



Seznam nabízených předmětů pro doktorský studijní program Aplikované vědy v inženýrství

Student v rámci doktorského studia absolvuje alespoň čtyři předměty dle následujícího klíče:

- jeden předmět ze skupiny předmětů teoretického základu
- jeden předmět ze skupiny předmětů oborového základu
- jeden další předmět, kterým si rozšiřuje znalosti úzce související s tématem disertační práce, a které nebyly obsaženy v žádném předmětu předchozího magisterského nebo bakalářského studia (může být ze skupiny teoretického základu i oborového základu, nebo i mimo tuto nabídku – lze volit i předměty vyučované na jiných VŠ)
- předmět Academic English writing and speaking

V souladu s udělenou akreditací musí předměty ISP spadat minimálně do dvou ze tří oblastí vzdělávání dle Nařízení vlády č. 275/2016 Sb. (https://www.msmt.cz/file/48558_1_1/):

- OV 11 Fyzika
- OV 17 Matematika
- OV 27 Strojírenství, technologie a materiály

V Individuálním studijním plánu je vždy uveden název předmětu, jeden vyučující (zkoušející) a obsah předmětu upravený pro potřeby daného studenta.

Do ISP je možné daný předmět zapsat až po dohodě studenta nebo školitele s daným vyučujícím.



1. Předměty teoretického základu

Vybrané partie z matematiky 1 – Lineární algebra

Vyučující: **doc. Ing. Martin Plešinger, Ph.D.**

Tento předmět je určen pro získání hlubších znalostí z vybraných partií matematiky ve skupině matematických předmětů teoretického základu:

- Vlastní čísla, normální a diagonalizovatelné matice, Schurova věta a její varianta v reálném případě. Pseudospektra, field of values, funkce matic.
- Ortogonální transformace (Givensovy rotace a Householderovy reflexe v \mathbb{R}^n a v \mathbb{C}^n), ortogonální a unitární grupy ($SO(n)$, $O(n)$, $SU(n)$, $U(n)$), QR rozklad, Gramův–Schmidtův ortogonalizační algoritmus.
- LU rozklad a jeho numerická analýza, rozklady symetrických pozitivně definitních matic (Choleského rozklad) a symetrických indefinitních matic (Bunch–Kaufman, Bunch–Parlett).
- Singulární rozklad, numerická hodnota matice, komprese dat (např. obrazu) a analýza hlavních komponent, CS rozklady, vzdálenosti a úhly mezi podprostory.
- Úlohy nejmenších čtverců, úplný problém nejmenších čtverců, ill-posed úlohy (deblurring ve zpracování obrazu, tomografické úlohy, ...), regularizace (TSVD, Tichonovská regularizace, hybridní metody).
- Výpočet vlastních a singulárních čísel, mocninná metoda, Arnoldiho metoda a algoritmus, Lanczosova tridiagonalizace, QR algoritmus (a souvislost s QR rozkladem), Golubova–Kahanova bidiagonalizace, Jacobiho matice.
- Metoda sdružených gradientů (CG), minimalizace kvadratického funkcionálu, souvislost s Lanczosovou tridiagonalizací, konvergence, předpokládání, zastavovací kritéria, vliv konečné aritmetiky.
- Klasické iterační metody a další metody Krylovových podprostorů, metody nad ortogonální bází (MinRes, GMRes) a nad biortogonální bází (BiCG), metoda LSQR.
- Efektivní způsoby práce s velkými maticemi: Řídké matice (CSR formát, souřadnicový formát), matice nízké hodnoty (low-rank aritmetika), hierarchické matice.
- Multilineární algebra, tenzory a tenzorové rozklady a formáty uložení dat: vnější součiny a CP (CanDeComp / ParaFac) rozklad, Tuckerův rozklad, tensor-train a tensor-chain rozklady, tenzorové sítě.

Vybrané partie z matematiky 2 – Diferenciální rovnice a numerické metody

Vyučující: **doc. Mgr. Jan Stebel, Ph.D.**, prof. Dr. Ing. Jiří Maryška, CSc., doc. Mgr. Jan Březina, Ph.D., doc. Ing. Jan Šembera, Ph.D.

Tento předmět je určen pro získání hlubších znalostí z vybraných partií matematiky ve skupině matematických předmětů teoretického základu. Předmět zahrnuje moderní numerické metody pro řešení obyčejných a parciálních diferenciálních rovnic s důrazem na kvalifikované použití existujícího software:

- Obyčejné diferenciální rovnice (ODR). Základní typy ODR, existence a jednoznačnost řešení pro ODR 1. řádu, lineární ODR a systémy, základní numerické metody (jednokrokové a více krokové, explicitní a implicitní, Runge-Kuttovy metody, m. sítě pro okrajové úlohy 2. řádu), konvergence, stabilita a řád numerických metod.
- Parciální diferenciální rovnice (PDR). Klasifikace, základní typy lineárních a nelineárních PDR, reprezentační formule a fundamentální řešení, teorie slabých řešení pro eliptické a parabolické rovnice 2. řádu. Metoda konečných prvků, globální a lokální algebraická reprezentace, stabilizace, aproximační vlastnosti, řád konvergence. Metoda konečných objemů, diskretizace difúzních a advekčních členů, schémata vyšších řádů. Nespojitá Galerkinova metoda.



- Vybrané kapitoly z funkcionální analýzy. Abstraktní prostory (metrické, Banachovy, Hilbertovy prostory), lineární a kompaktní operátory, slabá konvergence, prostory diferencovatelných a integrovatelných funkcí (Lebesgueovy, Sobolevovy p.), variační metody pro abstraktní rovnice a minimalizační úlohy (Galerkinova, Ritzova m.).

Vybrané partie z matematiky 3 – Statistika a analýza dat

Vyučující: **doc. Mgr. Jan Březina, Ph.D.**, prof. RNDr. Jan Pícek, CSc.

Cílem předmětu je prohloubit znalosti o základních metodách matematické statistiky a analýzy dat a seznámit se pokročilejšími metodami, přičemž velký důraz je kladen na mnohorozměrné metody: Alternativní postupy ke statistickým postupům založeným na předpokladu normality: neparametrické a robustní postupy při odhadování a testování hypotéz; korelační analýza; lineární regrese, testy a odhady v regresi, základy regresní diagnostiky; mnohorozměrná statistická analýza: pojem oblasti spolehlivosti, základní odhady a testy, Hotellingův test; metoda hlavních komponent, faktorová analýza; vybrané statě ze statistické kontroly jakosti a spolehlivosti; praktické použití nástrojů statistiky na počítači: lineární model, vícefaktorová analýza rozptylu, lineární regrese, neparametrické testy a základy Bayesovských metod.

