

## UČNI NAČRT PREDMETA/COURSE SYLLABUS

<b>Predmet:</b>	Vzdrževanje
<b>Course title:</b>	MAINTENANCE
<b>Članica nosilka/UL Member:</b>	UL FS

Študijski programi in stopnja	Študijska smer	Letnik	Semestri
Strojništvo - projektno aplikativni program, prva stopnja, visokošolski strokovni	Mehatronika (smer)	2. letnik	1. semester
Strojništvo - projektno aplikativni program, prva stopnja, visokošolski strokovni	Energetsko strojništvo (smer)	2. letnik	1. semester
Strojništvo - projektno aplikativni program, prva stopnja, visokošolski strokovni	Procesno strojništvo (smer)	2. letnik	1. semester
Strojništvo - projektno aplikativni program, prva stopnja, visokošolski strokovni	Konstruiranje strojev in naprav (smer)	2. letnik	1. semester
Strojništvo - projektno aplikativni program, prva stopnja, visokošolski strokovni	Konstruiranje industrijskih sistemov (smer)	2. letnik	1. semester
Strojništvo - projektno aplikativni program, prva stopnja, visokošolski strokovni	Proizvodne tehnologije (smer)	2. letnik	1. semester
Strojništvo - projektno aplikativni program, prva stopnja, visokošolski strokovni	Industrijsko inženirstvo (smer)	2. letnik	1. semester

<b>Univerzitetna koda predmeta/University course code:</b>	0562715
<b>Koda učne enote na članici/UL Member course code:</b>	3018-V

Predavanja	Seminar	Vaje	Klinične vaje	Druge oblike študija	Samostojno delo	ECTS
30		30			40	4

<b>Nosilec predmeta/Lecturer:</b>	Franc Majdič, Marko Polajnar, Mitjan Kalin
-----------------------------------	--

<b>Vrsta predmeta/Course type:</b>	Obvezni splošni predmet /Compulsory general course
------------------------------------	--

<b>Jeziki/Languages:</b>	Predavanja/Lectures:	Slovenščina
	Vaje/Tutorial:	Slovenščina

<b>Pogoji za vključitev v delo oz. za opravljanje študijskih obveznosti:</b>	<b>Prerequisites:</b>
Izpolnjevanje pogojev za vpis v Visokošolski strokovni študijski program I. stopnje Strojništvo - Projektno	Meeting the enrollment conditions for the MECHANICAL ENGINEERING - Project Oriented Applied Programme.

## Vsebina:

1. Uvod v vzdrževanje:
  - delovno sredstvo,
  - standard SIST EN 13306,
  - vloga in pomen vzdrževanja,
  - 3-je stebri vpliva na delovanje delovnega sredstva,
  - vzdrževanje glede na izkušnje podjetja.
2. Osnovni pojmi & IKT tehnologije:
  - delitev tehnologij vzdrževanja po SIST EN 13306,
  - KPI - ključni kazalniki uspešnosti pri vrednotenju vzdrževanja,
  - CMMS sistem,
  - uporaba novih tehnologij pri vzdrževanju.
3. Upravljanje z delom v vzdrževalnem procesu:
  - Načrtovanje in vodenje,
  - potek dela v vzdrževalnem procesu in vloge,
  - delovni nalogi,
  - določevanje prioritete dela.
4. Materiali, rezervni deli in upravljanje zalog:
  - razdelitev inventarja na tip A, B in C,
  - sistemi shranjevanja in iskanja rezervnih,
  - optimizacijska orodja in tehnike.
5. Merjenje in snovanje zanesljivosti in vzdrževalnosti:
  - zanesljivost, vzdrževalnost in razpoložljivost po SIST EN 13306,
  - modeli okvar,
  - zanesljivost več-komponentnih sistemov,
  - stroški življenjskega cikla.
6. Popolno proizvodno vzdrževanje – TPM
  - ozadje nastanka TPM,
  - vloga operaterjev pri vzdrževanju, 8 stebrov TPM,
  - organizacija delovnega mesta po metodi 5S,
  - skupna učinkovitost opreme OEE.
7. Strategije in optimizacija vzdrževanja – 1. Del:
  - okvara in P-F interval,
  - vzdrževanje osredotočeno na zanesljivost.
8. Strategije in optimizacija vzdrževanja – 2. Del:
  - napovedno vzdrževanje,
  - preventivno vzdrževanje po planu,
  - delovanje do odpovedi.
9. Analiza vzdrževanja in orodja za izboljšavo:
  - orodja za analizo glavnega vzroka,
  - 6 sigma in orodja za kvaliteto,
  - orodja na osnovi koncepta vitkosti (lean),
  - ostale analize in orodja.
10. Preventivno vzdrževanje hidravličnih naprav, čistoča hidravlične kapljevine:
  - postopki preventivnega vzdrževanja hidravličnih naprav,
  - kontaminacija hidravlične kapljevine, vzroki in

