



ICES  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Strojništvo

Modul: Orodjarstvo

## **SODOBNE METODE VZDRŽEVANJA V PAPIRNI INDUSTRIJI**

Mentorica: dr. Marija Kisin, univ. dipl. inž. stroj.

Mentor v podjetju: doc. dr. Samo Ulaga, univ. dipl. inž. str.

Lektorica: Ana Peklenik, prof. slov.

Kandidat: Jure Stražar

Ljubljana, september 2017

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorici dr. Mariji Kisin za mentorstvo in pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Posebej se zahvaljujem tudi svojemu somentorju v podjetju doc. dr. Samu Ulagi za vso strokovno pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi lektorici Ani Peklenik, prof. slov., ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

## IZJAVA

»Študent Jure Stražar izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Marije Kisin, univ. dipl. inž. stroj.«

»Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.«

Dne 19. 9. 2017

Podpis: \_\_\_\_\_

## **POVZETEK**

Diplomsko delo je bilo narejeno v sodelovanju z delodajalcem Količevo Karton d.o.o. in zunanjim izvajalcem meritev vibracij Tinex diagnostika d.o.o. Namen naloge je bil prikazati, kako pomembno je dandanes uvajanje postopka vzdrževanja glede na stanje v sodobnih proizvodnih procesih. Cilj vzdrževanja v proizvodnih procesih je odpraviti ali zmanjšati nepredvidene okvare in zaustavitve proizvodnje zaradi vzdrževanja in posledično povečati izkoristek strojev in naprav.

V diplomski nalogi so predstavljene teoretične osnove in namen ter cilji postopkov vzdrževanja v papirni industriji. Izpostavili smo vzdrževanje strojev glede na trenutno stanje in opisali, s katerimi sodobnimi metodami bi se lahko ta vrsta vzdrževanja v papirni industriji izvajala. Ena od metod, ki jo predlagamo, je meritev vibracij na vseh rotirajočih in vrtečih se delih kartonskega stroja. Iz rezultatov meritev lahko pravočasno dobimo celovit vpogled v trenutno stanje posameznih strojnih elementov v stroju.

V praktičnem delu naloge smo podali pretekli primer okvare ležaja na stiskalnici in opredelili okvirne stroške, ki so bili z nenadno okvaro povezani, ter letno poročilo zastojev zaradi okvare ležaja. V nadaljevanju pa smo predstavili praktične meritve vibracij na določenih mestih na stroju in opravili analize dobljenih rezultatov. Ugotovili smo, da bi s takim sodobnim pristopom k vzdrževanju glede na stanje lahko v prihodnje pravočasno zaznali vzroke in izvore povečanih vibracij na stroju. Na ta način bi v prihodnje preprečili večino nenačrtovanih oz. nepredvidenih zastojev strojev in prekinitev proizvodnje.

## **KLJUČNE BESEDE:**

- industrija papirja
- kartonski stroj
- vzdrževanje
- vzdrževanje glede na stanje
- meritve vibracij

## **ABSTRACT**

This diploma work was written in cooperation with Količevo Karton d.o.o. and the external business partner for vibration measurements Tinex diagnostika d.o.o. The purpose of this work was to show how important the implementation of the maintenance process is today in terms of the situation in modern production processes. The goal of maintenance in production processes is to eliminate or reduce unforeseen defects and production shutdowns due to maintenance, and consequently increase the efficiency of machines and devices.

In the diploma work we have presented the theoretical basis, purpose and goals of the maintenance procedures in the paper industry. We emphasized the maintenance of the machines according to the current state and described how modern methods can be used in this kind of maintenance in the paper industry. One of the methods we propose is measuring the vibrations on all the rotating parts of the cardboard machine. From the results of the measurements we can obtain a timely comprehensive insight into the current state of the individual machine elements within the machine.

In the practical part of the diploma, we presented a past example of a bearing failure on the press and defined the indicative costs that were connected with an abrupt failure and the annual report of congestion due to the failure of the bearing. Therefore we presented practical measurements of vibrations at certain points on the machine and performed analyzes of the obtained results. We found that with such a modern approach to maintenance the causes and sources of increased vibrations on the machine could be detected in a timely manner. This way, in the future, we could prevent most of the unplanned defects and therefore unforeseen machine congestions and interruptions of production.

## **KEYWORDS:**

- paper industry
- cardboard machine
- maintenance
- condition based maintenance
- vibration measurements

## KAZALO VSEBINE

1	UVOD .....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge .....	1
1.3	Predpostavke in omejitve .....	1
1.4	Metode dela .....	1
1.5	Predstavitev podjetja .....	2
2	POSTOPKI VZDRŽEVANJA .....	4
2.1	Pomen vzdrževanja.....	4
2.2	Kaj je okvara? .....	4
2.3	Razdelitev vzdrževanja (SIST EN 13306).....	5
2.3.1	Kurativno vzdrževanje .....	6
2.3.2	Odloženo vzdrževanje.....	6
2.3.3	Takojšne vzdrževanje .....	7
2.3.4	Preventivno vzdrževanje .....	7
2.3.5	Vzdrževanje glede na stanje .....	7
2.3.6	Vnaprej določeno vzdrževanje .....	8
3	VZDRŽEVANJE GLEDE NA STANJE IN MOŽNOSTI UPORABE V PODJETJU KOLIČEVO KARTON D.O.O. ....	8
3.1	Pomen vzdrževanja glede na trenutno stanje .....	8
3.2	Metode za nadzor stanja .....	9
3.2.1	Meritve in analiza vibracij .....	9
3.2.2	Analiza olja in delcev v olju .....	10
3.2.3	Termografija.....	11
3.2.4	Endoskopija .....	12
3.3	Meritve vibracij .....	13
3.3.1	Senzorji premika .....	13
3.3.2	Senzorji hitrosti .....	14
3.3.3	Senzorji pospeška ali pospeškometri .....	15
3.3.4	Izbira merilnih mest .....	16
3.3.5	Naprave, na katerih izvajamo meritve .....	17
3.4	Kartonski stroj kot zaporedno odvisen proces .....	18
3.5	Možnosti uporabe na kartonskem stroju .....	18
3.6	Stroškovna ocena izpada druge mokre stiskalnice .....	19
3.7	Letno poročilo o zastojih.....	21
4	PRAKTIČNI PRIMER UPORABE MERILNIH METOD ZA NADZOR TRENUTNEGA STANJA NA KARTONSKEM STROJU .....	23
4.1	Merska mesta in oznake .....	23
4.2	Rezultati meritev .....	25
4.2.1	Mersko mesto 1 – področje stiskalnic.....	25
4.2.2	Merilno mesto 2 – področje prve predušilne skupine .....	28
4.2.3	Mersko mesto 3 – druga predušilna skupina .....	31

4.2.4	Merilno mesto 4 – vodilni valji nad 1. predsušilno skupino.....	34
4.3	Ugotovitve in komentar k rezultatom .....	37
4.3.1	Mersko mesto 1 .....	37
4.3.2	Mersko mesto 2 .....	38
4.3.3	Mersko mesto 3 .....	38
4.3.4	Mersko mesto 4 .....	39
4.3.5	Povzetek komentarjev.....	40
5	ZAKLJUČKI.....	41
	LITERATURA IN VIRI .....	42

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Shema izdelave kartonskega traku .....	3
Slika 2:	Razdelitev vzdrževanja po standardu SIST EN 13306.....	5
Slika 3:	Mesto odvzema vzorca maziva.....	11
Slika 4:	Prikaz okvare ležaja na elektromotorju .....	12
Slika 5:	Prikaz toplotnih izgub na ceveh .....	12
Slika 6:	Ležaj v reduktorju .....	13
Slika 7:	Prikaz pritrditve senzorjev na ohišje.....	14
Slika 8:	Notranja zgradba senzorja hitrosti .....	15
Slika 9:	Notranja zgradba pospeškometra z dvojnimi piezoelektričnimi elementi .....	16
Slika 10:	Pravilno in nepravilno nameščen senzor.....	17
Slika 11:	Primer zaporedne vezave .....	18
Slika 12:	Optimalno preventivno vzdrževanje .....	18
Slika 13:	Prikaz smeri merjenja .....	23
Slika 14:	Prikaz lokacije merilnih mest na kartonskem stroju .....	24
Slika 15:	Primeri merskih mest.....	24
Slika 16:	Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zagonom (pogonska stran).....	25
Slika 17:	Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (pogonska stran).....	26
Slika 18:	Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zagonom (delovna stran).....	27
Slika 19:	Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (delovna stran).....	27
Slika 20:	Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (pogonska stran).....	28
Slika 21:	Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (pogonska stran).....	29
Slika 22:	Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (delovna stran).....	30
Slika 23:	Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (delovna stran).....	30

Slika 24: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (pogonska stran).....	31
Slika 25: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (pogonska stran) .....	32
Slika 26: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (delovna stran).....	33
Slika 27: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (delovna stran) .....	33
Slika 28: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (pogonska stran).....	34
Slika 29: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (pogonska stran) .....	35
Slika 30: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (delovna stran).....	36
Slika 31: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (delovna stran) .....	36
Slika 32: Diagram pri delovanju stroja za območje hitrosti 75–520 m/min za merilno mesto 1 (delovna stran stroja) .....	37
Slika 33: Diagram pri delovanju stroja za območje hitrosti 75–520 m/min za merilno mesto 2 (pogonska stran stroja) .....	38
Slika 34: Diagram pri delovanju stroja za območje hitrosti 75–520 m/min za merilno mesto 3 (pogonska stran stroja) .....	39
Slika 35: Diagram pri delovanju stroja za območje hitrosti 75–520 m/min za merilno mesto 4 (pogonska stran stroja) .....	40

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Strošek nepredvidenega vzdrževalnega zastoja .....	19
Tabela 2: Tabela nepredvidenih vzdrževalnih zastojev za leto 2015 .....	22



# 1 UVOD

V uvodu bomo predstavili probleme, ki nastajajo v proizvodnem sistemu papirne industrije.

## 1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Tehnološki postopki v proizvodnem sistemu postajajo čedalje bolj zapleteni. Sistemu stalno dodajamo izboljšave za doseganje večje zmogljivosti in kakovosti, s tem se povečajo zahteve za vzdrževanje in upravljanje sistema. Proizvodna oprema mora izpolnjevati okoljevarstvene zahteve, omogočati varno uporabo in biti donosna ob minimalnih stroških vzdrževanja. Naraščajoči stroški vzdrževanja predstavljajo pomemben delež v poslovanju podjetja. Neprimerno vzdrževanje opreme neposredno vpliva na proces nastajanja dodane vrednosti končnega izdelka. Če podjetje ne želi izgubiti boja s konkurenco, mora veliko pozornosti nameniti pravilni izbiri in izvajanju ustrezne strategije vzdrževanja.

## 1.2 CILJI NALOGE

Namen diplomske naloge je predstaviti sodobne metode vzdrževanja in proučiti možnosti uporabe vzdrževanja glede na stanje v papirni industriji, kjer se je do zdaj izvajalo kurativno in časovno načrtovano preventivno vzdrževanje. V nalogi je podan primer vzdrževanja v podjetju Količevo Karton d.o.o. Izvedena je stroškovna analiza za leto 2015 s primeri okvar, ki bi jih lahko preprečili z drugačnim pristopom do vzdrževanja. Prikazali smo primer meritve vibracij, s katerim bi lahko pravočasno odkrivali okvare na strojnih elementih.

## 1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Papirništvo spada v procesno industrijo z izrazito zaporedno odvisnostjo posameznih elementov proizvodnega procesa. Na kartonskem stroju nimamo redundantnih komponent. Posledično vsaka njihova okvara povzroči dlje časa trajajoči izpad proizvodnje. Pri analizi uspešnosti do zdaj uporabljenih metod vzdrževanja smo omejeni z vzdrževalnimi zapisi, ki so na voljo v podjetju Količevo Karton d.o.o.

## 1.4 METODE DELA

S študijem strokovne literature in interne literature podjetja bomo pri izdelavi diplomske naloge uporabili opisno metodo.

Za primerjavo predhodnega stanja in predlagane metode vzdrževanja glede na stanje bomo uporabili primerjalno metodo.

## 1.5 PREDSTAVITEV PODJETJA

Podjetje Količevo Karton je bilo ustanovljeno leta 1920 in je največja slovenska papirnica. Na začetku je tekla proizvodnja papirja, nato pa se je preusmerilo v proizvodnjo premaznih kartonov. Leta 1960 je bil zgrajen kartonski stroj 2 in pozneje, leta 1979, še kartonski stroj 3. Podjetje je od leta 1998 v 100-odstotni lasti avstrijske skupine Mayr Melnhof, kjer je približno 10.000 zaposlenih. Poslujejo z več kot 2 milijardama € letnega prometa, ki se deli na 2 diviziji – MM Karton, ki je največji proizvajalec premaznih kartonov v svetovnem merilu, ter MM Packaging, ki je vodilni evropski proizvajalec embalaže iz premaznega kartona. Divizija MM Karton, v katero spada Količevo Karton, ima trenutno 2500 zaposlenih, 7 tovarn kartona v 4 državah ter 1 tovarno lesovine. Letno vseh 7 tovarn proizvede več kot 1,7 mio t kartona. Količevo Karton d.o.o. na obeh strojih letno proizvede 240.000 t. Strateška lokacija podjetja je zelo dobra, nudi kratke transportne poti in fleksibilen servis. Podjetje se ponaša z večkrat nadgrajenim in moderniziranim kartonskim strojem KS3 in moderno razrezovalno ter pakirno linijo. Oskrbuje se z lastno energijo, in sicer z dvema hidroelektrarnama (244 + 90 kW), elektrarno na bio plin (525 kW) in dvema parnima turbinama, ki skupno proizvedeta 68 MW in 80 t/h pare. Proizvodnja lesovine poteka s pomočjo avtomatiziranega žagarskega obrata, kjer debela smreke in jelke razrežemo na metrske kose, jih s pomočjo transportnih trakov pošljemo v luščilnico z dvema luščilnima bobnoma, kjer odstranimo lubje, nato pa s tremi brusilnimi kamni z močjo 2,5–2,8 MW debela obrusimo, da dobimo fina lesna vlakna. V pripravi snovi izbiramo med več kot 10 različnimi kategorijami papirja za različne plasti, odvisno od programa. Za pripravo ustrezne papirne suspenzije je treba papir razpustiti v razpuščevalnikih ter ga očistiti trdih delcev, plastike ipd., nato se papirna vlakna še termično in mehansko obdela in preko črpalk pošlje na natoke kartonskega stroja.

Kartonski trak tvorijo trije sloji plasti iz različnih kakovosti vlaknin, ki se med seboj združijo in gredo na naslednjo stopnjo, to so stiskalnice s funkcijo odstraniti čim večji delež vode iz kartonskega traku, preden gre v stopnjo sušenja. V sušilni skupini se karton suši na številnih sušilnih valjih, segretil na 130 stopinj, kjer za 1 kg kartona izpari 1 kg vode. Po sušenju se karton kalandrira na primerno debelino, preden gre v premazni del. Tu se mu doda en premaz na spodnjo in dva premaza na zgornjo stran, s čimer dosežemo odlično potiskljivost, belino, sijaj in gladkost. Kartonski trak se po končanem premazovanju navija na tambur. S tem je postopek proizvodnje kartona na stroju končan, nato sledi še previjanje in dodelava, kjer se kartonski trak razreže na manjše formate in odpelje v skladišče. Slika 1 ponazarja shematski prikaz procesa izdelave kartona na kartonskem stroju (Količevo Karton d.o.o., 2013).



Slika 1: Shema izdelave kartonskega traku  
 (Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2013)

## 2 POSTOPKI VZDRŽEVANJA

V tem delu naloge se tematika navezuje na predstavitev sodobnih metod vzdrževanja in terminologije vzdrževanja.

### 2.1 POMEN VZDRŽEVANJA

Vzdrževanje lahko opišemo kot popravilo ali menjavo iztrošenega ali poškodovanega dela. Definirano je tudi kot izvajanje rutinskih posegov za ohranitev nemotenega delovanja stroja ali preprečitev nadaljnjih okvar.

Vzdrževanje vključuje:

- kontrolo delovnega procesa, spremljanje, kako se stroj uporablja, majhne spremembe komponent za izboljšanje njihovih funkcij,
- zagotavljanje nemotenega delovanja: mazanje, čiščenje, spremljanje stanja rezervnih delov, opreme, brezhibnega orodja,
- izboljšave procesa,
- spremembe v prvotno funkcijo,
- vzdrževanje objekta, varovanje, zaščita proti požarom (Tatis, 2012).

### 2.2 KAJ JE OKVARA?

Okvara nastopi, ko stroj ali strojni del zaradi motnje ni zmožen opravljati svoje predvidene funkcije. V smeri preprečitve okvar izvajamo vzdrževanje. V večini primerov okvare lahko preprečimo z dobrim vzdrževalnim načrtom, pri katerem še vedno ostaja možnost nepredvidenih okvar.

Najpogostejši vzroki za okvaro so:

- nepravilna uporaba stroja,
- obraba,
- prevelika pozornost na popravila namesto osredotočenosti v analizo, zakaj prihaja do okvar,
- neustrezno popravilo,
- neprimerni obratovalni pogoji,
- neprimerna zasnova ali dizajn,
- slaba komunikacija med operaterjem na stroju, ki zazna napako, in vzdrževanjem

Okvare lahko preprečimo:

- z rednimi meritvami stanja,
- z uvedbo rezervnih sistemov, s katerim nadomestimo okvarjenega,
- s preventivnim vzdrževanjem,

- z vnaprej načrtovanim vzdrževanjem (Tatis, 2012).

