

Informace k SZZ pro studenty NM studijního programu Materiály a technologie pro energetiku platné pro akademický rok 2025/2026

Státní závěrečné zkoušky SZZ proběhnou v souladu se Studijním a zkušebním řádem pro studium v magisterských studijních programech Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. SZZ zahrnuje:

- obhajobu diplomové práce,
- ústní zkoušku ze tří státnicových předmětů, přičemž všechny předměty jsou povinné a sestávají z tematických okruhů daných předmětů.

Celková doba SZZ, včetně obhajoby diplomové práce, je asi **45-50 min.** (max. 1 hodina).

Obhajoba diplomové práce sestává z prezentace stěžejních výsledků, které student získal při řešení tématu práce (**do 10 min.**), seznámení komise s posudky od vedoucího a oponenta diplomové práce, reakce studenta na otázky v posudcích a ze všeobecné diskuze.

Na obhajobu diplomové práce přímo navazuje ústní zkouška ze tří tematických okruhů. Z každého okruhu student obdrží jednu otázku, na kterou bezprostředně reaguje.

1. Povinný předmět SZZ: DTK – Degradace, technologie, kontrola

Předmět zahrnuje průřez stěžejními partiemi předmětů: **Degradační procesy materiálů, Zkoušení vlastností materiálů pro energetiku, Nedestruktivní kontrola materiálů v energetice, Technologie spojování materiálů pro energetiku.**

2. Povinný předmět SZZ: EPT – Energetické procesy a technologie

Předmět zahrnuje průřez stěžejními partiemi předmětů: **Přenos tepelné energie, Tepelné procesy při ohřevu, Energetické hospodářství.**

3. Povinný předmět SZZ: PME – Materiály pro energetiku

Předmět zahrnuje průřez stěžejními partiemi předmětů: **Fázové přeměny, Materiály v konvenčních energetických zařízeních, Strukturně fázová analýza, Materiály pro obnovitelné zdroje energie, Žárovzdorné materiály.**

Důležité termíny:

Termín odevzdání diplomových prací: **26. 4. 2026**. Práce se odevzdávají pouze elektronicky do IS Edison v požadovaném formátu PDF-A. Pokud je práce vedena ve spolupráci s firmou, pak student musí do systému vložit i potvrzený dokument o souhlasu firmy se zveřejněním práce. Originál dokumentu student odevzdá tajemníkovi katedry 653.

Kontrola studia pro závěrečné ročníky: **19. 5. 2026** - magisterské studium.

Magisterské SZZ budou probíhat v týdnu: **25. 5. - 29. 5. 2026**.

Zkušební otázky – Materiály a technologie pro energetiku

1. Povinný předmět SZZ: DTK – Degradace, technologie, kontrola

Předmět zahrnuje průřez stěžejními partiemi předmětů: **Degradační procesy materiálů, Zkoušení vlastností materiálů pro energetiku, Nedestruktivní kontrola materiálů v energetice, Technologie spojování materiálů pro energetiku**

Degradační procesy materiálů

1. Napětově deformační chování základních skupin konstrukčních materiálů a jeho základní charakteristiky, vliv teploty, rychlosti deformace, koncentrátorů napětí na napětově deformační a lomové chování materiálů. Podmínky iniciace křehkého transkrystalického a interkrystalického křehkého lomu a tvárného poškození konstrukčních ocelí, mechanismy iniciace mikrotrhlin a dutin a faktory, které je ovlivňují.
2. Napětově deformační pole v blízkosti ostré trhliny, faktor intenzity napětí a lomová houževnatost, vliv teploty a velikosti tělesa na houževnatost, základní koncepce tranzitní teploty a zajištění bezpečnosti konstrukcí proti vzniku křehkého lomu.
3. Mechanismy iniciace a šíření únavového poškození a faktory, které únavové poškození ovlivňují, cyklická křivka zpevnění, zákonitosti růstu únavové trhliny ve třech specifických stádiích, Parisův zákon. Metody hodnocení únavové životnosti, Manson-Coffinův vztah, Wöhlerova křivka a definice meze únavy. Vliv způsobu cyklického zatěžování, kvality povrchu, koncentrátorů napětí a teploty na mez únavy, Haighův a Smithův diagram, Minerova hypotéza.
4. Mechanismy iniciace creepového poškození ocelí a základní faktory, které ovlivňují jejich průběh, vliv teploty a napětí, metody hodnocení životnosti při creepu, Larsonův-Millerův parametr a jeho závislost na aplikovaném napětí, životnost konstrukčních dílů při creepu.
5. Základní mechanismy opotřebení a faktory, které je ovlivňují průběh a důsledky adheze, abraze, eroze a kavitace, Archardův zákon. Základy elektrochemické koroze, anodická a katodická reakce. Atmosférická koroze. Lokální druhy koroze, korozní praskání pod napětím a vodíkové zkrěhnutí. Korozní vlastnosti technicky významných materiálů (oceli, slitiny na bázi Cu, Al, Ni, Ti).

