

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**DVIG KVALITETE IN ZNIŽEVANJE STROŠKOV VZDRŽEVANJA
HIDRAVLICNIH SISTEMOV Z UPORABO KONTINUIRANEGA
PREGLEDOVANJA IN DIGITALNE OBDELAVE PARAMETROV**

Ljubljana, 13. december 2018

MARKO ŠTEGER

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Marko Šteger, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtor predloženega dela z naslovom Dvig kvalitete in zniževanje stroškov vzdrževanja hidravličnih sistemov z uporabo kontinuiranega pregledovanja in digitalne obdelave parametrov, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem doc. dr. Denisom Marinškom

IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravil samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označil;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.

V Ljubljani, dne 21.12.2018

Podpis študenta: _____

KAZALO

| | |
|--|-----------|
| UVOD | 1 |
| 1 PREGLED LITERATURE IN TEORETIČNO OZADJE | 2 |
| 1.1 Industrija 4.0 | 2 |
| 1.1.1 Začetki in zgodovina..... | 2 |
| 1.1.2 Najpomembnejše pridobitve | 3 |
| 1.1.2.1 Vertikalno povezovanje | 3 |
| 1.1.2.2 Horizontalna integracija..... | 4 |
| 1.1.2.3 Interdisciplinaren razvoj..... | 4 |
| 1.1.3 Možnosti aplikacij..... | 5 |
| 1.1.4 Področja trenutne uporabe | 6 |
| 1.1.5 Tehnološki stebri..... | 7 |
| 1.1.6 Potencialne slabosti..... | 7 |
| 1.1.7 Izzivi | 8 |
| 1.2 Hidravlika | 9 |
| 1.2.1 Začetki in zgodovina..... | 9 |
| 1.2.2 Delovanje hidravlike | 10 |
| 1.2.3 Uporaba v industriji | 12 |
| 1.2.3.1 Kmetijstvo..... | 12 |
| 1.2.3.2 Gradbeništvo..... | 12 |
| 1.2.3.3 Industrijska proizvodnja..... | 13 |
| 1.2.3.4 Letalska industrija..... | 13 |
| 1.2.4 Težave in izzivi pri uporabi hidravličnih sistemov..... | 14 |
| 1.3 Vzdrževanje | 15 |
| 1.3.1 Kurativno vzdrževanje | 16 |
| 1.3.2 Preventivno vzdrževanje..... | 18 |
| 1.3.3 Vzdrževanje po stanju..... | 20 |
| 1.3.4 V zanesljivost usmerjeno vzdrževanje..... | 20 |
| 2 TEHNOLOGIJE INDUSTRIJE 4.0 PRI VZDRŽEVANJU HIDRAVLIKE .. | 22 |
| 3 ANALIZA MOŽNOSTI IZBOLJŠAV PRI VZDRŽEVANJU HIDRAVLIKE | 26 |
| 3.1 Opredelitev namena in cilja raziskave | 26 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.2 | Predstavitev hipotez | 27 |
| 3.3 | Metodologija..... | 28 |
| 3.3.1 | Pregled posameznih informacij, razdelitev in razlaga podskupin | 28 |
| 3.3.2 | Bivariatna Pearsonova korelacija..... | 29 |
| 3.3.3 | T-test razlike povprečij za dva neodvisna vzorca | 29 |
| 3.3.4 | Metoda ugotavljanja medsebojnega odnosa kategoričnih spremenljivk | 29 |
| 3.4 | Pregled pridobljenih podatkov..... | 30 |
| 3.4.1 | Vrsta obravnavanega primera | 30 |
| 3.4.2 | Število let v obratovanju | 31 |
| 3.4.3 | Število obratovalnih ur komponente | 32 |
| 3.4.4 | Informacija o začetku uporabe | 32 |
| 3.4.5 | Tip incidenta | 32 |
| 3.4.6 | Verjeten vzrok incidenta | 33 |
| 3.4.7 | Odgovornost..... | 34 |
| 3.4.8 | Upoštevanje garancije | 34 |
| 3.4.9 | Stroški | 35 |
| 3.4.10 | Trajanje posamezne aktivnosti..... | 37 |
| 3.5 | Preizkus hipotez..... | 39 |
| 3.5.1 | Povezava skupnih stroškov in trajanja celotnega postopka vzdrževanja..... | 39 |
| 3.5.2 | Povezava skupnih stroškov in informacije o začetku uporabe | 41 |
| 3.5.3 | Trajanje celotnega postopka in informacija o začetku uporabe..... | 43 |
| 3.5.4 | Število obratovalnih ur komponente in njena starost v letih..... | 44 |
| 3.5.5 | Verjeten vzrok težave in dodeljena odgovornost..... | 44 |
| 4 | DISKUSIJA | 46 |
| 4.1 | Razlaga rezultatov analize | 46 |
| 4.2 | Omejitve raziskave | 49 |
| 4.3 | Priporočila za nadaljnje raziskave..... | 50 |
| | SKLEP..... | 50 |
| | LITERATURA IN VIRI..... | 51 |
| | PRILOGE | 57 |

KAZALO TABEL

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Pregled štirih osnovnih vzdrževalnih strategij..... | 22 |
| Tabela 2: Hipoteze..... | 28 |
| Tabela 3: Opisna statistika števila let v obratovanju | 31 |
| Tabela 4: Delež posameznih tipov incidentov v % | 33 |
| Tabela 5: Delež posameznih verjetnih vzrokov incidenta v % | 34 |
| Tabela 6: Specifikacije vzorčenja (Bootstrap)..... | 40 |
| Tabela 7: Rezultati analize Pearsonove korelacije | 40 |
| Tabela 8: Statistične značilnosti posameznih skupin | 41 |
| Tabela 9: Test neodvisnih vzorcev | 42 |
| Tabela 10: Samovzorčenje za test neodvisnih vzorcev (Bootstrap) | 42 |
| Tabela 11: Biseriialna korelacija trajanja celotnega postopka in začetka uporabe | 43 |
| Tabela 12: Pearsonova korelacija števila obratovalnih ur in njene starosti v letih..... | 44 |
| Tabela 13: Hi-kvadrat test | 45 |
| Tabela 14: Mere velikosti učinka | 45 |

KAZALO SLIK

| | |
|---|----|
| Slika 1: Štiri industrijske revolucije | 3 |
| Slika 2: Interakcija ljudi z napravami preko digitalno-fizičnih sistemov..... | 6 |
| Slika 3: Tehnološki stebri industrije 4.0..... | 7 |
| Slika 4: Delovanje hidravličnega sistema..... | 10 |
| Slika 5: Shematični prikaz odprtega hidravličnega sistema | 11 |
| Slika 6: Shematični prikaz zaprtega hidravličnega sistema..... | 11 |
| Slika 7: Hidravlični vrtalnik predorov..... | 13 |
| Slika 8: Pristajalno podvozje letala | 14 |
| Slika 9: Posledice kurativnega režima vzdrževanja v proizvodnem procesu | 17 |
| Slika 10: Stanje naprave v preventivnem vzdrževalnem režimu..... | 19 |
| Slika 11: Stroškovno idealna kombinacija preventivnega in kurativnega vzdrževanja | 19 |
| Slika 12: Tehnični elementi merilcev stanja olja in merjene značilnosti | 25 |
| Slika 13: Struktura nadzornega sistema spremljanja stanja olja..... | 26 |
| Slika 14: Vrsta obravnavanega primera..... | 31 |
| Slika 15: Število obratovalnih ur komponente ob zahtevku za pregled ali popravilo..... | 32 |
| Slika 16: Delitev odgovornosti za napake na komponentah | 34 |
| Slika 17: Delež posameznih izidov garancijskih zahtevkov | 35 |
| Slika 18: Število primerov izbranega vzorca v posamezni stroškovni skupini | 36 |
| Slika 19: Število primerov skupnih stroškov v posamezni stroškovni skupini | 36 |
| Slika 20: Delež posameznih skupin stroškov v skupnem seštevku izbranega vzorca..... | 37 |
| Slika 21: Ključni dogodki reklamacij in vzdrževanja ter čas med njimi..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Slika 22: Število primerov posamezne aktivnosti v določeni časovni enoti | 38 |
| Slika 23: Število primerov trajanja celotnega postopka v posamezni časovni enoti.. | 39 |

KAZALO PRILOG

| | |
|--|---|
| Priloga 1: Odstotek zahtevkov s terena in pred začetkom uporabe..... | 1 |
| Priloga 2: Kontingenčna tabela verjetnega vzroka težav in dodeljene odgovornosti | 2 |

UVOD

Prenos energije preko hidravlične tekočine je ključna aktivnost mnogoterih delovnih procesov, ki jim je skupna značilnost je potreba po veliki gostoti moči in natančni vodljivosti. V času globalizacije in številčne konkurence postajata zanesljivost in visoka učinkovitost delovnih procesov vedno bolj pomembni vrlini, dosežemo pa ju z množico različnih dejavnosti, med katere sodi tudi vzdrževanje opreme. Številne inovacije in hitre spremembe na področju tehnike omogočajo implementacijo sodobnih tehnologij v vsakdanje življenje, kot tudi v industrijo in poslovni svet. Tehnologije četrte industrijske revolucije omogočajo učinkovito spremljanje parametrov delovne opreme, kar skupaj s hitro izmenjavo informacij na medmrežju omogoča razvoj učinkovitejših tehnik vzdrževanja v primerjavi s tistimi, ki smo jih poznali do zdaj.

Magistrsko delo obravnava tri bistvene tematike in jih poskuša interdisciplinarno povezati, tako kot to v današnjem času delajo podjetja pri svojih poslovnih in delovnih procesih. Sestavljeno je iz štirih poglavij, v prvem izmed njih pa so opisani izsledki pregleda literature in teoretičnega ozadja. Poglavje je nadaljnje razdeljeno na tri dele, v katerih so predstavljene bistvene značilnosti treh obravnavanih tematik: industrije 4.0, hidravlike in vzdrževanja. Naslednje, drugo poglavje, združuje vse tri teme v zaključeno celoto, v njem pa lahko najdemo tudi opis praktičnih rešitev, ki bi lahko izboljšale učinkovitost in znižale stroške vzdrževanja hidravlične opreme.

S tretjim poglavjem se prične opis praktičnega dela magistrske naloge, ki temelji na naslednjem raziskovalnem vprašanju: Kateri so glavni faktorji, ki vplivajo na višino stroškov in trajanje celotnega vzdrževalnega procesa hidravličnih komponent? Opredelitvi namena in cilja ter predstavitvi hipotez sledi podroben opis podatkov, pridobljenih s strani podjetja Poclain Hydraulics, d. o. o., ki se ukvarja z načrtovanjem, s proizvodnjo in z vgradnjo hidravličnih sistemov. Besednemu opisu je za lažje razumevanje dodana tudi grafična ali tabelarična predstavitev podatkov. Opisovanju sledi preizkus hipotez, opravljen s statističnimi orodji, ki so predhodno opisana v podpoglavju metodologije raziskovanja.

Povezava med dognanji teoretičnega ozadja iz pregleda literature je z rezultati preizkusa prikazana v četrtem poglavju z naslovom Diskusija. Poglavje vsebuje razlago rezultatov statistične analize, prav tako pa so pri posameznih primerih navedeni razlogi za možna odstopanja od prvotnih pričakovanj. Četrto poglavje se zaključuje z opisom dejavnikov, ki so omejevali raziskovalno delo, in s predlogi za nadaljnje raziskave, ki bi razumevanje tematike te magistrske naloge lahko še poglobile.

1 PREGLED LITERATURE IN TEORETIČNO OZADJE

V prvem poglavju magistrskega dela so zapisani izsledki pregleda literature predhodno opravljenih raziskav s podobno tematiko. Kombinacija vseh treh obravnavanih tem je zaenkrat še precej neraziskana, zato je opis teoretičnega ozadja razdeljen na tri dele. Prvi del govori o industriji 4.0, v drugem delu sledijo osnove hidravlike, poglavje pa se v tretjem delu zaključuje s teorijo vzdrževanja.

1.1 Industrija 4.0

Pojem, ki se v industriji uporablja manj kot desetletje, danes postaja pomembna tema prestrukturiranja velikega števila podjetij. V tem delu so poleg izvora predstavljene bistvene teoretične značilnosti in nekateri pionirski primeri uporabe.

1.1.1 Začetki in zgodovina

Načini človekovega ustvarjanja in grajenja so se skozi celotno zgodovino spreminjali in napredovali, včasih so za krajši čas tudi nazadovali. Te spremembe so se po nam do sedaj znanih ugotovitvah in zgodovinskih najdbah odvijale zelo počasi. Spreminjali so se materiali, načini izdelave predmetov in uporabljeno orodje. Energijo za potrebno delo so največkrat prispevali delavci sami, lahko so si pomagali z živalmi, včasih pa tudi z energijo vetra ali vode. Ravno način pretvorbe energije je v zgodovini postavil industriji pomemben mejnik. Razvoj se je zaradi iznajdbe parnega stroja prvič znatno pospešil in predstavil človeštvu nove možnosti ustvarjanja. Skupaj z novim načinom pretvorbe energije je svet prvič uzrl mehanizacijo, ki je postopoma znatno olajšala delo na polju in v tovarnah.

Stoletje kasneje je z iznajdbo elektrike, začetkom izkoriščanja nafte in plina v energetske namene, prve kemijske sinteze in s pojavom prvega telekomunikacijskega sredstva v obliki telegrafa nastopila druga industrijska revolucija. V tem času se je znatno povečalo povpraševanje po surovinah in končnih izdelkih s strani potrošnikov, kar je nekaj desetletij kasneje posledično pripeljalo do prvega serijsko proizvedenega izdelka (Sniderman, Mahto & Cotteleer, 2016).

Nova industrijska revolucija je ponovno nastopila stoletje kasneje, naznanil pa jo je prihod elektronike. Na začetku sta se pojavila tranzistor in procesor, čemur je sledil razmah telekomunikacijske tehnologije in računalništva. Vse to je industriji omogočalo začetek avtomatizacije proizvodnje in s tem bistveno zmanjšanje potreb po fizičnem delu zaposlenih (Annunziata & Bourgeois, 2018). Pomen posameznih industrijskih revolucij skozi zgodovino je grafično prikazan na sliki 1.

Leta 2011 se je na hannovrskem sejmu zgodil trenutek, ob katerem sta se stroka in širša javnost strinjali, da je prišel čas za novo, četrto industrijsko revolucijo. Na sejmu je bil prvič uporabljen izraz industrija 4.0 v govoru Wolfganga Wahlsterja, direktorja nemškega

raziskovalnega centra za umetno inteligenco. Navzočim je pojasnil, da je gonilo tokratne industrijske revolucije internet. V industriji 4.0 so se začele brisati meje med do tedaj dokaj jasno ločenim fizičnim in digitalnim svetom ter človeško vpletenostjo v delo. Internet je začel omogočati dostop do najrazličnejših informacij v neizmerno kratkem času s kateregakoli koticčka sveta (Lydon, 2014). Omeniti velja, da je industrija 4.0 v Nemčiji razvit pojem, ki se uporablja predvsem širom Evropske unije. V angleško govorečih deželah to revolucionarno pridobitev po navadi imenujejo »Internet of Things« ali Internet stvari. Zasedimo lahko tudi kakšen drugačen izraz, v osnovi pa se avtorji vseh strinjajo, da je internet ključen akter četrte industrijske revolucije (Tupa & Benesova, 2017).

Slika 1: Štiri industrijske revolucije



Vir: Roser (2015).

1.1.2 Najpomembnejše pridobitve

Industrija 4.0 prinaša največ novosti na področju širjenja in zajemanja informacij z željo doseganja višje stopnje učinkovitosti. Bistvene pridobitve lahko razdelimo v štiri večje skupine (Deloitte Touche Tohmatsu Limited, 2014):

1.1.2.1 Vertikalno povezovanje

Vertikalno povezovanje mora vsako podjetje začeti z dovolj zmogljivimi komponentami informacijske tehnologije in osebjem, ki poseduje znanje za učinkovito upravljanje. Veliko podjetij se v fazi implementacije novih tehnologij sooča ravno s pomanjkanjem opreme (senzorjev, modemov, kontrolnih sistemov, komunikacijskih mrež, programske opreme), višji začetni vložek pa lahko dalj časa predstavlja nadaljnjo konkurenčno prednost.

Z vsjo strojno in s programsko opremo ima podjetje možnost zajemanja velike količine podatkov, ki so v današnjem svetu bistveni za analiziranje trga, proizvodnih procesov, finančnega stanja in drugih sfer poslovanja podjetja. Izziv na tem področju je ponovno znanje, potrebno za analizo te velike količine podatkov, saj nam brez prave interpretacije le-ti ne koristijo, z napačno interpretacijo pa lahko celo škodujejo. Zbrane in analizirane podatke se lahko z novimi tehnologijami shrani na internet, ali bolje rečeno intranet, saj jih podjetja po navadi koristijo v interne namene. Na takšen način se do njih lahko dostopa s kateregakoli koticčka sveta; vse kar je potrebno, je dostop do interneta.

S povečanim obsegom globalizacije, z mednarodnim povezovanjem podjetij in njihovim vstopom na nova tržišča tako imenovano računalništvo v oblaku močno poenostavi procese posameznih enot ali celotnih korporacij. Računalništvo v oblaku poleg interne komunikacije v podjetju omogoča tudi lažje sporazumevanje z dobavitelji, s strankami in z drugimi akterji poslovnega procesa. Inovacije ne zajemajo več samo produkta samega, ampak se prenašajo po celotni vertikalni verigi, od dobaviteljev do kupca. Četrta industrijska revolucija prav tako omogoča višjo operativno učinkovitost in s tem omogoča nižje operativne stroške. Z analizo velike količine podatkov in s hitrim dostopom do njih lahko zmanjšamo količino sredstev in osebja, namenjeno vzdrževanju naprav. Nižje operativne stroške dosežemo s senzorskim nadzorom, ki mu sledi popravilo ali zamenjava delov, ko je to res potrebno. S tem podaljšamo življenjsko dobo posameznih komponent, kar se na koncu lahko prenese v nižjo ceno končnega produkta in s tem konkurenčno prednost.

1.1.2.2 Horizontalna integracija

Podjetja, ki želijo biti del četrte industrijske revolucije, morajo zagotoviti nove spretnosti tako na individualni kot tudi na ravni celotnega kolektiva. Inovacije v obstoječih poslovnih modelih izzovejo nejevoljo in nepripravljenost za sodelovanje, zato je v četrti industrijski revoluciji za uspešno poslovanje potrebno dosedanje modele popolnoma prenoviti. S poenotenjem vertikalne verige od dobaviteljev do kupca se morajo zblížati tudi posamezne enote v podjetju. Razvoj, nabava, proizvodnja, marketing, prodaja in druge imajo v današnjem času zaradi digitalnega napredka boljše možnosti sodelovanja in izmenjave podatkov kot kdajkoli prej. Vse to lahko močno izboljša notranjo učinkovitost na vseh področjih poslovanja. Vsi zaposleni morajo z uveljavitvijo novih tehnologij veliko bolj sodelovati z oddelkom informacijske tehnologije, da lahko vse poteka varno in brez zapletov.

1.1.2.3 Interdisciplinaren razvoj

Nove tehnologije omogočajo inovacije in razvoj preko meja samega izdelka. Zadevajo tudi odnos s kupcem ali stranko, z dobavitelji in drugimi deležniki. Omogočajo celosten pristop do novih rešitev, ki pripomorejo k boljšim poslovnim modelom in h konkurenčni prednosti. Velika količina novih informacij in hiter dostop do njih vplivata na način vodenja podjetij.

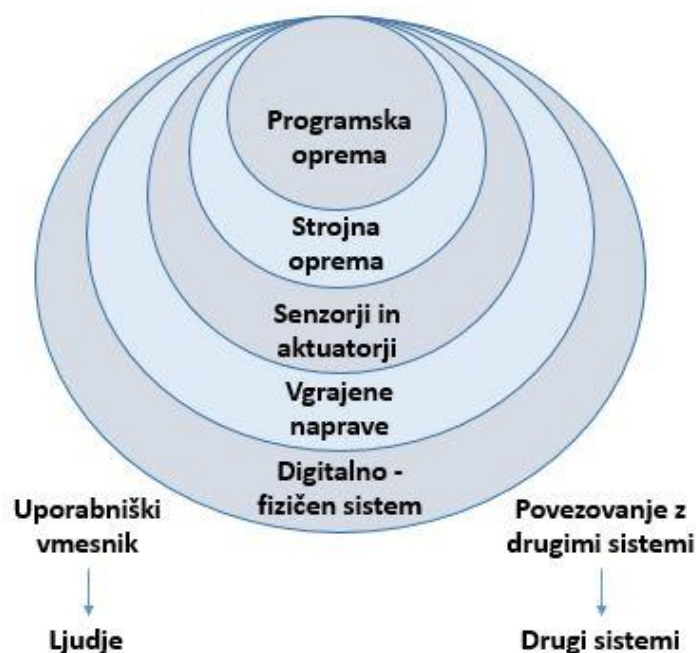
Vodstvo s pomočjo pridobljenih podatkov bolje oceni donosnost in tveganje posameznega projekta, kar na koncu vse deležnike nagradi z višjo dodano vrednostjo. Pridobljeni podatki in ocena tveganja koristijo tudi investicijam v druga, novoustanovljena podjetja, ki se ponášajo z inovativnimi kreacijami. Svet idej in njihova realizacija se še nikoli ni spreminjal tako hitro kot danes in podjetja morajo hitro oceniti možnost vložka v nove tehnološke pridobitve. Vsa ta prepletanja pa zahtevajo nenehno učenje. Podjetja v četrti industrijski revoluciji morajo biti grajena na filozofiji nenehnega pridobivanja novega znanja, toge strukture namreč v času tako hitrih sprememb hitro zaostanejo in izpadejo.

1.1.3 Možnosti aplikacij

Možnosti uporabe tehnologij četrte industrijske revolucije so neskončne in segajo tudi izven proizvodnih procesov. V splošnem jih lahko grobo ponazorimo z naslednjimi primeri, teoretično pa so ponazorjeni v shematskem prikazu slike 2 (Roblek, Meško & Krapež, 2016).

