čase. Delovanje aplikacije je bilo preverjeno z izdelanim modelom vozila, ki je bil uspešno povezan z okoljem za interaktivni prikaz rezultatov simulacije dinamike vožnje. Prevajanje DAE modela človeškega telesa v novi zapis s pomočjo razvite aplikacije je v teku.

Geometrijske in masne lastnosti telesnih segmentov pri modelu človeškega telesa so bile revidirane. V ta namen je bil izpopolnjen postopek geometrijske rekonstrukcije na osnovi CT posnetkov, pri čemer so bile odpravljene tipične napake, ki so posledica karakteristik CT slikanja.

Vratna hrbtenica predstavlja zelo kompleksno anatomsko regijo. Njeni glavni funkciji sta podpora in premikanje glave ter zaščita hrbtenjače. Vratna hrbtenica je pogosto poškodovana pri prometnih nezgodah, predvsem pri nižjih hitrostih naleta vozil (nihajna poškodba). Kljub temu, da so te poškodbe večinoma lažje (klasifikacija AIS 1-2), lahko povzročijo dolgotrajne posledice – bolečine v predelu vrata in glave, zmanjšano gibalno območje glave in vratu, v težjih primerih tudi paralizo ali smrt.

Poškodbe vratne hrbtenice nastanejo pri izpostavljenosti sklopu obremenitev, ki povzroči lokalno preobremenitev anatomskih struktur (ligamentov, medvretenčnih ploščic, vretenc, mišičja). Za razumevanje poškodbenega mehanizma in kvantifikacijo poškodb je treba poznati dinamični odziv v pogojih trka, geometrijske in masne lastnosti, ter mehanske lastnosti anatomskih struktur, ki gradijo vratno hrbtenico. Pri sodobni analizi prometnih nezgod je preferenčni pristop numerična simulacija na osnovi dinamike sistemov teles in metode končnih elementov. Računalniška simulacija dinamike vratne hrbtenice omogoča večjo fleksibilnost pri analizi obremenitev mehkih tkiv pri različnih pogojih trka ter identifikacijo dejavnikov, ki vplivajo na nastanek poškodb. Model vratne hrbtenice mora zato zanesljivo napovedovati gibanje glave glede na prsni koš in simulacijo obremenitev ter napetosti v strukturah vratne hrbtenice, kar je osnova za napovedovanje nihajne poškodbe.

V okviru projekta je bil razvit podroben model vratne hrbtenice na osnovi metode končnih elementov (MKE). Geometrijski model vratnih vretenc C1-C7, medvretenčnih ploščic in lobanje je bil izdelan na podlagi natančnih meritev izbranih vzorcev s pomočjo CT oslikave. Mišice so modelirane kot volumski, ligamenti pa kot površinski elementi. Medvretenčne ploščice so zaradi dvojne strukture (čvrstovezivni obod in mehko jedro) modelirane s pomočjo prizmatičnih elementov. Za kostno tkivo je predpostavljena popolna togost, medtem ko so bili v začetni fazi za mehka tkiva privzeti različni reološki modeli. Mehanske lastnosti tkiv so v splošnem anizotropne, individualno pogojene in težko merljive. Kostno tkivo vratnih vretenc ima glede na mehka tkiva precej višji elastični modul, zato lahko v določenih primerih obravnavamo vretenca kot toga telesa,

kar prispeva h krajšim računskim časom. V obremenitvenih primerih, kjer so pričakovane vrednosti za obremenitve vreten večje, pa je treba upoštevati visko-elastične lastnosti. Izboljšan geometrijski model skeleta in medvretenčnih ploščic je parametriziran, pri čemer so odpravljene težave pri mreženju, nastale zaradi kompleksne oblike in naključnih nepravilnosti na površini anatomskih struktur.

Kakovost MKE modela in rezultatov simulacij je odvisna od točnosti geometrijskih, masnih lastnosti in materialnih lastnosti anatomskih struktur, upoštevanih v modelu. V ta namen imajo nekateri komercialni programi za MKE analizo vključene konstitutivne enačbe za modele tkiv človeškega telesa, pripravljene za vnos ustreznih parametrov. Podroben pregled področne literature ter lastni raziskovalni izsledki, so pokazali nekonsistentnost in nezanesljivost razpoložljivih podatkov o mehanskih lastnostih anatomskih struktur. Različni avtorji navajajo podatke (npr. elastični modul), ki se razlikujejo tudi za večkratnik. Slabo raziskan je vpliv hitrosti deformacij tkiva in vpliv priprave vzorcev tkiva na izmerjene mehanske lastnosti, obenem pa ne obstajajo standardizirani postopki za njihovo določanje. Omenjene ugotovitve zmanjšujejo uporabnost komercialnih programov pri analizi napetostno-deformacijskih stanj v obremenjenih anatomskih strukturah.

V okviru projekta je bila zato razvita in vzpostavljena celovita metodologija za modeliranje anatomskih struktur, ki obsega geometrijsko modeliranje, razvoj konstitutivnih enačb, razvoj numeričnega modela človeškega telesa, pridobivanje eksperimentalnih podatkov o mehanskih lastnostih in meritve dinamičnega odziva za verifikacijo modela človeškega telesa.

Izdelano in usposobljeno je bilo preskuševališče za ugotavljanje mehanskih lastnosti mehkih tkiv. Zasnova preskuševališča zajema linearni modul, sestavljen iz vodenih sani z vpenjalno pripravo in pogona s koračnim motorjem. Linearni modul vsebuje precizna vodila s prednapetim vretenom, potrebnim za natančnost meritev pri cikličnem obremenjevanju. Velik korak navojnega vretena (20 mm) in visoka resolucija koračnega motorja (10000 korakov pri enem obratu) zagotavljata velik razpon dosegljivih hitrosti (do 1.26 m/s) ob zadostnem navoru. Vpenjalne priprave so prilagojene nateznim preskusom, z manjšimi prilagoditvami pa se lahko doseže tudi druga obremenitvena stanja preskušancev. Za meritve natezne sile v vzorcu se uporabljajo merilne doze, odporne proti vlagi (faktor zaščite IP68) in temperaturnim spremembam. Glede na velikost vzorcev in pričakovano velikost natezne obremenitve je treba uporabiti merilno dozo z ustreznim merilnim območjem. Za zajemanje izmerkov z merilne doze se uporablja kartica NI USB-6221 DAQ s hitrostjo zajema do 250kS/s. Za meritev deformacije vzorca se uporablja linearni magnetni trak EMIX2 za brezkontaktno merjenje pomika (resolucija 0,01 mm). Linearni modul je voden s pomočjo krmilnika NI PCI-7342 za koračni motor, direktno povezan z magnetnim merilnim trakom. Zaradi ohranitve mehanskih lastnosti biološkega materiala je vzorec med preskusom zaprt v komori s konstantno temperaturo 37°C in vlažnostjo nad 95%. Pogoji preskusa so nadzorovani in vodeni s pomočjo programske podpore, namensko izdelane v okolju LabVIEW. Vpetje vzorca tkiva pri nateznem preskusu je odvisno od velikosti in oblike vzorca. Direktno vpetje v prijemalni čeljusti se uporablja pri večjih vzorcih, medtem ko se pri manjših vzorcih (primer kapsularnega snopa ligamenta) vpne celotna okoliška struktura z narastiščem ligamenta.