Vybrané partie z matematiky 4 – Optimalizace

Vyučující: **doc. Ing. Jan Šembera, Ph.D.**

Tento předmět je určen pro získání hlubších znalostí z vybraných partií matematiky, má za úkol poskytnout potřebné znalosti ve skupině předmětů teoretického základu. Předmět rozšiřuje znalost a kompetence v oblasti základních a pokročilých metod řešení optimalizačních úloh. Po absolvování předmětu je student schopen správně zformulovat optimalizační úlohu pro řešení problému ve své specializaci, vybrat vhodnou metodu pro její řešení a navrhnout příslušný algoritmus, případně použít specializovaný software.

- Metody pro řešení optimalizační úlohy bez omezujících podmínek: Nelderova-Meadova metoda, gradientní metody, metoda sdružených směrů ad.
- Optimalizační úlohy s omezujícími podmínkami: Lagrangeovy multiplikátory, Karush-Kuhn-Tuckerovy podmínky. Metoda vnitřního bodu.
- Lineární a kvadratické programování – Simplexová metoda a Wolfeho algoritmus.
- Smíšené celočíselné programování: Metoda větví a mezí.

Vybrané partie z fyziky 1 – Elektřina a magnetismus

Vyučující: **prof. Ing. Pavel Mokrý, Ph.D.**, Ing. Pavel Márton, Ph.D.

Tento předmět je určen pro získání hlubších znalostí z vybraných partií fyziky, ve skupině fyzikálních předmětů teoretického základu:

- Maxwellovy rovnice, vlastnosti Maxwellových rovnic z pohledu teorie řešení parciálních diferenciálních rovnic. Langraengův a Hamiltonův formalismus popisu elektrodynamického pole.
- Elektrostatika v látkovém prostředí, termodynamický popis elektrických vlastností materiálů.
- Elektrodynamika ustálených a oscilujících proudů v materiálech.
- Magnetostatika, popis magnetického pole pomocí multipólových rozvojų.
- Magnetické vlastnosti látek a jejich termodynamický popis.



- Elektromagnetické vlnění. Šíření elektromagnetických vln v látkovém prostředí a zejména v anizotropních krystalech. Šíření elektromagnetických vln v kompozitních systémech, teorie plazmonů a evanescentních vln.
- Elektrodynamika pohybujících se těles, speciální teorie relativity.
- Teorie elektromagnetických metamateriálů.

Vybrané partie z fyziky 2 – Optika

Vyučující: **doc. RNDr. Miroslav Šulc, Ph.D.**

Tento předmět je určen pro získání hlubších znalostí z vybraných partií fyziky, ve skupině fyzikálních předmětů teoretického základu:

- Polarizace světla, Fresnelovy rovnice, elipsometrie.
- Optika anizotropních prostředí, Pockelsův, Kerrův, Faradayův jev, fázové modulátory, rotátory, izolátory, optická aktivita.
- Koherence světla, termické zdroje chaotického světla, zdroje koherentního světla – lasery. Časová koherenční funkce, prostorová koherence.
- Základy interferometrie, dvoupraprsková interference s dělením amplitudy: Michelsonův, Mach-Zehnderův, Twyman-Greenův interferometr. Fabry-Perotův interferometr, technické a vědecké aplikace interferometrie.
- Fourierovská optika, lineární optický systém, impulsová odezva, komplexní funkce přenosu, konvoluční teorém, vlastní funkce a vlastní hodnoty lineárního systému. Funkce přenosu při zcela koherentním, nekoherentním a částečně koherentním osvětlení. Optická Fourierova transformace.
- Difrakce. Podstata difrakce, kulová a rovinná vlna, Huygensův-Fresnelův princip (Fresnelovy integrály, Cornuova spirála). Kirchhoffova aproximace, Fresnelova a Fraunhoferova difrakce, lineární filtrace prostorových frekvencí.
- Svazková optika, Gaussovské svazky.
- Optické prvky a systémy, jejich vlastnosti. Způsoby navrhování optických systémů.

Vybrané partie z fyziky 3 – Fyzikální procesy v horninovém prostředí

Vyučující: **doc. Ing. Milan Hokr, Ph.D.**, doc. Ing. Otto Severýn, Ph.D.

Tento předmět je určen pro získání hlubších znalostí z vybraných partií fyziky, ve skupině fyzikálních předmětů teoretického základu:

- Proudění v porézním prostředí, hydraulika podzemní vody, vztahy pro makroskopické vlastnosti z křivky zrnitosti.
- Transport rozpuštěných látek advekcí a hydrodynamickou disperzí, sorpční rovnováhy mezi vodou a horninovou maticí, transport nerozpuštěných částic.
- Nelineární jevy související s prouděním a transportem – částečně saturované prostředí, transport látky s nelineární adsorpcí, vícefázové proudění.
- Mechanika hornin a zemin, přehled nelineárních konstitučních vztahů. Metody pro popis distribuce a chování nespojitosti v hornině (puklin).
- Vybrané sdružené procesy - např. proudění s nehomogenní hustotou, poroelasticita. Transport tepla v systému voda-hornina.
- Aplikace v ložiskovém inženýrství., geotermální energii, ukládání vyhořelého jaderného paliva.



Vybrané partie z fyziky 4 – Mechanika tekutin a termomechanika

Vyučující: **prof. Ing. Tomáš Vít, Ph.D.**, prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.

Tento předmět je určen pro získání hlubších znalostí z vybraných partií fyziky, ve skupině fyzikálních předmětů teoretického základu:

- Základní bilanční rovnice, konstitutivní rovnice, základní modely pro newtonské a ne-newtonské tekutiny. Proudění nestlačitelné tekutiny, stabilita proudění, proudění v mezních vrstvách, ztráta stability a turbulentní proudění, modely turbulence, transport skalární veličiny. Proudění stlačitelné tekutiny, proudění v tryskách a difusorech. Experimentální a numerické metody v mechanice tekutin.
- Základní termodynamické zákony, termodynamické procesy v ideálním a reálném plynu, zkapaňování reálných plynů, kritické podmínky, termodynamické pochody a cykly, kondenzace a vypařování, problematika vedení tepla v tuhých tělesech, problematika volné a nucené konvekce, sdílení energie radiací, chemické procesy spalování, typ reakce, výpočetní metody určování produktů a reaktantů v chemických procesech, změny formy energie, exergie, anergie, metodika stanovení účinnosti termodynamických procesů.

