



**COBIK**

Center odličnosti za biosenzoriko,  
instrumentacijo in procesno kontrolu



*Naložba v vašo prihodnost*

OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA  
Evropski sklad za regionalni razvoj

# ELABORAT

## Podiplomski študij Materiali in nanotehnologije

Darja Lisjak

Center odličnosti za biosenzoriko, instrumentacijo in procesno kontrolu

2011

## Uvod

Elaborat "Podiplomski študij Materiali in nanotehnologije" je pripravljen v okviru projekta B.18- Podiplomski študij Materiali in nanotehnologije. Namenjen je pregledu obstoječih sorodnih programov. V prvem delu je tako predstavljena Primerjalna analiza sorodnih programov drugih univerz. Izbrala sem po en slovenski, evropski in ameriški program. Na osnovi tega sem pripravila osnovna izhodišča za Podiplomski študij Materiali in nanotehnologije in sicer Študijske obveznosti in predlog predmetnika v drugem delu ter Opis predmetov v tretjem delu.

## 1. Primerjalna analiza sorodnih programov na drugih univerzah

Programe podiplomskega študija Nanotehnologije ali Nanoznanosti smo primerjali med tremi univerzami/šolami:

- 1) Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija – MPŠ; naslov programa Nanoznatnosti in nanotehnologije
- 2) Copenhagen University, Copenhagen Graduate School for Nanoscience and Nanotechnology, Danska – CU; naslov programa Nanoscience
- 3) University of California, Berkeley, CA, ZDA – UCA; naslov programa Nanoscale Science and Engineering

Medtem ko sta programa Nanoznanosti in nanotehnologije na MPŠ in program na Univerzi v Kobenhavnu samostojna, pa navajam UCA kot primer sklopitve "nano" usmeritve z bolj splošnimi osnovnimi programi.

V spodnjih tabelah so navedene primerjave različnih postavk:

- 1) namen/cilji študija – Tabela 1.1
- 2) trajanje študija – Tabela 1.2
- 3) pogoji za uspešen zaključek študija – Tabela 1.3
- 4) študijska usmeritev/predmetnik – Tabela 1.4

**Tabela 1.1:** Namen/cilji študija

MPŠ	CU	UCA
izobraževanje za raziskovalno in razvojno delo na domačih in mednarodnih raziskovalnih ter razvojnih projektih	multidisciplinarno visokokakovostno izobraževanje na področju nanoznanosti in tehnologij, ki pokriva vsa glavna področja bazičnih in uporabnih raziskav v fiziki, kemiji in biologiji	pridobiti razumevanje o širini in omejitvah različnih področij nanoznanosti za študente fizike in inženirstva v povezavi s sorodnimi disciplinami

**Tabela 1.2:** Trajanje študija

MPŠ	CAM	UCA
3 leta	3 leta	ni podatka

**Tabela 1.3:** Pogoji za uspešen zaključek študija (KT = kreditna točka)

MPŠ	CU	UCA
<p>1. opravljene obveznosti pri obveznih in izbirnih predmetih (30 KT obvezne učne vsebine –seminar, 30 KT izbirni predmeti – od tega 6 KT iz "ekonomskih" predmetov in vsaj 1 predmet z 12 KT, 120 KT raziskovalno delo),</p> <p>2. objava/sprejeti v objavo vsaj dve deli v mednarodnih znanstvenih publikacijah ali patentu, od tega vsaj eno v reviji vključeni v SCI ali v Web of Science s faktorjem vpliva,</p> <p>3. uspešen zagovor doktorske disertacije</p>	<p>1. samostojen raziskovalni projekt</p> <p>2. izbrani predmeti, 30 KT (7.5 EKT splošni predmeti, 7.5 EKT bralni klubi/samopoučevanje/neformalni tečaji, ostalo specialni predmeti povezani s smerjo)</p> <p>3. poučevanje in/ali druge oblike posredovanja znanja (npr. udeležba na znanstvenih srečanjih ipd.)</p> <p>4. delo na drugi raziskovalni instituciji ali v drugem raziskovalnem okolju</p> <p>5. doktorska teza</p>	<p>1. en osnovni program (glej zgoraj)</p> <p>2. dva izbirna predmeta iz dveh od področij; nano-sinteza in nano-procesiranje, nano-karakterizacija, nano-modeliranje,</p> <p>3. sodelovanje pri seminarjih,</p> <p>4. doktorski izpit .</p>

