
**ОЦЕНА СИСТЕМСКОГ РИЗИКА
ФИНАНСИЈСКОГ СИСТЕМА РЕПУБЛИКЕ
СРБИЈЕ И ВЕРОВАТНОЋЕ НАСТАНКА
СИСТЕМСКЕ КРИЗЕ**

Дарко Ковачевић

© Народна банка Србије, септембар, 2021.

Доступно на www.nbs.rs

За ставове изнете у радовима у оквиру ове серије одговоран је аутор и ставови не представљају нужно званичан став Народне банке Србије.

Сектор за финансијску стабилност

НАРОДНА БАНКА СРБИЈЕ

Београд, Краља Петра 12

Тел.: (+381 11) 3027 100

Београд, Немањина 17

Тел.: (+381 11) 333 8000

www.nbs.rs

Оцена системског ризика финансијског система Републике Србије и вероватноће настанка системске кризе

Дарко Ковачевић

Апстракт: Циљ овог рада је формирање показатеља системског стреса (ПСС) финансијског система Републике Србије на основу предложене модификације приступа оцене системског стреса који омогућава адекватније агрегирање посматраних показатеља у оквиру сегмената финансијског система. Поред тога, детаљно су приказане предности предложеног приступа у односу на најчешће коришћене приступе агрегације у литератури. Такође, предложена је математичка формулација нивоа системског ризика у финансијском систему и аналитички оквир система раног упозорења заснованог на оцени вероватноће настанка системске кризе у случајевима постојања произвољног броја режима. Показано је да је ПСС у стању да правилно препозна кризне периоде, као и ниво системског ризика финансијског система Републике Србије. У раду је показано да вероватноће настанка системске кризе, у задатом временском периоду, одлично прате динамику неопажених периода. Оптималан период у случају коришћених показатеља и релативно кратких временских серија износи шест месеци, што може пружити благовремене сигнале носиоцима политика ради ублажавања негативних ефеката на финансијску и макроекономску стабилност.

Кључне речи: Финансијска стабилност, Системски ризик, Финансијска криза, Марковљев прекидачки модел, Систем раног упозорења.

[JEL Code]: C32, G01, E44

Нетехнички резиме

Једна од важних лекција светске финансијске кризе из 2008. године јесте да национални регулатори и други органи надлежни за надзор финансијског система нису имали адекватне алате којима би се олакшало сагледавање и мерење системског ризика у реалном времену. Предуслови за развој аналитичких алата за препознавање системских ризика подразумевали су, с једне стране, разумевање економских процеса који доводе до акумулације ових ризика, а с друге стране, анализе догађаја који могу евентуално да проузрокују материјалне трошкове у реалној економији. Финансијска нестабилност може постати системски значајна, преко спољног и/или унутрашњег шока, ако је већи део финансијског система истовремено погођен. Почетак кризе на системском нивоу обично је праћен одређеним догађајем који је активира, док је опоравак дуготрајан процес, при чему је тренутак изласка из кризе често непознат. Иако је свака финансијска криза јединствена у погледу узрока, као и канала простирања на различите сегменте тржишта, од интереса је поређење различитих системских догађаја одређеним показатељима којима се може мерити ниво системског стреса.

Циљ овог рада је формирање показатеља системског стреса (ПСС) финансијског система Републике Србије на основу модификације приступа оцене системског стреса који су предложили Холо и група аутора, а који омогућава агрегирање посматраних показатеља у оквиру сегмената финансијског система. Како се композитни показатељ заснива на кретањима у различитим сегментима финансијских тржишта, он омогућава добру процену повезаности између ових сегмената, односно пружа могућност оцене системске компоненте, као и оцену кретања појединачних фактора ризика. Представљен је детаљан аналитички оквир за рачунање композитног показатеља и системске компоненте ризика који је заснован на примени Марковљевих прекидачких модела с динамичким транзитивним вероватноћама. Утврђене су предности и недостаци различитих приступа агрегације подиндекса сегмената финансијског система, на основу којих смо у раду предложили приступ који је у сагласности с методологијом композитног показатеља и омогућава егзактно математичко формулисање нивоа системског ризика. Поред тога, валидиран је број режима системске кризе применом методе Гаусових компонената. Оба приступа идентично су оценила број режима и моменте дистрибуција ПСС-а, што упућује на јединственост добијених резултата.

Такође, представљен је аналитички оквир за сигнале раног упозорења, који се заснива на методологији коришћеној приликом израчунавања ПСС-а и који омогућава јединствен оквир, не само за оцену тренутног нивоа стреса у систему већ и за оцену вероватноће настанка системске кризе у будућности у случајевима постојања произвољног броја режима. Квалитет класификације предложеног модела валидиран је оценом мера квалитета класификације у случају постојања произвољног броја режима, али и квалитативно на основу јавних обраћања носилаца економских политика и експерата.

Показано је да је ПСС у стању да правилно препозна кризне периоде, ниво системског ризика финансијског система, као и да оцени вероватноћу настанка системске кризе, пружајући значајне информације о степену акумулације ризика на финансијским тржиштима, као и могућим импликацијама на финансијску и макроекономску стабилност.

Садржај:

1. Увод.....	80
2. Формирање показатеља системског стреса	82
2.1. Сегменти финансијског система и одабрани показатељи.....	85
2.2. Оцена периода системског стреса и броја режима	91
2.3. Анализа кретања показатеља системског стреса	94
2.4. Анализа фактора ризика и степена стреса у посматраном периоду	97
3. Оцена вероватноће настанка системске кризе.....	100
3.1. Критични нивои вероватноће настанка системске кризе и оптимални хоризонт предвиђања	103
3.2. Анализа вероватноће настанка системске кризе.....	104
3.3. Верификација сигнала раног упозорења настанка системске кризе	107
4. Закључак.....	108
Прилог 1. Анализа метода агрегација подиндекса	110
Прилог 2. Списак показатеља за рачунање показатеља системског стреса	117
Прилог 3. Статистике оцењених вредности параметара модела	118
Прилог 4. Модели за оцену вероватноће настанка системске кризе.....	119
Прилог 5. Историја вести о кризи од 2008 до 2010. године.....	121
Литература	122

1. Увод

Светска финансијска и економска криза 2008. године показала је да су постојале слабости у регулацији финансијских система на међународном нивоу. Једна од важних лекција ове кризе јесте да национални регулатори и други органи надлежни за надзор финансијског система нису имали адекватне алате којима би се олакшало сагледавање и мерење ризика у реалном времену. Други проблем је био тај што регулатори нису имали адекватне регулаторне механизме за хитну интервенцију чак и када су били свесни ризика и када су оцењени неповољни трендови који могу утицати на целокупни финансијски систем. Финансијска криза је показала да микропруденцијалном надзору финансијских тржишта и посредника треба додати тзв. макропруденцијалну регулацију и надзор [Borio (2003)], с циљем да препозна неравнотеже и рањивости на нивоу финансијског система као целине. Сходно томе, покренут је велики број иницијатива, чији је циљ био преиспитивање постојећих регулаторних оквира. Истовремено, покренут је интензиван истраживачки рад ради формирања нових аналитичких алата који би надлежни органи за макропруденцијални надзор користили за правовремено доношење одлука.