- Pametna proizvodnja: na internet priklopljene naprave s senzorji, procesorji in z avtonomnimi sistemi omogočajo samo optimizacijo in samostojno sprejemanje odločitev glede na dane okoliščine.
- Individualizirano načrtovanje: z analizo velike količine zbranih informacij o kupcu se lahko izdelek ali storitev dizajnira avtomatično glede na potrebe.
- Razpršen dostop do informacij: na internet shranjeni podatki omogočajo hiter in enostaven dostop s katerekoli lokacije in naprave.
- Decentralizirana samoorganizacija: sistemi z analizo podatkov samostojno optimizirajo celoten proces od začetnega dobavitelja do kupca.
- Pametni produkti: na internet povezani izdelki, opremljeni s senzorji in procesorji pošiljajo podatke o uporabi tudi po nakupu in s tem olajšajo načrtovanje prihodnjih produktov po meri kupca.
- Komunikacija med napravami: naprave na podlagi informacij drugih naprav samostojno izbirajo odločitve in se prilagajajo razmeram.
- Prilagajanje človeškim potrebam: naprava se s pomočjo umetne inteligence prilagaja uporabniku in mu s tem izboljša uporabniško izkušnjo.
- Pametno izobraževanje: poteka z vnaprej določenimi cilji, v nasprotju s konvencionalnimi načini se samo prilagaja sposobnostim posameznika.
- Izmenjava informacij med udeleženci v prometu: vozila lahko predlagajo ali pa tudi sprejemajo odločitve v izogib možnim nesrečam.
- Pametna mesta: optimizacija infrastrukture, javnih ustanov, delovnih mest in drugih sfer s spremljanjem aktivnosti.

Slika 2: Interakcija ljudi z napravami preko digitalno-fizičnih sistemov



Vir: Tupa & Benesova (2017).

1.1.4 Področja trenutne uporabe

Področja, kjer se je avtonomna tehnologija pojavila najprej, so v tem delu že večkrat omenjene tovarne. Nekoliko kasneje so prednosti in dvig učinkovitosti novih tehnologij odkrila nekatera pristanišča. Rotterdamsko pristanišče, ki velja za eno najsodobnejših v tem trenutku, opravlja prevoze večine kontejnerjev z vozili brez neposrednega človeškega nadzora. Na podoben način delujejo tudi dvigala in druga pristaniška mehanizacija. S tem se izboljša natančnost, točnost, predvsem pa se zniža število nepredvidenih dogodkov zaradi človeške napake. V nadaljevanju želi pristanišče celoten proces še bolj avtomatizirati in do leta 2030 naložiti in zložiti tovor s samoupravljanje tovarne ladje (Campfens & Dekker, 2018).

Naslednja industrija, v kateri tehnološki napredek prinaša spremembe, je gradbeništvo. Po daljši stagnaciji pa področju pospešitve gradbenih procesov so se v današnjem času začeli pojavljati gradbeni roboti. Pionir na tem področju je podjetje Construction-Robotics, katerega izdelki še vedno potrebujejo človeško pomoč za zaključne finese, se pa bistveno skrajša čas opravljanja težkih del in zmanjša potreben človeški napor (Austin, 2018).

Panoga, kjer se že pojavlja popolnoma avtomatizirano upravljanje, je javni transport. Kot primer lahko navedemo linijo 4 podzemne železnice v Budimpešti, katere vlake upravlja računalnik brez kakršnegakoli človeškega nadzora na krovu. Kontrolo še vedno opravljajo v nadzornem centru, je pa za tak način upravljanja potrebno bistveno nižje število ljudi (Aishwarya, 2014).

Produkti industrije 4.0 so v zadnjem času precej opazni tudi v kmetijstvu. Na poljih so se začeli pojavljati avtonomni traktorji in druga kmetijska mehanizacija. Prav tako lahko roboti nadzirajo stanje živali in skrbijo za molžo mleka (Bonneau, Copigneaux, Probst & Bertrand, 2017).

1.1.5 Tehnološki stebri

Tehnološki izumi enaindvajsetega stoletja so temelj četrte industrijske revolucije. Že uveljavljena tehnologija se bo še naprej uporabljala na določenih področjih, nova odkritja, ki so bazirana predvsem na internetu, pa omogočajo povezovanje mehanskih, energetskih, digitalnih in človeških aktivnosti. Bolj konkretni elementi novodobne tehnologije, ki omogočajo spremembe industrije in družbe na splošno, so prikazani na sliki 3.

Slika 3: Tehnološki stebri industrije 4.0



Vir: Saturno, Moura Pertel & Deschamps (2018).

1.1.6 Potencialne slabosti

Industrija 4.0 s seboj prinaša spremembe, ki lahko nekatera področja zaznamujejo z negativnimi posledicami. Spremembe načina dela in razmišljanja so ob novih tehnologijah tako rekoč nujne. Podjetja in zaposleni, ki bodo te spremembe dosledno izvajali, lahko v prihodnosti pričakujejo konkurenčno prednost v primerjavi s tistimi, ki tega ne bodo upoštevali. Posledice ob neučinkovitem prilagajanju na nove razmere na delovnih mestih so naslednje (Degryse, 2016):

- množično izginjanje delovnih mest srednje kvalificiranih poklicev,
- brisanje mej med zasebnim in poslovnim življenjem zaradi možnosti dostopa do informacij kadarkoli in od kjerkoli,
- podrejenost delavca napravi in izguba samostojnosti pri delu zaradi avtonomnosti procesov,
- slabšanje odnosov med podrejenimi in nadrejenimi zaradi večje možnosti nadzora na delovnem mestu in izkoriščanja le-tega,
- neuskkljenost potreb in ponudbe na delovnem trgu zaradi hitrega spreminjanja tehnologij in prepočasnega prilagajanja delavcev,
- stagnacija rasti plač zaradi nižjega vidnega učinka delavca na izvajan proces.

Možne slabosti nove industrijske revolucije pa segajo tudi onkraj delovnih razmerij. V vsakdanjem življenju lahko že sedaj občutimo vedno nižjo raven zasebnosti. V prejšnjih poglavjih omenjeno zbiranje in obdelava velike količine podatkov ima za prebivalstvo tudi negativne posledice.

Ljudje se lahko slabo odzovejo na nadzor svojega vedenja s strani korporacij preko uporabe tehnično naprednih izdelkov. Problematična je tudi digitalna pismenost starejših prebivalcev, ki hitrih sprememb pogosto ne dohajajo. Problem, ki ga prinaša zbiranje velike količine podatkov, je tudi nastajanje monopolnih ali oligopolnih struktur, saj korporacije velikokrat posedujejo digitalna znanja in zmožnosti, ki jih manjša in srednje velika podjetja ne (Tupa & Benesova, 2017). Hitrega spreminjanja okolja velikokrat ne dohajajo tudi države in njihovi organi, kar privede do neskladij na zakonodajnem področju, saj so nekatere nove storitve in izdelki v začetni fazi obstoja popolnoma neregulirani.

1.1.7 Izzivi

Zgoraj naštetih slabih strani četrte industrijske revolucije lahko s pravilno pripravo in z ravnanjem v večji meri obidemo. Naslednji izzivi predstavljajo osnovo implementacije tehnologije 4.0 v katerikoli industriji in podjetju (Zaouini, 2017):

- definiranje novih poslovnih modelov,
- prestrukturiranje organizacije in procesov podjetja za doseganje boljše učinkovitosti,
- razumevanje individualnih poslovnih značilnosti za podjetja in razmere na trgu,
- izvajanje preliminarnih študij projektov,
- prednostna obravnava zahtevnejših nalog,
- prestrukturiranje vodstva,
- opazovanje, analiza in dolgoročno spreminjanje kulture podjetja,
- učinkovita komunikacija med posameznimi oddelki in z zunanjimi deležniki,
- rekrutiranje in razvijanje novih talentov.

1.2 Hidravlika

Hidravlični sistem je oblika prenosa energije na daljavo preko nestisljive tekočine pod pritiskom. Najpomembnejša značilnost je zmožnost premagovanja zelo visokih obremenitev v kontroliranih režimih. S preneseno energijo dobimo moč, ki se jo koristi za ustvarjanje sile in gibanja mehanizmov (Gupta & Arora, 2009). Hidravlični sistem predstavlja enega izmed treh glavnih načinov prenosa energije na daljavo, druga dva pa sta prenos električnega toka po žicah in prenos mehanske energije preko zobnikov, verige ali jermena.

1.2.1 Začetki in zgodovina

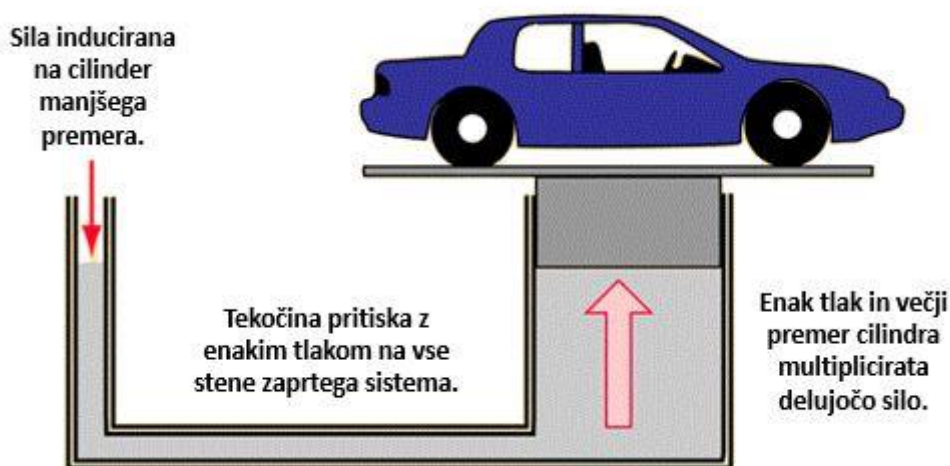
Prvi nam poznani začetki hidravlike segajo v obdobje starih Egipčanov, ki so gradili vodne kanale namenjene, namakanju in obrambi. Naslednja točka v zgodovini, kjer je hidravlika ponovno omenjena, je obdobje antične Grčije. Iz tega obdobja poznamo vodno uro in Arhimedovo vijajčno črpalko. Antični Grki so se prvi lotili razumevanja fizikalnega ozadja hidravličnih procesov, v njihovih zapisih pa zasledimo pojma hidrostatični tlak in vzgon. Iz antične grščine izhaja tudi sama beseda hidravlika, sestavljena iz besed *hydor* in *aulos*, ki v prevodu pomenita voda in cev (Chadwick, Morfelt & Borthwick, 2004). Stari Rimljani so fizikalne zakone hidravlike izkoriščali predvsem za še danes ohranjene akvedukte, teoriji pa se niso dosti posvečali. Teoretične zapise ponovno odkrijemo v obdobju renesanse, ko so Leonardo Da Vinci in njegovi sodobniki opisovali svoja popolnoma empirična odkritja ob opazovanju naravnih pojavov. V sedemnajstem stoletju so Descartes, Pascal, Newton, Hooke, Boyle in Leibnitz postavili temelje sodobne matematike in fizike, ki so omogočali matematični popis naravnih pojavov in s tem močno izboljšali možnosti razumevanja. Do osemnajstega stoletja je že obstajala veda po imenu hidrodinamika, njeni glavni akterji pa so bili Bernoulli, Euler, Clairaut in D'Alembert (Chadwick, Morfelt & Borthwick, 2004). Začetno prevlado italijanskih znanstvenikov so v tistem času prevzeli francoski in nemški. V devetnajstem stoletju se je raziskovanje nadaljevalo, prvič pa so se omenili pojmi laminaren in turbulenten tok ter viskoznost (Garde, 1995).

Ob koncu devetnajstega in v začetku dvajsetega stoletja se je zaradi razmaha industrije in s tem vedno večje potrebe po prenosu moči pojavila potreba po praktičnih aplikacijah vseh prej omenjenih teoretičnih študij. Prandtl in Theodore von Kármán sta v dvajsetih in tridesetih letih dvajsetega stoletja objavila več raziskav združevanja teorij za praktično uporabo. Rojena je bila veda mehanika fluidov, katere dognanja se preko hidravličnih aplikacij v industriji množično uporablja tudi danes (Chadwick, Morfelt & Borthwick, 2004). Hidravlične komponente se danes uporablja predvsem tam, kjer je potreben prenos moči z namenom premika določene komponente. Najpogosteje jo najdemo v proizvodnji, kmetijstvu, avtomobilski in letalski industriji ter mnogih drugih aplikacijah. Zaradi svoje učinkovitosti pri visokih temperaturah in širokem temperaturnem območju je to tehnologija, ki se bo zagotovo vgrajevala in uporabljala še dolgo v prihodnosti.

1.2.2 Delovanje hidravlike

Hidravlični sistemi delujejo po principu zaprtega sistema dveh cilindrov različnih premerov in s tem površin, v katerem se nahaja tekočina. Na prvi cylinder manjšega premera induciramo silo, ki povzroči delovanje tlaka tekočine na stene zaprtega sistema. V prvem cilindru je njegova vrednost enaka količniku inducirane sile, deljene s površino, na katero le-ta deluje. Ker je po Pascalovem zakonu tlak v celotnem sistemu enak, lahko tlak ob površini drugega, večjega cilindra enačimo s tistim ob površini prvega. Opisan fenomen omogoča, da z induciranjem majhne sile na prvi cylinder premaknemo težje breme drugega cilindra.

Slika 4: Delovanje hidravličnega sistema



Vir: Nave (2000).

Višina dviga bremena je v tem primeru mnogo manjša od razdalje, ki smo jo premostili z induciranjem sile na manjšem cilindru, kar nam omogoča zelo kontrolirano dviganje in spuščanje bremena. Premik težkega bremena in kontrolirano vodenje pa sta bistveni značilnosti in glavni razlog uporabe hidravličnih sistemov v praksi, eden od primerov je slikovno prikazan na sliki 4.

Prejšnja razlaga fizikalno objasni obnašanje fluidov pri njihovi uporabi. Da pride do tega procesa, potrebujemo v hidravličnem krogu vsaj štiri bistvene komponente. Prva izmed njih je črpalka, ki priključena na energetski vir pretvarja mehansko energijo v hidravlično, ta pa se preko fluida pretaka skozi naslednji element hidravličnega kroga, imenovan ventil. Naloga hidravličnega ventila je kontroliranje, usmerjanje in regulacija toka fluida, ki nato doseže naslednje ventile ali pa tretji element hidravličnega kroga, aktuator, katerega naloga je premik bremena. Tem osnovnim elementom hidravličnega kroga lahko prisostvujejo tudi ventili v različnem številu in vrsti, vse našteje komponente pa med seboj povezujejo cevi, kar lahko štejemo kot četrti pomemben sestavni del. Po opravljenem ciklu premikanja aktuatorja se olje v primeru zaprtega hidravličnega sistema po ceveh vrne nazaj v črpalko.

Če gre za odprt sistem, olje odteče v rezervoar, od koder ga črpalka ponovno črpa in mu poviša tlak za ponoven cikel. Poenostavljen shematski prikaz odprtega sistema lahko vidimo na sliki 5, prikaz zaprtega sistema pa na sliki 6.

Slika 5: Shematični prikaz odprtega hidravličnega sistema



Vir: Chadwick, Morfelt & Borthwich (2004).

Slika 6: Shematični prikaz zaprtega hidravličnega sistema



Vir: Chadwick, Morfelt & Borthwich (2004).

1.2.3 Uporaba v industriji

Hidravlični sistemi se uporabljajo predvsem tam, kjer se pojavi potreba po kontroliranem premikanju težkega bremena v zahtevani smeri. Največ jih najdemo v mobilnih aplikacijah večinoma kmetijskih in gradbenih strojev, pojavljajo pa se tudi v različnih napravah proizvodne industrije. Četrta industrijska revolucija je prinesla tudi avtonomne robote, ki za svoj pogon uporabljajo hidravliko, je pa njihova uporaba zaenkrat še vedno precej redka, uporabljajo se namreč samo za premikanje in upravljanje zelo težkih bremen (Bernell Hydraulics, 2016).

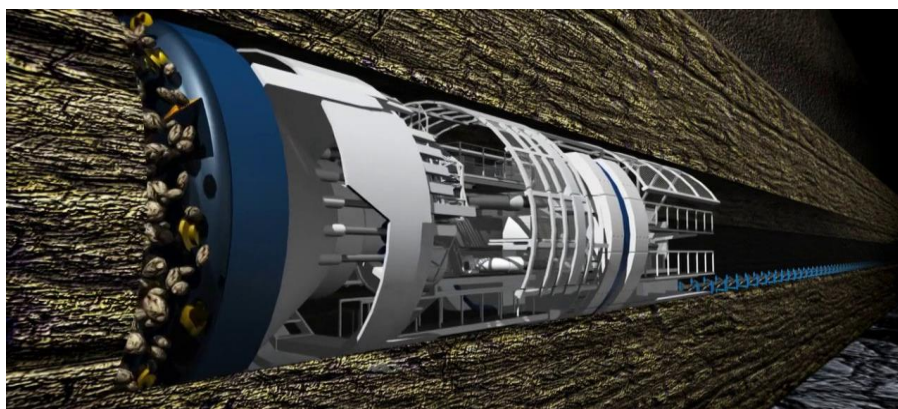
1.2.3.1 Kmetijstvo

S pojavom motorja na notranje izgorevanje so konje za delo na polju začeli množično zamenjevati traktorji, ki so za svoje delovanje nemalokrat odvisni od hidravličnega prenosa energije (zaviranja, krmiljenja, dvigovanja). Začetna tehnologija je za svoje delovanje ob relativno visokih izgubah še vedno potrebovala veliko človeškega posredovanja. Z napredovanjem tehnologije in vgradnjo senzorjev ter procesorjev se je močno dvignila raven učinkovitosti in natančnosti, kar naredi kombinacijo elektronike s hidravliko idealen par za sejanje, škropljenje in ostalo skrb poljščin. Ves ta napredek je močno povečal proizvodnjo hrane in jo s tem pocenil, napredki četrte industrijske revolucije pa možnosti za to še zvišujejo. V primerjavi z mehanskim prenosom moči ima hidravlični veliko višji navor, kar olajša premikanje po neutrjenem terenu in omogoča kontrolirano gibanje pri zelo nizkih hitrostih (Nash, 2014).

1.2.3.2 Gradbeništvo

Gradbeništvo se je skozi zgodovino razvijalo na podoben način kot kmetijstvo. Orodje se je razvijalo, človeško in živalsko moč pa so nadomestili stroji. Stroji na hidravlični pogon so bili del tehnološke pridobitve, odgovorne za izgradnjo velikih infrastrukturnih, stanovanjskih in drugih projektov, kjer je obstajala potreba po natančnem premiku težkih komponent. Velik napredek pri natančnosti in varnosti je prinesla tudi zamenjava uporabe dinamita s hidravličnimi svedrji, s katerimi se lahko odmakne velike količine materiala v zelenem področju za gradnjo cestnih ali rudniških predorov. Modelski prikaz vrtanja predora je v prerezu prikazan na sliki 7. Hidravlika je gradbeni industriji omogočila pospešitev del, večjo natančnost in zmanjšanje delovnih nesreč. Zadnje so bile ob nekontroliranem premiku materiala v preteklosti namreč precej pogoste, sedaj pa so pri velikih gradbenih projektih prej izjema kot pravilo. Z uporabo tehnologij četrte industrijske revolucije se učinkovitost še poveča, število nesreč pa zmanjša, saj delavci, ki jih je lahko znatno manj, nevarnostim niso direktno izpostavljeni (Cosford, 2015).

Slika 7: Hidravlični vrtalnik predorov



Vir: SBB CFF FFS (2016).

1.2.3.3 Industrijska proizvodnja

V industrijski proizvodnji se pogosto pojavljajo naprave, ki jih poganja hidravlika. Namenjene so predvsem prevažanju, dviganju, nalaganju, obračanju, mletju in stiskanju različnih proizvodov v različnih fazah obdelave. Značilnosti proizvodov, ki jih obdeluje hidravlika, sta po navadi velika masa in visoka trdnost. Tipični primeri uporabnikov hidravlike v industriji so proizvajalci jekla, avtomobilov, plastičnih izdelkov, kot tudi industrija procesiranja hrane in odpadkov, destilarne, papirnice in še mnogo drugih (Hydraulics Online, 2013). Tako kot je industrija 4.0 za spremembe poskrbela na drugih področjih, se temu niso mogle izogniti tudi hidravlične aplikacije v industrijski proizvodnji. V začetku sicer težko sprejeti hidravlični roboti si počasi utirajo pot v proizvodne hale, kjer obdelujejo težke kose, za katere pnevmatski in elektromehanični roboti niso dovolj zmogljivi. Slednjih dveh hidravlika zaradi svoje kompleksnosti verjetno nikoli ne bo zamenjala, obstajala pa bo niša v industriji s težkimi sestavnimi deli in končnimi produkti (Aronin, 2017).

1.2.3.4 Letalska industrija

Delovanje malokaterih hidravličnih aplikacij je tako kritično, kot je kritično delovanje hidravličnih sistemov na letalih. Razlog za to je tveganje človeških življenj na krovu v primeru kakršnekoli odpovedi. Hidravlični sistemi letala morajo biti zelo vzdržljivi in prilagojeni na delovanje v ekstremnih okoliščinah, tako temperaturnih kot tudi obremenitvenih.

V začetku so letala hidravliko uporabljala samo za zavorni sistem, z razvojem pa se je kasneje temu dodalo tudi upravljanje krilc in zakrilc, smernega in višinskega krmila ter mehanizem izvleka pristajalnega podvozja, ki je prikazan na sliki 8 (Simkins, 2012).

Slika 8: Pristajalno podvozje letala



Vir: Chen (2012).