Pri vzorcih tkiva za preskušanje so v splošnem prisotne razmeroma velike variacije oblike, dimenzij in kvalitete tkiva. Pri določanju mehanskih lastnosti je zato treba upoštevati večje število vzorcev ob čim bolj enovitih pogojih. Iz objektivnih razlogov je zagotovitev optimalnih pogojev težavna ali nemogoča. V preliminarnih preskusih so bile ugotovljene znatne razlike pri maksimalnih nateznih obremenitvah izbranih vzorcev ligamentov (90 do 185 N). Vendar vpliv načina shranjevanja in priprave vzorcev tkiv trenutno še ni dobro pojasnjen. Pri vpetju vzorca v prijemalo se zabeležijo njegove osnovne dimenzije. Natezna obremenitev mora potekati v smeri kolagenskih vlaken v tkivu, zato je pred pričetkom nateznega preskusa izveden postopek predobremenitve, s

katerim prispevamo k ustrezni orientaciji in relaksaciji vlaken v vzorcu. Časovni potek obremenitve (hitrost deformacije) je odvisen od privzetega materialnega modela in velikosti vzorca. Na preskuševališču je možno simulirati različne obremenitvene primere, pri katerih beležimo obnašanje mehkega tkiva tako na spodnji kot na zgornji meji poškodb. Meritve na preskuševališču zagotavljajo komplementarne podatke k meritvam dinamičnega odziva človeškega telesa pri trčnih preskusih, ki so nujno potrebni za razvoj in verifikacijo matematičnega modela človeškega telesa.

Dinamični odziv vratne hrbtenice kot celote je bil izmerjen s serijo trčnih preskusov na naletni progi. Pri izvedbi trčnih preskusov smo uporabili originalno rešitev s fiksacijo trupa preskušanca, gibanje vratu in glave pa je ostalo neovirano. Bistvena prednost takšne zasnove preskusa je v ohranitvi integritete anatomskih struktur, ki povezujejo vratno hrbtenico s trupom. V raziskavah, objavljenih v literaturi, avtorji praviloma upoštevajo samo vzorec C1-C7, ne vključujejo pa mišic in ligamentov v drugih delih telesa. Bolečina pri nihajni poškodbi vratu je lahko prisotna tudi v lumbalnem predelu, ramenih, rokah in v predelu lopatice, kar implicira prizadetost mehkih tkiv nižje od C7 in njihov vpliv na možnost poškodb. Uporabljeni način izvedbe trčnih preskusov zato omogoča lokalizirano analizo dinamičnega odziva vratne hrbtenice pri trku, ob upoštevanju vpliva vseh mišic in ligamentov, ki sodelujejo v pogojih trka vozil.

Opravili smo serijo meritev z variacijo naletne hitrosti, pojemka in smeri trka. Pri hitrostni razliki 10 km/h je bil maksimalni pojemek sani 13 g pri bočnem trku in 10 g pri čelnem trku. Pri hitrostni razliki 14 km/h je bil zabeležen maksimalni pojemek 29 g pri bočnem trku in 20 g pri čelnem trku. Dosežena hitrostna razlika je bila v okviru zmogljivosti preskuševališča, vendar predhodne raziskave potrjujejo njeno ustreznost, skupaj s časovnim potekom pojemka.

V posamezni seriji je bilo pet trkov pri enakih pogojih. Po vsakem trku je bil preskušanec nameščen v enako začetno držo s pomočjo laserskega namerilnega sistema, s čimer smo dosegli odlično ponovljivost rezultatov. Preskušanec je bil opremljen s triosnimi pospeškometri SD 2422 in markerji MXT za analizo gibanja s pomočjo hitrotekočih kamer Photron Ultima 512. Zaradi fiksne pritrditve pospeškometra na glavo preskušanca se smer posameznih osi pospeškometra spreminja z upogibom vratne hrbtenice. Smer osi oz. komponent pospeška med gibanjem glave v splošnem ni znana brez dodatnih izmerkov. Poleg tega je glede na mesto pritrditve pospeškometra izmerjena vredost pospeška večja zaradi rotacije glave. Zato smo razvili postopek za določanje natančne lege in orientacije pospeškometrov. Z analizo posnetkov hitrotekočih kamer smo opravili rekonstrukcijo gibanja sledenih markerjev, tako da smo dobili časovni potek lege in orientacije pri gibanju glave. Za rekonstrukcijo gibanja so bili v okolju MATLAB napisani ustrezni podprogrami.

Rezultati so namenjeni verifikaciji razvitega MKE modela vratne hrbtenice.

Za zanesljivo numerično ugotavljanje meje nastanka poškodb je bistven čim bolj stvaren popis nelinearnega obnašanja materiala. Zato razvijamo konstitutivne modele in njihov zapis v programsko kodo končnega elementa. Materialni modeli temeljijo na fenomenološkem pristopu z upoštevanjem izotropnih lastnosti materiala v začetnem stanju ter v nadaljevanju z interakcijo izotropnega in kinematičnega utrjevanja s poškodbeno mehaniko. Razvit je bil genetski algoritem za identifikacijo parametrov materialnega modela. Do sedaj je bil algoritem uspešno uporabljen na primeru kovinskih materialov, ob zadostnih eksperimentalnih podatkih iz nateznih preskusov na vzorcih tkiva pa bo uporabljen tudi na primeru anatomskih struktur. V teku je razvoj vmesnika za vključitev numerične kode končnega elementa v komercialni MKE programski paket. Področje se tesno navezuje na sorodne, tehniško usmerjene raziskave, v katere je vključen del projektne skupine.