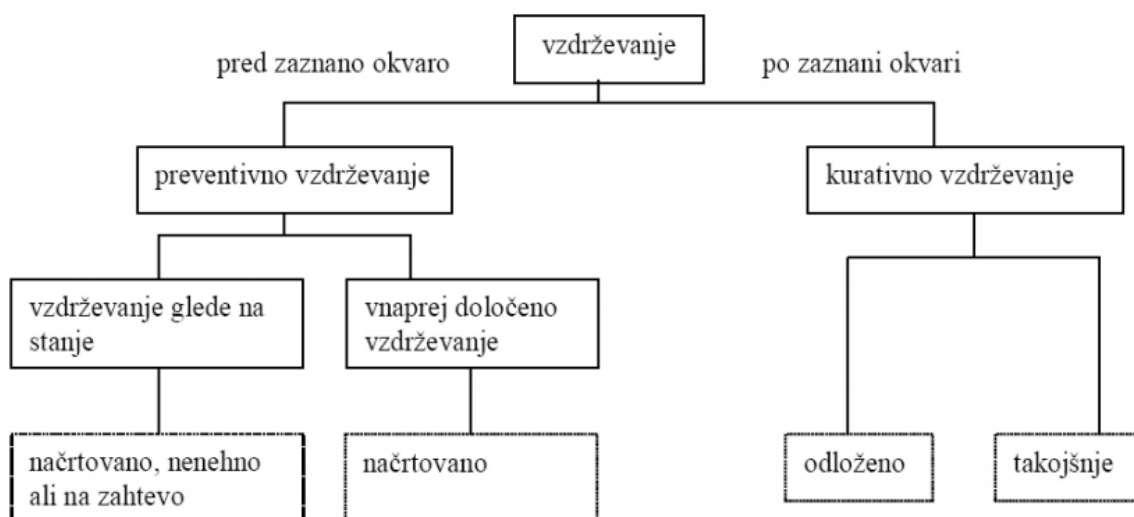
## 2.3 RAZDELITEV VZDRŽEVANJA (SIST EN 13306)

Namen standarda SIST EN 13306 je opredeliti izvorne izraze za vse oblike vzdrževanja in posrednih, pomožnih ter upravljaljskih vzdrževalnih dejavnosti. Njegov osnovni namen ni opredeliti vzdrževanje v smislu določene razvrstitve, temveč enolično predpisati pomene izrazov, ki se v vzdrževanju uporabljajo. Seveda tovrstni predpis posredno vpliva tudi na celotno dojetje razdelitve vzdrževanja.

Po tem standardu je treba vzdrževalno strategijo opredeliti v skladu s tremi glavnimi merili:

- sredstvu zagotoviti zahtevane funkcije z optimiziranimi stroški,
- upoštevati varnostne zahteve, povezane s sredstvom, tako za vzdrževalce kot za ostale uporabnike, in zagotoviti minimalni vpliv na okolje,
- zagotoviti obstoj sredstva in njegovo kakovost kot tudi kakovost storitve le z nujnimi stroški.

Vzdrževanje zagotavlja in bistveno prispeva k ohranjanju zanesljivosti izdelka. Natančne opredelitve izrazov prinašajo uporabniku skupnih standardov vzdrževanja boljše razumevanje vzdrževalnih zahtev, ki so nujne pri oblikovanju sporazumov med vzdrževalci. Tako je razdelitev vzdrževanja, kot prikazuje slika 2, po standardu SIST EN 13306 precej poenostavljena, kar bistveno pripomore k lažjemu sporazumevanju (Androjna in Rosi, 2008).



Slika 2: Razdelitev vzdrževanja po standardu SIST EN 13306  
(Vir: Androjna in Rosi, 2008)

Standard je razdeljen na deset področij, ki naj bi jih v vzdrževanju uporabljali, z njimi pa tudi pojasnjemo nekatere metode.

Ta področja so:

- temeljni pojmi (vzdrževanje, cilji vzdrževanja, sredstvo, funkcija ipd.),
- sredstvo (osnovno sredstvo ali nadomestni deli ipd.),
- lastnosti sredstev (razpoložljivost, zanesljivost, vzdrževalnost ipd.),
- okvare in stanja (okvara, stanje pripravljenosti ipd.),
- vrste vzdrževanj in strategij (načrtovano, preventivno, kurativno ipd.),
- vzdrževalne dejavnosti (preverjanje, nadziranje, prenova ipd.),
- časovni izrazi (čas delovanja ipd.),
- podpora vzdrževanju in orodja (seznam delovnih sredstev, dokumentacija, analiza okvare ipd.),
- ekonomski in tehnični pokazatelj (življenjska doba, povprečni čas popravila, učinkovitost ipd.).

Takšna struktura standarda ponudi uporabniku vsa potrebna orodja za ugotavljanje učinkovitosti vzdrževanja in proizvodnje. S tem lahko proizvodni proces uporablja vzdrževanje kot svojo osnovno funkcijo (Androjna in Rosi, 2008).

### **2.3.1 Kurativno vzdrževanje**

Kurativno vzdrževanje je že zelo dolgo v uporabi. V ta način spada vzdrževanje, h kateremu pristopimo po nastopu okvare, nato okvarjeni del ponovno usposobimo za nadaljevanje njegove funkcije v sistemu. Kurativnega vzdrževanja ne moremo časovno načrtovati, ker odpoved nastopi nenadoma in nenačrtovano. Tak način vzdrževanja nas lahko pripelje do dolgotrajnih zastojev, kar pomeni izpad proizvodnje in porušitev tehnološke in organizacijske priprave. Posledice kurativnega vzdrževanja so dolgi vzdrževalni zastoji zaradi iskanja napake, čakanje na nadomestne dele, nastanek še večjih okvar v okolici in ogrožanje varnosti delavcev. Takšno vzdrževanje je zelo pogosto v uporabi zaradi popolnega izkoristka okvarjenega sestavnega dela. V zdajšnjem času pa se uporablja samo še pri vzdrževanju opreme, kjer se lahko okvarjeni del relativno hitro zamenja in nima nobenega vpliva na preostali potek proizvodnje (Androjna in Rosi, 2008).

### **2.3.2 Odloženo vzdrževanje**

Glede na kritičnost okvare in pogoje dela lahko vzdrževanje tudi odložimo za določen čas, takšnemu načinu pravimo odloženo vzdrževanje. Okvaro lahko odpravimo tudi za krajši čas, posebno če imamo v bližnji prihodnosti planiran zastoj. Ta čas pa okvaro poskušamo ohraniti na isti stopnji, z dodatnim mazanjem, zmanjšano vrtilno frekvenco, do njene odprave (Smodiš, 2010).

### 2.3.3 Takojšne vzdrževanje

H kurativnemu vzdrževanju spada tudi takojšne vzdrževanje, ki se izvaja takoj ob nastanku okvare. Ker trenutka nastanka okvare ne moremo predvideti, imamo omejene zmožnosti organizacije in tehnološke priprave (Smodiš, 2010).

### 2.3.4 Preventivno vzdrževanje

Preventivno vzdrževanje se je v petdesetih letih razširilo in postalo podlaga za modernejšo in tehnološko bolj razvite dejavnosti. S preventivnim načinom se opravljajo vnaprej določena vzdrževalna dela, še preden pride do okvare in zastoja proizvodnje. Tako preventivno vzdrževanje naprav izhaja iz spoznanja, da je bolje preprečiti kot popravljati. Pri tem s postopki preventivnega vzdrževanja zmanjšujemo okvaro različnih delov orodij, strojev in naprav ter preprečujemo nenačrtovane okvare posameznih delov, preden te nastopijo.

Sistem preventivnega vzdrževanja je razmeroma drag, ampak zelo uspešen način zagotavljanja obratovalne sposobnosti delovnih sredstev. Stroški vzdrževanja so zelo visoki, zato vplivajo na končno ceno izdelkov. Posledično moramo pretehtati ekonomsko upravičenost takšnega načina vzdrževanja. Na splošno bi lahko rekli, da je preventivno vzdrževanje smiselno, če so koristni učinki takega vzdrževanja večji od stroškov. Metoda preventivnega vzdrževanja pomeni, da se sestavni del ali sistem popravlja, saj se po aktivnostih preventivnega vzdrževanja tehnične karakteristike sestavnih delov znajdejo v mejah, ki se zahtevajo od novega tehničnega sistema. S preventivnim vzdrževanjem zamenjujemo še ne dokončno okvarjeni del sistema z identičnim dobrim delom (novim ali prej popravljenim).

V podjetju lahko z uporabo zapisov na osnovi statističnih ugotovitev določimo povprečno življenjsko dobo posameznega dela in planiramo njegovo zamenjavo. Precej podobno lahko ravnamo tudi s celotnimi napravami, ko se izkaže, da je zamenjava vseh obrabljenih komponent ekonomsko manj rentabilna kot nakup nove naprave. S to vrsto vzdrževanja torej preprečimo, da bi posamezni deli odpovedali med obratovanjem in s tem povzročili občutno škodo (Drstvenšek, 2006).

### 2.3.5 Vzdrževanje glede na stanje

Vzdrževanje glede na stanje se od preventivnega vzdrževanja razlikuje v tem, da izvajamo preventivne posege po vnaprej določenih časovnih intervalih, ki jih predpisuje proizvajalec stroja, ali po dozdejšnjih izkušnjah. Pri vzdrževanju glede na stanje pa se s pomočjo meritev diagnostike in analiz dobljenih rezultatov odločamo samo za tiste vzdrževalne posege, ki so takrat potrebni. S to metodo dobimo večji izkoristek sestavnega dela, ne da bi s tem zmanjšali zanesljivost in varnost delovanja (Drstvenšek, 2006).

### 2.3.6 Vnaprej določeno vzdrževanje

Vnaprej določeno vzdrževanje je del preventive. Cilj takšnega vzdrževanja je zmanjšanje verjetnosti, da pride do okvare stroja ali sestavnega dela med obratovanjem, zato se ga izvaja v naprej določenem časovnem intervalu. Posledično nam ta oblika vzdrževanja ne nudi visokega izkoristka sestavnega dela (Drstvenšek, 2006).

## 3 VZDRŽEVANJE GLEDE NA STANJE IN MOŽNOSTI UPORABE V PODJETJU KOLIČEVO KARTON D.O.O.

### 3.1 POMEN VZDRŽEVANJA GLEDE NA TRENUTNO STANJE

Vzdrževanje glede na stanje je del preventivnega vzdrževanja, pri katerem prihaja do odločitve o aktivnostih vzdrževanja na osnovi periodične ali neprekinjene kontrole tehničnega stanja sistema med obratovanjem. Razvilo se je v 70. letih, zahvaljujoč razvoju elektronike in prenosnih merilnih instrumentov, ki omogočajo merjenje niza parametrov, pomembnih za ocenjevanje stanja strojnih delov. Glede na rezultate kontrole se odločamo o roku in obsegu planskih aktivnosti in lahko celo napovedujemo obnašanje naprave v prihodnosti. Pri preventivnih cikličnih vzdrževanjih vnaprej vemo, kaj bomo delali, tu pa vemo za cikle merjenj, obseg vzdrževalnih del pa se izvede glede na dobljene rezultate merjenj.

Vzdrževanje glede na trenutno stanje je diagnostična metoda vzdrževanja in predpostavlja, da se stanje poškodb, sestavnega dela s pomočjo tehnične diagnostike da dovolj natančno določiti. Specifična veličina tehničnega stanja, ki se običajno vzame kot karakteristika spremembe stanja, je fizična veličina, ki jo lahko merimo. Seveda je to najvplivnejša veličina v procesu obdelave. Pri tem je treba pri vsaki kontroli tehničnega stanja določiti, ali je sestavni del primeren za ponovno vgradnjo, za popravilo, ali ga moramo zavreči. Tak pristop zmanjšuje skupne stroške vzdrževanja in krajša zastoje. Poznati moramo dopustne meje delovanja.

Cilj pregleda po stanju je čim dlje časa uporabljati določen sestavni del delovnega sredstva, tako da pri tem ne zmanjšamo varnosti in zanesljivosti delovanja. Problemi se pojavljajo pri natančnosti podatkov, ta pa je odvisna od metod instrumentov. Pomemben je prehod parametra v kritično stanje ali nastop okvare (nevidne ali težko dostopne). Stalno ali občasno nadzorujemo, kakšna je stopnja obrabe, iztrošenosti ali poškodb.

Na osnovi ugotovitev določimo termine in obseg zamenjav, popravil ali obnovitvenih del. Vzdrževanje glede na stanje je proces, ki ga uporabljamo le takrat, ko lahko stanje



obrabe, poškodbe ali iztrošenosti sestavnih delov dovolj točno določimo z diagnostično tehniko (Jemec, 2004).

To vzdrževanje temelji na štirih predpostavkah:

- ugotoviti moramo trenutno stanje,
- spoznati je treba odvisnosti med parametri in stanjem sestavnega dela,
- poznati moramo mejne vrednosti stanja,
- poznati moramo naravne obrabe.

Rezultati, ki jih dobimo z nadzorom parametrov:

- evidentiranje stanja parametra,
- ocenitev stanja obrabe in poškodovanosti sestavnega dela,
- sledi odločitev, ali bomo nadzorovani del pustili v obratovanju ali izvedli takojšno menjavo oz. popravilo ali naprej spremljali parametre in z menjavo dela počakali do planiranega zastoja.

V zdajšnjem času je treba za čim uspešnejšo uporabo vzdrževanja glede na stanje uporabljati veliko računalniške opreme za obdelavo podatkov in stalno evidenco.

Prednosti vzdrževanja glede na stanje so:

- višji nivo upravljanja s tehnološkim sistemom,
- večja zanesljivost sestavnih delov sistema,
- lažje planiranje del v vzdrževanju,
- manjši celotni stroški vzdrževanja,
- lažja organizacija proizvodnje in vzdrževanja,
- manjša poraba energentov (Jemec, 2004).

## **3.2 METODE ZA NADZOR STANJA**

Za nadzor stanje uporabljamo naslednje metode:

- meritve in analizo vibracij,
- analizo olja in delcev v olju,
- termografijo,
- endoskopijo.

### **3.2.1 Meritve in analiza vibracij**

Gre za metodo, ki je za nadzor trenutnega stanja strojnih elementov in opreme zelo pogosto uporabljena.

Ta vrsta metode omogoča predvideti naslednje vrste napak strojnih delov:

- strojni del ni uravnovešen,
- okvara ležaja,

- obraba zobnikov,
- ni v soosnosti.

Tako lahko napake, obrabo in poškodbe opazimo dovolj zgodaj (odvisno od pogostosti meritev), ko so še v fazi nastanka in jih drugače ni mogoče prepoznati (Salgueiro et al., 2013).

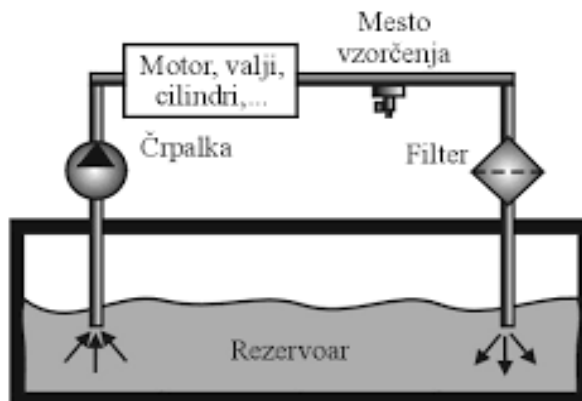
### 3.2.2 Analiza olja in delcev v olju

Mazalno sredstvo je ključni element vsakega mehanskega sistema ali strojnega dela, ki mora biti za zanesljivo in trajno delovanje ustrezno dimenzionirano, med uporabo pa je treba njegovo stanje sproti spremljati. Ne zadostno mazanje površin, ki so pod večkratno ali stalno obremenitvijo, lahko povzročimo s preobremenitvijo sistema, izgubo mazalnih lastnosti maziva ali pomanjkanjem maziva. Spremembe lastnosti maziva in prevelika prisotnost obrabnih delcev v mazivu omogočajo neposredni kontakt med vršički nosilnih površin v tribološkem kontaktu. Posledično neposredni kontakti na vršičkih zvišajo tomo toploto, pospešijo obrabo in poškodujejo tribološki kontakt.

Analiza maziv ima več pomembnih prednosti:

- pravočasno ugotovimo morebitne okvare;
- preprečimo nepričakovane okvare opreme in višje stroške popravil;
- odkrije težave v delovanju opreme, ki jih drugače ne zaznamo (npr. mešanje goriva z oljem);
- preverimo mazalne sposobnosti maziva;
- določimo optimalni servisni interval;
- z uporabo kakovostnejšega maziva praviloma podaljšamo intervale menjave maziva. Z analizo olja določimo novi, daljši servisni interval.

Mazalna sredstva vzdržujemo kurativno po potrebi, preventivno ali glede na stanje. Pri kurativnem vzdrževanju lahko mazivo zamenjamo prezgodaj ali prepozno, ker so spremembe lastnosti maziva časovno odvisne od vrste maziva, načina mazanja ter okoljskih in delovnih pogojev, pri katerih izbrani mehanski sistem obratuje. Tehnologija vzdrževanja po stanju zahteva sprotno spremljanje stanja olja. Izvaja se lahko s periodično analizo maziva v laboratoriju ali med obratovanjem mehanskega sistema. Za periodično analizo maziva je treba ročno odvzeti vzorce maziva na predpisani lokaciji in v vnaprej dogovorjenih intervalih med mirovanjem mehanskega sistema. Postopek za odvzem maziva mora biti natančno predpisan. Odvzeti vzorec maziva mora zagotavljati reprezentativnost stanja celotne količine maziva v sistemu in obratovalnih pogojev. Problem je predvsem pri izbiri delovne temperature, časa in načina odvzema vzorca maziva, ker tudi sistemi ne obratujejo vedno pod enakimi pogoji in obremenitvami. Kot prikazuje slika 3, je lokacija odvzema vzorca običajno po mehanskem sistemu in pred filtrom, preden mazalno sredstvo pride v rezervoar (Salgueiro et al., 2013).