Kljub razvoju različnih tehnologij prenosa moči se hidravlika v letalstvu še vedno uporablja zaradi enostavnosti vgradnje, relativno nezahtevnega vzdrževanja in velike sposobnosti prenosa moči v primerjavi z maso vgrajenih komponent. Zaradi tveganja odpovedi in zelo zahtevnih okoljskih razmer se v prihodnosti težko pričakuje zamenjavo hidravličnih sistemov na letalu z drugimi oblikami prenosa energije in kontrole komponent (MacCready, 2017).

1.2.4 Težave in izzivi pri uporabi hidravličnih sistemov

Ob vseh prej naštetih prednostih imajo hidravlični sistemi tudi določene slabosti. Veliko jih je s pravilnim ravnanjem možno skoraj v celoti odpraviti, kar pa včasih znatno poveša stroške uporabe. Težave, ki lahko nastopijo pri proizvodnji, vgradnji in vzdrževanju posameznih komponent in celotnih sestavov, so naslednje (Hehn, 1994):

- ob zahtevi po moči lahko pride do zaostanka odzivnosti, kar je opazno predvsem v primerjavi z električnimi sistemi; večinoma popolnoma nezaznavna težava, problematična samo pri redkih aplikacijah.
- Nizki razredi dovoljenih toleranc pri proizvodnji sestavnih delov podražijo izdelavo in s tem nakup takšnega sistema. Vgrajevanje je torej smiselno samo tam, kjer je to res potrebno, v nasprotnem primeru bo večinoma uporabljen pnevmatski ali mehanski pogon.
- Hidravlična tekočina predstavlja nevarnost v primeru izpostavljenosti previsokim temperaturam. V takšnih primerih predstavlja nevarnost eksplozij in požarov.
- Zaradi visokega tlaka hidravlične tekočine v sistemu se velikokrat pojavi puščanje, kar ob izpostavljenosti predstavlja grožnjo zaposlenim in okolju zaradi svoje korozivnosti. Z napredovanjem tehnologije se razvija hidravlične tekočine z nižjo stopnjo korozivnosti in škodljivosti za okolje, kar pa podraži končni izdelek.
- Puščanje hidravlične tekočine znižuje učinkovitost naprave in s tem kvaliteto končnega izdelka ali storitve, kar na koncu podraži proizvodnjo in zniža prihodke.
- V hidravličnem olju se nahajajo kontaminanti, katerih število se z uporabo viša, saj ob nepravilnem ravnanju prihajajo iz okolja in iz notranjosti sistema samega. Kontaminanti poškodujejo sestavne dele in s tem znižajo učinkovitost ali povsem uničijo posamezno komponento. Vse to lahko privede do zaustavitve procesa, kar ponovno zviša stroške proizvodnje.
- Tok hidravlične tekočine v primeru turbulентnosti fizikalno še vedno ni povsem natančno popisan, to pa povzroča precej težav pri nadaljnjem raziskovanju dviga učinkovitosti.

1.3 Vzdrževanje

Vzdrževanje lahko opišemo z različnimi definicijami.

- Aktivnosti, potrebne za čim daljše ohranjanje stanja sredstva, podobnega začetnemu, kompenzacija za obrabo in poškodbe, inducirane ob uporabi (Maintenance, 2007).
- V računovodstvu je definicija naslednja: »Popravila ali vzdrževanje opredmetenih osnovnih sredstev so namenjena (popravilo je namenjeno) obnavljanju ali ohranjanju prihodnjih gospodarskih koristi, ki se pričakujejo na podlagi prvotno ocenjene stopnje učinkovitosti sredstev. Navadno se pripoznajo kot stroški oziroma poslovni odhodki.« (Slovenski računovodski standardi, 2016, str. 24)
- V strojništvu vzdrževanje definira aktivnosti, namenjene ohranjanju ali obnovi komponente, naprave ali sistema za doseganje vnaprej specificiranega stanja, namenjenega maksimalni učinkovitosti in ohranjanju čim daljše življenjske dobe (Maintenance, 2007).

Zgornje definicije se na prvi pogled rahlo razlikujejo, vse pa govorijo o aktivnostih za čim daljše ohranjanje stanja in funkcionalnosti sredstva. S preprostejšimi besedami lahko rečemo, da je cilj vzdrževanja pri delovnih in proizvodnih procesih doseganje čim nižjega števila okvar in ohranjanje dobrih delovnih pogojev ob čim manjših stroških. Stroji in druge naprave morajo vedno biti v stanju, ki dovoljuje njihov optimalen izkoristek. Na ta način delovni ali proizvodni proces poteka pri kapaciteti, ki ustvarja dobiček brez večjih ovir in prekinitev. Vzdrževalni sektor podjetja mora skrbeti za stalno pripravljenost in primerno stanje sredstev, katera drugi oddelki uporabljajo za svoj delovni proces. Ta sredstva se nahajajo v obliki strojev, naprav, zgradb ali različnih storitev, ki skrbijo za nemoteno delovanje podjetja (Sindhuja, 2016). Pomembnost vzdrževanja je močno odvisna od tipa delovnega ali proizvodnega procesa. Okvare vodijo do zmanjšanja kapacitet v proizvodnji, od oblike delovnega procesa pa je odvisno, kolikšne bodo le-te. Z uvedbo proizvodnje ob pravem času (angl. Just-in-time production) in posledično manjšimi zalogami postaja vzdrževanje vedno bolj pomembno, saj ustavitev določenega stroja pomeni ustavitev celotnega delovnega procesa. V primeru okvare stroja na sredini delovne verige bi se v primeru nadaljevanja proizvodnje pred tem strojem nabirala zaloga polizdelkov, naprave za okvarjenim strojem pa dela ne bi mogle nadaljevati zaradi pomanjkanja kosov, potrebnih nadaljnje obdelave (Peavler, 2018).

Težave, ki jih povzroči okvara določenega elementa ali več njih, so naslednje:

- izguba proizvodnega časa,
- reprogramiranje proizvodnje,
- pokvarjeni materiali – nenadna zaustavitev proizvodnje lahko uniči surovine, ki so že v procesu;
- zvišanje povprečnih fiksnih stroškov,
- potreba po nadurah.

V začetku poznana popravila in zamenjave v primeru okvare z napredkom tehnologije in vedno večji potrebi po učinkovitosti delovnih procesov v današnjem času zamenjujejo novi načini vzdrževanja. Pred izbiro posameznega režima moramo natančno preučiti proizvodni ali delovni proces in njegove dele ter izbrati najprimernejšega. Najboljši režim za posamezen proces bo poskrbel za najboljše razmerje med učinkovitostjo delovanja in stroški vzdrževanja. Podjetja si za nekatere zelo ključne procese ne morejo privoščiti nepredvidenih ustavitv, kar znatno poviša stroške pregledov in popravil, medtem ko drugi procesi povzročijo manj stroškov s svojo ustavitvijo v primerjavi s konstantnimi pregledi. Trenutno v tehniki poznamo sedem različnih načinov vzdrževanja.

1.3.1 Kurativno vzdrževanje

Kurativno ali reaktivno vzdrževanje naprav pomeni režim, pri katerem opravimo zamenjavo ali popravilo potem, ko je že prišlo do okvare ali poškodbe z namenom povrnitve naprave v svoje prvotno obratovalno stanje. Prvotno stanje pa ni vedno cilj kurativnega vzdrževanja. Včasih na tak način napravo samo zasilno in začasno spravimo v obratovanje, v takšnem režimu pa nekaj časa počaka na redno vzdrževanje in s tem popolno obnovo (Swanson, 2001).

Kurativni način vzdrževanja v osnovi predstavlja najnižji strošek pri proizvodnem ali delovnem procesu v primerjavi z ostalimi režimi. Podjetje s takšno strategijo ne potrebuje velike skupine vzdrževalcev, ki bi izvajala konstantne preglede, ne preučuje posameznih procesov, v primeru obratovanja brez okvar pa za vzdrževanje sploh ni potrebno nameniti sredstev. Strošek kurativnega vzdrževanja bistveno naraste v primeru okvare posameznega dela ali celote in s tem izpada proizvodnje.

Stroji so lahko zaradi nepregledanega predhodnega stanja zelo poškodovani, kar poviša število potrebnih nadomestnih delov in delovnih ur, potrebnih za popravilo. V primeru nenačrtovanega vzdrževanja je velika verjetnost, da podjetje rezervnih delov nima na zalogi, kar ob nujnosti zamenjave podraži nakup in logistiko. Začasen izpad proizvodnje zakasni načrtovano proizvodnjo izdelka, čemur lahko sledi plačilo kazni naročnikom in poslabšanje slovesa podjetja ter s tem vpliva na poslovanje v prihodnosti (Vishnu & Regikumar, 2016). Shematski prikaz kurativnega procesa vzdrževanja je prikazan na sliki 9.

Kurativno ali reaktivno vzdrževanje povzroči krajšo življenjsko dobo sredstev v primerjavi z drugimi oblikami vzdrževanja, saj konstante okvare in zaustavitve po navadi doprinesejo k akumuliranim poškodbam večjega obsega kot kontrolirana ustavitve zaradi pregleda in zamenjave posameznega sestavnega dela. Nepredvidena zaustavitve predstavljata tudi varnostno grožnjo, saj zaposleni teh dogodkov ne morejo pričakovati, zanje pa so po navadi tudi slabše izurjeni. Dodatno varnostno grožnjo pri takšnem režimu vzdrževanja pa predstavlja tudi časovni pritisk na vzdrževalce, ki morajo zaradi nepredvidenega izpada proizvodnje problem rešiti čim hitreje, kar poviša možnosti napak pri popravilu (Garcia, 2018).

Slika 9: Posledice kurativnega režima vzdrževanja v proizvodnem procesu



Vir: STR Software (2013).

V podjetjih nujna popravila po navadi jemljejo sredstva drugim, načrtovanim obnovitvenim delom, kar jih zakasni ali popolnoma zamenja in s tem povzroči nalaganje opravil, ki sčasoma postanejo nujna. Režim kurativnega vzdrževanja doprinese k višjim stroškom proizvodnje, saj stroji redkeje obratujejo v optimalnem področju učinkovitosti. Višji stroški so predvsem posledica večje porabe energije.

V današnjem času se podjetja vedno bolj izogibajo kurativnemu vzdrževanju, ne morejo pa se mu popolnoma izogniti, saj bo vedno prihajalo do nepredvidenih okvar. Kurativno vzdrževanje ne bi smelo biti glavna strategija, ampak le dopolnitev ostalim režimom. Večji delež takšnega vzdrževanja si lahko privoščijo podjetja, katerih sredstva proizvodnega procesa so poceni, lahko zamenljiva in katerih okvara ne povzroči prevelikih ter dragih posledic na opremi podjetja (Dabbs, 2004).

1.3.2 Preventivno vzdrževanje

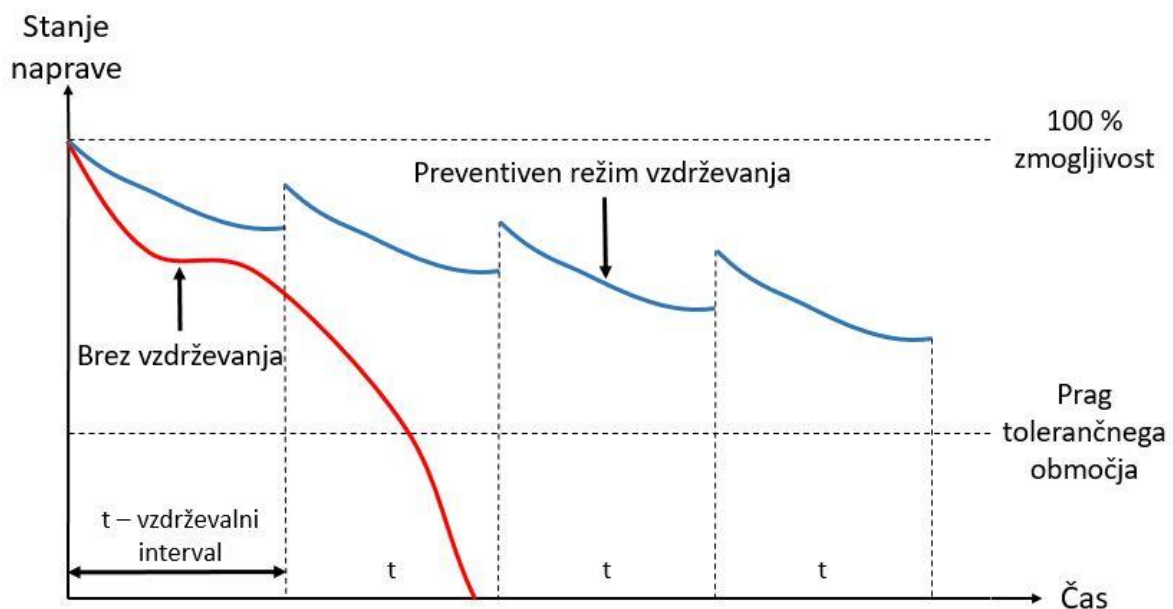
Preventivno vzdrževanje obsega aktivnosti, ki se jih redno izvaja na opremi delovnih ali proizvodnih procesov z namenom zmanjšanja možnosti okvare ali odpovedi. Izvaja se na komponentah, ki so v stanju operativnosti znotraj dovoljenih toleranc. Sama implementacija ne predstavlja težke naloge, vendar pa morajo podjetja za učinkovito rabo sredstev vnaprej natančno preučiti in razumeti delovanje svoje opreme z namenom čim boljšega in natančnega določanja servisnih intervalov. Ti so določeni s časovnim okvirjem ali s kakšnim

drugim indikatorjem. Primer iz vsakdanjega življenja je vzdrževanje osebnega vozila. Proizvajalci priporočajo servisiranje klimatske naprave enkrat na leto, medtem ko naj bi bila pregled in menjava ključnih delov na pogonskem sklopu opravljena na določeno število kilometrov. Pri prvem primeru je indikator servisnega intervala čas, pri drugem pa število prevoženih kilometrov (Swanson, 2001). Stanje naprave skozi čas je v primeru preventivnega vzdrževanja shematsko prikazano na sliki 10.

Preventivno vzdrževanje s preučevanjem, konstantnimi pregledi in potrebo po usposobljeni delovni sili podjetju v začetku predstavlja višje stroške v primerjavi s kurativnim režimom. Sprva višji stroški v veliki večini primerov upravičijo takšen režim v celotni življenjski dobi komponente, saj manjše število nenadnih ustavitvev, težjih poškodb in nižja cena planiranega nakupa rezervnih delov odtehtajo začetne negativne lastnosti.

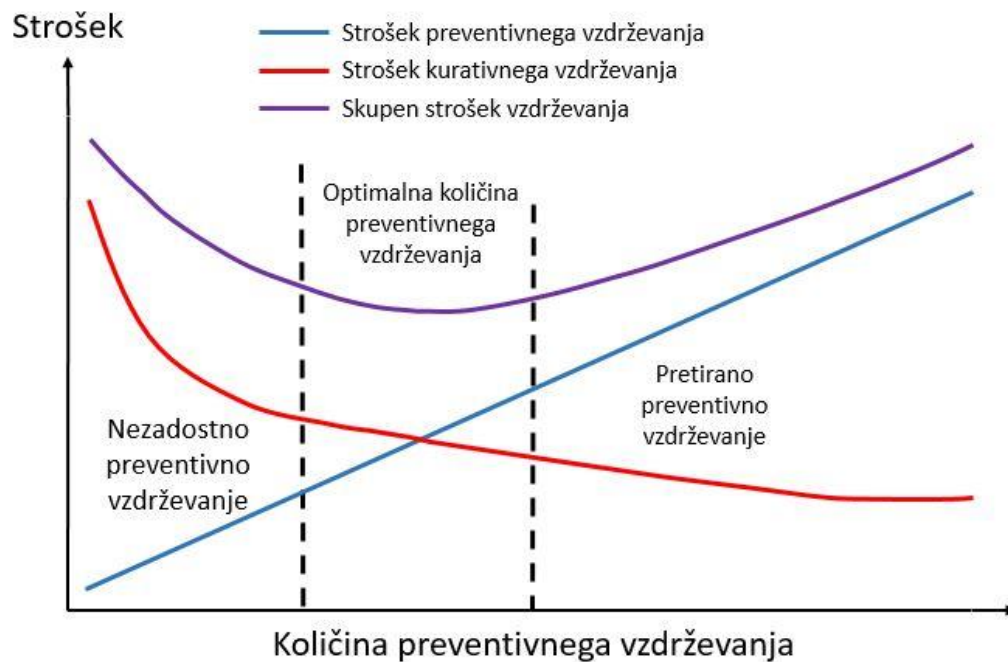
Navadno je v primeru preventivnega vzdrževanja potreba po nadaljnjih večjih investicijah manjša v primerjavi s kurativnim režimom. Razlog za to je predvsem daljša življenjska doba strojev in naprav v primeru rednih pregledov in cikličnih menjavah ključnih komponent, kar zniža stopnjo akumulacije poškodb. Z napravami v boljšem stanju je mogoča tudi višja kakovost končnih produktov, kar zniža število reklamacij in izboljša sloves podjetja (Fixx Inc., 2017). Preventivni način vzdrževanja pa ni vedno bolj učinkovit in cenejši v primerjavi s kurativnim. V primeru nenatančnega preučevanja proizvodnih procesov in slabo kvalificirane vzdrževalne ekipe lahko pride do nepravilnega režima servisnih intervalov.

Slika 10: Stanje naprave v preventivnem vzdrževalnem režimu



Vir: Jemec (2004).

Slika 11: Stroškovno idealna kombinacija preventivnega in kurativnega vzdrževanja



Vir: TÜV Rheinland (2017).

Vzdrževanje se lahko v tem primeru izvaja prepogosto, kar ga podraži, posledično pride tudi večkrat do zaustavitve proizvodnje. V primeru preredkega vzdrževanja pa pride do nenačrtovanih odpovedi in s tem spremembe režima v kurativnega. V realnih situacijah pogosto pride do izmenjujoče se kombinacij obeh režimov, stroškovno idealna kombinacija pa je prikazana na sliki 11.

Preventivno vzdrževanje je primerno za aplikacije, ki imajo kritično operativno funkcijo, že uveljavljene modele odpovedi, ki se jih lahko prepreči z redno menjavo in s popravili, ter povečevanje statistične verjetnosti odpovedi s časom ali katero drugo veličino. Takšnemu režimu vzdrževanja bi se morali izogibati pri za proces nebistvenih aktivnostih, ki s svojo odpovedjo ne škodujejo v veliki meri, in pri aplikacijah, ki jim ni možno statistično napovedati odpovedi (Jemec, 2004).

1.3.3 Vzdrževanje po stanju

V osnovi je vzdrževanje po stanju sestavljeno iz dveh stopenj. Prva vključuje aktivnosti za čim bolj natančno napoved slabšanja zmogljivosti naprave, sledi pa ji dejansko vzdrževanje, pri katerem se zamenja ali popravi sestavne dele z namenom preprečitve odpovedi. S takšnim režimom znižamo stroške prepogostega preventivnega vzdrževanja in zmanjšamo škodo, ki nastane ob nepričakovanih odpovedih kurativnega režima (Swanson, 2001). V primerjavi s prvima dvema režimoma skrbi vzdrževanje po stanju za višjo učinkovitost naprave v celotni življenjski dobi, hkrati pa zahteva višje začetne vložke zaradi

kompleksnosti strategije in potrebe po natančnih merilnih napravah, s katerimi lahko spremljamo stanje.

Tehnike spremljanja stanja naprave so odvisne od same aplikacije in se med seboj močno razlikujejo. Diagnosticiranje strojev v proizvodnih in delovnih procesih lahko vključuje analizo vibracij in olja, termično sliko, akustičen pregled, preverjanje napetosti in toka ter mnogo drugih načinov preverjanja stanja (Ma, Wang, Shi, Li & Wang, 2017). Za izbiro najprimernejšega načina se je najbolje posvetovati s proizvajalcem naprave in primerno izobraziti vzdrževalno ekipo v podjetju.

S pravilno implementacijo režima vzdrževanja po stanju podjetje zazna znatne prihranke na treh različnih nivojih (Zhang, Andrews, Reed & Magnus, 2017):

- skrajšanju časa, namenjenega vzdrževanju,
- skrajšanju časa ustavitve proizvodnje ali delovnega procesa,
- nižjih stroških rezervnih delov.

Režim vzdrževanja po stanju je upravičen pri aplikacijah, ki jim lahko lahko merimo stanje s cenovno dovolj ugodnimi pripravami in pri katerih lahko napovemo odpoved z dovolj visoko zanesljivostjo. Prav tako mora biti aplikacija bistvena v celotnem proizvodnem procesu, v nasprotnem primeru zanjo uporabimo katero izmed cenejših rešitev.

1.3.4 V zanesljivost usmerjeno vzdrževanje

Strategija, bolj poznana pod angleškim imenom »Reliability-Centered Maintenance«, zajema vzdrževalni in optimizacijski program na celotnem korporativnem nivoju. Končni cilj je natančno določen vzdrževalni načrt vsakega posameznega delovnega sredstva posebej, z ozirom na medsebojne povezave in posledice, ki naj bi vodile do minimizacije končnih stroškov delovnega procesa. Pravilno preučevanje možnosti v zanesljivost usmerjenega vzdrževanja sestoji iz štirih osnovnih principov, ki se jih upošteva z odgovarjanjem na sedem vprašanj. Upoštevani principi so naslednji (Drstvenšek, 2006):

- primaren cilj je ohranitev funkcionalnosti sistema;
- identifikacija načinov odpovedi, ki lahko prizadenejo posamezne komponente;
- identifikacija prioriteten načinov odpovedi, ki jim bo namenjeno največ pozornosti;
- izbor uporabnih in učinkovitih aktivnosti za kontroliranje načinov odpovedi.