Razvit je bil sistem za interaktivno 3D simulacijo vožnje. Vsebuje mehanski model vozila, bazo podatkov o vozilih in podsistem za prikaz v navideznem 3D okolju. Simulira lahko kolesna vozila z dvema do štirimi osmi na vozni ploskvi, predstavljeni s trikotniško mrežo poljubne oblike. Rezultate simulacij lahko zapiše v izhodne datoteke v različnih

besedilnih in slikovnih formatih. Sistem je neposredno povezljiv z modelom za simulacijo obremenitev človeškega telesa, ki uporabniku omogoča preskušanje in evaluacijo vpliva na potnike v vozilu pri vožnji v različnih voznih režimih in kritičnih situacijah. Izdelan je bil modul uporabniškega vmesnika za nastavitve položaja telesa potnika v vozilu. Modul omogoča nastavitve v standardno in nestandardno držo telesa za analizo vpliva elementov pasivne varnosti v vozilu. Vzpostavljeno je bilo ogrodje baze antropometričnih podatkov, s pomočjo katere se lahko prilagodi geometrijske in masne lastnosti telesnih segmentov in s tem omogoči individualizirano analizo dinamike človeškega telesa pri trku. Sistem je namenjen podpori različnim vidikom obnavljanja situacij v prometu, od zagotavljanja vhodnih podatkov za simulacijo dinamičnega odziva človeškega telesa, do kontrole in analize rezultatov. Z razvojem sistema je vzpostavljena možnost integracije in učinkovitega nadzora matematičnega modela na osnovi dinamike sistema teles prek grafičnega vmesnika. Lastna koda modela omogoča kontinuirano nadgradnjo in poseganje v parametre modela.

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Cilj projekta je bil vzpostaviti celovito metodologijo modeliranja anatomskih struktur. Ob upoštevanju pogojev pri nastanku prometne nezgode, je numerična simulacija poteka gibanja in obremenitev človeškega telesa odvisna od kvalitete modela – ustreznih geometrijskih in masnih lastnosti telesnih segmentov, stopnje podrobnosti modeliranja, upoštevanja mehanskih lastnosti posameznih tkiv in verifikacije modela. Cilji projekta so bili doseženi, tako z metodološkega vidika kot tudi pri implementaciji spoznanj v praksi. Kljub temu se je problematika izkazala za zahtevno, saj raziskovalci pri tem ubirajo zelo različne pristope.

Lokalizirana analiza obremenitev in poškodb pri trku zahteva znan potek gibanja medsebojno povezanih telesnih segmentov, zato je za določitev poteka gibanja posameznega segmenta potrebna simulacija z modelom celotnega človeškega telesa. Nadaljnji razvoj in programska implementacija obstoječega modela človeškega telesa na osnovi dinamike sistemov teles se je zato pokazal kot pravilna odločitev. Razvita je bila samostojna fortranska aplikacija, povezljiva z okoljem za interaktivno simulacijo dinamike vožnje in prometnih nezgod. Aplikacija uporablja algoritem particioniranja koordinat. Prevajanje razvitega modela človeškega telesa v novo aplikacijo je v teku, prav tako vključitev modela mišičja vratne hrbtenice. Vpliv mišične aktivacije na dinamiko in poškodbe potnika pri trku je prisoten v določenih obremenitvenih primerih.

Rezultati simulacij z razvitim MKE modelom vratne hrbtenice potrjujejo tezo, da metoda MKE omogoča učinkovito analizo lokalnih napetostno-deformacijskih stanj v mehkih tkivih, ki nastanejo kot posledica obremenitev pri trku vozila. V skladu s pričakovanji rezultati simulacij izkazujejo pomemben vpliv pravilno ocenjenih mehanskih lastnosti tkiv, za katere pa je podroben pregled dostopne literature pokazal znatna odstopanja in razpršenost med razpoložljivimi podatki.

V okviru projekta razvito preskuševališče omogoča lastne raziskave odziva anatomskih struktur v pogojih trka. Natezni preskusi lahko potekajo v širokem razponu obremenitvenih primerov in so popolnoma nadzorovani. Poseben izziv predstavlja ugotavljanje spodnje meje poškodb v tkivu, kjer poskušamo prenesti napredne metode za sledenje histereznih učinkov iz tehniških aplikacij tudi na področje mehanike tkiv. Dober vpogled v nastanek tkivnih poškodb je dala histološka preiskava dela vzorca, vendar bi bilo treba v prihodnosti metodo prilagoditi specifičnim zahtevam. Za lokalizacijo poškodovanega predela vzorca uvajamo tehniko slikovne korelacije, ki omogoča rekonstrukcijo poteka deformacij in napetosti v vzorcu tkiva.

Namensko razvito simulacijsko okolje, ki povezuje relevantne dejavnike pri nastanku in poteku prometnih nezgod, učinkovito podpira tudi temeljne raziskave v okviru projekta, ob upoštevanju specifičnih zahtev, ki se pojavljajo pri modeliranju anatomskih struktur.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta⁴

Ni bistvenih odstopanj od programa raziskovalnega projekta.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