Vybrané partie z fyziky 5 – Fyzika pevných látek

Vyučující: **prof. Ing. Pavel Mokřý, Ph.D.**, Ing. Pavel Márton, Ph.D.

Tento předmět je určen pro získání hlubších znalostí z vybraných partií fyziky, ve skupině fyzikálních předmětů teoretického základu:

- Rozšíření znalostí z fyziky dielektrik piezoelektrických a feroických materiálů se zaměřením na dielektrické a elektromechanické vlastnosti, termodynamický popis,
- Význam doménových struktur, metody charakterizace dielektrických a elektromechanických vlastností feroelektrik ve formě tenkých filmů, monokrystalů a keramik.

Chemie pro materiálové inženýrství

Vyučující: **prof. Dr. Ing. Miroslav Černík, CSc.**, prof. Ing. Josef Šedlbauer, Ph.D.

Tento předmět je určen pro získání hlubších znalostí z chemie materiálů. Má za úkol poskytnout potřebné znalosti ve skupině předmětů teoretického základu pro ty studenty doktorského studia, kteří neměli v průběhu předchozího studia předměty zaměřené na detailnější pochopení jednotlivých kapitol chemie.

Jedná se o tyto oblasti:

- Obecná a fyzikální chemie – struktura atomu, jaderné reakce, radioaktivita, elektronový obal, chemická vazba, skupenské stavy látek, disperzní soustavy (nanomateriály), koloidní chemie, chemická kinetika, termodynamika, termochemie, chemické rovnováhy, acidobazické a oxidačně-redukční děje, chemické výpočty.
- Anorganická chemie – vlastnosti a reaktivita vybraných kovů, anorganických látek, plynné látky, kapalné látky, acidobazická činidla, oxidační a redukční činidla, ionty ve vodných roztocích, soli a jejich rozpouštění, intermetalické fáze, karbidy, nitridy a další pevné sloučeniny.
- Organická chemie – struktura organických sloučenin, alifatické a aromatické sloučeniny (elektronové konfigurace, typické reakce), deriváty organických sloučenin (halogen, alkoholy a ethery, alkoholy a ketony, organické kyseliny), heterocyklické sloučeniny, a jejich reaktivita a využití v organických syntézách.



2. Předměty oborového základu

Algoritmy a datové struktury pro matematické modelování

Vyučující: **doc. Mgr. Jan Březina, Ph.D.**, Ing. Roman Špánek, Ph.D., Mgr. Jiří Vraný, Ph.D., doc. Ing. Dalibor Frydrych, Ph.D., doc. Ing. Jiřina Královcová, Ph.D.

Cílem předmětu je seznámit s informatickými nástroji hojně využívanými v numerických simulacích a při zpracování dat. Jedná se zejména o metody strojového učení, práce s rozsáhlými soubory dat, paralelní výpočty a pokročilé partie vybraných programovacích jazyků.

Předmět zahrnuje následující tematické okruhy:

- **Algoritmy a datové struktury vhodné pro zpracování rozsáhlých dat.** Okruh zahrnuje současně i metody strojového učení s učitelem i bez učitele aplikované na zpracování rozsáhlých dat včetně neuronových sítí a jejich aplikací pro tyto účely.
- **Prostředky zpracování/uložení velkých objemů dat.** Porovnání existujících SW řešení a knihoven. Způsoby uložení a optimalizace přístupu k velkým objemům dat.
- **Techniky paralelního a distribuovaného programování.** Metodiky návrhu paralelních algoritmů, analýza výkonnosti paralelního zpracování a možnosti distribuce algoritmů a programů. Synchronizace v paralelním a distribuovaném programování. Varianty kolektivní a distribuované komunikace. Možnosti paralelizace často se vyskytujících vědeckých úloh a možnosti využití distribuce pro zvýšení robustnosti takovýchto softwarových řešení.
- **Možnosti implementace paralelních algoritmů.** Zvládnutí pokročilých technik pro implementaci paralelních algoritmů, prostředky jazyka C++/Java, prostředí jazyka R a jeho možnosti v paralelním programování.
- **Python pro vědecké výpočty.** Zvládnutí základů jazyka Python a knihoven pro vědecko-technické výpočty. NumPy, SciPy, Pandas, SymPy, matplotlib, scikit.

Matematické modelování vybraných problémů mechaniky kontinua

Vyučující: **doc. Ing. Petr Henyš, Ph.D.**, doc. Ing. Antonín Potěšil, CSc., Ing. Josef Novák, Ph.D.,

Cílem absolvování předmětu je získat znalosti z vybraných pasáží mechaniky kontinua, zejména z oblasti mechaniky pružných, pružně-plastických a hyperelastických těles. V předmětu se student postupně seznámí s:

1. Vnitřní silové účinky, napjatost a přetvoření, deformace, pevnostní podmínky a základy mezních stavů napjatosti
2. Teplotně strukturální úlohy mechaniky
3. Cauchyho lineární kontinuum, deformační energie a okrajové podmínky
4. Fenomenologické materiálové modely a homogenizace; jejich použití a jejich omezení
5. Slabá forma Cauchyho rovnic rovnováhy, variační počet a princip virtuálních prací, okrajové podmínky
6. Galerkinova ortogonalita, diskretizace geometrie and konečné prvky, integrování na simplexech
7. Algoritmy metody konečných prvků: skládání matic, řešení algebraických rovnic
8. Formy zobrazení skalárních, vektorových a tenzorových výsledků a jejich interpretace



Metody simulace sdružených procesů

Vyučující: **doc. Ing. Milan Hokr**, Ph.D., prof. Dr. Ing. Jiří Maryška, CSc., doc. Ing. Otto Severýn, Ph.D.

Předmět je zaměřen na matematický popis, numerické řešení a praktické aplikace sdružených fyzikálních jevů, zahrnující obecnou klasifikaci a metody řešení, s využitím aplikačních příkladů tepelných, mechanických a hydraulických procesů v porézním prostředí.