Za učinkovito strategijo v zanesljivost usmerjenega vzdrževanja je treba preučiti proizvodni ali delovni proces kot zaporedje funkcijskih elementov, ki z obdelavo vložnih surovin na koncu postrežejo z uspešnostjo celotnega sistema. Dana vzdrževalna strategija namesto funkcionalnosti posameznega sistema vzame v obzir njegovo zanesljivost, popiše pa se jo z natančnimi odgovori na naslednjih sedem vprašanj (Swanson, 2001):

- Katere so funkcije in želene zmogljivosti posameznega delovnega sredstva?
- Kako lahko posamezno delovno sredstvo odpove pri svojih nalogah?
- Na kakšen način pride do okvare delovnega sredstva?
- Kateri so vzroki okvare na delovnem sredstvu?
- Kakšne so posledice okvare na delovnem sredstvu?
- S katerimi aktivnostmi se lahko napove, oziroma prepreči okvaro na delovnem sredstvu?
- Katere so kurativne dejavnosti v primeru nezmožnosti preprečitve okvare na delovnem sredstvu?

Odgovori na prejšnja vprašanja vodijo do identifikacije tistih sredstev v podjetju, katerih funkcije so najbolj kritične za delovanje celotnega sistema. Sledi optimizacija vzdrževalne strategije z namenom minimiziranja odpovedi sistemov in dvigom zanesljivosti.

V zanesljivost usmerjeno vzdrževanje največ pozornosti nameni opremi, ki ima najvišjo verjetnost odpovedi oziroma tisti, katere odpoved posledično prinese največjo škodo. Preučevanje škode se prepleta s funkcijo posameznega sredstva, kar omogoča nižanje stroškov ne samo v vzdrževanju samem, ampak tudi na nivoju celotnega podjetja.

Sedem vprašanj o implementaciji v zanesljivost usmerjenega vzdrževanja v praksi po navadi povzroči nemalo težav zaradi različnosti in kompleksnosti delovnih procesov. Za lažji proces odgovarjanja in smiselnost odgovorov obstaja za poenostavitev preučevanja sedem korakov (Fiix Inc., 2018).

1. Izbira delovne opreme za nadaljnjo analizo.
2. Definiranje mej in funkcij sistemov, ki uporabljajo prej izbrano opremo. Prav tako moramo poznati vhod in izhod iz procesa ter kaj ga poganja.
3. Definiranje različnih možnosti odpovedi sistema.
4. Identifikacija vzrokov posamezne možnosti odpovedi sistema.
5. Ocenjevanje posledic posamezne možnosti odpovedi sistema.
6. Izbira vzdrževalne strategije za vsako možnost odpovedi sistema.
7. Implementacija in redno ocenjevanje strategije za posamezno možnost odpovedi sistema.

Bistvena prednost v zanesljivost usmerjenega vzdrževanja v primerjavi z drugimi strategijami je boljše razpoložljivost naprav v delovnem procesu, kar ga naredi zelo uporabnega v sistemih, kjer okvare in s tem ustavitve povzročijo velike izgube. Kljub velikim prednostim pa ga uporablja majhno število podjetij, saj sama implementacija predstavlja visoke začetne stroške (Drstvenšek, 2006).

Tabela 1: Pregled štirih osnovnih vzdrževalnih strategij

| Strategija vzdrževanja | Bistvo | Strošek implementacije | Prednosti | Slabosti |
|---------------------------------|---|------------------------|---|---|
| Kurativno | Popravilo ob okvari | Nizek | Idealno za nizko prioritarno opremo | Lahko vodi do kompletne porušitve. |
| Preventivno | Vnaprej določen urnik vzdrževanja | Srednji | Enostavna implementacija | Mnogokrat neučinkovito zaradi nenatančnega preučevanja. |
| Vzdrževanje po stanju | Določanje urnika glede na diagnosticirano stanje opreme | Visok | Velik nabor informacij, s katerimi sčasoma znižamo stroške | Visoki stroški implementacije, potreba po izurjeni delovni sili. |
| V zanesljivost usmerjeno | Odpovedni modeli za določanje vzdrževalne strategije | Zelo visok | Ob pravilni uporabi predstavlja najbolj učinkovit režim vzdrževanja | Zelo visoki stroški implementacije, smiselno samo za najbolj kritično opremo. |

Vir: Swanson (2001).

2 TEHNOLOGIJE INDUSTRIJE 4.0 PRI VZDRŽEVANJU HIDRAVLIKE

Načrtovanje, razvoj in proizvodnja izdelkov so tradicionalne kategorije, pri katerih se vnaprej upošteva in poizkuša izpolniti želje in zahteve kupca. Industrijska mehanizacija, med katero spadajo tudi hidravlične komponente, ima po navadi dolgo življenjsko dobo, ki lahko traja tudi to trideset let. V tem času se specifikacije in kupčeve zahteve močno spremenijo, tega pa razvoj in proizvodnja ne moreta vedno predvideti. Proizvajalci strojne opreme skupaj z izdelkom pogosto nudijo celostni nadzor in vzdrževanje skozi celotno življenjsko dobo. Način skupne prodaje izdelka in storitve je dolgo omejevala negotova prihodnost ravnanja z izdelkom in s tem povezanimi stroški vzdrževanja. Snovalci nikakor niso mogli vnaprej predvideti vseh spremenljivk, zato so bili končni stroški celotnega paketa pogosto mnogo višji od pričakovanih (Ng, Harding & Glass, 2017). Četrta industrijska revolucija je s svojimi izdelki do sedaj poznane probleme močno omilila s strojno in programsko opremo za zajemanje, prenos in obdelavo podatkov v realnem času. Proizvajalci lahko z veliko količino informacij natančno spremljajo uporabo in stanje njihovega produkta in s tem izboljšajo vzdrževalne dejavnosti. Rezultat tega so nižji stroški vzdrževanja in krajši čas ustavitve delovne opreme, kar izboljša uporabniško izkušnjo in zadovoljstvo kupca. Pri hidravličnih komponentah je mogoče spremljati vrsto parametrov, največkrat pa je za to potrebno opazovanje in merjenje veličin hidravlične tekočine (Juričič, 2013).

Občasno in analogno spremljanje stanja naprave lahko zaradi slabe odzivnosti v primeru napak v delovanju privede do velikih težav, ki jim sledi režim kurativnega vzdrževanja. S takšnim ravnanjem dolgoročno poslabšamo stanje naprave in znižamo učinkovitost, kar na koncu privede do višjih končnih stroškov. Dolgoročno in neprekinjeno spremljanje stanja naprave nam omogoča identifikacijo določenih vzorcev, s katerimi lahko zaznamo mogoče težave. Takšen način diagnostike že poznajo določene naprave, predvsem tiste, katerih strošek ustavitve presega strošek namestitve senzorjev, uvajanja novega načina spremljanja parametrov in izobraževanja zaposlenih. Dober primer so rudniški vrtalni stroji, pri katerih strošek nepričakovane ustavitve po navadi močno presega začetni vložek v sodobno tehnologijo, namenjeno opazovanju in obdelavi podatkov. Z nadaljnjim razvojem in s cenitvijo strojne in programske opreme pričakujemo takšne aplikacije v večjem številu panog, ki za prenos energije uporabljajo hidravliko. Opazovani parametri v sistemu so del samega hidravličnega kroga ali končne funkcije, ki jo opravlja celoten sistem. Med prvimi opazujemo na primer temperaturo hidravlične tekočine, tlak v sistemu in količino delcev v olju. Vse to moramo spremljati na več različnih mestih, saj se vrednosti med seboj v določenem trenutku razlikujejo, hkrati pa tako hitreje dobimo informacije o pojavljanju napak. Merjenje parametrov končne funkcije aplikacije pa vsebuje merjenje hitrosti (kotne, obodne), sile, pretoka in drugih parametrov, odvisnih od naprav, ki lahko opravljajo zelo različne naloge (Zoellner & Thonhauser, 2011).

Vsak hidravlični sistem za svoje delovanje potrebuje medij, po kateremu se prenaša energija. Ta element je ključen za delovanje vseh komponent v hidravličnem krogu, največkrat pa njegovo nezadovoljivo stanje povzroči težave, ki se odražajo v nižji učinkovitosti delovanja ali popolni ustavitvi.

Tekoči medij predstavlja življenjsko tekočino vsakega hidravličnega sistema in njegovo stanje nam poda veliko informacij o pravilnosti delovanja, hkrati pa nam pomaga pri določanju vzdrževalnega režima. Nezadovoljivo stanje hidravlične tekočine je posredno ali neposredno odgovorno za okoli osemdeset odstotkov vseh težav hidravličnih sistemov. (Eaton, 2018) Kljub napredkom in odkrivanju novih hidravličnih medijev velika večina sistemov danes za prenos energije uporablja hidravlično olje, katerega nadzor stanja predstavlja enega od bistvenih aktivnosti vzdrževanja stanja naprave.

Nadzor kvalitete olja je zahtevno opravilo, v primerjavi z merjenjem temperature ali tlaka pa obsega opazovanje velikega števila parametrov. Nekatere izmed kemijskih in fizikalnih lastnosti olja, ki jih lahko merimo in opazujemo, so naslednje (Tič & Lovrec, 2011):

- temperatura
- viskoznost
- relativna vlažnost
- prevodnost
- stopnja kontaminacije
- vsebnost aditivov.

Izvajanje analiz nadzora kvalitete hidravličnega olja ni nova aktivnost, močno pa so se predvsem v zadnjih letih spremenili načini izvajanja. V osnovi poznamo tri različne načine pregledovanja olja. Prvi vsebuje fizično odstranitev olja iz sistema in dislociran laboratorijski pregled. Težave nastopijo predvsem zaradi majhnega vzorca odvzete tekočine, okoljskih vplivov pri transportu in odvisnosti rezultatov od usposobljenosti izvajajočih oseb. Drugi način pregleda olja ne vsebuje njegove fizične odstranitve iz sistema. Manjši delež celotnega pretoka teče skozi nadzorovalni ventil, ki omogoča pregled v realnem času. Veliko težav tradicionalnega pregledovanja je na takšen način odpravljenih, še vedno pa je pregledan samo vzorec in ne celoten volumen tekočine. Tretji, najnovejši način analize, je sestavljen iz senzorskega pregleda celotnega pretoka tekočine na določenih točkah. Na ta način se znebimo vseh prej omenjenih težav, predstavlja pa takšen sistem najvišji začetni strošek (Byngton & Schalcosky, 2010).

Pregled v realnem času, ki ga lahko izvajamo z drugim in s tretjim načinom analize hidravlične tekočine, je omogočen s tehničnimi pridobitvami četrte industrijske revolucije. Senzorji, prenosniki podatkov in strojna ter programska oprema nam omogočajo preglede brez vdora v notranjost sistema in njegove ustavitve. Informacije lahko do uporabnika pridejo takoj, s kontinuiranim merjenjem in z večjim naborom podatkov pa je lažje tudi ugotavljanje trendov (Dvorak, 2016). Na sliki 12 so prikazani tehnični elementi za kontinuirano spremljanje stanja, zraven pa so pripisane v olju merjene značilnosti.

»Laboratorijsko pregledovanje olja v približno polovici primerov ne pokaže nikakršnih težav, v petih odstotkih se najde resna napaka, preostalih 45 odstotkov analiz pa nakaže neizbežno okvaro« (Byngton & Schalcosky, 2010). Te ugotovitve sporočajo veliko potrebo po pregledovanju v realnem času, s katerim se lahko v večji meri izognemo prepozni identifikaciji problema. S tem dolgoročno močno privarčujemo pri popravilih in podaljšanju skupnega obratovalnega časa naprave. Ugotovljeno je bilo, da lahko s kontinuiranim nadzorom hidravlične tekočine prihranimo do petdeset odstotkov stroškov, povezanih z vzdrževanjem (Dvorak, 2016). Celoten postopek laboratorijskega testiranja traja 48 ur, kar velikokrat onemogoča pravočasno analizo, ki je hkrati tudi večkrat nezanesljiva.

Uporaba novih tehnologij v namene vzdrževanja hidravlike predstavlja interdisciplinarno povezovanje različnih enot podjetja. Za doseganje visoke učinkovitosti in zniževanje končnih stroškov je poleg odlične pripravljenosti enot potrebna tudi nemotena komunikacija med njimi. Na sliki 13 vidimo grafični prikaz poti informacij o stanju olja. Uporabniki naprav morajo svoje zahteve o pripravljenosti in zmogljivosti jasno sporočiti ekipi vzdrževalcev, ki nato tudi s pomočjo zbranih podatkov izberejo optimalen način vzdrževanja v danih razmerah.

Slika 12: Tehnični elementi merilcev stanja olja in merjene značilnosti



Vir: Krähling & Dyck (2018).

Slika 13: Struktura nadzornega sistema spremljanja stanja olja



Vir: Krähling & Dyck (2018).

Ob možni vedno večji količini zbranih podatkov je konstantna potreba po pomoči enote informacijske tehnologije tako rekoč nujna. Nove tehnologije vzdrževanja hidravlike lahko v samem podjetju doživijo uspešno implementacijo samo z ustrezno horizontalno integracijo. Izven okvirja podjetja je za izboljšanje uporabniške izkušnje hidravličnih komponent potrebna predvsem redna komunikacija med kupcem in proizvajalcem. Ta se poleg tradicionalnih kanalov z uvedbo novih tehnologij izvaja tudi preko kontinuirane izmenjave podatkov in njihove interpretacije. Z izmenjavo podatkov skrbimo za vertikalno integracijo, katere cilj je povečati uporabnost obstoječih hidravličnih sistemov za uporabnika kot tudi v prihodnosti optimizacija izdelkov za proizvajalca.

Tehnologije četrte industrijske revolucije so pri vzdrževanju hidravlike, z izjemo nekaterih dragih in kompleksnih primerkom uporabe, še vedno razmeroma nepoznane. Ker je vgradnjo diagnostične in komunikacijske opreme potrebno podpreti z argumenti, si moramo pomagati s sicer bolj skopimi podatki konvencionalnih vzdrževalnih tehnik. Proizvajalcem in serviserjem je evidentiranje napak znan proces, katerega že dolgo uporabljajo za svoje raziskovanje in nadaljnji razvoj (Poclain Hydraulics, d. o. o., 2013). Podjetja, ki imajo dolgoletne izkušnje s hidravlično opremo, lahko na tem področju smiselno in učinkovito še izboljšajo vzdrževalne procese s podporo sodobne tehnologije.

Nove tehnologije dajejo poprodajnim storitvam nove možnosti in priložnosti za povečanje dodane vrednosti skozi celoten življenjski cikel posameznega izdelka. Poprodajne storitve pokrivajo širok spekter storitev, ki se nanašajo na posamezen produkt po tem, ko je bil le-ta že prodan. Poleg pregledov in servisov podjetja strankam nudijo tudi redno izobraževanje, podporo in pomoč, na koncu življenjske dobe izdelka pa lahko poskrbijo za zamenjavo ali pravilno razgradnjo. Na področju strojne tehnika ima večina podjetij na področju poprodajnih storitev prejetje plačil urejeno na podlagi posamezne intervencije ali storitve. Z zbiranjem in obdelavo velike količine podatkov imajo poslovni modeli možnost prelevitve v naročniško razmerje med prodajalcem in kupcem, kar bi zaradi kontinuiranega spremljanja uporabe izdelka dvignilo kvaliteto storitev, hkrati pa bi prodajalcu prineslo bolj konsistenten vir dohodka.

Uporaba novih tehnologij lahko izboljša učinkovitost treningov in tehnične pomoči na terenu. Že obstoječ primer so letalske družbe, ki s pomočjo virtualne resničnosti z navodili pomagajo mehanikom v oddaljenih krajih v primerih, da njihova letala tam potrebujejo nujna popravila. Velika količina podatkov omogoča tudi boljše povezovanje poprodajnih storitev z drugimi oddelki proizvajalca določene komponente. Odkritja na terenu omogočajo izboljšave prihodnjih izdelkov in s tem boljšo učinkovitost tako za kupca kot tudi za proizvajalca.

3 ANALIZA MOŽNOSTI IZBOLJŠAV PRI VZDRŽEVANJU HIDRAVLIKE

Z analizo teoretičnega ozadja in predhodno izvedenih preizkusov so bili postavljeni temelji za nadaljnjo samostojno raziskovalno delo, katerega opis sledi v tem poglavju. Ciljem raziskave in predstavljeni metodologiji sledi opis obravnavanih podatkov, poglavje pa se zaključuje z rezultati statistične analize.

3.1 Opredelitev namena in cilja raziskave

Namen raziskave, ki sledi v tem poglavju, je iskanje realnih primerov hidravličnih komponent, ki bi jim apliciranje tehnologij četrte industrijske revolucije znižalo stroške in dvignilo učinkovitost vzdrževanja. Možnosti, ki so po pregledu literature predstavljene v teoretičnih osnovah so zaenkrat v praktičnih primerih redko zastopane, zato bomo s pregledom podatkov poizkušali dokazati njihove prednosti v bolj vsakdanjem svetu industrije in delovnih strojev.

Cilji raziskave so:

- natančno pregledati podatke o okvarah zadnjih desetih let za primer podjetja Poclain Hydraulics, d. o. o., in si izdelati sliko o količini, vrstah in posledicah napak.
- Povezovanje teoretičnih osnov s podatki o okvarah in ugotavljanje možnih aplikacij za zagotavljanje nižjih stroškov in boljše učinkovitosti.
- Izvedba statistične analize z namenom ugotavljanja korelacij med posameznimi vzroki in posledicami okvar.

Glavno raziskovalno vprašanje magistrskega dela je:

- kateri so glavni faktorji, ki vplivajo na višino stroškov in trajanje celotnega vzdrževalnega procesa hidravličnih komponent?

3.2 Predstavitev hipotez

Preučevanje predhodne literature, posvet s strokovnjaki na področju in pregled pridobljenih podatkov so omogočili nastanek hipotez, ki se nahajajo v tabeli 2. Hipoteze se dokazuje s statističnimi orodji programske opreme SPSS (Field, 2018).

Prva hipoteza temelji na predpostavki, da daljši postopek pregleda in popravila pomeni bolj zapleten primer. Hipoteza prav tako predvideva višji končni strošek zaradi večjega števila potrebnih delovnih ur. Druga hipoteza razlikuje primere na dve podmnožici. Prvo, v kateri so popolnoma nove, prvič uporabljene komponente, in drugo, pri kateri je zahtevek za pregled ali popravilo prišel s terena. Za slednje se predpostavlja višje končne stroške zaradi

odročnosti in nujno potrebne demontaže z delovnega stroja ali opreme. Pri popolnoma novi komponenti je v nekaterih primerih mogoče težavo odkriti že pred dejansko uporabo. Tretja hipoteza sloni na podobnem prepričanju kot tretja, torej daljši postopek zahteva višje končne stroške. Hipoteza štiri na prvi pogled izgleda precej samoumevna, govori namreč o povezavi dejanske količine uporabe komponente v primerjavi z njeno starostjo. Ob dokazani visoki korelaciji lahko sklepamo, da komponente skozi čas enakomerno intenzivno opravljajo svoje delo, kar ob težavah in nedelovanju poleg direktnih stroškov prinese tudi indirektno stroške, povezane z zmanjšanimi kapacitetami za določen proces. Zanima nas torej, če bi povprečen uporabnik občutil izpad ali pa bi ga bilo možno precej dobro nadomestiti z drugo mehanizacijo. Pri testiranju pete hipoteze nas zanima stopnja povezanosti med spremenljivkama, ki predstavljata verjeten vzrok za težavo in dodeljeno odgovornostjo s strani podjetja.

Tabela 2: Hipoteze

| |
|---|
| 1. H1: Skupni stroški so odvisni od trajanja celotnega postopka. |
| 2. H1: Skupni stroški so višji pri komponentah, ki so že bile uporabljene na terenu. |
| 3. H1: Obstaja povezava med trajanjem celotnega postopka in začetkom uporabe komponente. |
| 4. H1: Obstaja korelacija med številom obratovalnih ur komponente in njeno starostjo v letih. |
| 5. H1: Dodeljena odgovornost je odvisna od verjetnega vzroka težave. |

Vir: lastno delo.

3.3 Metodologija

Praktičen del naloge se je pričel s pregledom in z analizo podatkov o zahtevkih za preglede in popravila hidravličnih komponent francoskega proizvajalca Poclain Hydraulics, d. o. o., ki ima svojo izpostavo tudi v slovenskih Žireh. Podjetje je za namene magistrskega dela posredovalo excelovo datoteko s podatkovno bazo, ki v svoji izvorni obliki vsebuje nekaj manj kot triinštirideset tisoč vnosov zadnjih desetih let z vsega sveta. Vsak izmed obravnavanih primerov naj bi vseboval petdeset različnih informacij, ki skupaj zelo natančno opišejo komponento, vrsto incidenta, trajanje in stroške obravnave.

3.3.1 Pregled posameznih informacij, razdelitev in razlaga podskupin

Obravnava podatkov se je začela s pregledom posameznih informacij vnosov in z določevanjem smiselnosti njihove uporabe v tem delu. Po posvetu z zaposlenimi v podjetju

na področju reklamacij in vzdrževanja jih je bilo izbranih devetnajst, natančneje pa bodo opisane v naslednjih poglavjih. Krčenje informacij pa ni obsegalo samo število spremenljivk, ampak tudi število posameznih vnosov. Zaradi ročnega vnašanja informacij večkrat pride do napak ali nepopolne izpolnitve, kar v našem primeru pomeni 14.955 preostalih vnosov, ki vsebujejo vse potrebne informacije za nadaljnjo analizo. Pri vsaki posamezni informaciji o zahtevku za pregled ali popravilo so pregledane možnosti vnosa. Pregledu je sledilo posvetovanje z vodjo kakovosti v podjetju Poclain Hydraulics, d. o. o., Ksenijo Frelih. Informacije z velikim številom različnih možnih vnosov so bile natančno pregledane, možnim vnosom so bile najdene skupne značilnosti, nato pa je sledilo grupiranje v manjše število skupin. Z združevanjem smo poskrbeli za nižje število različnih možnih vnosov, pomen le-tega pa se izpostavi v nadaljevanju, saj omogoča lažjo izvedbo statistične analize. Prerazporeditvi podatkov je sledil opis in izračun deležev posameznih možnosti vnosa pri vsaki informaciji, izveden pa je bil s statistično programsko opremo IBM SPSS. Rezultati so obdelani še v programu Excel in nato grafično ali tabelarično prikazani.