Zkoušení vlastností materiálů pro energetiku

1. Rozdělení mechanických vlastností konstrukčních materiálů. Základní zkoušky mechanických vlastností – tahem, rázem v ohybu, tvrdosti. Technologické zkoušky materiálů – ohybem, smáčknutím a rozšiřováním trubky. Zkoušky svarových spojů.
2. Hodnocení lomového chování kovových materiálů. Filozofie tranzitní teploty – zkouška rázem v ohybu, zkoušky DWT, DWTT, DT. Filozofie založená na lomové mechanice – obecná teplotní závislost lomové houževnatosti, stanovení lomové houževnatosti při rovinné deformaci, v tranzitní oblasti, zkoušením více těles. Stanovení referenční teploty T_0 .
3. Popište postupy používané pro stanovení únavových charakteristik – Woehlerova křivka, Manson-Coffinova křivka, cyklická křivka napětí-deformace a charakteristik tečení u ocelí – metody extrapolace výsledků, Larson-Millerův parametr.

4. Vodíková křehkost materiálů. Metody pro posouzení odolnosti ocelí v prostředí vodíku. Zkouška tahem za pomalé rychlosti deformace, zkoušky lomové mechaniky, zkoušky vodíkem indukovaného praskání (HIC) a sulfidického praskání pod napětím (SSC).
5. Hodnocení mechanických vlastností konstrukčních ocelí pomocí penetračních testů (Small Punch Test – SPT). Princip penetračního testu (Bulge Punch Test). Stanovení meze kluzu, meze pevnosti v tahu, tranzitního chování oceli a creepových charakteristik. Odhad lomové houževnatosti z výsledků penetračních testů.

Nedestruktivní kontrola materiálů v energetice

1. Kvalifikace a certifikace personálu pro provádění NDT – kvalifikační stupně podle ČSN EN ISO 9712, požadavky na kvalifikace pracovníků podle ČSN EN ISO 9712, certifikace a recertifikace pracovníků; průmyslové sektory pro NDT kvalifikaci.
2. Metody pro detekci vad na povrchu a v blízkosti povrchu materiálu: vizuální metody zkoušení – rozdělení metod, základní podmínky zkoušení, postup zkoušení; magnetická prášková metoda – princip metody, rozdělení metod, měřky, pracovní postup zkoušky; kapilární zkouška – princip, rozdělení metod, postup zkoušky; zkouška vířivými proudy – princip metody a provedení.
3. Detekce objemových vad radiografickou metodou – fyzikální princip metody, zdroje záření, způsoby prozařování, radiografické měřky.
4. Ultrazvukové metody k detekci objemových vad – princip metod, odrazové metody, průchodové metody, druhy sond, používané frekvence.
5. Nedestruktivní zkoušení pro zjištění stavu struktury: měření tvrdosti přenosnými tvrdoměry – základní principy metod odrazové a ultrazvukové zkoušky, doporučené oblasti měření; strukturní analýza z otisků struktury – princip metody, využití pro sledování míry degradace ocelí tečením.

Technologie spojování materiálů pro energetiku

1. Vznik a oblasti svarového spoje, deformace a vnitřní pnutí při svařování. Svařitelnost ocelí a její hodnocení – uhlíkový ekvivalent a jeho použití, vliv prvků na svařitelnost ocelí. Trhliny ve svarovém spoji (horké, studené, lamelární, žíhací) a opatření k jejich omezení.
2. Předehřev, dohřev a tepelné zpracování po svaření; metody stanovení teploty předehřevu; teplota interpass; dohřev. Tepelné zpracování po svaření – typy a jejich význam. Vady svarových spojů – typy a hodnocení jejich přípustnosti.
3. Tavné a tlakové svařování – rozdíl, metody. Obloukové svařování – elektrický oblouk, princip metod (ROS, APT, MIG/MAG, TIG), přídavné materiály, výhody a nevýhody procesů. Svařování s vysokou koncentrací energie (plazma, laser, svazek elektronů) – princip, typy, využití. Metody tlakového svařování a jejich princip (kovářské, odporové, třením, UZ, výbuchem).
4. Zkoušení svarových spojů. Destruktivní metody – příčná zkouška tahem, zkouška ohybem, zkouška rázem v ohybu, zkouška rozlomením, zkoušky tvrdosti a mikrotvrdosti. Nedestruktivní zkoušky – vizuální, makroskopická, mikroskopická, kapilární, magnetická prášková/fluorescenční, UZ, rtg, zkouška prozářením. Princip, použitelnost na typy vad, aplikace výsledků.
5. Svařování materiálů pro energetiku – kombinace typů ocelí, homogenní a heterogenní svarové spoje, výběr přídavných materiálů, vliv svařovacího cyklu na creepovou odolnost svarových spojů. Faktor pevnosti (SRF) a