Slika 3: Mesto odvzema vzorca maziva  
(Vir: Obid, 2002)

### 3.2.3 Termografija

Preden mehanska komponenta odpove, se pregreva. Posledica povečanja mehanskih vibracij ali trenja je namreč povišana temperatura. Zgodnje odkritje takih neobičajnih pregrevanj lahko prepreči nenadne zastoje in je zato ključnega pomena. Termografija je pri tem zelo učinkovita, če meritve izvajamo z dovolj pogosto frekvenco (Ulaga, 2016).

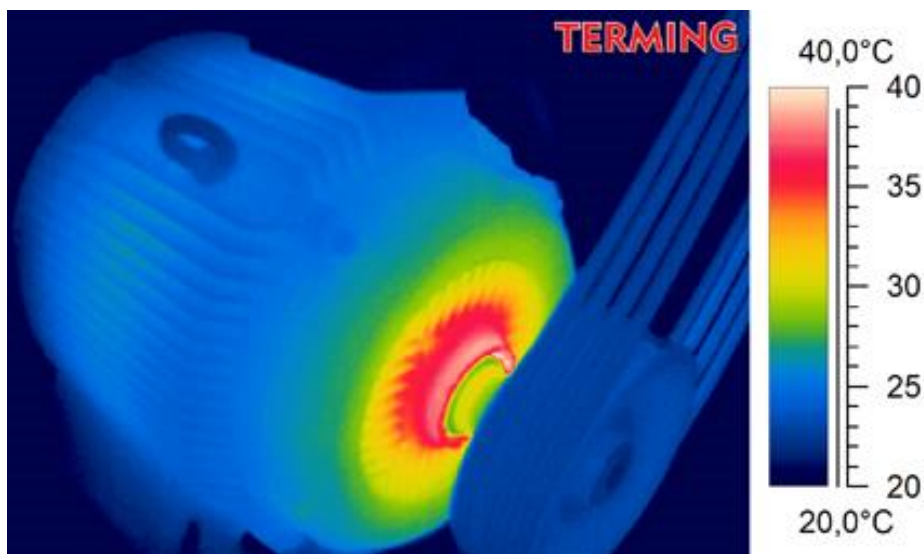
Prednosti uporabe:

- nadziramo lahko fiksne ali premikajoče se dele naprav,
- oprema je lahka, prenosna in enostavna za uporabo,
- za meritve ne potrebujemo neposrednega stika,
- meritve lahko izvajamo iz večje razdalje in tako nismo izpostavljeni temperaturam.

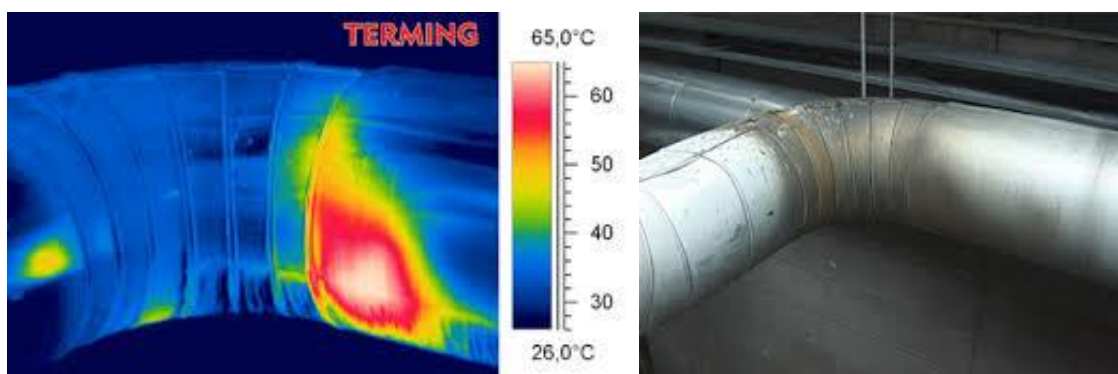
Termografska kamera v različnih barvnih spektrih kaže temperaturne razlike, ki so posledica:

- utrujenosti materiala,
- obrabe,
- slabih električnih spojev,
- puščanja,
- sprememb v toplotni prevodnosti.

Kot prikazujeta sliki 4 in 5, je termografska kamera uporabna za nadzor stanja na ohišjih ležajev, elektromotorjev, električne napeljave, toplotne izolacije, hidravlike ipd. (Ulaga, 2016).



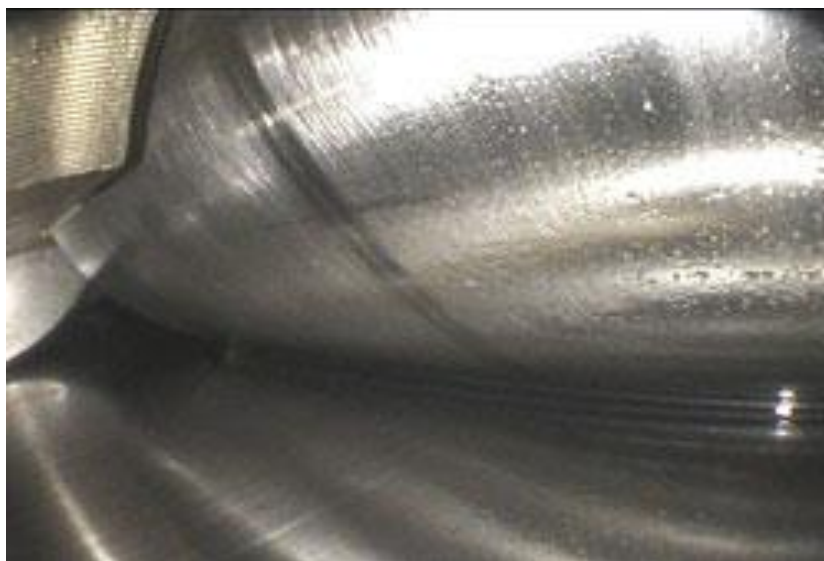
Slika 4: Prikaz okvare ležaja na elektromotorju  
(Vir: Terming termografija, 2015)



Slika 5: Prikaz toplotnih izgub na ceveh  
(Vir: Terming termografija, 2015)

### 3.2.4 Endoskopija

Metoda z endoskopijo omogoča vizualno kontrolo notranjosti naprav (ohišja strojev, reduktorji, veliki ležaji, toplotni izmenjevalniki, prezračevalni sistemi ipd.). Pregled je mogoče izvesti brez razdiranja. Na sliki 6 je prikazana endoskopska kontrola ležaja v ohišju reduktorja (Tinex Diagnostika, 2017).



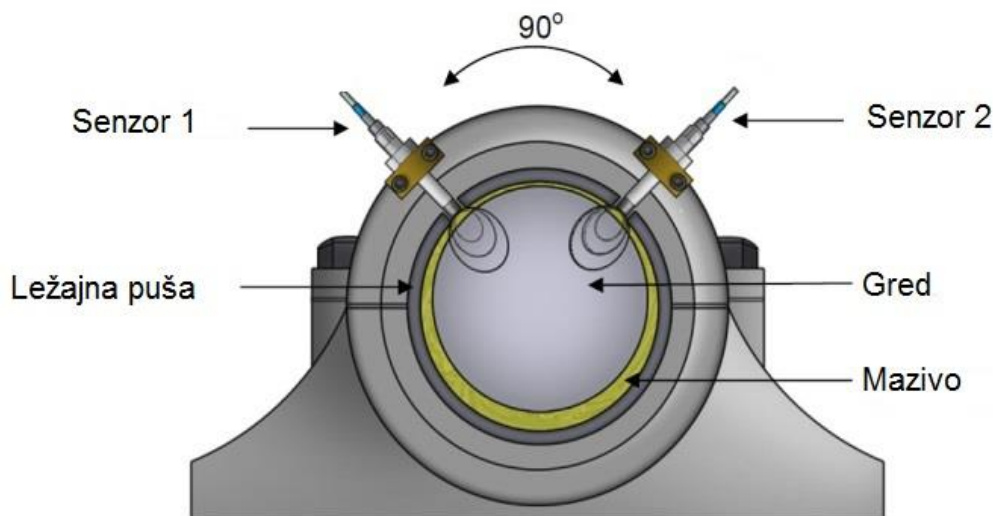
*Slika 6: Ležaj v reduktorju*  
(Vir: Olympus, 2017)

### **3.3 MERITVE VIBRACIJ**

Iz meritev vibracij in njihove analize lahko sklepamo, kaj se dogaja znotraj nekega strojnega dela. Da pridemo do tega, najprej potrebujemo senzor, da pretvorimo vibracijo v električni signal, ki ga nadalje obdelamo. Za dober zajem podatkov je treba uporabiti pravi senzor, ga namestiti na identična mesta in zagotoviti identične pogoje obratovanja stroja kot pri prejšnjih meritvah. Glede na hitrost stroja in tip ležaja se odločimo za različne vrste senzorjev. Za meritve uporabljamo senzorje hitrosti, senzorje pomika in senzorje pospeškov (Tatis, 2012).

#### **3.3.1 Senzorji premika**

Senzorji premika, kot kaže primer na sliki 7, so navadno fiksno montirani pod medsebojnim kotom  $90^\circ$  na stroju in brezkontaktno merijo relativen pomik med konico senzorja in merjencem.



*Slika 7: Prikaz pritrditve senzorjev na ohišje  
(Vir: Machinery Monitoring Solutions, 2017))*

Prednosti senzorjev premika:

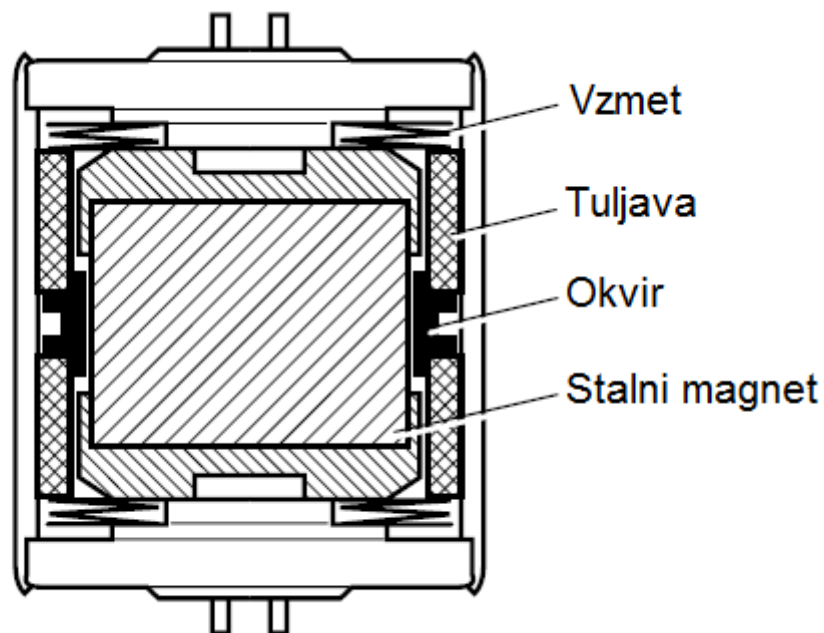
- merimo lahko zelo nizke frekvence,
- visoka zanesljivost,
- meri relativne pomike.

Slabosti senzorjev premika:

- visoka cena,
- ni mogoče merjenje visokih frekvenc,
- zahtevna kalibracija (Tatis, 2012).

### 3.3.2 Senzorji hitrosti

Senzorji hitrosti, kakršen je prikazan na sliki 8, merijo absolutno gibanje sistema. V senzorju je stalni magnet fiksiran preko ohišja senzorja na merjenec, okoli magnetpa je vzmetena tuljava, ki oscilira mimo magnetpa. Magnet oddaja močno magnetno polje in vibrira skupaj z merjencem, napetost, ki se inducira v tuljavi, pa je proporcionalna glede na dejanske vibracije merjenca. Druga izvedba senzorja je, da tuljava ostane fiksna in mimo oscilira magnet. Uporablja se samo za merjenje frekvenc med 10 in 2000 Hz. Te vrste senzorjev so redkeje v uporabi, ker so jih sčasoma zamenjali pospeškometri.



Slika 8: Notranja zgradba senzorja hitrosti  
(Vir: Pruftechnik Vibration Handbook)

Prednosti senzorjev hitrosti:

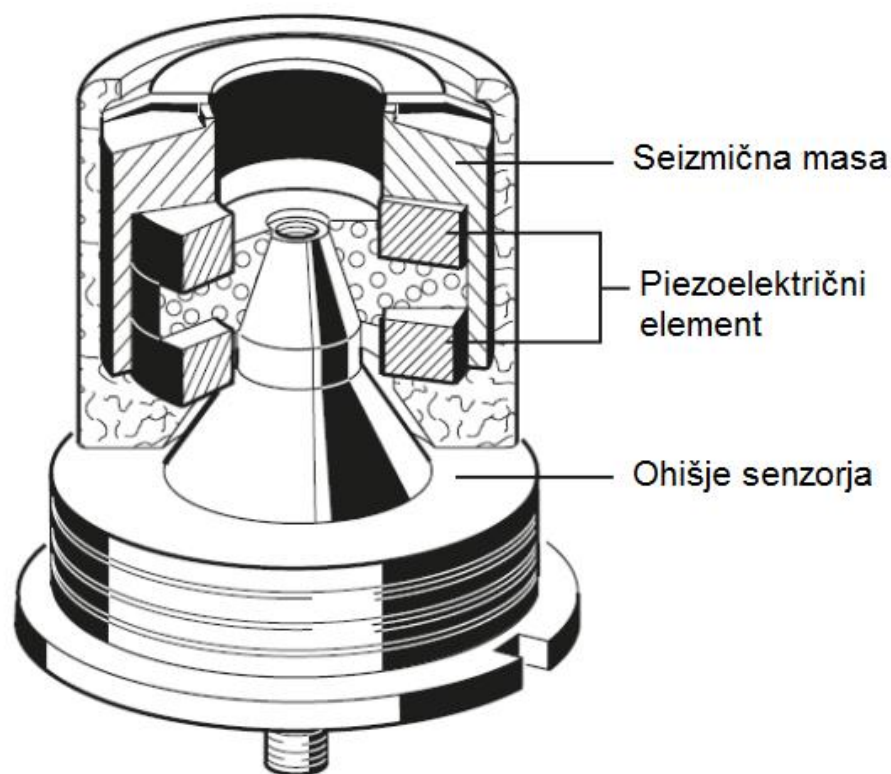
- imajo močan izhodni signal,
- z njim lahko merimo v okolju z visokimi temperaturami.

Slabosti senzorjev hitrosti:

- velikost senzorja,
- zaradi veliko premikajočih se delov in vzmeti, ki sčasoma popustijo, imajo kratko življenjsko dobo (Tatis, 2012).

### 3.3.3 Senzorji pospeška ali pospeškometri

Delujejo na osnovi piezoelektričnega kristala, ki se pod mehanskim pritiskom deformira in odda električni signal, soracionalen glede na mehanske pritiske, ki delujejo nanj. Pri meritvah nizkih frekvenc (10 Hz) je signal zelo šibek, zato je treba uporabiti ojačevalnik signalov. Pri meritvah visokih frekvenc pa ne smemo preseči 1/3 lastne frekvence senzorja, kar pomeni uporabo do 10 kHz. Senzorji pospeška, kakršen je prikazan na sliki 9, so najpogosteje uporabljeni v vzdrževanju, ker nam zagotavljajo najtočnejše podatke v širokem spektru frekvenc. Senzorji ne vsebujejo nobenih premikajočih ali vrtečih se delov, njihova zasnova je robustna, zato so zelo odporni na obrabo in poškodbe (Pruftechnik AG, 2015).



Slika 9: Notranja zgradba pospeškometra z dvojnimi piezoelektričnimi elementi  
(Vir: Pruftechnik Vibration Handbook)

Prednosti pospeškometrov:

- uporabljajo se v širokem frekvenčnem razponu,
- pogosta kalibracija ni potrebna.
- odpornost na zunanje vplive.

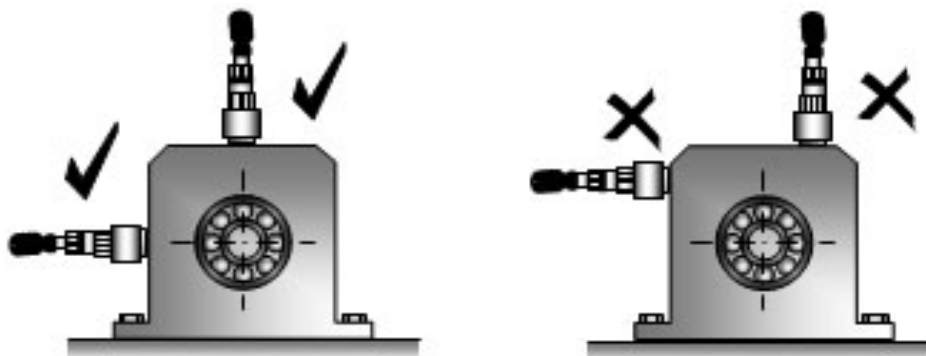
Slabost pospeškometrov je, da pri meritvah visokih frekvenc lahko zaradi hrupa pride do motenj signala (Pruftechnik AG, 2015).

### 3.3.4 Izbira merilnih mest

Večina rotacijskih strojnih elementov je skonstruiranih tako, da ležaji prenašajo velike sile na relativno majhnih površinah, zato se tam najprej pojavijo simptomi okvar. Ker pa skušamo simptome kar najbolj izmeriti, moramo merilno opremo namestiti na čim primernejše mesto:

- Pri meritvah vibracij mora biti senzor nameščen čim bližje centru ležaja, kot prikazuje slika 10, da se izognemo popačenim signalom.





