

Posudek disertační práce

Studium a úpravy vnitřních povrchů energetických soustav (Study and treatment of internal surfaces of energy systems)

Disertant:	Ing. Jiří Kuchař, IWE
Doktorský studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Školitel:	doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
Školitel specialista:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Pracoviště, na kterém byla práce vypracována:	Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07, Praha 6
Posudek vypracovala:	prof. Ing. Andrea Kalendová, Dr.

Disertační práce s názvem „*Studium a úpravy vnitřních povrchů energetických soustav*“ byla vypracována v rámci prezenční formy doktorského studia na Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojní ČVUT v Praze. Hned v úvodu je třeba poznamenat, že se jedná o pracoviště s dlouhodobou tradicí ve výzkumu a aplikaci technologií povrchových úprav ve strojírenství. S touto skutečností se autor vyrovnal směřováním práce do oblasti, kterou stávající výzkum dosud plně nepokrýval a v rámci takto vymezeného tématu dosáhl hodnotných výsledků.

1. Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cíle stanovené v disertaci

Cíle předložené disertační práce zahrnují vývoj a optimalizaci navrženého chemického způsobu čištění vnitřních povrchů otopných a chladicích energetických soustav jako jsou například kotle, výměníky tepla, chladiče aj., který by nepoškozoval materiály v čištěném systému. Navržený způsob by měl umožnit rychlé vyčištění zaneseného zařízení bez nutnosti demontáže čištěného systému obsahujícího uhlíkovou a korozivzdornou ocel, litinu, měď, atd., přičemž vzniklé odpady čištění musí být snadno, ekologicky a bezpečně zlikvidovatelné. Cíle obsahují návrh a optimalizaci technologického postupu chemického čištění zanesení povrchu při použití chemického prostředku nezatěžujícího životní prostředí (v práci označen jako Z-fáze), návrh ekologicky šetrné likvidace vzniklých produktů z tohoto procesu čištění, experimentální ověření účinnosti navrhovaného optimalizovaného postupu v porovnání s doposud používanými čisticími prostředky a vypracování metodiky aplikace prostředku chemického odstranění mědi z povrchu korozivzdorné oceli u nového výrobku (chladič nákladního automobilu, tzv. TRUCK). Cíle předložené práce vycházejí z požadavků na rozšíření vědeckotechnického poznání v oboru Strojírenská technologie.

Plnění stanovených cílů

V první řadě byl formulován a testován na vybraných strojírenských materiálech vnitřních povrchů otopných a chladicích zařízení účinný, bezpečný a ekologicky šetrný způsob čištění, který nepoškozoval jednotlivá čištěná zařízení. Byl determinován vliv fyzikálně chemických vlastností prostředků na bázi vodného roztoku kyselin a dalších nezbytných složek a vliv technologických parametrů na účinnost postupu čištění vybraných strojírenských materiálů, aplikovaných mimo jiné i při údržbě chladiče generátorů jaderných elektráren nebo na čištění vnitřních povrchů chladičů pro nákladní automobily kontaminovaných mědí. *Tento cíl byl splněn.* Pro kontroly stavu povrchů po vyčištění, resp. vlivu čisticích prostředků na drsnost materiálu byla navržena a odzkoušena metodika hodnocení povrchu prostřednictvím