3.3.2 Bivariatna Pearsonova korelacija

Metodo uporabimo, ko nas zanima povezava med dvema intervalnima ali razmernostnima spremenljivkama. Iskanje povezave v resnici pomeni določevanje oblike, smeri in moči odnosa med dvema spremenljivkama (Lawner Weinberg & Knapp Abramowitz, 2008).

Razpon Pearsonovega koeficienta sega od vrednosti -1 do +1. Prvo zasledimo ob popolni negativni, drugo pa ob popolni pozitivni korelaciji. Vrednost 0 dobimo takrat, ko med dvema testiranima spremenljivkami ne obstaja nikakršna povezava (Lawner Weinberg & Knapp Abramowitz, 2008). Poseben primer Pearsonove korelacije je biserialna korelacija, ki se uporablja za določanje povezave med prvo spremenljivko, ki mora biti zvezna, in drugo, katere možnosti vnosa sta izključno dve (IBM, 2016).

3.3.3 *T*-test razlike povprečij za dva neodvisna vzorca

S to metodo statistične analize nas v osnovi zanima razlika med povprečji dveh populacij. Ker je v večini primerov nemogoče zajeti podatke celotne populacije, moramo raziskavo izvesti z določenima vzorcema, izračunati njuni povprečji in ugotoviti njuno reprezentativnost glede na celotno populacijo (Kerr, Hall & Kozub, 2003).

Testno statistiko pri *t*-testu neodvisnih vzorcev imenujemo *t*-statistika, program SPSS pa za vsak primer izračuna dve različici, eno za predpostavljeno enakost varianc, drugo pa za predpostavljeno neenakost. Teoretično se enačbi za izvedbo *t*-testa med seboj razlikujeta glede na enakost varianc, v obeh primerih pa izračunano *t*-statistiko primerjamo s kritično *t*-vrednostjo, upoštevajoč število stopenj prostosti in izbrano stopnjo značilnosti. V primeru višje absolutne vrednosti *t*-statistike v primerjavi s kritično *t*-vrednostjo lahko ničelno hipotezo enakosti povprečij zavrnemo (Lawner Weinberg & Knapp Abramowitz, 2008).

3.3.4 Metoda ugotavljanja medsebojnega odnosa kategoričnih spremenljivk

V programu SPSS začnemo s funkcijo »Crosstabs«, katero uporabimo za opisovanje dveh kategoričnih spremenljivk. Kategorije ene spremenljivke zavzamejo stolpce, kategorije druge pa vrstice v tabeli.

Celice tabele vsebujejo številke, ki nam povedo, kolikokrat se pojavi kombinacija dveh posameznih kategorij med dvema spremenljivkama. V tabeli se lahko prav tako nahajajo deleži pojavljanja ene kategorije glede na celoto ene spremenljivke (Lawner Weinberg & Knapp Abramowitz, 2008).

Izpisu deležev in pogostosti pojavljanja posameznih kombinacij sledi test χ^2 za preizkus hipoteze neodvisnosti. S testom določimo, če med kategoričnima spremenljivkama obstaja povezava ali pa sta med seboj nepovezani. Podatki morajo za pravilno izvedbo izpolnjevati naslednje zahteve (Sa, 2003):

- vsebovati morajo dve kategorični spremenljivki;
- vsaka spremenljivka mora vsebovati vsaj dve kategoriji;
- opazovanja morajo biti med seboj neodvisna;
- večina teoretičnih frekvenc mora imeti vrednost nad 5, medtem ko je minimum ena.

Hipotezi za izvedbo testa sta v osnovi naslednji.

- Prva spremenljivka ni povezana z drugo spremenljivko.
- Prva spremenljivka je povezana z drugo spremenljivko.

Bistven del statističnega orodja je vrednost Pearsonvega- χ^2 , ki nam pokaže, če obstaja statistično pomembna povezanost med kategoričnima spremenljivkama. Na koncu moč povezave med spremenljivkama lahko ovrednotimo z velikostjo učinka (Field, 2018).

3.4 Pregled pridobljenih podatkov

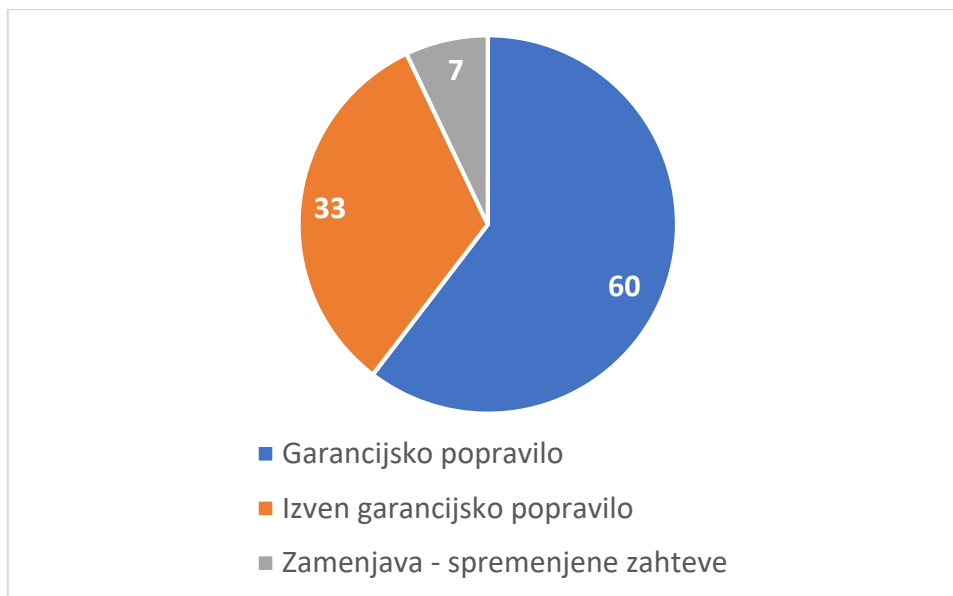
Devetnajst izbranih stolpcev vsebuje mnogo različnih informacij, katerih vnosi so smiselni samo ob dodatni razlagi. Prihajajoči del naloge je zato namenjen razlagi pojmov in prikazu opisne statistike v obliki tabel ali grafikonov.

3.4.1 Vrsta obravnavanega primera

Prva izmed devetnajst informacij o zahtevkih za pregled ali popravilo razloči med tremi različnimi vrstami obravnavanih primerov. Na sliki 14 vidimo obstoj treh različnih kategorij, ki so bile po posvetu strokovnjakov iz podjetja Poclain Hydraulics, d. o. o., sestavljene iz prvotnih enajstih na podlagi skupnih značilnosti. Delijo se na zamenjavo zaradi spremenjenih zahtev, garancijsko popravilo in izven-garancijsko popravilo.

Na sliki 14 vidimo, da se šestdeset odstotkov pregledanih zahtevkov nahaja v časovnem področju veljavne garancije. Garancijskim pregledom in popravilom z dvaintrideset odstotki sledijo popravila izven garancijskega obdobja, na tretjem mestu pa so konverzije na zahtevo kupca ali proizvajalca zaradi spremenjenih zahtev ali predhodne vgradnje neprimerne komponente.

Slika 14: Vrsta obravnavanega primera v %



Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

3.4.2 Število let v obratovanju

Drugi podatek nam poda informacijo o časovnem obdobju obratovanja določene komponente. Proizvajalec ne more vedeti, kdaj natančno se je določen del začel uporabljati na terenu, zato se za število let uporablja čas od prodaje do opisanega incidenta na dve decimalki natančno. Izmed nekaj manj kot petnajst tisoč vnosov jih 2398 nima tega podatka.

Tabela 3: Opisna statistika števila let v obratovanju

| | |
|-------------------|-------|
| Povprečje | 2,39 |
| Mediana | 1,36 |
| Standardni odklon | 3,05 |
| Razpon | 43,02 |
| Minimum | 0,00 |
| Maksimum | 43,02 |

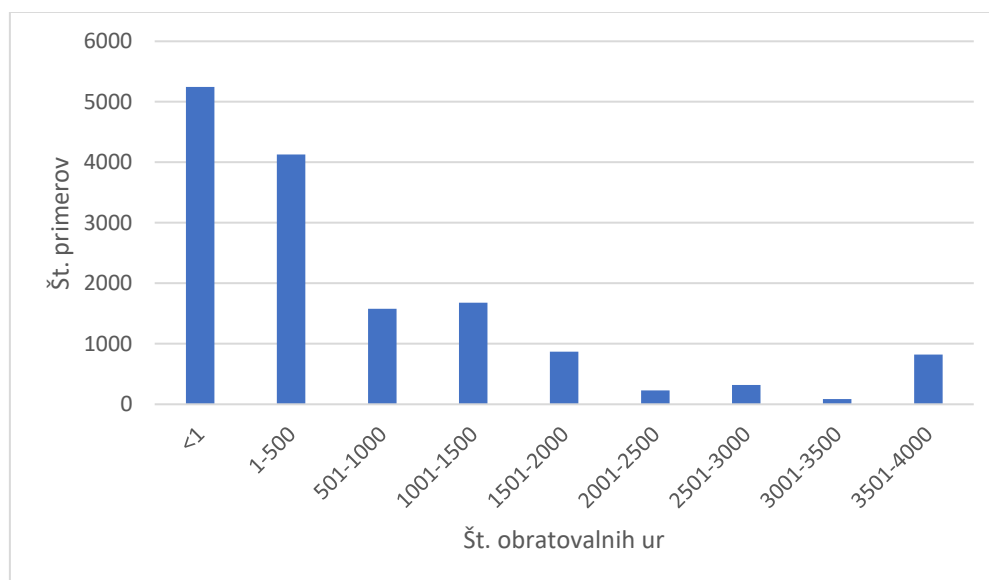
Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

V tabeli 3 lahko vidimo osnovne podatke opisne statistike, ki nam pokažejo triinštirideset-leten razpon starosti obravnavanih komponent, hkrati pa mediana znaša 1,36 let, kar pomeni, da je starost v polovici obravnavanih primerov nižja od te vrednosti. Večina zahtevkov po pregledu se torej pojavi pri razmeroma novih delih.

3.4.3 Število obratovalnih ur komponente

Za razliko od prejšnje spremenljivke, ki prikazuje starost v letih, nam število obratovalnih ur poda realno informacijo o trajanju uporabe posamezne komponente. Na sliki 15 vidimo, da se večina zahtevkov po pregledu nahaja v področju uporabe pod eno uro, kar pomeni, da je bila napaka zaznana na novi napravi takoj ob zagonu ali celo pred njim.

Slika 15: Število obratovalnih ur komponente ob zahtevku za pregled ali popravilo



Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

3.4.4 Informacija o začetku uporabe

Poleg števila obratovalnih ur, nam informacijo o začetku uporabe izdelka poda tudi četrta spremenljivka, pri kateri sta možnosti vnosa le dve. V prvem primeru se komponenta za delovni proces še ni uporabila, v drugem pa je že bila vgrajena in opravljala svojo funkcijo. Na tortnem diagramu v prilogi 1 vidimo, da je delež primerov s terena 65–odstoten, medtem ko je pregled za še neuporabljene komponente zahtevan v 35 %.

3.4.5 Tip incidenta

V začetni, še neprečiščeni podatkovni bazi, spremenljivka, ki nakazuje tip incidenta, za katerega sta potrebna pregled ali popravilo, vsebuje enaindvajset različnih možnosti vnosa.

Veliko jih ima med seboj podobne značilnosti, zato je bila izvedena redukcija na končnih devet skupin, katerih posamezen delež je prikazan v tabeli 4.

Razlog za pregled ali popravilo sta v največ primerih zahtevana zamenjava komponente s strani kupca ali zahtevan pregled z nepopolnim pojasnilom težave. Takšni primeri predstavljajo več kot tretjino obravnavanih primerov, na drugem mestu pa jim z osemindvajsetimi odstotki sledijo težave s puščanjem olja. Tretji najpogosteje naveden razlog težav je slabo funkcioniranje naprave, kar uporabniki največkrat utemeljijo z nižjo učinkovitostjo od pričakovane, s pregrevanjem in hrupom. V štirih odstotkih primerov gre za popolno nefunkcionalnost naprave, enak odstotek primerov pa se nanaša na poškodbo zunanosti ali ohišja komponente. V manjših deležih se pojavita tudi notranja kontaminacija in težave z dobavo, tip incidenta treh odstotkov primerov pa je nedoločen ali nepoznan.

Tabela 4: Delež posameznih tipov incidentov v %

| | |
|---|-----|
| Zahtevan pregled ali zamenjava | 38 |
| Puščanje olja | 28 |
| Slabo delovanje (neučinkovitost, pregrevanje, hrup) | 20 |
| Popolna nefunkcionalnost | 4 |
| Zunanje poškodbe | 4 |
| Drugo | 3 |
| Težave z dobavo | 2 |
| Notranja kontaminacija | 1 |
| Skupaj | 100 |

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

3.4.6 Verjeten vzrok incidenta

Podatkovna baza zahtevkov po pregledih in popravih podjetja je na začetku vsebovala 33 verjetnih vzrokov za incident. Mnogi izmed njih imajo precej skupnih točk, zato so prerazporejeni v devet večjih skupin. V osnovi se vzroki pripisujejo uporabniku ali proizvajalcu komponente, ti pa so nato razčlenjeni z natančnejšim opisom.

V tabeli 5 lahko vidimo skupine verjetnih vzrokov in njihov delež od celote. Pri petini primerov ni bilo zaznane nikakršne težave in s tem vzroka za incident. V sedemintrideset odstotkih je bil kot krivec naveden proizvajalec. Verjetni vzroki so razporejeni v neskladnost proizvodnje, pakiranje in logistiko ter druge, nedefinirane vzroke. V dvainštirideset odstotkih primerov je kot krivec prepoznal kupec komponente, možni vzroki pa so težave z oljem, uporaba preko navedenih zmogljivosti, neprimerni zunanji vplivi in težave s tlakom.

Tabela 5: Delež posameznih verjetnih vzrokov incidenta v %

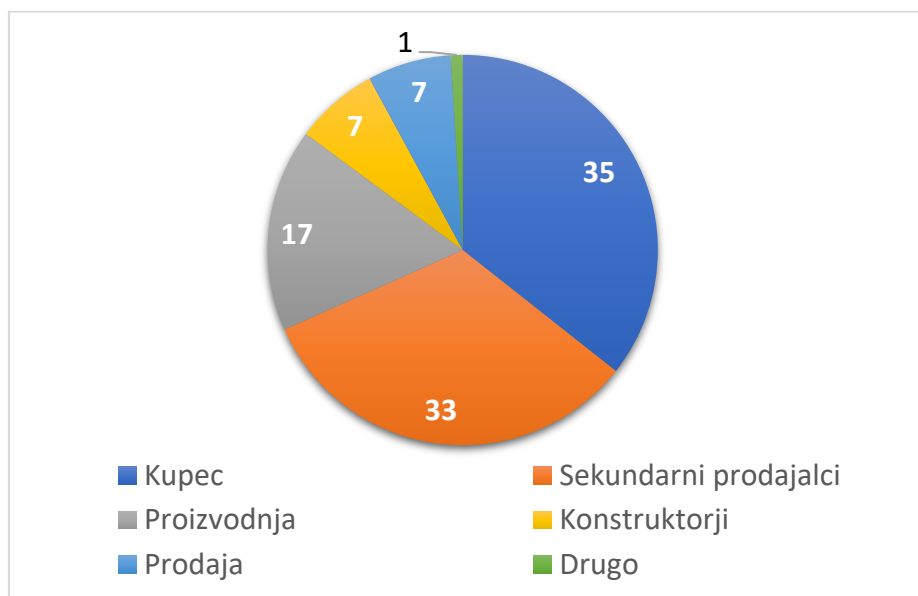
| | |
|--|-----|
| Proizvajalec – drugo | 21 |
| Problem ni zaznan | 19 |
| Proizvajalec – neskladnost proizvodnje | 15 |
| Kupec – zunanji vplivi | 11 |
| Kupec – težave z oljem | 10 |
| Kupec – uporaba preko navedenih zmogljivosti | 9 |
| Kupec – normalna obraba ob uporabi | 8 |
| Kupec – težave s tlakom | 4 |
| Proizvajalec – pakiranje in logistika | 1 |
| Skupaj | 100 |

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

3.4.7 Odgovornost

Sedma informacija prikaže, komu je podjetje dodelilo odgovornost za nastalo težavo. Slika 16 prikazuje šest različnih možnosti in njihov delež od celote. Največkrat je odgovornost za nastale težave dodeljena kupcem, sledijo sekundarni proizvajalci in nato proizvodnja. Konstruktorji in prodaja nosijo odgovornost za vsak po sedem odstotkov primerov, nekaj pa je tudi nedoločenih.

Slika 16: Delitev odgovornosti za napake na komponentah v %



Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

3.4.8 Upoštevanje garancije

Pregledan vzorec odkrivanja upoštevanja garancije je manjši v primerjavi z ostalimi kategorijami zaradi izločitve zahtevkov po pregledu ali popravilu izven garancije in zahtevanih zamenjav zaradi spremembe zahtev. Obravnavani so samo primeri v dobi garancije, njihovi možni izidi pa so naslednji: odobritev ali zavrnitev garancije, zavrnitev brez zahtevanega plačila stroškov in še ne določeni primeri. Delež posameznih izidov je prikazan v tortnem diagramu na sliki 17.

Slika 17: Delež posameznih izidov garancijskih zahtevkov v %



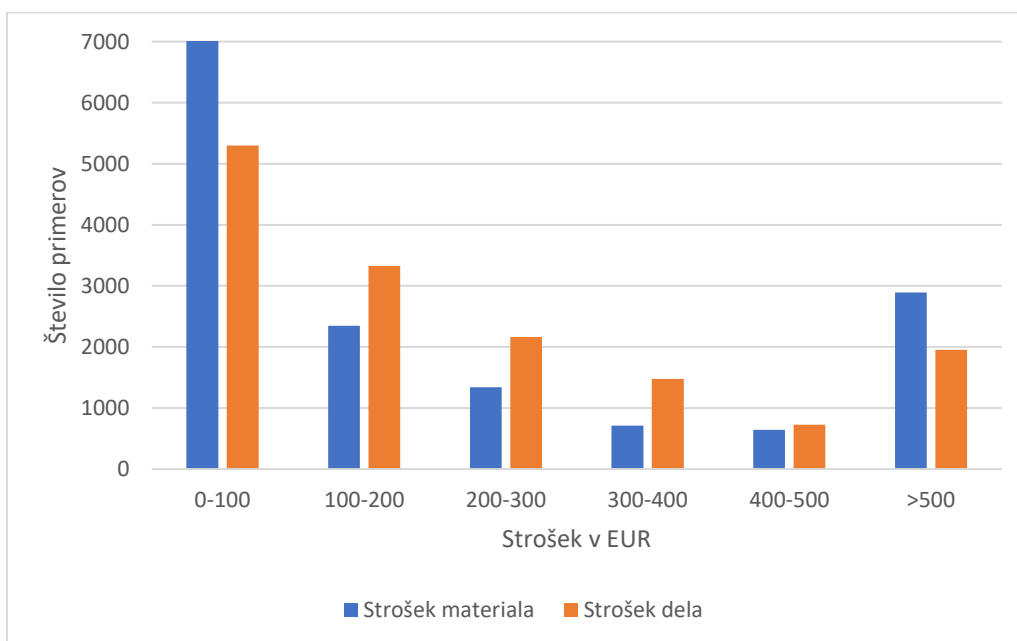
Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

3.4.9 Stroški

Vsak izmed vnosov ima definirane stroške, nastale pri pregledu ali popravilu, ti pa so nadaljnje razdeljeni v štiri podskupine. Delijo se na stroške materiala ali komponente, servisa, ostale stroške in sekundarne stroške garancije.

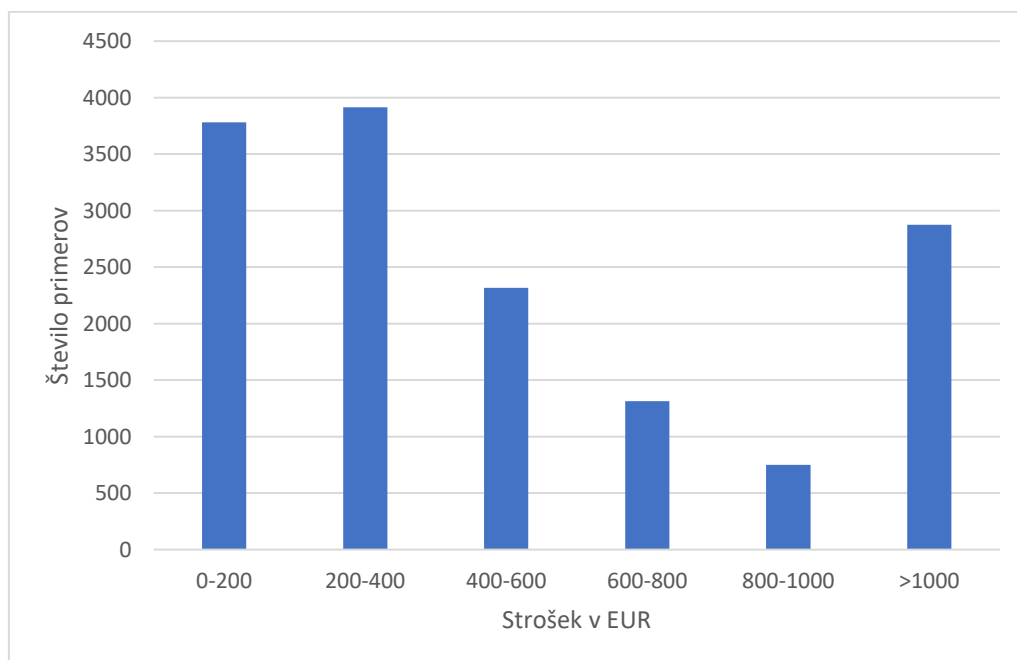
V grafikonu na sliki 18 je prikazano število elementov našega vzorca glede na strošek materiala ali dela. V obeh primerih vidimo, da se največ vnosov v obeh primerih nahaja v najnižji stroškovni skupini, do sto evrov. Število vnosov pri strošku materiala nato naglo pade v nadaljnjih skupinah, občuti pa se ponoven porast v najdražji skupini, več kot petsto evrov. Podoben trend opazimo pri stroških dela, le da sta prvoten padec in končni porast nekoliko milejša. Slika 19 prikazuje število primerov v različnih skupinah končnih skupnih stroškov. Ker so vključeni tudi podatki o sekundarnih garancijskih in pa ostalih stroških, je trend nekoliko drugačen. Druga stroškovna skupina ima več vnosov kot prva, nato sledi strm padec in ponoven porast v najdražji skupini, nad tisoč evrov. Tortni diagram na sliki 20 pa prikazuje delež posamezne skupine seštevka stroškov v izbranem vzorcu.