Znanstveni rezultat		
1.	Naslov	<i>SLO</i> Modeliranje človeškega telesa za analizo prometnih nezgod
		<i>ANG</i> Human body modelling for traffic accident analysis
Opis	<i>SLO</i>	S primerjavo izmerjenega in simuliranega odziva je bil ovrednoten vpliv resistivnih lastnosti sklepov na gibanje človeškega telesa pri trku. Kot posledica neustreznih vrednosti parametrov modela so bila ugotovljena znatna odstopanja, kar lahko vodi v napačno oceno obremenitev in tveganj poškodb pri trku vozila. V prispevku je predstavljen celovit individualiziran postopek modeliranja ter identifikacije parametrov, ki upošteva antropometrične variacije in pogoje pri trku. Postopek učinkovito nevtralizira nezanesljivost uveljavljenih verifikacijskih koridorjev.
	<i>ANG</i>	The comparison between the measured and simulated response helped evaluate the effect of resistive joint properties upon human body motion during a collision. Unsatisfactory values of model parameters resulted in significant deviations which may lead to an incorrect evaluation of loads and risks of injuries during vehicle collision. The paper presents a complete individualised procedure of modelling and parameter identification which takes into account anthropometric variations and impact conditions. The procedure effectively neutralizes the unreliability of standard verification corridors.
Objavljeno v	KRAŠNA, Simon, PREBIL, Ivan, HRIBERNIK, Marija. Human body modelling for traffic accident analysis. Veh. Syst. Dyn., 2007, letn. 45, št. 10, str. 969-980. http://dx.doi.org/10.1080/00423110701538296 .	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID	10252315	
2.	Naslov	<i>SLO</i> Anatomske in kirurške značilnosti hepatokavalnega ligamenta: raziskava kadavrskih jeter
		<i>ANG</i> Anatomy and surgical relevance of the hepatocaval ligament : a study on cadaveric livers
Opis	<i>SLO</i>	Poznavanje anatomskih značilnosti hepatokavalnega ligamenta in njegovega odnosa do desne jetrne vene (DJV) je ključno pri operacijah desne polovice jeter zaradi topih poškodb pri prometnih nezgodah ipd. Pri simulacijah operacije desne polovice jeter z natančno preparacijo ter meritvijo hepatokavalnega ligamenta in ekstrahepatičnega dela DJV je bilo ugotovljeno, da je ligament prisoten v 77% in da vedno prekriva vtočišče DJV v spodnjo veno kavo. Resekcija ligamenta olajša dostop do ekstrahepatičnega dela DJV in s tem začasno prekine pretoka po njej v 85% in njeno resekcijo izven jeter v 52%.
	<i>ANG</i>	The expertise in detailed anatomical characteristics of the hepatocaval ligament and its relations to the right hepatic vein (RHV) is of great significance during the right hemiliver surgery resulting from liver trauma in traffic accidents etc. A dissection of the right hemiliver with the exact preparation and measuring of the hepatocaval ligament and the extrahepatic part of the RHV was performed. In all cases resection of the ligament revealed the extrahepatic part of the RHV and thus facilitated extrahepatic vascular control in 85% and extrahepatic resection of the RHV in 52% of the cases.
Objavljeno v	MORJANE, Abdelwaheb, DAHMANE, Raja, RAVNIK, Dean, HRIBERNIK, Marija. Anatomy and surgical relevance of the hepatocaval ligament : a study on cadaveric livers. Cells Tissues Organs, 2008, vol. 187, no. 3, str. 242-246. [COBISS.SI-ID 3177579], IF : 1.776	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID	3177579	

3.	Naslov	SLO	Biomehanski podatki
		ANG	Biomechanical data
	Opis	SLO	Prispevek podrobno obravnava metode za pridobivanje biomehanskih podatkov, ki se uporabljajo pri analizi prometnih nezgod. Predstavljeni so principi modeliranja človeškega telesa, njihove značilnosti in programske implementacije. V prispevku je temeljito obravnavana metoda medicinske oslikave in geometrijske rekonstrukcije, uporabljena in izpopolnjena v okviru raziskovalnih dejavnosti projektne skupine. Dosegljiva natančnost ocene masnih lastnosti je velikostnega reda en odstotek. Omogoča individualizirano pridobivanje biomehanskih podatkov.
		ANG	The paper presents methods of the acquisition of biomechanical data which is applied in the analysis of traffic accidents. Presented are the methods of human body modelling and software implementations. The paper also provides a detailed description of the medical imaging method and geometrical reconstruction which was applied and improved within the scope of research activities of the research group. Achievable accuracy of the mass property evaluation is of the order 1%. It enables individualised acquisition of mechanical data.
	Objavljeno v	PREBIL, Ivan. Biomechanische Daten. V: BURG, Heinz (ur.), MOSER, Andreas (ur.). Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion : Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation, (Praxis), (ATZ-MTZ-Fachbuch). 2., aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2009, str. 849-866, ilustr.	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
COBISS.SI-ID	11087131		
4.	Naslov	SLO	Karakterizacija pljučne embolije ex-vivo z magnetno resonanco in ultrazvokom
		ANG	Characterization of pulmonary emboli ex vivo by magnetic resonance imaging and ultrasound
	Opis	SLO	Magnetna resonanca (MR) in transezofagealni ultrazvok (UZ) sta metodi izbora detekcije in prepoznavne lastnosti trombov pri pljučni emboliji. 36 pljučno žilnih krvnih strdkov, odkritih pri obdukcijah bolnikov, umrlih zaradi masivne pljučne embolije je bilo obdelanih z UZ in MR slikanjem z visoko resolucijo. Obe slikovni tehniki sta se izkazali kot pomembni pri določanju sestave trombov pri pljučni emboliji in zdravljenju. Prispevek je prinesel nova spoznanja o uporabi metod medicinske oslikave in geometrijske rekonstrukcije ter diagnosticiranja poškodb in drugih sprememb v tkivih.
		ANG	Magnetic resonance imaging (MRI) and transesophageal ultrasound (US) were the methods chosen for detection and characterization of central pulmonary emboli. Thirty-six ex vivo pulmonary emboli, obtained during routine autopsies who died of massive pulmonary embolism, were subjected to US imaging and MRI with high resolution. MRI and US imaging techniques were proven to be effective in characterization of pulmonary emboli, thus enabling proper treatment. The study established new information about medical imaging methods and diagnostics of pathological tissue changes and injuries.
	Objavljeno v	TRATAR, Gregor, BLINC, Aleš, PODBREGAR, Matej, KRALJ, Eduard, BALAŽIC, Jože, ŠABOVIČ, Mišo, SERŠA, Igor. Characterization of pulmonary emboli ex vivo by magnetic resonance imaging and ultrasound. Thromb. res.. [Print ed.], 2007, vol. 120, issue 5, str. 763-771.	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
COBISS.SI-ID	20631591		
5.	Naslov	SLO	Genetski algoritem za identifikacijo parametrov materialnega modela pri malociklični obremenitvi
		ANG	Genetic algorithm in material model parameters' identification for low-cycle fatigue
	Opis	SLO	Prispevek predstavlja konstitutivni model elasto-plastičnega obnašanja materiala pri cikličnem obremenjevanju. Model upošteva zaznavanje in akumulacijo poškodbe, zaradi izrazite nelinearnosti pa zahteva uporabo naprednih metod za identifikacijo parametrov materiala. V raziskavi je bil razvit genetski algoritem, ki je pokazala hitro in zanesljivo konvergenco pri identifikaciji parametrov materialnega modela, kar omogoča zaznavanje spodnje meje nastanka poškodb v materialu.

