

UNIVERZA NA PRIMORSKEM
FAKULTETA ZA MATEMATIKO,
NARAVOSLOVJE IN INFORMACIJSKE
TEHNOLOGIJE KOPER

Računalništvo in informatika, 2. stopnja

Tina Nemarnik

Časovno-frekvenčna analiza izbranih delnic
slovenske borze
Magistrska naloga

Mentor:

doc. dr. Janez Žibert

Koper, 2011

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Ime in PRIIMEK: Tina NEMARNIK

Naslov magistrske naloge: Časovno-frekvenčna analiza izbranih delnic slovenske borze

Kraj: Koper

Leto: 2011

Število listov: 80 **Število slik:** 29 **Število tabel:** 21

Število prilog: 2 **Število strani prilog:** 2

Število referenc: 28

Mentor: doc. dr. Janez Žibert

UDK: 004.42/.43:336.761(043.2)

Ključne besede: časovno-frekvenčne predstavitve, časovno-frekvenčne porazdelitve, energijske porazdelitve, kvadratne časovno-frekvenčne predstavitve, Cohenov razred, sintetiziran signal, sintetiziran signal podatkov, HP filter, medianin filter, tehnična analiza, poslovni cikli, enotni tečaji cen delnic, obseg poslovanja, slovenska borza, transparentnost

Izveček

Magistrsko delo je osredotočeno na časovno-frekvenčne predstavitve izbranih delnic in indeksa slovenske borze.

Prvi del naloge je osredotočen na ekonomska izhodišča o obstoječih raziskavah podatkov o delnicah v časovno-frekvenčnem prostoru. V delu se predstavi obstoječa baza podatkov in signali izbranih časovnih vrst, s katerimi dosežemo transparentnost (solventnost) historičnega gibanja cen delnic in vrednosti indeksov oziroma zadostimo prvi stopnji *hipoteze efektivnega trga*. Teoretični del, ki je matematično in grafično usmerjen, je posvečen energijskim časovno-frekvenčnim predstavitvam. S pomočjo sintetiziranih signalov se predstavijo prednosti in pomanjkljivosti posamezne porazdelitve za prepoznavanje poslovnih ciklov v časovno-frekvenčnem prostoru.

Jedro magistrskega dela temelji na predstavitvi izbranih delnic v časovno-frekvenčnem prostoru. Cilj metodološkega pristopa je opazovanje in razpoznavanje skritih periodičnosti v izbranih podatkih. Periodičnosti v časovno-frekvenčnem prostoru v ekonomski terminologiji pravimo poslovni cikli. Z izdelavo sintetiziranega signala podatkov se preverja ustreznost porazdelitev in

preučuje njihove karakteristike. Podatkom enotnih tečajev se aplicirajo različni filtri, ki signal razdelijo na trend in ciklično komponento. Ciklična komponenta postane analitični del signala, nad katerim izvajamo časovno-frekvenčno analizo in določamo poslovne cikle.

KEY WORDS DOCUMENTATION

Name and SURNAME: Tina NEMARNIK

Title: Time-frequency analysis of selected stocks within the slovene stock market

City: Koper

Year: 2011

Number of pages: 80 **Number of figures:** 29 **Number of tables:** 21

Number of appendices: 2 **Number of appendix pages:** 2

Number of references: 28

Supervisor: assist. prof. Janez Žibert

UDC: 004.42/.43:336.761(043.2)

Key words: time-frequency representations, time-frequency distributions, energy distributions, bilinear time-frequency distributions, Cohen class, synthesized signal, data synthesized signal, HP filter, median filter, technical analysis, business cycle, stock's closing prices, volume turnover, slovene stock exchange, transparency

Abstract

Time series analysis is a long term studying phenomena within different fields. Methodological aspects of analyzing such data are countless, tough within this work we concentrate on time-frequency analysis of selected stocks within the slovene stock market.

First part presents some economical introductory facts about the existing research conducted in time-frequency domain on stock market data on domestic and international markets. Next, the created database or datafile, parameters, and time domain closing prices and volume turnover data of selected stocks and index are presented to achieve data transparency and satisfy the first stage of the *efficient market hypothesis*. Theoretical explanation, which is mathematically oriented, is devoted to energy time-frequency distributions of bilinear nature. With the use of a synthesized signal advantages and disadvantages of bilinear time-frequency distribution are presented to show presence of a business cycle in a time-frequency domain.

The highlight of this work is stock market data presentation in the time-frequency domain. The goal in such representation is to detect hidden periodicities in selected datasets. Hidden periodicities in economic terms are defined as business cycles.

Time-frequency representation suitability is verified with analysis conducted on a data synthesized signal. Closing prices and index values are split with a filtering method to a trend and a cyclical component. Cyclical component becomes the analytical signal on which time-frequency distributions are applied to observe and define the business cycle for the slovene stock market.

KAZALO

1	Uvod	1
1.1	Opis problema in motivacija magistrskega dela	3
2	Opis podatkovnega modela	5
2.1	Vplivi na cene delnic (Tehnična analiza)	5
2.2	Poslovni cikel	6
2.3	Ljubljanska borza	7
2.3.1	Parametri	9
2.3.2	Predstavitev izbranih podatkov	10
2.3.3	Indeksa Ljubljanske borze	13
3	Časovno-frekvenčna analiza	16
3.1	Predstavitev signala	16
3.1.1	Osnovni pojmi	16
3.1.2	Časovni prostor	17
3.1.3	Frekvenčni prostor	19
3.2	Bilinearna (kvadratna) časovno-frekvenčna analiza	20
3.2.1	Poslovni cikli v časovno-frekvenčnem prostoru	24
3.2.2	Spektrogram	24
3.2.3	Wigner-Villejeva porazdelitev	27
3.2.4	Psevdo Wigner-Villejeva porazdelitev	29
3.2.5	Pageova porazdelitev	31
3.2.6	Psevdo Pageova porazdelitev	32
3.2.7	Zhao-Atlas-Marksova porazdelitev	33
4	Časovno-frekvenčna analiza izbranih delnic in indeksa	35
4.1	Predobdelava podatkov	36
4.2	Analiza odprave trenda	37
4.2.1	Postopki odprave trenda	37
4.2.2	Sintetiziran signal na trendu podatkov	41
4.3	Časovno-frekvenčne porazdelitve	41
4.3.1	Sintetiziran signal na trendu podatkov - medianin filter	41
4.3.2	Signal podatkov - medianin filter	45
4.3.3	Sintetiziran signal na trendu podatkov - HP filter	49
4.3.4	Signal podatkov - HP filter	53
5	Zaključek	57
5.1	Povzetek	57
5.2	Sklep	59

5.3 Nadaljnje delo	59
Literatura in viri	61
Priloge	63

KAZALO TABEL

Tabela 1: Zbrane delnice za časovno-frekvenčno analizo.	9
Tabela 2: Parametri pridobljeni iz portala Ljubljanske borze uporabljeni za časovno-frekvenčno analizo.	10
Tabela 3: Delnice, deleži in parametri, ki sestavljajo indeks SBI Top.	15
Tabela 4: Poslovni cikli izraženi z normirano frekvenco in številom dni.	24
Tabela 5: Poslovni cikli - spektrogram.	27
Tabela 6: Poslovni cikli - Wigner Villejeva porazdelitev.	29
Tabela 7: Poslovni cikli - psevdo Wigner Villejeva porazdelitev.	31
Tabela 8: Poslovni cikli - Pageova porazdelitev.	32
Tabela 9: Poslovni cikli - Zhao-Atlas-Marksova porazdelitev.	34
Tabela 10: Poslovni cikli - sintetiziran signal na trendu podatkov LJSE Composite indeksa z medianinim filtrom.	43
Tabela 11: Poslovni cikli - sintetiziran signal na trendu podatkov delnice Gorenje z medianinim filtrom.	44
Tabela 12: Poslovni cikli - sintetiziran signal na trendu podatkov delnice Zavarovalnice Triglav z medianinim filtrom.	45
Tabela 13: Poslovni cikli - signal podatkov LJSE Composite indeksa z medianinim filtrom.	47
Tabela 14: Poslovni cikli - signal podatkov delnice Gorenje z medianinim filtrom.	47
Tabela 15: Poslovni cikli - signal podatkov delnice Zavarovalnice Triglav z medianinim filtrom.	49
Tabela 16: Poslovni cikli - sintetiziran signal na trendu podatkov delnice Gorenje s HP filtrom.	51
Tabela 17: Poslovni cikli - sintetiziran signal na trendu podatkov delnice Zavarovalnice Triglav s HP filtrom.	53
Tabela 18: Poslovni cikli - signal LJSE Composite indeksa s HP filtrom.	53
Tabela 19: Poslovni cikli - signal delnice Gorenje s HP filtrom.	55
Tabela 20: Poslovni cikli - signal delnice Zavarovalnice Triglav s HP filtrom.	56
Tabela 21: Poslovni cikli - povzetek skupnih rezultatov.	58

KAZALO SLIK

Slika 1: Potek gibanja slovenskih borznih indeksov LJSE Composite in SBI Top.	11
Slika 2: Enotni tečaji cen delnic in obseg poslovanja podjetja Gorenje po dnevih od začetka kotacije na borzi.	12
Slika 3: Enotni tečaji cen delnic in obseg poslovanja podjetja Zavarovalnica Triglav po dnevih od začetka kotacije na borzi.	13
Slika 4: Enostavni sintetiziran signal.	18
Slika 5: Sintetiziran signal s spremembo amplitude.	19
Slika 6: Signal $s(u)$ in kratkočasovno okno $h(u - t)$ s središčem v času t .	23
Slika 7: Prikaz frekvenčne in časovne ločljivosti signala z uporabo različnih dolžin Hammingovega okna.	23
Slika 8: Poslovni cikli v časovno-frekvenčnem prostoru.	24
Slika 9: Spektrogram enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.	26
Slika 10: WV porazdelitev enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.	28
Slika 11: PWV porazdelitev enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.	30
Slika 12: Pageova porazdelitev enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.	31
Slika 13: Psevdo Pageova porazdelitev enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.	33
Slika 14: Porazdelitev ZAM enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.	34
Slika 15: LJSE Composite indeks po filtriranju z medianinim in HP filtrom.	39
Slika 16: Delnica Gorenja po filtriranju z medianinim in HP filtrom.	40
Slika 17: Delnica Zavarovalnice Triglav po filtriranju z medianinim in HP filtrom.	40
Slika 18: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov LJSE Composite indeksa z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.	42
Slika 19: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov delnice Gorenje z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.	44
Slika 20: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov delnice Zavarovalnice Triglav z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.	45
Slika 21: TFR prikaz ciklične komponente signala LJSE Composite indeksa z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.	46
Slika 22: TFR prikaz ciklične komponente signala delnice Gorenje z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.	48

Slika 23: TFR prikaz ciklične komponente signala delnice Zavarovalnice Triglav z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.	49
Slika 24: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov LJSE Composite indeksa ocenjenega s HP filtrom.	50
Slika 25: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov delnice Gorenje ocenjenega s HP filtrom.	51
Slika 26: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov delnice Zavarovalnice Triglav ocenjenega s HP filtrom.	52
Slika 27: TFR prikaz ciklične komponente signala podatkov LJSE Composite indeksa s HP filtrom.	54
Slika 28: TFR prikaz ciklične komponente signala podatkov delnice Gorenje s HP filtrom.	55
Slika 29: TFR prikaz ciklične komponente signala podatkov delnice Zavarovalnice Triglav s HP filtrom.	56

SEZNAM KRATIC

AD	Atomska dekompozicija (angl. Atomic decomposition)
AF	Programski vmesnik (angl. narrow-band ambiguity function)
AR	Auto-regresijska (angl. Auto-regressive)
BDP	Bruto domači proizvod (angl. Gross domestic product)
ARIMA	Avto-regresijske drseče sredine (angl. Auto-Regressive Moving Average)
ASPWD	Afina zglajena psevdo Wignerjeva porazdelitev (angl. Affine smoothed pseudo Wigner distribution)
BJ	Born-Jordanova porazdelitev (angl. Born-Jordan distribution)
FT	Fourierova transformacija (angl. Fourier transform)
GARCH	Posplošen avto regresijski pogojno heteroskedastičen proces (angl. Generalized autoregressive conditionally heteroscedastic process)
HP	Hodrick Prescott filter (angl. Hodrick Prescott filter)
IID	neodvisne in enako porazdeljene slučajne spremenljivke (angl. independent and identically distributed random variables)
IMF	Mednarodni monetarni sklad (angl. International Monetary Fund)
ISE	Istanbulska borza (angl. Istanbul stock exchange)
MA	Drseče sredine (angl. Moving Average)
MATLAB	Matrični laboratorij (angl. Matrix laboratoy)
OTC	Trgovanje brez posrednika (angl. Over the counter)
PWVD	Psevdo Wigner-Villejeva porazdelitev (angl. Pseudo Wigner-Ville distribution)
RBC	Pravi poslovni cikel (angl. Real business cycle)
SARIMA	Sezonalna ARIMA (angl. Seasonal ARIMA)
STFT	Kratkočasovna Fouriejeva transformacija (angl. Short time Fourier transform)
SWN	Strogi beli šum (angl. Strict white noise)

TFA	Časovno-frekvenčna analiza (angl. Time-frequency analysis)
TFR	Časovno-frekvenčna predstavitev (angl. Time-frequency representation)
WVD	Wigner-Villejeva porazdelitev (angl. Wigner-Ville distribution)
ZAM	Zhao-Atlas-Marks porazdelitev (angl. Zhao-Atlas-Marks distribution)

ZAHVALA

Rada bi se zahvalila svojemu mentorju doc. dr. Janezu Žibertu za vso njegovo podporo pri nastajanju magistrskega dela. Ne samo, da mi je dajal ustrezne smernice, ampak tudi predal orodja in osnovne dele programske kode, s katerimi sem delo sploh lahko ustvarila in kar je najpomembneje razumela. Delo je potekalo, kljub moji zmedenosti in neznanju, na potrpežljivem, konstruktivnem in profesionalnem nivoju. Želim se zahvaliti tudi dr. Karimu Abadirju za prikaz drugačne perspektive na gledanje in preučevanje časovnih vrst in statističnih metod, dr. Branku Kavšku za njegovo potrpljenje in poslušnost, saj mi je omogočil zaključek študija in dela na področju, ki me veseli in zanima. Zahvala gre še Davidu McLainu in Moritz Meyerju, ki sta mi omogočila vpogled v raziskovalno delo in motivirala k vztrajanju in izboljšanju magistrske naloge.

Rada bi se zahvalila še očetu, ker mi je zaupal.

We fear fundamental change in ourselves because we are afraid of losing what little we have. If we become compassionate, then we fear we may forget our own possessions, power, and vanities in favor of the needs of the world. Yet, when we see the true nature of our ego and abandon it entirely, then the entire world is ours - we lose nothing. Each moment of existence is joy. *John McAfee*

1 UVOD

Transparentnost in nadzorovanje trga izvedenih finančnih instrumentov predstavlja projekt trenutne administracije Združenih držav Amerike. Začetne omejitve in omejevanje prostega trga se je začelo z uveljavitvijo zakona *Over the Counter Financial Derivatives Act of 2009*, kjer so določili striktno regulacijo in nadzor nad transakcijami izmenjav. Definicija izmenjav je zajeta v zakonu, ki zavzema še ostale izvedene finančne instrumente, kot so opcije in terminske pogodbe. Finančnemu sistemu so bile leta 2010 dodane nove omejitve s *Financial reform billom*, kjer je bila dodana višja stopnja nadzora nad omenjenimi transakcijami, za preprečevanje nove finančne krize in omejevanje trga in poslov izvedenih finančnih instrumentov. *The President Report of 2009* navaja kot glavni razlog nastanka gospodarske krize, poleg nepremičninske krize, še nekontrolirano tveganje obratovanja trga brez posrednikov (OTC) izvedenih finančnih instrumentov.

Izvedeni finančni instrumenti, kot so opcije, predstavljajo najvplivnejšo inovacijo na področju financ v 20. stoletju. Cilj finančnega instrumenta je temeljil na izdelavi varnega portfelija s kombinacijo dela delnice z opcijo. V tem primeru je varnost temeljila v ohranitvi vrednosti portfelija v kratkem časovnem obdobju ne glede na gibanje cen finančnih produktov. V tem primeru cena opcije kompenzira tveganje spremembe cene produktov oziroma omogoča sestavo varnega portfelija [14]. Black-Scholesova formula [2] je v delu finančnega sistema v zadnjih 30. letih ustvarila nenadzorovan in nekontroliran trg finančnih instrumentov, ki mu v največji meri primanjkuje transparentnosti.

Čeprav historični podatki delnic in njihovi trendi predstavljajo nizko stopnjo transparentnosti podatkov, še vedno ostajajo pomemben del kakovostne informacije za razumevanje in pravilno evalvacijo historičnih povezav. Z drugimi besedami povedano, pridobljena podatkovna baza ali podatkovni model, čeprav omejen, podaja večjo transparentnost trga in večje podatkovno razumevanje in povezovanje ekstremnih vzponov in padcev enotnih tečajev cen delnic, obsega poslovanja in vrednosti indeksa. V ekonomski terminologiji, je prvi del *hipoteze efektivnega trga* zadoščen s prikazovanjem historičnih podatkov enotnih tečajev cen delnic in dnevnega obsega poslovanja.

V prvem delu magistrskega dela so predstavljeni ključni pojmi za razumevanje opravljene analize, omejitve slovenskega trga in kompozicija indeksov domačega trga.

Za doseganje visoke stopnje transparentnosti bo poleg uporabe enotnih tečajev cen delnic in obsega poslovanja, uporabljena časovno-frekvenčna analiza (TFA). Metodološki pristopi TFA bodo aplicirani na enotne tečaje cen delnic in vrednosti indeksa. S časovno-frekvenčno analizo, historičnih podatkov sintetiziranega modela, bo izdelana aplikacija iskala ustrezne vzorce (zaporedja) v izbranih časovnih vrstah

(signalih) [24].¹

V [26] je bila ideja uporabe časovno-frekvenčne predstavitve (TFR), ki se uporabljajo v glavnem pri analizi signalov v tehničnih vedah in naravoslovju, prenesena na borzne podatke cen delnic in indeksov. Primerljiv indeks Istanbulske borze ISE-100, je bil uporabljen tako z linearnimi kot bilinearnimi TFRji. Pokazano je bilo, da se tehnike časovno-frekvenčne analize lahko uporabljajo za zaznavanje poslovnih ciklov. Prvotno je bila uporabnost TFR testirana na sintetiziranem signalu, nakar se je isti metodološki pristop prenesel na logaritmirane originalne podatke indeksa ISE-100. Omenjena študija je pokazala, da je za zaznavanje poslovnega cikla nad dejanskimi podatki najprimernejša Pageova porazdelitev [26].

Po drugi strani pa ugotavljajo v [15] in [16], da podatki slovenske borze niso najprimernejši reprezentativni vzorec za zaznavanje poslovnih ciklov. V raziskavah so bili uporabljeni mesečni podatki, ki sestavljajo ekonomski kazalnik industrijske proizvodnje za testiranje prisotnosti poslovnih ciklov. Študija je primerjala slovenski in nemški ekonomski sistem, kjer je bila izvedena časovno-frekvenčna analiza z valjčno transformacijo. Čeprav nimamo nobenega argumenta proti uporabljeni metodologiji, avtor za svoje prikaze ni uporabil še ostalih časovno-frekvenčnih predstavitev za potrditev rezultatov in popravek velikosti vzorca. V [26] je bil majhen vzorec vzrok takratnih računskih omejitev, po drugi strani pa je v [17], omejitev velikosti vzorca predstavljalo dejstvo, da so bili signali sestavljeni iz mesečnih vrednosti zajetih v obdobju osmih let.

V [18] avtor argumentira, da ni veliko študij uporabilo spektralno analizo za vrednotenje borznih podatkov, saj njihov spekter predstavlja "beli šum",² kar je po njegovem mnenju, napačno sklepanje in napačna interpretacija podatkov analize. Z vzorca vrednostnih papirjev je avtor dokazal, da spektrogram individualnih delnic ni beli šum, kar je bilo v nasprotju z dotedanjo analizo časovnega prostora in njene povezave med enotnimi tečaji in obsegom poslovanja vrednostnih papirjev. Dodatno je ugotovil, da pomanjkljiva uporaba vsakega podatka, ne poda pravilne ocene spektra obravnavanega procesa. Z drugimi besedami, za boljše analitično raven raziskave bi, poleg enotnih tečajev, morali biti zajeti tudi podatki o dnevnem trgovanju izbranega vrednostnega papirja.

V [15] je avtor pokazal časovno-frekvenčni pristop na drugem ekonomskem parametru (industrijska proizvodnja) slovenske ekonomije in ocenil dolžino poslovnega cikla na 33.3 mesecev. V ekonomskem indikatorju so bili podatki o delnicah in indeksu slovenske borze izključeni.

Z magistrskim delom smo zato hoteli ponovno preveriti smiselnost

¹V tem magistrskem delu signal predstavlja zaporedje dnevni enotnih tečajev cen delnic in vrednosti indeksa na slovenski borzi.

²Tak proces je definiran kot sekvenca neodvisnih, identično razporejenih slučajnih spremenljivk (IID), napak stacionarnega procesa

časovno-frekvenčne analize na izbranih delnicah in indeksu slovenske borze. Za boljše razumevanje je magistrska naloga razdeljena na tri poglavja:

1. Opis podatkovnega modela na kateri smo izvajali TFR analizo;
2. Teoretična predstavitev časovno-frekvenčnih predstavitev;
3. Časovno-frekvenčna analiza enotnih tečajev cen delnic in vrednosti indeksa.

1.1 OPIS PROBLEMA IN MOTIVACIJA MAGISTRSKEGA DELA

V magistrskem delu bo, poleg transparentnosti historičnih borznih podatkov cen delnic, obsega poslovanja in vrednosti indeksa, predstavljen nov pogled evalvacije borznih signalov, s pomočjo časovno-frekvenčne analize (TFA) in časovno-frekvenčnih predstavitev (TFR). Metodologija TFR za analizo delnic ali borznih indeksov še ni bila uporabljena na delnicah oziroma indeksu slovenske borze. Običajno se pri modeliranju visoko volatilnih signalov uporabljajo tehnike slučajnega sprehoda [26]. V našem delu bomo uporabili časovno-frekvenčno analizo borznih podatkov, kjer bomo gibanje enotnega tečaja delnic obravnavali kot časovni signal. Namen takšne obdelave bo predvsem vpeljava časovno-frekvenčne analize kot dodatnega instrumenta analize delnic in uporaba časovno-frekvenčne analize za detekcijo poslovnih ciklov v gibanju tečaja delnic. Pri tem bomo upoštevali naslednje hipoteze:

Hipoteza 1: Detekcija poslovnega cikla

Po izpostavljanju ciklične komponente v izbranih signalih, bo razvidna horizontalno porazdeljena energija pri različnih frekvenčnih vrednostih v časovno-frekvenčnem prostoru, kar se v ekonomiji označuje kot poslovni cikel.

Hipoteza 2: Večja intenzivnost razporeditve energije

Po podatkovnem filtriranju, bodo signali v bilinearnem razredu časovno-frekvenčnih porazdelitev pokazali večjo intenzivnost razporeditve energije ob spremembi trenda gibanja signala.

Hipoteza 3: Vpliv metode filtriranja na časovno-frekvenčno analizo

Izbira metode filtriranja in dolžine okna ali velikosti parametra glajenja vpliva na porazdelitev energije, napačno interpretacijo časovno-frekvenčnih slik in zaznavanja poslovnih ciklov.

V ta namen bo izdelan tudi ustrezen računalniški program, kjer bo združeno branje, predobdelava in časovno-frekvenčna analiza podatkov slovenske borze. Na ta način bo izveden dodatni analitični instrument za analizo gibanja tečaja delnic,

ki lahko predstavlja dodatno informacijo finančnim analitikom pri sprejemanju in vrednotenju njihovih odločitev.

2 OPIS PODATKOVNEGA MODELA

V tem poglavju bosta podrobneje razložena pojma *tehnična analiza* in *poslovni cikel*. Vsebina poglavja se bo nato usmerila na predstavitev osnovnih pojmov povezanih z Ljubljansko borzo ter podatkov, ki se dnevno beležijo in so prosto dostopni zunanjim opazovalcem. Za predstavitev osnovnih elementov tehnične analize bomo predstavili in opisali dve delnici z različnih kotacij in indeksa, ki so v preteklosti in v sedanjosti zaznamovali oziroma še vedno zaznamujejo stanje na slovenskem trgu kapitala. Opisane delnice bodo v četrtem poglavju uporabljene pri časovno-frekvenčni analizi.

2.1 VPLIVI NA CENE DELNIC (TEHNIČNA ANALIZA)

Kolikšna je dejanska cena delnice, kako se njena vrednost spreminja in katere informacije so dejansko vsebovane v taki vrednosti?

Vplivov na cene delnic je ogromno, kot denimo informacije o zaposlenosti, industrijski proizvodnji, političnih dogajanjih in v skrajnem primeru tudi vremenska napoved. Investitorji upoštevajo tri tipe razlogov za njihove posledične odločitve o trgovanju na borznih trgih, ki jih lahko razdelimo na osnovne razloge, tehnične razloge in tržno obnašanje. V magistrskem delu se bomo osredotočali le na tehnične razloge in jih upoštevali pri časovno-frekvenčni analizi dveh izbranih delnic in indeksa.

Tehnični razlogi so osnovni dejavniki, ki vplivajo na *tehnično analizo* trgovalnih vrednostnih papirjev. Cilj take analize je iskanje zaporedij (vzorcev) v konstantnem nihanju cen delnic. Osnova take analize sloni na historičnih podatkih cen delnic, s katerimi analitiki skušajo napovedovati nadaljnje nihanje cen v prihodnosti. Pri tehnični analizi imamo naslednje predpostavke:

1. Gibanje cen delnic ni naključno. Gibanje cen sledi nekemu trendu;
2. Vse informacije o ceni delnice, ki vplivajo na njeno gibanje, se že nahajajo v ceni delnice.

Končni cilj tehnične analize je ustrezno napovedati optimalni čas nakupa ali prodaje izbrane delnice za ustvarjanje čim višjega profita. V tehnični analizi se analitiki ne nanašajo samo na cene delnic, ko ustvarjajo odločitvene vzorce. Pomemben podatek predstavlja tudi obseg poslovanja. Pri tehnični analizi sta znana predvsem dva pojma: *medvedji* in *bikov trg*. Medvedji trg opisuje dogajanje na borzi, ko tečaji delnic padajo (ali pa se pričakuje, da bodo padali) skozi daljše časovno obdobje. Bikov trg opisuje dogajanje na borzi, ko tečaji delnic naraščajo skozi daljše obdobje [3].