**Tabela 1.4:** Študijske smeri

MPŠ	CU	UCA
1. nanomateriali in nanokemija, 2. nanofizika (ki vključuje fiziko tankih plasti, fiziko nanocevk, fiziko lateralnih nanostruktur, fiziko kvantnih pik in metode za analizo nanostruktur in nanomanipulacijo atomov in molekul), 3. bioznanosti, 4. napredni kovinski materiali, 5. nanomehanika (ki vključuje mehaniko časovno odvisnih materialov).	fizika, kemija, biologija	sinteza, karakterizacija, procesiranje, modeliranje nanostrukturnih materialov in naprav

**Tabela 1.5:** Predmetnik

MPŠ	CU	UCA
<p><u>Obvezni predmeti:</u> Individualno raziskovalno delo 1, Seminar I, II in III.</p> <p><u>Izbirni predmeti:</u></p> <p>Analiza in predikcija 3D struktur proteinov, Biokeramični materiali, Biomolekularne simulacije, Dielektrične in toplotne lastnosti nanomaterialov, EPR spektroskopija nanomaterialov, Električne, optične in magnetne lastnosti nanomaterialov, Evolucijska genomika, Fizika materialov, Fizika nanomaterialov, Fizikalno-kemijske lastnosti nanodelcev, Genomske metode in biomreže, Izbrana poglavja iz biofizike, Izbrana poglavja iz imunobiologije, Izbrana poglavja iz sinteze proteinov, Karakterizacija kovinskih materialov, Karakterizacija sestave in strukture, Kemija materialov, Klasični in kvantni kaos, Koloidna in površinska kemija, Magnetna relaksacija in resonanca nanomaterialov, Mehanika živih tkiv, Mehanika kompozitnih materialov, Mehanizem in biološke implikacije agregacije proteinov, Mehatronski in mikromehanski sistemi, Mehka snov, Mikroskopija nanomaterialov, Mikroskopske in mikroanalizne metode, Molekularna biologija, Nanobiofizika, Nanomehanika in časovno odvisni materiali, Nanovarnost, Napredni kovinski materiali,</p>	<p>Elektronske strukturne metode in materiali, Kvantna elektronika, Nanofotonika, Molekularna biotehnologija, Struktura proteinov in modeliranje v biologiji, Kvantna kemija molekul z elektromagnetnimi lastnostmi, Heterologni izrazi, Magnetizem, Anorganska kemija, Molekularni prenos naboja in kemija v biologiji, Polprevodniška tehnologija, Teorija kvantnega polja, Kvantna optika 1 in 2, Določanje strukture proteinov, Strukturna orodja v nanoznanosti, Eksperimentalna fizika rentgenskih žarkov, Podjetništvo znanja, Teorija trdnega stanja II</p>	<p><u>Nano-sinteza in nano-procesiranje:</u> Nano-izdelava, Znanost o makromolekulah v biotehnologiji in medicini, Nanoznanost in nanomateriali na osnovi biologije, Kemija materialov I in II, Uvod v litografijo z elektronskimi žarki in nanoprocesiranje, Mikro-elektromehanski sistemi, Lasersko procesiranje in diagnostika, Magnetizem in magnetni materiali, Površinske lastnosti materialov</p> <p><u>Nano-karakterizacija:</u> Tribologija, Teorija elektronske mikroskopije in rentgenske difrakcije, Elektronska mikroskopija in mikroanalitske tehnike, Sodobne tehnike karakterizacije nanostruktur, Uporabna spektroskopija, Uvod v znanost o površinah</p> <p><u>Nano-modeliranje:</u> Modeliranje v nanomehaniki, Modeliranje v nanoznanosti, Kvantna teorije trdne snovi, Termofizika in prenos toplote</p> <p><u>Nano naprave: Fotovoltaiki – tehnologija materialov</u></p>

nadaljevanje tabele 1.5:

MPŠ	CU	UCA
<p>Ne-Newtonske tekočine, Numerično modeliranje v nanoznanostih, Od kristalov do 3D strukture makromolekul, Površine in mejne plasti, Procesiranje in nanomagnetizem, Programirana celična smrt, Proteinski toksini - karakterizacija in uporaba v celični biologiji, Proteinsko in celično inženirstvo, Proteoliza, Proteolizni encimi in njihovi inhibitorji v diagnozi in terapiji raka, Proteomika, Reologija, Samoorganizacija materije, Sinteza nanomaterialov, Stabilnost, zvijanje in agregacija proteinov, Struktura, dinamika in zvijanje proteinov z NMR, Strukturna biologija proteinov s kristalografijo, Tehnologije oblikovanja nanoprahov, Tekoči kristali, Teorija nanomaterialov, Teorija viskoelastičnosti, Toplotna obdelava in inženiring površin kovinskih materialov, Vakuumistika, Višja mehanika trdnih nanomaterialov, Vloga in pomen živalskih modelov pri razumevanju raka, Zlom in utrujanje materialov. <u>Izbirni "ekonomski" predmeti:</u> Ekonomika za raziskovalce, Industrijsko ekspertno znanje in projektno delo 1, Inovacijski management, Komercializacija tehnologij, Koncept trajnostnega razvoja, Pisanje raziskovalnih projektov, Pisanje znanstvenih dokumentov, Poslovno pravo in reševanje poslovnih sporov, Priprava patentne prijave.</p>	<p>Struktura proteinov in njihova funkcija, Arheo-biologija, Sodobna fizikalna kemija, Biofizikalne tehnike, Izbrana poglavja v teoretični mikrofluidiki</p>	

## 2. Študijske obveznosti in predlog predmetnika

Na osnovi primerjalne analize treh različnih podiplomskih programov s področja nanoznanosti in nanotehnologij ter na osnovi potreb partnerjev COBIK-a, smo sestavili predlog predmetnika za Podiplomski študij Materiali in nanotehnologije. Predlagani predmeti so zbrani v tabeli 2.1. Osnova za predlagane pogoje ter za uspešen zaključek študija in pravice do naziva doktor znanosti pa temeljijo na pogojih naravoslovnih podiplomskih smeri Univerze v Novi Gorici.

Pogoji za uspešen zaključek doktorskega študija:

- 90 KT, od tega: dva izpita iz obveznih predmetov in zadostno število izpitov iz sklopa izbirnih predmetov ali izbranih poglavij,
- Seminar I, II in III,
- uspešno zaključeno raziskovalno delo, ki mora predstavljati originalen doprinos k svetovni zakladnici znanja,
- objava/(sprejeti v objavo) vsaj dve deli v mednarodnih znanstvenih publikacijah ali patent, od tega vsaj eno v reviji vključeni v SCI ali v Web of Science s faktorjem vpliva,
- uspešen zagovor disertacije pred strokovno komisijo, ki jo določi senat.

**Tabela 2.1:** Predlog predmetnika in vrednotenje

vrsta predmeta	predmet	kreditne točke (KT)
obvezni predmet	Fizika materialov	18
	Fizika nanomaterialov	18
	Kemija materialov	18
	Mikroskopske in mikroanalizne metode	15
	Fizikalno-kemijske lastnosti nanomaterialov	15
	Sinteza nanomaterialov	15
	Teorija nanomaterialov	18
izbirni predmeti	Magnetizem in magnetni materiali	12
	Mehatronski in mikromehanski sistemi	15
	Nanomehanika	12
	Kvantna elektronika	12
	Nanofotonika	12
	Polprevodniška tehnologija	12
	Teorija kvantnega polja	15
	Modeliranje v nanoznanosti	15
	Samoorganizacija nanomaterialov	12
izbrana poglavja iz nanoznanosti	Karakterizacija kovinskih materialov	9
	Mehanika kompozitnih materialov	9
	Nanoekologija	9
	Tehnologije oblikovanja prahov	9
	Toplotna obdelava in inženiring površin kovinskih materialov	9
	Višja mehanika trdnih nanomaterialov	9

### 3. Opis predmetov

#### Seminar I, II in III:

*Cilji in vsebina:* Študentje pripravijo predstavitev tematike ali problema v nanoznanosti in nanotehnologiji. Na začetku študija (Seminar I) se posvetijo literturni raziskavi izbrane tematike, ki jo kritično ovrednotijo ter predstavijo. V nadaljevanju (Seminar II in III) pa se danega problema lotijo v okviru samostojnega raziskovalnega dela. Študentske seminarje dopolnijo seminarji vodilni raziskovalcev iz tujine in gospodarstva.