	ANG	The material model presented in this paper describes elasto-plastic behaviour of the material under a cyclic load application. It takes into account damage occurrence and accumulation in the material. Due to its distinct non-linearity, application of advanced methods for material parameter identification is necessary. In the research process, a genetic algorithm was developed which indicated a fast and reliable convergence in the identification of material model parameters. This enables detection of a lower limit of the material damage occurrence.
Objavljeno v		FRANULOVIĆ, Marina, BASAN, Robert, PREBIL, Ivan. Genetic algorithm in material model parameters' identification for low-cycle fatigue. <i>Comput. mater. sci.</i> [Print ed.], 2009, vol. 45, iss. 2, str. 505-510.
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		11048219

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat		
1.	Naslov	SLO Vrednotenje rezultatov simulacije pri analizi poškodb potnikov vozil
		ANG Evaluation of simulation results in occupant injury analysis
Opis	SLO	V prispevku je predstavljena računalniško podprta analiza prometne nezgode, obravnavana kot kompleksen pojav, v katerem je telo udeleženca izpostavljeno sunkovitim obremenitvam. Prikazana je uporaba poškodbenih kriterijev ter pomembnejši vidiki modeliranja človeškega telesa, ki lahko vplivajo na vrednotenje poškodb. Prispevek je bil predstavljen mednarodni strokovni javnosti, v kateri so bila zastopana področja tehnike, medicine, prava in zavarovalništva, ki so posredno ali neposredno vključena v obravnavo prometnih nezgod in njihovih posledic za posameznika, družbo in gospodarstvo.
	ANG	A computer analysis of a traffic accident is regarded as a complex phenomenon where a human body is exposed to impact loads. Also presented is the application of injury criteria as well as the most significant aspects of human body modelling which may affect injury evaluation. The paper was presented to the international expert public representing the fields of engineering, medicine, law and insurance business all of which are either directly or indirectly involved in the analysis of traffic accidents and the effects they may have upon individuals, the society and the economy.
Šifra		B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v		KRAŠNA, Simon, PREBIL, Ivan, HRIBERNIK, Marija. Evaluation of simulation results in occupant injury analysis. V: DUBOKA, Čedomir (ur.). XXI Naučno-stručni skup Nauka i motorna vozila = XXI International Conference with Exhibition Science and Motor Vehicles, Beograd, 23-24 April 2007. Automotive Engineering for Improved Safety : proceedings. Beograd: Jugoslovensko društvo za motore JUMV, 2007, 11 str.
Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		10004251
2.	Naslov	SLO Sistem za interaktivno 3D simulacijo vožnje
		ANG The system for interactive 3D driving simulation
Opis	SLO	Sistem za interaktivno 3D simulacijo vožnje vsebuje mehanski model vozila, bazo podatkov o vozilih in podsistem za prikaz v navideznem 3D okolju. Simulira lahko kolesna vozila z dvema do štirimi osmi na vozni ploskvi, predstavljeni z mnogokotniško mrežo poljubne oblike. Rezultate simulacij lahko zapiše v izhodne datoteke v različnih besedilnih in slikovnih formatih. Sistem se lahko neposredno priključi na sistem za simulacijo obremenitev človeškega telesa in tako omogoči uporabniku preskušanje in evaluacijo vpliva na potnike v vozilu pri vožnji v različnih voznih režimih.
	ANG	The system for interactive 3D driving simulation incorporates the vehicle mechanical model, the database of vehicle data and a subsystem for display in virtual 3D environment. It can simulate wheeled vehicles with two to four axles on a driving surface, represented by a polygon mesh of an arbitrary shape. The simulation results can be written to output files in various text

		and image formats. The system can be directly connected to the system for human body load simulation, thus enabling the user to test and evaluate the influence on vehicle passengers during ride in different driving regimes.
Šifra		B.03 Referat na mednarodni znanstveni konferenci
Objavljeno v		AMBROŽ, Miha, PREBIL, Ivan. Interactive 3D driving simulation symulation system. V: ZANNE, Marina (ur.), FABJAN, Daša (ur.), JENČEK, Peter (ur.). 11. mednarodno posvetovanje o prometni znanosti = 11th International Conference on Transport Science - ICTS 2008, 28.-29. maj 2008, Portorož, Slovenija. Prometna politika : zbornik referatov : conference proceedings. Portorož: Fakulteta za pomorstvo in promet, 2008, 10 str.
Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
COBISS.SI-ID		10521627
3.	Naslov	SLO Biomehanika v raziskavi prometnih nesreč
		ANG Biomechanics in traffic accident analysis
	Opis	SLO Predavanje je bilo namenjeno širokemu krogu strokovnjakov s področja medicine in rehabilitacije, ki so neposredno vključeni v obravnavo posledic prometnih nezgod. Celovito je bil predstavljen potek dela in pomen policijske, zdravniške in zavarovalniške dokumentacije pri analizi prometnih nezgod. Podrobno je bila pojasnjena uporaba poškodbenih kriterijev, ki predstavljajo zvezo med potekom sil in pospeškov, ki delujejo na telo ponesrečenca, ter nastalimi poškodbami. Izpostavljeni so bili ključni dejavniki pri modeliranju človeškega telesa, ki vplivajo na zanesljivost računalniške simulacije.
		ANG The lecture was held for numerous experts in medicine and rehabilitation who are directly involved in dealing with consequences of traffic accidents. The entire progress of work and the importance of police, medical and insurance documentation during the traffic accident analysis were presented. The attendants were provided with a detailed explanation of the injury criteria which represent a relation between the loads affecting the body of an injured person and the resulting injuries. An emphasis was placed on key factors in modelling of the human body which influence the simulation accuracy.
	Šifra	B.04 Vabljen predavanje
	Objavljeno v	KRAŠNA, Simon. Biomehanika v raziskavi prometnih nesreč : vabljen predavanje na Inštitutu Republike Slovenije za rehabilitacijo. 25 Februar, 2008; Ljubljana. [COBISS.SI-ID 10393115]
	Tipologija	3.16 Vabljen predavanje na konferenci brez natisa
	COBISS.SI-ID	10393115
4.	Naslov	SLO Izdelava sistema za določitev in simulacijo cestnih dejavnikov, ki pogojujejo nastanek prometnih nesreč
		ANG Development of a system for identification and simulation of road factors affecting traffic accidents
	Opis	SLO Razvit je bil sistem za določitev in simulacijo cestnih dejavnikov, ki pogojujejo nastanek prometnih nesreč. Strojna oprema za meritve lastnosti cestnih odsekov omogoča merjenje parametrov dinamike vožnje in zajemanje ter shranjevanje podatkov. Programska oprema vključuje interaktivni simulator vožnje kolesnih vozil, sistem za prikaz, bazo podatkov, module za upravljanje s povratno zvezo in modul za simuliranje odziva potnika v vozilu pri trku, ki vključuje parametričen model človeškega telesa. Komponente celotnega sistema so bile preverjene z meritvami na tipičnih primerih prometnih situacij.
		ANG We developed a system for determination and simulation of road-related factors that define the occurrence of traffic accidents. The hardware for measuring road section properties enables the measuring of the ride dynamics parameters and data storage. The software includes an interactive simulator of a wheeled vehicle ride, a display system, a database, feedback control modules and a module for simulation of the vehicle occupant impact response which includes a parametric human body model. Components of the entire system were verified by measurements on typical examples of traffic situations.
	Šifra	F.17 Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso

	Objavljeno v	PREBIL, Ivan, AMBROŽ, Miha, ŠUŠTERŠIČ, Gašper, DURAKOVIČ, Emin, KRAŠNA, Simon, KAIBA, Pavel, KORINŠEK, Jernej, ZUPAN, Samo, KUNC, Robert, ŽVOKELJ, Matej, ŽEROVNIK, Andrej, OMEROVIČ, Senad, ŠVAJGER, Milan. Izdelava sistema za določitev in simulacijo cestnih dejavnikov, ki pogojujejo nastanek prometnih nesreč : strateški projekt : končno poročilo. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2007. 83 str. + 6 str. pril., ilustr.
	Tipologija	2.13 Elaborat, predštudija, študija
	COBISS.SI-ID	10281499
5.	Naslov	<i>SLO</i> Jeklene varnostne ograje
		<i>ANG</i> Steel safety barriers
	Opis	<i>SLO</i> Prispevek obravnava problematiko trka vozila v varnostno ograjo. Realne situacije prometnih nezgod so pokazale, da stik vozila z varnostno ograjo pri trku le redko nastopi pod pogoji, ki jih predpisuje standard EN 1317 za testiranje ograj. Opravljene so bile MKE simulacije trkov z analizo obremenitev vozila in potnikov (vratna hrbtenica). Ugotovljeni so bili vzroki za prešibko zadrževanje vozil in zatikanje koles. Predlagane spremembe konstrukcije varnostne ograje lahko bistveno pripomorejo k ublažitvi poškodb udeležencev v prometni nezgodi, kot tudi njihovih posledic.
		<i>ANG</i> The paper presents the problems of vehicle crashes into safety barriers. Real-life situations of vehicles crashing have shown that a vehicle only seldom strikes a barrier under the conditions recommended by EN 1317 for testing the conformity of safety barriers. FEM were carried out by analysing the vehicle load and vehicle occupant load (cervical spine). Also determined were the reasons for insufficient vehicle stopping and wheel jamming. The proposed changes of the safety barrier structure may help decrease the severity of injuries to road users as well as the consequences thereof.
	Šifra	F.17 Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso
	Objavljeno v	PREBIL, Ivan, KUNC, Robert. Stahlleitplanken. V: BURG, Heinz (ur.), MOSER, Andreas (ur.). Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion : Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation, (Praxis), (ATZ-MTZ-Fachbuch). 2., aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2009, str. 901-933, ilustr.
	Tipologija	1.16 Samostojni znanstveni sestavek ali poglavje v monografski publikaciji
	COBISS.SI-ID	11087387

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁷

Urednik: Gligorijevič, S. (ur.), Paver-Eržen, V. (ur.), Ravnik, D. (ur.). Anatomy for regional anaesthesia : lecture book. Ljubljana: Clinical Department of Anaesthesiology and Intensive Therapy, University Medical Centre, 2009. [COBISS.SI-ID 26542553]

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Projekt vsebinsko prispeva k poglobitvi in razširitvi znanja o poškodbah udeležencev prometnih nezgod, posebej v primeru nihajne poškodbe vratne hrbtenice. Projekt zajema vplivne dejavnike pri nastanku prometnih nezgod in njihovo povezavo s karakterizacijo izpostavljenih anatomskih struktur.

Na podlagi podrobnega pregleda literature in lastnih raziskovalnih izsledkov so bili identificirani ključni problemi pri modeliranju človeškega telesa za analizo prometnih nezgod. Ugotovljena je bila nekonsistentnost in nezanesljivost razpoložljivih podatkov o mehanskih lastnostih anatomskih struktur. Pretežno neraziskan je vpliv hitrosti deformacij tkiva in vpliv priprave vzorcev tkiva na izmerjene mehanske lastnosti, prav tako pa tudi ne obstajajo standardizirani postopki za njihovo določanje. Naštete pomanjkljivosti se odražajo v manjši uporabni vrednosti komercialnih programskih paketov z možnostjo modeliranja človeškega telesa pri trku.

V okviru projekta je bila razvita in vzpostavljena metodologija za sistematično ugotavljanje mehanskih lastnosti anatomskih struktur.

Zasnovano in izdelano je bila preskuševališče za meritve obnašanja mehkih tkiv v pogojih trka

vozila, ob popolnem, računalniško podprtem nadzoru relevantnih dejavnikov. Zmogljivosti strojne in programske opreme preskuševališča dopuščajo simulacijo različnega časovnega poteka obremenitev tkiv, ki lahko nastopi pri trku. Senzorična oprema omogoča sledenje nastanka poškodb v mehkih tkivih.

Uspešno so bile odpravljene težave pri geometrijskem modeliranju anatomskih struktur za različna področja uporabe, kot so trčna biomehanika in simulacije operativnih posegov. Zapletene oblike in naključne nepravilnosti povzročajo zgostitev mreže končnih elementov, kar prispeva k daljšim računskim časom in manjši zanesljivosti simulacij. Robusten geometrijski model omogoča nadomestitev linijskih končnih elementov s ploskovnimi in volumskimi, ki nudijo kvalitetnejši opis napetosti, deformacij, ter interakcije različnih vrst tkiva, posebej pri kompleksnih anatomskih regijah kot so vratna hrbtenica ali notranji organi. S tem je dana osnova za ugotavljanje poškodbenih mehanizmov, kritičnih obremenitev in določitev novih poškodbenih kriterijev.