Pri tehnični analizi cen delnic se v splošnem uporabljajo grafične predstavitve, indikatorji ali oscilatorji. Zaradi poglobljenega vpogleda v podatke so se razvile različne tehnike ali metode za obdelavo podatkov in s tem njihove grafične predstavitve. Splošne

metode zavzemajo analizo drsečih sredin, trenda podatkov ali analizo borznih indeksov, ki so splošni indikator stanja nekega trga. Večji kot je borzni trg, več indeksov opisuje njegovo dejansko stanje oziroma stanja posameznih segmentov trga, bodisi po regiji, industriji, obsegu kapitala, itd. Tak primer predstavljata turška in dunajska borza, katere del je tudi slovenska borza.

2.2 POSLOVNI CIKEL

Delnice so primerljive z barometrom zdravja ekonomije in so tudi glavni indikator poslovnega cikla ter predhodnik rasti in padcev ekonomske aktivnosti. (*Bloomberg news*)

V [20] zasledimo, da gibanja cen delnic in tako imenovanega borznega trga v resnici odražajo spremenljiva pričakovanja delničarjev v prihodnjih usmeritvah korporacijskih donosov. Poslovni cikel je kritični element pri izoblikovanju odločanja nad korporacijskimi donosi, saj so donosi, v času širjenja ekonomije, bistveno višji kot v času recesije. Ko delničarji pričakujejo močno naraščajočo ekonomijo, bodo poskrbeli za rast cen delnic in posledično izboljšanje profita na delnico. Če investitorji zaznajo prihod recesije, se tržno obnašanje odraža na cenah delnic zaradi pričakovanih nizkih donosov. Zaradi omenjenega razloga se smatra *delniški trg* kot predhodni indikator dejanskega ekonomskega poslovnega cikla, ki po svoji naravi napoveduje prihajajoče stanje ekonomije.

Burns in Mitchel, ki sta se ukvarjala z raziskovanjem poslovnih ciklov v začetku 20. stoletja, sta z opazovanjem različnih ekonomskih indikatorjev ugotovila, da fluktuacije poslovnih ciklov predstavljajo ponavljajoče dogodke, s precejšnjimi podobnostmi v različnih državah [8]. Obstaja veliko pogledov in teorij, zakaj se odražajo ponavljajoči cikli v nekem ekonomskem sistemu. V splošnem pa velja, da poslovni cikel predstavlja neko periodično in neregularno gibanje v ekonomski aktivnosti, ki je odraz fluktuacij ali spremembam v realnem bruto domačem proizvodu (BDP) ali drugih makroekonomskih indikatorjih, kot so: brezposelnost, stopnja inflacije, borzni indeksi, itd.

Če poslovni cikel opazujemo z gibanjem nekega ekonomskega indikatorja, potem periode poslovnega cikla razdelimo v štiri glavne faze:

1. ekonomska širitev iz rasti pod trendom do "normalnega" razmerja rasti,
2. ekonomska rast nad vzdrževanim ne inflacijskem nivoju,
3. ciklični vrh v rasti z nadaljnjim padanjem rasti do uskladitve s trendnim razmerjem,
4. rast, ki pade pod trend in zaključí fazni krog.

Vsaka faza poslovnega cikla ima relevantne implikacije nad prihodki različnih delniških sektorjev ali razredov. Cene delnic so zelo občutljive na posamezne faze poslovnega cikla. Obnašanje delnic v posamezni fazi poslovnega cikla lahko po [27] opišemo na naslednji način. Prva faza poslovnega cikla predstavlja ugodne razmere za lastništvo nad finančnimi instrumenti, predvsem delnicami. V tej fazi se začne ponovna rast delnic iz akumulacije zalog in poslovnih investicij. V zgodnjem času širjenja ekonomske aktivnosti, inflacija še vedno pada, čeprav se je povečala ekonomska aktivnost, kar se odraža tudi na trgu kapitala. V drugi fazi poslovnega cikla se opazi opozorilno obdobje na delniškem trgu, zaradi višanja obrestnih mer in dodatnega zanimanja za ostale investicije. V tem obdobju se razmerje med ponudbo in povpraševanjem delnic bistveno spremeni. Ponudba je omejena s kapaciteto, medtem ko je pospešek povpraševanja ekvivalenten pospešku celotne ekonomije. V tretji fazi poslovnega cikla se opazi odziv moderatorjev nad kontrolo previsoke rasti iz predhodnih faz, kar se odraža v napačnih odločitvah in porine obstoječo ekonomijo ponovno v fazo recesije. Močna monetarna pravila in počasna rast ekonomije se odražata na delnicah, kot faza višjih donosov in visoki volatilnosti na trgu kapitala. Četrta faza je najdonosnejša faza delnic zaradi visoke likvidnosti in pričakovanj novega obrata naraščajočega trenda v ekonomiji.

2.3 LJUBLJANSKA BORZA

Preden se osredotočimo na poglobljen opis podatkovnega modela je potrebno razumeti osnovno strukturo in razporeditev vrednostnih papirjev na slovenski borzi in klasifikacijo trgovalnih produktov. Najbolj znani in uporabljeni produkti so delnice, s katerimi se bomo v nadaljevanju podrobneje ukvarjali.³ Opis borzne strukture je povzet iz [22], časnika *Finance* in spletnega portala Ljubljanske borze [3]. Trgovanje na slovenski borzi poteka na dveh nivojih, in sicer poznamo avkcijsko (A) in neprekinjeno (N) trgovanje, ki ga lahko spremljamo na spletni strani oziroma v večini slovenskih časopisov in revijah. Ostale podrobnejše informacije o posameznih podjetjih, ki kotirajo na borzi, se lahko pridobi iz ostalih relevantnih virov: bilance stanja, spletna stran podjetja, spletna stran slovenske borze, itd. Spletna stran borze podaja podatke o članih uprave in nadzornem svetu ter o deležih lastništva posameznih podjetij. Struktura slovenskega borznega trga se je skozi leta spreminjala in adaptirala na inovacije iz tujih trgov. S 6. decembrom je prišlo do spremembe trgovalne platforme. Na spletnih straneh borze lahko pridobimo enotne tečaje cen delnic podjetij, ki na borzi ne kotirajo več ter zgodovinske podatke o pomembnih odločitvah, ki so zaznamovale kratkotrajne in dolgotrajne spremembe na trgu kapitala slovenske borze. Trenutna

³Podrobnejše informacije o finančnih produktih so opisane v [21] in [9].

struktura slovenskega trga je sestavljena iz več trgov,⁴ in sicer:

1. trg delnic
 - prva kotacija (8 delnic)
 - vstopna kotacija (38 delnic)
 - standardna kotacija (17 delnic)
2. trg obveznic (26 obveznic)
3. trg investicijskih kuponov
 - osnovna kotacija (4 finančni papirji)
4. trg investicijskih družb
 - delnice (3 finančni instrumenti)

Historični podatki o enotnih tečajih in obsegu poslovanja so prosto dostopni na spletnih straneh Ljubljanske borze za osebno uporabo. Za pridobitev celotne časovne vrste obstajajo določene omejitve, saj lahko uporabnik izbere le en finančni instrument za dobo enega leta. Poleg izbranega finančnega papirja se vzporedno izpišejo tudi vrednosti izbranega indeksa bodisi je to EURO stock, LJSE Composite (danes podatki niso več na voljo) bodisi SBI Top. Spletna aplikacija omogoča uporabniku grafično prikazovanje največ dveh finančnih papirjev hkrati za najdaljšo časovno dobo enega leta. Dnevne transakcije in spremembe v ceni uporabniku niso prosto dostopne v realnem času. Uporabniku je omogočen grafični prikaz obsega poslovanja in cene delnice za določen čas eno leto, ostale parametre oziroma tehnični del analize lahko uporabnik izrisuje le, če si je preko spletnega portala pridobil ustrezne podatke za osebno rabo. V magistrski nalogi smo želeli podatke združiti in tako podati večjo transparentnost.⁵

Tabela 1 predstavlja osnovne informacije o petnajstih naključno izbranih finančnih instrumentih. V tem primeru so bile to le delnice Ljubljanske borze iz prve, standardne in vstopne kotacije. Množica osmih delnic pripada prvi kotaciji, pet izbranih delnic spada v standardno kotacijo in dve izbrani delnici sta iz vstopne kotacije.

Tabela 1 podaja osnovne informacije o delnici, kratiki, ki je v splošni rabi v medijih, informacijo o članstvu v ustrezni borzni kotaciji, informacijo, ali je delnica del sestave indeksa SBI Top⁶ ter podatek o tem, kdaj so informacije o trgovanju postale dostopne na spletnih straneh Ljubljanske borze. Indeks SBI Top so na Ljubljanski borzi začel

⁴Število finančnih instrumentov na posameznem trgu izhaja iz časnika *Finance* na dan 15. 07. 2010.

⁵Dober zgled transparentnega in tržnega modela borznega trga predstavlja Istanbul Stock Exchange [7].

⁶Struktura SBI Top indeksa je bila pridobljena iz revizije na dan 20. 9. 2010 in je podrobneje prikazana v nadaljevanju.

uporabljati z dnem 15. 6. 2006. Indeks LJSE Composite se je na slovenski borzi uporabljal skozi celoten obstoj borze, njegova struktura se je skozi čas spreminjala. Po zadnjih informacijah pridobljenih s spletnega portala je indeks LJSE Composite prenehal z delovanjem na dan 15. 10. 2010, kar pomeni, da je SBI Top ostal kot edini pravi reprezentativni indeks na slovenskem trgu kapitala. Vsi izbrani finančni papirji vsebujejo enake podatke, pretežen pomen za nadaljnjo tehnično analizo pa predstavljata parametra enotnih tečajev cen delnic in vrednosti obsega poslovanja na posamezni dan.

Tabela 1: Zbrane delnice za časovno-frekvenčno analizo.

Ime delnice	Kratica	Kotacija	SBI Top	Začetek signala
Gorenje	GRVG	Prva	Da	02. 06. 1998
Interevropa	IEKG	Prva	Da	12. 01. 1998
Nova KBM	KBMR	Prva	Da	10. 12. 2007
Krka	KRKG	Prva	Da	10. 02. 1997
Luka Koper	LKPG	Prva	Ne	20. 11. 1996
Merkator	MELR	Prva	Da	04. 04. 1996
Petrol	PETG	Prva	Da	05. 05. 1997
Telekom	TLSG	Prva	Da	02. 10. 2006
Aerodrom Ljubljana	AELG	Standardna	Ne	08. 10. 1997
Istrabenz	ITBG	Standardna	Ne	16. 06. 1997
Pivovarna Laško	PILR	Standardna	Ne	17. 04. 2000
Sava	SAVA	Standardna	Ne	06. 01. 2000
Zavarovalnica Triglav	ZVTG	Standardna	Ne	01. 01. 2008
KD Group	KDHP	Vstopna	Ne	18. 07. 2001
NFD Holding	NF2R	Vstopna	Ne	10. 12. 2003

2.3.1 Parametri

Ob prenosu prosto dostopnih podatkov, uporabnih poleg vrednosti enotnih tečajev in obsega poslovanja pridobi še podatke o začetni ceni, povprečni ceni, najnižji ceni in najvišji ceni.⁷ Poleg prikaza historičnih podatkov enotnih tečajev in obsega poslovanja, preračunavanje ostalih parametrov prinaša dodatne informacije in različne vzorce. Informacije o prosto dostopnih podatkih in preračunanih parametrih se nahajajo v tabeli 2.⁸:

⁷Trgovanje na slovenskem trgu poteka od ponedeljka do petka med 9:00 in 13:00 (prazniki izključeni).

⁸Točni opisi izbranih parametrov so zapisani v [22].

Tabela 2: Parametri pridobljeni iz portala Ljubljanske borze uporabljeni za časovno-frekvenčno analizo.

Ime parametra	Opis parametra	Parameter
openingBid	Cena prvega trgovanja v dnev	NA
averageBid	Povprečna cena v trgovalnem dnev	NA
lowesBid	Najnižja cena v trgovalnem dnev	NA
highestBid	Najnižja cena v trgovalnem dnev	NA
percentChangePrice	Odstotna razlika med cenami delnice (p')	$p' = \frac{p_i - p_{i-1}}{p_i}$
percentChangeValue	Odstotna razlika med obsegom poslovanja (v')	$v' = \frac{v_i - v_{i-1}}{v_i}$
absoluteDifferencePrice	Absolutna razlika (ad) med dvema zaporednima cenama (p)	$ad = p_i - p_{i-1}$
absoluteDifferenceVolume	Absolutna razlika (ad) med dvema zaporednima vrednostima (v) obsega poslovanja	$ad = v_i - v_{i-1}$
differencePriceOpen	Razlika (d) med dejansko ceno (p) in začetno ceno (o) v trgovalnem dnev	$d = p - o$
differencePriceAverage	Razlika (d) med dejansko ceno (p) in povprečno ceno (a) v trgovalnem dnev	$d = p - a$
differencePriceHighest	Razlika (d) med dejansko ceno (p) in najvišjo ceno (h) v trgovalnem dnev	$d = p - h$
differencePriceLowest	Razlika (d) med dejansko ceno (p) in najnižjo ceno (l) v trgovalnem dnev	$d = p - l$

Vsaka delnica prinaša informacije o poslovanju, ki so zajete v posamezni tabeli. Zaradi večjega števila tabel in potrebe po povezovanju izbranih finančnih papirjev, podatkovni model povezuje vse objekte (vsaka delnica s svojimi parametri) za formiranje skupne entitete. Objekti so povezani s skupnim parametrom *datum*. Z drugimi besedami povedano, s takim pristopom povežemo skupaj elemente za delo v skupnem okolju. Podatkovna struktura je le veriga povezujočih objektov. SASov statistični modul *Enterprise guide* posebej prebere vsako tabelo iz podatkovne baze. SQL stavki so potrebni za spajanje, sortiranje in ostalo podatkovno manipulacijo znotraj ustvarjene podatkovne baze. SAS-ov podatkovni model se nahaja v Dodatku.

2.3.2 Predstavitev izbranih podatkov

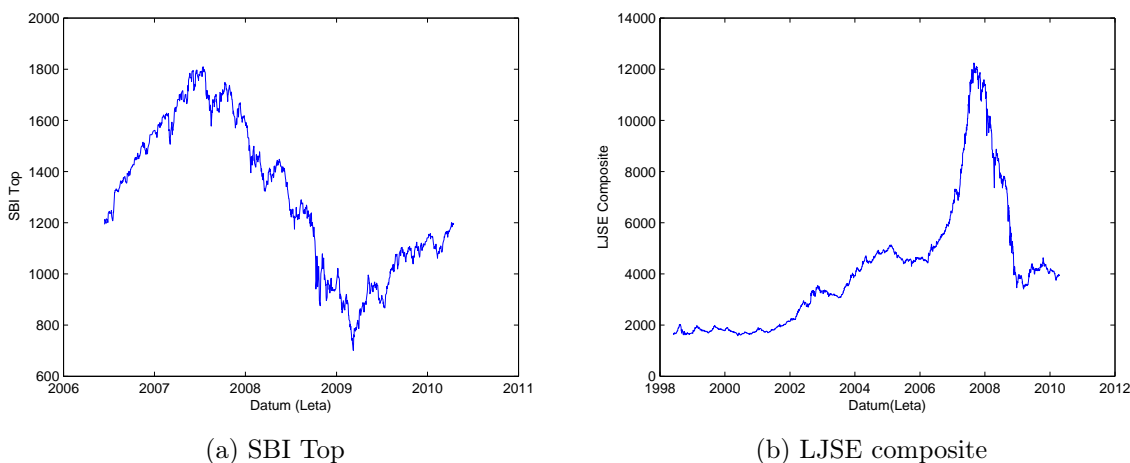
Izbira delnic, ki sestavljajo indeks SBI Top, se opravlja pod striktnimi pogoji poslovanja in obrata kapitala, katerega postavlja vodstvo slovenske borze. Za poglobljeno metodologijo se upoštevajo navodila iz [22]. V podatkovni strukturi se nahajajo še ostali, naključno izbrani vrednostni papirji, kot dobri predstavniki posamezne delniške kotacije. Za prikaz glajenja podatkov in različnih časovno-frekvenčnih porazdelitev, bodo uporabljeni podatki o enotnih tečajih delnic in obsegu poslovanja dveh slovenskih podjetij, Zavarovalnice Triglav in Gorenja, ter indeksa LJSE Composite. Podatki o trgovanju podjetja Gorenje so na voljo v elektronski obliki že od leta 1998, medtem

ko je Zavarovalnica Triglav pričela s trgovanjem po uvedbi denarne enote evro leta 2007. Obravnavani indeks je bil kljub vsem spremembam in modifikacijam prisoten na slovenskem trgu kapitala skozi celoten obstoj borznega trga. Podrobnejša predstavitev gibanja cen delnic in obsega poslovanja izbranih podjetij bosta zadostili pogoju transparentnosti.

Borzna indeksa

Ljubljanska borza je imela do druge polovice leta 2010 dva reprezentativna indeksa. Od samega začetka borznega trgovanja se je na trgu obdržal indeks LJSE Composite, vendar se je skozi leta spreminjal. Indeks je vseskozi zajemal večino delnic borznega trga. Na drugi strani, pa indeks SBI Top zajema le tiste delnice na slovenskem borznem trgu, ki so po oceni borznih strokovnjakov, zadostna informacija o stanju borznega trga.

Slika 1 predstavlja potek obeh indeksov. Obnašanje indeksov ima nekatere skupne lastnosti, in sicer globalni strmo naraščajoči trend med letoma 2007 in 2008, kateremu sledi padajoči trend vse do leta 2009. Indeks SBI Top se v enem obdobju na omenjenem časovnem intervalu obnaša drugače. Razlike v gibanju vrednosti indeksov so produkt različnega metodološkega pristopa porazdelitve deležev izbranih delnic za izračun indeksa. Metodologija izračuna bo predstavljena v nadaljevanju magistrskega dela.

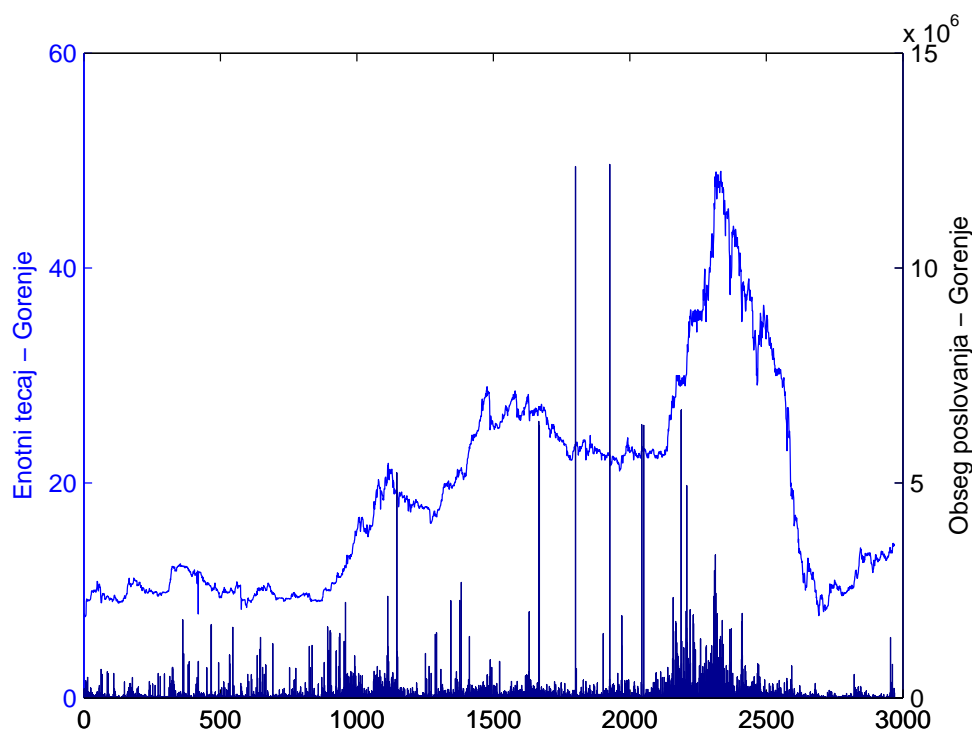


Slika 1: Potek gibanja slovenskih borznih indeksov LJSE Composite in SBI Top.

Gorenje

Slika 2 predstavlja gibanje enotnega tečaja cen delnic in obseg kapitala podjetja Gorenje. Podatki obeh parametrov se nahajajo na spletnem portalu Ljubljanske borze. Na sliki 2 so zbrani podatki od 02. 06. 1998 do 18. 04. 2010. Podatki so podani v dnevih, kjer se prvi dan ujema z začetnim datumom. Dan 2000 se približno ujema z letom 2006, dan 2500 se približno ujema z letom 2008 ter dan 3000 se približno ujema z letom 2010.

Enotni tečaji podjetja Gorenje so pričeli z globalnim naraščajočim trendom (bikov trg) v letu 2007, z začetno ceno 25 EUR, kateri se je rast beležila vse do prve polovice leta 2008, z najvišje zabeleženo ceno delnice 55 EUR. Enotni tečaji cen delnic podjetja Gorenje so doživeli veliko rast v tem časovnem obdobju. Padajoči trend (medvedji trg) se je na omenjeni delnici kazal vse do leta 2009. V primeru obsega poslovanja se večja likvidnost oziroma povečani obseg kapitala ni zaznal v času globalnega naraščanja in padanja vrednosti enotnih tečajev cen delnic. Posebni primeri obsega poslovanja so se zgodili v drugi polovici leta 2004 in prvi polovici leta 2005.

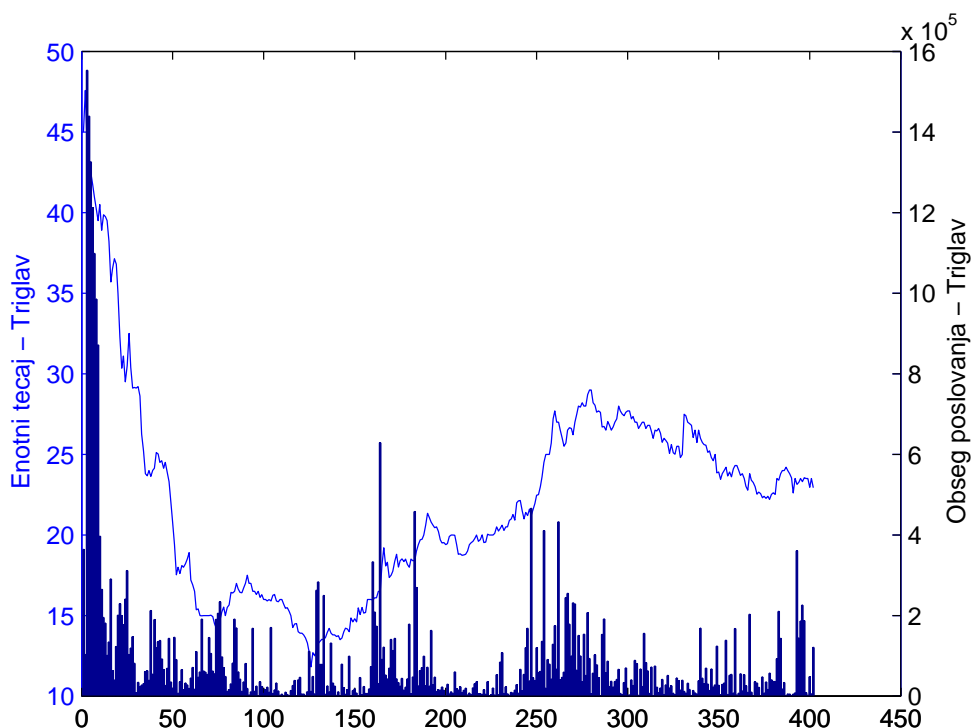


Slika 2: Enotni tečaji cen delnic in obseg poslovanja podjetja Gorenje po dnevih od začetka kotacije na borzi.

Zavarovalnica Triglav

Slika 3 prikazuje skupaj gibanje enotnega tečaja cen delnic in obseg poslovanja podjetja Zavarovalnice Triglav. Podjetje je pričelo kotirati na borzi v standardni kotaciji leta 2008. Na začetku poslovanja sta bila cena delnice in obseg poslovanja visoka, čemur je v relativno kratkem časovnem obdobju sledil padec. Cena delnic se v zadnjem obdobju vzpenja, medtem ko ima velikost obsega poslovanja naključno nihanje.

Visoke začetne vrednosti so odraz vstopa podjetja na borzni trg v času pričetka gospodarske krize. Gibanje cen ni doseglo pričakovane rasti, ampak se je trend zamenjal v smeri globalnega borznega in svetovnega trenda ob koncu leta 2008. V letošnjem letu (2010) se je cena stabilizirala pri 25 EUR na delnico.



Slika 3: Enotni tečaji cen delnic in obseg poslovanja podjetja Zavarovalnica Triglav po dnevih od začetka kotacije na borzi.

2.3.3 Indeksa Ljubljanske borze

Marca 2010 so bila sprejeta navodila o opisu in sestavi obeh borznih indeksov, ki delujeta na borznem trgu, LJSE Composite in SBI Top. Izvleček o metodologiji in sestavi indeksa SBI Top po zadnji reviziji je predstavljen v nadaljnjem podpoglavju in povzet iz [22]. Delnica je vrednostni papir, ki predstavlja gospodarsko solastnino delniške družbe. Osnovni kapital delniških družb je razdeljen na določeno število enakih delov - delnic. Te dajejo delničarju določene pravice. Navadne delnice dajejo pravico do dividende in sodelovanja v podjetju. Prednostne delnice dajejo pravico do vnaprej določene dividende, ne pa tudi sodelovanja v skupščini. Po drugi strani razlikujemo imetniške (prinosniške) in imenske delnice (se glasijo na ime in niso prenosljive). Če ima delniška družba možnost zahtevati soglasje za vsak prenos imenskih delnic, govorimo o delnicah z omejeno prenosljivostjo (vinkularnih delnicah). Nenazadnje, poznamo še lastne delnice, ki pa so tiste delnice lastne družbe, katerih lastnica je sama delniška družba [3].