## Content (Syllabus outline):

1. Introduction to maintenance:
  - asset,
  - standard SIST EN 13306,
  - role and importance of maintenance,
  - 3 pillars of asset performance,
  - maintenance depending on enterprise practice
2. Basic terms & ICT:
  - division of maintenance technologies according to SIST EN 13306,
  - KPI – key performance indicators for maintenance,
  - CMMS system,
  - usage of novel technologies for maintenance.
3. Maintenance work management:
  - Planning and scheduling,
  - workflow in maintenance process and roles,
  - work orders,
  - prioritizing work.
4. Materials, parts and inventory management:
  - stratification to parts A, B and C,
  - storage and retrieval systems,
  - optimizing tools and techniques.
5. Measuring and designing for reliability and maintainability:
  - reliability, maintainability and availability according to SIST EN 13306,
  - failure patterns,
  - reliability of multi-component systems,
  - life-cycle costs (LCC).
6. Total productive maintenance - TPM
  - background,
  - role of operators in maintenance, 8 pillars of TPM,
  - workspace organization by 5S method,
  - overall equipment effectiveness OEE.
7. Strategies and optimization of maintenance – 1st part
  - failure okvara and P-F interval,
  - reliability centered maintenance.
8. Strategies and optimization of maintenance – 2nd part
  - predictive maintenance,
  - preventive planned maintenance,
  - run to failure.
9. Maintenance analysis and improvement tools:
  - Tools for failure root cause analysis,
  - 6 sigma and quality tools,
  - lean maintenance tools,
  - other analyses and tools.
10. Preventive maintenance of hydraulic equipment, cleanliness of hydraulic fluid:

<p>posledice,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- standardi za ovrednotenje čistoče hidravlične kapljevine,</li> <li>- merjenje in ovrednotenje čistoče hidravlične kapljevine.</li> </ul> <p>11. Čistoča, filtracija in izpiranje hidravličnih sistemov:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- zagotavljanje željene čistoče hidravlične kapljevine,</li> <li>- filtracija, vrste, izvedbe, učinkovitost, prevzemnost, <math>\beta</math>-vrednost,</li> <li>- standardizirani test hidravličnih filtrov - Multipass test,</li> <li>- načini preverjanja zamašenosti filtrov in čas menjave ter posledice neupoštevanja.</li> </ul> <p>12. Vzdrževanje temperature in viskoznosti hidravlične kapljevine:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- temperaturno – viskozna odvisnost hidravlične kapljevine,</li> <li>- viskoznostni razredi in določitev ustrezne viskoznosti za posamezno hidravlično napravo,</li> <li>- določitev dopustnih temperatur za hidravlično napravo,</li> <li>- preprečevanje poškodb zaradi previsoke temperature kapljevine,</li> <li>- indikatorji visoke temperature kapljevine.</li> </ul> <p>13. Vzdrževanje hidravličnih sistemov po specifikacijah proizvajalcev:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- posledice slabo nastavljenih hidravličnih parametrov,</li> <li>- kontrola in nastavitve parametrov hidravlične naprave,</li> <li>- koristi ustrezno nastavljenih parametrov.</li> </ul> <p>14. Predčasna odprava vzrokov pred okvaro, pravilni zagon hidravlične naprave:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- posledice okvar hidravličnih sestavin,</li> <li>- določitev pričakovane uporabne dobe,</li> <li>- prednosti pravočasne menjave hidravličnih sestavin,</li> <li>- postopek pravilnega zagona hidravlične naprave.</li> </ul> <p>15. Odkrivanje vzrokov napak, simptomi za okvare, postopki popravil hidravličnih naprav itn.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- osnove odkrivanja okvar hidravličnih sistemov,</li> <li>- glavni kazalniki za hidravlične okvare in njihovi vzroki,</li> <li>- lociranje notranjega puščanja,</li> <li>- posledice kavitacije pri hidrostatičnih pogonih,</li> <li>- popravila hidravličnih sestavin, ocena stroškov, uveljavljanje garancije.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preventive maintenance procedures for hydraulic equipment,</li> <li>- Contamination of hydraulic fluid, causes and effects,</li> <li>- Standards for evaluating the cleanliness of hydraulic fluid,</li> <li>- Measurement and evaluation of the cleanliness of the hydraulic fluid.</li> </ul> <p>11. Cleanliness, filtration and flushing of hydraulic systems:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensuring the desired cleanliness of the hydraulic fluid,</li> <li>- Filtration, types, implementations, efficiency, acceptability, <math>\beta</math>-value,</li> <li>- Standardized hydraulic filter test - Multipass test,</li> <li>- The methods of checking the clogged filters, the filter replacement time and the consequences of non-compliance.</li> </ul> <p>12. Maintenance of temperature and viscosity of hydraulic fluid:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperature - viscous relation of hydraulic fluid,</li> <li>- The viscosity classes and the determination of the appropriate viscosity for each hydraulic device,</li> <li>- Determination of the permissible temperatures for the hydraulic system,</li> <li>- Prevention of damage due to excessive liquid temperature,</li> <li>- High liquid temperature indicators.</li> </ul> <p>13. Maintenance of hydraulic systems according to manufacturer's specifications:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consequences of inappropriate hydraulic parameters,</li> <li>- Control and parameter settings of the hydraulic system,</li> <li>- Benefits of properly configured parameters.</li> </ul> <p>14. Early elimination of causes of failure, appropriate start of hydraulic system:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- The consequences of damages of the hydraulic components,</li> <li>- Determination of the expected useful life,</li> <li>- The benefits of timely replacement of hydraulic components,</li> <li>- The procedure for starting the hydraulic system correctly.</li> </ul> <p>15. Detection of causes of defects, symptoms of failures, repair procedures of hydraulic devices, etc.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basics of hydraulic system failure detection,</li> <li>- The main indicators for hydraulic failures and their causes,</li> <li>- Locating the internal leak,</li> <li>- Effects of cavitation on hydrostatic drives,</li> <li>- Repair of hydraulic components, cost estimation, warranty coverage.</li> </ul>
--	---