Предуслови за развој аналитичких алата за препознавање системских ризика, с једне стране, јесу разумевање процеса који доводе до акумулације ових ризика, а с друге стране, анализе догађаја који могу евентуално да проузрокују материјалне трошкове (настанак финансијске кризе са значајним трошковима у реалној економији [Crotty (2009)]). У научној литератури говори се о три главна извора системског ризика: акумулација финансијских неравнотежа [Obstfeld and Rogoff (2009)], нпр. велики кредитни раст повезан са значајним растом цене активе, егзогени екстерни и/или интерни шокови, који утичу на учеснике на финансијском тржишту истовремено [Houben et al. (2004)], и ефекат ширења финансијске заразе (*contagion*) [Schwarcz (2008)].

Међународно искуство показује да финансијским кризама с високим трошковима по реалну економију често претходи упоран и прекомеран раст одређених видова активе. Током тих периода, раст потрошње и инвестиција, као и експанзија кредита за финансирање даљег раста, може постати самоодржавајући процес (*self-perpetuating process*), праћен акумулацијом ризика. Ове периоде обично карактерише слабљење стандарда банака при одобравању кредита, те и ризичније категорије дужника имају приступ банкарским средствима. Овај, наизглед одржив раст кредита, потрошње и инвестиција може бити прекинут чак и мањим финансијским шоковима уколико дође до истовременог утицаја на неколико сегмената финансијског система.

Финансијска нестабилност може постати системски значајна, преко спољног и/или унутрашњег шока, ако је већи део финансијског система истовремено погођен. Као резултат тога, у зависности од акумулације ризика и неравнотежа у билансима, велики број финансијских институција може се суочити са смањеним квалитетом капитала и проблема у пословању, који се често назива примарним ефектом. Финансијска зараза може да се јави ендегено, без обзира на поменуте процесе. Уколико, као резултат негативних спољашњих и/или унутрашњих шокова, једна банка или више њих негативно утичу на одрживост пословања других финансијских институција или чак

финансијских тржишта у целини, онда је присутан ефекат заразе који се назива секундарним ефектом.

Ово се најчешће дешава у случају неочекиваних проблема у функционисању системски значајних финансијских институција који се могу одразити на друге финансијске институције и финансијска тржишта. Важно је истаћи да у овом случају ефекти не произлазе нужно из макроекономског окружења, већ из неодговарајуће пословне политике, оперативног модела и функције управљање ризиком појединачне системски важне финансијске институције. Почетак кризе обично је праћен одређеним догађајем који је активира, док је опоравак дуготрајан процес, при чему је тренутак изласка из кризе често непознат. Поред тога, иако је свака финансијска криза јединствена у погледу узрока, као и канала простирања на различите сегменте тржишта, од интереса је да се одређеним показатељима којима се мери ниво системског стреса пореде различити системски догађаји.

Степен финансијског стреса зависи у највећој мери од величине шока који је погодио систем, степена акумулације ризика и неравнотежа у финансијском систему и реакција доносилаца одлука задужених за очување макрофинансијске стабилности, као и тржишних очекивања у погледу тих реакција. Први корак великог броја националних регулатора у успостављању унифициране методологије за израчунавање показатеља који су у стању да оцене здравље финансијског сектора јесу показатељи финансијског здравља (*financial soundness indicators*), које је предложио Међународни монетарни фонд ради међународног поређења и формирања оквира макропруденцијалних политика на националним нивоима [*IMF* (2008)]. За разлику од многобројних показатеља који се односе на економску активност и који се могу изразити у новчаном еквиваленту, ниво финансијског стреса нема своје јединствено обличје у реалној економији. Пошто не можемо да га меримо директно, идеја с којом је формиран показатељ системског стреса (ПСС), представљен у овом раду, јесте да се мере различите манифестације тог стреса. Циљ ПСС-а представља агрегирање фактора различитих сегмената финансијског система у један композитни показатељ. Како се композитни показатељ заснива на кретањима у различитим сегментима финансијских тржишта, он пружа добру процену повезаности између ових сегмената, односно пружа могућност оцене системске компоненте, као и оцену кретања појединачних фактора ризика.

Главни циљ овог рада представља конструкција ПСС за Републику Србију. Основни или општи циљ ПСС-а, као и других показатеља финансијског здравља, јесте оцена тренутног нивоа стреса (или његово одсуство) у финансијском систему. Рад пружа детаљан аналитички оквир за формирање показатеља чак и у случајевима недостатка високофреквентних података, истовремено узимајући у обзир карактеристике домаћег финансијског система које се односе на евроизацију и значајно страно власништво банкарског сектора и где је један од примарних трансмисионих механизма монетарне политике канал девизног курса. Детаљно је обрађена агрегација показатеља сегмената финансијског система и указано на предности и недостатке сваког приступа. Такође, пружен је оквир за формирање оцене вероватноће настанка системске кризе, заснован на методологији за израчунавање ПСС-а, који представља природно унапређење поменуте методологије.

Рад је подељен у четири целине. Након уводног дела, у другом делу представићемо аналитички оквир за агрегацију показатеља различитих сегмената финансијског система и формирање композитног показатеља коришћењем динамичких Марковљевих прекидачких режима. Детаљно ће бити обрађени и показатељи различитих сегмената финансијског система Републике Србије и идентификоване историјске епизоде повишеног стреса.

У трећем делу приступамо формирању методологије и математичког модела за израчунавање вероватноће настанка системске кризе, у произвољном временском хоризонту, на основу приказане методологије ПСС-а. Одабраћемо најбољи модел раног упозорења на основу мера квалитета класификације режима у случајевима постојања произвољног броја режима. Поред тога, валидираћемо добијене вероватноће настанка системске кризе на основу јавних навода носилаца економске политике Републике Србије о стању финансијског система у периоду од 2008. до почетка 2021. године.

На крају, у четвртном делу, закључићемо овај рад пружајући главне резултате спроведене анализе и доприносе научној литератури у виду представљене целовите методологије за оцену не само појединачних ризика у финансијском систему и системског ризика у целини већ и сигнала раног упозорења системске кризе.

2. Формирање показатеља системског стреса

Ради решавања неких од ових питања, овом анализом уводимо финансијски стрес-индекс под називом показатељ системског стреса – ПСС на основу методологије композитног показатеља системског стреса – *CISS*, која је предложена у раду *Hollo et al.* (2012). Основни или општи циљ ПСС-а, као и других показатеља финансијског здравља, јесте оцена тренутног нивоа нестабилности, тј. тренутног нивоа стреса у финансијском систему. У том смислу, финансијски систем се може дефинисати као скуп финансијских тржишта, посредника и инфраструктуре. Посебан подиндекс обрачунава се за сваки од сегмената финансијског система, након одговарајуће трансформације појединачних показатеља. Главна методолошка иновација приликом формирања ове врсте показатеља, представљена у раду *Hollo et al.* (2012), јесте примена портфолио теорије на агрегацију подиндекса у композитни показатељ. Портфолио агрегација узима у обзир различите мере асоцијација између различитих подиндекса. Као резултат тога, показатељ додељује већи пондер у моменту када стрес преовладава у неколико сегмената тржишта истовремено, што упућује на чињеницу да је системски ризик/стрес већи ако је финансијска нестабилност широко распрострањена у већем делу финансијског система.