Slika 18: Število primerov izbranega vzorca v posamezni stroškovni skupini



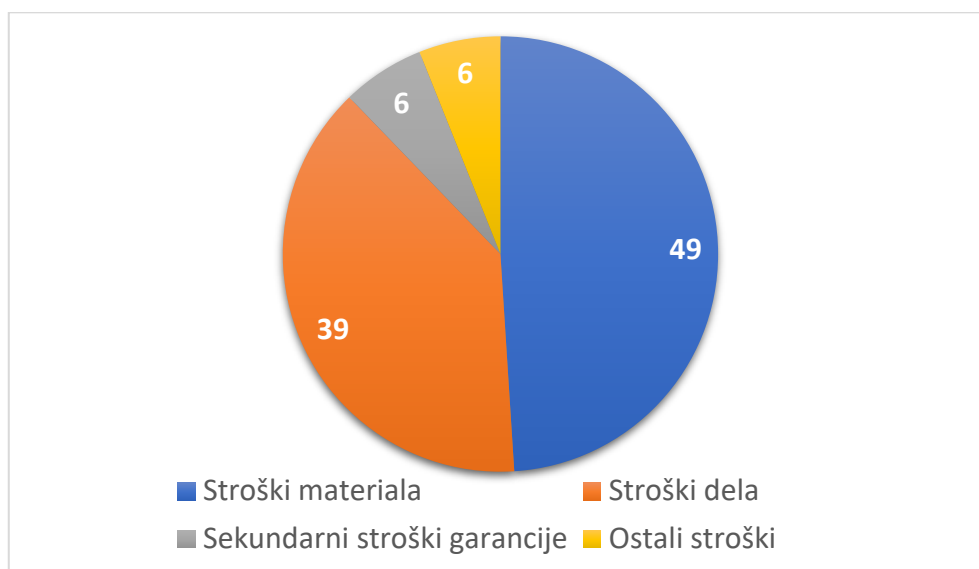
Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

Slika 19: Število primerov skupnih stroškov v posamezni stroškovni skupini



Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

Slika 20: Delež posameznih skupin stroškov v skupnem seštevku izbranega vzorca v %



Vir: Poclairn Hydraulics, d. o. o. (2018).

3.4.10 Trajanje posamezne aktivnosti

Podatkovna baza vsebuje datume določenih dogodkov, ki so relevantni za področje reklamacij in vzdrževanja. S pomočjo danih datumov lahko izračunamo trajanje posamezne aktivnosti in dolžino prekinitev med njimi. Za potrebe raziskave je bilo izbranih šest datumov, katerih zaporedje je prikazano na sliki 21. Časovni popis posameznega vnosa se začne z datumom incidenta, ki mu sledi odprtje primera v podjetju. Tretji dogodek označuje začetek pregleda, četrti pa konec pregleda in začetek popravila hkrati. Dogodka sta bila zaradi pomanjkanja informacij pri mnogih vnosih združena. Začetku popravila sledi konec popravila, zaprtje primera pa je zadnje v verigi. Čas med posameznimi dogodki je označen s črko t, zraven pa stoji tudi številka, ki nam pove pozicijo v razčlenjeni verigi vzdrževanja.

Slika 22 prikazuje, koliko primerov se nahaja v posameznem časovnem območju za obdobja od t1 do t5. Od incidenta do odprtja primera v večini primerov mine manj kot en dan, manjši delež primerov se vnese v sistem v manj kot dvajsetih dneh, v obdobju nad enaindvajsetimi dnevi pa število vnosov zopet naraste. Čas t2, ali obdobje med odprtjem primera in začetkom pregleda, ima ponovno največje število primerkov v prvi skupini, ki traja manj kot en dan. V povprečju so čakalni časi daljši v primerjavi s časom t1, to pa lahko pripišemo predvsem potrebni logistiki za dejanski začetek pregleda. Del je namreč treba demontirati in poslati serviserju, v primeru obiska vzdrževalca na terenu pa zaradi različnih razlogov lahko pride do odložitve. Čas t3 predstavlja dolžino pregleda komponente, ki se pogosto zaključi v enem dnevu, v večini primerov pa traja dlje.

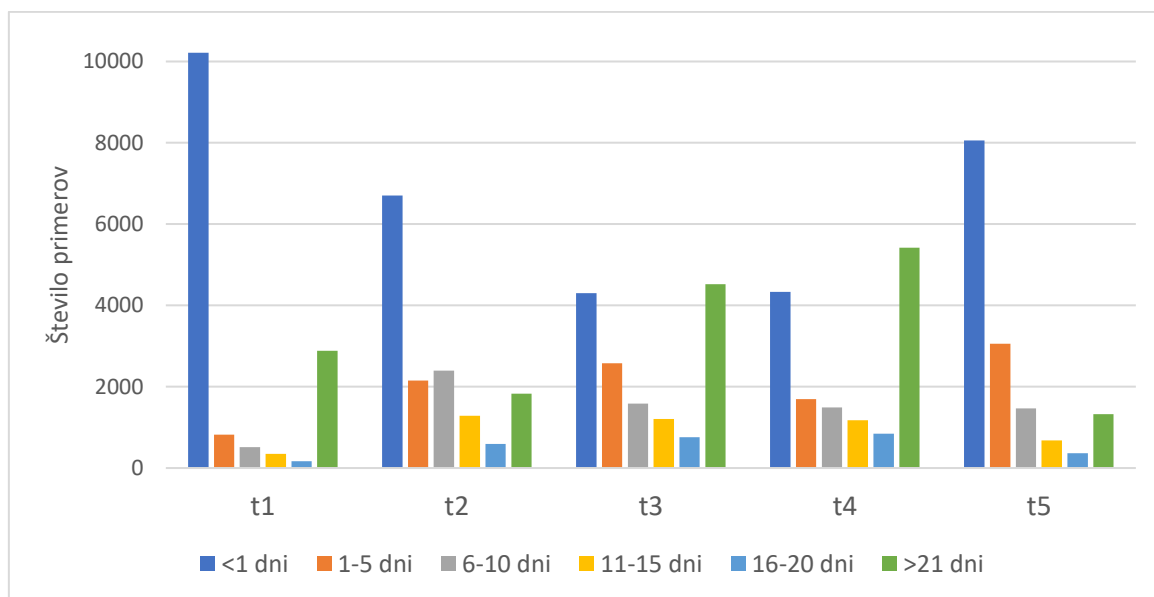
Slika 21: Ključni dogodki reklamacij in vzdrževanja ter čas med njimi



Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

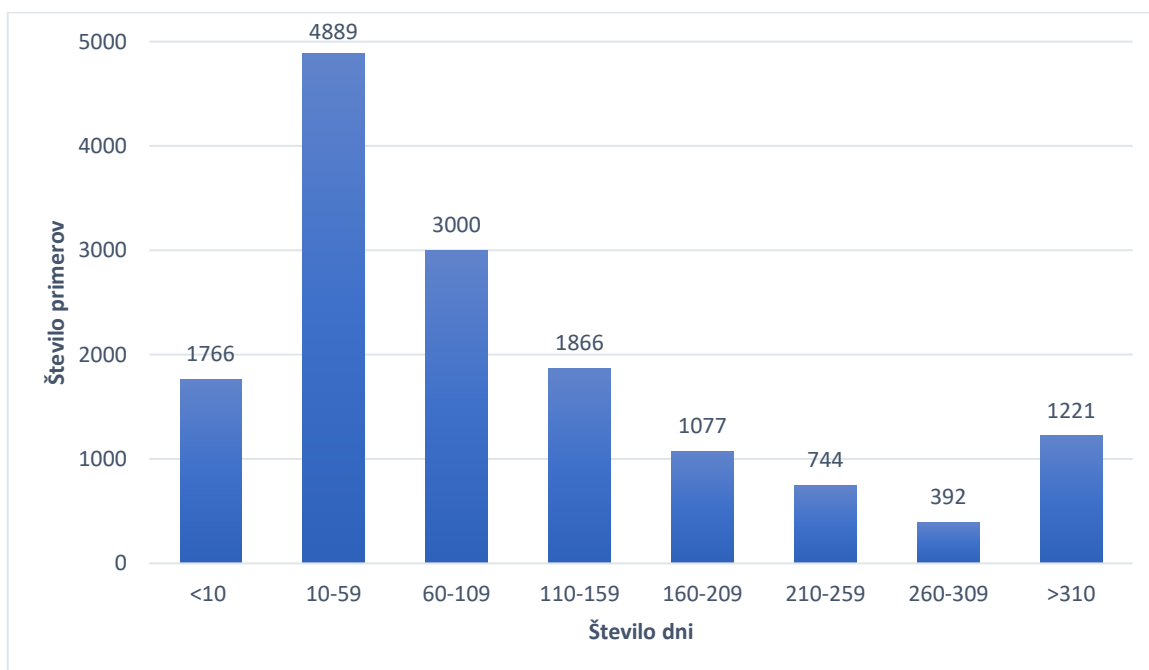
V našem vzorcu zahtevkov za pregled in popravila se dolžina pregledov najpogosteje nahaja v zadnji kategoriji, daljši od enaindvajsetih dni. Podoben trend kot pri času t3 lahko opazimo tudi pri času t4, oziroma trajanju popravila. Tudi v tem primeru je veliko zahtevkov rešenih v manj kot dnevu, pogosto pa gre za izpustitev popravila iz procesa, saj na pregledu ni bilo ugotovljenih nikakršnih težav. Časovno obdobje od konca popravila do zaprtja primera (t5) vsebuje zaključek in odpremo komponente. Največkrat se zaključi v manj kot enem dnevu, nekaj manj kot polovica primerov pa predvsem zaradi logističnih ovir lahko traja dlje.

Slika 22: Število primerov posamezne aktivnosti v določeni časovni enoti



Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

Slika 23: Število primerov trajanja celotnega postopka v posamezni časovni enoti.



Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

Na sliki 23 vidimo število primerov v posameznih časovnih skupinah. Graf prikazuje trajanje celotnega postopka, torej od incidenta do zaprtja primera. Tu vidimo občutno manj primerov v najkrajši časovni skupini, do deset dni, največ zahtevkov pa se razreši v časovnem oknu od deset do devetinpetdeset dni. Število primerov nato pada skupaj s podaljševanjem časovnega obdobja, do ponovne rasti pa pride v zadnji skupini, kjer se zahtevke rešuje več kot 310 dni.

3.5 Preizkus hipotez

3.5.1 Povezava skupnih stroškov in trajanja celotnega postopka vzdrževanja

S pomočjo pregleda literature in teoretičnega ozadja je nastala prva hipoteza, ki predvideva povezavo višine skupnih stroškov in trajanja celotnega postopka vzdrževanja

Hipoteze:

- H_0 : Skupni stroški niso odvisni od trajanja celotnega postopka.

$$H_0: \rho = 0$$

- H_1 : Skupni stroški so odvisni od trajanja celotnega postopka.

$$H_1: \rho \neq 0$$

Za prepoznavanje povezanosti uporabimo Pearsonov koeficient korelacije, mero linearne povezanosti dveh številskih spremenljivk. Ugotavljali bomo prisotnost povezanosti in njeno vrsto.

Poleg izračuna korelacije uporabimo tudi metodo Bootstrap (slo: kljukčeva metoda), ki je robustna na morebitno kršitev predpostavk linearnega modela. V nastavitvah programa izberemo že vnaprej podano možnost tisočih vzorcev. Program v začetnem vzorcu izbere določeno število elementov in jih nato ponavljajoče vzorči. S tem procesom se značilnosti začetnega vzorca približajo dejanski populaciji, kar na koncu poda robustnejši rezultat (IBM, 2016). Podrobnosti preizkusa so predstavljene v tabeli 6 in tabeli 7. Na slednji lahko vidimo, da je linearna povezanost med spremenljivkama šibka in negativna ($p < 0,001$).

Tabela 6: Specifikacije vzorčenja (Bootstrap)

| | |
|-----------------------------|--|
| Metoda vzročanja | Enostavna |
| Število vzorcev | 1000 |
| Interval zaupanja – stopnja | 95,0% |
| Interval zaupanja – tip | Odprava pristranskosti in asimetričnosti (Bca) |

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

Tabela 7: Rezultati analize Pearsonove korelacije

| | | | | |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|-------|
| | | Skupni stroški | | |
| Trajanje celotnega postopka | Pearsonova korelacija | | -,107 ^a | |
| | Statistična značilnost (dvostranska) | | ,000 | |
| | n | | 14955 | |
| | Bootstrap ^b | Pristranskost | | ,000 |
| | | Standardna napaka aritmetične sredine | | ,007 |
| | | BCa 95% stopnja zaupanja | Spodnja | -,119 |
| Zgornja | | | -,094 | |
| a. Korelacija je statistično pomembna pri stopnji tveganja 0,01 (dvostransko). | | | | |
| b. Rezultati zankanja (Bootstrap) temeljijo na 1000 vzorcih. | | | | |

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

3.5.2 Povezava skupnih stroškov in informacije o začetku uporabe

Pred izvajanjem analize se na podlagi pregledane literature predvideva višje stroške pregledov in popravil pri komponentah, ki so že bile uporabljane na terenu (Ng, Harding, & Glass, 2017). Domneva temelji na predvidenih višjih logističnih stroških že uporabljenih komponent v primerjavi s še ne uporabljenimi (0km).

Hipoteze:

- H0: Skupni stroški niso odvisni od začetka uporabe komponente.

$$H0: \mu(0km) = \mu(teren)$$

- H1: Skupni stroški so višji pri komponentah, ki so že bile uporabljene na terenu.

$$H0: \mu(0km) < \mu(teren)$$

Pri zavračanju hipoteze H0 in dokazovanju H1 primerjamo med seboj neodvisna vzorca, ki sta razdeljena na podlagi začetka uporabe določene komponente. Možnosti vnosa sta dve, zahtevek za pregled oziroma popravilo je prišel s terena ali pa gre za popolnoma novo komponento. *t*-test nam pove, če se testirana vzorca med seboj v povprečju statistično razlikujeta, tudi v tem primeru pa za robustnejšo analizo uporabimo metodo Bootstrap. V tabeli 8 vidimo statistične značilnosti posameznih skupin, ki jim sledi test neodvisnih vzorcev v tabeli 9. Levenov test enakosti varianc je pokazal značilne razlike ($p < 0,001$), zato se osredotočimo na rezultate ob predpostavki neenakosti varianc. Povprečna razlika med dvema vzorcema je statistično značilna ($p < 0,001$) in znaša v povprečju 188,22 evrov. Tudi na podlagi Bootstrap metode ugotovimo statistično pomembne razlike, podrobnejši rezultati pa so prikazani v tabeli 10.

Tabela 8: Statistične značilnosti posameznih skupin

| | | Opisna statistika | Bootstrap ^a | | | | |
|----------------|-------|-------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------|---------|
| | | | Pristranskost | Standardna napaka aritmetične sredine | BCa 95% stopnja zaupanja | | |
| | | | | | Spodnji | zgornji | |
| Skupni stroški | 0km | N | 5243 | | | | |
| | | Povprečje | 817,444 | -0,453 | 13,176 | 793,327 | 843,031 |
| | | Standardna deviacija | 948,231 | -0,323 | 12,065 | 925,117 | 970,258 |
| | | Stand. nap. arit. sred. | 13,096 | | | | |
| | Teren | N | 9712 | | | | |
| | | Povprečje | 629,191 | 0,023 | 7,249 | 614,998 | 643,957 |
| | | Standardna deviacija | 712,290 | -0,184 | 9,235 | 693,465 | 730,185 |
| | | Stand. nap. arit. sred. | 7,228 | | | | |

a. Rezultati zankanja (Bootstrap) temeljijo na 1000 vzorcih.

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

Tabela 9: Test neodvisnih vzorcev

| | | Enakost varianc | | T-test enakosti povprečij | | | | | | |
|-------------------|---|-----------------|------|---------------------------|----------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|--------------------------|---------|
| | | F | Sig. | t | df | Sig. (dvostranska) | Povprečna razlika | Standardna napaka razlike | BCa 95% stopnja zaupanja | |
| | | | | | | | | | Spodnja | Zgornja |
| Skupni stroški | Predpostavljena enakost varianc | 555,00 | 0,00 | 13,68 | 14953,00 | 0,00 | 188,25 | 13,76 | 161,28 | 215,22 |
| | Predpostavljena neenakost varianc | | | 12,59 | 8496,46 | 0,00 | 188,25 | 14,96 | 158,93 | 217,57 |

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

Tabela 10: Samovzorčenje za test neodvisnih vzorcev (Bootstrap)

| | | Povprečna razlika | Bootstrap ^a | | | | |
|--|--------------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------|
| | | | Pristranskost | Standardna napaka razlike | Sig. (Dvostransko) | BCa 95% stopnja zaupanja | |
| | | | | | | Spodnja | Zgornja |
| Skupni stroški | Predpostavljena enakost varianc | 188,25 | -0,48 | 15,31 | 0,00 | 158,47 | 217,33 |
| | Predpostavljena neenakost varianc | 188,25 | -0,48 | 15,31 | 0,00 | 158,47 | 217,33 |
| a. Rezultati zankanja (Bootstrap) temeljijo na 1000 vzorcih. | | | | | | | |

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

3.5.3 Trajanje celotnega postopka in informacija o začetku uporabe

Tretja analiza preizkuša povezanost med prvo spremenljivko, ki opisuje trajanje celotnega postopka v številu dni, in drugo, katere vnos ima dve možnosti. Pri prvi gre za novo, prvič uporabljeno komponento, druga pa prikazuje komponento, ki je že obratovala na terenu.

Hipotezi:

- H0: Trajanje celotnega postopka in začetek uporabe komponente nista povezana.

$$H0: \rho = 0$$

- H1: Obstaja povezava med trajanjem celotnega postopka in začetkom uporabe komponente.

$$H1: \rho \neq 0$$

Pri tokratnem testiranju povezave ima spremenljivka informacije o začetku uporabe samo dve možnosti vnosa, zato v programski opremi SPSS uporabimo analizo (točkovne) biserialne korelacije. Pred začetkom izberemo možnost zankanja (Bootstrap) in nato izvedemo analizo. V tabeli 11, kjer so prikazani rezultati analize, lahko vidimo, da je povezava med spremenljivkama šibka ($p < 0,001$).

Tabela 11: Biserialna korelacija trajanja celotnega postopka in začetka uporabe

| | | Št. dni celoten postopek | | |
|--|------------------------|---------------------------------------|-------------------|------|
| 0km / Teren | Pearsonova korelacija | | ,249 ^a | |
| | Sig. (dvostranski) | | ,000 | |
| | N | | 14955 | |
| | Bootstrap ^b | Pristranskost | | ,000 |
| | | Standardna napaka aritmetične sredine | | ,007 |
| | | BCa 95% stopnja zaupanja | Spodnja | ,235 |
| Zgornja | | | ,264 | |
| a) Korelacija je statistično pomembna pri stopnji tveganja 0,01 (dvostransko). | | | | |
| b) Rezultati zankanja (Bootstrap) temeljijo na 1000 vzorcih. | | | | |

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

3.5.4 Število obratovalnih ur komponente in njena starost v letih

Četrta analiza preizkuša povezanost med prvo spremenljivko, ki opisuje število obratovalnih ur komponente do trenutka, ko je prišlo do zahtevka po pregledu ali popravilu, in drugo spremenljivko, ki nam poda informacijo o starosti komponente v letih.

Hipoteze:

- H0: Število obratovalnih ur komponente in njena starost v letih nista povezani
 $H0: \rho = 0$
- H1: Obstaja korelacija med številom obratovalnih ur komponente in njeno starostjo v letih
 $H1: \rho \neq 0$

Tabela 12: Pearsonova korelacija števila obratovalnih ur in njene starosti v letih

| | | Starost v letih | | |
|---|------------------------|---------------------------------------|-------------------|------|
| Število obratovalnih ur | Pearsonova korelacija | | ,631 ^a | |
| | Sig. (dvostranski) | | 0,000 | |
| | N | | 12557 | |
| | Bootstrap ^b | Pristranskost | | ,001 |
| | | Standardna napaka aritmetične sredine | | ,008 |
| | | BCa 95% stopnja zaupanja | Spodnja | ,614 |
| | | | Zgornja | ,648 |
| a. Korelacija je statistično pomembna pri stopnji tveganja 0,01 (dvostransko) | | | | |
| b. Rezultati zankanja (Bootstrap) temeljijo na 1000 vzorcih. | | | | |

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

V tabeli 12 vidimo, da smo z analizo Pearsonove korelacije dokazali pozitivno in srednje močno povezavo med prvo spremenljivko, številom obratovalnih ur komponente, in drugo, starostjo komponente v letih ($p < 0,001$).

3.5.5 Verjeten vzrok težave in dodeljena odgovornost

Pri peti analizi iščemo povezavo med spremenljivkama verjetnega vzroka težave in odgovornosti zanjo. V obeh primerih gre za kategorične spremenljivke, zato korelacijo ocenimo s pomočjo kontingenčne tabele (angl. Crosstabs). Program oblikuje tabelo z vstavitvijo ene spremenljivke v stolpce in druge v vrstice. V našem primeru imata obe spremenljivki enako število elementov, zato skupaj zavzemata tako imenovano kvadratno tabelo.

Hipoteze

- H0: Dodeljena odgovornost ni odvisna od verjetnega vzroka težave.
- H1: Dodeljena odgovornost je odvisna od verjetnega vzroka težave.