konfokálního mikroskopu. Byly optimalizovány parametry chemického postupu čištění, kde byla zvolena cirkulační proplachová metoda modifikovaná ve svém postupu pro urychlení žádané čistící reakce. Při návrhu a stavbě navrhovaného čistícího zařízení byla zohledněna změna rychlosti a směru toku čistícího média v průběhu čištění pomocí frekvenčního měniče, který změnu toku a regulaci výkonu čerpadla umožňoval. Návrh technologického postupu čištění při použití látky Z-fáze pro chemické čištění zanesení byl dalším cílem práce. Technologický postup při použití chemického prostředku (označen jako Z-fáze) vykazoval díky správně zvolenému typu kyselin, hodnotám jejich disociačních konstant a dalším přítomným látkám schopných reakcí řadu výhod. Působením těchto látek a podmínek čištění, které ovlivnily přítomné protolyticky slabší kyseliny, uskutečněním reakcí například s aldehydickou sloučeninou (glyoxal, neboli 1, 2 etandial) v čištěném systému se v konečném efektu vyčistil povrch kovového materiálu, který byl navíc díky in situ vzniklé pasivační vrstvě chráněn před korozi. Kromě povrchového vyčištění úsad, jejich převedením na více či méně rozpustné kyselé hydrogen uhličitany či jiné rozpustné soli, se složením závislým na charakteru zanešení, tak vznikla řada výhod. Postup byl aplikován a vyzkoušen v praxi. *Tento cíl byl splněn.* Návrh ekologicky šetrné likvidace vzniklých produktů z procesu chemického čištění byl dalším cílem práce. Byl navržen a odzkoušen dvoustupňový čistící proces, kde prvním stupněm tohoto procesu byla neutralizace kyselých rozpustných odpadních produktů na $\text{pH} = 7 - 9$ a druhým stupněm bylo biologické dočištění na čistírně odpadních vod. *Tento cíl byl splněn.* Experimentální ověření účinnosti použití látky Z-fáze v porovnání s doposud používanými čistícími prostředky bylo dalším cílem práce. Jako nejvhodnější, na základě splnění podmínek bezpečnosti, rychlosti a účinnosti čištění teplosměnných a chladicích ploch byl po výsledcích z řady experimentů zvolen dále v práci optimalizovaný chemický prostředek (označen jako látka Z-fáze), který byl vždy operativně na základě stavu zanešení úsadami upraven na optimální koncentraci pro danou aplikaci. Tento chemický prostředek byl porovnán s jinými prostředky podle parametrů účinnosti procesu, aplikačních podmínek a také dle ekonomiky provozu (odvislé zejména na úpravě koncentrace testovaných chemických prostředků). Na základě hodnocení dle povrchu čištěného materiálu a dle hmotnostních úbytků byla ověřena jeho účinnost. *Tento cíl byl splněn.* Pro metodiku nalezení vhodného způsobu a prostředku čištění Cu z povrchu korozivzdorné oceli u nového výrobku dodaného z výroby (chladič nákladního automobilu, tzv. TRUCK) byla vytipována řada čistících prostředků, u kterých byl zkoumán čistící efekt respektive rychlost čištění a stav povrchu po čištění pomocí konfokálního mikroskopu. Zde byla formulována metodika a technologický postup čištění vnitřního povrchu chladiče malých rozměrů, jako účinný prostředek byl aplikován roztok obsahující jako látky reagující s povrchem Cu směs $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ a techn. H_2O_2 , v dalším stupni proběhly pasivace a čištění povrchu oceli pomocí HNO_3 . *Cíl byl splněn.*

Specifické problémy ve strojírenství a jejich údržbě, které se poměrně rychle vyvíjejí pod tlakem aktuálních trendů, které využívají tradiční i nové materiály, se nevyhýbají požadavkům kladeným na účinné čištění a úpravě vnitřních povrchů energetických soustav. V oblasti materiálů a povrchových úprav ve strojírenství se promítá řada nových poznatků, které je třeba využít tak, aby se obory Strojírenské technologie mohly úspěšně rozvíjet. Jak správně využít chemické prostředky a které parametry vytipovat pro bezpečné, účinné chemické čištění vnitřních povrchů energetických soustav v řadě důležitých odvětví, napomohlo vyřešení úkolů a splnění cílů předložené práce. Stanovené cíle práce odpovídají problematice rozvíjejícího se oboru Strojírenská technologie a s tím spojené technologie povrchových úprav jak z hlediska složení a parametrů rozdílných konstrukčních strojírenských materiálů pro energetické soustavy, které je nutno čistit, tak z hlediska trendů efektivního čištění povrchů, mezi které chemický způsob patří. Ovšem za řady podmínek, na které dala tato práce odpověď vyřešením svých cílů.

2. Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky

Problematika řešená v dizertační práci je svojí náplní a obsahem řešené problematiky multidisciplinárního charakteru. Zahrnuje jak rozbor dosavadních metod čištění vnitřních povrchů, tak přehled používaných konstrukčních strojírenských materiálů, jakož i materiálů a používaných chemických prostředků pro odstraňování úsad. V práci jsou rozebrány hlediska týkající se čištění vnitřních povrchů energetických soustav pro zajištění bezpečnosti v energetice. Přehled stavu problematiky obsahuje studii materiálů používaných v energetických soustavách. Seznamuje s problematikou teplosměnných médií. Věnuje se faktorům zanášení povrchů a nejběžnějším vlivům na snížení přenosu tepla v energetických zařízeních. Podrobně jsou zpracovány kapitoly týkající se vnitřních povrchů, mechanismů zanášení a druhy zanášení, doktorand podrobně popsal krystalizační a precipitační zanášení, zanášení částicemi, tedy sedimentaci a naplavování částic, korozní zanášení, zanášení v důsledku chemické reakce biologické zanášení, zanášení v důsledku mrazu a nakonec kombinace zanášení. Je popsán vliv odporu usazenin na hydraulické poměry soustavy. Doktorand zpracoval rozbor metod čištění vnitřních povrchů, mezi které zahrnul lehké tryskání, vysokotlaké čištění projektilové čištění, popsal novější technologie tzv. HydroDrill, EXCALIBUR Flex Drive, Technologie NitroLance, a i zvukové nebo ultrazvukové čištění. Je poměrně jasně popsáno i chemické čištění. Velkou pozornost doktorand věnoval i čištění odpadních vod v nezbytných souvislostech s chemickým čištěním a optimalizací procesu čištění. -Teoretický rozbor práce je podložen 94 odkazy na literární zdroje.

Doktorand Ing. Jiří Kuchař, IWE, obsáhl současný stav problematiky na takové úrovni, aby vystihl všechna důležitá hlediska a parametry týkající se úpravy vnitřních povrchů energetických soustav v současném stavu poznání. Všechny nezbytné faktory týkající se současného stavu problematiky jsou podchyceny a podloženy citacemi.

3. Teoretický přínos disertační práce

Hlavní přínos disertační práce pro vědu a praxi spočívá ve formulaci vhodné metodiky účinného čištění vnitřních povrchů energetických soustav a systémů ze strojírenských materiálů (měď, ocel, korozivzdorná ocel, litina, plasty aj.). Metodika vyhovuje požadavkům bezpečnosti a kvality povrchu základních materiálů.

Teoretický přínos práce spočívá ve formulaci metodiky čištění a způsobu hodnocení stavu zanesených povrchů, v kvalitativním a kvantitativním způsobu hodnocení vyčištěného povrchu. V práci byly zformulovány principy chemického čištění, které by měla daná chemická látka splňovat z hlediska účinného, ekologického vyčištění a s možností přizpůsobení se okamžitému stavu daného zařízení. Pro obor to znamená možnost dále rozvíjet nové materiály či pracovat s materiály tradičními, například pro konstrukce chladičů na bázi běžné nerez oceli, které se mohou použít v energetice a uspořit náklady na obnovu či údržbu s minimalizací rizik provozu. Předložená disertační práce zároveň upozorňuje na nezbytnou součinnost a využívání nejnovějších poznatků vědy při zajištění bezpečnosti zařízení s vysokými parametry a riziky jejich provozování.

4. Praktický přínos disertační práce

Výsledky a poznatky z řešení práce nacházejí uplatnění v oblasti údržby od průmyslových zařízení a soustav až po soustavy a celky v jaderné energetice.

Důležitým přínosem práce je návrh a sestava čistícího zařízení s parametry čištění pro proplachovací metody (úspěšně odzkoušeno v provozních podmínkách čištění průmyslových i energetických zařízení). Významným přínosem je nalezení chemických čistících prostředků a kombinace chemických čistících prostředků a fyzikálních parametrů čištění pro zařízení a systémy sloužícím aktuálním potřebám strojírenství a energetiky. Přínosem je způsob čištění chladiče naftových spalovacích motorů (chemický roztok sestávající především z persíranu sodného a technického peroxidu sodíku). Zásadním přínosem je vyhledání vhodného způsobu čištění vnitřních povrchů chladičů zařízení v jaderné energetice po více jak polovině plánované životnosti (způsob byl odsouhlasen a aplikován pro účely aplikací čištění vnitřních

povrchů, na zařízeních firmy ČEZ). Zvolená čistící metodika a aplikovaný technologický postup čištění byly důležitými faktory, které ovlivnily výsledek úspěšného čištění aplikovaných na chladičích typu voda-vodík generátoru 1 000 MW. Navržený optimalizovaný technologický postup se lišil od jiných doposud používaných postupů několika důležitými prvky, jimiž se zrychlil proces čištění vnitřních povrchů energetických zařízení a soustav. Při vhodně zvoleném čistícím prostředku je součástí čištění tedy i pasivace povrchů, čímž odpadá další operace.