LJSE Composite

LJSE Composite je indeks celotnega trga Ljubljanske borze. Indeks sestavljajo redne delnice izdajateljev, s katerimi se trguje na trgu delnic Ljubljanske borze. V sestavi

so vključene tako imenske kot prinosniške delnice. Sestava indeksa je zaznamovana kot tehtani indeks. Tehtanje poteka na osnovi tržne kapitalizacije z omejitvijo tako da na dan revizije, delež delnic nobenega izdajatelja v indeksu ne sme presegati desetih odstotkov. V izračunu tržne kapitalizacije nastopajo delnice določenega izdajatelja, s katerimi se trguje na trgu delnic Ljubljanske borze. Deleži se izračunajo po formuli (1). Omeniti velja, da je indeks celotnega trga v delovanju že od začetka delovanja Ljubljanske borze. Ob nedavnem sprejetju novih pravil borze z dnem 15. 10. 2010, je Ljubljanska borza prenehala z izračunavanjem omenjenega indeksa. Zaradi njegove časovne ustreznosti (podatki so na voljo od leta 1998) smo se vseeno odločili, da ga uporabimo kot primerne predstavnika za opazovanje poslovnih ciklov na slovenskem trgu kapitala.

Od marca 2010 se indeks izračunava po naslednji formuli [22]:

$$LJSEComposite = \frac{\sum_{i=1}^n p_{i,t} \cdot q_{i,R} \cdot RF_{i,R}}{Bazna - vrednost} \cdot 1000 \cdot C_t \quad (1)$$

kjerso :

R = zadnji dan podatkovne serije upoštevane pri reviziji indeksa;

T = trenutek pred začetkom izračuna indeksa po novi sestavi;

$p_{i,j}$ = tekoči enotni tečaj posameznih delnic, vključenih v indeks, na dan t ;

$q_{i,R}$ = število delnic posamezne izdaje delnic vključene v indeks;

$RF_{i,R}$ = faktor določitve deleža posamezne izdaje delnice, vključene v indeks, na dan R ;

$C_t = C_{t-1} \cdot \frac{P_{i-1}}{P_i}$;

P_{i-1} = vrednost indeksa po stari sestavi na dan pred pričetkom izračuna indeksa po novi sestavi;

P_i = vrednost indeksa po novi sestavi na dan pred pričetkom izračuna indeksa po novi sestavi.

SBI Top

Indeks SBI Top predstavlja prvi pravi slovenski blue chip⁹ indeks Ljubljanske borze. Njegova funkcija je, da sledi najboljšim delnicam na slovenski borzi, ki predstavljajo temelj za razvoj naprednejših finančnih instrumentov. Istočasno je omenjeni indeks indikator, ki vsebuje informacije o gibanju največjih in najbolj volatilnih delnic na Ljubljanski borzi.

Prinosniške delnice so lahko vključene v strukturo indeksa SBI Top, če izdajatelj

⁹Znana in uveljavljena delniška družba, ki slovi po stabilnem poslovanju in rednih izplačilih dividend ter kotira na najpomembnejših svetovnih borzah. Na Ljubljanski borzi se izraz uporablja za izdajatelje Prve kotacije [3].

zagotavljajo transparentnost o lastništvu družbe, ki presega 5% delež. V indeks so lahko vključene delnice, ki sestavljajo indeks LJSE Composite in izpolnjujejo kriterije za vključitev v indeks SBI Top. V magistrskem delu se ne bomo osredotočali na vse podrobnosti kriterijev za vključitev delnice v omenjeni indeks. Število delnic v indeksu SBI Top je lahko med petimi in največ desetimi delnicami. Če pogoje za vključitev v indeks izpolnjuje manj kot 5 delnic, se v indeks uvrstijo delnice, ki najbolj izpolnjujejo kriterije za vključitev. Ostale kriterije lahko bralec pridobi iz [22].

Od marca 2010 se indeks SBI Top izračunava po spodnji enačbi [22]:

$$SBIT_{op} = \frac{\sum_{i=1}^n p_{i,t} \cdot q_{i,R} \cdot FF_{i,R} \cdot RF_{i,R}}{\text{Bazna} - \text{vrednost}} \cdot 1000 \cdot C_t \quad (2)$$

kjerso :

R = zadnji dan podatkovne serije upoštevane pri reviziji indeksa;

T = trenutek pred začetkom izračuna indeksa po novi sestavi;

$p_{i,j}$ = tekoči enotni tečaj posameznih delnic, vključenih v indeks, na dan t ;

$q_{i,R}$ = število delnic posamezne izdaje delnic vključene v indeks;

$RF_{i,R}$ = faktor določitve deleža posamezne izdaje delnice vključene v indeks, na dan R ;

$FF_{i,R}$ = float free faktor delnic, vključenih v indeks, na dan R ;

$C_t = C_{t-1} \cdot \frac{P_{i-1}}{P_i}$;

P_{i-1} = vrednost indeksa po stari sestavi na dan pred pričetkom izračuna indeksa po novi sestavi;

P_i = vrednost indeksa po novi sestavi na dan pred pričetkom izračuna indeksa po novi sestavi.

V tabeli 3 so predstavljene delnice in deleži, ki so po reviziji 20. 09. 2010 sestavljale indeks SBI Top.

Tabela 3: Delnice, deleži in parametri, ki sestavljajo indeks SBI Top.

Ime	Cena (31.8.10)	Število delnic	FF	RF	Kapitalizacija	Delež
Krka	66.02	35.426.120	0.80	0.25	467.766.488	29.44%
Petrol	239.51	2.086.301	0.70	1.00	349.929.008	22.02%
Mercator	136.14	3.765.361	0.60	1.00	307.569.748	19.36%
Telekom	91.02	6.535.478	0.30	1.00	178.457.762	11.23%
Nova KBM	10.52	26.081.979	0.60	1.00	164.629.451	10.36%
Gorenje	12.64	15.906.876	0.60	1.00	120.637.748	7.59%

3 ČASOVNO-FREKVENČNA ANALIZA

Množica zaporednih merjenj se v splošnem imenuje časovna vrsta. V tem magistrskem delu jo bomo poimenovali *diskretni časovni signal*, *signal v času* ali krajše *signal*. Takšne meritve lahko razdelimo na obdelavo v časovni prostor, frekvenčni prostor in časovno-frekvenčni prostor. Analizo se lahko aplicira na singularne ali množične signale.

Časovni prostor $[s(t)]$ podaja informacije o razvoju časovnega signala, frekvenčni prostor $[s(f)]$ ali *spektralni prostor* podaja informacije o periodičnosti signala ter časovno-frekvenčni prostor $[s(t, f)]$ podaja informacije o razvoju časovnega signala in o njegovi periodičnosti v skupnem časovno-frekvenčnem prostoru. Poglavje je razdeljeno na dva podpoglavja:

1. Predstavitev signala,
2. Bilinearna, kvadratna ali energijska časovno-frekvenčna obdelava.

3.1 PREDSTAVITEV SIGNALA

3.1.1 Osnovni pojmi

Preden se prične pridobivati analitično zahtevnejše informacije o nekem časovnem signalu se ga prvotno spozna ali obdela v časovnem prostoru. Takšni so na primer signali o izbranih delnicah in indeksih, ki so predstavljeni v drugem poglavju. Časovno-frekvenčne predstavitev (TFR) so uporabne predvsem takrat, kadar v času analiziramo nestacionarne signale.¹⁰ Časovno-frekvenčne predstavitev se delijo na linearne ali atomarne predstavitev in bilinearne ali kvadratne predstavitev. Bilinearno obdelavo obravnavata razreda kvadratnih energijskih porazdelitev Cohenovega in afinega razreda [6]. V nadaljevanju bodo predstavljene lastnosti in praktične aplikacije porazdelitev le v Cohenovem razredu. Predstavitev bodo sestavljali matematični in grafični opisi dveh sintetiziranih signalov (stacionarnega in nestacionarnega), kjer bomo ustvarili poslovne cikle z nastavljanjem periodičnih in amplitudnih vrednosti signalu. Podobno analizo borznega trga, z uporabo linearne in bilinearne Cohenovega razreda, so izvedli že v [26]. Izstopala je kvadratna Pageova porazdelitev kot najbolj učinkovita porazdelitev za razpoznavanje periodičnosti (poslovnih ciklov) v sintetiziranem in dejanskem signalu borznega indeksa ISE-100.

Analiza TFR nad borznimi podatki je potrebna iz dveh razlogov. Prvič tehnike analiz signala le v časovnem prostoru, nimajo ustrezne moči za analizo nestacionarnih komponent signala, kjer se zaznavajo skrite periodičnosti; v tem primeru so to poslovni ali borzni cikli. Drugič, spekter v splošnem poda informacijo o frekvencah, ki so

¹⁰Za več informacij o stacionarnosti in nestacionarnosti glej [19].

vsebovane v signalu in njihove ustrezne amplitude in faze, ampak ne poda informacije o tem, kdaj so omenjene frekvence nastopile v času. TFR pa združujejo informacije obeh prostorov v skupno analizo, kjer izvajamo in opazujemo porazdelitve energije signala v času in frekvenci (Cohenov razred).

3.1.2 Časovni prostor

Predstavitev signalov v času je najbolj običajen prikaz podatkov¹¹ delnic in vrednosti borznega indeksa. Orodij za analizo signalov v časovnem prostoru je veliko, med katerimi so znane analize ARMA, ARIMA, ARFIMA, GARCH, itd. Natančnejši opisi tehnik obdelave časovnih vrst so predstavljene v [19], [4], [25] in [10].

Običajno se pri analizi časovnih vrst ocenjuje iz variabilnosti signala komponente, ki predstavljajo trend, sezonsko variabilnost in ostale ciklične spremembe. Ostala variabilnost je prepuščena nepravilnim fluktuacijam [5]. Tak pristop je prevladujoč v primerih, ko sta trend in sezonalnost glavna faktorja variabilnosti v podatkih. Sezonalnost pomeni, da se lastnosti nekega časovnega obdobja ponavljajo vsako leto. Ekonomski podatki, kot so podatki o borznem trgu, so včasih zaznamovani z vplivi poslovnih ciklov periode od 3 do 4 leta, pa tudi več kot 10 let [26]. V našem primeru bomo za razpoznavanje poslovnega cikla v signalu ali časovni vrsti analizirali v časovno-frekvenčnem prostoru. V časovnem prostoru formalno zapišemo analizo s:

$$\tau : s(t) \rightarrow S(t).$$

Sintetizirani signali

Za predstavitev časovno-frekvenčne analize bomo najprej sintetizirali signal z željenimi lastnostmi. Signalom bomo določili periodo in amplitudo. Razlog konstrukcije takega signala je preverjanje ustreznosti časovno-frekvenčnih rezultatov.

Za teoretično spoznavanje časovno-frekvenčnih predstavitev bosta izdelana in uporabljena dva različna sinusna signala. Prvi, *enostavni sintetiziran signal* je sestavljen iz treh sinusnih funkcij, ki se ne spreminjajo po času, medtem ko je drugi, *sintetiziran signal s spremembo amplitude* sestavljen iz treh sinusnih funkcij, ki se po času spreminjajo.

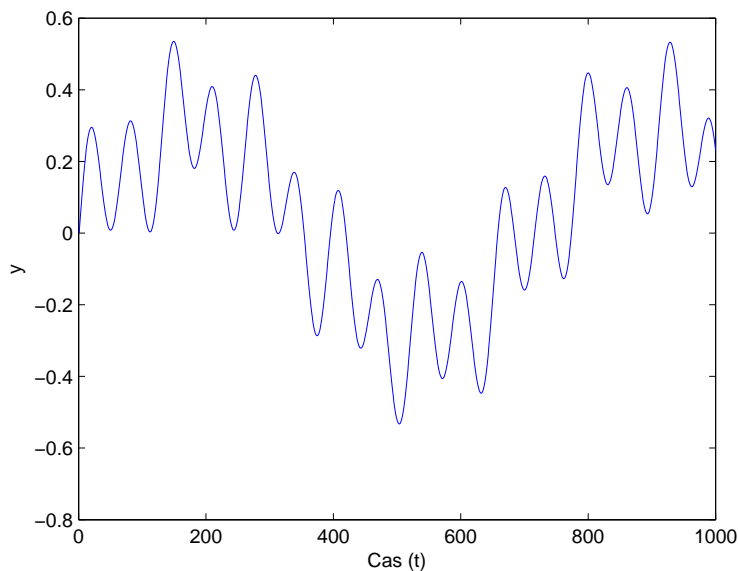
Enostavni sintetiziran signal

Enostavni sintetiziran signal je sestavljen iz treh sinusnih funkcij z različnimi periodami in amplitudami, ki se ne spreminjajo skozi čas. To je primer stacionarnega signala, ki ga lahko zapišemo:

$$S_{BCE}(t) = a_1 \sin(\omega_1 t) + a_2 \sin(\omega_2 t) + a_3 \sin(\omega_3 t), \quad (3)$$

¹¹V našem primeru bomo analizirali dnevne enotne tečaje cen delnic in vrednosti borznega indeksa.

kjer je $\omega = \frac{2\pi}{P}$. Pri sestavi enostavnega signala smo nastavili periode $P_1 = 715$, $P_2 = 130$ in $P_3 = 65$ trgovalnih dni oziroma, v primeru P_2 in P_3 , trgovalno polletje in trgovalno četrtletje. Amplitude signala so bile nastavljene na vrednosti $a_1 = 0.3$, $a_2 = 0.09$ in $a_3 = 0.18$. Slika 4 prikazuje predstavitev signala na intervalu $0 < t < 1000$ dni.



Slika 4: Enostavni sintetiziran signal.

Stacionarni signal je sestavljen iz treh različnih sinusnih valovanj. Vodilni cikel z najvišjo amplitudo se v zadanem poteku signala (1000 dni) ponovi 1.4 krat, polletno valovanje z najnižjo amplitudo se ponovi 7.7 krat in 65 dnevna perioda se ponovi 15.4 krat, kar je možno razbrati s slike 4.

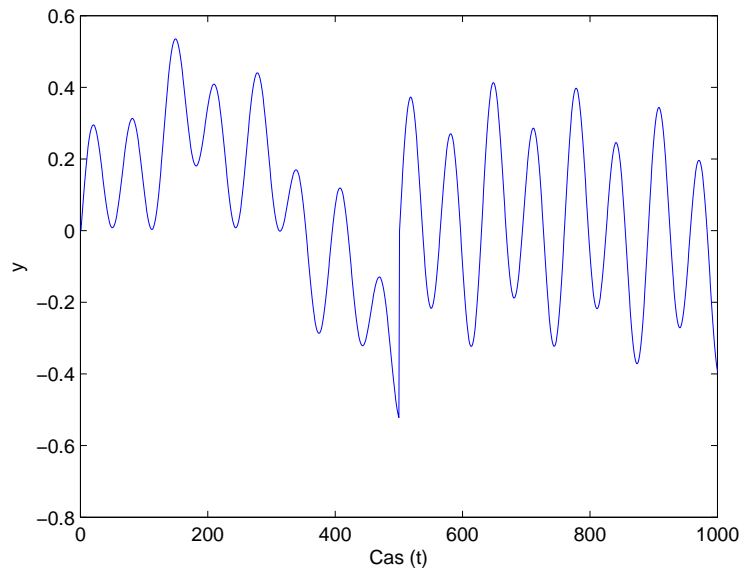
Sintetiziran signal s spremembo amplitude

Sintetiziran signal s spremembo amplitude je signal sestavljen iz treh sinusnih funkcij z enakimi periodami kot pri enostavnem sintetiziranem signalu, amplitude sinusnih funkcij pa se na polovici trajanja signala spremenijo. Signal je primer nestacionarnega signala. Signal je tako sestavljen iz treh sinusnih valovanj, ki na polovici trajanja signala, spremenijo amplitude:

$$S_{BCC} = \begin{cases} a_1 \sin(\omega_1 t) + a_2 \sin(\omega_2 t) + a_3 \sin(\omega_3 t); & 0 \leq t \leq \frac{T}{2}, \\ a_4 \sin(\omega_1 t) + a_5 \sin(\omega_2 t) + a_6 \sin(\omega_3 t); & \frac{T}{2} \leq t \leq T, \end{cases}$$

kjer je $\omega = \frac{2\pi}{P}$. Pri sestavi sintetiziranega signala s spremembo amplitude smo upoštevali periode $P_1 = 715$, $P_2 = 130$ in $P_3 = 65$ trgovalnih dni oziroma, v primeru P_2 in P_3 , trgovalno polletje in trgovalno četrtletje. Amplitudam signala so bile nastavljene

vrednosti na časovnem intervalu $0 \leq t \leq \frac{T}{2}$ $a_1 = 0.3$, $a_2 = 0.09$ in $a_3 = 0.18$, medtem ko smo na časovnem intervalu $\frac{T}{2} \leq t \leq T$ vrednosti amplitude spremenili na 0.05, 0.09 in 0.3. Slika 5 prikazuje potek sestavljenega signala s spremembo amplitude.



Slika 5: Sintetiziran signal s spremembo amplitude.

3.1.3 Frekvenčni prostor

Ciklično obnašanje neke časovne vrste se najbolje prepozna ali opiše s pomočjo *Fourierjeve transformacije (FT)* časovnega signala v spektralni prostor. Preslikave iz časovnega v frekvenčni prostor zapišemo kot:

$$\tau : s(t) \rightarrow S(f)$$

Fourierjeva transformacija

Fourierjeva transformacija je matematično orodje, ki omogoča predstavitev signala v frekvenčnem prostoru. Frekvenčna analiza podaja informacije o signalu, natančneje o njegovi periodičnosti.

Fourierjeva transformacija \mathcal{F} aperiodičnega signala $s(t)$ in inverzna Fourierjeva transformacija \mathcal{F}^{-1} sta definirani kot:

$$F(\omega) = \mathcal{F}(s(t)) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j\omega t} dt, \quad (4)$$

$$s(t) = \mathcal{F}^{-1}(F(\omega)) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega)e^{j\omega t} d\omega. \quad (5)$$

V primeru periodične funkcije lahko signal zapišemo s Fourierjevo vrsto:

$$\overline{s(t)} = \sum_{-\infty}^{\infty} F(n)e^{jn\omega t}, \quad (6)$$

$$F(n) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} s(t)e^{-jn\omega t} dt, \quad (7)$$

kjer je $\omega = \frac{2\pi}{T}$, T je perioda signala in $F(\omega)$ je Fourierjeva transformacija ob frekvenci ω in $j = \sqrt{-1}$. Ker je $F(\omega)$ v splošnem kompleksna funkcija, jo lahko zapišemo s $F(\omega) = |F(\omega)|e^{j\Theta(\omega)}$, kjer predstavlja $|F(\omega)|$ amplitudni spekter in $\Theta(\omega)$ fazni spekter. $|F(\omega)|^2$ predstavlja močnostni spekter.¹²

Glavna pomanjkljivost Fourierjeve metode je ta, da če se statistične lastnosti časovne in spektralne vrednosti signala spreminjajo skozi čas, potem s Fourierjevo transformacijo izgubimo časovno informacijo o spektralnih dogodkih v signalu. Zato uporabljamo časovno-frekvenčno analizo.

3.2 BILINEARNA (KVADRATNA) ČASOVNO-FREKVENČNA ANALIZA

Kot smo opazili pri spoznavanju osnovnih pojmov in predstavitvi sintetiziranega signala, enostavna analiza ne podaja zadostno količino informacij o nestacionarnih signalih, ki imajo več kot eno frekvenčno komponento in različne amplitude. Z drugimi besedami, v časovnem prostoru opazimo potek signala ne pa spreminjanje vrednosti amplitud v signalu.

V nadaljevanju se bomo posvetili predstavitvi časovno-frekvenčnih signalov. V časovno-frekvenčnem prostoru bodo predstavljene predstavitve v 2D prostoru, definirane kot par (t, f) . Takim predstavitev pravimo časovno-frekvenčne predstavitve (ang. time-frequency representations (TFR)), kar lahko zapišemo s preslikavo:

$$\tau : s(t) \rightarrow T_s(t, f).$$

Za enostavno karakterizacijo signala v časovnem in frekvenčnem prostoru je dobro upoštevati njegovo povprečno lokalizacijo in razpršenost izbrane predstavitve (prostora). Če obravnavamo trenutni energiji $|s(t)|^2$ in $|S(f)|^2$ kot verjetnostne porazdelitve, potem lahko izračunamo:

povprečen čas:

$$t_m = \frac{1}{E_s} \int_{-\infty}^{\infty} t|s(t)|^2 dt, \quad (8)$$

¹²V [19] je na strani 120 podan spisek Fourierjevih transformacij in transformacije nekaterih tipičnih signalov.

povprečno frekvenco:

$$f_m = \frac{1}{E_s} \int_{-\infty}^{\infty} f |S(f)|^2 df, \quad (9)$$

časovni razmak (varianca):

$$T^2 = \frac{4\pi}{E_s} \int_{-\infty}^{\infty} (t - t_m)^2 |s(t)|^2 dt, \quad (10)$$

frekvenčni razmak (varianca):

$$B^2 = \frac{4\pi}{E_s} \int_{-\infty}^{\infty} (f - f_m)^2 |S(f)|^2 df, \quad (11)$$

kjer je E_s končna energija signala:

$$E_s = \int_{-\infty}^{\infty} |s(t)|^2 dt < \infty. \quad (12)$$

Funkciji $|s(t)|^2$ in $|S(f)|^2$ se upoštevata kot energijske porazdelitve v času ali v frekvenci. Na podoben način lahko definiramo energijske porazdelitve časa in frekvence kot $\rho_s(t, f)$:

$$E_s = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \rho_s(t, f) dt df. \quad (13)$$

V splošnem je energija signala definirana kot kvadratna porazdelitev, odkoder izhaja ime bilinearne ali kvadratne porazdelitve. Iz enačb (12) in (13) je možno izpeljati značilnosti, da energijske porazdelitve zadostujejo robnima pogojema:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \rho_s(t, f) dt = |S(f)|^2, \quad (14)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \rho_s(t, f) df = |s(t)|^2, \quad (15)$$

kar pomeni, da integriranje časovno-frekvenčne gostote po eni spremenljivki poda rezultat gostote energije, ki velja za drugo spremenljivko (parcialno odvajanje).

Če je signal predstavljen v časovno-frekvenčnem prostoru, se mora lokacija povprečne vrednosti (t_m, f_m) in razmaka standardnega odklona definiranti v obeh prostorih (T za časovni in B za frekvenčni prostor).

Produkt $T \times B$ ima zanimivo lastnost. Če pri definiciji (12) upoštevamo *Cauchy-Schwarzovo neenakost*, je možno pokazati, da je:

$$T \times B \geq 1. \quad (16)$$

To pa pomeni, da omejitev produkta v (16) podaja spodnjo mejo ločljivosti predstavitve energije signala v časovno-frekvenčnem prostoru. Lastnost pravi, da je nemogoče

pridobiti sočasno visoko časovno in frekvenčno ločljivost. Taka lastnost se imenuje *Heisenberg-Gaborjev princip*, kar bomo podrobneje spoznali v nadaljevanju.

Analitični signal

V primeru realnega signala je funkcija spektralne gostote $|S(f)|^2$ energije simetrična frekvenci funkcije f , ker velja $S(-f) = S(f)$. To pomeni, da je povprečna vrednost frekvence f vedno enaka 0. V tem primeru realni signal $s(t)$ dodatno opišemo s t.i. *Hilbertovo transformacijo*, ki odpravi slabe lastnosti simetrije.

Realni signal $s(t)$ je asociiran z vrednostjo kompleksnega signala $s_a(t)$, definiranega kot:

$$s_a(t) = s(t) + jHT(s(t)), \quad (17)$$

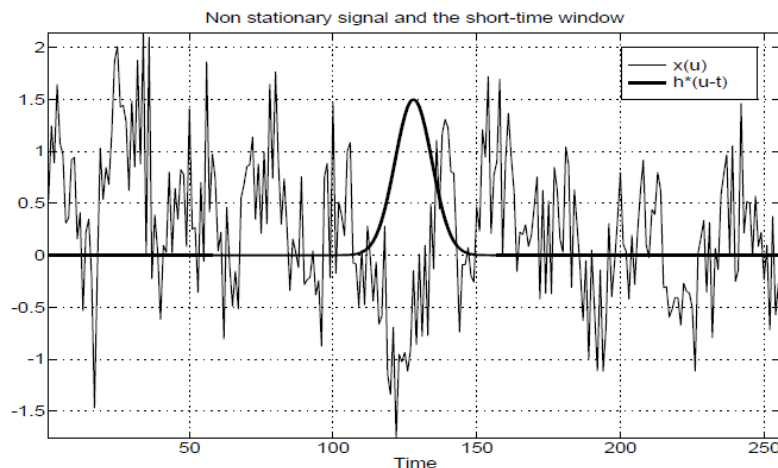
kjer je $HT(s(t))$ Hilbertova transformacija signala s ; $s_a(t)$ se imenuje analitični signal, ki se ujema z realnim signalom $s(t)$. Signal $s_a(t)$ je analitičen, ker zadostuje *Cauchy-Reimannovim* lastnostim odvajanja in ima naslednje lastnosti [28]:

$$S_a = \begin{cases} 0 & za \ f < 0 \\ S(0) & za \ f = 0 \\ 2(S(f)) & za \ f > 0. \end{cases}$$

Tako definiran analitični signal ima odstranjene negativne vrednosti frekvence, striktno pozitivne vrednosti pa so podvojene.

Časovno-frekvenčna ločljivost

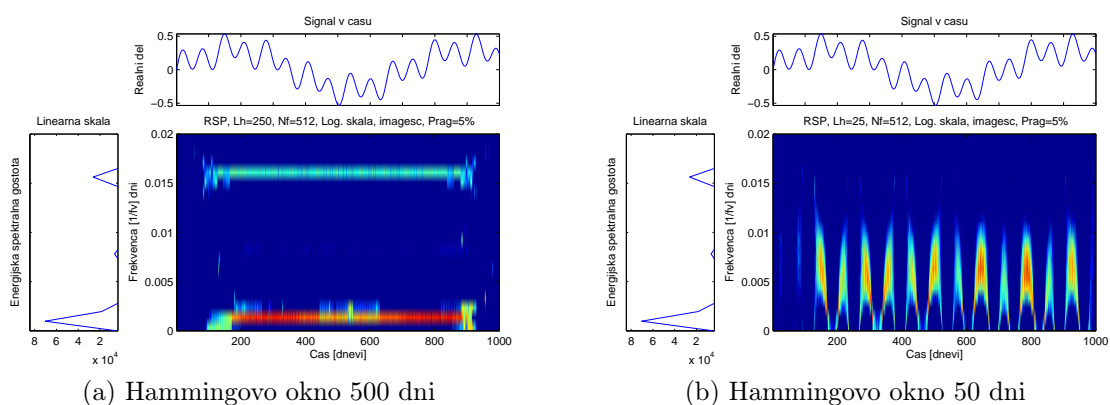
Nekatere časovno-frekvenčne predstavitve, npr. spektrogram, pri izračunu uporabljajo konvolucijo signala z okensko funkcijo. Ker množenje z relativno kratkim oknom $h(u-t)$ efektivno zmanjšuje signal v soseščini analize okrog analizirane točke $u = t$, TFR tako opisuje *lokalni* spekter signala $s(u)$ okoli točke t . Na sliki 6 je predstavljeno kratkočasovno okno $h(t)$ s središčem v točki $t = 0$ in $f = 0$.