životnosti (LRF) svarového spoje. Specifická úloha žíhání po svaření (PWHT) u žárupevných materiálů. Degradace vlastností svarových spojů během creepu, kritická místa svarových spojů, praskání I-IV typu u svarových spojů.

2. Povinný předmět SZZ: EPT – Energetické procesy a technologie

Předmět zahrnuje průřez stěžejními partiemi předmětů: **Přenos tepelné energie, Tepelné procesy při ohřevu, Energetické hospodářství**

Přenos tepelné energie

1. Stacionární vedení tepla v rovinné stěně. Fourierův zákon vedení tepla. Teplotní pole a tepelný tok rovinnou stěnou. Stacionární vedení tepla ve válcové stěně. Součinitel tepelné vodivosti. Kritický poloměr izolace. Nestacionární vedení tepla.
2. Sdílení tepla konvekcí, stanovení součinitele přestupu tepla konvekcí. Využití teorie podobnosti. Sdílení tepla zářením – základní zákony, metody stanovení indexů směrovosti. Sdílení tepla zářením u plynů.
3. Klasifikace paliv, základní principy spalování paliv, oceňování paliv a záměnnost paliv, příprava pro energetickou transformaci a procesy jejich využívání, spalovací zařízení.
4. Termický výpočet rekuperátorů, stanovení termické účinnosti souproudu a protiproudu. Hydraulický výpočet rekuperátorů. Ztráty tlaku třením, místní a geometrické.
5. Konkrétní typy rekuperátorů, podmínky jejich provozování. Regenerátory: Tepelný výpočet. Množství předaného tepla. Součinitel přenosu tepla. Hydraulický výpočet. Tlakové ztráty. Typy regenerátorů.

Tepelné procesy při ohřevu

1. Vlastnosti kovů, slitin, žárovzdorných materiálů v závislosti na teplotě – tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita, hustota, lineární a objemová teplotní roztažnost, součinitel tepelné setrvačnosti. Základní pojmy – sálání spalin v ohraničeném prostoru, teplota konstrukce pecního zařízení, oblast vnějšího a vnitřního přenosu tepla, rozlišení vsázky na tenká a tlustá tělesa z pohledu jejich ohřevu.
2. Vnější přenos tepla – vliv vzájemné polohy šedých těles, bilance tepelných toků na povrchu ohřívaného materiálu, bilance tepelných toků na povrchu pecního zdiva, konvekční přestup tepla na ohřívaný materiál, výsledná rovnice vnějšího přestupu tepla.
3. Teoretický výpočet ohřevu tenkých těles – ohřev tenkých těles v prostoru s konstantní a proměnnou teplotou.
4. Teoretický výpočet ohřevu tlustých těles – Fourierova diferenciální rovnice vedení tepla, podmínky jednoznačnosti při řešení rovnice vedení tepla.
5. Technologické zásady ohřevu – konečná teplota ohřevu, tepelná pnutí při ohřevu a ochlazování, uložení materiálu v pecním prostoru, dovolená nerovnoměrnost ohřevu a stupeň prohřátí, režimy ohřevu a jejich volba. Oxidace a oduhličení oceli při ohřevu – teoretické základy oxidace oceli, vliv technologických činitelů a prostředí na oxidaci kovů.