5. Vhodnost použitých metod řešení

Autorem navrhovaná metodika čištění zaneseného povrchu znamená *chemický způsob čištění*, který byl vytipován na základě studia literatury, předběžných experimentů vyhodnocujících dostupné chemické prostředky a jiné používané způsoby čištění. Chemický způsob čištění zaneseného povrchu pomocí prostředků daného složení, s více či méně kyselým charakterem pH, kromě vyčištěného povrchu poskytuje řadu výhod, samozřejmě za splnění určitých předpokladů. Výběr konkrétního způsobu čištění vnitřních povrchů energetických soustav a výběr optimálního způsobu chemického čištění pomocí řady chemických prostředků o různém složení a výchozí koncentraci roztoku, s rozdílnou kyselostí vodného výluhu byl autorem proveden na základě sledování hmotnostních úbytků čištěných materiálů různými technologiemi čištění (ultrazvukem, chemicky statickou i cirkulační metodou). Jako hodnotící kritérium u chemického způsobu bylo nejen množství, respektive koncentrace použitého prostředku a účinnost při čištění, ale i bezpečnost čištěných materiálů, které by po čištění neměly dále korodovat či jinak degradovat. Autor zpracoval metodiku pro hodnocení chemických prostředků (průmyslově dostupných na evropském trhu, splňujících podmínky EU, splňující kritéria bezpečnosti, univerzálnosti a rychlosti čištění) na materiálech nejčastěji se vyskytujících v systémech otopných, resp. energetických soustav (ocel nízkouhlíková, ocel korozivzdorná, litina, měď, mosaz a plast). Popis a charakteristika vybraných chemických koncentrátů (celkem sedm dostupných prostředků chemického čištění, kde vzorek č. 1 byl označen jako Coracon clean, vzorek 2 byl označen Decalcit T131, vzorek 3 byl označen Destrulith, vzorek 4 byl označen Z-fáze, vzorek byl 5 SENTINEL X800 Jetflo, vzorek 6 byl označen jako SENTINEL X400 a vzorek 7 byl označen jako BCG HR) byla provedena adekvátním způsobem. Charakteristika a hodnocení vzorků před a po provedení experimentů dle stanovených hodnot pH je postačující, poskytuje informace o složení vzorku roztoků či suspenzí a jejich chování během čištění i o účinnosti čištění zanesení převážně anorganického charakteru. Porovnávání jednotlivých čistících prostředků z hlediska hmotnostních úbytků poskytuje rychlé informace o účinnosti prostředků, hodnocení povrchu zvolenými mikroskopickými metodami a endoskopickými sondami toto doplňuje.

Tyto správně a adekvátně použité metody byly předpokladem nejen pro získání výsledků a pro splnění cílů práce, ale staly se dostatečným podkladem při získání nových poznatků pro praxi.

6. Způsob, jak byly použité metody aplikovány

Metody řešení byly použity na celou řadu konkrétních zařízení sloužících k výměně tepla, tedy povrchů reálných případů výměníků z praxe. Na těchto výměnících, resp. jejich povrch, byl testován chemický prostředek a ověřena účinnost čistícího prostředku chemického čištění. Byly zde využity navržené metody pro čištění a vyhodnocení účinnosti problematiky čištění vnitřních povrchů. Byly aplikovány metody měření přestupu tepla a vyhodnocení experimentů pomocí techniky využívající například mimo jiné endoskop/videoskop Olympus UltraLite. Byla kriticky zhodnocena účinnost nejen chemického prostředku Z fáze, který byl dále využit pro splnění stanovených cílů práce, ale i dalších postupů a chemických činidel.