#### Fizika materialov:

*Cilji:* Predmet je izhodišče za fizikalno usmerjene specializirane predmete. Študentom, ki nimajo globljega fizikalnega znanja omogoča razumevanje osnovnih fizikalnih lastnosti materialov ter razumevanje osnovnih fizikalnih mehanizmov obenem pa tudi nadgrajuje izhodiščno znanje z namenom pridobiti znanje za načrtovanje naprednih funkcionalnih materialov.

#### *Vsebina:*

- struktura snovi: urejenost in defekti;
- elektronska struktura snovi: kristali, kovine, polprevodniki/izolatorji;
- lastnosti materialov kot posledica kristalne in elektronske strukture
- magnetizem: diamagnetizem, paramagnetizem, fero/ferimagnetizem, antiferomagnetizem;
- kristalna in magnetna struktura;
- superprevodnost;
- fazni prehodi;
- polimeri;
- tekoči kristali;
- geli;
- koloidi: interakcije med delci, aglomeracija, urejanje.

Fizika nanomaterialov:

*Cilji:* Študenti spoznajo definicijo in pomen nanomaterialov. Spoznajo razliko v strukturi nanomaterialov v primerjavi s volumenskimi materiali. Razumejo posledične razlike v fizikalnih lastnostih. Predstavljeni so jim najnovejši dosežki na področju fizike nanomaterialov.

*Vsebina:*

- fizika različnih oblik nanomaterialov: kvantnih pik, nanocevk, tankih plasti...
- eksperimentalne metode za proučevanje nanomaterialov.

Kemija materialov:

*Cilji:* Predmet je izhodišče za specializirane kemijsko usmerjene predmete. Študenti izpopolnijo in nadgradijo izhodiščno znanje. Spoznajo kemijsko in kristalno zgradbo materialov ter razumejo pomen obeh na fizikalno-kemijske lastnosti. Na tej osnovi razumejo različne oblike in funkcionalnosti materialov ter njihovo sintezo in termodinamska ravnotežja.

*Vsebina:*

- kemijska vez;
- kristalna struktura in defekti;
- fazna ravnotežja in prehodi: termodinamika in kinetika;
- sinteza materialov – mehanizem in kinetika: monokristali, prah, trdnine, plasti, prevleke, polimeri, kompoziti, koloidi;
- primerjava strukture, mikrostrukture in osnovnih lastnosti različnih vrst materialov: kovine, keramika, polimeri, kompoziti, steklo;
- uporabni materiali: elektronski, magnetni, optični, inženirski, okoljski.

Mikroskopske in mikroanalizne metode:

*Cilji:* Študenti pridobijo teoretično znanje o osnovah in uporabnosti mikroskopskih in mikroanaliznih tehnik za karakterizacijo strukture, mikrostrukture in kemijske sestave materialov na mikro- in nanonivoju.

*Vsebina:*

- elektronska mikroskopija: vrstična elektronska mikroskopija (SEM), presevna elektronska mikroskopija (TEM), elektronska difrakcija (SAED);

- tipalna mikroskopija: vrstična tunelska mikroskopija (STM), mikroskopija na atomsko in druge sile (AFM, MFM ...);
- mikroanaliza: energijsko-disperzijska spektroskopija rentgenskih žarkov (EDXS), valovno-disperzijska spektroskopija rentgenskih žarkov (WDXS), spektroskopija izgube energije elektronov (EELS).

#### Fizikalno-kemijske lastnosti nanomaterialov:

*Cilji:* Študentom bo predstavljeno razmerje med nano- in volumenskimi materiali. Razumeli bodo pomen dimenzijsne na kristalno, elektronsko in magnetno strukturo nanomaterialov ter na njihovo kemijsko aktivnost. Tako bodo seznanjeni s širokim spektrom lastnosti materialov. Razumeli bodo, od česa so te lastnosti odvisne ter kako jih izkoriščamo in prilagajamo za določeno uporabo.

#### *Vsebina:*

- kristalna (ne)urejenost in elektronska struktura ;
- elektro-optične lastnosti: kvantne pike, nanocevke, tanke plasti, koloidi.
- magnetne lastnosti: magnetizem in superparamagnetizem;
- kemijske lastnosti nanodelcev: elektrokemijske, katalitske, fotokalitske;
- interakcije med nanodelci in površinska kemija;
- funkcionalizacija nanodelcev;
- (samo)organizacija nanomaterialov.