Prvi korak analize rezultatov povezanosti verjetnega vzroka težave in odgovornosti je osnovni pregled spremenljivk, ki nam pokaže, da ni nobenih manjkajočih vrednosti. Prvi izpis tabel, ki se zaradi svoje obširnosti nahaja v prilogi 1, prikazuje strukture posameznih elementov prve spremenljivke s posameznimi elementi druge. V prvi vrstici vidimo število direktnih povezav posameznih vnosov med dvema analiziranimi spremenljivkama. Vsako število ima zraven tudi črko, različne črke ob posameznih podmnožicah pa nakazujejo, da se deleža medsebojno statistično razlikujeta pri $p < 0,05$. V šesti vrstici posameznega primera se nahaja standardiziran ostanek, katerega absolutna vrednost višja od 1,96 predstavlja statistično razlikovanje med dejansko in relativno frekvenco (Lawner Weinberg & Knapp Abramowitz, 2008). V primeru pozitivnega ostanka je dobljeno število višje od pričakovanega, v primeru negativnega pa je manjše. V tabeli 13 lahko vidimo, da je povezava statistično značilna (Pearson $\chi^2 = 11535$, $df = 40$, $p < 0,001$), tabela 14 pa nam pokaže, da je učinek srednje močan. (Cramer's $V = 0,393$)

Tabela 13: Hi-kvadrat test

| | Vrednost | df | Asimptotska značilnost (dvostranska) |
|--|------------------------|----|--------------------------------------|
| Pearson Hi-kvadrat | 11535,098 ^a | 40 | 0,000 |
| Razmerje verjetnosti | 10572,379 | 40 | 0,000 |
| Asociacija | 1458,476 | 1 | 0,000 |
| N veljavnih vnosov | 14955 | | |
| a. 1 celica (1,9 %) ima pričakovano število elementov manj kot 5. Minimalno pričakovano število je 1,70. | | | |

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

Tabela 14: Mere velikosti učinka

| Symmetric Measures | | | |
|--------------------|------------|----------|--------------------------|
| | | Vrednost | Aproksimirana značilnost |
| Nominal by Nominal | Phi | ,878 | 0,000 |
| | Cramer's V | ,393 | 0,000 |
| N veljavnih vnosov | | 14955 | |

Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

4 DISKUSIJA

Prvi del četrtega poglavja vsebuje razlago rezultatov opisne statistike in statistične analize, v veliko pomoč pri interpretaciji pa so bili poleg literature tudi zaposleni v podjetju Poclain Hydraulics, d. o. o. Razlagi rezultatov v drugem in tretjem delu sledijo omejitve ter priporočila za nadaljnje raziskave.

4.1 Razlaga rezultatov analize

Z analizo dobljenih rezultatov lahko začnemo pri poglavju opisne statistike, kjer za vsako spremenljivko posebej izpostavimo smiselnost kontinuiranega spremljanja parametrov hidravličnih komponent na podlagi predhodnega pregleda literature in posvetovanja s strokovnjaki na tem področju.

Ko govorimo o vrsti obravnavanega primera, je tehnično in stroškovno gledano postopek pregleda ali popravila popolnoma enak v vseh treh kategorijah. Razlikujejo se predvsem v veljavnosti garancije in vrsti zahtevka. Pregledi in popravila komponent v garanciji spadajo v garancijska popravila, medtem ko so izven-garancijski pregledi v drugi skupini. Prevladujoč delež garancijskih zahtevkov pripisujemo predvsem dejstvu, da uporabniki pričakujejo pregled, popravilo ali zamenjavo brez stroškov in nujnosti kontaktiranja z uradnim serviserjem, ker bi v primeru samostojnega posega lahko prišlo do prekinitve garancije (Poclain Hydraulics, d. o. o., 2013).

Pomembno odkritje grupiranja vnosov spremenljivke števila obratovalnih ur je dejstvo, da se največje število zahtevkov po pregledu ali popravilu zgodi pri popolnoma novih komponentah, ki so ravno začele z obratovanjem ali pa celo še pred tem. V takšnih primerih kontinuirano spremljanje parametrov na daljavo najverjetneje ne bi prineslo večjih prednosti, saj je bila napaka zaznana na samem začetku, kar izključuje prednosti režima vzdrževanja po stanju (Swanson, 2001).

V primerih daljšega skupnega obratovalnega časa naprave bi bilo ob pojavu težave kontinuirano spremljanje parametrov na daljavo smiselno, saj bi se uporabnik in serviser s predvidevanjem lažje pripravila na potreben poseg. V primeru zaznavanja napačne uporabe ali neprimernih razmer bi se uporabnik lahko nekaterim težavam popolnoma izognil (Ng, Harding & Glass, 2017).

Razdelitev vzorca podatkov glede na začetek uporabe nam sama po sebi ne poda kvantitativne informacije o izboljšanju učinkovitosti in znižanju stroškov vzdrževanja. Predvidevamo, da bi izboljšanje v večini primerov lahko dosegli samo pri zahtevkih s terena, saj so težave pred začetkom dejanske uporabe po navadi zaznavne brez dolgoročnega izvajanja meritev (Ma, Wang, Shi, Li & Wang, 2017).

S pregledom literature so bili v teoretičnih osnovah povzeti primeri težav, ki bi jih bilo mogoče hitreje diagnosticirati s kontinuiranim pregledovanjem (Ng, Harding & Glass, 2017). V našem vzorcu podatkov je takšnih primerov približno polovica, bolj natančno pa gre za puščanje olja, poslabšano učinkovitost, pregrevanje, prekomeren hrup in notranjo kontaminacijo. V naštetih primerih do popolne ustavitve praviloma ne pride takoj, ampak jo lahko nakazujejo določeni signali. V primeru, da jih zaznamo že prej, lahko preprečimo hujše poškodbe in s tem znižamo stroške popravila in izgube zaradi zmanjšane delovne zmogljivosti. Oddaljen dostop spremljanih parametrov lahko v vsakem trenutku pomaga diagnosticirati težave s strani strokovnjakov, s tem pa se zmanjšajo posledice tudi ob nezadostnem razumevanju samega uporabnika (Laube & Haack, 2016).

Naslednja spremenljivka, ki govori o verjetnem vzroku težave, bi z novimi načini diagnostike pridobila predvsem boljšo točnost in natančnost. V določenem številu primerov, pri katerih se do sedaj ni poznal točen vzrok težave, bi z množico podatkov podprti argumenti lahko zamenjali dosedanja ugibanja. Podobno je tudi z informacijo o odgovornosti za posamezen primer. Nedoločene primere in tiste, kjer morda pride do sporov zaradi razdelitve stroškov, bi z večjo količino informacij rešili lažje in hitreje.

Trajanje posameznih aktivnosti je lastnost, ki bi z uvedbo novih tehnologij doživela največ izboljšav. V okviru obravnavanih primerov, za katere je predvidena možnost izboljšav, bi digitalizacija in izmenjava informacij na daljavo lahko skrajšali marsikateri postopek. Takojšen prenos informacij o stanju bi omogočal samodejno odprtje primera ob prijavi incidenta, kar bi eliminiralo nekaj več kot dvajset odstotkov primerov, pri katerih je bil za to dejavnost potreben več kot en dan. Čas t_2 od odprtja primera do začetka pregleda je lahko zmanjšan z natančnejšim spremljanjem stanja in s predvidevanjem možnih odpovedi (Ng, Harding & Glass, 2017). Servisna dejavnost bi se tako lahko bolje prilagodila dejanskim razmeram. Skrajšanje trajanja je mogoče tudi v primeru pregleda in popravila, težje pa je z dostopnimi podatki napovedati kvantitativne vrednosti izboljšav.

Prvi del statistične analize, ki preizkuša povezanost skupnih stroškov in trajanje celotnega postopka, temelji na domnevi, da višina stroškov narašča s podaljševanjem časovnega okna. Domneva upošteva več predvidenih servisnih ur, katerih stroški v našem vzorcu predstavljajo 39 odstotkov celote, kar lahko vidimo na tortnem diagramu slike 20. Rezultati analize so pokazali, da je povezava med spremenljivkama šibka in negativna pri $p < 0,001$, kar zavrne ničelno hipotezo, ki pravi, da med spremenljivkama ni povezave. V našem vzorcu je ob podaljšanjem času celotnega postopka v povprečju zaznan rahel padeč skupnih stroškov, kar je v nasprotju s prvotnim predvidevanjem. Dobljeno razložimo z upoštevanjem samo direktnih stroškov v podatkovni bazi podjetja in uporabo spremenljivke za celoten postopek, ki je sestavljena iz petih različnih časovnih enot. Nekatere izmed enot ob daljšem trajanju ne predstavljajo nujno višjih direktnih stroškov. To sta čas od incidenta do odprtja primera in čas do začetka pregleda. Kljub dobljenim rezultatom je iz pregleda literature zaznan potencial pri zniževanju stroškov skupaj s skrajševanjem celotnega postopka

predvsem na področju indirektno induciranih stroškov, nastalih ob zmanjšanih delovnih zmogljivostih ob okvari določenega stroja ali orodja (Bengtsson & Kurdve, 2016).

Pri drugem delu statistične analize smo poizkušali dokazati statistično značilno razliko stroškov med zahtevki s terena in tistimi, ki obravnavajo popolnoma novo komponento. Ničelna hipoteza je bila zavržena pri $p < 0,001$, prav tako pa se je izkazalo, da je predpostavka o višjih stroških zahtevkov s terena napačna. Po ponovnem pregledu podatkov začetne podatkovne baze pa se je izkazalo, da smo zaradi zahtevne obravnave in nepopolnosti zanemarili podatek o identifikacijski številki obravnavane komponente in s tem spustili tudi podatek o začetni ceni in natančnejši vrsti napake (Poclain Hydraulics, d. o. o., 2018). Pri zahtevkih s terena gre pogosteje za enostavnejša popravila, ki se jih pričakuje zaradi obrabe, medtem ko je slaba funkcionalnost ali popolna nefunkcionalnost nove komponente po navadi bolj kompleksna napaka. Kljub povprečno nižjim stroškom pa zahtevki po pregledih in popravilih v našem vzorcu predstavljajo 65 odstotkov v primerjavi s 35 odstotki novih komponent, kar vsaj delno upraviči smiselnost vgradnje naprav kontinuiranega pregledovanja parametrov in njihovega oddaljenega spremljanja. Primeri s posamezno nižjimi stroški skupaj dolgoročno predstavljajo visok delež sredstev, namenjenih vzdrževanju.

S testiranjem povezave trajanja celotnega postopka in informacije o začetku uporabo smo ovrgli ničelno hipotezo pri $p < 0,001$, saj je analiza postregla s šibko Pearsonovo korelacijo med spremenljivkama. Ker gre za biserialno analizo, smo dokazali razliko v trajanju celotnega postopka med dvema skupinama spremenljivke z informacijo o začetku uporabe. Podobno kot pri analizi stroškov se lahko tudi v tem primeru naslonimo na trditev, da je zahtevkov s terena več v primerjavi s tistimi, ki zadevajo nove komponente, kar vsaj delno upraviči smiselnost uvajanja novih tehnologij spremljanja parametrov in izmenjave informacij na daljavo.

Pri četrtem delu analize je bila testirana povezava med številom obratovalnih ur komponente in njeno starostjo v letih. Predpostavili smo, da med njima obstaja korelacija in to tudi dokazali. Zavrnilo smo ničelno hipotezo in dokazali srednje močno pozitivno povezavo med spremenljivkama pri $p < 0,001$. Rezultat lahko interpretiramo z v povprečju večjim številom obratovalnih ur pri starejših komponentah, kar na prvi pogled deluje samoumevno. Delovni stroji ali oprema se lahko uporabljajo z različno intenziteto, kar v praksi pomeni samo občasno uporabo nekaterih in bolj pogosto uporabo drugih komponent. S srednje močno pozitivno Pearsonovo korelacijo smo dokazali trend naraščanja števila ur skozi leta pri $p < 0,001$, kar je eden izmed pokazateljev izpada delovnih zmogljivosti ob okvari določene komponente in njeni dolgotrajnejši odsotnosti. Če delovni stroj skozi čas z določenim trendom nabira obratovalne ure, povzroči končnemu uporabniku v primeru okvare ob odsotnosti alternative izpad zmogljivosti in s tem direktne ter indirektno stroške (Ng, Harding & Glass, 2017).

Peta analiza testira povezavo med spremenljivkama verjetnega vzroka težave in dodeljene odgovornosti. Dokazali smo srednje močen učinek, kar nakazuje na določeno mero konsistentnosti pri dodeljevanju odgovornosti za posamezen primer. S predpostavkami ob pregledani literaturi in po posvetu s strokovnjaki predvidevamo, da bi bila ob uporabi večje količine podatkov korelacija še močnejša.

4.2 Omejitve raziskave

Tematika v magistrskem delu je bila raziskana s statistično analizo podatkovne baze, ki so jo v različnih izpostavah po svetu izpolnjevali zaposleni v podjetju Poclain Hydraulics. d. o. o.. Izpolnjevanje obrazca v primeru pregleda ali popravila poteka ročno, kar lahko kljub standardizaciji postopkov pripelje do različne kategorizacije težav.

Medtem, ko pri intervalnih spremenljivkah, kot sta na primer starost in število obratovalnih ur, subjektivnost zaposlenega ne bi smela biti težava, lahko pride pri nekaterih nominalnih spremenljivkah do odstopanj. Glede subjektivnosti sta najbolj problematični obravnavani spremenljivki tip incidenta in verjeten vzrok le-tega. Za prvo je bilo ustvarjenih osem, za drugo pa devet različnih možnosti vnosa, razlog za to pa sta boljša preglednost in potreba po kategorizaciji. Kljub vnaprej določenim smernicam se mora zaposleni v podjetju na koncu sam odločiti, v katero skupino kategorizirati posamezen primer.

Poleg subjektivnosti pravilnost podatkovne baze določa tudi natančnost zaposlenih, ki vanjo vnašajo podatke o zahtevkih za preglede in popravila. Do odstopanj zaradi zaokroževanja lahko pride pri starosti komponente, številu obratovalnih ur in stroških. Napake se lahko pojavijo tudi pri informaciji o trajanju postopka, kjer določene aktivnosti pogosto niso zabeležene, ali pa je zapis datuma začetka in konca aktivnosti zaradi nenatančnega upoštevanja smernic narobe vnesen.

Določeno mero nezanesljivosti je prinesla tudi prekategorizacija možnih vnosov posameznih spremenljivk, ki je bila izvedena za bolj obvladljivo statistično analizo. Ponovno je to najbolj vplivalo na informacijo o tipu incidenta in verjetnem vzroku. Določene skupine so bile združene, nekatere z zelo nizkim številom elementov pa so bile dodeljene kakšni večji skupini. Združevanje možnih vnosov posamezne spremenljivke je temeljilo na čim večjem številu skupnih značilnosti. Kljub natančnemu pregledu in posvetovanju s strokovnjaki podjetja obstaja ob tako veliki količini začetnih podatkov možnost, da so bili določeni vnosi dodeljeni manj primernim skupinam. Posledica tega so manj natančni končni rezultati analize, kljub temu pa nam velik vzorec in uporaba robustnejših statističnih metod omogočata lažje posploševanje ugotovitev.

4.3 Priporočila za nadaljnje raziskave

Obravnavani primeri zahtevkov za pregled oziroma popravilo vsebujejo predvsem informacije, ki so stroškovno in kakovostno bistvene za proizvajalca samega. Za nadaljnje raziskave je priporočljivo detajlno pregledati zamude pri delovnih procesih in izpad dohodkov zaradi neoperativnosti posamezne komponente.

Za natančno določanje vzdrževalnega režima hidravličnih komponent bi morali vnose razčleniti glede na vrsto industrije, funkcijo komponente v proizvodnem ali delovnem procesu in zahtevano stopnjo zanesljivosti. Z do sedaj poznanimi tehnikami je pridobivanje teh informacij ob veliki količini primerov zelo zahtevno opravilo, poenostavile pa bi jih nove tehnologije četrte industrijske revolucije. Pri zahtevnejših procesih, kot je na primer vrtnanje cestnih ali rudniških predorov, sta kontinuirano spremljanje podatkov in izmenjava informacij prisotna že danes (Rahimdel, Ataei, Khalokakaei & Hoseinie, 2013). Zanimivo bi bilo tehniko preizkusiti v panogah, pri katerih se poslabšanje zmogljivosti ali odpoved ne zdita tako bistvena. Takšen primer je predvsem kmetijstvo, trenutno eden največjih uporabnikov hidravličnih sistemov, ki zaradi svoje razpršenosti in v povprečju relativno nizkih posledic v primeru posamezne odpovedi še ni doživelo tako množične tehnološke revolucije kot na primer rudarstvo.

Raziskava je obsegala širok nabor izdelkov, ki sodelujejo pri številnih procesih različne pomembnosti. Kljub širokemu naboru pa je skupna točka vsem obravnavanim primerom isti proizvajalec komponent, torej Poclain Hydraulics, d. o. o.. Zanimivo bi bilo raziskati tudi izdelke drugih proizvajalcev hidravličnih komponent in rezultate med seboj primerjati. Tekmeci na področju dizajniranja, proizvodnje in vgradnje hidravličnih komponent so predvsem Parker-Hannifin Corp., Bosch Rexroth AG in Spirax-Sacro Engineering, zanimivo pa bi bilo preveriti, če ugotovitve te magistrske naloge veljajo tudi za njihove izdelke.

SKLEP

Zanesljivo in učinkovito delovanje delovne opreme sta ključna elementa izvajanja procesov v podjetju. Razčlenitev na osnovne aktivnosti in analiza le-teh največ pripomoreta k pravilnemu izboru in uspešni implementaciji vzdrževalnega režima. Četrta industrijska revolucija tudi na tem področju ponuja inovativne rešitve, ki skupaj z ustreznim izobraževanjem kadra pripeljejo do učinkovitejših procesov in s tem boljših končnih rezultatov. Tehnološke pridobitve na področju senzorike in obdelave podatkov s cenitvijo sestavnih delov in z dostopnostjo s praktično katerokoli napravo prodirajo na vse več področij industrijskega kot tudi vsakdanjega sveta.

V magistrskem delu sem s pomočjo literature in opisov predhodnih empiričnih raziskav raziskal teoretično ozadje treh ključnih obravnavanih tematik in jih na koncu sestavil v celoto. Večletna podatkovna baza zahtevkov po pregledih in popravilih, ki jo je priskrbel proizvajalec hidravličnih komponent Poclain Hydraulics, d. o. o., je bila ključnega pomena

za praktični preizkus, s katerim sem testiral raziskovalna vprašanja in hipoteze. Pregled literature in opravljen preizkus te magistrske naloge sta pokazala vpogled v smiselnost vgradnje senzoričnih komponent na področju hidravlične tehnologije. V velikem številu primerov bi sodobne rešitve lahko znižale stroške vzdrževanja in povišale učinkovitost, predvsem s predhodno zaznavo kazalnikov, s katerimi lahko napovemo poškodbo, preden do te sploh pride. S tem odkritjem lahko pritrnilno odgovorimo na glavno raziskovalno vprašanje te magistrske naloge.

Pomembna ugotovitev rezultatov statistične analize je bilo odkritje v povprečju zelo dolgega trajanja celotnega postopka. Kljub nedostopnosti podatkov o dodatnih stroških zaradi izpada delovne opreme, je to problem, ki je naveden v večini pregledane literature o vzdrževanju. S povečano izmenjavo informacij med proizvajalcem in uporabniki bi lahko dosegli znatno skrajšanje postopka in s tem izboljšanje uporabniške izkušnje. Poleg zadovoljstva končnega uporabnika kvaliteta vzdrževalne storitve zaradi zbranih podatkov privede do boljše izdelave produktov v prihodnosti, vse to skupaj pa za proizvajalca pomeni konkurenčno prednost.

Kontinuiran pregled in digitalna obdelava parametrov sta aktivnosti, ki se v manjši meri že uporabljata pri vzdrževanju hidravlike, množična razširjenost pa je ob vseh prednostih, ki jih nudita, le še vprašanje časa. Magistrska naloga je pokazala potencialne prednosti, za smiselnost vgradnje takšne tehnologije pa bi bilo zaradi raznovrstnosti industrij, aplikacij in posledic, ki nastanejo ob poslabšanju ali prenehanju delovanja, potrebno izvesti nadaljnje raziskave.

LITERATURA IN VIRI

1. Aishwarya, S. (2014, 30. marec). Railway Technology. *Budapest metro opens new automated underground line 4*. Pridobljeno 20. julija 2018 iz <http://www.railway-technology.com/news/newsbudapest-metro-opens-new-automated-underground-line-4-4206208/>
2. Annunziata, M. & Bourgeois, H. (2018, 28. junij). Economics e-journal. *The future of work: how G20 countries can leverage digital-industrial innovations into stronger high-quality jobs growth*. Pridobljeno 7. julija 2018 iz <http://www.economics-ejournal.org/economics/journalarticles/2018-42>
3. Aronin, P. (2017, 20. oktober). Sastra Robotics. *Hydraulic robotic arm can increase manufacturing efficiency*. Pridobljeno 9. julija 2018 iz <http://www.sastrarobotics.com/hydraulic-robotic-arm-can-increase-manufacturing-efficiency/>
4. Austin, M. (2018, 24. marec). Digital Trends. *Construction companies robot workforce*. Pridobljeno 12. avgusta 2018 iz www.digitaltrends.com/cool-tech/construction-companies-robot-workforce/
5. Bengtsson, M. & Kurdve, M. (2016). Machining Equipment Life Cycle Costing Model with Dynamic Maintenance Cost. *23rd Conference on Life Cycle Engineering* (str. 102-107). Berlin: Elsevier Procedia.