Lze na tomto místě jmenovat, mimo jiné, například experimenty na základě měření přestupu tepla a vyhodnocení experimentů měření tepla při čištění tepelného výměníku (deskový pájený výměník, médium voda-voda). Zde se názorně ukázaly při experimentech čištění tohoto

tepelného výměníku od korozních produktů, při kterém byly sledovány jeho vlastnosti před a po jeho chemickém čištění pomocí chemického prostředku Z-fáze, rozdílly ve stavu čištěných teplosměnných na základě naměřených hodnot při využití endoskopických snímků, (endoskop/videoskop Olympus UltraLite). Návrh a metodika čištění vnitřních povrchů výměníku tepla, tedy odstranění minerálních usazenin (deskový pájený výměník tepla), provozovaný v léčebných lázních, byl dalším z energetických zařízení, které bylo čištěno prostředkem tzv. Z-fáze. Tento výměník byl opět zkontrolován defektoskopicky endoskopem/videoskopem Olympus UltraLite před a po vyčištění. Z defektoskopických snímků je patrné, že výměník byl silně zanesen minerálními usazeninami a byl i kvalitně očištěn. Čištění kompresorové stanice na sekundárním okruhu jaderné elektrárny (chladič, chladicí médium – neupravená voda) proběhlo prostředkem tzv. Z-fáze, který rozpustil korozní produkty a nánosy, a které byly ulpělé na povrchu trubek chladiče kompresorové stanice.

Výsledky práce byly získané metodami experimentálních postupů za pomoci přístrojového vybavení s vysokou úrovní a odpovídající požadavkům na současně vedené vědecké práce. Lze konstatovat, že metody aplikované pro splnění zadaných cílů, způsoby měření a vedená metodika prací byly správně zvolené, ověřené a podložené dostatečným množstvím pečlivě vyhodnocených experimentů.

7. Vyjádření k tomu, zda prokázal doktorand odpovídající znalosti v daném oboru

Dokladem toho, že se to autorovi daří a že úspěšně prokazuje znalosti oboru Strojírenská technologie je jeho úspěšná publikační aktivita v počtu 21 výstupů (21A) a odborné akce pořádané autorem přímo souvisejících s disertační prací. Doktorand vykázal také publikační činnosti formou zvaných přednášek (2). Doktorand vykazuje i publikační aktivitu přímo nesouvisející s disertační prací.

Znalost v daném oboru doktorand prokázal i nepřímo formou řady výsledků, které se objevily v řadě cenných poznatků a zajímavých praktických přínosů práce. Doktorand se dokázal vypořádat se zadáním práce a poměrně obsáhlou a rozmanitou problematikou oboru a multidisciplinárnímu přístupu řešení. Musel provést rozbor teoretických podkladů oboru týkající se nejen nových materiálů a technologií, ale i s řadou metod průmyslových postupů spojených s užitím chemických látek dostupných v České republice a v zahraničí. Dokázal nově využít i jevy spojené s chemickými látkami, resp. jejich reakcemi při čištění povrchů strojírenských materiálů.

8. Formální úroveň práce

Formální náležitosti práce z hlediska jejího obsahu (prohlášení o autorství, poděkování, souhrn a anglický souhrn, seznam klíčových slov, seznam zkratk a symbolů, obsah, bibliografické údaje, atd.) práce beze zbytku splňuje. K disertační práci jsou přiloženy požadované teze práce. Autor zpracoval svoji dizertační práce standardním způsobem do odpovídajících kapitol: formální části práce byly následovány úvodem do problematiky zkoumané oblasti, teoretickou částí práce obsahující výchozí stav problematiky oboru (Přehled stavu problematiky). Následně byly autorem v textu uvedeny cíle práce a zvolené experimentální a aplikační metody práce (Experimentální část, Aplikační část), dále následované výsledkovou a diskusní částí práce (Technologický postup a metodika čištění vnitřních povrchů, Souhrn výsledků a diskuze). Obrázky a vložené fotografická dokumentace a prezentace získaných výsledků práce jsou dostatečně kvalitní, záznamy uvedených mikrosnímků povrchu a provedených mikroskopických analýz jsou dostatečně čitelné, s vysokou rozlišovací schopností dokumentující stav čištěného povrchu. Tabulky jsou dobře rozvržené, obsahují data odpovídající naměřeným hodnotám, které jsou popisovány v textu. V textu jsou autorem náležitě zpracovány přínosy práce pro vědu a praxi (Přínosy pro vědu a praxi) a je konstatováno splnění cílů (Splnění cílů disertační práce).