Slika 10: Pravilno in nepravilno nameščen senzor  
(Vir: Reliabilityweb, 2017)

- Pri meritvah je treba poskrbeti, da ima senzor enako vibracijsko frekvenco kot merjenec, zato se senzor čim bolj fiksno namesti. Slabo nameščen senzor poda popačen signal zaradi svojega neodvisnega gibanja (Reliabilityweb, 2017).

### 3.3.5 Naprave, na katerih izvajamo meritve

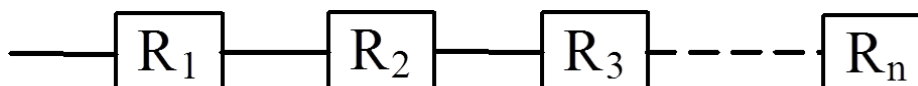
V fazi odločanja o tem, na katerih napravah v proizvodni liniji izvajati meritve, je treba razdeliti naprave glede na njihovo pomembnost.

Največjo pozornost je potrebno posvetiti naslednjim:

- naprave, ki zahtevajo drago, dlje časa trajajoče in zahtevno popravilo;
- naprave, na katerih pogosto prihaja do okvar;
- naprave, ki so se po dosedanjih izkušnjah izkazale za nezanesljive;
- naprave, ki ob morebitni okvari lahko ogrozijo varnost in zdravje delavcev;
- naprave, ki povzročajo motnjo v proizvodnji, lahko jih razdelimo v 3 podskupine po pomembnosti:
  1. največjo pozornost je treba nameniti napravam, brez katerih proizvodnja ne more obratovati,
  2. naslednja skupina so vse naprave, s katerimi lahko proizvodnja pogojno obratuje (npr. zmanjšana kvaliteta, zmanjšana hitrost ipd.),
  3. manjšo pozornost je treba nameniti vsem napravam, ki imajo redundanco in lahko ob morebitni okvari preklopimo na rezervno napravo (Reliabilityweb, 2017).

### 3.4 KARTONSKI STROJ KOT ZAPOREDNO ODVIŠEN PROCES

Zanesljivost stroja je odvisna od zanesljivosti posameznih elementov, zato je kartonski stroj tipičen primer zaporedne odvisnosti v procesu. Ko imamo primer skupine komponent, kot na sliki 11, morajo vse delovati. Pod temi pogoji omogočamo, da deluje celoten sistem in velja, da so v zaporedni zvezi.

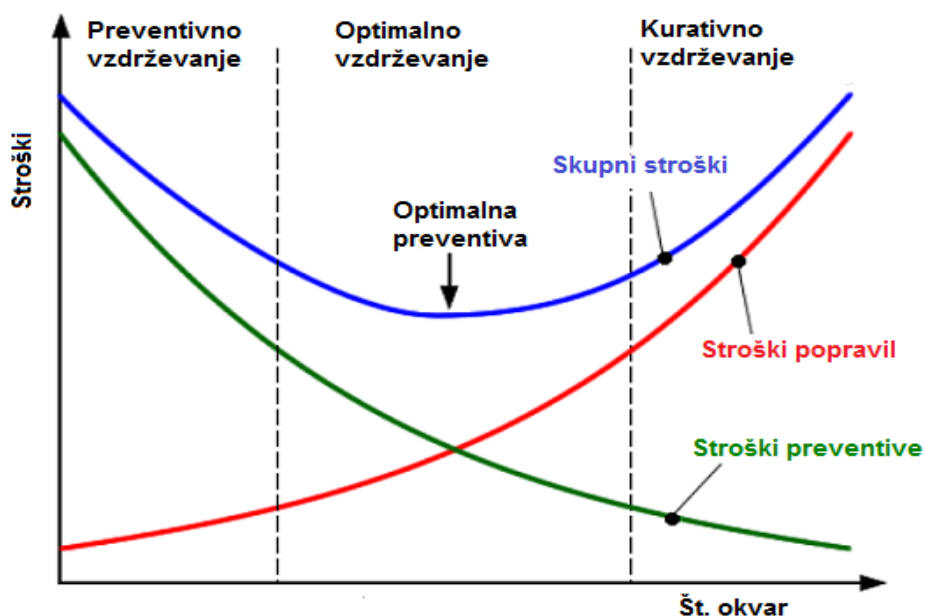


Slika 11: Primer zaporedne vezave  
(Lastni vir)

Zanesljivost lahko povečamo s podvojitvijo kritičnih strojnih elementov, ampak le, če je izvedba možna. Zanesljivost sistema se močno poveča, če dodatni oz. rezervni strojni element deluje tudi po drugačnih principih, tehnologijah (Priročnik za vzdrževalce, 2017).

### 3.5 MOŽNOSTI UPORABE NA KARTONSKEM STROJU

Če želimo na kartonskem stroju doseči optimalno vzdrževanje, kot prikazuje slika 12, bi bilo potrebno izbrati preventivno vzdrževanje in ga izvajati v takšnem obsegu, da bodo stroški obratovanja proizvodnje nizki in zanesljivost visoka.



Slika 12: Optimalno preventivno vzdrževanje  
(Vir: PSI Repair Services, 2017)

Kartonski stroji obratujejo zaradi izkoristka in povečanja naročil 24 ur na dan in vse dni v letu. V vmesnem obdobju se zaradi vzdrževalnih del planirajo vzdrževalni zastoji, ki

se izvajajo odvisno od vrste proizvodnje v 2–6-tedenski periodi. Zato je potrebno čim večje število vzdrževalnih posegov planirati na vzdrževalne zastoje. Konkretno v podjetju Količevo Karton d.o.o. so ti cikli vsakih 14 dni s kratkimi 5–6-urnimi zastoji, ko se opravljajo tehnološka in vzdrževalna dela.

Strošek ure planiranega zastoja je za približno 30 % manjši od nenačrtovanega, tudi učinkovitost pri planiranem zastoju je za 80 % večja kot pri nenačrtovanem. Poleg vseh stroškov, povezanih z nenačrtovanimi zastoji, prihaja tudi do posrednih stroškov, in sicer do zamud pri dobavi izdelkov, izmeta kartona, neizkoriščene delovne sile in strojev v nadaljevanju procesa.

Da bi se vsemu temu izognili, bi bilo treba za vsak ključni strojni element natančno predvideti, v kakšnem stanju trenutno obratuje, spremljati, kako hitro se stanje slabša, ali bo zdržal v funkcionalnem stanju do prvega planiranega zastoja, kjer se bo strojni element zamenjal.

### 3.6 STROŠKOVNA OCENA IZPADA DRUGE MOKRE STISKALNICE

Drugo mokro stiskalnico sestavljata dva valja širine 5 metrov. Preko pogonskega spodnjega valja je speljana klobučevina za čim boljše iztiskanje vode iz kartonskega traku. Zgornji valj je pritiski valj, ki pritiska na spodnjega.

Nedavno je prišlo do nepredvidene okvare ležaja na valju in ker je sistem zaporedno odvisen od skupine stiskalnic, smo bili prisiljeni proizvodnjo ustaviti in opraviti 6 ur trajajoč nepredviden vzdrževalni zastoj. Skupni stroški, ki so predstavljeni v spodnji tabeli št. 1, so znašali 36.750 €.

SREDSTVA	STROŠKI
Čas zastoja (6 h)	5800 € × 6
Cena ležaja	1200 €
Strošek menjave (vpoklic delavcev)	750 €
<b>Skupaj</b>	<b>36.750 €</b>

Tabela 1: Strošek nepredvidenega vzdrževalnega zastoja  
(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

Med stroški 1 ure zastoja so upoštevani vsi fiksni stroški in izguba dobička brez stroškov surovin, električne energije, pare itd.

Pri zdajšnjih metodah vzdrževanja obrabo ali poškodbo ležaja lahko predvidimo na podlagi sledečih simptomov:

- z meritvami temperature – temperatura ohišja se močno poveča, saj na temperaturo vpliva veliko dejavnikov (hitrost stroja, obremenitve ipd.);
- povečanje vibracij, kar lahko zaznamo s čutili, vendar moramo pred tem vedeti, kakšne so bile lastne vibracije na tem mestu, ko je bil ležaj še v brezhibnem stanju;
- ropot, ki spremlja okvaro. Zaradi velikega hrupa, ki ga oddaja kartonski stroj, ga je težko locirati;
- odstopanje trendov, ki prikazujejo obremenitve elektromotorjev in pogonov, saj je valj gnan preko elektromotorja in reduktorja.

Odločitve ob pojavu vseh teh vrst simptomov so težke in nenatančne, v večini primerov sledi takojšna ustavitev stroja in s tem celotne proizvodnje. Hkrati pa ob takšnih ustavitvah prihaja še do naslednjih problemov:

- nimamo pripravljenih vzdrževalnih ekip, zato se odzivni čas poveča,
- ni pripravljenega rezervnega dela, ki ga je treba še transportirati do mesta menjave,
- na mestu menjave nimamo pripravljenega orodja in ostalih pripomočkov,
- med menjavo je težko odpravljati ostale napake,
- zaradi urgentnih popravil in željo po čim prejšnjem zagona proizvodnje se zmanjša tudi varnost sodelujočih pri popravilih.

### 3.7 LETNO POROČILO O ZASTOJIH

V letu 2015 se je proizvodnja kartona zaradi nepredvidene okvare ležaja ustavila kar 9-krat. Podrobnosti in stroški posamezne ustavitve proizvodnje so predstavljeni v spodnji tabeli 2.

Datum	Okvara	Čas [min]	Stroški okvare [evro]	Vrsta okvare	Dodatna pojasnila
17.1.15	tehnična	165	8250 €	Okvara ležaja pope navijalnik	Zaradi puščanja tesnila hladilne vode valja na pope navijalniku je voda zalila ležaj, posledično je zaradi korozije in povečanega trenja prišlo do okvare ležaja. Da v prihodnosti ne pride do podobnega dogodka, bo voda ostala zaprta.
28.1.15	tehnična	150	7500 €	Okvara ležaja vodilnega valja	Okvara vodilnega valja kartona zaradi prevelike zračnosti med gredo valja in ležajem. Gred valja se bo dalo obnoviti.
12.2.15	tehnična	165	8250 €	Okvara ležaja na razpenjalnem valju	Razpenjalni valj pri sušilni peči nad zračnim nožem se ni vrtel, kar je povzročalo pretrge kartona (pod 230 g). Valj je bil menjan pred 2 mesecema, tako da bo poslan v dodatno analizo. Obstaja možnost da ni bil izbran pravi tip mazalnega sredstva odkar je valj postavljen direktno pred peč Solaronics.
20.3.15	tehnična	75	3750 €	Okvara ležaja vodilnega valja	Zaradi obrabe okvara ležaja vodilnega valja.
21.5.15	tehnična	56	2800 €	Okvara ležaja	Na delovni strani vodilnega valja kartona je nad zračnim nožem prišlo do vibracij in pregrevanja ohišja ležaja. Po zamenjavi ležaja se je ugotovilo, da je bila napaka na distribucijski enoti centralnega

					mazanja. Sistem je bil nastavljen na minimalno količino masti. Ležaj je obratoval 3 leta. Pozneje so se ponovno preverile nastavitve centralnega mazanja.
6.6.15	tehnična	591	29.550 €	Okvara ležaja	Okvara ležaja na vodilnem valju sušilnega sita je povzročila, da se je zaradi velike vročine, ki je nastala pri okvari, poškodovalo ohišje ležaja in gred valja. Valj je padel v kletni prostor in poškodoval električno napeljavo.
9.9.15	tehnična	148	7400 €	Okvara ležaja	Okvara ležaja vodilnega valja pri premazovalnem agregatu »curtain coater«. Napaka na dovodni cevi centralnega mazanja. Ležaj je bil 3 mesece brez mazanja. V planu je sprememba napeljave in občasna kontrola nastavitve distribucijskih enot.
23.10.15	tehnična	420	21.000 €	Okvara ležaja nipco stiskalnice	Izvajalec meritev vibracij je diagnosticiral okvaro notranjega obroča ležaja. Zaradi česa je prišlo do poškodb, bo znano po analizi.
18.11.15	tehnična	100	5000 €	Okvara ležaja	Okvara ležaja na vodilnem valju pred valjčnim strugalom. Razpadla kletka v ležaju.
<b>SKUPAJ</b>			<b>93.500 €</b>		

Tabela 2: Tabela nepredvidenih vzdrževalnih zastojev za leto 2015

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

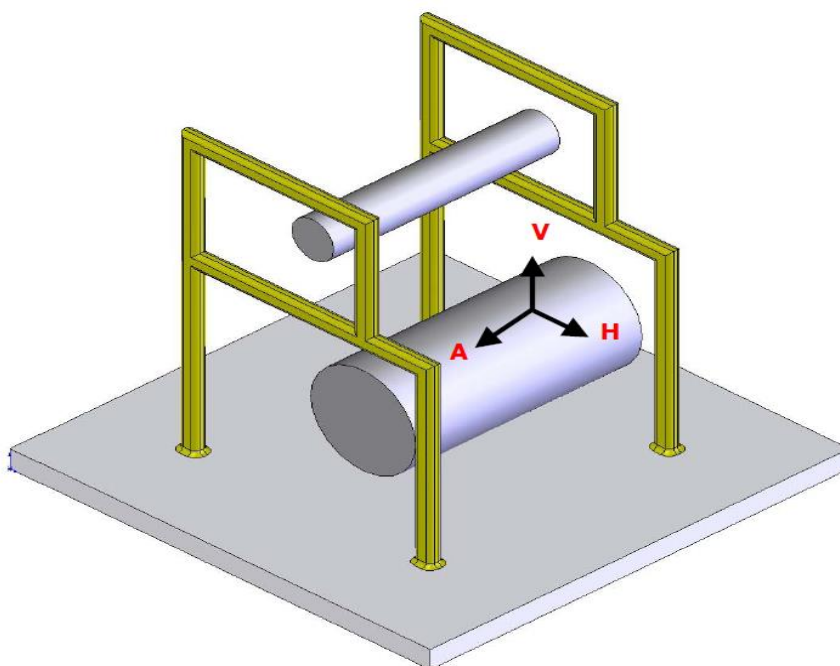
Kakor je razvidno iz tabele 2, so v letu 2015 letni stroški izpadov proizvodnje zaradi okvare ležajev znašali 93 500 €.

## 4 PRAKTIČNI PRIMER UPORABE MERILNIH METOD ZA NADZOR TRENUTNEGA STANJA NA KARTONSKEM STROJU

Podjetje Količevo Karton d.o.o. je 7. 7. 2015 naročilo izvedbo meritev mehanskih vibracij na kartonskem stroju 3. Meritve so se izvajale med planiranim zastojem v prostem teku, se pravi brez kartonskega traku na stroju. Izvedla se je analiza kritičnih frekvenc med mirovanjem in 270-sekundnim postopnim pospeševanjem do maksimalne hitrosti 520 m/min in obratno z 270-sekundnim upočasnjevanjem do hitrosti 75 m/min.

### 4.1 MERSKA MESTA IN OZNAKE

Izbrana so bila tri merska mesta v področju sušilnih skupin in 1 mersko mesto v področju stiskalnic. Na vsakem merskem mestu so se meritve izvajale na pogonski in delovni strani. Meritve so bile sočasno izvedene v treh pravokotnih smereh (A, V, H), kakor prikazuje slika 13.



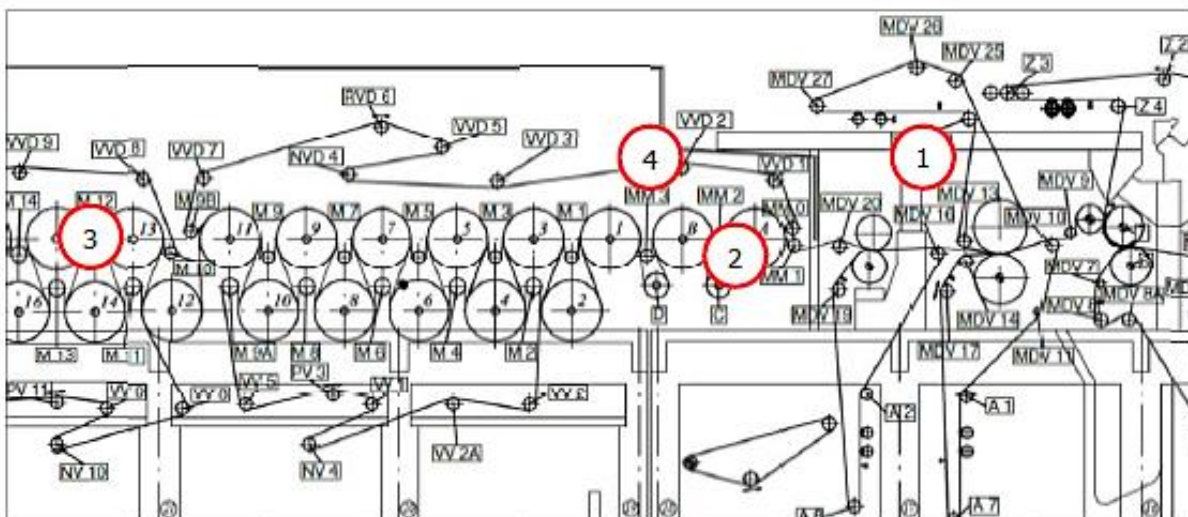
*Slika 13: Prikaz smeri merjenja*

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

Slika 14 prikazuje lokacije merskih mest, kjer so bili nameščeni pospeškometri. Mersko mesto št. 1 je izbrano na glavnem nosilcu v področju stiskalnic, mesto št. 2 in 3 je v področju prve in druge predsušilne skupine. Mersko mesto št. 4 pa je izbrano nad prvo predsušilno skupino (PSS) na nosilcu vodilnih valjev zgornjega sita. Meritve so bile sočasno izvajane z 12 pospeškometri, vendar je med meritvami prišlo do poškodb pospeškometra št. 12, zato smo meritve tega mesta izločili iz poročila.