#### Sinteza nanomaterialov:

*Cilji:* Študentje spoznajo metode sinteze različnih oblik nanomaterialov, njihove omejitve in posebnosti.

#### *Vsebina:*

- sinteza nanodelcev in problematika aglomeracije: sol-gel, soobarjanje, mehanokemijska, hidrotermalna in sonokemijska sinteza;
- sinteza ogljikovih nanomaterialov;
- sinteza tankih plasti: fizikalne in kemijske metode, sinteza iz raztopin in iz suspenzij, sinteza heterostruktur;
- sinteza nanokompozitov.

Teorija nanomaterialov:

*Cilji:* Študenti pridobijo osnove teorije nanomaterialov in spoznajo najnovejše dosežke.

Predmet je osnova za raziskovalno delo na področju nanomaterialov.

*Vsebina:*

- moderne metod statistične fizike pomembne v teoriji nanomaterialov;
- Teorija nanocevk: struktura, mrežna dinamika , elektronske in optične lastnosti, fononski spektri in sorodne lastnosti, Ramanski in infrardeči spektri, tribologija.

Magnetizem in magnetni materiali:

*Cilji:* Predmet je uvod v področje magnetizma v trdni snovi . Študenti spoznajo izvor magnetizma in magnetne materiale ter njihovo uporabnost.

*Vsebina:*

- magnetizem in magnetne interakcije;
- vrste magnetizma: diamagnetizem, paramagnetizem, feromagnetizem, antiferomagnetizem, ferimagnetizem;
- magnetna sklopitev in magnetna struktura;
- mikro- in domenska struktura;
- magnetne lastnosti;
- uporabnost magnetnih materialov;
- merilne tehnike.

Mehatronski in mikromehanski sistemi:

*Cilji:* Študenti spoznajo področje mehatronskih in mikromehanskih sistemov.

*Vsebina:*

- razvoj mehatronskih in mikromehanskih sistemov;
- specifikacija kompleksnih objektov;
- izhodišča za določanje funkcijskih enot;
- predstavitev funkcijskih enot: električne, hidravlične, pnevmatične, biološke,

- kompleksni sistemi: mehanske komponente krmilnih sistemov, elektronski sistemi krmilnikov, senzorji in oblikovanje povratnih zvez, procesni računalniki v mehatronskih in mikromehanskih sistemih.

### Nanomehanika:

*Cilji:* Študentje se naučijo analize časovno odvisnega mehanskega vedenja materialov na mikro- in nanoskali s poudarkom na časovno odvisnih procesih reorganizacije molekularnih struktur in interakciji amorfne in kristalne faze.

#### *Vsebina:*

- fizikalna modifikacija materialov na nanoskali na osnovi mehanike kontinuma;
- karakterizacija materialov na mikro- in nanoskali;
- termodinamska formulacija napetostno-deformacijske zveze;
- integralna formulacija kvazi statičnih in časovno spreminjačih robnih problemov na nanoskali;
- napetostno-deformacijsko valovanje na nanoskali;
- modeliranje nelinearni efektov;
- kvantitativna zveza med nano- in makro-vrednotenjem materialov.

### Kvantna elektronika:

*Cilji:* Študentje spoznajo osnovne kvantno-elektronske naprave in njihovo delovanje.

#### *Vsebina:*

- kvantno-elektronske naprave;
- pojav superprevodnosti na majhni skali: kvantizacija fluksa, Josephsonov pojav in oscilator, kvantna interferenca, visokofrekvenčne komponente in detektorji, standard za napetost, digitalne komponente in detektorji na osnovi enojnega kvantnega fluksa;
- prenos naboja v prostorsko omejenih strukturah: balističen transport, enostaven dvodimenzionalni plin, prevajanje v ozkih kanalih, model Landauer-Büttiker-ja, kvatni Hall-ov pojav, lokalizacija in fluktuacija upornosti;
- hibridne komponente: meja med feromagnetni in polprevodniki ali superprevodniki in kovinami.;

- tunelski pojav posameznega elektrona in Cooper-jevega para v nanospojih: Coulomb-ova blokada, transistor enega elektrona, elektronska črpalka, standard za tok, termometer na osnovi Coulombove blokade.

Nanofotonika:

*Cilji:* Študentje bodo osvojili osnovne pojave in strukture v nanofotoniki.