Energetické hospodářství

1. První zákon termodynamiky, teplo, práce, stavové veličiny ideálních plynů, entalpie, technická práce. Základní změny v p-v diagramu. Entropie. Druhý zákon termodynamiky, vratné a nevratné procesy, Carnotův cyklus, Základní změny v T-s diagramu.
2. Reálné plyny a páry. Var a kondenzace., Termodynamika proudění plynů, vlhký vzduch, Mollierův diagram, základní výpočty procesů s vlhkým vzduchem. Výroba a využití páry, Výparné teplo. Diagramy vodní páry. Teoretický a praktický parní oběh. Prvky parního oběhu.
3. Výroba stlačeného vzduchu, ideální a reálný průběh komprese. Pístový kompresor, princip, objemová účinnost, dodávané množství, příkon, dělení kompresního poměru. Turbokompresory. Doprava vody čerpáním, dopravní výšky. Pístové čerpadlo, princip, dopravované množství, příkon, objemová účinnost, regulace. Odstředivá čerpadla. Vlivy na sací výšku.
4. Tepelné oběhy tepelných motorů: Ottův, Dieselův, Sabatův cyklus. Plynové turbíny: Braytonův, Humphreyho cyklus. Obrácený oběh, tepelná čerpadla, chladicí systémy. Kompresorové chlazení.
5. Teplárenské provozy. Typy, provoz a konstrukce teplovodních a parních kotlů. Kogenerace – kombinovaná výroba tepla a elektrické energie. Tepelné sítě – rozvod tepla, druhy a konstrukce sítí, předávací stanice, tepelné izolace.

3. Povinný předmět SZZ: PME – Materiály pro energetiku

Předmět zahrnuje průřez stěžejními partiemi předmětů: **Fázové přeměny, Materiály v konvenčních energetických zařízeních, Strukturně fázová analýza, Materiály pro obnovitelné zdroje energie, Žárovzdorné materiály**

Fázové přeměny

1. Termodynamika fázových přeměn. Jednosložkové systémy. Binární systémy, rovnováha v heterogenních systémech, vliv rozhraní na rovnováhu. Chemický potenciál a aktivita. Kinetika fázových transformací. Arrheniova rovnice. Klasifikace fázových transformací.
2. Krystalizace. Nukleace v čistých kovech: homogenní a heterogenní nukleace, rychlost nukleace. Tepelné dendrity v čistých kovech. Tři limitní mechanismy krystalizace jednofázových slitin. Krystalizace binárních slitin, konstituční podchlazení. Krystalizace eutektických slitin.
3. Mezifázová rozhraní v pevných látkách: koherentní, semikoherentní a nekoherentní rozhraní. Krystalografické parametry rozhraní. Deformační a povrchová energie mezifázového rozhraní. Základní mechanismy migrace rozhraní.
4. Difúzní transformace v pevném stavu. Precipitace: homogenní a heterogenní nukleace, rychlost nukleace, růst a hrubnutí částic precipitátu, precipitační sekvence. Precipitace ve vytvrditelných slitinách. Diskontinuální a kontinuální precipitace. Mezifázová precipitace.
5. Bezdifúzní fázové transformace. Martenzit v Fe–C slitinách: nukleace a růst, Bainův model přeměny, tvarová deformace, habitová rovina, morfologie martenzitu. Termoelastická přeměna, samoakomodační martenzit. Pseudoelastická a tvarově paměťový jev.

Materiály v konvenčních energetických zařízeních

1. Požadavky na materiály pro jednotlivé konstrukční části konvenčních energetických zdrojů. Základní konstrukční materiály: oceli a niklové slitiny, jejich stručná klasifikace. Využití strukturních parametrů při hodnocení stupně degradace materiálů v konvenčních energetických zdrojích.
2. Nelegované uhlíkové oceli: chemické složení, mechanické vlastnosti a struktura ve výchozím stavu, typické pracovní parametry, nejdůležitější mechanismy degradace uhlíkových ocelí v konvenčních energetických zdrojích.
3. Nízkolegované oceli: chemické složení klasických a moderních značek 2,25CrMo(W) ocelí, vliv tepelného zpracování na strukturu a mechanické vlastnosti těchto ocelí, typické pracovní parametry, mechanismy degradace nízkolegovaných ocelí.
4. Martenzitické modifikované (9-12) % Cr oceli: chemické složení progresivních značek ocelí (P/T91, P/T92), tepelné zpracování na jakost, typické pracovní parametry, změny struktury a mechanických vlastností v průběhu dlouhodobé provozní expozice.
5. Moderní žárovevné a žáruvzdorné austenitické CrNi(Mo) oceli a niklové slitiny pro konvenční energetiku: rozdíly v konstituci těchto ocelí a slitin, typická struktura a mechanické vlastnosti ve výchozím stavu, vliv dlouhodobé provozní expozice na strukturu a mechanické vlastnosti těchto ocelí a slitin.