Raziskava potrjuje pravilnost individualiziranega pristopa k modeliranju človeškega telesa in velik pomen ustrezne verifikacije modela, ki pa je zaradi specifičnosti problematike in objektivnih okoliščin težavna. Izveden je bil sklop trčnih preskusov za verifikacijo sklopljenega modela človeškega telesa. Pri tem je bil uporabljen nov način fiksiranja preskušanca, pri katerem je vratna struktura ostala neprekinjena. S pomočjo temeljite priprave biomehanskih podatkov ter identifikacijo izbranih parametrov modela je bila razlika med izmerjenim in simuliranim odzivom človeškega telesa pri pogojih trka minimizirana.

Raziskave v okviru projekta prispevajo k izboljšavi MKE simulacij napetostno-deformacijskega odziva ter poškodb realnih struktur. Na osnovi nateznih preskusov se razvija sistem za določitev evolucijske enačbe in parametrov materialnega modela s pomočjo genetskega algoritma. Dosedanji razvojni rezultati so bili uspešno uporabljeni in verificirani za primer kovinskih materialov.

Razvoj okolja za interaktivno simulacijo vozne dinamike in upravljanja vozil predstavlja pomemben segment projektnih aktivnosti. Podpira različne vidike obravnave prometne nezgode, od zagotavljanja vhodnih podatkov za simulacijo dinamičnega odziva človeškega telesa, do kontrole in analize rezultatov. Modularna struktura okolja omogoča povezljivost uporabniškega vmesnika z bazo podatkov o vozilih in lastnostih človeškega telesa, modelov vozil in modela človeškega telesa.

Podroben študij anatomije in lastnosti mehkih tkiv je pokazal neposredno uporabno vrednost tudi pri razvoju kirurških tehnik za zdravljenje poškodb, nastalih zaradi prometnih nezgod in drugih vzrokov.

ANG

The content of the project helps enhance and expand the knowledge on the injuries of traffic accident participants, especially in the event of a whiplash associated disorder. The project includes significant factors associated with the occurrence of traffic accidents and characterisation of the exposed anatomic structures.

A detailed examination of the literature and our own research findings enabled identification of key problems in human body modelling for traffic accident analysis. The examination proved inconsistency and unreliability of the available data on mechanical properties of anatomic structures. The effect of deformation velocity and tissue sample preparation on the measured mechanical properties has not been determined yet. Furthermore, there are no standard procedures to determine them. These shortcomings decrease the useful value of commercial software which enables human body modelling in the event of collision.

Within the framework of the project, new methodology for systematic determination of mechanical properties of anatomic structures was developed. A test rig was set up for measuring soft tissue behaviour under vehicle collision conditions with computer supervision of all relevant factors.

The developed hardware and software enable simulation of various time courses of tissue loads which can occur under vehicle collision conditions. The system sensory equipment helps observe the occurrence of soft tissue injuries, while the lower injury limit can be determined by means of histological examination. We rectified the problems which occur during the geometrical modelling of anatomic structures for various fields of work, such as biomechanics and simulation of surgical procedures. Complicated forms and coincidental variability locally increase the number of finite elements and thereby prolong the CPU time and decrease the simulation reliability. With the help of a robust geometric model, linear finite elements can be replaced by surface and solid elements which provide a better description of the strain, deformation, tissue inertia and interaction between various tissues, especially in complex anatomic regions such as cervical spine or internal organs. This provides a basis for the study of injury mechanisms, critical load values and the development of new injury criteria. Research development proves the individualised approach to human body modelling to be correct and shows the immense importance of appropriate model verification which is difficult due to specific issues and objective circumstances. A set of collision tests were carried out to verify the

human body model. A thorough preparation of biomechanical data and identification of the selected model parameters helped minimize the difference between the measured and simulated impact response.

Project research contributes to the improvement of the finite element method for the simulation of the stress-strain response and occurrence of the material damage. In accordance with experiment results of the monotonous and dynamic tests on soft tissue of the human body, a system is being developed for determining evolutionary equations of the material model and material model parameters by means of a genetic algorithm.

Development results so far have been successfully applied and verified when metal materials are used. Development of the software application for interactive simulation of ride dynamics and vehicle control is a vital part of project activities. It needs to support different aspects of traffic accident analysis, including input data for simulation of the human body dynamics and result analysis. Modular structure of the software application enables interoperability between user interface and the vehicle and biomechanical database, vehicle models and the human body model.

A detailed study of the anatomy and soft tissue properties also proved to be useful in the development of surgical techniques for the treatment of traffic accident and other injuries.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Negativni učinki posledic prometnih nezgod predstavljajo veliko obremenitev slovenske družbe in gospodarstva, saj so prometne nezgode pogost vzrok smrti in invalidnosti delovno sposobnih prebivalcev. Velike stroške povzroča tudi dolgotrajna rehabilitacija poškodavancev, dolgotrajni sodni postopki ter visoki odškodninski zahtevki. Vsebina projekta je usmerjena k boljšemu razumevanju in zanesljivejšemu vrednotenju poškodb udeležencev v prometnih nezgodah, kar prispeva k objektivnejši in hitrejši analizi nezgodnih primerov v praksi.

Projekt je zasnovan večdisciplinarno ter je učinkovito izpolnil zastavljene cilje. Projektne aktivnosti so povezale strokovnjake različnih področij ter prispevale k premostitvi institucionalnih in komunikacijskih ovir. Projekt deluje integrativno ter vzpodbuja sinergijske učinke pri aktivaciji raziskovalnih in drugih potencialov v slovenski družbi. Predstavitev dosedanjih rezultatov projektnih aktivnosti je vzbudila velik interes in potrebo po nadaljnjem širjenju projektnih vsebin. Na sodelujoče v projektu je bilo naslovljenih več zahtevkov za izdelavo ekspertnih mnenj v primerih analize prometnih nezgod, ki zahtevajo poglobljeno obvladovanje temeljnih znanj s področja biomehanike, tehnike vozil, računalniških simulacij in medicine.