Други елемент агрегације које карактерише системски ризик јесте чињеница да су тежинске функције портфолија за сваки подиндекс калибрисане на основу њиховог утицаја на индекс индустријске производње као меру економске активности једне земље.

Први корак у израчунавању ПСС-а представља формирање подиндекса за сваки од изабраних сегмената финансијског система. Најчешће коришћен приступ при агрегацији јесте приступ једнаких варијанси, који додељује исте тежине свим

посматраним показатељима. Пожељно је методологијом обухватити заједнички фактор варијабилитета који се јавља у подацима. Како би се утицаји појединачних серија података свели на упоредив ниво, неопходно је стандардизовати улазне податке свођењем на заједничку меру. У овом раду примењена је емпиријска кумулативна функција расподеле која сваки од показатеља своди на интервал од нула до један коришћењем следеће формуле:

$$z_t = F_T(x_t) = \begin{cases} r/T & \text{за } x_{[r]} \leq x_t < x_{[r+1]}, r = 1, 2, \dots, T-1 \\ 1 & \text{за } x_t \geq x_{[T]} \end{cases} \quad (1)$$

где су $x_{[r]}$, $r = 1, 2, \dots, T-1$, $t = 1, 2, \dots, T$ и T представља дужину узорка. На овај начин сваки податак у серији добија свој ранг који одговара квантилу кумулативне функције расподеле вероватноће између нула и један.

На основу портфолио агрегације композитног показатеља [*Hollo et al. (2012)*], висока корелација између појединачних ризика доприноси повећању ризика целокупног портфеља. С друге стране, ако је корелација између појединачних делова портфеља ниска, смањује се ризик целог портфеља, односно долази до диверсификације појединачних ризика.

За разлику од оригиналног приступа, у коме аутори вредност подиндекса добијају коришћењем приступа једнаких варијанси, односно отежане суме показатеља у оквиру једног сегмента, ми предлажемо другачије формирање ових показатеља, а које би било у сагласности с приступом формирања композитног показатеља и омогућава егзактно математичко формулисање нивоа системског ризика S_{ys} . Анализа постојећих и предложеног приступа агрегације детаљно је обрађена у Прилогу 1. Ако целокупан ризик појединачног сегмента посматрамо као један подиндекс, тада вредност овог показатеља, на основу теорије агрегирања ризика портфеља, можемо добити као:

$$SI_i^t = \sqrt{(\mathbf{W}_i \circ \mathbf{Z}_i^t) \mathbb{C}_t (\mathbf{W}_i \circ \mathbf{Z}_i^t)^T}, \quad (2)$$

где $z_{i,j}^t$ представља трансформисане показатеље у оквиру сегмента i , w_i временско инваријантну тежинску функцију једнаких варијанси, а \mathbb{C}_t матрицу корелација, док \circ представља Адамаров производ:

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}_i^t &= (z_{i,1}^t, z_{i,2}^t, \dots, z_{i,j_i}^t) \\ \mathbf{W}_i &= (w_{i,1}, w_{i,2}, \dots, w_{i,j_i}), \end{aligned} \quad (2)$$

где j_i представља број показатеља сегмента финансијског система i . За тежинске функције сматрамо $w_{i,j_m} = w_{i,j_n}, \forall m, n \in J_i$.

Од појединачних подиндекса SI_i^t добијамо ПСС на основу следеће једначине:

$$SSI^t = \sum_{j=1}^q (\mathbf{W}_k \circ \mathbf{SI}^t) I (\mathbf{W}_k \circ \mathbf{SI}^t)^T + (\mathbf{W} \circ \mathbf{SI}^t) (\mathbb{C}_t - I) (\mathbf{W} \circ \mathbf{SI}^t)^T, \quad (3)$$

где $W_k = [w_k]$, $w_k = \begin{cases} 1 & k = j \\ 0 & k \neq j \end{cases}$, q представља број посматраних сегмената, I представља јединичну матрицу, $SI^t = (SI_1^t, SI_2^t, \dots, SI_q^t)$ одговарајуће векторске вредности подиндекса и $W = (w_1, w_2, \dots, w_q)$ одговарајућу векторску тежину подиндекса.

Први део једначине (3) односи се на утицај појединачних сегмената, односно подиндекса, док други део једначине (3) егзактно одређује ниво системског ризика Sys у тренутку t :

$$Sys^t = (W \circ SI^t)(C_t - I)(W \circ SI^t)^T \quad (4)$$

Типично, у случајевима негативних шокова у финансијском систему, више сегмената финансијског система бива погођено у исто време, што изазива високу повезаност сегмената [Lo Duca and Peltonen (2011)]. Такође, одговарајућа сума чланова може се приказати у компактнијој форми која је коришћена у раду Hollo et al. (2012):

$$PCC^t = (W \circ SI^t)C_t(W \circ SI^t)^T \quad (5)$$

Бројне су дефиниције системског ризика у научној литератури и углавном се дефинише на основу крајњег утицаја на реалну економију [De Bandt et al. (2009)]. Овде уочавамо везу између финансијског система и реалне економије, о којој смо говорили на почетку овог рада. Вектор отежања подиндекса W је константан током времена и оцењује се методом максималне веродостојности путем анализе утицаја подиндекса на међугодишњу стопу раста индустријске производње – IP :

$$\hat{l}(W|SI) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \ln(f(X|SI)), \text{ где} \quad (6)$$

$$f(SI|W) = \frac{1}{2\pi^{T/2} \sqrt{\det|\Sigma_t|}} \exp\left(-\frac{1}{2}((W^T SI - IP)\Sigma_t(W^T SI - IP)^T)\right)$$

Са ограничењима:

$$\sum_{i=1}^q w_i = 1 \text{ и } w_i > 0$$

У случају рачунања подиндекса, као и у случају ПСС-а, C_t представља матрицу временски променљивих корелационих коефицијената, која је дефинисана као:

$$C_t = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12,t} & \dots & \rho_{1q,t} \\ \rho_{21,t} & 1 & \dots & \rho_{2q,t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{q1,t} & \rho_{q2,t} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Општи члан ове матрице је коефицијент корелације између променљиве i и j у тренутку t :

$$\rho_{ij,t} = \frac{\sigma_{ij,t}}{\sigma_{i,t}\sigma_{j,t}} \quad (8)$$

где је $i = 1, \dots, q$ и $j = 1, \dots, q$, $\sigma_{ij,t}$ је коваријанса између променљиве i и j у тренутку t , а $\sigma_{i,t}$ и $\sigma_{j,t}$ стандардне девијације променљиве i и j у тренутку t . Оцењују се симултано методом експоненцијално отежаних покретних просека (*EWMA*) на основу следећих формула:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij,t} &= \lambda \sigma_{ij,t-1} + (1 - \lambda)(s_{i,t-1} - \mu_{i,t-1})(s_{j,t-1} - \mu_{j,t-1}) \\ \mu_{i,t} &= \lambda \mu_{i,t-1} + (1 - \lambda)s_{i,t-1} \end{aligned} \quad (9)$$

Вредност параметра опадања λ одређује перзистентност процеса коваријације. Високе вредности $\lambda \rightarrow 1$ означавају високу инерцију и ниску реакцију процеса на предходне вредности, и обратно [*Alexander (2009)*]. Овде $i = 1, \dots, q$ и $j = 1, \dots, q$, $\mu_{i,t}$ представља очекивану вредност променљиве, а параметар λ узима константну вредност од 0,93 [*Louzis and Vouldis (2013)*].