Označbe pospeškometrov (acc), nameščenih na merilna mesta (MM):

- MM1: acc1–acc3,
- MM2: acc4–acc6,
- MM3: acc7–acc9,
- MM4: acc10–acc12.



Slika 14: Prikaz lokacije merilnih mest na kartonskem stroju

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

Priprava merilnih mest na izbranih lokacijah je potekala tako, da se je pred montažo pospeškometrov obrusila barva in nečistoče iz nosilcev, tako da smo dobili ravno in čisto površino. Slika 15 prikazuje primer merskih mest v 1. PSS (delovna stran) in vodilnih valjev nad 1. PSS (pogonska stran).



Slika 15: Primera merskih mest

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)



## 4.2 REZULTATI MERITEV

V nadaljevanju so podani rezultati meritev vibracij na stroju med zaganjanjem in zaustavljanjem za vsako mersko mesto. Meritve so se izvajale na izbranih 4 merskih mestih: področje stiskalnic, 1. predsušilna skupina, 2. PSS, vodilni valji 1. PSS. Meritve so se izvajale na pogonski strani in na delovni strani stroja. Pogonska stran predstavlja del stroja, kjer so nameščeni vsi pogonski strojni elementi, kot so reduktorji, prenosi in elektromotorji. Delovna stran predstavlja del stroja, kjer se upravlja z vsemi instrumenti za nadzorovanje delovanja stroja.

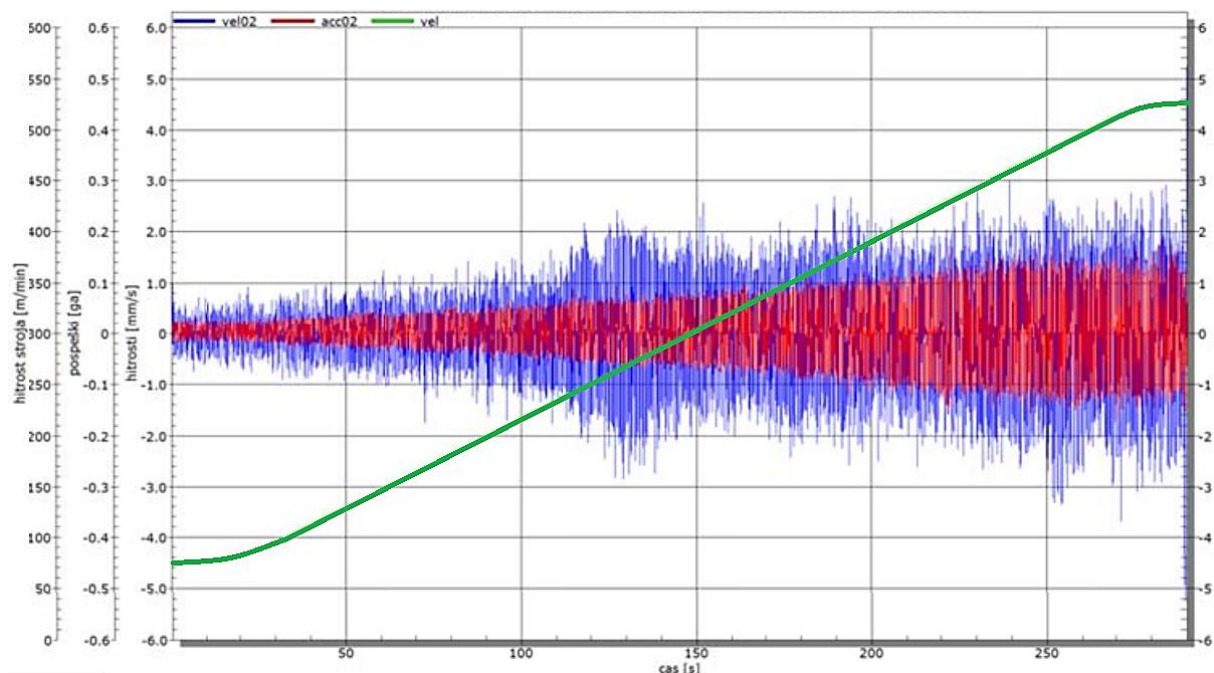
Slike 16 do 31 prikazujejo posnete časovne signale v odvisnosti od pospeškov in hitrosti stroja.

### 4.2.1 Mersko mesto 1 – področje stiskalnic

Sliki 16 in 17 prikazujeta diagrame hitrosti nihanja in pospeškov v odvisnosti od hitrosti na pogonski strani stroja. Meritve so bile izvedene med zagonom stroja, v prostem teku oz. brez kartonskega traku. Med zagonom je stroj s hitrosti 75 m/min dosegel 520 m/min. Meritve so bile izvedene tudi med zaustavljanjem stroja, v prostem teku oz. brez kartonskega traku. Med zaustavljanjem je hitrost stroja s 520 m/min konstantno padala na 75 m/min.

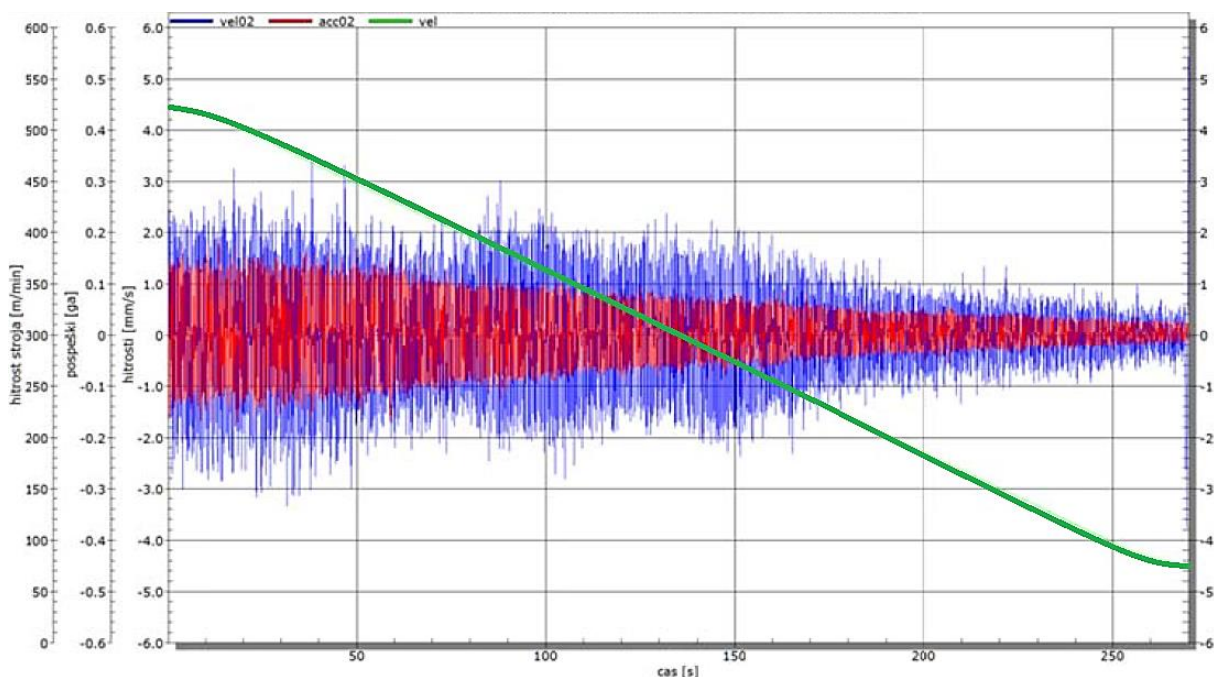
Legenda diagramov:

--- pospeški    --- hitrost nihanja    --- hitrost stroja



Slika 16: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zagonom (pogonska stran)

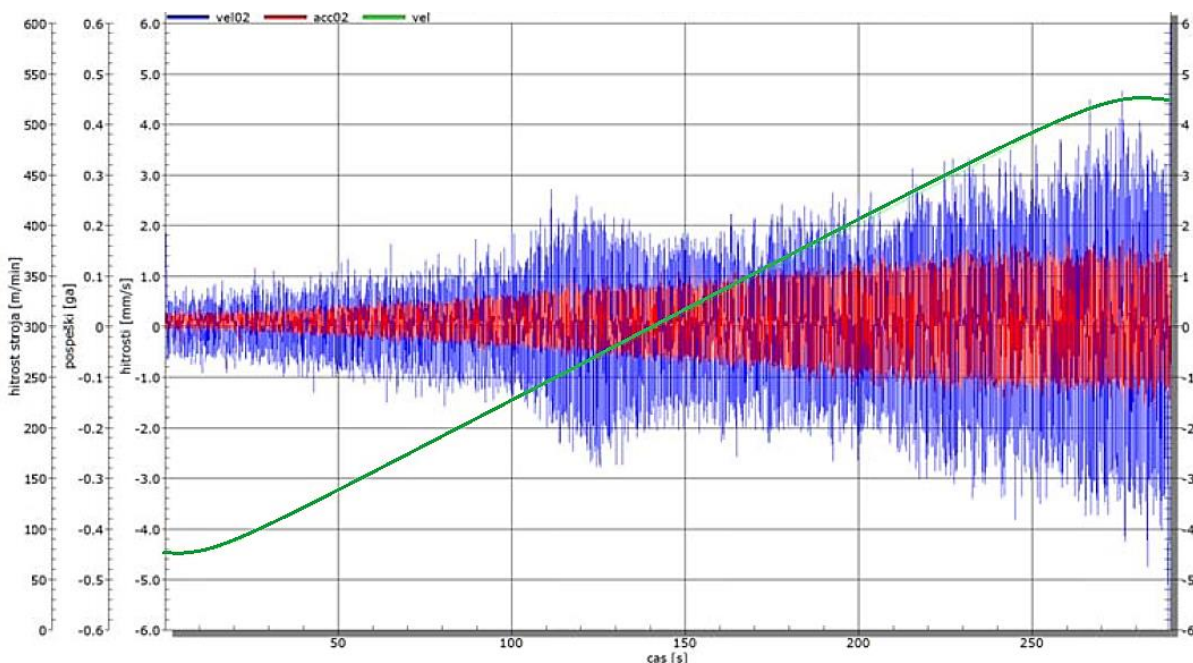
(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)



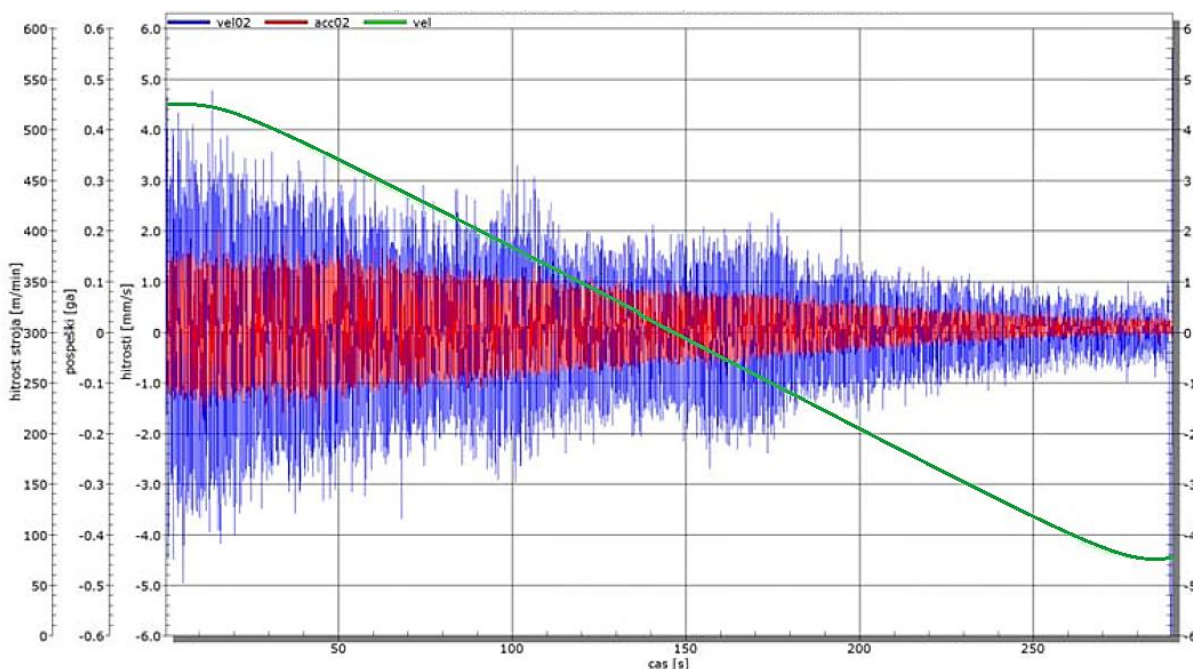
Slika 17: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (pogonska stran)

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

Sliki 18 in 19 prikazujeta diagrame hitrosti nihanja in pospeškov v odvisnosti od hitrosti na delovni strani stroja. Meritve so bile izvedene med zagonom stroja, v prostem teku oz. brez kartonskega traku. Med zaganjanjem se je hitrost stroja s 75 m/min konstantno večala na 520 m/min. Meritve so bile izvedene tudi med zaustavljanjem stroja, v prostem teku. Med zaustavljanjem je hitrost stroja s 520 m/min konstantno padala na 75 m/min.



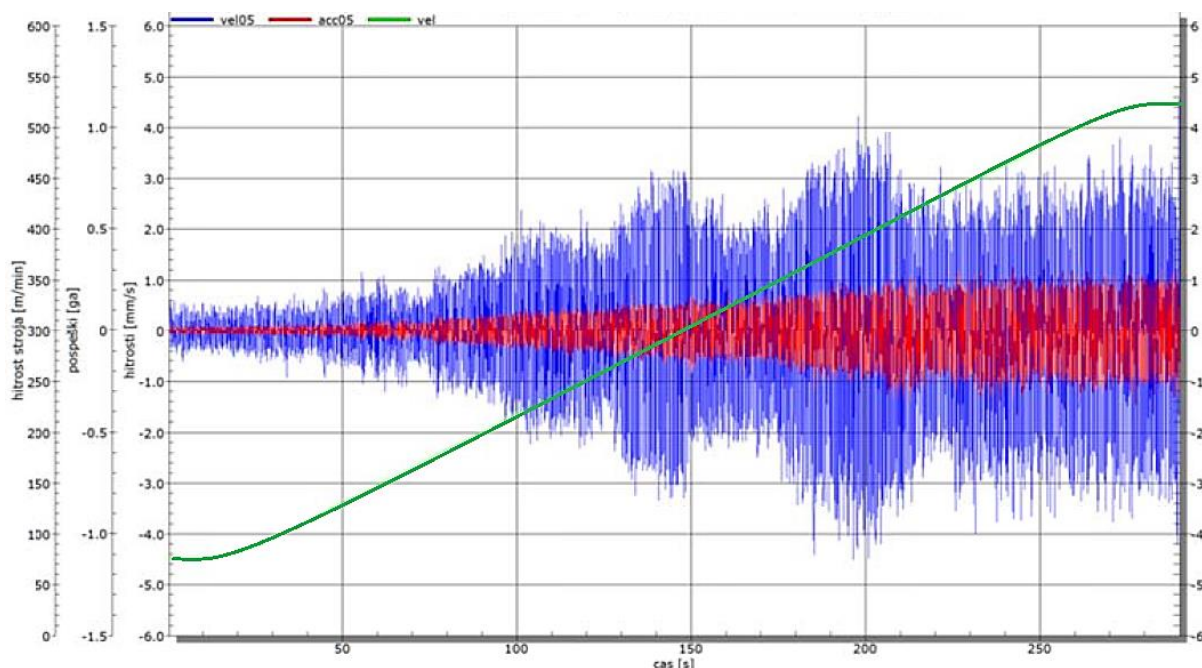
Slika 18: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zagonom (delovna stran)  
(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)



Slika 19: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (delovna stran)  
(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

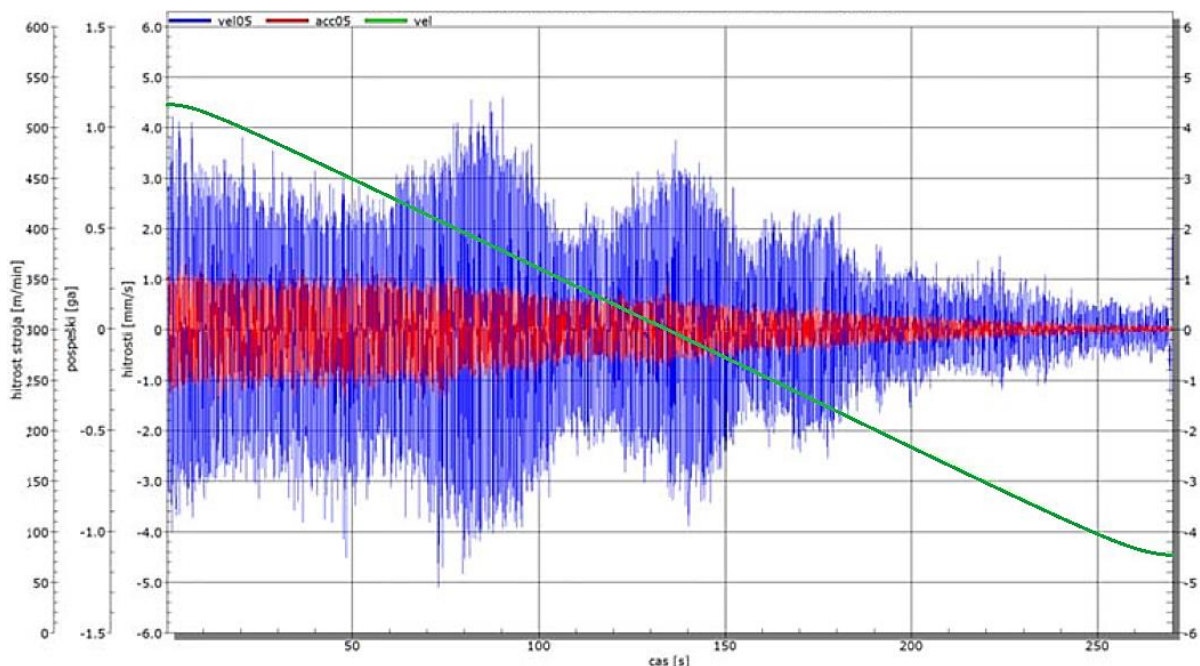
#### 4.2.2 Merilno mesto 2 – področje prve predsušilne skupine

Sliki 20 in 21 prikazujeta diagrame hitrosti nihanja in pospeškov v odvisnosti od hitrosti na pogonski strani stroja. Meritve so bile izvedene med zagonom stroja, v prostem teku oz. brez kartonskega traku. Med zagonom je stroj s hitrosti 75 m/min dosegel 520 m/min. V diagramu je opazno nelinearno povečanje hitrosti nihanja. Meritve so bile izvedene tudi med zaustavljanjem stroja, kjer je hitrost stroja s 520 m/min konstantno padala na 75 m/min. Pri spremljanju hitrosti nihanja pa je prav tako kot pri pospeševanju stroja opazno nelinearno padanje.