V teoretické úrovni je zahrnuto rozlišení úrovní vazby mezi jevy (rovnícemi) – slabě/silně sdružené, přímo/nepřímo sdružení a obecné typy numerických schémat (plně sdružení, staggered, štěpení operátoru). Konkrétní fyzikální jevy jsou např. proudění s proměnnou hustotou, vícefázové proudění, poroelasticita. Dle zaměření studenta může předmět rozšířit i speciální nelineární jevy - proudění v částečně saturovaném prostředí, transportu látky s adsorpcí, proudění v systémech voda-plyn, případně voda-ropa-plyn, kombinace proudění v porézním prostředí s prouděním v potrubích.

Konkrétní realizace numerického řešení jsou demonstrovány na pokročilých softwarech pro simulace proudění a transportu podzemních vod a dle svého zaměření se student seznamuje aktuálními postupy a výsledky v modelování a interpretaci výsledků experimentů v souvislosti např. s hlubinným ukládáním jaderného paliva, geotermální energií, nebo podzemními zásobníky plynu.

Modelování transportně-reakčních procesů

Vyučující: **doc. Ing. Jan Šembera**, Ph.D.

Předmět Modelování transportně-reakčních procesů rozšíří znalosti a kompetence studenta v oblasti formulace úloh, ve kterých se projevuje zároveň vliv transportních jevů, jako je advekce, konvekce, disperze či difuze, a vliv jevů reakčních, jako jsou nejen sorpce, radioaktivní či jiné rozpady a kinetické přeměny, ale zejména geochemické interakce, jako je rozpouštění a srážení minerálů, rovnovážné interakce v roztoku, vliv pH a teploty. Část předmětu je také věnována přístupům k řešení úlohy jednak metodou rozdělení operátoru, jednak jako sdružené úlohy.

Tématy zahrnutými v předmětu jsou tedy:

- Matematická formulace transportních, rovnovážných, kinetických a sdružených transportně-reakčních úloh, Advekčně-difuzně-reakční rovnice, Soustavy diferenciálně-algebraických rovnic.
- Aplikace metody rozdělení operátoru, Runge-Kuttovy metody, metody konečných objemů, metody konečných prvků a metody konečných diferencí pro úlohu transportu hmoty a chemických reakcí v roztoku a horninovém prostředí.
- Metody řešení soustav diferenciálně-algebraických rovnic.
- Alternativní přístup: mřížková Boltzmannova metoda.



Výpočetní modelování proudění

Vyučující: **doc. Ing. Petr Šidlof, Ph.D.**, doc. Mgr. Jan Stebel, Ph.D.

Předmět uvede posluchače do problematiky výpočetní mechaniky tekutin (CFD). Posluchači se seznámí se základními numerickými metodami pro řešení úloh proudění a transportu, s obecným schématem řešení praktických úloh CFD i s jeho realizací v open-source knihovně OpenFOAM, případně komerčním prostředí COMSOL Multiphysics nebo ANSYS/Fluent. Po absolvování předmětu je student schopen sestavit vhodný model pro řešení jednoduchých úloh proudění a transportu a řešit jej v některém z dostupných výpočetních prostředí.

Tematické okruhy:

- CFD: Základní rovnice mechaniky tekutin, okrajové podmínky, matematické modely v CFD. Přehled numerických metod v CFD. Výpočetní sítě, jejich typy a vlastnosti. Míry kvality sítě, zjemňování. Metoda konečných objemů (MKO) pro Navier-Stokesovy rovnice na nestrukturovaných sítích. Prostorová a časová diskretizace, linearizace. Řešení systémů algebraických rovnic, paralelizace. Postprocessing a validace výsledků.
- Numerické metody: Základní rovnice mechaniky tekutin. Řešení lineární transportní rovnice a rovnice konvekce-difúze metodou konečných objemů (MKO), metodou konečných prvků (MKP) a nespojitou Galerkinovou metodou. MKP pro vazké proudění nestlačitelné tekutiny. MKO pro hyperbolické zákony zachování. Časová diskretizace. Konvergence a stabilita numerických metod.

Digitální holografie

Vyučující: **Ing. Pavel Psota, Ph.D.**, Ing. Vít Lédl, Ph.D.

Cílem předmětu je získat odborné znalosti v oboru holografie se zaměřením na měřicí digitálně holografické metody.

V rámci předmětu budou probírána témata:

- záznam a rekonstrukce hologramů,
- rekonstrukce digitálních hologramů,
- mimoosová i osová holografická uspořádání,
- holografie s řízeným posunem fáze,
- Fourierovská digitální holografie,
- klasická i digitální holografická interferometrie - princip, pokročilé metody zpracování fázových map (filtrace, demodulace, korekce zkreslení,...),
- digitální holografická mikroskopie a tomografie,
- měření různých veličin standardními i nestandardními holografickými technikami.



Fotonika

Vyučující: **prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.**, Ing. Vít Lédl, Ph.D., Ing. Bc. Jiří Primas, Ph.D.

Předmět shrnuje vybrané partie z kvantové optiky a elektroniky, se zaměřením na laserové zdroje záření, polovodičové zdroje záření a detektory záření. Přednášená témata jsou doplněna praktickými aplikacemi ve výzkumných laboratořích Technické univerzity v Liberci.

Přednášky zahrnují zejména následující témata:

- Interakce fotonů s atomy – spontánní emise, absorpce a stimulovaná emise.
- Koherentní optický zesilovač – zisk zesilovače, fázové posunutí a frekvenční pásmo zesilovače.
- Čerpání optického zesilovače – čtyřhladinové a tříhladinové čerpání, příklady čerpání.
- Nelinearita a saturace – satureovaný koeficient zesílení, zesilovače s homogenním a nehomogenním rozšířením.
- Lasery – teorie laserových oscilací, optické rezonátory a zpětná vazba, podmínky vzniku laserových oscilací.
- Vlastnosti laserového záření – vnitřní a výstupní fotonový tok, spektrální složení a modová struktura laserového záření.
- Impulsní lasery – spínání zisku, spínání jakosti Q dutiny, otevírání dutiny, modová synchronizace, příklady pulsních laserů.
- Fotony v polovodičích – energetické pásy, koncentrace elektronů a děr, generování, rekombinace a injekce.
- Interakce fotonů s elektrony a dírami – mezipásová absorpce a emise, rychlosti absorpce, spontánní a stimulované emise.
- Luminiscenční diody – injekční elektroluminiscence, charakteristiky luminiscenčních diod.
- Polovodičové laserové zesilovače – koeficient zesílení, šířka pásma, čerpání, špičkový koeficient zesílení.
- Polovodičové injekční lasery – zesílení, zpětná vazba a oscilace, laserový práh, spektrální složení a modová struktura.
- Vlastnosti polovodičových fotodetektorů – vnější a vnitřní fotoefekt, kvantová účinnost, citlivost, doba odezvy, vnitřní zisk.
- Polovodičové fotodetektory – fotodopory, fotodiody, lavinové fotodiody, šum fotodetektorů.