*Vsebina:*

- osnove fizike optičnih polprevodnikov;
- interakcija med svetlobo in snovjo, valovanje v periodičnih strukturah, rešetke in resonatorji, dvo- in trodimenzionalne fotonske strukture, optična ojačitev v volumenskih in nizkodimezionalnih materialih (kvantne pike, kvantni jaški),
- dinamične lastnosti polprevodniških laserjev in spekter šuma, spontana emisija kvantnega šuma, koherentni pojavi;
- ultra hitra dinamika nosilcev v polprevodnikih, mikrovotline, plazmoni.

Polprevodniška tehnologija:

*Cilji:* Študentje se bodo naučili uporabljati in vrednotiti procesne tehnike za izdelavo integriranih vezij in polprevodniških naprav ter potrebo opremo.

*Vsebina:*

- procesi za izdelavo integriranih vezij in polprevodniških naprav ter mikrosistemov;
- vrednotenje rezultatov procesiranja;
- povezava med fizikalnimi modeli in proizvodnimi procesi.

Teorija kvantnega polja:

*Cilji:* Študentje se bodo spoznali z osnovami teorije kvantnega polja.

*Vsebina:*

- uvod v integralno formulacijo kvantne mehanike;
- razvoj perturbacijske teorije kvantnega polja na osnovi Feynmanovih pravil in diagramov, predstavitev renormalizirane skupine;
- primeri kvantnih teorij: kvantna elektrodinamika, teorije elektronov in fotonov, kvantna kromodinamika, teorija kvarkov in gluonov.

Modeliranje v nanoznanosti:

*Cilji:* Študenti spoznajo najnovejše metode in algoritme v numeričnem modeliranju in obdelavo numeričnih podatkov s področja fizike nehomogenih in slabo kondenziranih sistemov ter se pripravijo na raziskovalno delo na področju numeričnega modeliranja procesov in novih pojavov v nanostrukturah.

*Vsebina:*

- osnovne tehnike v numeričnem modeliranju: numerične simulacije (MC, QMC, MD, CA, ED), observacijski modeli (Transformacije, Algoritmi, Časovne serije);
- modeli v ravnoesni in neravnoesni statistični fiziki: heterogeni sistemi, fazni prehodi, biomembrane;
- modeliranje procesov in novih pojavov v nanostrukturah – primeri: difuzija nanodelcev, rast in nanos tankih plasti, tuneliranje v prisotnosti neelastičnih prostostnih stopenj.

Samoorganizacija nanomaterialov:

*Cilji:* Študenti spoznajo najnovejša spoznanja s tega področja. Predstavimo jim kemijsko-fizikalne pogoje samoorganizacije (makro)molekul in nanodelcev ter ju primerjamo s primeri v naravi. Študenti se pripravijo za raziskovalno delo na področju samoorganizacije nanodelcev v želene makroskopske strukture.

*Vsebina:*

- pojav samoorganiziranih struktur v naravi;
- samoorganizacija (makro)molekul in biološko načrtovanje samoorganizacije;
- samoorganizacija nanodelcev v višje strukture;
- usmerjena organizacija nanodelcev in (makro)molekul;
- uporabnost višje strukturiranih materialov.

Karakterizacija kovinskih materialov:

*Cilji:* Študentje pridobijo teoretično in praktično znanje s področja preizkušanja kovinskih materialov.

*Vsebina:*

- kristalne zgradba kovin in zlitin, napake v kristalni mreži, vrste in vpliv napak na lastnosti kovin in zlitin;
- deformacija kovin: elastične in plastične deformacije, utrjevanje kovin in zlitin;
- mehanske lastnosti in mehanski preizkusi kovin in zlitin;
- lomno-mehanski koncept in preizkusi;
- utrujanje: rast razpoke zaradi utrujanja, hitrost rasti utrujenostne razpoke, določevanje preostale življenske dobe konstrukcijskih elementov, plastičnost in učinki zapiranja razpoke, modeliranje poškodb, loma in napovedi dobe trajanja;
- lezenje: mehanizmi lezenja, deformacija pri lezenju, akumuliranje poškodb in doba trajanja strojnih elementov in kovinskih konstrukcij;
- fraktografija - študij prelomnih površin kovin;
- karakterizacija mikrostrukture kovin in zlitin: metalografija, svetlobna in elektronska mikroskopija, ter elektronske spektroskopije kovinskih materialov.
- karakterizacija tekture kovin in zlitin: uklon rentgenskih žarkov in uklon odbitih elektronov (EBSD);
- karakterizacija površin kovinskih materialov: elektronska spektroskopija, presevna elektronska mikroskopija kovin in zlitin.