Slika 20: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (pogonska stran)

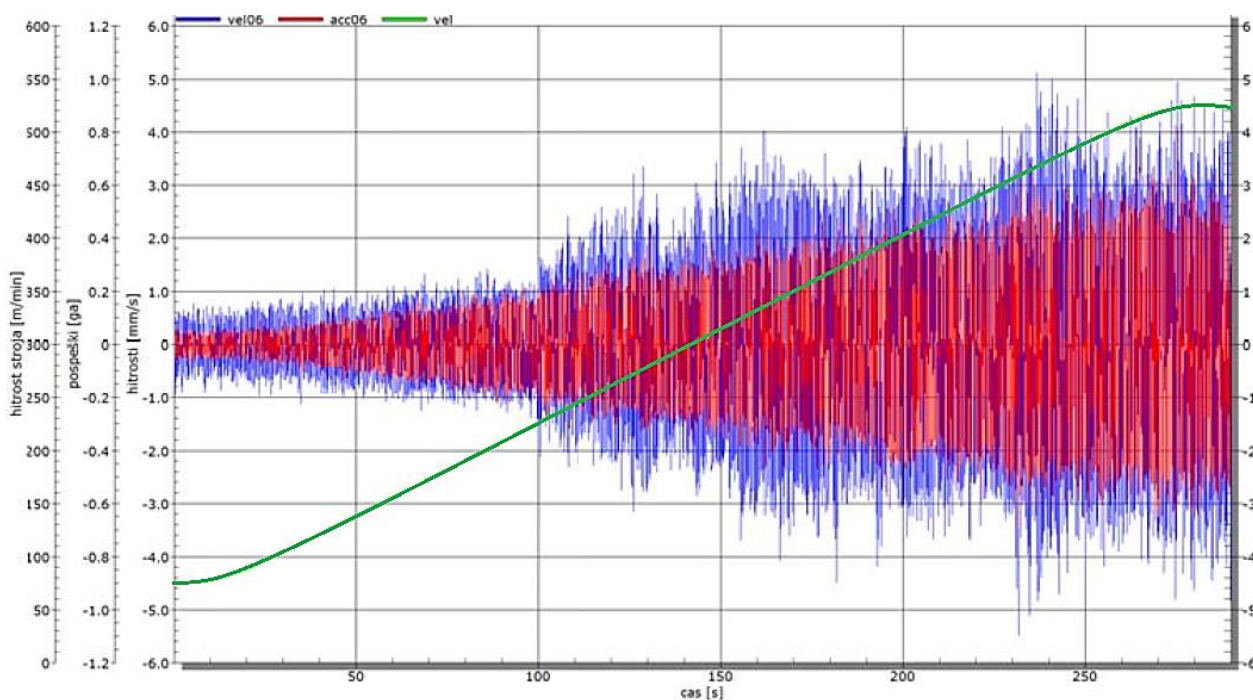
(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)



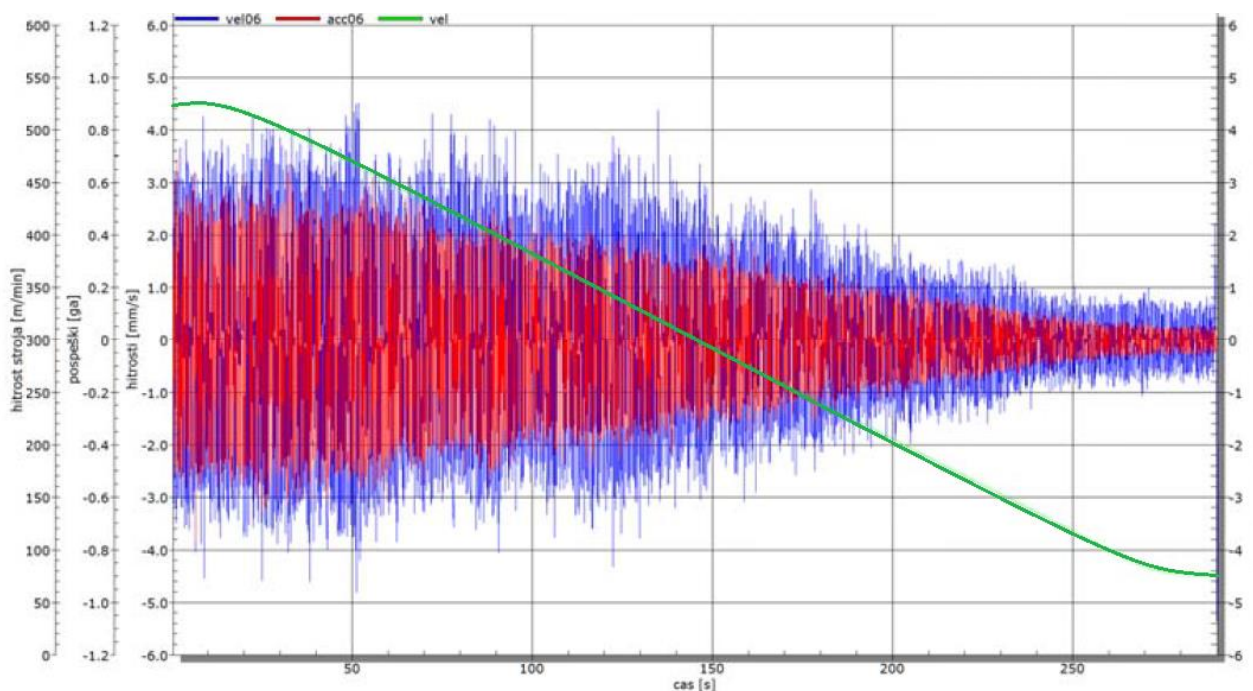
*Slika 21: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (pogonska stran)*

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

Sliki 22 in 23 prikazujeta diagrame hitrosti nihanja in pospeškov v odvisnosti od hitrosti na delovni strani stroja. Meritve so bile izvedene med zagonom stroja, v prostem teku oz. brez kartonskega traku. Med zagonom je stroj s hitrosti 75 m/min dosegel 520 m/min. V diagramu je opazno samo rahlo povečanje pospeškov nihanja skozi celotno območje hitrosti stroja. Meritve so bile izvedene tudi med zaustavljanjem stroja, kjer je hitrost stroja s 520 m/min konstantno padala na 75 m/min. Prav tako kot med pospeševanjem je tu opazno rahlo povečanje pospeškov nihanja skozi celotno območje hitrosti stroja.



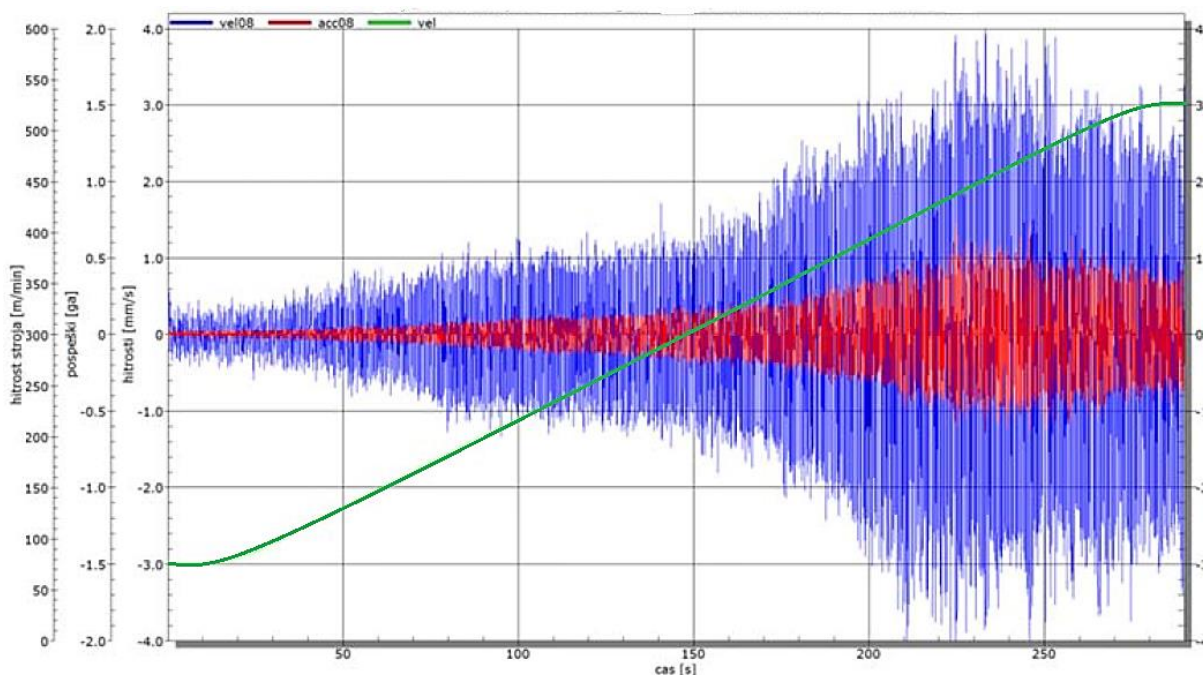
Slika 22: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (delovna stran)  
 (Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)



Slika 23: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (delovna stran)  
 (Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

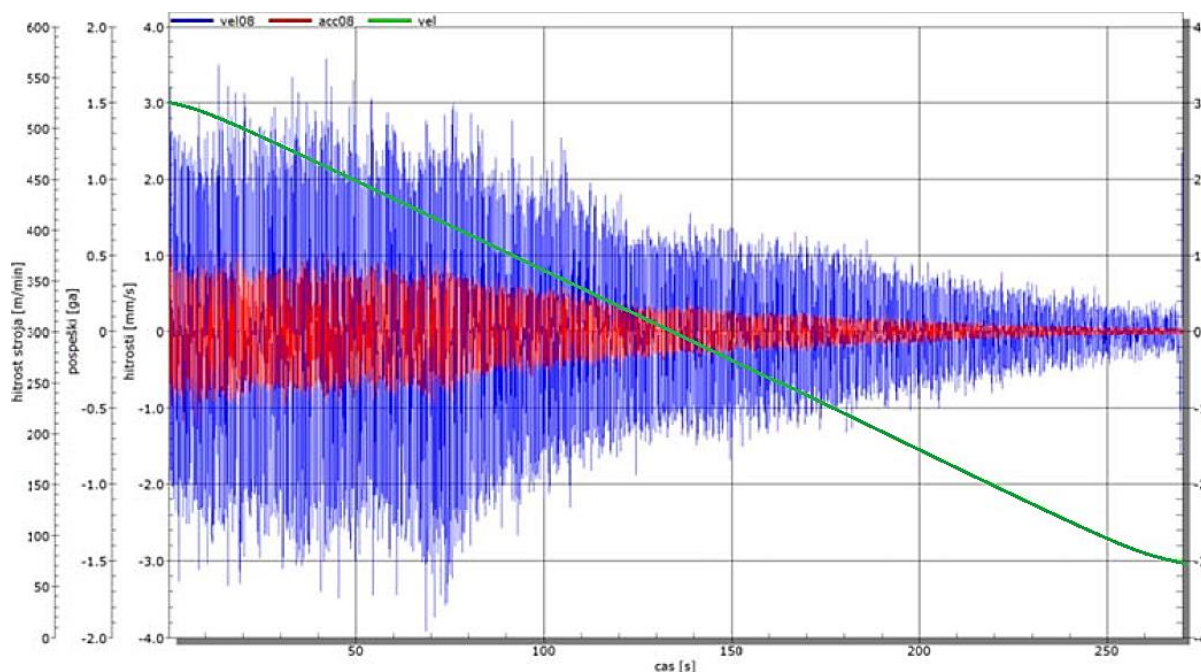
### 4.2.3 Mersko mesto 3 – druga predsušilna skupina

Sliki 24 in 25 prikazujeta diagrame hitrosti nihanja in pospeškov v odvisnosti od hitrosti na delovni strani stroja. Meritve so bile izvedene med zagonom stroja, v prostem teku oz. brez kartonskega traku. Med zagonom je stroj s hitrosti 75 m/min dosegel 520 m/min. V diagramu je opazno povečanje pospeškov nihanja in hitrosti nihanja med hitrostjo stroja 400 m/min in 500 m/min. Meritve so bile izvedene tudi med zaustavljanjem stroja, kjer je hitrost stroja s 520 m/min konstantno padala na 75 m/min. V diagramu med hitrostjo stroja 400–500 m/min ni opaznih takšnih odstopanj, kakršne so bile med pospeševanjem stroja.



Slika 24: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (pogonska stran)

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

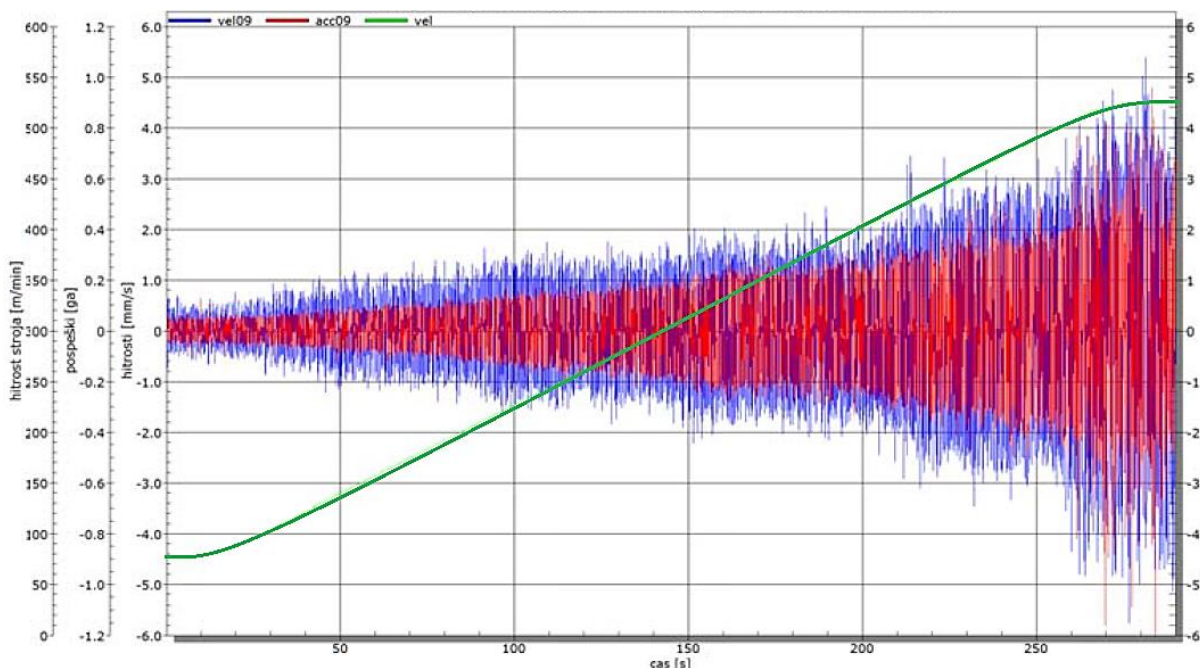


Slika 25: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (pogonska stran)

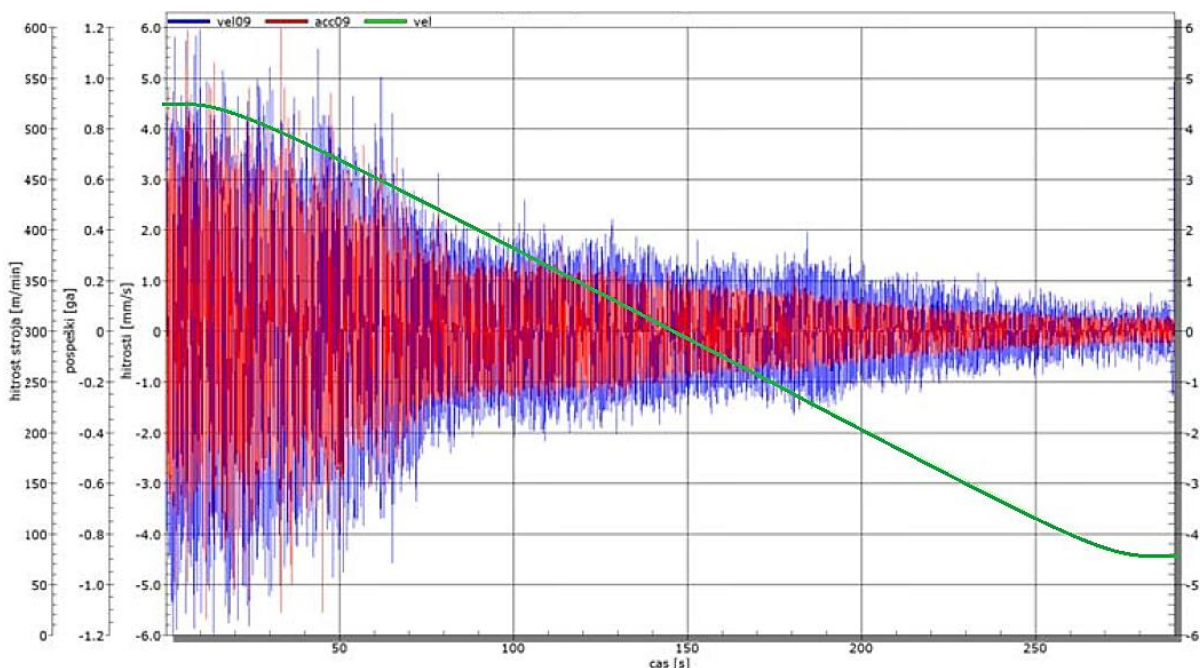
(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

Sliki 26 in 27 prikazujeta diagrame hitrosti nihanja in pospeškov v odvisnosti od hitrosti na delovni strani stroja. Meritve so bile izvedene med zagonom stroja, v prostem teku oz. brez kartonskega traku. Med zagonom je stroj s hitrosti 75 m/min dosegel 520 m/min. Iz diagrama ni vidnih odstopanj pospeškov in hitrosti nihanja. Meritve so bile izvedene tudi med zaustavljanjem stroja, kjer je hitrost stroja s 520 m/min konstantno padala na 75 m/min. V diagramu je med padanjem hitrosti stroja do 400m/min vidno rahlo povečanje hitrosti in pospeški nihanja, pozneje se stanje umiri.