Global Imaging Methods

Vyučující: **prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.**, Ing. Darina Jašíková, Ph.D., Ing. Michal Kotek, Ph.D.

Předmět shrnuje vybrané partie optických metod měření v experimentální mechanice tekutin a vícefázových prostředích, které nacházejí uplatnění v aplikovaném výzkumu a průmyslové praxi. Seznamuje studenty s moderními kvantitativními vizualizačními metodami zahrnující zejména metody laserové anemometrie (LDA, PIV, Micro PIV, Time Resolved PIV), bezdotyková měření teplotních i koncentračních polí (PLIF), určování charakteristik sprejů (IPI) apod. Přednášená témata jsou doplněna praktickými aplikacemi ve výzkumných laboratořích Technické univerzity v Liberci.

Přednášky zahrnují zejména následující témata:

- Zdroje a detektory optického záření a vlastnosti koherentního záření.
- Laserová dopplerovská anemometrie (LDA) – dopplerovský model a interferenční model.
- Geometrická uspořádání LDA, optická sonda LDA a její vlastnosti, dopplerovský signál.



- Stopovací částice – dynamické a optické vlastnosti, koncentrace a sycení.
- Komponenty systému LDA, Braggova cela a procesory LDA pro zpracování dopplerovského signálu.
- Analýza dat LDA – momentová a spektrální analýza.
- Faktory ovlivňující LDA měření, limity a systematické chyby.
- Metoda PIV (Particle Image Velocimetry) – principy záznamu a analýzy PIV obrazů, uspořádání komponent systému.
- Metody zpracování PIV záznamů.
- Systematické chyby a limity PIV metody.
- Metoda 3D PIV a Time Resolved PIV – rozšíření PIV metody, interpretace 3D a vyhodnocení časových dat.
- Metoda Micro PIV a její aplikace v microfluidice.
- IPI metoda pro diagnostiku a vyhodnocení charakteristik sprejů a bublinek – principy, interpretace výsledků.
- Metody PLIF – princip fluorescence, měření teplotních polí, koncentrací mísitelných kapalin a pH.
- Metody kvantitativní vizualizace, využití vysokorychlostní záznamové techniky a vyhodnocení dat.

Vlnová optika

Vyučující: **Ing. Marek Škereň, Ph.D.**

Přednáška se zabývá šířením elektromagnetického pole ve vakuu a obecném izotropním a anizotropním prostředí. Cílem je zejména porozumění popisu interakce pole s materiálem a jeho vlivu na proces šíření optických vln. Ve druhé části je pozornost věnovaná statistickým vlastnostem světla a interferenčním procesům včetně vybraných aplikací (zejména vícevlňové interferenci na tenkých optických vrstvách). Přednášky zahrnují následující témata:

- Kmitání a vlnění – lineární systémy a komplexní symbolika, analogie mechanického kmitání a vlnění s elektromagnetickou problematikou, disperze, útlum, grupová rychlost, stojaté vlny, šíření energie, nelineární systémy.
- Optická vlna ve vakuu – vlnová rovnice, rovinná harmonická vlna.
- Optická vlna v obecném lineárním izotropním prostředí – vlnová rovnice, Helmholtzova rovnice, disperzní rovnice, komplexní vlnové číslo.
- Disperze a absorpce v homogenním prostředí – disperze dielektrických vlastností, disperze vodivosti, Rayleighův rozptyl a disperze.
- Optická vlna v nehomogenním prostředí – průchod světla spojitě nehomogenním prostředím, paprsková optika, rozhraní dvou homogenních prostředí, Snellovy zákony a Fresnelovy vztahy.
- Vybrané speciální optické svazky – Gaussovský svazek, Gauss-hermitovské svazky, Gauss-laguerovské svazky, Besselovské svazky.
- Optická vlna v anizotropním prostředí – rovinná vlna v anizotropním prostředí, dvojlomné prostředí, Fresnelovy rovnice, normálový elipsoid, indexová a normálová plocha, dvojlom a dvojdraz, indukovaná anizotropie, dichroizmus, optická aktivita.
- Polychromatické vlny a jejich statistické vlastnosti – časová koherence, prostorová koherence, statistické projevy polarizace kvazimonochromatické vlny.
- Dvouvlňová interference světla a interferometrie – dvouvlňová interference, interferometry a interferometrie.



- Vícevlňová interference světla a tenké optické vrstvy – přibližné řešení soustavy tenkých vrstev, maticový popis systému tenkých vrstev, periodické systémy vrstev v maticovém popisu, aplikace tenkých vrstev.

Difrakce světla a holografie

Vyučující: **Ing. Marek Škereň, Ph.D.**

Přednáška se zabývá problematikou difrakce světla na různých typech optických struktur. První část je věnována zejména skalárním teoriím a popisu difrakce na aperturách. Ve druhé části jsou předmětem zájmu periodické systémy tenkých a objemových difrakčních mřížek. Poslední část přednášky se věnuje holografii, holografickým technikám, záznamovým materiálům a také obecným difrakčním strukturám. Přednášky zahrnují následující témata:

- Skalární teorie difrakce – základy skalární teorie difrakce, Fresnelův, Kirchhoffův a Sommerfeldův přístup, ideový náhled na problematiku, nekonzistence.
- Přístup fourierovské optiky – lineární přenosové systémy, difrakce jako přenosový systém, elementy rigorózní teorie difrakce.
- Fresnelova a Fraunhoferova difrakce – Fresnelovo a Fraunhoferovo přiblížení skalárního difrakčního integrálu, limity, příklady, analytické výpočty, Cornuova spirála a jiné grafické interpretace, numerické simulace.
- Difraktivní struktury – tenké mřížky – mřížková rovnice, difrakční účinnost tenké mřížky, příklady tenkých mřížek, prostorově omezená mřížka, Fresnelova difrakce na tenké mřížce - Talbotův jev.
- Difraktivní struktury – objemové mřížky – objemový synchronismus, Braggova podmínka, selektivita objemové mřížky, Kogelnikova teorie, přibližné a rigorózní metody, ukázka numerických simulací.
- Holografie – základy holografie, transmisní hologramy, reflexní hologramy, kopírování hologramů, různé geometrie záznamu, duhové hologramy, holografické stereogramy, barevné hologramy, aplikace.
- Realizace difraktivních struktur – záznamové materiály, jejich výroba a zpracování – SHG, DCG, polymery, rezisty, syntetické metody realizace – elektronová a laserová litografie, dynamické prvky.
- Obecné difraktivní struktury – syntetické hologramy, různé přístupy k návrhu syntetických struktur.