Slika 6: Signal $s(u)$ in kratkočasovno okno $h(u - t)$ s središčem v času t .

Dolžina in oblika oknske funkcije bistveno vpliva na časovno in frekvenčno ločljivost TFR. Daljše okno pomeni boljše frekvenčno in slabšo časovno ločljivost. Krajše okno pa obratno. V to se lahko prepričamo, če enkrat izberemo $h(t) = \delta(t)$ ¹³ in drugič $h(t) = 1$, glej [28].

V našem primeru bomo pokazali, kako dolžina okna vpliva na časovno in frekvenčno kombinacijo enostavnega sintetiziranega signala s tremi periodami. V prvem primeru, pri dani TFR, je izbrano Hammingovo okno dolžine 500 dni. Slika 7a kaže, da z dolgim oknom se doseže boljše frekvenčno ločljivost, vendar ni mogoče razpoznavati komponent signala v času. V drugem primeru, slika 7b, TFR uporablja kratko Hammingovo okno s 50 dnevi, kar vpliva na poslabšano frekvenčno ločljivost in izboljšano razpoznavanje časovnih signalov v času.



(a) Hammingovo okno 500 dni

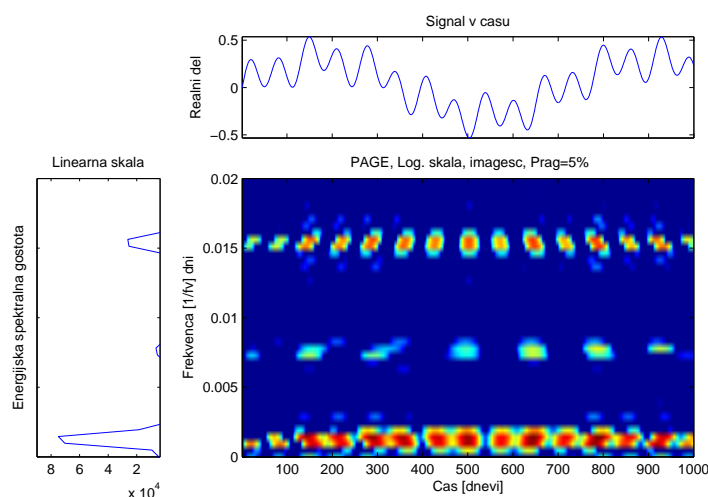
(b) Hammingovo okno 50 dni

Slika 7: Prikaz frekvenčne in časovne ločljivosti signala z uporabo različnih dolžin Hammingovega okna.

¹³Delta funkcija predstavlja Diracov impulz

3.2.1 Poslovni cikli v časovno-frekvenčnem prostoru

Preden določimo najustreznejše bilinearne časovno-frekvenčne porazdelitve, bomo podrobneje predstavili slike TFR analize. Slike vsake TFR so razdeljene na tri dele. V glavi slike je predstavljen analizirani signal (časovni prostor), na levem robu je predstavljen signal z ustrezno FT v spektralnem prostoru, povezava med obema predstavitevama (prostoroma) pa je osrednja slika, ki predstavlja porazdelitev energije signala v časovno-frekvenčnem prostoru. Vsaka slika bo izdelana v logaritemski skali, kot je prikazano na sliki 8.



Slika 8: Poslovni cikli v časovno-frekvenčnem prostoru.

TFR predstavitev ima na abscisni osi zabeležen čas (v dnevih), medtem ko so na ordinatni osi zabeležene vrednosti normirane frekvence f . Normirana frekvenca je definirana kot delež frekvence vzorčenja fv . V našem primeru je $fv = dan^{-1}$. Ko iščemo ustrezno periodo v *dnevih*, je normirana frekvenca označena kot $\frac{1}{fv}$ dni, kar pomeni, če uporabimo inverzno vrednost normirane frekvence, dobimo periodo izraženo v dnevih. Primer je v tabeli 4:

Tabela 4: Poslovni cikli izraženi z normirano frekvenco in številom dni.

	fv	Dnevi
P_1	0.0014	714.3
P_2	0.0075	133.3
P_3	0.016	62.5

3.2.2 Spektrogram

Spektrogram je časovno-frekvenčna predstavitev, ki spada med energijske porazdelitve in je najbolj uporabljena energijska predstavitev signalov v časovno-frekvenčnem

prostoru. Spektrogram je izračunan kot kratkočasovni močnostni spekter signala $s(t)$ pomnoženega z okensko funkcijo $h(t)$.

$$S_s(t, f) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} s(u)h(u-t)e^{-j2\pi fu} du \right|^2. \quad (18)$$

Spektrogram predstavlja realne ne negativne energijske porazdelitve. S $S_s(t, f)$ je mogoče opazovati energijo signala v časovno-frekvenčnem prostoru s središčem v točki (t, f) .

Lastnosti spektrograma

1. ohranitev premikov

Neposredno iz definicije spektrograma velja, da se vrednosti spektrograma za translacije po času in frekvenci ohranjajo:

$$y(t) = s(t - t_0) \Rightarrow S_y(t, f) = S_s(t - t_0, f)$$

$$y(t) = s(t) \exp[j2\pi f_0 t] \Rightarrow S_y(t, f) = S_s(t, f - f_0).$$

Predstavitve, ki zadoščajo temu pogoju, spadajo v *Cohenov razred*.

2. časovno-frekvenčna ločljivost

Časovno-frekvenčna ločljivost je omejena s principom nedoločnosti (16). Ravno tako tudi za to predstavitev velja princip nedoločnosti, kar predstavlja glavno slabost te predstavitve.

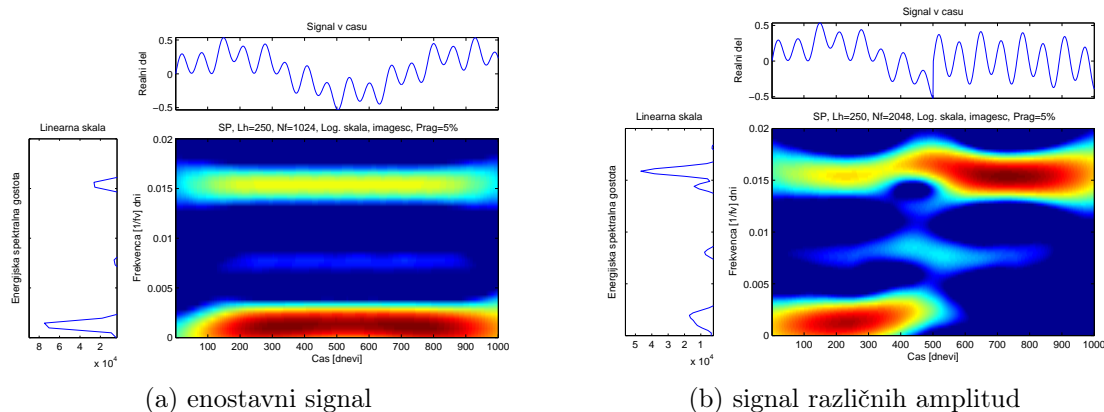
3. pojav interference

Spektrogram je bilinearna (kvadratna) predstavitev, torej v tem primeru ne velja lastnost linearnosti, ampak lastnost *kvadratne superpozicije*, torej:

$$y(t) = s_1(t) + s_2(t) \Rightarrow S_y(t, f) = S_{s_1}(t, f) + S_{s_2}(t, f) + 2\Re\{S_{s_1, s_2}(t, f)\},$$

kjer je $S_{s_1, s_2}(t, f) = F_{s_1}(t, f)F_{s_2}^*(t, f)$ križni spektrogram signalov in \Re predstavlja realni del. Križni členi predstavljajo pojav interference na slikah kvadratnih predstavitev. Da se pokazati, da so interferenčni členi izraziti, v primeru ko se spektrograma $S_{s_1}(t, f)$ in $S_{s_2}(t, f)$ prekrivata. Prispevek križnih členov spektrograma pa je manjši, če so komponente $s_1(t)$ in $s_2(t)$ signala čimbolj narazen, kar je posledica slabe ločljivosti spektrograma. V tem primeru predstavlja slabša ločljivost prednost v primerjavi z ostalimi kvadratnimi predstavitvami.

Za predstavitev spektrograma bomo uporabili oba sintetizirana signala, ki smo jih predstavili v uvodnem delu. V obeh primerih se bo analiza izvedla nad analitičnim signalom in z uporabo dovolj velikega Hammingovega okna (ker nas zanima dobra frekvenčna lokalizacija, smo določili dolžino okna 500 dni), kjer bo moč opazovati spektrogramove prednosti (interferenca) in določiti poslovne cikle v obeh signalih.



Slika 9: Spektrogram enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.

Na sliki 9a je predstavljen spektrogram enostavnega sintetiziranega signala in uporabo Hammingovega okna 500 dni. Močno porazdelitev energije skozi celoten potek signala lahko opazimo na vrednosti normirane frekvence $0.002 fv$. Znatno je opaziti manjšo moč energije ob začetku in koncu signala, kar je posledica uporabe Hammingovega okna. Druga signifikantna porazdelitev energije, zarisana v modri barvi, se nahaja na vrednosti normirane frekvence $0.016 fv$. Tudi v tem primeru, se opazi potek energije skozi celoten signal, razen na repih ko moč energije upade. Manjše energijske lise svetlo modre barve je mogoče opaziti na vrednosti normirane frekvence $0.007 fv$, na časovnem intervalu od $0 < t < 1000$. Ker v tem primeru spektrograma interferenca ni prisotna, lahko sklepamo, da omenjena energija odraža eno od iskanih period. Vrednosti normiranih frekvenc in dolžine dni poslovnega cikla se nahajajo v tabeli 5 in ustrezajo zastavljenim periodam v enostavnem sintetiziranem signalu. Poslovni cikel P_3 zaradi slabše frekvenčne ločljivosti ne more biti točno določen.

Na sliki 9b je predstavljen sintetiziran signal z različnimi amplitudami in uporabo Hammingovega okna 500 dni. Do časovne točke $t = 500$ opazimo zelo močno porazdelitev energije pri $0.002 fv$. Druga značilnost predstavitve je porazdelitev energije na normirani frekvenci $0.016 fv$. V prvem delu opazimo zmerno porazdelitev energije, ki po $t = 500$ postane intenzivnejša. Blagi signal energije je opaziti pri vrednosti $0.008 fv$. Iz slike je razvidna prisotnost energije na $0.015 fv$ skozi celotno obdobje signala, s tem da se pri vrednostih $t > 500$, energija ojača. Perioda pri $0.002 fv$, v drugi polovici signala, hitro izgine. Vrednosti normiranih frekvenc in dolžine dni poslovnega cikla z zaznavanjem spremembe v amplitudi so predstavljene v tabeli 5. Rezultati v tabeli približno ustrezajo zastavljenim periodam in amplitudam v sestavljenem sintetiziranem signalu.

Tabela 5: Poslovni cikli - spektrogram.

	Enostavni		Sestavljeni		Δa_i
	fv	Dnevi	fv	Dnevi	
P_1	0.016	62.5	0.016	62.5	Da ($\forall t$)
P_2	0.007	142.8	0.008	125.0	Ne ($100 < t < 900$)
P_3	0.002	500.0	0.002	500.0	Da ($t < 600$)

3.2.3 Wigner-Villejeva porazdelitev

Wigner-Villejeva porazdelitev (WVD) je definirana kot:

$$W_s(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t + \tau/2) s^*(t - \tau/2) e^{j2\pi f\tau} d\tau \quad (19)$$

ali

$$W_s(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f + \xi/2) S^*(f - \xi/2) e^{j2\pi\xi t} d\xi.$$

WVD porazdelitev ima številne ugodne matematične lastnosti. Najpomembnejša je ta, da je WVD realna funkcija zato lahko zapišemo:

$$W_s(t, f) = W_s^*(t, f).$$

Ostale lastnosti vključujejo ohranjanje premikov po času in frekvenci ter robne pogoje (spektrogram ne ohranja takih lastnosti).

Lastnosti Wigner-Villejeve porazdelitve

Nekatere lastnosti WVD, ki so skupne vsem energijskim porazdelitvam Cohenovega razreda, bodo predstavljene in podane kot osnova za primerjavo z ostalimi porazdelitvami. Vse lastnosti WVD se nahajajo v [12]. Dokazi posameznih lastnosti bodo v tem delu izpuščeni, podrobnosti se nahajajo v [24] in [6].

1. energijska porazdelitev

Z integriranjem po času in frekvenci $W_s(t, f)$, dobimo energijo signala:

$$E_s = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_s(t, f) dt df.$$

2. robna pogoja

Integriranje $W_s(t, f)$ po posameznih spremenljivkah poda energijo spektra in trenutno moč signala:

$$\int_{-\infty}^{\infty} W_s(t, f) dt = |S(f)|^2$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} W_s(t, f) df = |s(t)|^2.$$

3. realna funkcija

$$W_s(t, f) \in \mathfrak{R}, \forall t, f.$$

4. ohranitev premikov

WVD ohranja premike po času in frekvenci

$$y(t) = s(t - t_0) \Rightarrow W_y(t, f) = W_s(t - t_0, f)$$

$$y(t) = s(t)e^{j2\pi f_0 t} \Rightarrow W_y = W_s(t, f - f_0).$$

Interferenca Wigner-Villejeve porazdelitve

Ker je WVD predstavnik kvadratnih ali bilinearnih predstavitev, ustreza lastnost kvadratne superpozicije:

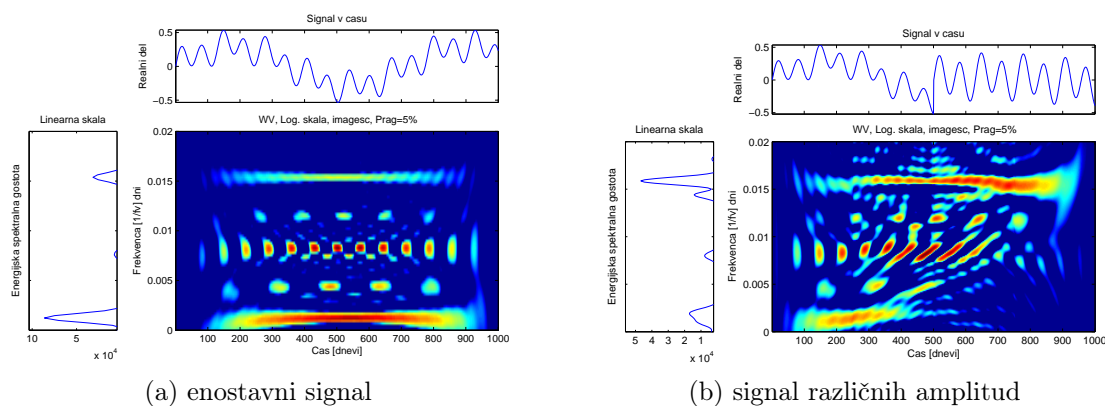
$$W_{s+y}(t, f) = W_s(t, f) + W_y(t, f) + 2\Re\{W_{s,y}(t, f)\},$$

in kjer je

$$W_{s,y}(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t + \tau/2)y^*(t - \tau/2)e^{-2j\pi f\tau} d\tau,$$

križna predstavitev WVD signalov s in y . V primeru WVD velikost interferenčnih členov ne vpliva na razpršenost komponent v časovno-frekvenčnem prostoru. Ta lastnost predstavlja veliko pomanjkljivost WVD, saj je nemogoče razlikovati interferenčne člene od členov, ki dejansko opisujejo signal v času. Interferenca predstavlja akumulacijo lastnosti WVD. Zato je potrebno vedno tehtati med natančnostjo predstavitev in interferenco.

Kot primer WVD analize bomo ponovno vzeli analitično obliko sintetiziranih signalov, predstavljenih v uvodnem delu. Obe sliki sintetiziranih signalov sta prikazani na sliki 10.



Slika 10: WV porazdelitev enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.

Na sliki 10a zasledimo WV predstavitev enostavnega sintetiziranega signala. Tu lahko zasledimo pojav interference, ki je prisotna na intervalu med 0.005 in 0.01 fv ter 0.1 in 0.015 fv . Močno porazdelitev energije na intervalu med $200 < t < 800$ (rdeča barva energije) zasledimo pri vrednosti normirane frekvence 0.0015 fv . Naslednja

opazna, a ne tako močna porazdelitev energije, se nahaja pri vrednosti normirane frekvence $0.016 fv$ in traja skozi celotno obdobje signala. Naslednji cikel intenzivnih, a krajših intervalov energije opazimo pri normirani frekvenci $0.008 fv$. Lokalizacije energije po času se nahaja vsakih 100 dni in traja približno 40 dni, na repih pa se energijski intervali razmažejo. Ko vrednosti normiranih frekvenc preračunamo v dneve (tabela 6) opazimo, da vse tri zaznane porazdelitve energije ustrezajo določenim periodam z danimi amplitudami.

Slika 10b predstavlja sestavljen sintetiziran signal z WV porazdelitvijo. V tem primeru opazimo vpliv interference na celotnem grafičnem prikazu. Energija je tako razmazana med zastavljenimi periodami. Horizontalno porazdelitev energije zasledimo pri $0.001 fv$, ki se razteza med $0 < t < 600$. Energija se razteza pri $0.016 fv$ in pri vrednostih $t > 500$, postane močnejša. Pri $0.009 fv$ se nahajajo posamezne intenzivne lise energije skozi celotno obdobje signala. Tabela 6 vsebuje pretvorbe normiranih frekvenc v dneve. P_1 in P_2 ustrezata periodam sintetiziranega signala, medtem ko je ocena P_3 precej bolj oddaljena od pravilne frekvenčne lokalizacije. Ker moč periode P_1 upade v drugem delu poteka signala, imamo z WVDjem težave z zaznavanjem energije skozi celotno obdobje signala.

Tabela 6: Poslovni cikli - Wigner Villejeva porazdelitev.

	Enostavni		Sestavljeni		
	fv	Dnevi	fv	Dnevi	Δa_i
P_1	0.016	62.5	0.016	62.5	Da ($\forall t$)
P_2	0.008	125.0	0.009	111.1	Ni sprememb
P_3	0.0015	666.7	0.001	1000.0	Da ($t < 600$)

3.2.4 Psevdo Wigner-Villejeva porazdelitev

Za odpravo interference in ohranitev vseh matematičnih lastnosti WV porazdelitve so bili opravljeni različni prijemi. Ena od posledic je bil razvoj oziroma nastanek *psevdo Wigner-Villejeve* predstavitve PWVD. Količino

$$q_s(t, \tau) = s(t + \tau/2)s^*(t - \tau/2),$$

kjer definicija (19) zahteva znanje o količini q_s na intervalu $-\infty \leq \tau \leq \infty$, kar je lahko problem v praksi. Količino q_s podobno kot pri spektrogramu zamenjamo z produktom signala $s(t)$ in okna $h(t)$ in nato izračunamo FT. Tako dobimo

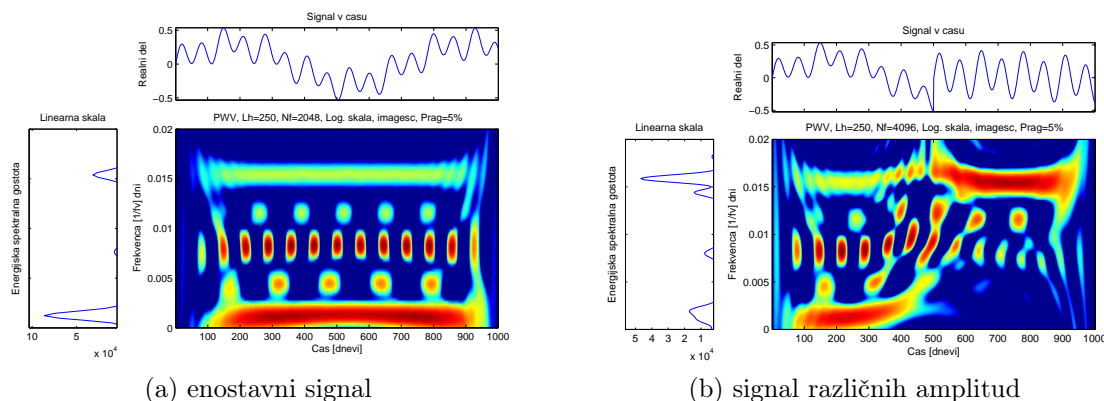
$$PW_s(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)s(t + \tau/2)s^*(t - \tau/2)e^{-j2\pi f\tau} d\tau, \quad (20)$$

Taki porazdelitvi pravimo *psevdo Wigner-Villejeva porazdelitev*. Definicija (20) je ekvivalentna glajenju WVD po frekvenci:

$$PW_s(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f - \xi)W_s(t, \xi)d\xi,$$

kjer je $H(f)$ Fourierjeva transformacija okna $h(t)$. Glajenje WVD zmanjšuje pojav interference, vendar pri tem tudi izgubimo nekaj lastnosti WVD.

PWV porazdelitev je uporabljena v našem primeru zaradi zmanjševanja vpliva interference. Slika 11 prikazuje PWV obeh sintetiziranih signalov.



Slika 11: PWV porazdelitev enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.

Slika 11a prikazuje enostavni sintetizirani signal z uporabo Hammingovega okna 500 dni. Uporaba PWV izkazuje efektivno zmanjšanje interference v časovno-frekvenčnem prostoru. Interferenca je prisotna in lahko zavede pravilno interpretacijo časovno-frekvenčne slike. Ponovno je opazna močna porazdelitev energije pri normirani frekvenci $0.0015 fv$ z upadanjem signala na repih slike. Bistveno šibkejša porazdelitev energije je pri normirani frekvenci $0.016 fv$ in traja skozi celotno obdobje signala. Izraziti intervali energije se nahajajo pri normirani frekvenci $0.008 fv$, ki se pojavijo na približno 90 dni in trajajo po 20 dni. Preračunane vrednosti normirane frekvence se nahajajo v tabeli 7. Vse tri porazdelitve energije ustrezajo določenim periodam z danimi amplitudami.

Slika 11b prikazuje sintetizirani signal z različnimi amplitudami. Porazdelitev energije po zastavljeni normirani frekvenci je izboljšana, čeprav je interferenca med periodami še vedno prisotna. Energija se nahaja pri $0.002 fv$ in se razteza na intervalu do $t < 500$. Energija pri frekvenci $0.016 fv$ se razteza skozi celotno obdobje z močnejšim vplivom energije pri $t > 500$. Ponovno se opazijo energijske točke pri $0.008 fv$, ki se pojavljajo na 90 dni s časovno dobo 20 dni. Periode preračunane v dneve se nahajajo v tabeli 7, kjer P_1 in P_2 ustrezata periodam sintetiziranega signala, medtem ko je P_3 ponovno precej bolj oddaljen od pravilne frekvenčne lokalizacije.

Tabela 7: Poslovni cikli - psevdo Wigner Villejeva porazdelitev.

	Enostavni		Sestavljeni		Δa_i
	fv	Dnevi	fv	Dnevi	
P_1	0.016	62.5	0.016	62.5	Da ($\forall t$)
P_2	0.008	125.0	0.008	125.0	Ni sprememb
P_3	0.0015	666.7	0.002	500	Da ($t < 600$)

3.2.5 Pageova porazdelitev

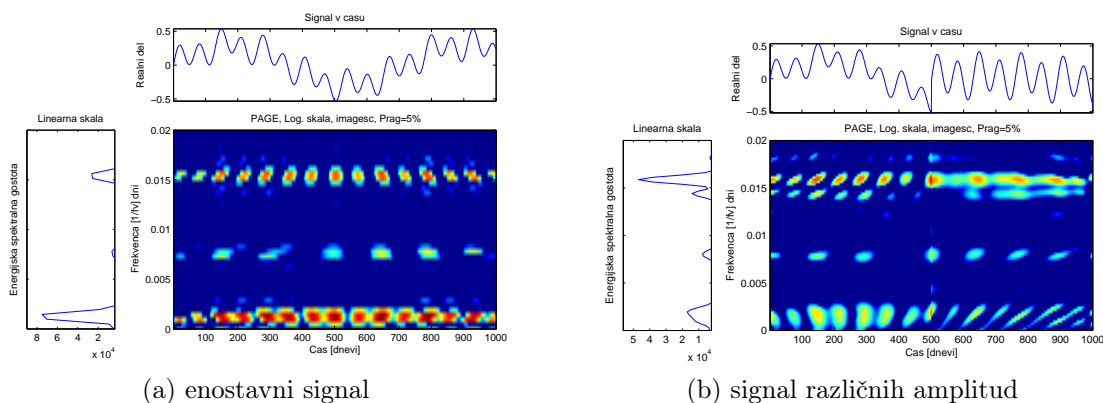
Če predstavimo porazdelitev energije kot:

$$E_s(t, f) = \left| \int_{-\infty}^t s(u) e^{-j2\pi fu} du \right|^2,$$

na tak način lahko definiramo *Pageovo porazdelitev* kot kumulativno porazdelitev energije in količino obravnavamo kot odvod energije spektralne gostote, potem velja:

$$P_s(t, f) = \frac{d}{dt} E_s(t, f) = 2\Re\{s(t) \left(\int_{-\infty}^t s(u) e^{-j2\pi fu} du \right)^* e^{-j2\pi ft}\}. \quad (21)$$

Pageova porazdelitev je članica Cohenovega razreda njen poglobljen opis se nahaja v [1]. Pageova porazdelitev se je v [26] uveljavila kot najboljše orodje za razpoznavanje periodičnosti v borznem indeksu ISE-100 turške borze. Na sliki 12 sta predstavljeni sliki Pageove porazdelitve obeh sintetiziranih signalov.



Slika 12: Pageova porazdelitev enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.

Na sliki 12a lahko opazimo najmočnejšo porazdelitev energije, pri normirani frekvenci 0.0015 fv v krajših intervalih skozi celotno obdobje signala. Manj intezivnejša in manj pogosta porazdelitev energije je pri vrednosti 0.016 fv in 5 šibkejših intervalov energije, lahko opazimo pri vrednosti 0.0075 fv . Med posameznimi energijskimi porazdelitvami se pojavlja manjša interferenca, ki ne vpliva na pravilno razpoznavanje in interpretacijo pridobljene slike. Vrednosti normirane frekvence in ustrezne pretvorbe

se nahajajo v tabeli 8 in ustrezajo zastavljenim periodam v enostavnem sintetiziranem signalu.