Ramesh Gulati, Maintenance and Reliability Best Practices, Industrial Press Inc., 2013

Diego Galar, Peter Sandborn, Uday Kumar, Maintenance Costs and Life Cycle Cost Analysis, CRC Press, 2017

Andrew K.S. Jardine, Albert H.C. Tsang, Maintenance Replacement and Reliability – Theory and Applications, CRC Press, 2013

B. Casey, The hydraulic maintenance handbook, Hydraulic Equipment Maintenance The 80/20 Way, Hydraulic Supermarket, 2017

B. Casey, The hydraulic troubleshooting handbook, Hydraulic Supermarket, 2017

#### **Cilji in kompetence:**

##### **Cilji:**

Spoznati strategije vzdrževanja

Spoznati tehnike za iskanje vzrokov okvar

Spoznati matematične modele za optimizacijo vzdrževalnih aktivnosti

Spoznati upravljanje dela v vzdrževalnem procesu

Spoznati organizacijo rezervnih delov in skladišča

Spoznati vzdrževanje hidravličnih naprav

##### **Kompetence:**

P8-PAP: Sposobnost izbire ustrezne strategije vzdrževanja glede na delovno sredstvo.

S11-PAP: Sposobnost analize in iskanja vzrokov okvar.

P9-PAP: Sposobnost uporabe matematičnih modelov za optimizacijo vzdrževalnih aktivnosti – povečanje razpoložljivosti, zmanjšanje inventarja, zmanjšanje skupnih stroškov.

S6-PAP: Sposobnost in razumevanje timskega dela v vzdrževalnem procesu.

P10-PAP: Sposobnost organizacije rezervnih delov.

S1-PAP: Sposobnost organizacije in vodenja vzdrževanja na hidravličnih sistemih.

#### **Objectives and competences:**

##### **Goals:**

Learn about maintenance strategies

Learn techniques for root cause analysis

Learn mathematical models for maintenance optimization

Learn work management in maintenance

Learn about organization and storage of spare parts

Learn about maintenance of hydraulic systems

##### **Competences:**

P8-PAP: Ability to choose proper maintenance strategy regarding the asset.

S11-PAP: Ability of performing root cause analysis.