Měření mechanických veličin

Vyučující: **doc. Ing. Antonín Potěšil, CSc.**, doc. Ing. Petr Šidlof, Ph.D.

Cílem předmětu je poskytnout studentům přehled o experimentálních metodách měření mechanických veličin používaných v technické praxi při analýzách deformací a napjatosti v poddajných tělesech. Zvláštní důraz bude metodám orientovaných na identifikaci materiálových modelů poddajných prostředí (kovy, polymery, adheziva, kompozitní a hybridní materiálové struktury).

Předmět navazuje na dříve prezentované analytické metody řešení vybraných úloh mechanicky poddajných těles, a to v souvislosti s využíváním numerických metod, zejména metody konečných prvků.

Předmět rozšiřuje chápání a poznávání reality deformovatelnosti (tuhosti, poddajnosti) jak jednotlivých poddajných těles, tak jejich soustav, tj. inženýrských konstrukcí a s tím souvisejících popisných způsobů a možností charakterizování jejich odezvy na vnější zatěžovací účinky během provozních podmínek.



Cílem studia tohoto předmětu je rovněž uvědomění si vlivů různých pracovních a klimatických prostředí na postupy, výsledky a zpracování měřených mechanických veličin (teplota, rychlost deformace, vlhkost, záření aj.).

Neklasické optické svazky

Vyučující: **doc. RNDr. Miroslav Šulc, Ph.D.**

Přehled vybraných témat probíraných v rámci předmětu:

Maxwellovy rovnice a vlnová rovnice, Helmholtzova rovnice, Besselova rovnice. Polarizace světla, jejich popis a generace. Paraxiální vlny, sférická vlna a její paraxiální aproximace. Klasický Gaussovský svazek, jeho popis a vlastnosti. Gouyův posun. Šíření Gaussovského svazku optickými prvky. Hermitovské-Gaussovské svazky. Laguerrovské-Gaussovské svazky. Idealizace nedifrakčního svazku, Besselovy svazky. Pseudonedifrakční svazek, Besselův-Gaussovův svazek a způsoby jeho generace. Porovnání vlastností Besselova a Besselova-Gaussova svazku. Mathieuovy a Airiho svazky. Obecný strukturovaný vektorový svazek. Vektorový popis strukturovaných svazků. Neklasické stavy polarizace a způsoby jejich generování. Programové prostředky pro simulace vzniku a určení vlastností svazků. Vlastnosti nedifrakčních svazků, příčný a podélný profil, samoregenerace svazku, energetika svazků. Svazky s více vlnovými délkami. Generace optických substruktur svazku, menších, nežli je vlnové délka. Generace dalekodosahových svazků, generace silných elektromagnetických polí ve svazku. Aplikace strukturovaných svazků, metrologie, interferometrie, přenos informace, užití podélné složky polarizace, mikromanipulace.

Pokročilá optická měření

Vyučující: **doc. RNDr. Miroslav Šulc, Ph.D.**

Přehled vybraných témat probíraných v rámci předmětu:

- Polarizace světla, metody získání polarizovaného světla, měření polarizačního stavu, měření dvojlomu. Neklasické stavy polarizace, jejich realizace a využití v optických měřicích metodách.
- Pokročilé interferometrické techniky, Michelsonův a Mach – Zehnderův interferometr. Homodynamní a heterodynamní interferometrie. Měření tvarů povrchů a homogenity indexu lomu pomocí Twyman-Greenova a Fizeau interferometru, vyhodnocování interferogramů. Sešívací interferometrie. Interferometrie s více vlnovými délkami. Interferometrie v bílém světle. Interferometrie s řízenou změnou fáze. Základy holografie a holografické interferometrie.
- Velmi přesná měření frekvencí, měření indexu lomu, dvojlomu a dalších veličin.
- Využití elektro-optických a akusto-optických modulátorů a deflektorů v optických metodách.
- Optická měření délky, polohy, úhlu, zakřivení a sousosti pomocí triangulace, fotogrammetrických metod, doby letu a pokročilých interferometrických metod.



Senzorika a měřicí systémy

Vyučující: **Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.**, doc. Ing. Milan Kolář, CSc., Ing. Jiří Jelínek, Ph.D., Ing. Bc. Michal Malík, Ph.D.

Přehled vybraných témat probíraných v rámci předmětu:

- Vlastnosti a technické parametry senzorů.
- Sensory pro měření mechanických veličin:
 - měření kinematických veličin (polohy, dráhy, zrychlení) – odporové, indukčnostní, kapacitní, optoelektronické, laserové senzory,
 - měření kinetických veličin (síly, točivého momentu, tlaku) – tenzometry, piezoelektrické senzory,
 - měření průtoku tekutin a výšky hladiny,
 - měření teploty – dotykové (odporové senzory, termočlánky), bezdotykové (pyrometry),
 - měření vlhkosti plynu (psychrometrické, hygrometrické senzory, senzory na základě měření rosného bodu).
- Speciální senzory (měření fyzikálně-chemických procesů, měření magnetických polí, měření optických veličin).
- Sensory pro robotiku.
- Měřicí přístroje (digitální multimetry, osciloskopy, spektrální analyzátoři, měřicí karty a moduly).
- Měřicí řetězce, rozhraní pro vzájemné spojování měřicích přístrojů a výpočetní techniky.
- Chyby senzorů, měřicích přístrojů a řetězců a nejistoty měření.
- Digitalizace signálů (vzorkování a kvantování) - A/D a D/A převodníky, zesilovače, můstky.
- Programovací prostředky měření.

Feromagnetika

Vyučující: **Ing. Miroslav Novák, Ph.D.**, prof. Ing. Pavel Mokřý, Ph.D.