Na sliki 12b je prikazan sintetiziran signal z različnimi amplitudami. Ker se je porazdelitev izkazala kot uspešna pri zaznavanju monotonih ciklov, nas je zanimalo, kako se bo odrezala pri zaznavanju enakih ciklov z različnimi amplitudami oziroma pri nestacionarnih signalih. Pri normirani frekvenci $0.002 fv$ opazimo porazdelitev energije skozi celoten potek signala, pri $t < 500$ so energijske lise večje in bolj povezane, medtem ko so pri $t > 500$ manj intenzivne in krajše. Podobno velja za porazdelitev energije pri $0.016 fv$, le da sta obliki energije na časovnem intervalu obrnjeni. Šibke energijske lise se nahajajo na $0.007 fv$, ki se pri $t < 500$ pojavijo dvakrat, pri $t > 500$ pa trikrat. Poslovni cikli signala so zabeleženi v tabeli 8 in v večini ustrezajo zastavljenim periodam in amplitudam v sestavljenem sintetiziranem signalu.

Tabela 8: Poslovni cikli - Pageova porazdelitev.

	Enostavni		Sestavljeni		
	fv	Dnevi	fv	Dnevi	Δa_i
P_1	0.016	62.5	0.016	62.5	Da ($\forall t$)
P_2	0.0075	133.3	0.007	142.8	Ne ($\forall t$)
P_3	0.0015	666.7	0.002	500.0	Da ($t < 500$)

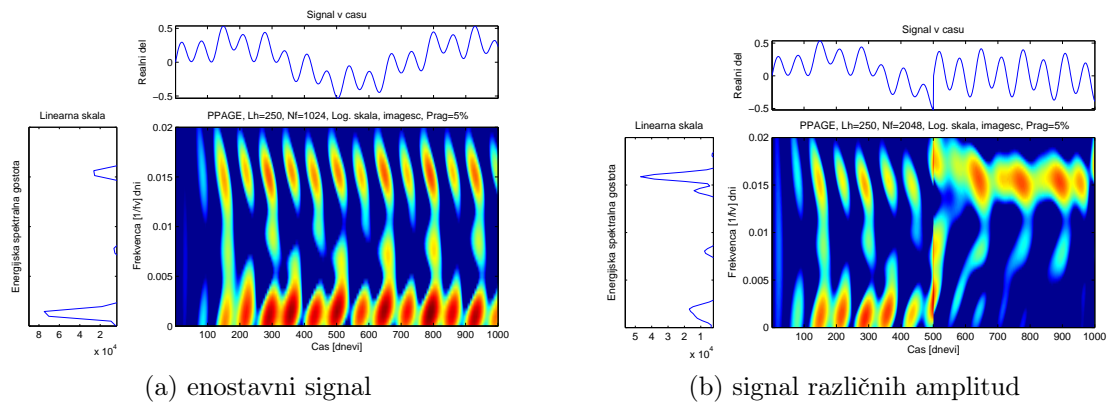
3.2.6 Psevdo Pageova porazdelitev

Psevdo-Page porazdelitev je podobno kot PWV, glajena Pageova porazdelitev, kjer je glajenje izvedeno po frekvenci. Zapišemo jo kot:

$$PP_s = 2\Re\{s(t)(\int_{-\infty}^t s(u)h(t-u)e^{-j2\pi fu} du)^* e^{-j2\pi ft}\}, \quad (22)$$

kjer je $h(t)$ okno glajenja.

Slika 13 prikazuje analitična signala z uporabo psevdo Pageove porazdelitve s Hammingovim oknom 500 dni.



Slika 13: Psevdo Pageova porazdelitev enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.

V primeru slike 13a nas je zanimalo, ali z glajenjem po frekvenci Pageove porazdelitve pridobimo izboljšano časovno-frekvenčno lokalizacijo periodičnosti v signalu. Uporabljena je bila psevdo Page porazdelitev s Hammingovim oknom 500 dni (manjšanje dolžine okna je samo poslabšala frekvenčno lokalizacijo). Zasedimo lahko porazdelitev energije na intervalu normirane frekvence med 0.0 in 0.005 fv (razmazana energija po frekvenci) in šibkejšo porazdelitev na intervalu med 0.013 in 0.02 fv . Z glajenjem po frekvenci smo bistveno poslabšali frekvenčno ločljivost vendar ne moremo točno določiti vrednosti periode, lahko le sklepamo, na kakšnem intervalu bi se lahko nahajale, kar je v primerjavi z ostalimi predstavitevami zelo slaba informacija.

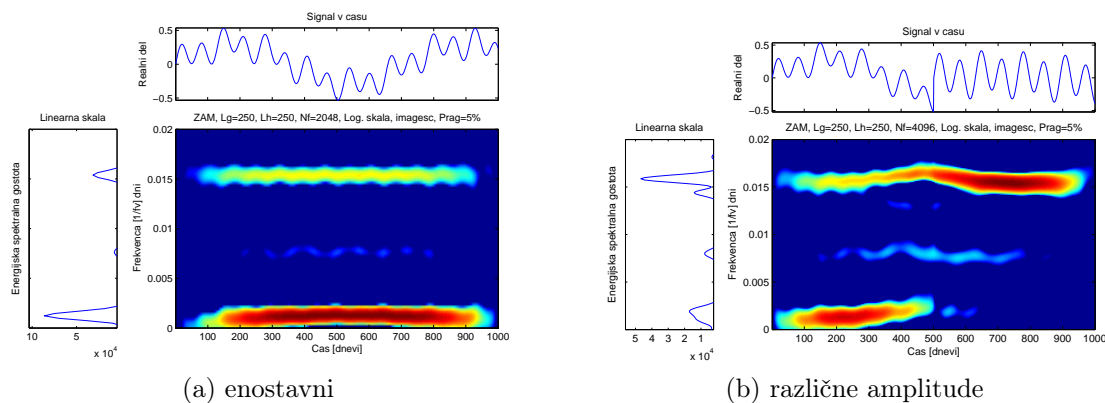
Tudi v primeru slike 13b izboljšava lokalizacije ni bila dosežena. Opazimo lahko, da točno v času $t = 500$ pride do spremembe v porazdelitvi energije. Energija se horizontalno razteza pri nizkih frekvencah med 0.0 in 0.005 fv in višjih frekvencah med 0.012 in 0.02 fv . Energija je razmazana po frekvenci in onemogoča točno lokalizacijo periode. Tudi v tem primeru lahko zaključimo, da se je psevdo Pageova porazdelitev precej slabše odzvala pri zaznavanju periodičnosti in menjave amplitud v signalu v primerjavi z ostalimi porazdelitvami.

3.2.7 Zhao-Atlas-Marksova porazdelitev

Drugačen tip konstrukcije TFR predstavlja *Zhao-Atlas-Marksova* porazdelitev, kjer se za zmanjšanje vpliva interferenčnih členov uporabljajo jedrne funkcije osnovnih TFR, kjer lahko dosežemo sočasno glajenje po času in frekvenci. *Zhao-Atlas-Marksova* porazdelitev je po [28] definirana kot:

$$ZAM_s(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \left[\int_{t-|\tau|/2}^{t+|\tau|/2} s(x + \tau/2) s^*(x - \tau/2) dx \right] e^{-j2\pi f\tau} d\tau. \quad (23)$$

Slika 14 prikazuje sintetizirana analitična signala s porazdelitvijo ZAM.



Slika 14: Porazdelitev ZAM enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala z različnimi amplitudami.

V primeru ZAM predstavitev se tako uporabljajo dve okni za glajenje TFR, eno za glajenje po času, drugo za glajenje po frekvenci. V obeh primerih na sliki 14a je bilo uporabljeno Hammingovo okno dolžine 500 dni. Močno porazdelitev energije je moč opaziti pri normirani frekvenci $0.002 f_v$, šibkejšo (označena z modro barvo) pa pri vrednosti $0.016 f_v$. Na sliki 14a je tudi vidna porazdelitev energije pri $0.0075 f_v$ na intervalu $150 < t < 900$. Pretvorbe iz frekvenčnih vrednosti v število dni so podane v tabeli 9. Predstavitev uspešno zaznava vse zastavljene periode v enostavnem sintetiziranem signalu.

V primeru slike 14b je bilo uporabljeno Hammingovo okno dolžin 251 in 500 dni za glajenje po času in frekvenci. Močno porazdelitev energije je moč opaziti pri normirani frekvenci $0.002 f_v$ v prvem delu signala, kasneje pa zelo šibko porazdelitev energije. Pri normirani frekvenci $0.016 f_v$ se energija razteza skozi celotno obdobje signala, kjer po prehodu časovne točke $t = 500$ postane izrazito močnejša in dominantna v primerjavi z ostalima periodama. Tabela 9 predstavlja poslovne cikle ugotovljene s predstavitvijo ZAM. Predstavitev uspešno zaznava amplitudo in cikel zastavljenih period v sestavljenem signalu.

Tabela 9: Poslovni cikli - Zhao-Atlas-Marksova porazdelitev.

	Enostavni		Sestavljeni		
	f_v	Dnevi	f_v	Dnevi	Δa_i
P_1	0.016	62.5	0.016	62.5	Da ($\forall t$)
P_2	0.0075 ($150 < t < 900$)	133.3	0.008	125.0	Ni sprememb
P_3	0.002	500	0.002	500.0	Da ($t < 600$)

4 ČASOVNO-FREKVENČNA ANALIZA IZBRANIH DELNIC IN INDEKSA

Borzni indeksi se uporabljajo kot eden izmed vplivnejših kazalnikov za opis stanja ekonomije v državi. Ugotovljeno je bilo, da se poslovni cikli najprej odražajo na trgu kapitala, nakar se preusmerijo na ostale sektorje ekonomije. Eden izmed namenov borznega indikatorja je, da so v njem zbrane cene delnic, ki nosijo informacije o bodočem gibanju izbranih spremenljivk. Natančneje, cene delnic oziroma vrednosti indeksa nakazujejo in vplivajo na napovedovanje gibanja kazalnika industrijske proizvodnje. Mednarodni monetarni sklad (IMF) trdi, da gibanje cen delnic ostaja visoko korelirano s poslovnim ciklom in indikatorjem industrijske proizvodnje. V [17] avtor argumentira, da cene delnic in gibanje indeksa v Sloveniji ne prinašajo dovolj informacij o bodočem razvoju v realni ekonomiji. Obstajajo trije razlogi za takšno trditev. Prvi razlog je posebna oblika privatizacije, ki se je zgodila v Sloveniji ob osamosvojitvi leta 1991, drugi razlog je ta, da je Banka Slovenije zahtevala, da se vse portfeljske transakcije neresidenčnih subjektov pretakajo skozi račune le popolnoma licenčnih, to je domačih bank. In tretji, da obstaja vsesplošno nezaupanje investorjev, saj se likvidnost trgovanja zmanjšuje in določanje cen postaja nepredvidljivo¹⁴

Pri tem je potrebno tudi upoštevati dejstvo velikosti slovenskega trga kapitala in njegovo nedovzetnost za tuje investitorje v času obratovanja tolarske denarne enote. Danes sta se problema menjalnega tečaja in lastništva prilagodila evropskemu trgu in njegovi zakonodaji, kar pomeni, da so bili omenjeni problemi delno odpravljani.

V nadaljevanju se bomo posvetili različnim vprašanjem, *ali lahko na trgu kapitala v Sloveniji pričakujemo prisotnost poslovnega oziroma borznega cikla in ali je možno zaznati takšne pojave s časovno-frekvenčno analizo izbranih delnic in borznega indeksa?* Pri analizi izbranih delnic smo upoštevali cene enotnih tečajev delnic, izraženih v denarni enoti EUR, čeprav je bila denarna enota pred 01. 01. 2007 tolar.

Čeprav podatki o dnevem menjalnem tečaju EUR/SIT in cen delnic v tolarški protivrednosti niso prosto dostopni, smo za potrebe magistrske naloge predpostavili, da so bile cene pravilno pretvorjene skozi celotno časovno obdobje. V magisteriju za zaznavanje poslovnih ciklov pri analizi ne upoštevamo še ostalih makroekonomskih indikatorjev, kot sta splošno priznana in uporabljena ekonomska indikatorja industrijske proizvodnje oziroma bruto domači proizvod.

V [5] lahko zasledimo argument, da se večina finančnih časovnih vrst, kot so na primer cen delnic, lahko modelira z metodo slučajnega sprehoda. Pri tej metodi analiziramo razlike med dvema zaporednima vrednostima. Če časovno vrsto označimo kot S_i , potem se analizira prvo razliko med podatki, $S_i - S_{i-1}$ ali splošneje, se analizira

¹⁴Za celotno oziroma natančnejšo obrazložitev glej [17].

prvo razliko logaritamskih vrednosti oziroma $\log S_i - \log S_{i-1}$. Taka časovna vrsta ima nizko serijsko korelacijo in v tem primeru predpostavljamo, da predstavlja neodvisno in identično porazdeljeno slučajno spremenljivko (IID) [5]. Preračunavanje podatkov v logaritamsko časovno vrsto, lahko zasledimo pri ISE-100 indeksu [26], kjer avtorja uspešno preučujeta zaznavanje poslovnih ciklov na turškem trgu kapitala. V našem primeru bomo podatke analizirali v originalnem in logaritamskem formatu.

Časovno-frekvenčne slike podajajo informacije o porazdelitvi in velikosti energijske porazdelitve signala v časovno-frekvenčnem prostoru. Taka informacija podaja znanje o lastnostih izbranih signalov. Grafične TFR predstavitve so 3D funkcije, ki se jih lahko predstavi ali kot ploskve v 3D prostoru ali kot projekcijo 3D prostora na ravnino na različne načine.

Za predstavitev signalov v časovno-frekvenčnem prostoru se bodo uporabljale 2D slike, kjer je energija predstavljena z barvno paletto. Dvodimenzionalna predstavitev dovoljuje lokalizacijo premikov porazdelitev, vendar interpretacijski problemi nastanejo v preslikavanju podatkov v ekvivalentne vrednosti barv na barvni paleti.

Signali, pridobljeni iz spletnega portala Ljubljanske borze, vsebujejo prazne celice, kjer manjkajo podatki ob določenih trenutkih. Zaradi zagotovitve enake obravnave časovno-frekvenčne analize signalov je obravnava praznih celic v podatkovni vrsti nujna. Prazne celice smo generirali z metodo linearne interpolacije, ki je opisana v podpoglavju predobdelave podatkov.

Vsak postopek analize bo podrobno opisan in obdelan. V prvem delu bodo predstavljene komponente izdelanega sintetiziranega signala in dejanskega signala, kjer bomo analizirali ustreznost postopkov za pridobivanje cikličnih komponent iz osnovnih signalov. Izpeljane ciklične komponente bodo nato analizirane s časovno-frekvenčnimi porazdelitvami. Ciklične komponente bomo pridobivali z dvema različnima metodama filtriranja. Pri tem bomo poskušali prenesti metodologijo zaznavanja poslovnih ciklov na indeksu ISE-100 na slovenski primer. Osnovna analiza bo odgovorila na vprašanje ali lahko s časovno-frekvenčnimi predstavitevami uspešno zaznamo poslovne cikle na slovenskem trgu kapitala in/ali bomo z drugačno metodo filtriranja podatkov pridobili več informaciji o porazdelitvi energije v časovno-frekvenčni domeni v času gospodarske krize?

4.1 PREDOBDELAVA PODATKOV

Izbrani signali iz Ljubljanske borze vsebujejo prazne celice, ki jih je potrebno generirati, da zagotovimo ustrezno časovno-frekvenčno analizo. Z metodo interpolacije generirana vrednost ni imela velikega odstopanja od dejanskih vrednosti signala. Za ostale interpolacijske metode glej [11] str. 487. Enaka metodologija je bila uporabljena tudi pri podatkih obsega poslovanja. Pri linearni interpolaciji generiramo manjkajoče

podatke med dvema znanima podatkom s_{t+1} in s_{t-1} s premico po naslednji formuli:

$$s_i = (s_{i+1} - s_{i-1}) \frac{t_i - t_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} + s_{i-1}. \quad (24)$$

4.2 ANALIZA ODPRAVE TRENDNA

Da bi pridobili ciklične komponente iz izbranih podatkov je potrebno predhodno odpraviti trend gibanja delnic. Najprej je potrebno določiti trend iz poteka časovnega signala in ga nato odšteti od izvirnega signala, da dobimo ciklične komponente. Metode za določitev trenda iz podatkov slonijo na ustreznem modeliranju podatkov. V magisteriju smo obravnavali dva tipa **filtriranja** in sicer, uporaba *Hodrick-Prescottovega (HP) filtra* in *medianinega filtra*. Med druge najbolj uporabljene metode razstavljanja signala podatkov spada *filter drsečih sredin* z različnimi težnostmi, porazdeljenimi nad vrednostmi v analitskem oknu, ki pa ga v naših analizah nismo uporabljali.

4.2.1 Postopki odprave trenda

Medianin filter

Mediana se uporablja za merjenje centralne tendence, ki je bolj robustna v primeru napak oziroma ekstremnih vrednosti, kot je metoda navadne aritmetične sredine. Za parno število opazovanj je vrednost mediane enaka vrednosti, ki se nahaja točno na sredini urejenega seznama vrednosti. Ko je število vseh opazovanj v podatkovni vrsti liho, se mediano izračuna kot povprečna vrednost med dvema srednjima vrednostima. Mediana predstavlja 50. centil v izbrani podatkovni vrsti [23].¹⁵

V našem primeru smo za določanje trendne krivulje uporabili medianin filter z oceno mediane na drsečih oknih dolžine 5, 65, 130 in 260 trgovalnih dni. V kolikor se število dni v oknu povečuje do velikosti celotne dolžine časovne vrste, potem vrednost konvergira v dejansko vrednost mediane. Težava se je pojavila pri glajenju začetnih in končnih vrednosti časovnega signala. V teh primerih smo testirali dve možnosti. Prva možnost je upoštevala oceno mediane s krajšanjem okna. To pa pomeni, da je bilo uporabljenih manj vrednosti za izračun mediane v izbranem analitičnem oknu. Če so se vrednosti okenskega intervala raztezale nad ali pod številom vrednosti signala, se je medianin filter skrajšal za največ polovico njegove dolžine. Druga možnost pa je bila, da je dolžina okna ostala nespremenjena, vendar smo manjkajoče vrednosti nadomestili z večkratno ponovitvijo začetne oziroma končne vrednosti.

¹⁵Linearna interpolacija se uporablja za izračunavanje različnih kvantilnih vrednosti s formulo v 24

Hodrick-Prescottov (HP) filter

Hodrick-Prescottov (HP) filter [13] razdeli signal v naraščajočo komponento (ang. growth) ali trend g_t in ciklično komponento c_t . Tako lahko signal zapišemo $s_t = g_t + c_t$. Pri HP filtru za oceno trendne krivulje minimiziramo razliko signala nad vsemi vrednostmi trenda g_1, \dots, g_T :

$$\operatorname{argmin}_{g_1 \dots g_T} = \sum_{t=1}^T [s_t - g_t]^2 + \lambda \sum_{t=1}^T [(g_{t+1} - g_t) - (g_t - g_{t-1})]^2, \quad (25)$$

kjer je λ parameter glajenja in T dolžina signala. Če je vrednost $\lambda = 0$, filter ne izvaja glajenja. V primeru ko $\lambda \rightarrow \infty$, postaja glajeni signal vedno bolj linearen oziroma konvergira v linearni trend. Primerna izbira vrednosti parametra glajenja je odvisna od signalove periodičnosti. Referenčne vrednosti λ so:

- 100 v primeru detekcije letne periodičnosti,
- 1600 v primeru detekcije četrletne periodičnosti,
- 14400 v primeru detekcije mesečne periodičnosti.

HP filter je zasnovan tako, da prva vsota minimizira razliko med podatki in njihovo naraščajočo komponento (v tem primeru je to ciklična komponenta) in druga vsota minimizira razliko drugega reda naraščajoče komponente, kar je analogno minimiziranju drugega odvoda naraščajoče komponente.

Povezava med λ pri HP filtru in dolžino okna pri medianinem filtru

Odprt parameter pri HP filtru je parameter glajenja λ pri medianinem filtru pa dolžina drsečega okna. Večji kot je parameter λ pri HP filtru bolj bo trendna krivulja ocenjena v obliki linearnega trenda. Po drugi strani pa, če okno glajenja pri medianinem filtru povečamo do dolžine časovnega signala, bo vrednost v vsaki točki enaka mediani celotnega obdobja.

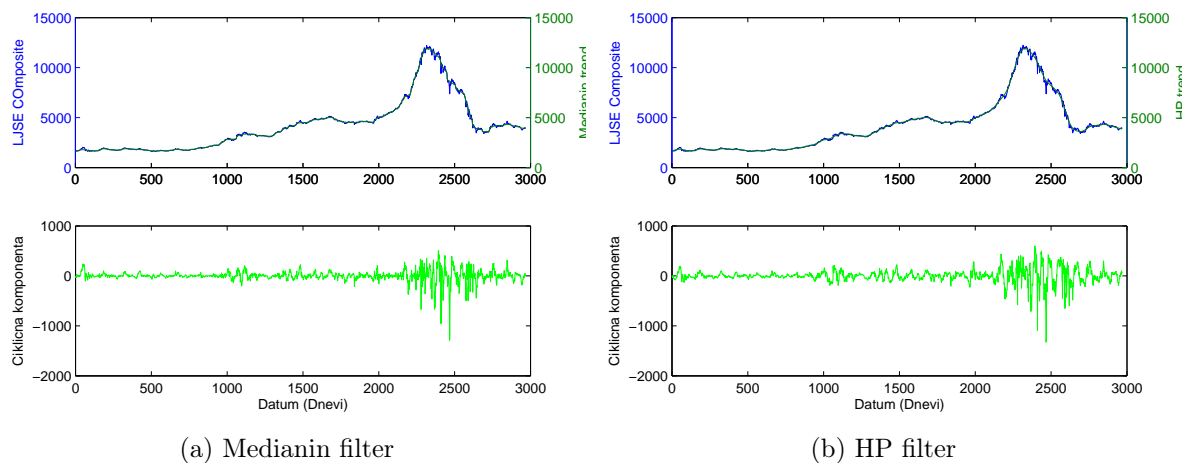
LJSE Composite indeks

Obe metodi filtriranja sta bili preizkušeni na najdlje obratujočem indeksu slovenske borze (LJSE Composite), kjer smo pričakovali zaznavanje poslovnega cikla. Nobena od izrisanih slik nima zapisanih dejanskih referenčnih datumov. Prvi dan, za katerega je zabeležena vrednost indeksa je 02. 08. 1998.

Na sliki 15a sta prikazani signal indeksa LJSE Composite z oceno trendne krivulje z medianinim filtrom in ciklična komponenta oziroma napake ali odstopanja dejanskih podatkov od krivulje trenda. Zgornja slika ponazarja z modro barvo vrednosti signala,

medtem ko je z zeleno označen trend, pridobljen z medianinim filtrom. Ciklično komponento se pridobi z odštevanjem vrednosti medianinega filtra od indeksnih podatkov in jih prikazuje spodnja slika. V tem primeru je uporabljen medianin filter dolžine 65 dni. Večjo deviacijo ciklične komponente od 0 oziroma večja razlika med podatki in vrednostmi, pridobljenimi z medianinim filtrom, lahko opazimo v drugi polovici leta 1999, v letih 2002 in 2003 ter v obdobju med drugo polovico leta 2007 in drugo polovico leta 2009.

Slika 15b prikazuje celotni signal LJSE Composite indeksa z ocenjeno krivuljo trenda s HP filtrom ter prikazom ciklične komponente za lažje prepoznavanje različnih deviacij v času. Pri HP filtriranju je bil uporabljen parameter glajenja $\lambda = 128000$ [26]. Ciklične komponente, pridobljene z medianinim in HP filtrom, bomo kasneje uporabili za analizo periodičnosti s časovno-frekvenčnimi predstavitvami.

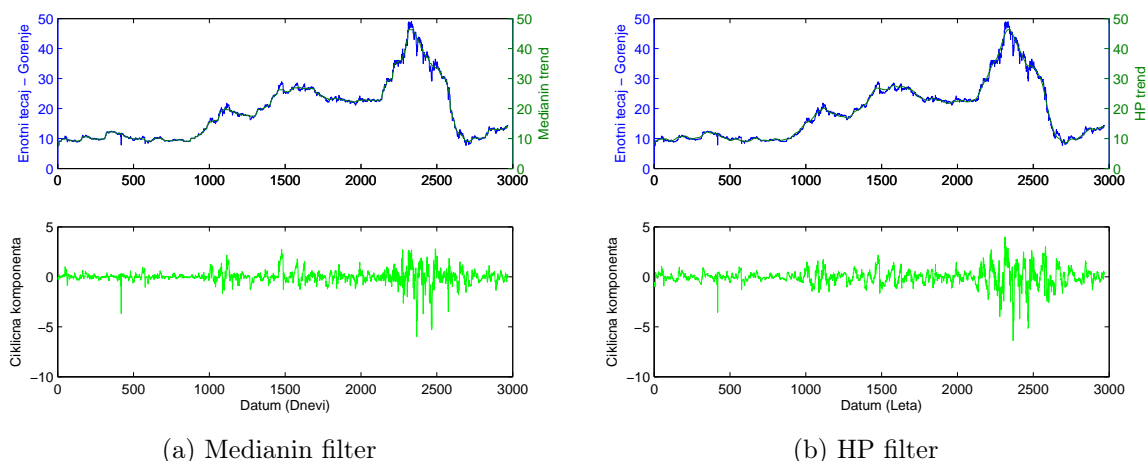


Slika 15: LJSE Composite indeks po filtriranju z medianinim in HP filtrom.

Gorenje

Slika 16a prikazuje signal delnice Gorenje z vrisano krivuljo trenda ocenjeno z medianinim filtrom z uporabo drsečega okna velikosti 65 dni. Spodnji del slike prikazuje ciklično komponento. Prvi dan, za katerega je zabeležena cena enotnega tečaja delnice Gorenje je 02. 08. 1998. Večje odstopanje je opazno med letoma 2007 in 2009. Največje odstopanje vrednosti ciklične komponente od dejanskih podatkov se je zgodilo leta 2000, ko je podjetje prizadel požar.

Slika 16b prikazuje signal delnice Gorenje z vrisano krivuljo trenda HP filtra z uporabo vrednosti parametra glajenja $\lambda = 128000$. Spodnji del slike prikazuje ciklično komponento. Vrednosti krivulje trenda imajo opazno večje odstopanje od dejanskih podatkov med leti 2007 in 2009.