P9-PAP: Ability of usage mathematical models for maintenance activity optimization – increasing availability, reduction of inventory, reduction of total costs.

S6-PAP: Ability and understanding of team work in maintenance process.

P10-PAP: Ability of organization of spare parts. Sposobnost organizacije rezervnih delov.

S1-PAP: Ability of organization and management of maintenance for hydraulic systems.

#### **Predvideni študijski rezultati:**

##### **Znanja:**

Z1: Poglobljeno poznavanje strategij vzdrževanja in vseh podpornih aktivnosti ter praktična uporaba na hidravličnih sistemih.

##### **Spretnosti:**

S1.1: Priprava in izvedba matematičnih analiz za vrednotenje in optimizacijo vzdrževanja.

S1.2: Samostojna uporaba strategij vzdrževanja v realnih delovnih okoljih.

#### **Intended learning outcomes:**

##### **Knowledge:**

Z1: In-depth knowledge of maintenance strategies and all support activities and practical application to hydraulic systems.

##### **Skills:**

S1.1: Preparation and performance of mathematical analyzes for the evaluation and optimization of maintenance.

S1.2: Autonomous use of maintenance strategies in real

S1.3: Iskanje glavnega vzroka okvare in izvedba ustreznih korektivnih ukrepov.	work environments.
S1.4: Sposobnost predlaganja in uvedbe novih rešitev na področju vzdrževanja.	S1.3: Identify the root cause of the failure and take appropriate corrective action.
	S1.4: Ability to propose and introduce new maintenance solutions.

#### Metode poučevanja in učenja:

#### Learning and teaching methods:

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. P2 Obravnava snovi po urejeni in vnaprej razloženi sistematiki.</li> <li>2. P3 Avditorne vaje, kjer se teoretično znanje s predavanj podkrepi z računskimi primeri</li> <li>3. P4 Laboratorijske vaje z namenskimi didaktičnimi pripomočki: hidravlična preizkuševališča in diagnostična oprema za meritve hidravličnih parametrov : tlak, pretok, temperatura, vlaga, čistoča, viskoznost, dielektrična konstanta, ...</li> <li>4. P6 Interaktivna predavanja</li> <li>5. P7 Študij literature in razprava</li> <li>6. P8 Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarских nalog: po dva študenta rešujeta konkretno individualno nalogo s področja vzdrževanja</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. P2 Dealing with the learning material in an orderly and pre-explained systematic manner.</li> <li>2. P3 Auditorial tutorials, where theoretical knowledge from lectures is supported by computational examples.</li> <li>3. P4 Laboratory tutorials with dedicated teaching aids: hydraulic test facilities and diagnostic equipment for measuring hydraulic parameters: pressure, flow, temperature, humidity, cleanliness, viscosity, dielectric constant, ...</li> <li>4. P6 Interactive lectures</li> <li>5. P7 Literature study and discussion</li> <li>6. P8 Making and presentation of applied seminar tasks: Izdelava in predstavitev aplikativnih seminarских nalog: two students solve a specific individual task in the field of maintenance</li> </ol>
--	--

#### Načini ocenjevanja:

#### Delež/Weight

#### Assessment:

Teoretična snov (predavanja).	50,00 %	Theory (lectures).
Laboratorijsko delo na vajah (vključno s kolokvijem).	25,00 %	Laboratory tutorials (including tutorial exam).
Seminar.	25,00 %	Project.

#### Reference nosilca/Lecturer's references:

Mitjan Kalin:

PEJAKOVIĆ, Vladimir, TOTOLIN, Vladimir, RISTIC, Andjelka, GABLER, Christoph, **KALIN, Mitjan**, DÖRR, Nicole. Tribological performance and degradation of 1-n-butyl-1-methylpyrrolidinium methylsulfate ionic liquid in glycerol as lubricant for steel-steel sliding contacts. Lubrication science, ISSN 0954-0075, 2019, str. 1-13, ilustr., doi: 10.1002/lis.1455. [COBISS.SI-ID 16596507]

**KALIN, Mitjan**, KUPEC, Alja. The dominant effect of temperature on the fatigue behaviour of polymer gears. Wear, ISSN 0043-1648. [Print ed.], Apr. 2017, vol. 376/377, part B, str. 1339-1346, ilustr.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164817302788?via%3Dihub>, doi: 10.1016/j.wear.2017.02.003. [COBISS.SI-ID 15897115]