2.1. Сегменти финансијског система и одабрани показатељи

Главна разлика између ПСС-а и осталих показатеља финансијског здравља представља фокус овог показатеља на системску димензију финансијског стреса. ПСС обухвата 25 показатеља који осликавају величину финансијског стреса у шест најважнијих сегмената финансијског система Републике Србије: девизно тржиште, јавне финансије, тржиште новца, тржиште капитала, банкарски сектор и међународно окружење.

Један од циљева при одабиру променљивих за конструкцију ПСС-а био је обухват сегмената домаћег финансијског система, као и карактеристике међународног окружења, што се може видети у Прилогу 2. Сегменти су именовани на следећи начин: девизно тржиште – *FX*, јавне финансије – *GOV*, тржиште новца – *MON*, тржиште капитала – *EQU*, банкарски сектор – *BANK* и међународно окружење – *FOR*. Обухват показатеља домаћег финансијског система у великој мери осликава карактеристике финансијског система Републике Србије. Подаци обухватају период од јануара 2008. године закључно с мартom 2021. године. Иако временска серија обухвата период од свега тринаест година, сматрамо да је ПСС успешно дефинисао периоде који су се јавили у овом раздобљу. Променљиве су узете на месечном нивоу, иако сама методологија пружа могућност коришћења података веће фреквенције. Услед мале заступљености финансијских институција на тржишту капитала и недостатка тржишних показатеља, коришћени су месечни подаци из регулаторних извештаја финансијских институција. Самим тим, неки од показатеља који се користе у развијеним економијама [*Hollo et al. (2012)*] нису могли бити примењени у случају Републике Србије.

Први од анализираних сегмената финансијског система представља девизно тржиште. Коришћени показатељи узимају у обзир карактеристике домаћег финансијског система које се односе на релативно високу евроизацију и знатно учешће

банака у већинском власништву страних лица и где је један од најважнијих трансмисионих канала монетарне политике, поред канала каматне стопе, канал девизног курса. Поред тога што евроизација умањује ефикасност вођења монетарне и фискалне политике, кретање девизног курса изузетно је важно у условима високог кредитирања у иностраној валути, као што је то случај у Србији и присутног валутно индукованог ризика дужника. Ниво девизног курса је резултанта привредних кретања једне земље, висине каматних стопа, као и специфичности економије и њеног окружења. Поред кретања девизног курса, за обрачун ПСС-а користи се и реализована волатилност курса динара према еврџу. Показатељи волатилности се генерално посматрају као одраз неизвесности, односно што је већа волатилност, то ће и вредности показатеља који мере ниво стреса бити већа, указујући на повећане турбуленције на тржиштима. Девизно тржиште може да реагује на нове информације које се односе на очекивана кретања курса. Ипак, испоставља се да све ове информације неће увек пресудно утицати на девизни курс. Након неког времена може се утврдити да поједине информације нису биле релевантне услед асиметричне информисаности учесника. Зато је очекивано да флукуације девизног курса посматране у дужем периоду буду мање од флукуација у краћем периоду [*Dornbusch (1976)*]. Следећи показатељ девизног тржишта који се користи при формирању ПСС-а јесте просечна дневна разлика између куповног и продајног курса динара према еврџу базирана на индикативним котацијама с међубанкарског девизног тржишта и односи се на ликвидност тог валутног пара. Ликвидност било које имовине, уопштено говорећи, односи се на брзину утржења имовине. Разлика између куповног и продајног курса у себи садржи уграђену премију на ризик ликвидности, па раст те разлике води порасту вредности ПСС-а. Последњи показатељ девизног тржишта односи се на апсолутну вредност девизних интервенција Народне банке Србије на домаћем девизном тржишту. Све особине девизног курса које су досад објашњене односе се на курс, који се формира слободно на домаћем девизном тржишту на основу понуде и тражње девиза. Народна банка Србије примењује режим руковођено пливајућег девизног курса и спроводи интервенције на међубанкарском девизном тржишту ради ублажавања прекомерних краткорочних осцилација курса динара према еврџу, без намере да се утиче на одређени ниво девизног курса, нити на тренд његовог кретања, као и ради очувања стабилности цена и финансијског система и одржавања адекватног нивоа девизних резерви. Ово право Народне банке Србије у складу је с Меморандумом Народне банке Србије о циљању (таргетирању) инфлације као монетарне стратегије, која се формално примењује од јануара 2009. године, као и с програмима монетарне политике. Народна банка Србије својим девизним интервенцијама у извесној мери апсорбује стрес, који би се у супротном у потпуности одразио на девизни курс динара према еврџу. С обзиром на то, вредност девизних интервенција Народне банке Србије на домаћем девизном тржишту осликава притиске на домаћу валуту и тиме утиче на ПСС.

Други сегмент финансијског система којим оцењујемо ПСС јесте тржиште новца. Тржиште новца представља сегмент финансијских тржишта на коме се тргује краткорочним финансијским инструментима. Генерално, тргује се активом чији је рок доспећа мањи од годину дана. На овом тржишту најчешће се обављају послови трансакција жиралним новцем и краткорочним кредитима, есконтни и ломбардни