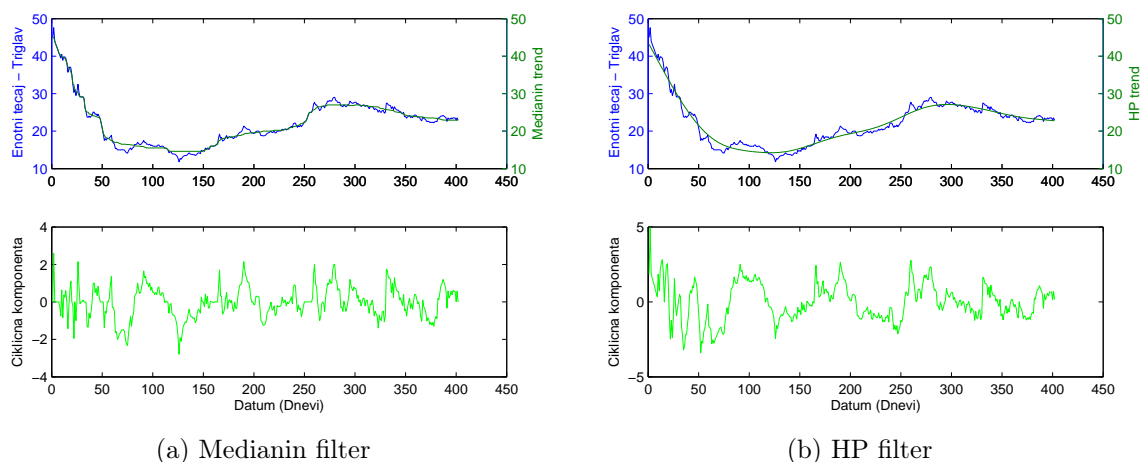
Slika 16: Delnica Gorenja po filtriranju z medianinim in HP filtrom.

Zavarovalnica Triglav

Obravnavani signal je krajši od ostalih obravnavanih signalov, saj je delniška družba Zavarovalnice Triglav pričela z borzno kotacijo dne 09. 09. 2008, kar ve ujema z vrednostjo 1 na vseh grafičnih prikazih povezanih z delnico Zavarovalnice Triglav.

Na Sliki 17a je predstavljen signal z oceno trenda po mediani z dolžino okna 130 dni. Odstopanja od trenda so v tem primeru bistveno nižja od odstopanj pri izračunu trenda s HP filtrom. Tudi v tem primeru so razlike bistveno višje v začetku signala, s časom se razlike zmanjšujejo. Delnica je začela trgovati tik pred začetkom gospodarske krize leta 2008. Vrednosti delnic so padala vse do druge polovice leta 2009.

Slika 17b predstavlja signal delnice Zavarovalnice Triglav in ocenjenega trenda po HP filtru s parametrom glajenja $\lambda = 128000$. Večja odstopanja trendne črte od dejanskih podatkov je opaziti v začetku signala, nakar se razlike postopoma zmanjšujejo. Spodnja slika prikazuje razvoj ciklične komponente.



Slika 17: Delnica Zavarovalnice Triglav po filtriranju z medianinim in HP filtrom.

4.2.2 Sintetiziran signal na trendu podatkov

Sintetiziran signal je bil predstavljen v tretjem poglavju. Za predstavitev delovanja filtra in primerjave TFR porazdelitev bomo izdelali sintetiziran signal na trendu podatkov. Signal je sestavljen iz vsote treh sinusnih valovanj in trenda:

$$S_{SBC} = S_{BCE} + g_t \quad (26)$$

Vrednostim trenda pridobljenega s medianinim in HP filtrom smo prišteli sintetiziran signal s periodami 715, 260 in 130 dni ter amplitudami 0.3, 0.09 in 0.18. Različne vrednosti amplitude omogočajo preučevanje vpliva močnejšega cikla na šibkejše cikle. Šum sintetiziranemu signalu na trendu podatkov ni bil dodan.

4.3 ČASOVNO-FREKVENČNE PORAZDELITVE

V tem poglavju so podani različni grafični prikazi časovno-frekvenčnih porazdelitev. Predstavitve so izvedene na ciklični komponenti LJSE Composite indeksa in delnic Gorenja ter Zavarovalnice Triglav. Ker se je Pageova distribucija izkazala kot najboljši predstavnik zaznavanja poslovnih ciklov, tako v sintetiziranemu signalu kot v dejanskem indeksu ISE-100 [26], smo jo določili kot izhodišče za prikaz poslovnega cikla v izbranih signalih. V [26] so bile pretežno uporabljene, bodisi linearne TFR ali kvadratne TFR brez uporabe glajenja po času ali frekvenci. Obstoječe predstavitve smo nadgradili z drugimi predstavitevami Cohenovega razreda. Dodatne predstavitve, ki smo jih uporabili za analizo cikličnih komponent signala v časovno-frekvenčnem prostoru so bile: spektrogram, psevdo Wigner Ville in Zhao-Atlas-Marks.

Poleg analize cikličnega signala, pridobljenega s HP filtrom, bo enak postopek TFR predstavitev ponovljen nad ciklično komponento, pridobljeno z medianinim filtrom. Uporabljene bodo enake časovno-frekvenčne porazdelitve. Velikost uporabljenega okna pri izračunavanju mediane se spreminja do največ 260 dni (eno trgovalno leto).¹⁶

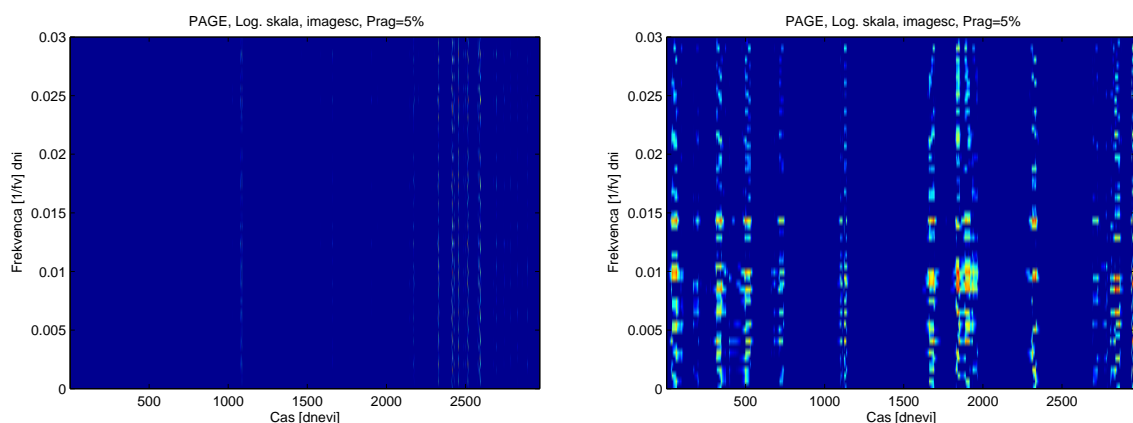
4.3.1 Sintetiziran signal na trendu podatkov - medianin filter

Za preučevanje primernost TFR pri zaznavanju poslovnih ciklov, smo najprej uporabili sintetiziran signal na trendu podatkov. S tem pristopom smo ocenjevali primernost medianinega filtra, kjer smo preučevali vpliv dolžine okna nad razpoznavanjem predhodno določenih poslovnih ciklov v LJSE Composite indeksu in delnicah Gorenja in Zavarovalnice Triglav.

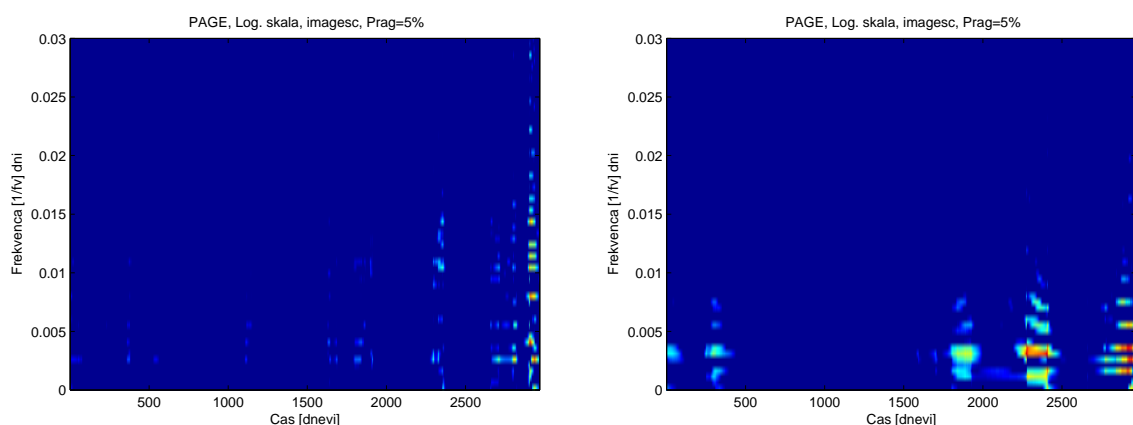
¹⁶Vse analitične slike je mogoče izdelati s pomočjo Matlabovega TFR vmesnika, ki se nahaja v prilogi B.

LJSE Composite indeks

Na sliki 18a je predstavljen sintetiziran signal na trendu podatkov s Pagovo porazdelitvijo in dolžino medianinega okna 5 dni. Relativno kratko okno slabo izpostavlja trend in slabo ocenjuje ciklične komponente za preučevanje poslovnih ciklov. S podaljšanjem okna analize na 65 dni (slika 18b) se je porazdelitev energije izboljšala, ampak še vedno ne dovolj dobro za oceno poslovnega cikloa. Na sliki 18c (dolžina medianinega okna 130 dni) ni opaziti nobene informacije o zaznavanju določenih poslovnih ciklov. Energija je intenzivneje porazdeljena pri vrednostih ob koncu signala, kar je rezultat slabe adaptacije medianinega filtra na repih signala. Zadovoljivo informacijo o zaznavanju poslovnega cikla prinaša sintetiziran signal na trendu podatkov z dolžino medianinega okna 260 dni (slika 18d). Pri frekvenčni vrednosti $0.0035 fv$ opazimo največje vrednosti energije na dveh časovnih intervalih, ki postane bolj izrazita po $t = 2000$. Skupni rezultati so predstavljeni v tabeli 10.



(a) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 5 dni (b) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 65 dni



(c) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 130 dni (d) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 260 dni

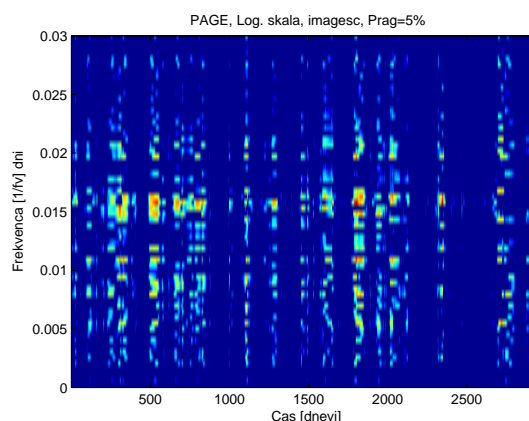
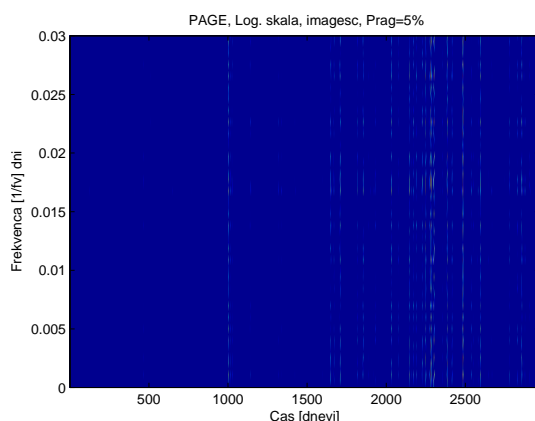
Slika 18: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov LJSE Composite indeksa z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.

Tabela 10: Poslovni cikli - sintetiziran signal na trendu podatkov LJSE Composite indeksa z medianinim filtrom.

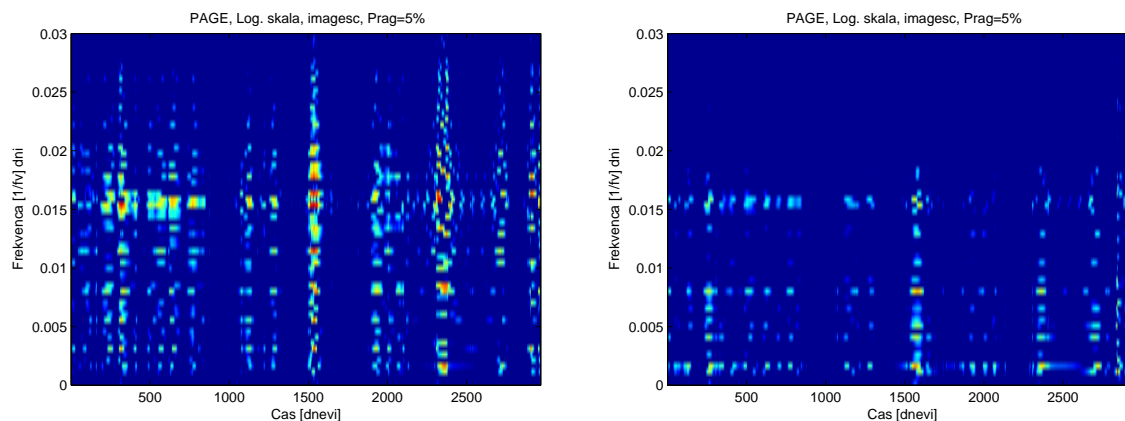
	Page (5)		Page (65)		Page (130)		Page (260)	
	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni
P_1	x	x	x	x	x	x	x	x
P_2	x	x	x	x	x	x	0.0035	285.7
P_3	x	x	x	x	x	x	x	x

Gorenje

Sliki 19a predstavlja sintetiziran signal na trendu podatkov s Pagovo porazdelitvijo in dolžino medianinega okna 5 dni. Kratko okno za pridobivanje ciklične komponente ne prinaša nobene informacije o predhodno določenih poslovnih ciklih. Podaljšanje dolžine okna na 65 dni (Slika 19b) prinaša naključno porazdelitev energije po prostoru in nobene točne informacije o poslovnem ciklu. Naključna porazdelitev energije je prisotna tudi pri dolžini medianinega okna 130 dni (Slika 19c) kljub temu, da se opazi intenzivnejšo porazdelitev energije pri frekvenčni vrednosti 0.016 fv (kar ustreza periodi z najnižje določeno amplitudo v sintetiziranem signalu). Naključna porazdelitev energije se zmanjša, ko se pri medianinem filtru uporabi okno dolžine 260 dni (Slika 19d). Opazi se porazdelitev energije pri frekvenčnih vrednostih 0.016, 0.007 in 0.002 fv . Skupni rezultati analize TFR se nahajajo v tabeli 11.



(a) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 5 dni (b) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 65 dni



(c) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 130 dni (d) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 260 dni

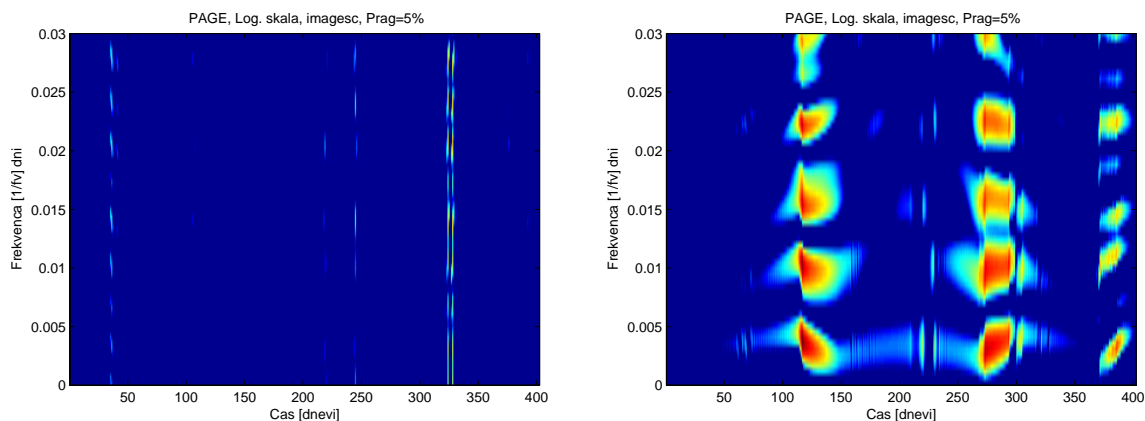
Slika 19: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov delnice Gorenje z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.

Tabela 11: Poslovni cikli - sintetiziran signal na trendu podatkov delnice Gorenje z medianinim filtrom.

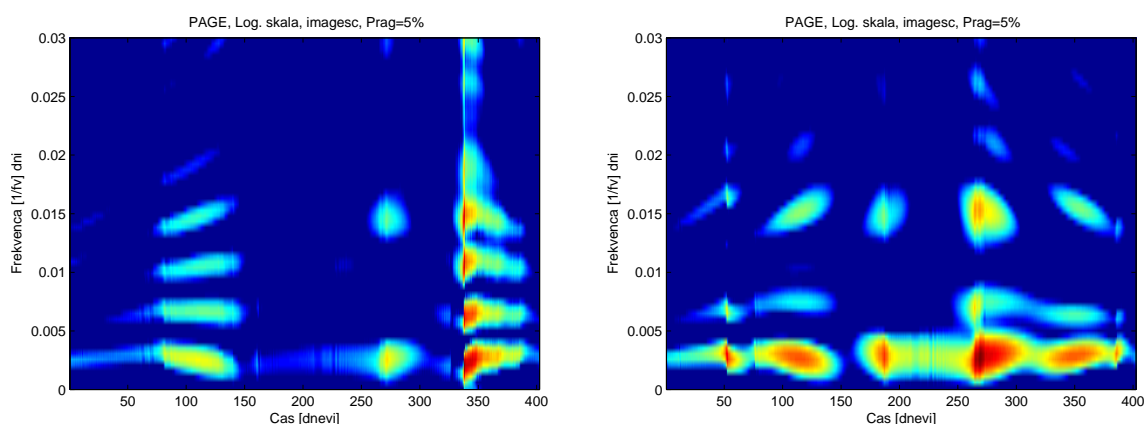
	Page (5)		Page (65)		Page (130)		Page (260)	
	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni
P_1	x	x	x	x	0.016	62.5	0.016	62.5
P_2	x	x	x	x	x	x	0.007	142.9
P_3	x	x	x	x	x	x	0.002	500.0

Zavarovalnica Triglav

Ker je bila dolžina časovnega signala delnic Zavarovalnice Trigla krajša, smo temu ustrezno prilagodili tudi dolžine medianinega okna. Na sliki 20a je prikazan signal s Pageovo porazdelitvijo in dolžino medianinega okna 5 dni. Slika ne podaja nobene informacije o lokalizaciji določenih period. Več energije se porazdeljuje v časovno-frekvenčnem prostoru pri medianinem oknu dolžine 65 dni (Slika 20b), vendar lokalizacija poslovnih ciklov še vedno ni mogoča. Z večanjem dolžine okna na 130 dni pridobimo drugačno porazdelitev energije in opazno periodo pri frekvenčni vrednosti 0.002 fv (slika 20c). Porazdelitev energije na sliki 20d je bila dosežena z medianinim oknom 260 dni. V tem primeru opazimo periodičnosti frekvenčnih vrednostih 0.016, 0.007 in 0.002 fv . Čerpav smo pričakovali boljšo lokalizacijo period z nizkimi vrednostmi medianinega okna, zaradi relativno kratkega signala, se je najdaljše okno (260 dni) izkazalo za najprimernejše. Skupni rezultati analize so predstavljeni v tabeli 12.



(a) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 5 dni (b) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 65 dni



(c) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 130 dni (d) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 260 dni

Slika 20: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov delnice Zavarovalnice Triglav z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.

Tabela 12: Poslovni cikli - sintetiziran signal na trendu podatkov delnice Zavarovalnice Triglav z medianinim filtrom.

	Page (5)		Page (65)		Page (130)		Page (260)	
	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni
P_1	x	x	x	x	x	x	0.016	62.5
P_2	x	x	x	x	x	x	0.007	142.9
P_3	x	x	x	x	0.002	500.0	0.002	500.0

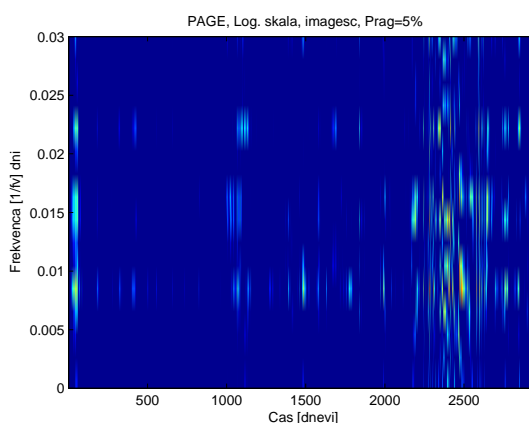
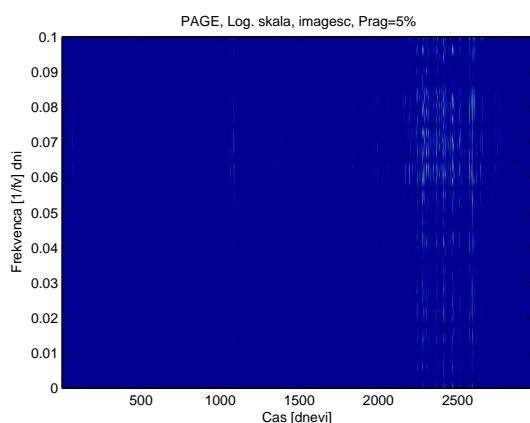
4.3.2 Signal podatkov - medianin filter

Medtem ko smo v prejšnjem primeru poznali vrednosti period, ki smo jih prištevali ocenjenemu trendu, smo v nadaljevanju poskušali oceniti poslovni cikel na dejanskih podatkih vseh treh signalov. Analizo smo izvedli na ciklični komponenti, pridobljeni s pomočjo medianinega filtra različnih dolžin. Predstavljeni so rezultati za LJSE

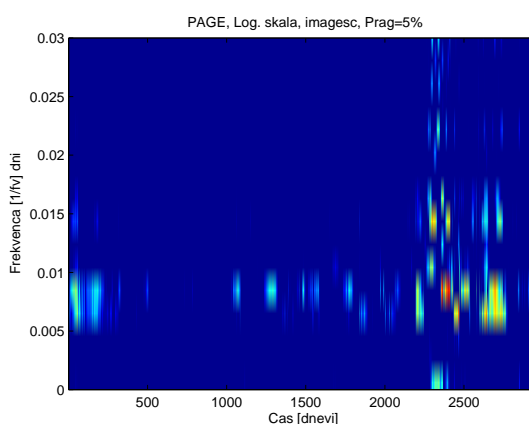
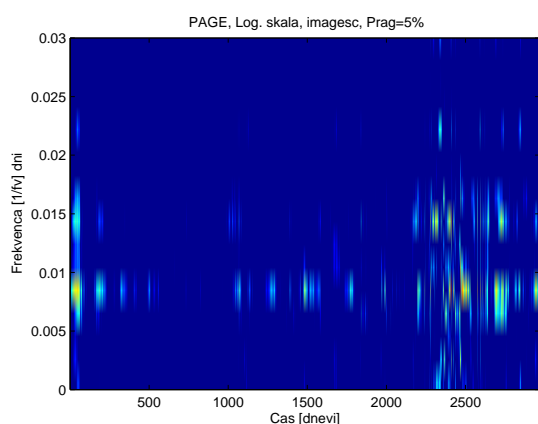
Composite indeks delnic Gorenje in Zavarovalnico Triglav s Pageovo porazdelitvijo in uporabo različnega medianinega okna pri določanju ciklične komponente.

LJSE Composite indeks

Na sliki 21a je predstavljena časovno-frekvenčno analiza ciklične komponente signala indeksa LJSE Composite z uporabo medianinega okna dolžine 5 trgovalnih dni in Pageove porazdelitve. Energija je v tem primeru porazdeljena v območju točke $t = 2500$. Z daljšanjem medianinega okna (Slika 21b) na 65 dni, se je porazdelitev energije zgostila. Blago horizontalno porazdelitev energije lahko opazimo pri frekvenčni vrednosti 0.022 in 0.008 fv . Na Sliki 21c je bilo uporabljeno okno dolžine 130 dni, kar je interferenco energije zmanjšalo in tako lahko opazimo porazdelitev energije pri frekvenčni vrednosti 0.008 fv . Dodatno višanje medianinega okna (Slika 21d) je potrdilo prisotnost energije pri frekvenčni vrednosti 0.008 fv . Skupni rezultati analize so predstavljeni v tabeli 13.



(a) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 5 dni (b) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 65 dni



(c) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 130 dni (d) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 260 dni

Slika 21: TFR prikaz ciklične komponente signala LJSE Composite indeksa z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.

Tabela 13: Poslovni cikli - signal podatkov LJSE Composite indeksa z medianinim filtrom.