6. Bernell Hydraulics. (2016, 17. avgust). *Industries that use hydraulics daily*. Pridobljeno 25. avgusta 2018 iz <http://www.bernellhydraulics.com/industries-that-use-hydraulics-daily/>
7. Bonneau, V., Copigneaux, B., Probst, L. & Bertrand, P. (2017, 23. julij). *Industry 4.0 in agriculture: Focus on IoT aspects*. Pridobljeno 15. julija 2018 iz https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Agriculture%204.0%20IoT%20v1.pdf
8. Byngton, C. & Schalcosky, D. (2010, 24. november). *Advances in Real Time Oil Analysis*. Pridobljeno 12. julija 2018 iz <https://www.machinerylubrication.com/Read/138/real-time-oil-analysis>
9. Campfens, V. & Dekker, C. (2018, 31. januar). *Smart port Rotterdam* [objava na blogu]. Pridobljeno 23. avgusta 2018 iz www.ibm.com/blogs/think/2018/01/smart-port-rotterdam/
10. Chadwick, A., Morfelt, J. & Borthwick, M. (2004). *Hydraulics in Civil and Environmental Engineering* (4. izd.). Boca Raton: CRC Press.
11. Chen, K. (2012, 2. april). *Malasya Airlines Airbus 330*. Pridobljeno 12. julija 2018 iz <http://www.airliners.net/photo/Malaysia-Airlines/Airbus-A330-323/2094587/>
12. Cosford, J. (2015, 4. november). *Trends in Construction machinery hydraulics*. Pridobljeno 16. julija iz <https://www.mobilehydraulictips.com/trends-in-construction-machinery-hydraulics/>
13. Dabbs, T. (2004). Life Cycle Engineering. *The True Cost of Maintenance*. Pridobljeno 22. avgusta 2018 iz <https://www.lce.com/pdfs/The-True-Cost-of-Maintenance-71.pdf>
14. Degryse, C. (2016, 29. februar). Social Europe. *Here are the new social risks of the fourth industrial revolution*. Pridobljeno 13. julija 2018 iz <https://www.socialeurope.eu/here-are-the-new-social-risks-of-the-fourth-industrial-revolution>
15. Deloitte Touche Tohmatsu Limited. (2014, 24. oktober). *Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*. Pridobljeno 7. julija 2018 iz <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte>
16. Drstvenšek, I. (2006). *Vzdrževanje v poindustrijski dobi, v luči standarda SIST EN 13306*. Maribor: DRUM.
17. Dvorak, P. (2016, 18. marec). Windpower Engineering. *Oil monitor promises accurate real-time readings*. Pridobljeno 22. avgusta 2018 iz <https://www.windpowerengineering.com/business-news-projects/oil-monitor-promises-accurate-real-time-readings/>
18. Eaton. (2018, 24. marec). *Condition monitoring and analysis of hydraulic and lubrication fluids*. Pridobljeno 10. septembra 2018 iz http://www.eaton.com/ecm/groups/public/@pub/@filtration/documents/content/pct_363083.pdf
19. Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. London: Sage.

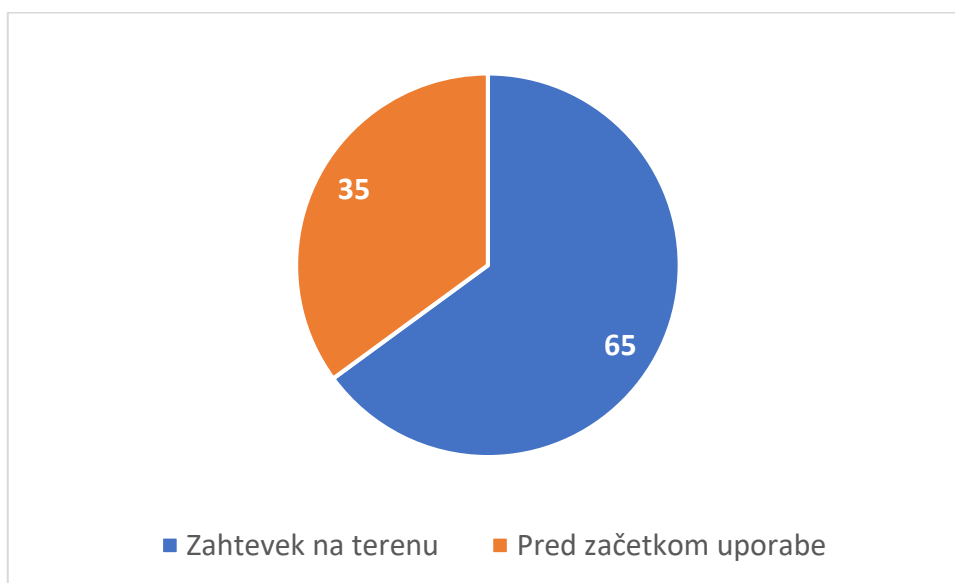
20. Fiix Inc.. (2017, 7. februar). *Maintenance strategies – preventive maintenance*. Pridobljeno 10. julija 2018 iz <https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/preventative-maintenance/>
21. Fiix Inc. (2018, 3. maj). *Maintenance strategies – reliability centered maintenance*. Pridobljeno 10. julija 2018 iz <https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/reliability-centered-maintenance/>
22. Garcia, L. (2018, 19. januar). Maintenance Connection. *Reactive Maintenance*. Pridobljeno 22. avgusta 2018 iz <https://www.maintenanceconnection.com/website/reactive-maintenance/>
23. Garde, R. (1995). *History of Fluvial Hydraulics*. New Delhi: New Age International.
24. Gupta, A. & Arora, S. (2009). *Industrial Automation and Robotics* (2. izd.). Mohali: Laxmi Publications.
25. Hehn, A. (1994). *Fluid Power Troubleshooting* (2 izd.). Boca Raton: CRC Press.
26. Hydraulics Online. (2013, 20. julij). *Industrial Hydraulics*. Pridobljeno 19. avgusta 2018 iz <http://www.hydraulicsonline.com/industrial-hydraulics>
27. IBM. (2016, 7. september). *Point-Biserial Correlation in SPSS*. Pridobljeno 5. septembra 2018 iz <http://www-01.ibm.com/support/docview.wss?uid=swg21476004>
28. Jemec, V. (2004, 20. marec). SSPVJEME. *Preventivno vzdrževanje*. Pridobljeno 28. julija 2018 iz <http://www2.arnes.si/~sspvjeme/vzdrzevanje/prevantivnovzdr.htm>
29. Juričič, Đ. (2013). Diagnostika, prognostika in e-vzdrževanje. *Zbornik osme konference AIG'13 Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu* (str. 54-64). Maribor: Društvo avtomatikov Slovenije.
30. Kerr, A., Hall, H. & Kozub, S. (2003). *Doing statistics with SPSS*. London: SAGE.
31. Krähling, R., Dyck, H. (2018, 13. september). Argo Hytos. *Cost reduction through online condition monitoring*. Pridobljeno 15. oktobra 2018 iz <https://www.argo-hytos.com/news/archive/archive/cost-reduction-through-online-condition-monitoring.html>
32. Laube, M. & Haack, S. (2016). Condition Monitoring for hydraulic Power Units - user-oriented entry in Industry 4.0. *10th International Fluid Power Conference* (str. 393-402). Dresden: Industrial Hydraulics.
33. Lawner Weinberg, S. & Knapp Abramowitz, S. (2008). *Statistics Using SPSS*. New York: Cambridge University Press.
34. Lydon, B. (2014, 19. februar). Automation. *The 4th industrial revolution unfolding – Industry 4.0 unfolding at Hannover Messe*. Pridobljeno 28. julija 2018 iz <https://www.automation.com/automation-news/article/the-4th-industrial-revolution-industry-40-unfolding-at-hannover-messe-2014>
35. Ma, Z., Wang, S., Shi, J., Li, T. & Wang, X. (2017). Fault diagnosis of an intelligent hydraulic pump based on a nonlinear unknown input observer. *Chinese Journal of Aeronautics*, 31(2), 385-394.
36. MacCready, M. (2017, 20. januar). FLY TEK GSE. *Aviation Hydraulics*. Pridobljeno 29. julija 2018 iz <https://flytekgse.com/2017/01/20/aviation-hydraulics-2/>

37. Maintenance. (2007, 14. junij). *Business Dictionary*. Pridobljeno 10. julija 2018 iz <http://www.businessdictionary.com/definition/maintenance.html>
38. Nash, L. (2014, 29. januar). Hydra Products. *Agricultural Hydraulics* [objava na blogu]. Pridobljeno 30. julija 2018 iz <https://www.hydraproducts.co.uk/blog/postid/39/agricultural-hydraulics.aspx>
39. Nave, R. (2000, 11. april). Hyper Physics. *Automobile Hydraulic Lift*. Pridobljeno 22. julija 2018 iz <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pasc.html>
40. Ng, F., Harding, J. & Glass, J. (2017). Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring. *Mechanical Systems and Signal processing*, 83, 176-193.
41. Peavler, R. (2018, 12. maj). The Balance SMB. *Just-in-time (JIT) inventory management*. Pridobljeno 9. septembra 2018 iz <https://www.thebalancesmb.com/just-in-time-jit-inventory-management-393301>
42. Poclain Hydraulics, d. o. o.. (2013, 12. oktober). *Valves and Hydraulic Power Units - Installation, Commissioning and Maintenance*. Pridobljeno 20. oktober 2018 iz https://www.poclain-hydraulics.com/_upload/ressources/media/pdf/B03258Q.pdf
43. Poclain Hydraulics, d. o. o.. (2018, 2. september). *RMA - Quality Control* (Interno gradivo). Žiri: Poclain Hydraulics, d. o. o.
44. Rahimdel, M., Ataei, M., Khalokakaei, R. & Hoseinie, S. (2013). Reliability-based maintenance scheduling of hydraulic system of rotary drilling machines. *International Journal of Mining Science and Technology*, 23(5), 771-775.
45. Roblek, V., Meško, M. & Krapež, A. (2016, 1. junij). SAGE Open. *A Complex View of Industry 4.0*. Pridobljeno 15. oktobra iz <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2158244016653987#articleCitationDownloadContainer>
46. Roser, C. (2015, 29. december). All About Lean. *Industry 4.0*. Pridobljeno 22. julija iz <https://www.allaboutlean.com/industry-4-0/>
47. Sa, J. (2003). *Applied statistics using SPSS, STATISTICA and MATLAB*. Berlin (New York): Springer.
48. Saturno, M., Moura Pertel, V. & Deschamps, F. (2018, 27. julij). Research Gate. *Technologies for Industry 4.0*. Pridobljeno 23. oktobra 2018 iz www.researchgate.net/techologies-for-industry-40_fig1_319944621
49. SBB CFF FFS. (2016, 11. maj). *Gotthard Basistunnel*. Pridobljeno 19. julija 2018 iz <https://company.sbb.ch/de/medien/dossier-medienschaffende/gotthard-basistunnel.html>
50. Simkins, C. (2012, 19. april). Acorn Industries. *The role of hydraulic actuators within aircraft systems*. Pridobljeno 25. avgusta 2018 iz <https://www.acorn-ind.co.uk/insight/The-role-of-hydraulic-actuators-within-aircraft-systems/>
51. Sindhuja, S. (2016, 12. junij). Business Management Ideas. *Plant Maintenance: Objectives, Importance and Types*. Pridobljeno 16. julija 2018 iz <http://www.businessmanagementideas.com/industrial-engineering/maintenance/plant-maintenance-objectives-importance-and-types/9846>

52. Slovenski računovodski standardi. (2016) *Uradni List RS*, št. 65/08, str. 24. Pridobljeno 15. julija 2018 iz <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=DRUG4192>
53. Sniderman, B., Mahto, M. & Cotteleer, M. J. (2016, 15. junij). Deloitte Touche Tohmatsu Limited. *Industry 4.0 and manufacturing ecosystems*. Pridobljeno 13. julija 2018 iz https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/za/Documents/energy-resources/ZA_Deloitte-Industry4.0-manufacturing-ecosystems-Jun16.pdf
54. STR Software. (2013, 3. marec). *Achieving reliability with planned maintenance optimization* [objava na blogu]. Pridobljeno 23. julija 2018 iz <https://www.strsoftware.com/blog/achieving-reliability-with-planned-maintenance-optimization>
55. Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics*, 70, 237-244.
56. Tič, V. & Lovrec, D. (2011). Detecting and analysing condition of hydraulic oils with on-line sensors. *Facta Universitatis: Series Mechanical Engineering*, 9(1), 71-78.
57. Tupa, J. & Benesova, A. (2017). Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0. *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017* (str. 2195-2202). Modena: Procedia Manufacturing.
58. TÜV Rheinland. (2017, 15. april). *Improving equipment reliability through smart asset management*. Pridobljeno 12. avgusta 2018 iz <http://www.risktec.tuv.com/knowledge-bank/technical-articles/improving-equipment-reliability-through-smart-asset-management.aspx>
59. Vishnu, C. & Regikumar, V. (2016). Reliability Based Maintenance Strategy Selection In Process Plants: A case study. *Global Colloquium in Recent Advancement and Effectual Researches in Engineering, Science and Technology (RAEREST 2016)* (str. 1080-1087). Kottayam: Procedia Technology.
60. Zaouini, M. (2017, 4. maj). Iiot World. *Nine challenges of industry 4.0*. Pridobljeno 28. julija 2018 iz <http://iiot-world.com/connected-industry/nine-challenges-of-industry-4-0/>
61. Zhang, Y., Andrews, J., Reed, S. & Magnus, K. (2017). Maintenance processes modelling and optimisation. *Reliability Engineering and System Safety*, 168, 150-160.
62. Zoellner, P. & Thonhauser, G. (2011, 6. oktober). The American Oil and Gas Reporter *Approach Automates Monitoring And Analysis Of Hydraulics In Real Time*. Pridobljeno 14. oktobra 2018 iz <https://www.aogr.com/magazine/cover-story/approach-automates-monitoring-and-analysis-of-hydraulics-in-real-time>

PRILOGE

Priloga 1: Odstotek zahtevkov s terena in pred začetkom uporabe v %



Vir: Poclain Hydraulics, d. o. o. (2018).

Priloga 2: Kontingenčna tabela verjetnega vzroka težav in dodeljene odgovornosti

| Verjeten Vzrok * Odgovornost | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------|----------------|----------|--------------|----------|----------|
| | | | Odgovorno st | | | | | | Skupno |
| | | | Sekundarni prodajalci | Kupec | Konstrukt orji | Drugo | Proizvod nja | Prodaj a | |
| Verjeten vzrok | Kupec - težave s tlakom | Število | 198a | 444b | 6c | 1a, c | 2c | 0c | 651 |
| | | Pričakovano Število | 216.3 | 231.8 | 45.3 | 6.3 | 108.9 | 42.5 | 651 |
| | | % znotraj verjetnega vzroka | 30.40% | 68.20% | 0.90% | 0.20% | 0.30% | 0.00% | 100.00 % |
| | | % znotraj odgovornosti | 4.00% | 8.30% | 0.60% | 0.70% | 0.10% | 0.00% | 4.40% |
| | | % celote | 1.30% | 3.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 4.40% |
| | | Standardiziran ostanek | -1.2 | 13.9 | -5.8 | -2.1 | -10.2 | -6.5 | |
| | Kupec - Zunanji vplivi | Število | 866a | 802b | 19c | 14a, b | 8d | 10c, d | 1719 |
| | | Pričakovano Število | 571.2 | 612 | 119.5 | 16.7 | 287.5 | 112.2 | 1719 |
| | | % znotraj verjetnega vzroka | 50.40% | 46.70% | 1.10% | 0.80% | 0.50% | 0.60% | 100.00 % |
| | | % znotraj odgovornosti | 17.40% | 15.10% | 1.80% | 9.70% | 0.30% | 1.00% | 11.50% |
| | | % celote | 5.80% | 5.40% | 0.10% | 0.10% | 0.10% | 0.10% | 11.50% |
| | | Standardiziran ostanek | 12.3 | 7.7 | -9.2 | -0.7 | -16.5 | -9.6 | |
| | Problem ni zaznan | Število | 581a | 1476b | 34c | 7a, c, d | 186d | 535e | 2819 |

| | | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|-----------------------------|--------|--------|--------|----------|-------|--------|---------|
| | | Pričakovano Število | 936.7 | 1003.6 | 196 | 27.3 | 471.4 | 184 | 2819 |
| | | % znotraj verjetnega vzroka | 20.60% | 52.40% | 1.20% | 0.20% | 6.60% | 19.00% | 100.00% |
| | | % znotraj odgovornosti | 11.70% | 27.70% | 3.30% | 4.80% | 7.40% | 54.80% | 18.80% |
| | | % celote | 3.90% | 9.90% | 0.20% | 0.00% | 1.20% | 3.60% | 18.80% |
| | | Standardiziran ostanek | -11.6 | 14.9 | -11.6 | -3.9 | -13.1 | 25.9 | |
| | Kupec - Normalna obraba ob uporabi | Število | 904a | 316b | 3c | 1b, c, d | 7c | 24d | 1255 |
| | | Pričakovano Število | 417 | 446.8 | 87.3 | 12.2 | 209.9 | 81.9 | 1255 |
| | | % znotraj verjetnega vzroka | 72.00% | 25.20% | 0.20% | 0.10% | 0.60% | 1.90% | 100.00% |
| | | % znotraj odgovornosti | 18.20% | 5.90% | 0.30% | 0.70% | 0.30% | 2.50% | 8.40% |
| | | % celote | 6.00% | 2.10% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.20% | 8.40% |
| | | Standardiziran ostanek | 23.8 | -6.2 | -9 | -3.2 | -14 | -6.4 | |
| | Kupec - Težave z oljem | Število | 853a | 669b | 15c, d | 6d | 20c | 4c | 1567 |
| | | Pričakovano Število | 520.7 | 557.9 | 109 | 15.2 | 262.1 | 102.3 | 1567 |
| | | % znotraj verjetnega vzroka | 54.40% | 42.70% | 1.00% | 0.40% | 1.30% | 0.30% | 100.00% |
| | | % znotraj odgovornosti | 17.20% | 12.60% | 1.40% | 4.10% | 0.80% | 0.40% | 10.50% |
| | | % celote | 5.70% | 4.50% | 0.10% | 0.00% | 0.10% | 0.00% | 10.50% |
| | | Standardiziran ostanek | 14.6 | 4.7 | -9 | -2.4 | -15 | -9.7 | |

| | | | | | | | | | |
|--|--|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------------|
| | Kupec - Uporaba preko navedeni h zmogljiv osti | Število | 614a | 664a | 7b | 0b | 6b | 5b | 1296 |
| | | Pričakovano Število | 430.6 | 461.4 | 90.1 | 12.6 | 216.7 | 84.6 | 1296 |
| | | % znotraj verjetnega vzroka | 47.40% | 51.20% | 0.50% | 0.00% | 0.50% | 0.40% | 100.00 % |
| | | % znotraj odgovornosti | 12.40% | 12.50% | 0.70% | 0.00% | 0.20% | 0.50% | 8.70% |
| | | % celote | 4.10% | 4.40% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 8.70% |
| | | Standardiziran ostanek | 8.8 | 9.4 | -8.8 | -3.5 | -14.3 | -8.7 | |
| | Proizvaja lec - Neskladn ost proizvod nje | Število | 92a | 271b | 184c | 55d | 1627e | 83f | 2312 |
| | | Pričakovano Število | 768.2 | 823.1 | 160.8 | 22.4 | 386.6 | 150.9 | 2312 |
| | | % znotraj verjetnega vzroka | 4.00% | 11.70% | 8.00% | 2.40% | 70.40% | 3.60% | 100.00 % |
| | | % znotraj odgovornosti | 1.90% | 5.10% | 17.70% | 37.90% | 65.10% | 8.50% | 15.50% |
| | | % celote | 0.60% | 1.80% | 1.20% | 0.40% | 10.90% | 0.60% | 15.50% |
| | | Standardiziran ostanek | -24.4 | -19.2 | 1.8 | 6.9 | 63.1 | -5.5 | |
| | Proizvaja lec - Pakiranje | Število | 14a | 35a | 0a | 5b, c | 56c | 65b | 175 |

| | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
| | in logistika | | | | | | | | |
| | | Pričakovano Število | 58.1 | 62.3 | 12.2 | 1.7 | 29.3 | 11.4 | 175 |
| | | % znotraj verjetnega vzroka | 8.00% | 20.00% | 0.00% | 2.90% | 32.00% | 37.10 % | 100.00 % |
| | | % znotraj odgovornosti | 0.30% | 0.70% | 0.00% | 3.40% | 2.20% | 6.70% | 1.20% |
| | | % celote | 0.10% | 0.20% | 0.00% | 0.00% | 0.40% | 0.40% | 1.20% |
| | | Standardiziran ostanek | -5.8 | -3.5 | -3.5 | 2.5 | 4.9 | 15.9 | |
| | Proizvajalec - Drugo | Število | 847a | 647b | 772c | 56d | 589e | 250e | 3161 |
| | | Pričakovano Število | 1050.3 | 1125.3 | 219.8 | 30.6 | 528.6 | 206.3 | 3161 |
| | | % znotraj verjetnega vzroka | 26.80% | 20.50% | 24.40% | 1.80% | 18.60% | 7.90% | 100.00 % |
| | | % znotraj odgovornosti | 17.00% | 12.20% | 74.20% | 38.60% | 23.60% | 25.60 % | 21.10% |
| | | % celote | 5.70% | 4.30% | 5.20% | 0.40% | 3.90% | 1.70% | 21.10% |
| | | Standardiziran ostanek | -6.3 | -14.3 | 37.2 | 4.6 | 2.6 | 3 | |
| Skupno | | Število | 4969 | 5324 | 1040 | 145 | 2501 | 976 | 14955 |
| | | Pričakovano Število | 4969 | 5324 | 1040 | 145 | 2501 | 976 | 14955 |
| | | % znotraj verjetnega vzroka | 33.20% | 35.60% | 7.00% | 1.00% | 16.70% | 6.50% | 100.00 % |
| | | % znotraj odgovornosti | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00 % | 100.00% | 100.00 % | 100.00 % |
| | | % celote | 33.20% | 35.60% | 7.00% | 1.00% | 16.70% | 6.50% | 100.00 % |
| Vsaka pripisana črka označuje podмноžico kategorij Odgovornosti, katerih proporcije stolpcev niso medsebojno statistično različne pri P=0,00. | | | | | | | | | |

Vir: Poclairn Hydraulics, d. o. o. (2018).