послови, као и послови с краткорочним хартијама од вредности. Пошто тржиште новца омогућава тражиоцу да у што краћем року утржи одређену активу за готовину, основну карактеристику овог тржишта представља ликвидност. Први показатељ стања на тржишту новца је *BEONIA* (*Belgrade OverNight Index Average*), која представља каматну стопу која се формира као пондерисани просек каматних стопа на преконоћне позајмице на новчаном међубанкарском тржишту. У складу са Одлуком о достављању Народној банци Србије података о преконоћним позајмицама на међубанкарском новчаном тржишту, преконоћна позајмица представља позајмљивање динарских средстава једне банке другој банци, где је рок враћања позајмице крај наредног радног дана од дана њеног давања. Укључивањем каматне стопе *BEONIA*, претпостављамо да би се у случају већих турбуленција у банкарском сектору могло догодити да се банке интензивно задужују, што би подигло просечну међубанкарску каматну стопу, па би вредност ПСС-а тада расла. Ипак, ако посматрамо историјско кретање ове стопе, примећујемо да *BEONIA* обично прати стопу по којој се врше репо операције. Поред вредности каматне стопе *BEONIA*, користимо и стандардну девијацију стопа по којима су закључене појединачне трансакције на међубанкарском тржишту новца у односу на каматну стопу *BEONIA*. Уколико стопе по којима се обављају трансакције на међубанкарском тржишту битно одступају од каматне стопе *BEONIA*, то може бити сигнал неизвесности на тржишту новца. Раст стандардне девијације води расту вредности ПСС-а. Поред вредности каматне стопе *BEONIA*, користимо и разлику између каматне стопе *BEONIA* и референтне каматне стопе. Референтна каматна стопа је основни инструмент монетарне политике Народне банке Србије. Негативна вредност овог показатеља говори о довољно високом нивоу ликвидности у банкарском систему, па очекивано умањује вредност ПСС-а. С друге стране, ако су банке принуђене да се задужују по вишој каматној стопи у односу на референтну, то треба да буде сигнал да се суочавају с мањком ликвидности. Поред поменутих показатеља, укључили смо и разлику између максималне постигнуте каматне стопе на преконоћне позајмице на међубанкарском тржишту и каматне стопе на кредитне олакшице. Према Одлуци о каматним стопама које Народна банка Србије примењује у поступку спровођења монетарне политике, каматна стопа на износ преконоћног кредита за одржавање дневне ликвидности банака (кредитне олакшице) одређује се у висини референтне каматне стопе увећане за 0,9 процентних поена. Као залог за овај кредит банке треба да приложи одређену количину динарских хартија од вредности. Ако банка није успела да подигне такав кредит код Народне банке Србије, већ је била принуђена да се задужи на међубанкарском тржишту по неповољнијој каматној стопи, значи да је имала велику потребу за додатном ликвидношћу. Ово се може тумачити као знак стреса, па позитивна вредност овог показатеља треба да увећа вредност ПСС-а. Следећи показатељ ликвидности на тржишту новца јесте издвојеност обавезне резерве. Последњег дана обрачунског периода, просек издвојености обавезне резерве за период треба да буде једнак или већи 100% обрачунатих обавезних резерви. Иако је најбоље да издвојена обавезна резерва тада буде тачно 100% обрачунатих, већа вредност није нарочито забрињавајућа, јер значи да банке имају више ликвидности него што им је неопходно. Вредност мања од 100% упућује на могућ проблем с ликвидношћу. Ово може да значи да банке нису у стању да издвоје довољно средстава за обавезну резерву, тј. да нису довољно ликвидне. Релативно висока евроизација наше привреде чини нас зависним од кретања евра на

међународним тржиштима. Из тог разлога, у обрачун ПСС-а укључена је и разлика између тромесечне каматне стопе *EURIBOR* (*Euro InterBank Offered Rate*) и каматне стопе на немачке државне обвезнице *BUND* рочности три месеца. *EURIBOR* је просечна међубанкарска каматна стопа коју између себе нуде највеће европске банке. Такође, коришћена је разлика између тромесечне каматне стопе *EURIBOR* и преконоћне каматне стопе *EONIA* (*Euro OverNight Index Average*). Каматна стопа *EONIA* је значајна зато што не само да у себи садржи тржишна очекивања монетарне политике Европске централне банке већ и ограничава кретање каматних стопа дужег доспећа. Динамика кретања разлике налазила се у фокусу емпиријских студија утицаја финансијских криза на тржиште новца [*Tamakoshi and Hamori* (2015)], које упућују на то да одређена кретања овог показатеља могу представљати рани сигнал могућих турбуленција на тржишту новца.

Тржиште капитала, као трећи сегмент финансијског система који је коришћен приликом израчунавања ПСС-а, представља тржиште на коме се новчана средства нуде и потражују дугорочно. Тржиште капитала представља институционализовано тржиште које одликују јасна правила понашања учесника и стандардизације производа. Учесницима на тржишту капитала трговање омогућава диверсификацију улагања и оптималну рочну трансформацију средстава. Светска финансијска криза показала је да, упркос мишљењима о ограниченим ефектима кризе на плитка и недовољно развијена тржишта капитала, као што је тржиште капитала у Србији, ефекти могу бити значајни. Први репрезентативни показатељ тржишта капитала односи се на трансформацију *СМАХ* [*Illing and Liu* (2006)] индекса најликвиднијих акција Београдске берзе *BELEX15* ради утврђивања наглог или продуженог пада цене капитала, који представља симптом присутног стреса на тржишту капитала. *BELEX15* квантификује перформансе најликвиднијег дела домаћег тржишта капитала. Индексну корпу акција чине обичне акције на регулисаном тржишту, а које су током претходна два тромесечја имале минимум 80% трговања на којима су закључене трансакције. Оне акције које испуњавају овај критеријум рангирају се у односу на тржишну капитализацију у слободном промету. Трансформација *СМАХ* мери максимални кумулирани губитак у одређеном периоду. За потребе овог рада посматра се максимални кумулирани губитак у току претходних 12 месеци. Веће вредности овог показатеља значе и већи кумулирани губитак, па подиже вредност ПСС-а, и обратно. Уколико је вредност акција одређене компаније висока, тржиште ту компанију процењује као вредну и стабилну. Новац уложен у њу неће бити изгубљен, јер је ризик да таква компанија пропадне мали. Инвеститори процењују све релевантне информације приликом трговања и њихова перцепција ризика остаје забележена у цени акције. Зато раст вредности овог индекса говори о мањем ризику. Разлог због којих се подаци с берзе једноставно тумаче јесте тај што берза представља једно од најликвиднијих тржишта. Ту се све трансакције обављају у реалном времену, те се информације брзо уграђују у цену. Зато цена или принос формиран на берзи представљају антиципирајуће показатеље. Поред кретања цене, од посебног интереса је и промет који се често везује за асиметричност информација учесника на тржишту [*Chae* (2005)]. Тржишни учесници не могу бити савршено информисани о пословању субјеката, па у периодима финансијског стреса тргују знатно мање из опреза. Мање вредности промета индекса *BELEX15* указују на то да вредност

ПСС-а треба да буде већа. Следећи показатељи које ћемо користити јесу реализована волатилност индекса *BELEX15* исказаног преко цене на затварању, као и реализована волатилност промета индекса *BELEX15*. Ако су колебања цене односно промета значајна, инвеститори не могу са сигурношћу да процене компанију у коју улажу. Висок степен неизвесности интерпретира се као сигнал стреса, па подиже вредност ПСС-а.