Přehled vybraných témat řešených v rámci předmětu:

- Podstata magnetismu, magnetické vlastnosti atomu, magnetické pole v prostředí, magnetizace, polarizace látky, látky diamagnetické a paramagnetické.
- Feromagnetické a ferimagnetické látky, doménová struktura, pohyb doménových stěn, a její vlastnosti, energetická bilance krystalu feromagnetické látky.
- Makroskopické projevy feromagnetických látek – magnetizační smyčka, popis, metody měření na uzavřených a otevřených vzorcích.
- Magneticky měkké látky – vlastnosti, užití, návrh magnetických obvodů.
- Permanentní magnety – druhy, vlastnosti, užití, návrh.
- Magnetostricce, magnetoelasticita – podstata, užití.
- Matematické modely hystereze – Jiles-Athertonův, Preisachův, Stoner-Wohlfarth, Chuo.
- Řešení nelineárních magnetických obvodů, optimalizační úlohy částí strojů využívající magnetické materiály.
- Feromagnetické látky v paměťových mediích.



Funkcionalizované a inteligentní materiály

Vyučující: **prof. Ing. Jaroslav Nosek, CSc., Dr.h.c.**, prof. Ing. Pavel Mokrý, Ph.D.

Přehled vybraných témat řešených v rámci předmětu:

- Materiálová inteligence. Fyzikální materiálové vlastnosti vážící vstupní veličiny systému (elektrické pole, magnetické pole, mechanické napětí, teplo, světlo) a veličiny výstupní (elektrický náboj/proud, magnetizace, deformace, aj.).
- Konverzní efekty: elektrokaldrický a piezoelektrický obrácený jev. Senzorické a akuační funkce realizované jedním inteligentním prvem. Feroelektrické materiály a jejich charakterizace lineárními piezoelektrickými stavovými rovnicemi. Definice následujících pojmů: elastické, dielektrické a piezoelektrické materiálové konstanty, koeficient elektromechanické vazby, piezoelektrická rezonance, frekvenční spektrum, piezoelektrická tenká vrstva na Si-substrátu. Nelineární vlastnosti piezoelektrických tenkých vrstev. Měření mechanické odezvy (deformace) s využitím laserové interferometrie (double beam laser interferometer).
- Mikroelektromechanické multifunkční systémy (MEMS).
- Ultrazvukový převodník v podobě složeného piezoelektrického rezonátoru s objemovými akustickými vlnami (BAW) a jeho frekvenční spektrum. Matematický přístup k řešení frekvenčního spektra, simulace povrchových deformací s využitím MKP. Ultrazvukový převodník pro lékařskou terapii.
- Senzorické aplikace BAW piezoelektrického rezonátoru: Biosenzory, afinita biosenzorů. immobilizační metody pro dosažení efektivního senzitivního povrchu biosenzoru. Senzory chemických látek. Piezoelektrické senzory využívající povrchových akustických vln (SAW) aplikované pro ochranu životního prostředí.
- Piezoresistivní jev v nepiezoelektrickém materiálu, mikrosenzorické aplikace. Inteligentní senzory, jejich hlavní části, provedení, použití. Inteligentní senzory v řídicím systému.

Metamateriály

Vyučující: **prof. Ing. Pavel Mokrý, Ph.D.**

Předmět představí jednak základní principy funkce elektromagnetických, optických a akustických metamateriálů. Dále studenty seznámí s pokročilými fyzikálními modely vybraných metamateriálů.

Témata zahrnutá v předmětu jsou následující:

- Šíření elektromagnetických vln na rozhraní kovu a dielektrika, plazmony, evanescentní vlny a jejich využití v moderních senzorech.
- Materiály se zápornou permitivitou a permeabilitou, double-negative elektromagnetické a optické metamateriály, split-ring rezonátory.
- Akustické metamateriály se záporným koeficientem stlačitelnosti a zápornou hustotou, fononické krystaly.
- Šíření optických a akustických vln skrz rozhraní mezi materiálem a metamateriálem, akustické metapovrchy.
- Vlastnosti pasivních metamateriálů, princip aktivních a laditelných metamateriálů.
- Využití piezoelektrických a elektrodynamických elektroakustických převodníků pro konstrukci laditelných metamateriálů.
- Principy a metody transformační optiky pro aplikační použití metamateriálů v systémech zneviditelňování, zobrazování, ad.



Membránové technologie

Vyučující: **doc. Fatma Yalcinkaya, M.Sc., Ph.D.**, prof. Dr. Ing. Miroslav Černík, CSc., Ph.D, Ing. Jakub Hrůza, Ph.D.

Předmět se zabývá materiály a technologiemi zaměřenými na membránovou filtraci a separaci. Lze jej rozdělit do následujících skupin:

- Transport látek, srážení a cementace.
- Elektrochemické procesy, kapalinová extrakce, destilace.
- Sorpce a adsorpční izotermy.
- Iontová výměna, zeolity, ionexy.
- Přirozené a nucené principy transportu přes membránu.
- Tlakové membránové procesy.
- Elektromembránové procesy.
- Úprava vod v energetice a průmyslových roztocích.
- Technologie pitných a odpadních vod, úprava roztoků v potravinářství.
- Vývoj nových materiálů a metod.

Metody měření procesů filtrace

Vyučující: **Ing. Jakub Hrůza, Ph.D.**, doc. Ing. Klára Kalinová, Ph.D., Ing. Michal Komárek, Ph.D.

Předmět je zaměřen na procesy separace a filtrace částic z disperzního prostředí. Obecně tyto jevy souvisí s prouděním tekutin skrz porézní materiál, zejména pak nestacionaritu procesu proudění danou změnou jeho struktury. Z tohoto pohledu též předmět zajišťuje znalosti potřebné pro ověřování teoretických předpokladů a simulací proudění porézním materiálem. Předmět lze rozdělit do následujících částí na sebe navazujících:

- Čištění plynů jednorázovými filtry.
- Čištění plynů průběžně regenerovatelnými filtry.
- Čištění kapalin jednorázovými filtry.
- Čištění kapalin průběžně regenerovatelnými filtry.

Metody měření procesu filtrace jsou v předmětu konfrontovány s reálnými požadavky a mezinárodními standardy. Cílem je plynulý přechod od jednoduchých laboratorních testů přes poloproduční zařízení k reálným podmínkám aplikace.