Rezultat raziskav na področju razvoja programskih orodij za simulacijo ter prikaz dinamike vozil in človeškega telesa je prilagodljiva in prenosljiva programska aplikacija, ki je široko uporabna na več področjih. Ker omogoča interaktivno simuliranje vozne dinamike, je primerna za spremljanje obnašanja vozil pri poučevanju, pri analizah v fazi snovanja vozil in pri analizah sposobnosti obstoječih vozil. Skupaj z vključenim razvitim modelom človeškega telesa je na ta način možno tudi neposredno ugotavljanje obremenitev potnikov v vozilih.

Člani projektne skupine so bili vključeni v razvoj jeklene varnostne ograje, katerega cilj je ublažitev poškodb udeležencev v prometnih nezgodah. Za zahtevne MKE simulacije so bili pripravljene podrobni geometrijski in numerični modeli različnih tipov vozil na osnovi specializiranih baz podatkov. Raziskava analize dinamike vožnje in upravljanja pri različnih pogojih je pokazala, da lahko realni potek trka vozila v varnostno ograjo bistveno odstopa od določil v mednarodnih standardih, ki predpisujejo testiranje varnostnih ograj. Zasnovana je bila nova izvedba distančnikov in stebričkov varnostne ograje. Simulacije trkov kažejo, da nov predlagan koncept varnostne ograje omogoča ugodnejšo absorpcijo kinetične energije in manjše poškodbe potnikov v vozilih pri trku.

V slovenskem prostoru je mogoče rezultate teh analiz uporabiti na več področjih tehnike in medicine (raziskava in napovedovanje poškodb, ergonomija, pasivna varnost vozil, varnost cestne infrastrukture) ter tudi v zavarovalništvu (analiza stroškov prometnih nezgod), pri delu služb, kot so policija, pravosodje in vzdrževanje cest ter pri pedagoškem delu za izobraževanje in vzgajanje novih strokovnjakov s področja varnosti v prometu.

ANG

The negative effects of traffic accidents have a huge impact on the Slovene society and economy since traffic accidents cause large number of deaths and disabilities among the able-bodied population. Furthermore, long rehabilitation periods, court procedures and high indemnity claims result in high expenses. Project activities are aimed at a better understanding and evaluation of traffic accident injuries which would enable a more objective and faster determination of accident examples in practice.

The project is multidisciplinary and has so far achieved its goals. In project activities, experts from various fields were involved which helped bridge institutional and communication barriers.

The project stimulates synergetic effects during the activation of research and other potentials in the Slovene society. The project results so far have been well received among the experts and the need for further research activities has been established. Project participants were asked to give their expertise for traffic accident analyses which demand expert knowledge on biomechanics, vehicle engineering, computer simulations and medicine. Research in the development of software tools for simulation and presentation of vehicle and human body dynamics has resulted in a flexible and transferable software application which can be applied for various purposes. Since it enables interactive simulation of ride dynamics it is suitable for vehicle behaviour examination which can be carried out during the teaching, the analyses in the phase of vehicle design and analyses of vehicle capability. This, together with the included human body model, enables indirect determination of vehicle occupant loads. Members of the project group were involved in the development of a steel safety barrier the purpose of which is to reduce injuries to traffic accident participants. For the purpose of MFE simulations, detailed geometrical and numerical models of different vehicle types were designed on the basis of a specialised database. Results of the analysis of ride dynamics and vehicle control under various conditions prove that a real-life course of vehicle collision onto a safety barrier significantly differs from Slovene standard provisions which determine the testing of safety barriers. A new design of safety barrier spacers and posts was made for the Slovene territory. Collision simulations show that the new concept enables a more favourable absorption of kinetic energy and reduces injuries to traffic accident participants. In Slovenia, these analyses results can be applied in various fields of engineering and medicine (research and prediction of injury, ergonomics, passive vehicle safety, road infrastructure safety) as well as in the insurance business (analysis of traffic accident costs), traffic safety expert education and the police, justice and road maintenance sector.

10. Samo za aplikativne projekte!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri aplikativnem 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 <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja
	Zastavljen cilj <input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text"/>

F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

11. Samo za aplikativne projekte!

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visoko-šolskega izobraževanja					
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"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
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="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
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="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					

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"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
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"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

--

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki¹¹

1.	Sofinancer			
	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				
2.	Sofinancer			
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje			EUR

		trajanja projekta je znašala:	
		Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	%
		Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra
	1.		
	2.		
	3.		
	4.		
	5.		
Komentar			
Ocena			
3.	Sofinancer		
		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			

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, za objavo 6., 7. in 8. točke na spletni strani <http://sicris.izum.si/> 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:

Ivan Prebil	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Ljubljana

19.4.2010

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/187

¹ Samo za aplikativne projekte. [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja ter rezultate in učinke raziskovalnega projekta. Največ 18.000 znakov vključno s presledki (približno tri strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

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

⁴ Samo v primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite največ pet najpomembnejših znanstvenih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov v slovenskem in angleškem jeziku (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki) v slovenskem in angleškem jeziku, navedite, kje je objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote.

Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>.

PRIMER (v slovenskem jeziku):

Naslov: Regulacija delovanja beta-2 integrinskih receptorjev s katepsinom X;

Opis: Cisteinske proteaze imajo pomembno vlogo pri nastanku in napredovanju raka. Zadnje študije kažejo njihovo povezanost s procesi celičnega signaliziranja in imunskega odziva. V tem znanstvenem članku smo prvi dokazali... (največ 600 znakov vključno s presledki)

Objavljeno v: OBERMAJER, N., PREMZL, A., ZAVAŠNIK-BERGANT, T., TURK, B., KOS, J.. Carboxypeptidase cathepsin X mediates $\beta 2$ - integrin dependent adhesion of differentiated U-937 cells. Exp. Cell Res., 2006, 312, 2515-2527, JCR IF (2005): 4.148

Tipologija: 1.01 - Izvirni znanstveni članek

COBISS.SI-ID: 1920113 [Nazaj](#)

⁶ Navedite največ pet najpomembnejših družbeno-ekonomsko relevantnih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki), izberite ustrezen rezultat, ki je v Šifrantu raziskovalnih rezultatov in učinkov (Glej: <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/sif-razisk-rezult.asp>), navedite, kje je rezultat objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote.

Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>. [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). 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](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2010 v1.00a

BE-9D-CC-F3-0E-78-47-F1-43-C2-A4-19-0C-BD-31-B9-9C-45-2F-0C