Последице финансијских криза на сегмент јавних финансија огледају се у смањењу јавних прихода услед пада економске активности. Истовремено, расту издаци и дефицит, који се покрива већим задуживањем државе на домаћем и међународним тржиштима, које у условима финансијских неравнотежа постаје скупље. Расте и потреба за државним интервенцијама ради очувања стабилности економије. Светска финансијска криза поставила је изазов државама да одрже ниво потрошње која подржава будући привредни раст. У случајевима дужих кризних периода, јавља се потреба за подржавањем агрегатне тражње, што ће ублажити притиске на јавну потрошњу, што је додатно отежано ако постоји висок дефицит пре кризе. Ово може довести до кризе сувереног дуга, која се дефинише као економски и финансијски ефекти изазвани перцепцијом немогућности државе да плати свој јавни дуг. То се обично дешава када нека земља достигне критични ниво спољног дуга и истовремено ниског привредног раста. Први показатељ јавних финансија представља разлика приноса до доспећа десетогодишње државне еврообвезнице Републике Србије и немачке десетогодишње државне обвезнице, која говори о перцепцији ризика дуга Републике Србије у односу на ниско ризичан дуг Немачке. Када разлика приноса расте, вредност ПСС-а такође расте, будући да је већи потенцијални принос повезан с већим ризиком. Следећи показатељ је разлика котација приноса до доспећа десетогодишње државне еврообвезнице. Разлика котација приноса има аналогно значење, као што је објашњено раније у раду. Велика разлика означава да се улагање у ову обвезницу перципира као ризично, па повећава вредност ПСС-а. Велика премија за ризик уграђена у разлику говори о ризику ликвидности. Показатељи волатилности указују на несигурност инвеститора у погледу вредновања активе, односно што је већа волатилност, то ће и вредности показатеља који мере ниво стреса бити веће, указујући на повећане турбуленције на тржишту. Из тог разлога у обрачун ПСС-а уврштена је и реализована волатилност приноса до доспећа десетогодишње државне еврообвезнице Републике Србије. Индекс обвезница тржишта у настајању за Србију (*EMBI Global Serbia*) представља један од подиндекса на основу ког се формира *EMBI Global* [Cavanagh and Long (1999)] и има њему аналогно значење. Повећање перцепције ризика води расту индекса обвезница тржишта у настајању, а самим тим и ПСС-а. Високе вредности консолидованог фискалног дефицита [IMF (2001)] у односу на бруто домаћи производ означава неодрживост јавног дуга једне државе и угроженост суверена као дужника и често представља сигнал инвеститорима увећаног ризика одрживости фискалне политике. *Attinasi et al.* (2009) показали су да државе које се сусрећу с највишим повећањем маргина приноса на државне хартије од вредности јесу управо државе које су у преткризном периоду имале висок однос дефицита и бруто домаћег производа. Из тог разлога, континуирано високе вредности учешћа дефицита у бруто домаћем производу представљају показатељ нагомилавања фискалних ризика и повећавају ПСС.

Посебно важан сегмент финансијског система представља банкарски сектор. Будући да је српски финансијски систем банкоцентричан, са учешћем банкарског сектора од преко 90% у активи целокупног финансијског сектора, значајан утицај на ниво ПСС-а односи се на овај сегмент. С обзиром на то да тек мањи број банака има котације акција на Београдској берзи, нису коришћени тржишни показатељи, већ регулаторни и извештајни подаци. Од репрезентативних показатеља користе се одступање, односно јаз укупних депозита, који представља цикличну компоненту укупних депозита оцењен као једнострани Ходрик–Прескотов филтер, где параметар ламбда узима вредност 14.400 [Louzis and Vouldis (2013)]. Предност примене јазова односи се на чињеницу да они садрже информације о кумулираном ефекту неравнотежа. У том смислу, јазови представљају прецизнију меру неравнотеже од стопа раста. Уколико се депозити налазе у неком тренутку испод свог дугорочног тренда, јаз је негативан, те постоји могућност да ће банке бити суочене са смањењем извора финансирања. Позитиван депозитни јаз, с друге стране, има повољан ефекат на изворе финансирања и ликвидност банака, а самим тим и на ПСС. Следећи показатељ је кредитни јаз, који се, такође, одређује као циклична компонента кретања кредита уз помоћ једностраног Ходрик–Прескотовог филтера. Негативни јаз значи да банке одобравају мање кредита него обично. Ово се може догодити због поштравања кредитних стандарда услед повећане перцепције ризика или смањене тражње за кредитима, што се везује за смањену потрошњу. У оба случаја, то је неповољан сигнал и подиже вредност ПСС-а. С обзиром на знатно учешће банака у већинском власништву страних лица, коришћен је показатељ отежане суме осигурања од кредитног ризика (*Credit default swap*) банака матица, где је тежински фактор пропорционалан учешћу у укупној билансној активи домаћег сектора [Dumičić (2014)]. Процена осигурања од кредитног ризика укључује процену рејтинга државе, фискалне и макроекономске стабилности, као и кредитни рејтинг посматране финансијске институције, који обухвата показатеље пословања и стратегију развоја. Осигурање од кредитног ризика представља антиципирајући показатељ који у реалном времену прати динамику кризних периода, те се може потенцијално користити и при формирању сигнала раног упозорења [Podpiera and Ötker (2010)]. У прилог томе говори и чињеница да су се вредности осигурања од кредитног ризика појединачних земаља повећале неколико пута током 2007. године, док показатељи финансијског здравља нису показивали знаке нагомилавања ризика све до 2008. године.

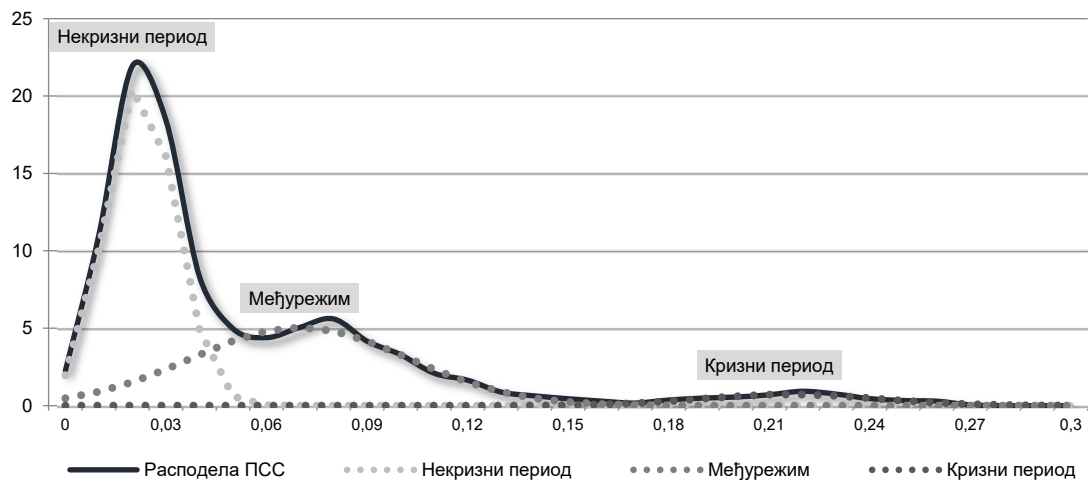
Последњи сегмент који се користи при израчунавању ПСС-а представља сегмент међународног окружења, који добија на важности услед регионализације тржишта и утицаја глобалних кретања на мале, отворене економије као што је српска. Први показатељ који је коришћен у оцени ризичности међународног окружења јесте глобални индекс обвезница тржишта у настајању (*EMBI Global*) [Cavanagh and Long (1999)]. *EMBI Global* дефинише тржишта земаља у развоју коришћењем података о доходу по становнику, као и историју реструктурирања јавног дуга. При агрегирању, у композитни *EMBI Global* уводе се релаксиранији инструменти у односу на неке друге показатеље и омогућава обухват земаља у развоју, те је обухват овог показатеља шири. Тежински фактори по појединачним државама приликом агрегације у складу је с њиховом тржишном капитализацијом. Отвореност српске економије и укљученост у

међународне токове капитала наглашава утицај међународних фактора на домаћа тржишта. Из тог разлога, од посебног интереса је праћење тржишта капитала у земљама у окружењу с обзиром на високу корелисаност с тржиштем капитала у Србији и укључивање показатеља који се односи на просечну вредност берзанских индекса земаља у окружењу, који може упутити на акумулацију стреса на овим тржиштима и евентуалног негативног утицаја на домаћа тржишта.