Nanokompozitní membrány

Vyučující: **doc. Fatma Yalcinkaya, M.Sc., Ph.D.**

Náplň předmětu zahrnuje různé typy funkčních nanostrukturních materiálů a membrán pro úpravu vody a jejich aplikace:

- Cílové oblasti pro vývoj nanotechnologií pro úpravu vody a odsolování.
- Likvidace organických látek ve vodě přes nanočástice železa (nanočástice jako katalyzátory, koloidní nanočástice, nanočástice na substrátu, pokročilé oxidační procesy, reakce typu Fentonovy, nulmocné nanoželezo (nZVI), bimetalické nZVI nanočástice).



- Fotokatalýza na nanostrukturovaném titanu pro senzorové aplikace (fotokatalýza na TiO₂ nanomateriálech, fotoelektrokatalýza na TiO₂ nanomateriálech, výroba fotoanod TiO₂, běžné výrobní techniky a substráty pro fotoanody, snímání aplikace fotokatalýzy TiO₂, fotokatalytické stanovení TOC, fotokatalytické stanovení COD, senzorové aplikace fotoelektrokatalýzy TiO₂, fotokatalytická detekce plynu, fotoelektrokatalytické generování analytického signálu, fotokatalytický samočisticí povrch pro zesílení analytického signálu).
- Mezoporézní materiály pro úpravu vody (adsorpce iontů těžkých kovů, adsorpce aniontů, adsorpce organických polutantů, multifunkční modifikace sorbentů, fotokatalytická degradace organických polutantů, znečištění membrán, strategie pro zmírnění zanesení membrán, strukturování povrchu membrán polymerizací grafitu).
- Nanokompozitní tenkovrstvé membrány pro odsolování vody (výroba a charakterizace anorganických plnidel, výroba a charakterizace TFC / TFN membrán, mezifázová polymerace, mezifázová polymerace s anorganickými plnidly, charakterizace TFN nebo TFC membrán).
- Aplikace keramických membrán při úpravě vody (příprava membrán, vytlačování, sol-gelový proces, čištění povrchové vody a mořské vody s použitím keramiky).
- Keramická membránová mikrofiltrace povrchových vod, předběžná úprava s flokulací/koagulací, účinek transmembránového tlaku (TMP) a průtokové rychlosti, čištění ultrazvukem, aplikace keramické membrány v mikrofiltraci a ultrafiltraci odpadních vod, mikrostruktura membrán, povrchové vlastnosti keramických membrán, smáčivost, povrchový náboj.
- Některé budoucí nanotechnologie pro úpravu vody (nanotrubičky, CNT jako vysokopevnostní vlákna, elektrická vodivost, odsolování a adsorpce těžkých kovů, katalytická asistence, zeolitické imidazoláty, metalo-organické materiály, atd.

Textilní struktury pro technické aplikace

Vyučující: **doc. Ing. Klára Kalinová, Ph.D.**, Ing. Michal Komárek, Ph.D.

Přehled vybraných témat probíraných v rámci předmětu:

- Charakteristika struktury netkaných textilií v závislosti na technologickém postupu jejich výroby s ohledem na aplikaci textilie.
- Struktura a vlastnosti vlákněných vrstev vyrobených přímo z polymeru (spunbond, meltblown, ...), mechanicky, termicky a chemicky spojených textilií.
- Vliv parametrů (polymer, tvar) vstupních komponent (vlákna, pojiva, bikomponentní vlákna, ...) na vlastnosti vlákněné struktury s ohledem na požadované parametry aplikace textilie (nehořlavost, chemická, mechanická odolnost, tepelná izolace, zvuková pohltivost, el. vodivost, voděodolnost, vodoodpudivost, adheze, ...).
- Metody přípravy nanovlákněných struktur, modifikace povrchu a morfologie těchto materiálů.
- Tvorba kompozitních struktur s nanovlákněnou komponentou.
- Studované oblasti uplatnění nanovlákněných textilních materiálů.
- Specifické požadavky jednotlivých aplikačních oblastí na vlastnosti materiálů, metody jejich stanovení.



Hluboké neuronové sítě

Vyučující: **doc. Ing. Petr Červa, Ph.D.**, prof. Ing. Jan Nouza, CSc.

Přehled vybraných témat řešených v rámci předmětu:

- Základní typy hlubokých neuronových sítí (HNN), příklady aplikací.
- Učení HNN, algoritmus zpětné propagace a jeho implementace.
- Praktické aspekty trénování HNN: inicializace, nelinearita, regularizace, drop-out, normalizace a příprava dat. Trénování na více GPU (paralelizace).
- HNN typu vícevrstvý perceptron a jejich využití ve zpracování jednorozměrných signálů a klasifikaci.
- Autoenkodéry a jejich aplikace (robustní zpracování signálů).
- Konvoluční neuronové sítě a jejich využití (zpracování obrazu).
- Rekurentní neuronové sítě, architektura typu encodér-dekodér a attention mechanismu
- Architektura typu transformer a její využití (zejména ve zpracování textu).
- Další aktuální architektury neuronových sítí.
- Softwarové nástroje pro práci s NN.

Zpracování a rozpoznávání obrazových dat

Vyučující: **doc. Ing. Josef Chaloupka, Ph.D.**

Předmět si klade za cíl seznámit studenty doktorského studia s postupy automatického zpracování a rozpoznávání obrazu počítačem. Témata přednášek/konzultací:

Zpracování obrazových signálů, pořízení obrazu, radiometrie, tvar z fotometrického sterea, vznik intenzitního 2D obrazu, popis používaných snímacích zařízení-kamery, optická část kamery, snímače světelné energie-CCD a CMOS čidla, barevné prostory, geometrické transformace obrazu, transformace jasové stupnice, 2D diskrétní lineární integrální transformace-Fourierova, kosinová, Hadamardova, vlnková transformace, využití LDT při zpracování obrazu, filtrace šumu, hledání hran v obraze, obnovení obrazu při známé degradaci, segmentace obrazu, binární a šedotónová matematická morfologie, granulometrie, morfologická segmentace a rozvodí, identifikace oblastí, reprezentace a popis tvaru, detekování oblastí, příznaky pro rozpoznávání obrazů, rozpoznávání objektů – využití neuronových sítí, úvod do stereovidění.

3. Angličtina pro doktorandy

Academic English writing and speaking

Vyučující: **doc. Fatma Yalcinkaya, M.Sc., Ph.D.**

This course develops students' academic skills in writing, reading, listening and speaking in an academic manner. Students will be introduced to the development of academic vocabulary, improved listening skills in an academic setting, effective reading and writing of academic papers, development of effective note-taking skills, and improved academic discussion and presentation skills. The class will include formal presentations, discussions, and elementary research reports.