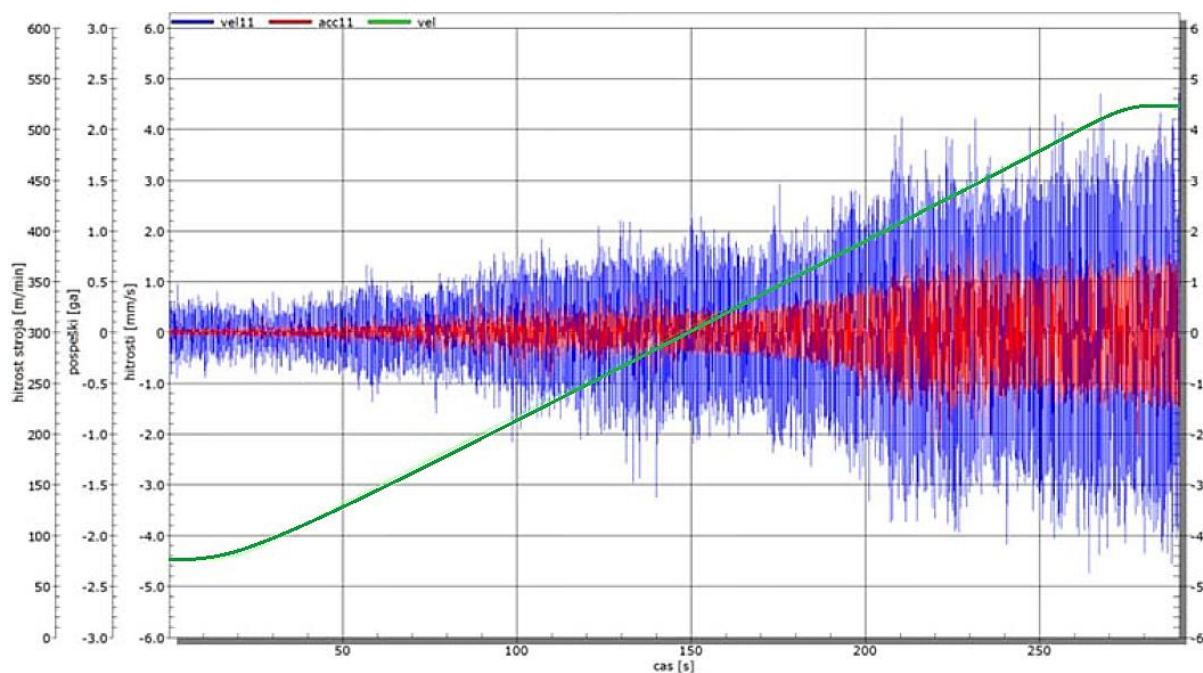
Slika 26: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (delovna stran)  
 (Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)



Slika 27: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (delovna stran)  
 (Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

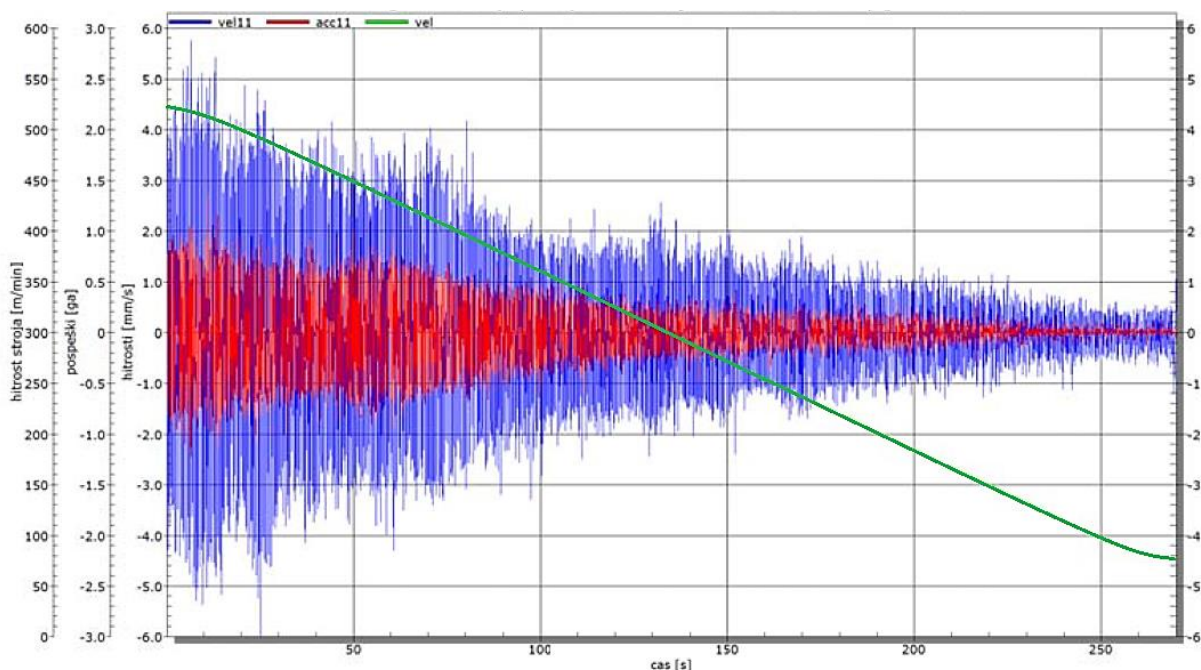
#### 4.2.4 Merilno mesto 4 – vodilni valji nad 1. predsušilno skupino

Sliki 28 in 29 prikazujeta diagrame hitrosti nihanja in pospeškov v odvisnosti od hitrosti na pogonski strani stroja. Meritve so bile izvedene med zagonom stroja, v prostem teku oz. brez kartonskega traku. Med zagonom je stroj s hitrosti 75 m/min dosegel 520 m/min. Iz diagrama niso vidna odstopanja pospeškov in hitrosti nihanja. Meritve so bile izvedene tudi med zaustavljanjem stroja, kjer je hitrost stroja s 520 m/min konstantno padala na 75 m/min. V diagramu niso razvidna odstopanja pospeškov in hitrosti nihanja.



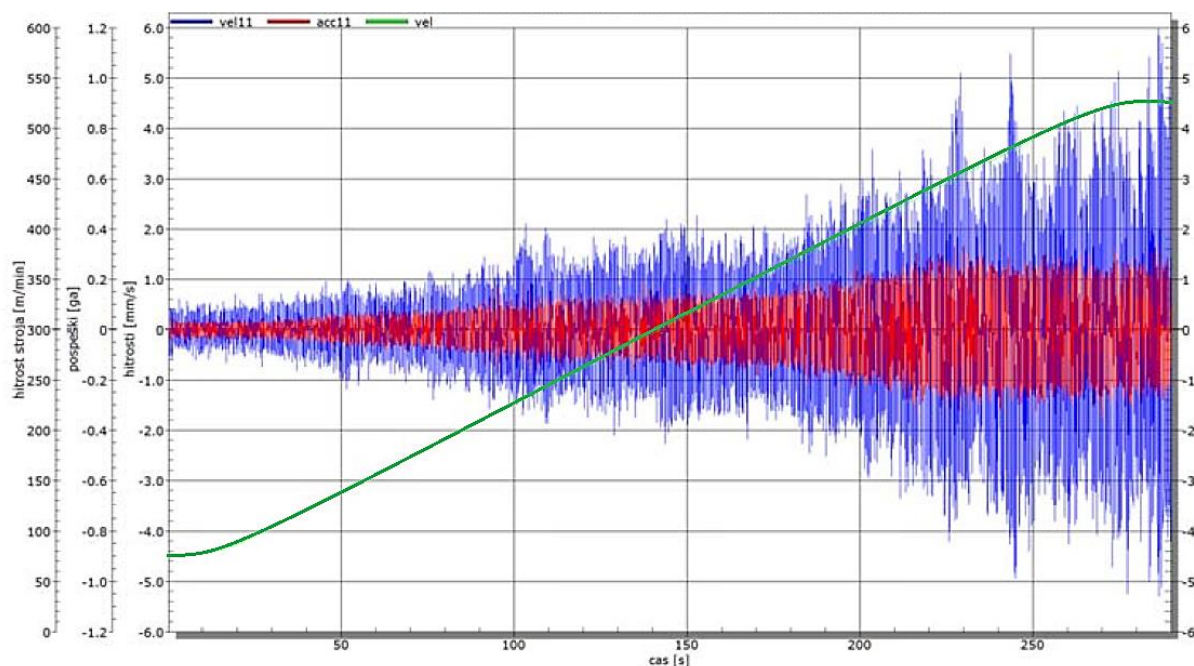
Slika 28: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (pogonska stran)

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

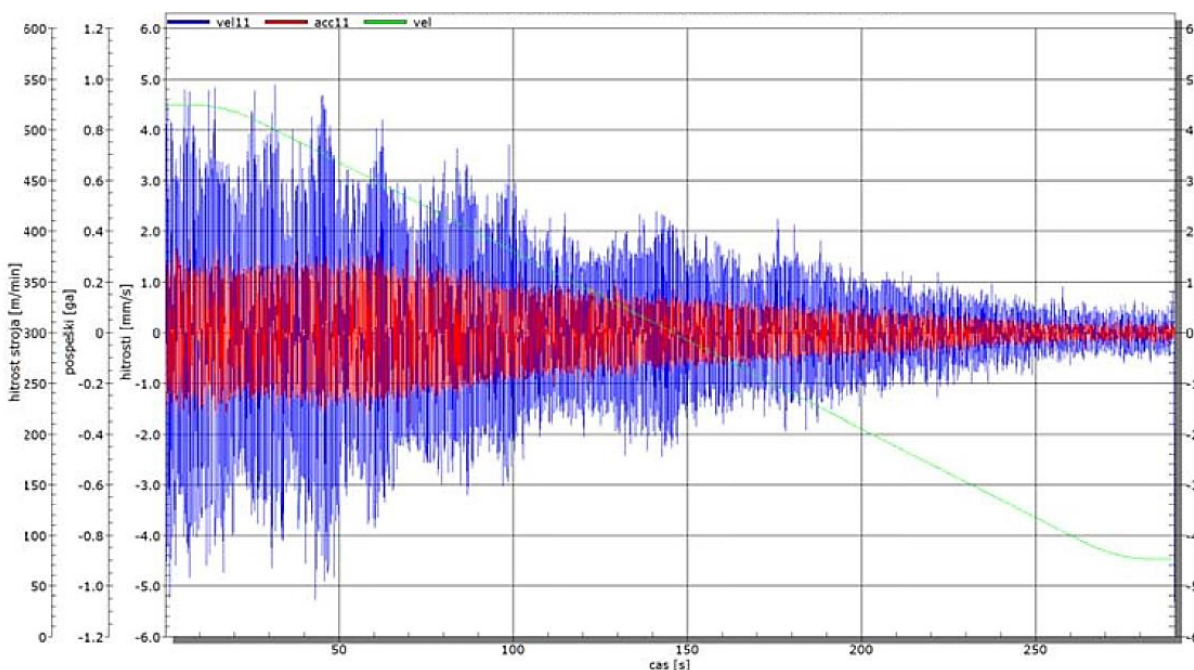


*Slika 29: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (pogonska stran)*  
(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

Sliki 30 in 31 prikazujeta diagrame hitrosti nihanja in pospeškov v odvisnosti od hitrosti na delovni strani stroja. Meritve so bile izvedene med zagonom stroja, v prostem teku oz. brez kartonskega traku. Med zagonom je stroj s hitrosti 75 m/min dosegel 520 m/min. Iz diagrama ni vidnih odstopanj pospeškov in hitrosti nihanja. Meritve so bile izvedene tudi med zaustavljanjem stroja, kjer je hitrost stroja s 520 m/min konstantno padala na 75 m/min. Iz diagrama je razvidno trenutno povečanje hitrosti nihanja pri hitrosti stroja 470 m/min in v območju med 350–300 m/min.



Slika 30: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med pospeševanjem (delovna stran)  
 (Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)



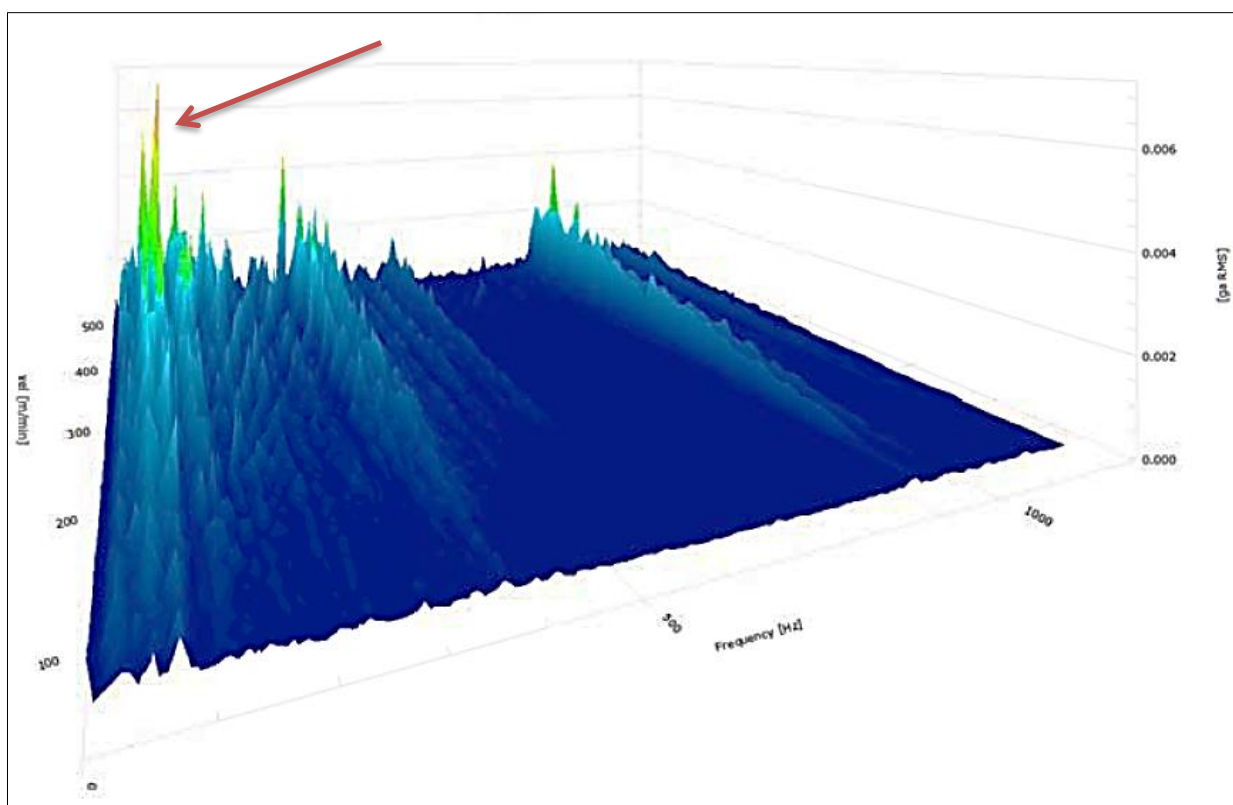
Slika 31: Spreminjanje hitrosti in pospeškov nihanja v odvisnosti od hitrosti stroja med zaustavljanjem (delovna stran)  
 (Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

### 4.3 UGOTOVITVE IN KOMENTAR K REZULTATOM

Vsi diagrami energijskih spektrov vibracijskih hitrosti, ki so prikazani na slikah 32, 33, 34, 35 so preneseni iz merilne naprave Pruftechnik Vibexpert 2. Zaradi slabe ločljivosti slike na merilni napravi so posledično tudi slike diagramov slabše kakovosti. Diagrami prikazujejo pospešek in hitrost nihanja (frekvenco) v povezavi s hitrostjo stroja. Hitrost stroja je v območju 75 do 520 m/min, hitrost nihanja se giblje med 0 in 1100 Hz, pospeški nihanja pa zajemajo nihanja med 0 in 7 mm/s.