2.2. Оцена периода системског стреса и броја режима

Аналитички оквир има за циљ раздвајање периода високог финансијског стреса од периода са умереним или ниским нивоом стреса и заснива се на претпоставци да су својства временске серије ПСС-а зависна од релације простор–стање. На пример, претпоставља се да финансијски стрес има тенденцију груписања око различитих локалних нивоа атрактора у различитим режимима, испољавајући перзистентност у различитим раздобљима, а да се само транзиција између различитих режима одвија нагло и непредвидиво (тј. стохастички). Особине ПСС-а могу се уочити на основу емпиријске функције расподеле вероватноће, која је приказана на Слика 1.

Слика 1. Показатељ системског ризика изражен сумом Гаусових дистрибуција



Дистрибуција вероватноће ПСС-а очигледно је мултимодална и великој мери асиметрична ка десном репу дистрибуције. Ова карактеристика функције дистрибуције вероватноће сугерише на то да се емпиријска функција вероватноће може представити сумом одговарајућих параметарских расподела, од којих свака карактерише засебан прекидачки режим. Применом модела Гаусових компонената (*Gaussian mixture models*) [Press (2007)], који је приказан на Слици 1, могу се видети моменти расподела режима, који су приказани у Табели 1. Модели Гаусових компонената представљају параметарске функције густине вероватноће добијене на основу отежаних сума Гаусових расподела.

Табела 1. Основне статистике примене Гаусових мешања дистрибуција у зависности од броја режима

	2	3	4	5
<i>AIC</i>	-655,38	-688,76	-685,42	-682,60
<i>BIC</i>	-640,03	-664,21	-651,66	-639,64
Веродостојност	-332,69	-352,28	-353,71	-355,31

У моделу у наставку дате су оцене момената Гаусових дистрибуција у случају постојања три различита прекидачка режима на основу вредности информационих критеријума *AIC* и *BIC*, представљених у Табели 1.

Табела 2. Моменти Гаусових дистрибуција у случају постојања три режима

	Очекивана вредност	Стандардна девијација режима	Тежинска функција
Некризни период	0,0223	5,04E-05	56,2%
Међурежим	0,0696	5,82E-04	36,2%
Кризни период	0,1929	1,60E-03	7,6%

Као што се може видети на основу прелиминарне анализе режима, поред повећања очекиване вредности, имамо и раст волатилности показатеља при повећању ризичности одговарајућих периода.

Модели Марковљевих прекидачких режима [*Hamilton (1989)*] представљају једну од најпопуларнијих нелинеарних техника за анализу временских серија у научној литератури. Ови модели подразумевају коришћење вишедимензионалних структурних једначина које објашњавају понашање система простор–стања у случају постојања више прекидачких режима. Ако се дозволе пребацивања између структурних једначина, ови модели могу анализирати сложене динамичке обрасце понашања у временским серијама. Унапређење Марковљевих прекидачких модела представља механизам који омогућава да се пребацивање између различитих стања врши уз помоћ неопажене променљиве стања – X^S . Велика предност увођења променљиве стања јесте омогућавање зависности промене структуре модела и вероватноћа преласка из једног режима у други.

Полазећи од дефиниције генерализованог модела Марковљевих прекидачких режима (*generalized Markov switching model*), добијамо:

$$y_t = \sum_{i=1}^{N_{ns}} \beta_i x_{i,j}^{N_{ns}} + \sum_{i=1}^{N_s} \Phi_j S_t x_{i,j}^{N_s} + \varepsilon, \quad (10)$$

где N_s означава прекидачке параметре, а N_{ns} непрекидачке параметре.

Модел са укљученим само прекидачким параметрима добија се за $x_{i,j}^{N_{ns}} = 0$, односно

$$y_t = \sum_{i=1}^{N_s} \Phi_j S_t x_{i,j}^{N_s} + \varepsilon, \quad (11)$$

где $x_{i,j}^{N_S} = [1 \ 1 \ \dots \ 1]$, $i = 1, 2, \dots, N_S$ и $|S_t|$ представља број прекидачких режима. Број режима није *a priori* познат, те се мора претпоставити расподела кретања зависне променљиве y_t . Под претпоставком локалне нормалности зависне функције $(y_t | S_t = i; \theta_i) \sim N(\mu_i^F, \sigma_i^F)$, где $i = 1, 2, 3$ а θ_i^F представља скуп параметара неограниченог, односно пуног модела режима i , добијамо густину условне вероватноће зависне променљиве y_t као:

$$f(y_t | S_t = i, \theta_i^F) = \frac{1}{2\pi^{n/2} \sigma_i^F} \exp\left(-\frac{(y_t - \mu_i^F)}{2\sigma_i^F}\right) \quad (12)$$

Условна вероватноћа режима j може се изразити преко једначине:

$$\begin{aligned} P_r(S_t = j | \Psi_{t-1}, \theta_j^F) &= \sum_{i=1}^{|S_t|} P_r(S_t = j, S_{t-1} = i | \Psi_{t-1}^S, \Psi'_{t-1}, \theta_j^F) = \\ &= \sum_{i=1}^{|S_t|} P_r(S_t = j | S_{t-1} = i, \Psi_{t-1}^S, \theta_j^F) P_r(S_{t-1} = i | \Psi'_{t-1}, \theta_i^F), \end{aligned} \quad (13)$$

где $P_r(S_t = j | S_{t-1} = i, \Psi_{t-1}^S, \theta_j^F)$ представља условну транзитивну вероватноћу преласка из једног режима у други на основу претходних информација Ψ^S , θ_i^F представља оцењен вектор осетљивости транзитивних вероватноћа у односу на променљиву стања X^S . Условљена транзитивна вероватноћа може бити дефинисана пробит трансформацијом $\Phi(\cdot)$:

$$P_r(S_t = j | S_{t-1} = i, \Psi_{t-1}^S, \theta_j^F) = \Phi(X^S, \Psi^S) \quad (14)$$