Strukturně fázová analýza

1. Základní úlohy strukturně fázové analýzy v materiálovém inženýrství. Důvody a cíle studia struktury technických materiálů na různých rozměrových úrovních (makrostruktura, mikrostruktura, substruktura). Srovnání rozlišovací schopnosti různých mikroskopických technik.
2. Světelná mikroskopie. Princip světelného mikroskopu. Příprava preparátů. Principy kvantitativní metalografie. Automatizovaná obrazová analýza. Základní aplikace světelné mikroskopie v materiálovém inženýrství.
3. Interakce svazku elektronů se vzorkem. Popis jednotlivých produktů pružného a nepružného rozptylu elektronů. Geometrické podmínky difrakce: Braggův zákon a Ewaldova reflexní koule. Strukturní faktor. Možnosti a omezení technik difrakce elektronů, rtg záření a neutronů.
4. Rtg difrakční (XRD) a spektrální (XRF) analýza. Kvalitativní a kvantitativní fázová analýza polykrystalických materiálů. Rtg difrakční analýza monokrystalů. Rtg spektrální analýza prvkového složení materiálů.
5. Princip prozařovacího elektronového mikroskopu (TEM). Mechanismy amplitudového a fázového kontrastu. Princip řádkovacího elektronového mikroskopu (SEM). Základní mechanismy vzniku kontrastu zobrazení. Difrakce zpětně odražených elektronů (EBSD). Vlnově a energiově disperzní rtg spektrální mikroanalýza (WDS a EDS). Příprava preparátů.

Materiály pro obnovitelné zdroje energie

1. Hlavní skupiny obnovitelných zdrojů energie, nejdůležitější technologické celky; struktura obnovitelných zdrojů energie v ČR.
2. Energie větru a vody. Větrná elektrárna s horizontální osou, hlavní konstrukční prvky, používané materiály, možné degradační mechanismy. Další druhy zařízení využívající energie větru. Vodní elektrárny, pracovní princip

vodních elektráren, základní rozdělení a konstrukce vodních turbín, použité materiály, provozní podmínky, možné degradační mechanismy.

3. Sluneční a geotermální energie. Fotovoltaika, základní popis fotovoltaického článku, fotovoltaické panely – použité materiály, konstrukční a technologické požadavky na materiály, možné degradační mechanismy. Sluneční tepelné elektrárny, základní typy, konstrukce, používané materiály. Geotermální elektrárny – základní typy, hlavní konstrukční prvky, používané materiály, možné mechanismy degradace. Tepelná čerpadla, typy, konstrukce, použité materiály.
4. Palivové články, elektrochemické zdroje energie: rozdělení palivových článků a jejich charakteristiky, použité materiály, způsoby využití. Vodík jako energetický nosič: metody výroby vodíku a skladování vodíku v plynném a kapalném skupenství. Používané konstrukční materiály, výhody, nevýhody, možnosti degradace. Vazba vodíku na pevné materiály – hydridy. Uhlíkaté nanostrukturní materiály.
5. Energie biomasy: druhy biomasy a jejich energetický potenciál, způsoby zpracování biomasy (termochemické procesy, biochemické procesy, fyzikálně chemické procesy); nejčastěji využívané procesy: spalování biomasy, resp. spalování biomasy; zplyňování a pyrolýza; anaerobní fermentace, výroba bioplynu – zařízení, používané materiály.

Žárovzdorné materiály

1. Žárovzdorné materiály – definice a klasifikace dle ČSN EN 12475- 1 až 4. Chemické a mineralogické složení žárovzdorných materiálů. Základní oxidy: Al_2O_3 a SiO_2 , CaO , MgO , ZrO_2 , Cr_2O_3 aj.
2. Tepelné vlastnosti, termomechanické vlastnosti a termofyzikální vlastnosti žárovzdorných materiálů. Hliníkokřemičité materiály I. Dinas. Hliníkokřemičité materiály II. Šamoty a vysocehlinité materiály.
3. Magnesiové materiály. Magnesio-uhlíkové, magnesio-chormité, spinelové materiály, dolomiové, dolomio-magnesiové, forsteritové materiály. Speciální materiály.
4. Zirkoničité a uhlíkové žárovzdorné materiály, jiné neoxidické materiály - BN a Si_3N_4 . Netvarové žárovzdorné materiály, jejich definice a rozdělení. Žárobetony, jejich definice a rozdělení.
5. Tepelně izolační žárovzdorné materiály. Definice, rozdělení. Aplikace žárovzdorných keramických materiálů v energetických zařízeních.