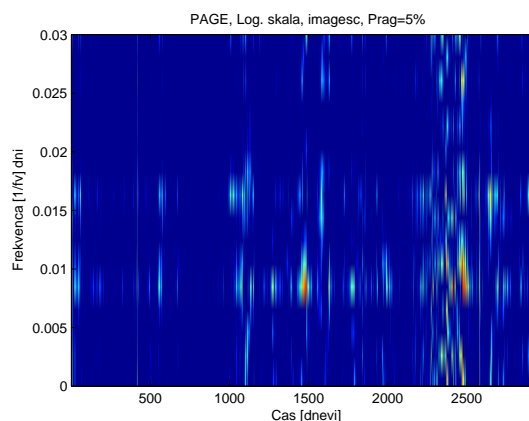
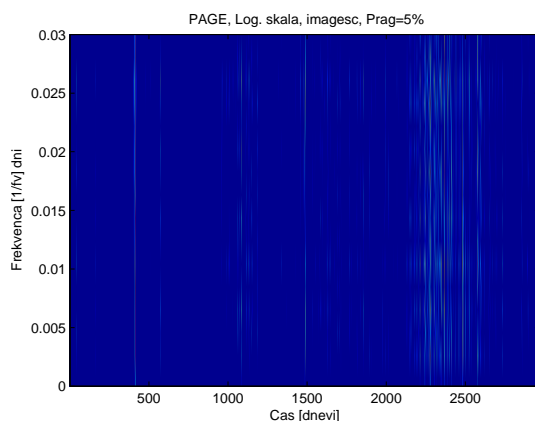
	Page (5)		Page (65)		Page (130)		Page (260)	
	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni
P_1	x	x	0.022	45.5	x	x	x	x
P_2	x	x	0.008	125.0	0.008	125.0	0.008	125.0

Gorenje

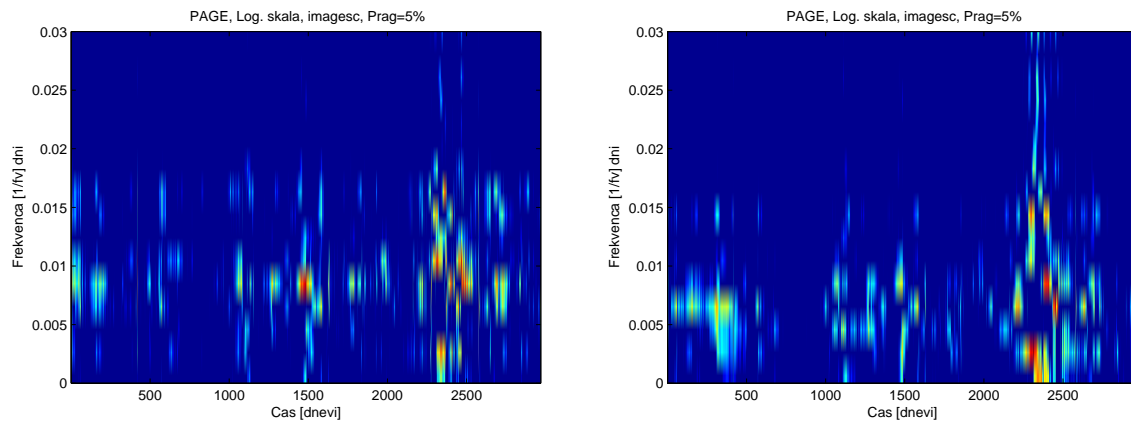
Na sliki 22a je predstavljena časovno-frekvenčna analiza signala podatkov delnice Gorenje z uporabo medianinega okna dolžine 5 dni s Pageovo porazdelitvijo. Energija je naključno porazdeljena v časovno-frekvenčnem prostoru brez opazne periode. Z višanjem dolžine medianinega drsečega okna na 65 dni (slika 22b) smo dosegli porazdelitev energije pri frekvenčni vrednosti 0.009 in 0.016 fv . Slika 22c (medianino okno dolžine 130 dni) zaznava energijo pri 0.016 fv in poudarja energijo pri 0.009 fv . Najvišje medianino okno, dolžine 260 dni (Slika 22d), ne potrjuje porazdelitve energije pri nobeni frekvenčni vrednosti. Skupni rezultati časovno-frekvenčna analize so podani v tabeli 14.

Tabela 14: Poslovni cikli - signal podatkov delnice Gorenje z medianinim filtrom.

	Page (5)		Page (65)		Page (130)		Page (260)	
	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni
P_1	x	x	0.016	62.5	0.016	62.5	x	x
P_2	x	x	0.009	111.1	0.009	111.1	x	x



(a) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 5 dni (b) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 65 dni

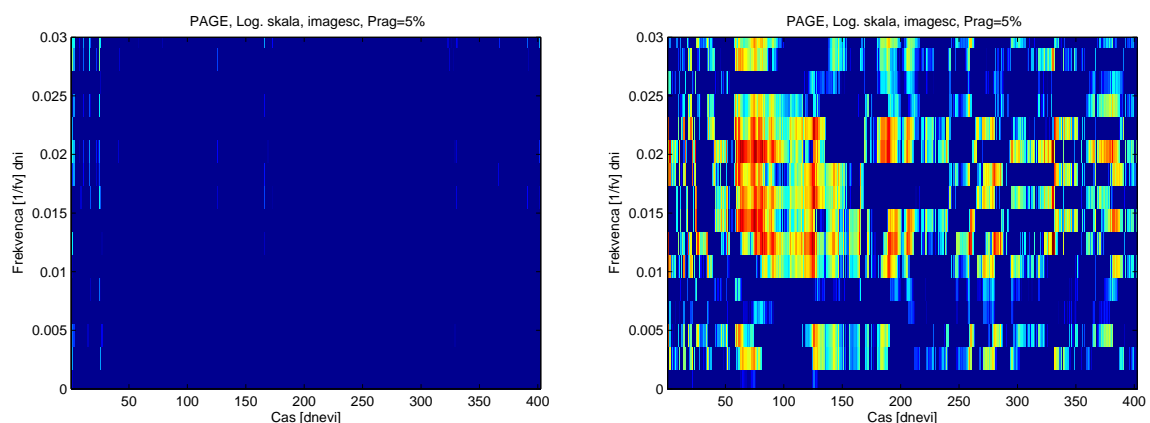


(c) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 130 dni (d) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 260 dni

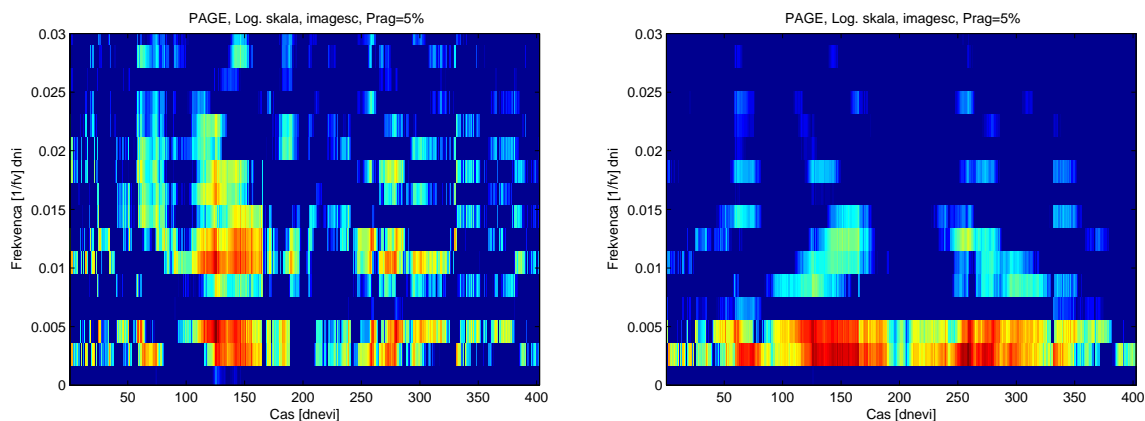
Slika 22: TFR prikaz ciklične komponente signala delnice Gorenje z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.

Zavarovalnica Triglav

Na sliki 23a vidimo časovno-frekvenčna predstavitev ciklične komponente signala Zavarovalnice Triglav z uporabo medianinega okna dolžine 5 dni in Pageovo porazdelitvijo. Slika ne prinaša nobene informacije v poslovnih ciklih. Energija se naključno porazdeljuje v prostoru pri uporabi dolžine medianinega okna 65 in 130 dni (sliki 23b in 23c). Uporaba najdaljšega medianinega okna 260 dni (slika 23d) prikazuje porazdelitev energije pri frekvenčnih vrednostih 0.005 in 0.003 fv kar ustreza 200 in 333.3 dnevom. Verodostojnost pridobljenih period je vprašljiva, saj je dolžina signala Zavarovalnice Triglav enaka le 402 dnevom. Skupni rezultati analize so podani v tabeli 15.



(a) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 5 dni (b) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 65 dni



(c) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 130 dni (d) Pageova porazdelitev z drsečim oknom 260 dni

Slika 23: TFR prikaz ciklične komponente signala delnice Zavarovalnice Triglav z medianinim filtrom in različnimi dolžinami okna.

Tabela 15: Poslovni cikli - signal podatkov delnice Zavarovalnice Triglav z medianinim filtrom.

	Page (5)		Page (65)		Page (130)		Page (260)	
	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni
P_1	x	x	x	x	x	x	0.005	200.0
P_2	x	x	x	x	x	x	0.003	333.3

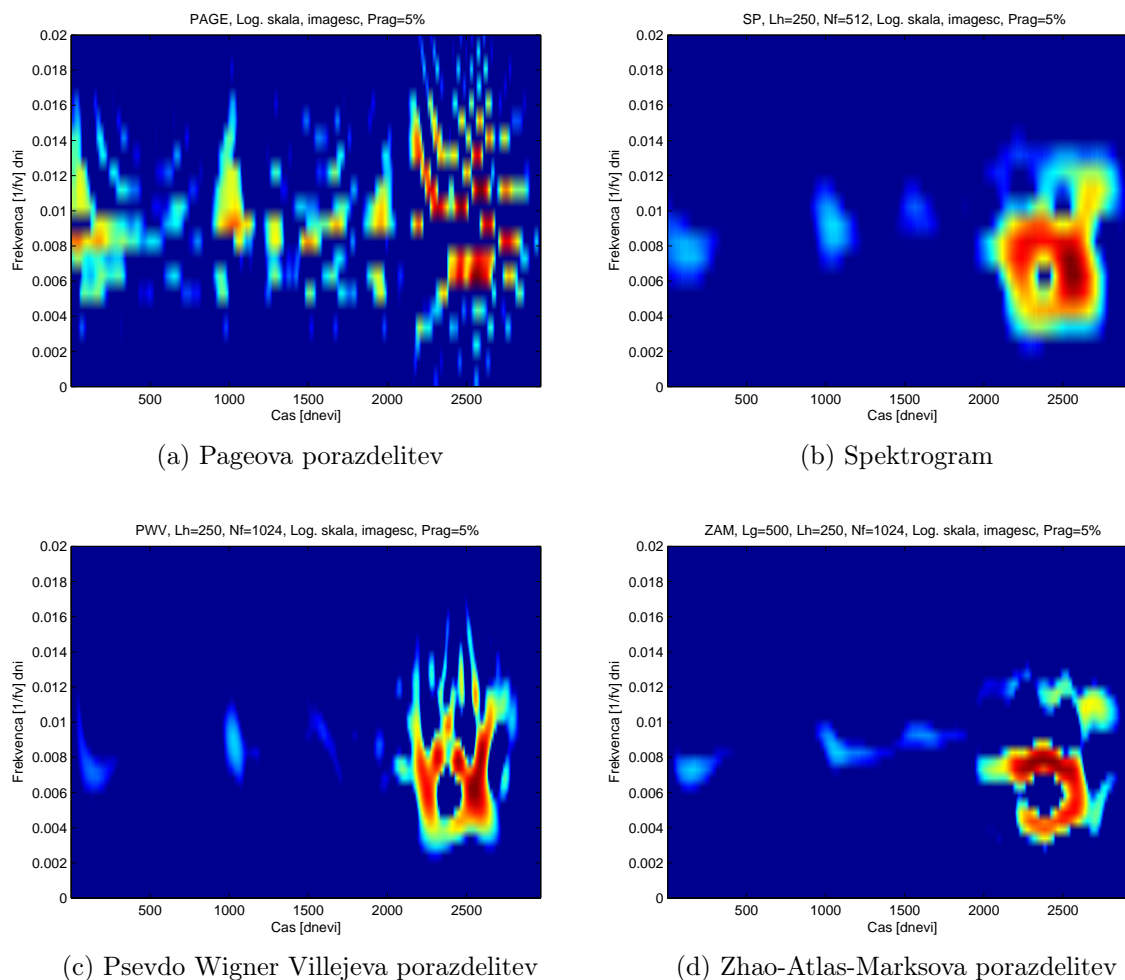
4.3.3 Sintetiziran signal na trendu podatkov - HP filter

Podobno analizo smo naredili tudi z uporabo HP filtra na borznem indeksu LJSE Composite in na delnicah Gorenja in Zavarovalnice Triglav. Uporabnost analize smo, tako kot v prejšnjem primeru, najprej testirali na sintetiziranih signalih, ki smo jih tvorili z osnovnimi krivuljami trenda in z vnaprej določenimi periodami poslovnih ciklov. Uporaba takih sintetiziranih signalov predstavlja izhodišče preverjanja uporabnosti TFR v delnicah Gorenja in Zavarovalnice Triglav ter indeksa LJSE Composite. V kolikor bi v tem primeru TFR uspešno zaznale nastavljene periode signalov, pričakujemo tudi ustrezno zaznavanje period v dejanskih signalih podatkov.

LJSE Composite indeks

Na sliki 24a je predstavljen sintetiziran signal podatkov, obdelan s Pageovo porazdelitvijo. Energija je na sliki naključno porazdeljena. TFR predstavitev v tem primeru ne zaznava nobene od zastavljenih period (poslovnih ciklov). Slika 24b prikazuje spektrogram. Močno koncentracijo energije je opaziti pri $t = 2500$. V tem času gre za prelom krivulje trenda od vzpona in do padca cen enotnih tečajev delnic. Opisani pojav se odraža v slabi oceni trenda s HP filtrom, zato so tudi odstopanja od

dejanskih podatkov v tem časovnem obdobju bistveno višja. Na sliki 24c je energija porazdeljena podobno kot v 24b in 24d. Na nobeni, izmed treh slik, ni mogoče razbrati zastavljenih period. Zato lahko pričakujemo tudi slabo zaznavanje period v dejanskih podatkih z vsemi izbrani bilinearnimi TFR.



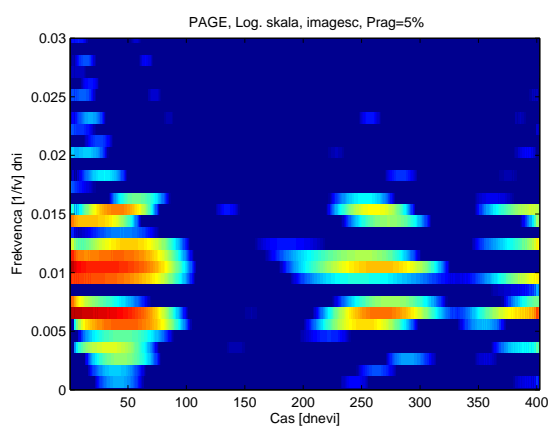
Slika 24: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov LJSE Composite indeksa ocenjenega s HP filtrom.

Gorenje

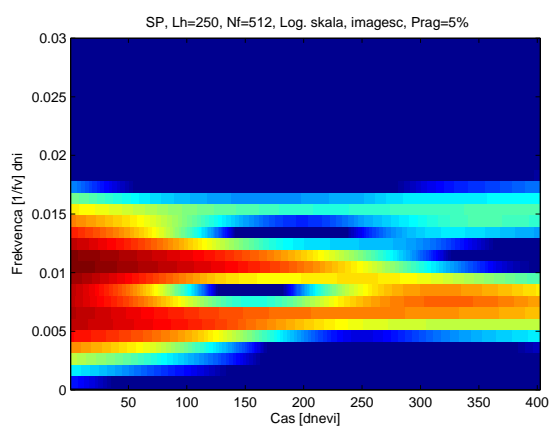
Slika 25a prikazuje podobno sintetiziran signal podatkov s Pageovo distribucijo, le da je tu sintetiziran signal prištet ocenjenemu trendu na Gorenjevih delnicah. Na frekvenčni vrednosti $0.015 fv$ se opazi horizontalni potek energije do $t = 1500$. Energija se horizontalno razteza med frekvenčnimi vrednostmi 0.005 in $0.01 fv$. Natančna lokalizacija periode ni mogoča. Na sliki 25b se energija, izračunana z sprektrogramom, horizontalno razteza pri frekvenčni vrednosti $0.015 fv$, ostale lokalizacije period na sliki niso razvidne. Sliki 25c (Psevdo Wigner Ville) in 25d (Zhao-Atlas-Marks) kažeta horizontalni potek energije pri $0.016 fv$. Ostale periode niso zaznane. Na treh slikah

Zavarovalnica Triglav

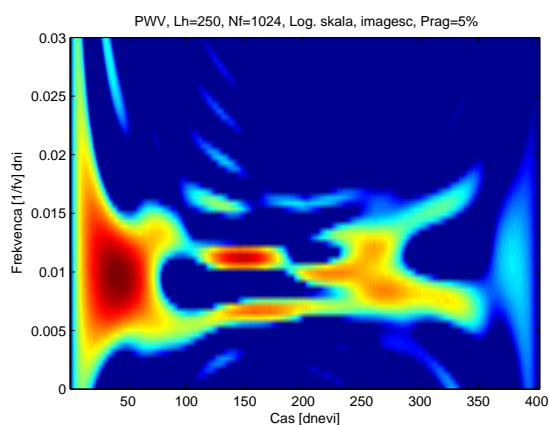
Slika 26a predstavlja Pageovo porazdelitev energije sintetiziranega signala na trendu podatkov delnice Zavarovalnice Triglav. Lokalizacija energije skozi celotno časovno obdobje ni opazna. Spektrogram na sliki 26b prikazuje potek energije skozi celotno obdobje, vendar točna lokalizacija frekvenčne vrednosti ni mogoča. Psevdo Wigner-Villejeva porazdelitev energije na sliki 26c ima prisotno interferenco, ki onemogoča točno lokalizacijo frekvenčne vrednosti periode. Zhao-Atlas-Marksova porazdelitev na sliki 26d pa uspe zaznati energijo pri frekvenčnih vrednostih 0.015, 0.01 in 0.0065 fv . Tako lahko ugotovimo, da porazdelitev ZAM pravilno zazna dve od treh zastavljenih period z nižjimi amplitudami. Skupni rezultati so predstavljeni v tabeli 17.



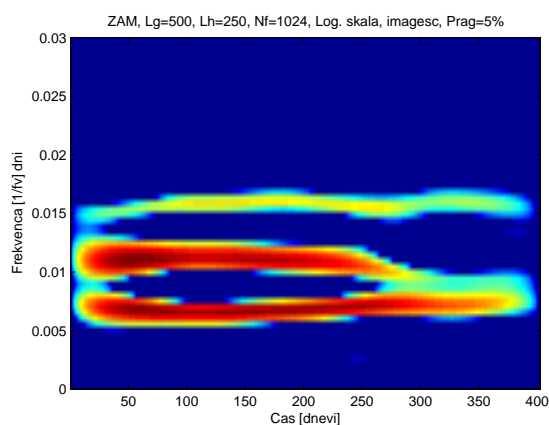
(a) Pageova porazdelitev



(b) Spektrogram



(c) Psevdo Wigner Villejeva porazdelitev



(d) Zhao-Atlas-Marksova porazdelitev

Slika 26: TFR prikaz sintetiziranega signala na trendu podatkov delnice Zavarovalnice Triglav ocenjenega s HP filtrom.

Tabela 17: Poslovni cikli - sintetiziran signal na trendu podatkov delnice Zavarovalnice Triglav s HP filtrom.

	Page		SP		PWV		ZAM	
	<i>fv</i>	Dni	<i>fv</i>	Dni	<i>fv</i>	Dni	<i>fv</i>	Dni
P_1	x	x	x	x	x	x	0.015	66.7
P_2	x	x	x	x	x	x	0.01	100.0
P_3	x	x	x	x	x	x	0.0065	153.9

4.3.4 Signal podatkov - HP filter

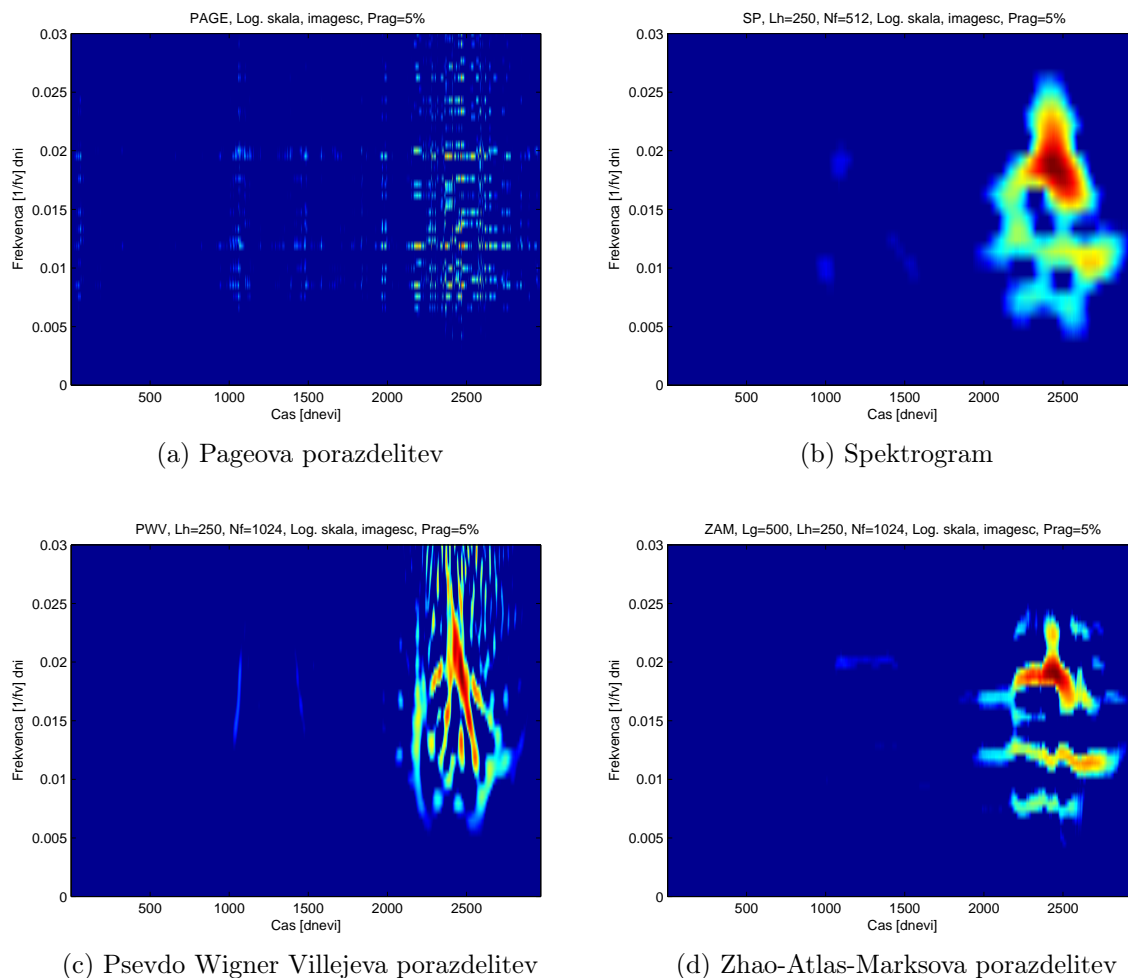
Z različnimi TFR smo v sintetiziranih podatkih uspešno zaznali periode z najnižjimi amplitudami v signalih delnice Gorenje in Zavarovalnice Triglav. Pri analizi sta bili uspešni Pageova in Zhao-Atlas-Marksova porazdelitev. Uspešnost zaznavanja danih ciklov je bila odvisna od ustreznosti HP filtra, ki se slabo odreže v območju spremembe globalnega trenda. V tem obdobju so bila odstopanja trenda, ocenjenega s HP filtrom, od dejanskih podatkov najvišja, kar je vplivalo na rezultate TFR. V nadaljevanju smo izvedeli še vse TFR analize na dejanskih podatkih LJSE Composite indeksa in delnic Gorenja in Zavarovalnice Triglav.

LJSE Composite indeks

Slika 27a predstavlja ciklično komponento dejanskega signala indeksa LJSE Composite s HP filtrom. Večjo porazdelitev energije je opaziti okoli točke $t = 2500$. Na treh frekvenčnih vrednostih, 0.02, 0.012 in 0.008 *fv* se zazna porazdelitev energije na območju $t > 1000$ dni. Na slikah 27b, 27c in 27d obstaja močna porazdelitev energije pri točki $t = 2500$. Izrazito prisotnost energije v tem območju lahko pripišemo slabi oceni ciklične komponente s HP filtrom, kar se odrazi v velikih odstopanjih od omenjenega trenda in posledično v razmazani sliki energije v tem območju. Ugotovimo lahko, da smo v primeru Pageove porazdelitve le delno zaznali prisotnost poslovnih ciklov. Skupni rezultati poslovnih ciklov so predstavljeni v tabeli 18.

Tabela 18: Poslovni cikli - signal LJSE Composite indeksa s HP filtrom.

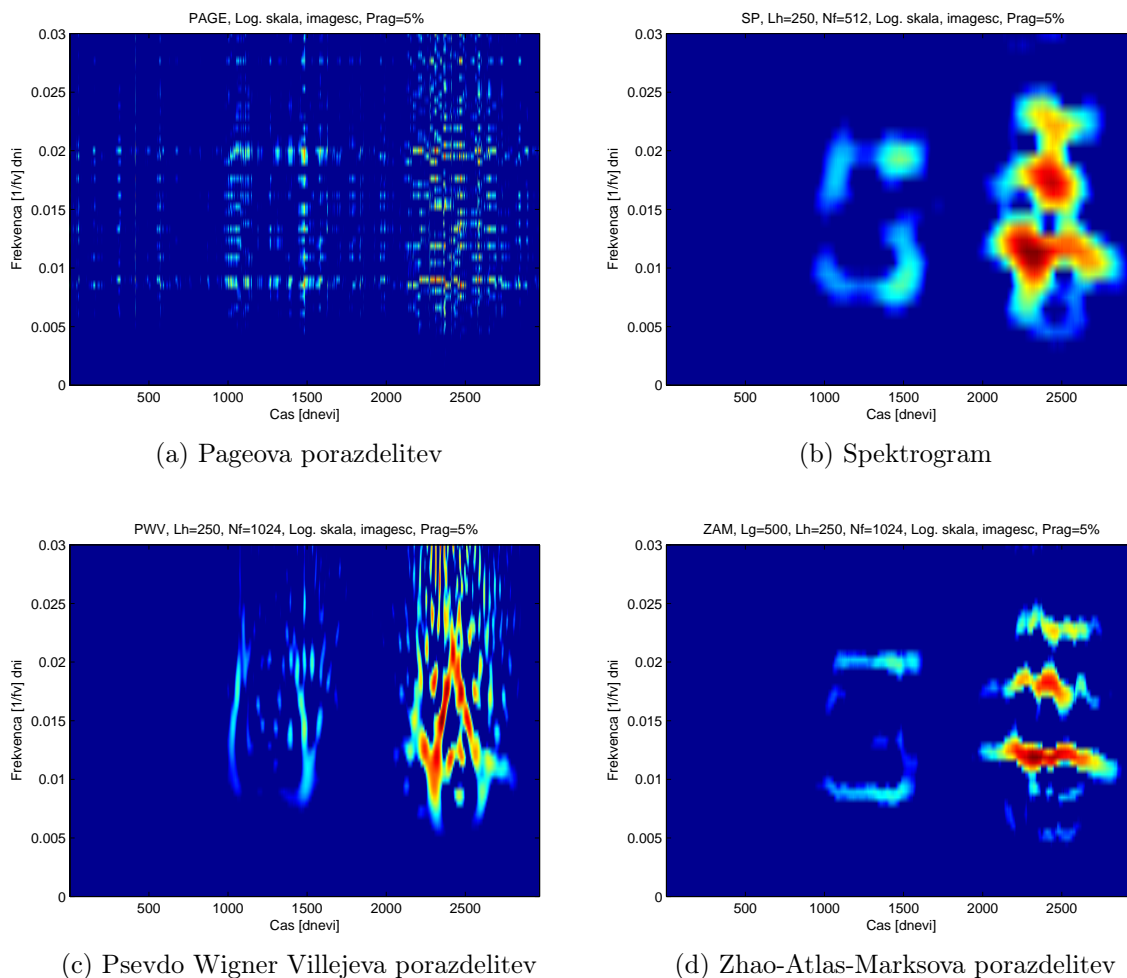
	Page		SP		PWV		ZAM	
	<i>fv</i>	Dni	<i>fv</i>	Dni	<i>fv</i>	Dni	<i>fv</i>	Dni
P_1	0.02	50	x	x	x	x	x	x
P_2	0.012	83.3	x	x	x	x	x	x
P_3	0.008	125.0	x	x	x	x	x	x



Slika 27: TFR prikaz ciklične komponente signala podatkov LJSE Composite indeksa s HP filtrom.