Mehanika kompozitnih materialov:

*Cilji:* Predmet podaja osnove kompozitnih materialov in posebnosti nanokompozitov v povezavi z njihovo tehnologijo in posebnostim konstruiranja.

*Vsebina:*

- posebnosti fizikalnega vedenja nanokompozitov pri statičnih in obremenitvah: mehansko vedenje kompozitov in posebnosti nanokompozitov, mikro- in nanomehanske lastnosti enoosno usmerjenih kompozitov, trdnost ortotropnih kompozitov, metode preizkušanja in mehanizmi porušitve, ortotropna fotoelastičnost, mikro- in nanolastnosti večslojnih kompozitov, termalne in higro-napetosti v laminatih, nanomehanika laminatov, udarne in porušne lastnosti kompozitov;
- tehnologije za izdelavo nanokompozitov.

Nanoekologija:

*Cilji:* Študenti spoznajo najnovejše dosežke na področju nanoznanosti za okolje in se pripravijo za raziskovalno delo na izbranih področjih nanoznanosti. Študentje spoznajo potencial nanoekologije in sodobnih smeri razvoja na tem področju, s katerimi je mogoče prispevati k ohranjanju in očiščenju okolja in trajnostnemu razvoju.

*Vsebina:*

- osnovni principi tehnološkega razvoja: analiza obstoječega stanja, vizija razvoja, nastanek nanotehnologije in njen potencial;
- molekularna proizvodnja: nanostroji in pametni materiali, proizvodnja čistega goriva, odprava kemičnega onesnaževanja, zmanjšanje porabe virov;
- pregled nevarnosti nanodelcev ter metod in tehnik zaščite;
- nanoekologija in trajnostni razvoj v praksi: reciklaža, finančna analiza, zasnova projekta in socialni vidik, načrt, izvedba, delovanje in nadzor.

Tehnologije oblikovanja prahov:

*Cilji:* Študenti se seznanijo s tehnologijami oblikovanja uporabnih izdelkov, narejenih iz nanodelcev različnih materialov.

*Vsebina:*

- fizikalno-kemijske osnove postopkov oblikovanja in tehnologij;
- različni postopki oblikovanja: klasični, deformacijsko procesiranje, elektroforetski nanos, "deep-coating", postopki oblikovanja brez kalupa ali orodja;
- merila za načrtovanje postopkov in tehnologij oblikovanja uporabnih izdelkov.

Toplotna obdelava in inženiring površin kovinskih materialov:

*Cilji:* Podiplomski študij tega predmeta nudi znanstveno izpopolnjevanje s področja tehnologij toplotne obdelave in inženiringa površin kovinskih materialov, modeliranja procesov in proizvodnega menedžmenta.

*Vsebina:*

- faze in strukture;
- fazne pretvorbe;
- premena;

- toplotna obdelava;
- trdota in kaljivost;
- jekla in popuščanje jekel:
- posebne toplotne obdelave: nerjavna jekla, orodna in hitrezna jekla, jeklene litine, toplotna obdelava neželeznih zlitin Al, Cu, Mg, Ni in Ti;
- postopki spremnjanja površin: mehansko, toplotno, toplotno-kemijsko;
- postopki za prekrivanje površin: toplotno, mehansko, toplotno-mehansko, kemično, elektrokemično, v parni fazi;
- mejni postopki: ionska implantacija, anodna oksidacija, toplotno-kemično difuzijsko prekrivanje.

Višja mehanika trdnih nanomaterialov:

*Cilji:* Študenti spoznajo posebnosti mehanskega vedenja materialov in konstrukcij na nanoskali.

*Vsebina:*

- klasična mehanika in obravnavo materiala kot kontinuum;
- koncept napetostno-deformacijskega stanja na nanoskali;
- termodinamska teorija trdnih nanomaterialov;
- specialne oblike energijskih funkcij: Mooney-Rivlin, Valanis-Landel;
- konstitutivni model Valanis-Coleman-Gurtin;
- porušitveni kriteriji na nanoskali;
- napoved trajnostne dobe nanokonstrukcijskih elementov;
- koncepti snovanja nanokonstrukcij.