Práci je ukončena kapitolou obsahující závěr (Shrnutí a závěr). Na konec práce byl vložen seznam citované literatury (Seznam použité literatury a zdrojů) a seznam publikovaných prací autorem předkládané dizertační práce, včetně potvrzených zvaných přednášek (Publikace autora). Seznam citované literatury čítá 94 aktuálních odkazů. Předkládaná práce je vypracována na vysoké grafické úrovni, předepsaná formální stránka koresponduje s naplněním obsahové části práce. K provedené úpravě práce nemám žádné výhrady, práce je úpravná a dobře čitelná. Výsledky práce jsou názorně zpracovány i do formy tabulek, obrázků a grafů. Celkově se jedná o 22 tabulek a 66 obrázků, ve výsledkové a diskuzní části z toho je 33 stran textu). Celkový rozsah práce činí 118 číslovaných stran textu včetně příloh). Výsledková a diskuzní část obsahuje je stylisticky zvládnuta velmi dobře, byla jsem až překvapena jak dobře se v ní šlo orientovat. Přitom prezentovaných a diskutovaných výsledků obsahuje opravdu hodně. Výsledky a závěry práce spolu s experimentální prací jsou zpracovány na 52 stránkách a byly získány ze správně metodicky rozvržené a ověřené experimentální práce s provedením dostatečného množství experimentů

Práce je psána jasným, dobře srozumitelným způsobem, bez významných překlepů či nejasných slovních vyjádření a spojení. Práce splňuje po formální, grafické i jazykové úrovni požadavky kladené na dizertační práce.

K práci mám pár drobných připomínek a otázek.

- Cituji „ r – poloměr zanesené trubky [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]“, uvedeno v seznamu symbolů a zkratk. Opravdu se používá tato jednotka?

- Cituji „EDTA – amonná sůl“, uvedeno v seznamu symbolů a zkratk. Mohl byste látku pojmenovat přesněji.

- Cituji „Kapitola 2.5.3.1 Vysokoteplotní koroze a její vlastnosti. Rozhraní jednotlivých oxidických vrstev vzniklých na železe [32].“

O jaký typ reakcí, které popisujete v textu, se jedná?

- Cituji „Ramanova spektroskopická analýza potvrdila přítomnost uhličitanu vápenatého v kalcitové fázi „

Mohl byste vysvětlit prosím blíže toto tvrzení? Uhličitan vápenatý se vyskytuje ve 2 hlavních strukturách, aragonitu a kalcitu.

- Cituji „7. Teplota vody podstatně ovlivňuje korozi kovů. S rostoucí teplotou roste rychlost koroze“

Do jaké teploty má význam používat vyšší teploty například v korozním zkušebnictví, např. v laboratorních testech s kondenzací vody? Jak je to s teplotou vody a s obsahem rozpuštěného kyslíku? Jak je to s obsahem kyslíku v roztocích o různé koncentraci solí, např. NaCl.

- Cituji „Pesticidy bez oxidačního účinku jsou vhodné jako čidlo likvidující veškeré bakterie, které se již...“

Nemohou pesticidy způsobit korozi a není jejich použití nebezpečné? Musí to být zrovna pesticidy, které mají likvidovat bakterie v popisovaném případě?


- V práci popisuje použití korundu jako tryskacího prostředku.

Proč je korund jako tryskací materiál jednou „bílý“ a jednou „hnědý“? Proč je na královské koruně korund červený? Popište prosím strukturu korundu a jeho význačné vlastnosti pro průmyslová využití

9. Závěr a vyjádření posudku

Na závěr svého posudku konstatuji, že doktorand Ing. Jiří Kuchař, IWE jednoznačně prokázal schopnost samostatné tvořivé vědecké práci, dosažené výsledky práce jsou přínosem pro další rozvoj vědy a techniky oboru Strojírenská technologie. Protože je zřejmé, že hodnocená práce bezzbytku splňuje požadavky na obsah i podobu disertační práce doporučuji, Ing. Jiřímu Kuchařovi IWE, po úspěšné obhajobě předložené práce, udělit titul Ph. D.

V Pardubicích, 22.4. 2020


.....
prof. Ing. Andrea Kalendová, Dr.