Gorenje

Na sliki 28a je predstavljena analiza s Pageovo porazdelitvijo in HP filtrom. Porazdelitev energije skozi celotno obdobje signala je opaziti pri frekvenčnih vrednostih 0.02 in 0.009 fv . Med omenjenima frekvenčnima vrednostima, se opazi rahlo razmazan potek energije, vendar omenjeni periodi močno izstopata. Slike 28b, 28c in 28d zaznavajo porazdelitev energije pri točkah $t = 2500$ in $t = 1250$, vendar jima ni mogoče pripisati lastnosti poslovnega cikla skozi celotno obdobje poteka signala. Tudi v tem primeru lahko opazimo ustrezno delovanje Pageove porazdelitve medtem ko z ostalimi porazdelitavami ne moremo zaznati nobenega poslovnega cikla. Skupni rezultati analize so prikazani v tabeli 19.



Slika 28: TFR prikaz ciklične komponente signala podatkov delnice Gorenje s HP filtrom.

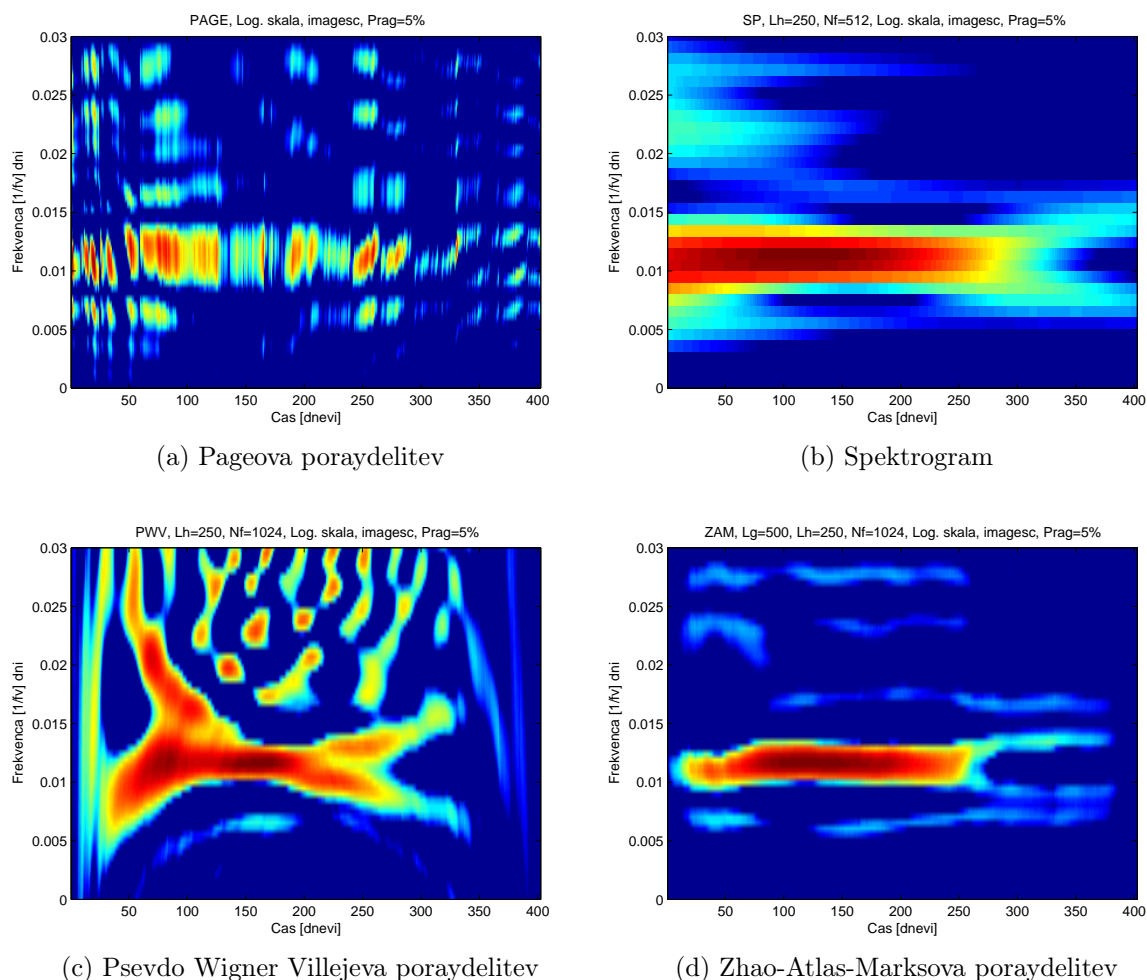
Tabela 19: Poslovni cikli - signal delnice Gorenje s HP filtrom.

	Page		SP		PWV		ZAM	
	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni
P_1	0.02	50	x	x	x	x	x	x
P_2	0.008	125.0	x	x	x	x	x	x

Zavarovalnica Triglav

V zadnjem sklopu grafičnih prikazov je prikazan signal ciklične komponente delnice Zavarovalnice Triglav. Na slikah 29a, 29b in 29d se opazi porazdelitev energije pri frekvenčni vrednosti $0.011 fv$. Preostali energiji ni mogoče pripisati lastnosti poslovnega cikla. Slika 29c, zaradi prisotnosti interference ne prikaže porazdelitve energije pri enaki frekvenčni vrednosti kot ostale porazdelitve. Zaznavanje poslovnih ciklov v tem primeru je boljše kot v prejšnjih primerih, kar lahko pripišemo boljši oceni

trenda s HP filtrom kot pa z medianinim filtrom. Obdobje analize te delnice namreč sega le od globalnega padca tečajev delnic naprej. Tako ocenjen trend samo pada in nimamo tipičnega preloma trenda kot v prejšnjih primerih. To posledično pomeni boljšo oceno trenda v celotnem obdobju. Podoben pojav lahko opazimo tudi pri obravnavi turškega borznega indeksa ISE-100 [26]. Skupni rezultati analize so predstavljeni v tabeli 20.



Slika 29: TFR prikaz ciklične komponente signala podatkov delnice Zavarovalnice Triglav s HP filtrom.

Tabela 20: Poslovni cikli - signal delnice Zavarovalnice Triglav s HP filtrom.

	Page		SP		PWV		ZAM	
	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni	fv	Dni
P_1	0.011	90.9	0.011	90.9	x	x	0.011	90.9

5 ZAKLJUČEK

V magisteriju so bile predstavljene časovno-frekvenčne porazdelitve za analiziranje visoko volatilnih finančnih časovnih vrst (signalov). Časovno-frekvenčna analiza predstavlja dodatno orodje za opazovanje signala in njegovih period, amplitud in energijskih porazdelitev v več analitičnih prostorih hkrati. Zadnji del naloge podaja nekaj informacij in smernic za nadaljnje delo na področju analize borznih podatkov s časovno-frekvenčnimi porazdelitvami.

5.1 POVZETEK

V začetku magistrskega dela je bila opisana borzna struktura, izbrani vzorec za izdelavo aplikacije in izvedbo analize ter obstoječi in izračunani parametri. Pogoji tehnične transparentnosti je bil zadoščen s skupno predstavitvijo signalov enotnih tečajev cen delnic in obsega poslovanja skozi celotno časovno obdobje. Podrobno sta predstavljena indeksa slovenske borze. Njihova predstavitev zavzema grafični prikaz in opis metodologije izračunavanja vrednosti in trenutno strukturo indeksa SBI Top.

Teoretični del naloge zavzema predstavitev energijskih časovno-frekvenčnih porazdelitev Cohenovega razreda na primeru enostavnega sintetiziranega signala in sintetiziranega signala s spremembo amplitude. V začetku so opisane pomanjkljivosti predstavitve signala v časovnem in frekvenčnem (spektralnem) prostoru. Navedeni so vzroki za uporabo časovno-frekvenčnih porazdelitev. Sledi predstavitev sintetiziranih signalov in metodologije branja časovno-frekvenčnih slik. Sintetizirana sinusna signala s točno določenimi periodami in amplitudami, ki so primerljivi s stanjem slovenske ekonomije, smo uporabili za preverjanje uspešnosti zaznavanja period časovno-frekvenčnih porazdelitev. Pri prepoznavanju period (poslovnih ciklov) sta se najbolje odrezali Pageova in Zhao-Atlas-Marksova porazdelitev. Spektrogram je imel probleme z ločljivostjo, medtem ko sta Wigner-Villejeva in psevdo Wigner-Villejeva porazdelitev imeli težave z interferenco. Glajenje Pageove porazdelitve oziroma uporaba psevdo Pageove porazdelitve rezultatov ni izboljšala.

Četrto poglavje je bilo namenjeno analizi signalov slovenske borze z različnimi časovno-frekvenčnimi porazdelitvami. V [26] so pokazali, da je Pageova porazdelitev najprimerjense orodje za prepoznavanje poslovnih ciklov nad podatki ISE-100 indeksa v časovno-frekvenčnem prostoru. Podobno analizo smo izvedli tudi na izbranih delnicah in indeksu slovenske borze.

Prvi del analize je obravnaval ciklično komponento sintetiziranega signala nad trendom podatkov indeksa LJSE Composite in delnic Gorenje ter Zavarovalnice Triglav. Analizo smo zaradi neustreznosti glajenih TFR omejili na Pageovo porazdelitev z uporabo različnih dolžin analitičnega okna v medianinem filtru. Uspešno zaznavanje

predhodno določenih period smo dobili le z uporabo dolgega medianinega okna (260 dni) nad sintetiziranim signalu delnice Gorenje in Zavarovalnice Triglav. Z enako metodologijo smo pristopili k analizi ciklične komponente dejanskih signalov. Pri indeksu LJSE Composite je mogoče večkrat opaziti poslovni cikel dolžine 125.0 dni in enkrat pri dolžini 45.5 dni. Pri delnici Gorenje sta se dvakrat pojavila poslovna cikla dolžine 62.5 in 111.1 dan. Delnica Zavarovalnice Triglav ne prinaša verodostojnih rezultatov zaradi relativno kratke dolžine signala. Povzetek poslovnih ciklov v signalih pri uporabi medianinega filtra se nahaja v tabeli 21.

Drugi del analize je obravnaval ciklične komponente signalov pridobljene s pomočjo HP filtra. Analiza sintetiziranih signalov ni podala enake potrditve oziroma je v nasprotju s pričakovanji zaznavala najmočnejšo porazdelitev energije pri periodah z najnižje določeno amplitudo. Časovno-frekvenčne porazdelitve sintetiziranega signala podatkov LJSE Composite indeksa niso zaznale nobene od določenih period. V tem primeru je bilo mogoče opaziti porazdelitev energije okoli točke $t = 2500$, kar je rezultat slabega delovanja HP filtra pri globalnem vzponu in padcu vrednosti trenda. V tem primeru se je izkazalo, da so razdalje med trendno črto in dejanskimi podatki najdaljše. Časovno-frekvenčne porazdelitve so v sintetiziranem signalu na trendu podatkov delnice Gorenje zaznale periodo z najnižjo določeno amplitudo pri vrednosti $0.015 fv$, kar je ekvivalentno 66.7 dni. V primeru glajenih porazdelitev se je energija porazdelila okoli točke $t = 2500$, kar je oviralo zaznavanje ostalih period. Sintetiziran signal podatkov delnice Zavarovalnice Triglav podaja nezadovoljive rezultate. ZAM porazdelitev zazna tri periode, od katerih je ena dobro lokalizirana v časovno-frekvenčnem prostoru. V dejanskem signalu indeksa LJSE Composite je poslovne cikle zaznala le Pageova porazdelitev pri vrednostih 50.0, 83.3 in 125.0 dni. Pri ostalih porazdelitvah je celotna energija signala porazdeljena okoli časa $t = 2500$. Podobne rezultate lahko opazimo pri ciklični komponenti dejanskih podatkov delnice Gorenje. Pageova porazdelitev zazna poslovni cikel pri vrednostih 50.0 in 125.0 dni. Ostalim porazdelitvam globalni vzpon in padec trenda onemogočajo lokalizacijo period. Pri dejanskem signalu delnice Zavarovalnice Triglav so tri TFR zaznale periodo poslovnega cikla pri vrednosti 90.9 dni. Neuspešna je bila psevdo Wigner-Villeova porazdelitev zaradi prisotnosti interference. Povzetek poslovnih ciklov v signalih pri uporabi HP filtra se nahaja v tabeli 21.

Tabela 21: Poslovni cikli - povzetek skupnih rezultatov.

	LJSE Composite		Gorenje		Zavarovalnica Triglav	
	HP	Mediana	HP	Mediana	HP	Mediana
P_1	50.0	45.5	50.0	62.5	x	x
P_2	83.3	x	x	x	90.9	200.0
P_3	125.0	125.0	125.0	111.1	x	333.3

5.2 SKLEP

Raziskava slovenskega borznega trga s pomočjo časovno-frekvenčnih porazdelitev je potrdila in nadgradila zastavljene hipoteze.

Poslovne cikle je bilo mogoče določiti v vseh izbranih signalih nad ciklično komponento pridobljeno s pomočjo HP filtra in v dveh signalih (Gorenje in LJSE Composite) s pomočjo medianinega filtra ter ustrezne velikosti analitskega okna.

Pokazali smo, da so časovno-frekvenčne porazdelitve pokazale večjo intenzivnost razporeditve energije v času gospodarske krize. V točki globalnega vzpona in padca enotnih tečajev in vrednosti indeksa se je s HP in medianinim filtrom slabo ocenil trend in posledično ciklične komponente, kar se je odrazilo v večji porazdelitvi energije v tem obdobju. Takšna razporeditev energije v prostoru je onemogočila uporabo glajenih TFR za uspešno analizo poslovnih ciklov.

Pokazali smo tudi, da izbira metode filtriranja in dolžine okna ali velikosti parametra glajenja vpliva na porazdelitev energije, napačno interpretacijo časovno-frekvenčnih slik in zaznavanje poslovnih ciklov. Na dolgem signalu podatkov indeksa LJSE Composite in delnici Gorenje izbira filtra ni vplivala na rezultate prepoznavanja poslovnih ciklov. Do razlik v določanju poslovnih ciklov je prišlo pri kratkem signalu delnice Zavarovalnice Triglav. Večanje okna analize pri medianinem filtru in parametra glajenja pri HP filtru je izboljšalo lokalizacijo poslovnih ciklov v dolgih signalih. Delovanje medianinega filtra z dolgim oknom analize v kratkem signalu ni bilo potrjeno.

5.3 NADALJNJE DELO

Magistrsko delo predstavlja začetni korak v smeri uporabe tehnike analize signalov pri obdelavi finančnih podatkov. Nadgradnja obstoječega dela se lahko izvede v naslednjih smereh.

Matlabov vmesnik, ki je predstavljen v dodatku B, je mogoče nadgraditi v samostojno aplikacijo, ki uporabniku omogoča samostojno funkcionalnost brez namestitve programskega paketa Matlab. Izboljša se lahko funkcionalnost podatkovne analize z več podatki, transformacijami, filtriranjem, lokalizacijo trenda in omogočanje izbire časovno-frekvenčnih porazdelitev. Matlabovi platformi se lahko omogoči direktno povezavo med osebnim računalnikom in bazo podatkov na Ljubljanski borzi. S takim načinom dela se omogoča analizo delnic v realnem času v časovnem in časovno-frekvenčnem prostoru. Poleg analiz, ki jih omogoča portal Ljubljanske borze, se uporabniku omogočajo dodatne analize in preučevanje podatkov.

Metode strojnega učenja so lahko implementirane za avtomatizacijo možnih kombinacij analize podatkov v časovno-frekvenčnem prostoru za prepoznavanje poslovnih ciklov. Aplikacija v takem primeru sama preverja in primerja prisotnost poslovnih ciklov z uporabo različnih vrednosti vhodnih parametrov, kot so: parametri

glajenja, dolžina okna glajenja, okno filtra, ipd. Dodatno nadgradnjo funkcionalnosti aplikacije, predstavlja tehnika prepoznavanja načinov naraščanja in padanja vrednosti v signalu. Nekateri metodološki pristopi so podani v [28], kjer so tehnike časovno-frekvenčnih porazdelitev uporabljane za razpoznavanje govornih signalov v časovno-frekvenčnem prostoru. Primerjava z obstoječimi signali ni najboljša zaradi omejene dolžine signala. V primeru ko pa je na voljo več finančnih podatkov v prostem trgu, bo mogoče pridobiti boljše analitične rezultate s pomočjo časovno-frekvenčnih porazdelitev.

Nenazadnje raziskava ni bila makroekonomski pogled stanja slovenske ekonomije. V takem primeru bi bilo potrebno pridobiti več ekonomskih indikatorjev za boljšo predstavitev stanja slovenske ekonomije z globalnega ekonomskega vidika. Več kazalnikov, kot so menjalni tečaji SIT/EUR in EUR/USD, vrednost obrestne mere, signali vzajemnih skladov, bruto domači proizvod ali industrijska proizvodnja bi lahko bili vključeni v študijo za napovedovanje bodočega gibanja in optimizacije investicijskega portfelija. V magistrskem delu so bile metode časovno-frekvenčnih porazdelitev uporabljene pri analizi enega signala, vendar se lahko rezultati izboljšajo z uvedbo različnih časovnih, frekvenčnih in časovno-frekvenčnih pristopov za primerjavo pridobljenih rezultatov v več izbranih signalih.

LITERATURA IN VIRI

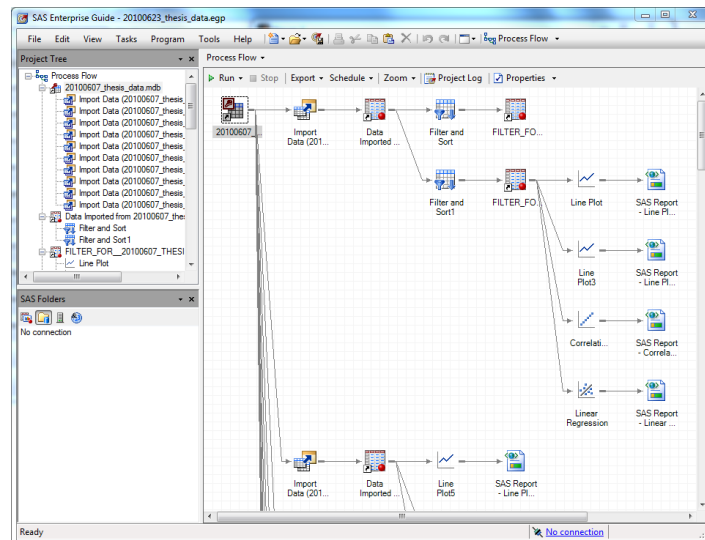
- [1] F. Auger, P. Flandrin, P. Goncalves in O. Lemoine. *Time-Frequency Toolbox for Use with Matlab (Reference guide)*. Centre National de la Recherche Scientifique, France, 1997.
- [2] F. Black in M. Scholes The pricing of options and corporate liabilities. *The Journal of Political Economy*, 81(3): 637–654, 1973.
- [3] Ljubljanska borza. Portal ljubljanske borze. Dostopno na spletu 10. november 2010:
<http://www.ljse.si>.
- [4] K. S. Chan in J. Cryer. *Time Series Analysis With Applications in R*. Springer Science, New York, 2008.
- [5] C. Chatfield. *The Analysis of Time Series*. Chapman and Hall/Crc, Raton, 2003.
- [6] L. Cohen. *Time-Frequency Analysis*. Prentice Hall Signal Processing Series, 1995.
- [7] Istanbul Stock Exchange. Istanbul stock exchange. Dostopno na spletu 10. november 2010:
<http://www.ise.org/Home.aspx>.
- [8] A. F. Burns in W. C. Mitchel. *Measuring Business Cycle*. NBER, 1946.
Dostopno na spletu 15. november 2010:
<http://www.nber.org/books/burn46-1>.
- [9] C. Fries. *Mathematical Finance: Theory, Modeling, Implementation*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2007.
- [10] J. Hamilton. *Time Series Analysis*. Princeton University Press, Princeton, 1994.
- [11] E. G. Haug. *The Complete Guide to Option Pricing Formulas*. McGraw Hill, New York, 2007.
- [12] F. Hlawatsch in G. F. Boudreaux-Bartels. Linear and quadratic time-frequency signal representation. *IEEE Signal Processing Magazine*, 9: 21–67, 1992.
- [13] R. J. Hodrick in E. C. Prescott. Postwar u.s. business cycles: An empirical investigation. *Journal of Money, Credit, and Banking*, 27: 1–16, 1997.

- [14] M. Jackson in M. Staunton. *Advanced Modelling in Finance Using Excel and VBA*. Wiley Finance, New York, 2007.
- [15] T. Jagrič. Spektralna analiza in poslovni cikli: Primer Slovenije. *Bilten EDP*, 34(3/4): 4–13, 2000.
- [16] T. Jagrič. Measuring business cycles - a dynamic perspective. *Prikazi in analize*, 9: 4–13, 2002.
- [17] T. Jagrič. *Leading indicators of aggregate economic activity of Slovenia*. Global Development Network, 2003. Dostopno na spletu 20. november 2010: http://www.cergeei.cz/pdf/gdn/RRCII_16_paper_01.pdf.
- [18] B. D. McCullough. A spectral analysis of transactions stock market data. *The Financial Review*, 30(4): 823–842, 2001.
- [19] F. Mihelič. *Signali*. Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2006.
- [20] P. Navarro. *The well-timed strategy: managing the business cycle for competitive advantage*. Wharton School Publishing, New Jersey, 2006.
- [21] S. Neftci. *An Introduction to the Mathematics of Financial Derivatives*. Academic Press, New York, 2008.
- [22] P. Peterle in A. Šketa. *Navodila za indekse, kriterije likvidnosti, tečajnico in druge statistike*. Ljubljanska borza, Ljubljana, 2010.
- [23] R. Pyndick in D. Rubinfeld. *Econometric models and Economic Forecast*. McGraw Hill, Singapore, 1998.
- [24] S. Qian in D. Chen. *Joint Time-Frequency Analysis*. Prentice-Hall PTR, New Jersey, 2010.
- [25] F. Rouah in G. Vainberg. *Option Pricing Models and Volatility Using Excel - VBA*. Wiley Finance, Hoboken, 2007.
- [26] S. Sayan in G. Turhan-Sayan. Use of time-frequency representations in the analysis of stock market data. *Computational Methods in Decision making, Economics, and Finance*, 1: 429–452, 2002.
- [27] J. G. Taylor. *Investment timing and the business cycle*. John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1998.
- [28] J. Žibert. *Časovno-frekvenčne predstavitve govornih signalov*. Magistrska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2001.

PRILOGE

A. SAS podatkovni model

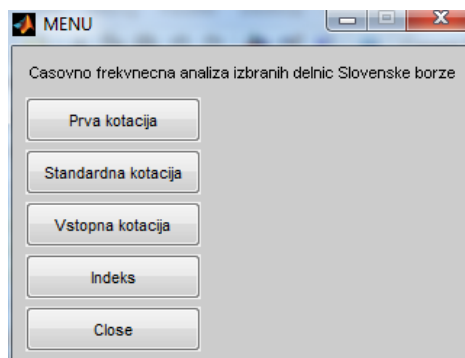
SAS omogoča statistično analizo podatkov, ki so shranjeni po tabelah oziroma v bazah podatkov. V tem primeru je bila narejena baza podatkov, ki je vsebovala vseh 15 delnic s parametri, ki so opisani na strani 10. Tabele so povezane s skupnim parametrom *datum*. Povezave med tabelami so (1:1). Slika v nadaljevanju prikazuje SASovo delovno okolje s finančnimi podatki delnic slovenske borze.



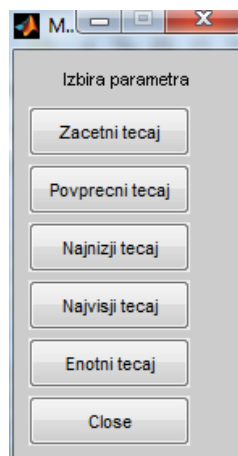
B. MATLAB vmesnik za TFR analizo delnic in indeksov slovenske borze

MATLAB vmesnik uporabniku poenostavi izbiro finančnih papirjev, metodo filtriranja in izbiro časovno-frekvenčne porazdelitve:

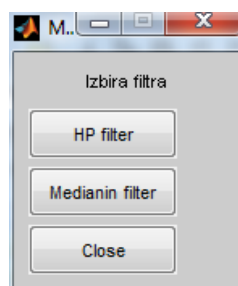
1. uporabnik izbere delnico iz posamezne kotacije oziroma indeks,



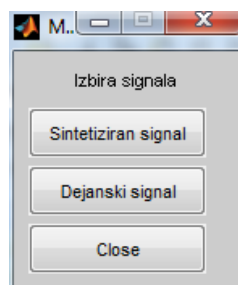
2. uporabnik izbere parameter, katerega želi opazovati v TFR prostoru,



3. uporabnik izbere filter, s katerim želi pridobiti ciklično komponento,



4. uporabnik izbere sintetiziran ali dejanski signal,



5. uporabnik izbere željeno TFR.