#### 4.3.1 Mersko mesto 1

Meritve so pokazale, da izmerjene vrednosti mehanskih vibracij na pogonski in delovni strani v področju stiskalnic enakomerno naraščajo sočasno z višanjem hitrosti stroja. Kakor kaže diagram na sliki 32, najvišje izmerjene vrednosti na pogonski strani stroja znašajo manj kot 4 mm/s in na delovni strani manj kot 5,5 mm/s. Pri pospeševanju in zaustavljanju stroja med meritvami niso bile opažene kritične nad 6 mm/s visoke visoke vzbujevalne frekvence. Na sliki označba prikazuje maksimalni pospešek nihanja.

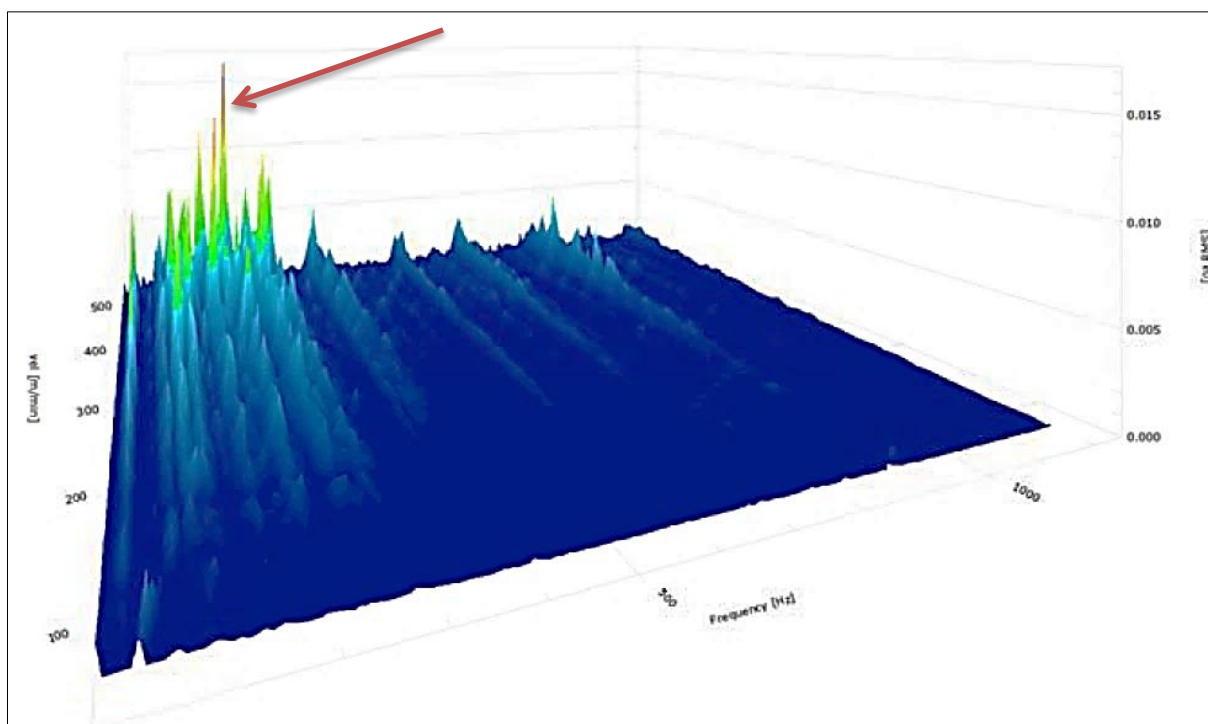


Slika 32: Diagram pri delovanju stroja za območje hitrosti 75–520 m/min za merilno mesto 1 (delovna stran stroja)

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

### 4.3.2 Mersko mesto 2

Meritve so pokazale najvišje izmerjene vrednosti mehanskih vibracij na pogonski strani stroja, in sicer 4 mm/s. Pri hitrostih stroja 230 m/min, 295 m/min in 390 m/min so opažena lokalna povišanja vrednosti vibracij, kakor kaže diagram na sliki 33, vendar njihove vrednosti niso kritične in znašajo manj kot 5 mm/s. Pri pospeševanju in zaustavljanju stroja med meritvami niso bile opažene kritične visoke vzbujevalne frekvence nad 6 mm/s. Na sliki označba prikazuje maksimalni pospešek nihanja.

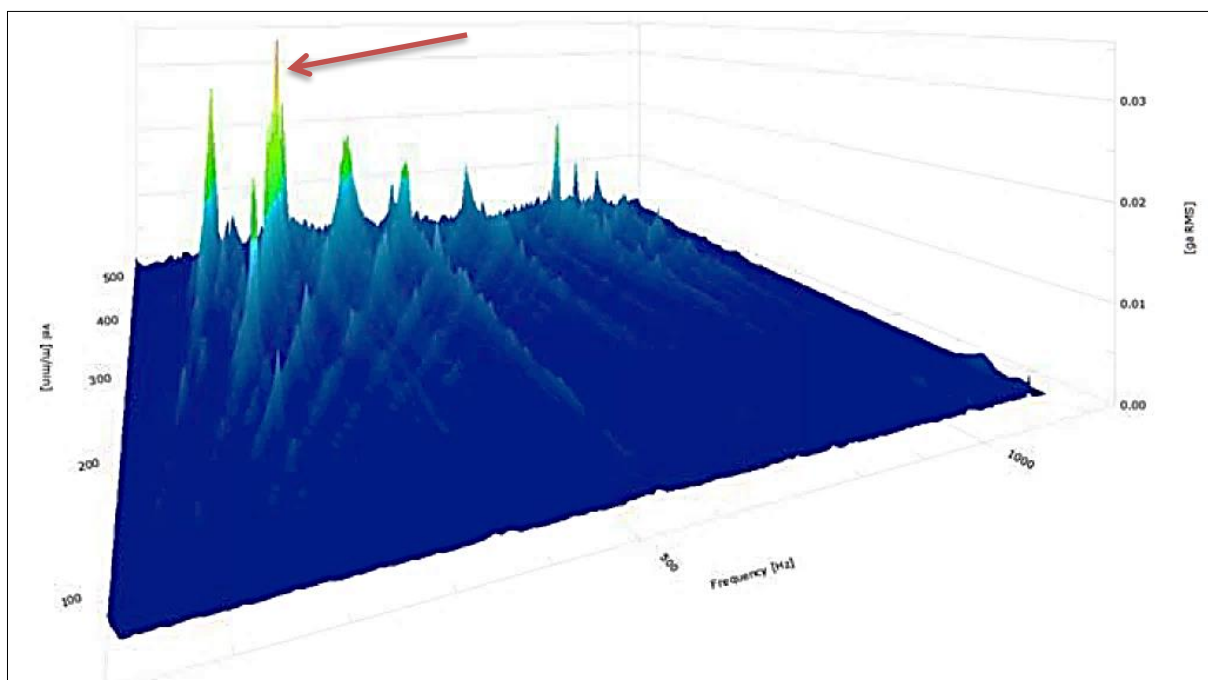


Slika 33: Diagram pri delovanju stroja za območje hitrosti 75–520 m/min za merilno mesto 2 (pogonska stran stroja)

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

### 4.3.3 Mersko mesto 3

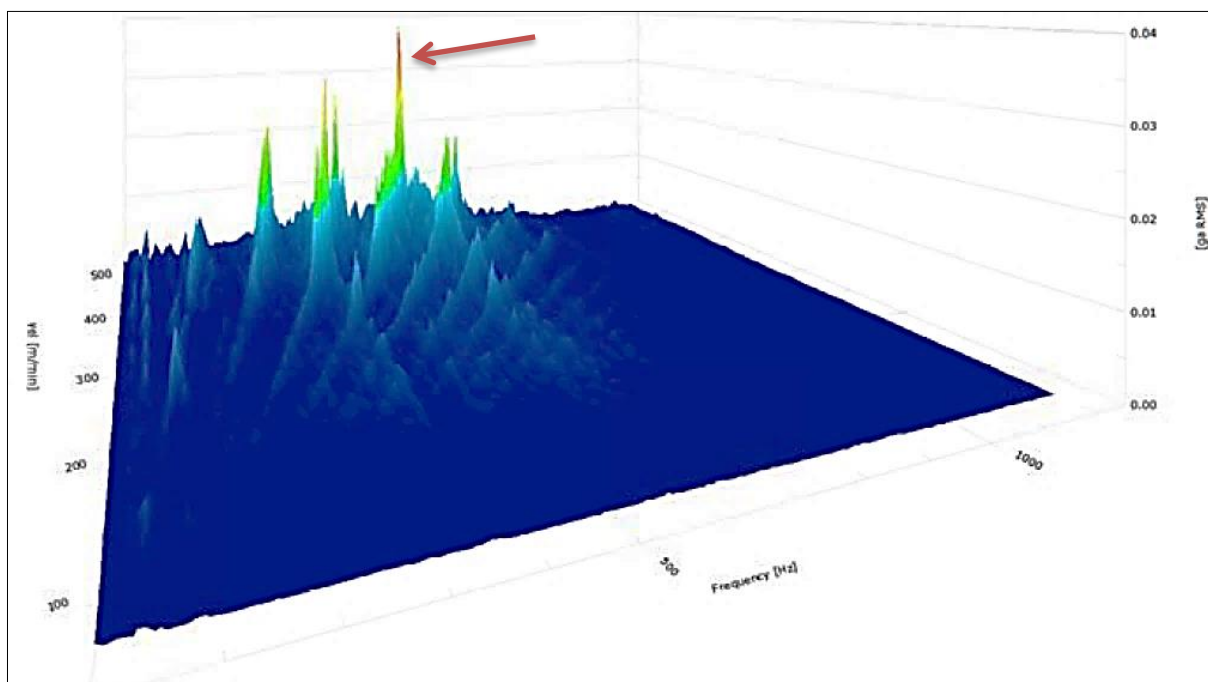
Izmerjene vrednosti meritev na pogonski in delovni strani enakomerno vzporedno naraščajo s povečevanjem hitrosti stroja. Na delovni strani najvišje izmerjene vrednosti znašajo manj kot 5,5 mm/s in na pogonski strani, kot kaže slika 34, manj kot 4 mm/s. Med pospeševanjem in zaustavljanjem stroja niso bile opažene kritične nad 6 mm/s visoke vzbujevalne frekvence. Na sliki označba prikazuje maksimalni pospešek nihanja.



Slika 34: Diagram pri delovanju stroja za območje hitrosti 75–520 m/min za merilno mesto 3 (pogonska stran stroja)  
(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

#### 4.3.4 Mersko mesto 4

Pri pospeševanju stroja so med meritvami hkrati enako naraščale tudi vrednosti mehanskih vibracij na delovni in pogonski strani. Najvišje izmerjene vrednosti za pogonsko stran, kot prikazuje slika 35, so bile manjše kot 5 mm/s. Prav tako pa tudi ni bilo opaziti nobene kritične vzbujevalne frekvence, višje od 6 mm/s, med pospeševanjem in zaustavljanjem stroja. Na sliki označba prikazuje maksimalni pospešek nihanja.



Slika 35: Diagram pri delovanju stroja za območje hitrosti 75–520 m/min za merilno mesto 4 (pogonska stran stroja)

(Vir: Interni, Količevo Karton d.o.o., 2015)

#### 4.3.5 Povzetek komentarjev

Na nobenem od zajetih merskih mest kritičnih stanj ni bilo opaziti. Na podlagi izkušenj izvajalca meritev vibracij bi bila za naš primer kritična ponavljajoča vzbujevalna frekvenca nad 6 mm/s. Izmerjena vzbujevalna frekvenca pa bi se morala ujemati z eno od frekvenc okvarjenega ležaja. V ostalih primerih, kjer občasno prihaja do sorazmerno visokih vrednosti pospeškov, ni razloga za preplah, saj so najverjetneje samo rezultat debalansa valja ali lastnih frekvenc stroja.

Na podlagi meritev in po posvetu z zunanjim izvajalcem lahko sklepamo, da bi v primeru doslednega izvajanja meritev, torej 3–4-krat na leto, dovolj natančno spremljali življenjsko dobo ležajev in posledično dosegli večji izkoristek oz. zanesljivost stroja, saj bi pravočasno lahko preprečili nepredvidene zastoje. Letni stroški meritev zunanjega izvajalca na kartonskem stroju 3 bi znašali okvirno 28.000 €. Znesek zajema izvedbo meritev 5-krat letno na vseh sklopih po stroju. Za primerjavo lahko vzamemo stroške nepredvidenih vzdrževalnih zastojev za leto 2015 (tabela 2), ki so znašali 93.500 €. Če bi se torej že v letu 2015 odločili za izvedbo meritev vibracij, bi lahko prihranili kar nekaj stroškov vzdrževanja.



## 5 ZAKLJUČKI

Namen diplomske naloge je predstaviti, na kakšen način in s katerimi ukrepi bi lahko v papirni industriji na kartonskem stroji izboljšali učinkovitost vzdrževanja. Meritve vibracij so najprimernejši pristop k izboljšanju učinkovitosti, saj bi s tem lahko predvideli trenutno stanje vsakega vrtečega se elementa stroja in povečali njegovo izkoriščenost.

Po svetu se veliko podjetij, predvsem iz papirne in energetske industrije, kjer morajo procesi delovati kontinuirano, odloča za uvedbo meritev vibracij. Njihove pomembne vloge se dobro zavedajo, zato ogromno investirajo v lastno opremo za meritve vibracij in v usposobljenost kadra, ki to opremo upravlja.

V našem primeru bi lahko začeli z najemom storitev zunanjih izvajalcev meritev, nato pa na podlagi zbranih izkušenj in stroškovne analize ovrednotili in se odločili za nadaljevanje sodelovanja z zunanjimi izvajalci ali financirali svojo lastno opremo in kader. S pravočasnimi informacijami o stanju stroja bi bilo planiranje vzdrževalnih zastojev in stroškov veliko natančnejše in bolj pričakovano. Ob odkritju kritičnega strojnega elementa bi se lahko njegovo stanje spremljalo. Če se izmerjene frekvence ne bi drastično poslabšale, bi lahko njegovo menjavo varno zakasnili na datum, predviden za vzdrževalni zastoj. S to potezo bi povečali izkoristek stroja, saj do nepredvidenih ustavitvev ne bi prišlo. Z ukinitvijo ustavitvev stroja bi zmanjšali številne probleme, ki nastanejo pri ponovnem zaganjanju. Ugotovljeno je, da bi na letni ravni z uporabo sodobnih metod vzdrževanja, kot je meritve vibracij, vplivali na proces nastajanja dodatne vrednosti v podjetju in na stroške vzdrževanja. Če sklepamo po rezultatih meritev, bi lahko za naš primer dovolj zgodaj odkrili napake na strojnih elementih in se izognili nepredvidenim zastojem.

V podjetju zdaj uporabljamo občasne meritve vibracij, s katerimi smo pravilno napovedali okvaro in preprečili marsikateri izpad proizvodnje, vendar meritve niso dovolj pogoste, da bi lahko preprečili vse nenapovedane okvare. V bližnji prihodnosti si bomo prizadevali za izdatnejše financiranje v meritve vibracij ter s tem uvedbo lastne diagnostične ekipe ali pogostejše izvajanje meritev zunanjih izvajalcev.

## LITERATURA IN VIRI

- Drstvenšek, I. (2006). *Vzdrževanje v poindustrijski dobi v luči standarda SIST EN 13306*, Seminar Centra za poklicno izobraževanje, Maribor.
- Jemec, V. (2004). *Vzdrževanje: skripta*. Pridobljeno 25. 3. 2017 z naslova; <http://www2.arnes.si/~sspvjeme/vzdrzevanje/>.
- Količevo Karton d.o.o. (2013). Interno gradivo podjetja.
- Machinery Monitoring Solutions* (2017). Pridobljeno 3. 4. 2017 z naslova <http://machinerymonitoringsolutions.com/>.
- Obid, M. (2002). *Integrirani sistem za spremljanje stanja naprav z analizo olja*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.
- Olympus (b. l.). *Scientific Solutions*. Pridobljeno 3. 4. 2017 z naslova <http://www.olympus-ims.com/en/>.
- PRUFTECHNIK AG (2015). *Condition monitoring, Vibration handbook* <http://www.pruftechnik.com/>
- PSI Repair Services (b. l.). Pridobljeno 14. 4. 2017 z naslova [psi-repair.com](http://psi-repair.com).
- Reliabilityweb (2017). Pridobljeno 15. 4. 2017 z naslova [www.reliabilityweb.com](http://www.reliabilityweb.com).
- Rosi, B. in Androjna, A. (2008). *Celostno obvladovanje vzdrževanja*. Tržič: Založba Učila International.
- Salgueiro, J. et al. (2013). *Strojniški vestnik*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo in Zveza strojnih inženirjev in tehnikov Slovenije.
- Smodiš, V. (2010). *Vzdrževanje avtomatske polnilne linije*. Diplomsko delo, Maribor: Fakulteta za strojništvo.
- Šinkovec, B. et al. (2011). *Priročnik za vzdrževalce strojev in naprav*. Ljubljana: Forum Media.
- Tatis, R. (2012) *Vibration Measurement for Rotatory Machines Thesis*, Valkeakoski. HAMK University of applied sciences.
- Terming termografija* (2015). Pridobljeno 15. 4. 2017 z naslova [www.terming.si](http://www.terming.si).
- Težak, B. (2007). Terming termografija d.o.o. Prediktivno vzdrževanje. *Vzdrževalec*. Pridobljeno 28. 3. 2017 z naslova [http://www.drustvo-dvs.si/ftp/Zbornik\\_2007/vzdrzevalec119.pdf](http://www.drustvo-dvs.si/ftp/Zbornik_2007/vzdrzevalec119.pdf).

TINEX industrijska diagnostika (2011). Pridobljeno 3. 4. 2017 z naslova <http://www.tinex-diagnostika.si/portal/storitve?showall=>.

Uлага, S. (2016). *Strategije vzdrževanja*. Povzetek predavanj.