**KALIN, Mitjan**, JERINA, Jure. The effect of temperature and sliding distance on coated (CrN, TiAlN) and uncoated nitrided hot-work tool steels against an aluminium alloy. V: 20th International Conference on Wear Materials, (Wear (Lausanne. Print), ISSN 0043-1648, Vol. 330/331). [Amsterdam]: Elsevier. 2015, vol. 330/331, str. 371-379, ilustr., doi: 10.1016/j.wear.2015.01.007. [COBISS.SI-ID 14029595] tipologija 1.08 -> 1.01

**KALIN, Mitjan**. Identification of machine components cracking with sound emission during steel quenching. V: EWGAE 2016 : preliminary programme, exhibition, accompanying programmes, The 32nd european Conference on

Acoustic Emission Testing, Prague, Czech Republik, September 07th - 09th, 2016. Brno: Czech Society for Non-destructive Testing: Brno University of Technology. 2016, str. A26-A27. [COBISS.SI-ID 14846747]

**KALIN, Mitjan**, POLAJNAR, Marko. Preskus obrabne odpornosti masti. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za tribologijo in površinsko nanotehnologijo, 2017. 3 f., graf. prikazi. [COBISS.SI-ID 15233051]

Franc Majdič:

**MAJDIČ, Franc**, KALIN, Mitjan. Characteristics of the stationary behaviour of water- and oil-based power-control hydraulics. *Mechanika*, ISSN 1392-1207, 2014, vol. 20, no. 3, str. 274-281, SCI, A4

STRMČNIK, Ervin, **MAJDIČ, Franc**, KALIN, Mitjan. Influence of a diamond-like carbon-coated mechanical part on the operation of an orbital hydraulic motor in water. *Metals*, ISSN 2075-4701, Apr. 2019, vol. 9, iss. 4, f. 1-14, SCI, 1A1

**MAJDIČ, Franc**. Raziskava uporabnosti kompozitne cevi hidravličnega valja. *Ventil : revija za fluidno tehniko in avtomatizacijo*, ISSN 1318-7279, feb. 2018, letn. 24, št. 1, str. 32-38,

**MAJDIČ, Franc**, PINTAR, Jakob. Diagnosticiranje napak hidravličnega motorja. *Ventil : revija za fluidno tehniko in avtomatizacijo*, ISSN 1318-7279, apr. 2015, letn. 21, št. 2, str. 116-119

**MAJDIČ, Franc**. Načrtovanje menjave hidravličnih sestavin pred okvaro : Šola vzdrževanja hidravličnih naprav, 9. del. *IRT 3000 : inovacije, razvoj, tehnologije*, ISSN 1854-3669, feb. 2019, letn. 14, št. 2, str. 152-153

Marko Polajnar:

**POLAJNAR, Marko**, BIZJAN, Benjamin, ŠIROK, Brane, KALIN, Mitjan. High-speed optical imaging of liquid film flow and liquid macro-slip over free surfaces with different surface energies. *Lubrication science*. Online ed. Dec. 2017, vol. 29, iss. 8, f. 557-566, ilustr. ISSN 1557-6833.

KALIN, Mitjan, **POLAJNAR, Marko**. The correlation between the surface energy, the contact angle and the spreading parameter, and their relevance for the wetting behaviour of DLC with lubricating oils. *Tribology international*. [Print ed.]. Oct. 2013, vol. 66, str. 225-233, ilustr. ISSN 0301-679X.

KALIN, Mitjan, **POLAJNAR, Marko**. The effect of wetting and surface energy on the friction and slip in oil-lubricated contacts. *Tribology letters*. Nov. 2013, vol. 52, iss. 2, str. 185-194, ilustr. ISSN 1023-8883.

**POLAJNAR, Marko**, BRODNIK ŽUGELJ, Blaž, KOGOVŠEK, Janez, KALIN, Mitjan. Analiza poškodbe spodnjega vodilnega radialnega segmentnega ležaja v ČHE Avče. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za tribologijo in površinsko nanotehnologijo, 2017. 77 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 15696923]

KALIN, Mitjan, **POLAJNAR, Marko**. Employing wetting and surface energy to tailor the performance of tribological systems. V: 19th International Colloquium Tribology : Industrial and Automotive Lubrication, 21 - 23 January 2014 in Stuttgart, Ostfildern, Germany. Ostfildern: Technische Akademie Esslingen - TAE, 2014. Datoteka 04\_03\_kalin\_man (4 f.), ilustr. [COBISS.SI-ID 13339675]