Када добијемо нове информације вероватноћа налажења у режиму j , једначина (12) може се ажурирати:

$$\begin{aligned} P_r(S_t = j | \Psi_t, \theta_j^F, y_t) &= \frac{f(S_t = j, y_t | \Psi_{t-1}, \theta_j^F)}{f(y_t | \Psi_{t-1}, \theta_j^F)} = \\ &= \frac{f(y_t | S_t = j | \Psi_{t-1}, \theta_j^F) P_r(S_t = j | \Psi_{t-1}, \theta_j^F)}{\sum_{i=1}^{|S_t|} f(y_t | S_t = i | \Psi_{t-1}, \theta_i^F) P_r(S_t = i | \Psi_{t-1}, \theta_i^F)} \end{aligned} \quad (15)$$

На основу које се рачуна логаритмована функција веродостојности:

$$\log L = \sum_{j=1}^{|S_t|} \sum_{i=1}^{|S_t|} f(y_t | S_t = j, S_{t-1} = i, \Psi_{t-1}^S, \theta_j^F) \cdot P_r(S_t = j, S_{t-1} = i | \Psi_{t-1}^S, \theta_j^F) \quad (16)$$

Максимизацијом логаритмоване функције веродостојности $\max_{\theta_j^F}(\log L)$ добија се скуп параметара финалног модела.

У генерализованом случају добија се скуп једначина прекидачких режима

$$\begin{aligned}
 y_1 &= \mu_1 + \varepsilon_{1t}; \varepsilon_{1t} \sim N(0, \sigma_1) \\
 y_2 &= \mu_2 + \varepsilon_{2t}; \varepsilon_{2t} \sim N(0, \sigma_2) \\
 &\vdots \\
 y_{|S_t|} &= \mu_{|S_t|} + \varepsilon_{|S_t|t}; \varepsilon_{|S_t|t} \sim N(0, \sigma_{|S_t|})
 \end{aligned} \tag{17}$$

Транзитивна матрица режима у тренутку t дефинисана је као:

$$P_t = \begin{bmatrix} p_{(1|1)}^t(\mathbf{X}^S, \Psi^S) & p_{(1|2)}^t(\mathbf{X}^S, \Psi^S) & \dots & p_{(1|S_t)}^t(\mathbf{X}^S, \Psi^S) \\ p_{(2|1)}^t(\mathbf{X}^S, \Psi^S) & p_{(2|2)}^t(\mathbf{X}^S, \Psi^S) & \dots & p_{(2|S_t)}^t(\mathbf{X}^S, \Psi^S) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{(S_t|1)}^t(\mathbf{X}^S, \Psi^S) & p_{(S_t|2)}^t(\mathbf{X}^S, \Psi^S) & & p_{(S_t|S_t)}^t(\mathbf{X}^S, \Psi^S) \end{bmatrix} \tag{18}$$

где \mathbf{X}^S означава вектор променљиве стања, а Ψ^S вектор параметара система. Детаљније информације о алгоритму максимизације очекивања (*Expectation maximisation*) којим оцењујемо параметре модела могу се наћи у *Dempster et al. (1977)*.

2.3. Анализа кретања показатеља системског стреса

Различите спецификације модела које користе зависну променљиву y_t доцњом $\psi_t^S = y_{t-h}$ као променљиву стања и за различите вредности броја режима i приказане су у Прилогу 3. Ауторегресивни модел с јединичним кашњењем боље прати динамику кретања ПСС-а током кризног периода, али треба бити обазрив при укључивању зависне променљиве у виду ауторегресивних чланова у једначини (10). Укључивањем ауторегресивног члана зависне променљиве и омогућавањем да коефицијенти уз овај члан буду прекидачки омогућава се да се и најмање варијације показатеља, чак и при врло ниским вредностима, односно када се показатељ налази у најмање ризичном режиму, могу протумачити као стресне епизоде. Ови модели, по правилу, имају боље вредности информационих критеријума *AIC* и *BIC*, као и вредности максималне веродостојности. На нестабилност модела упућују вишеструки прелази између супротних режима (нпр. из некризног у кризни режим). Такође, транзитивне матрице вероватноћа показују тенденцију да по дијагонали немају највеће транзитивне вероватноће. Овај проблем се у највећој мери односи на немогућност оптимизационог алгоритма да конвергира глобалном оптимуму у случају мултимодалног проблема, односно у случају великог броја параметара који се оцењују. Из тог разлога, за оцену функције веродостојности у једначини (16) коришћен је приступ [*Kovačević et al. (2014)*], који омогућава проналажење глобалног оптимума чак у и случају великог броја параметара. У складу с једначинама (3) до (6), као и једначином (16), добијен је вектор отежања \mathbf{W} по дефинисаним сегментима финансијског система:

$$\begin{aligned}
 w_{FX} &= 0,202 \\
 w_{GOV} &= 0,125 \\
 w_{MON} &= 0,229 \\
 w_{EQU} &= 0,125
 \end{aligned} \tag{19}$$

$$w_{BAN} = 0,194$$

$$w_{FOR} = 0,122$$

На основу вектора отежање приказаног у (19) може се видети да највећи оцењени утицај на ПСС имају сегменти тржишта новца, девизно тржиште и банкарски сектор, док сегмент јавних финансија, тржиште капитала и међународно окружење бележе нешто ниже вредности.

Спецификација преферираног модела представљана је ауторегресивним процесом с јединичним кашњењем променљиве стања $SAR(1)$ с три прекидачка режима, у којем слободан члан и варијанса резидуала представљају прекидачке параметре. Овакав модел назваћемо пуним динамичким Марковљевим моделом с три прекидачка режима с јединичним кашњењем променљиве стања $F-DMS(3)-SAR(1)$. Префериран модел има најбоље статистике које се односе на вредности информационих критеријума, као што се може видети у Прилогу 3. Поред тога, приказани су и резултати и оцена мере квалитета класификације режима (*Regime Classification Measure*) предложена у раду *Ang and Bekaert* (2002) и *Baele* (2005) у случајевима постојања више од два режима, која се добија на основу следеће једначине:

$$RCM(|S_t|) = 100 \left(1 - \frac{|S_t|}{|S_t| - 1} \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{|S_t|} \left(p_{i,t} - \frac{1}{|S_t|} \right)^2 \right) \quad (20)$$

Ниже вредности RCM означавају бољу могућност раздвајања режима. Као што се може видети у Прилогу 3, пун модел $F-DMS(3)-SAR(1)$ забележио је најбоље резултате класификације режима. У случају постојања три прекидачка режима, на основу једначина у поглављу 2.2. добија се систем прекидачких једначина

$$y_1 = 2,31E - 02 + \varepsilon_{1t}; \varepsilon_{1t} \sim N(0, 6,30E - 05) \text{ некризни период}$$

$$y_2 = 7,40E - 02 + \varepsilon_{2t}; \varepsilon_{2t} \sim N(0, 3,95E - 04) \text{ међурежим}$$

$$y_3 = 1,87E - 01 + \varepsilon_{3t}; \varepsilon_{3t} \sim N(0, 1,86E - 03) \text{ кризни период}$$

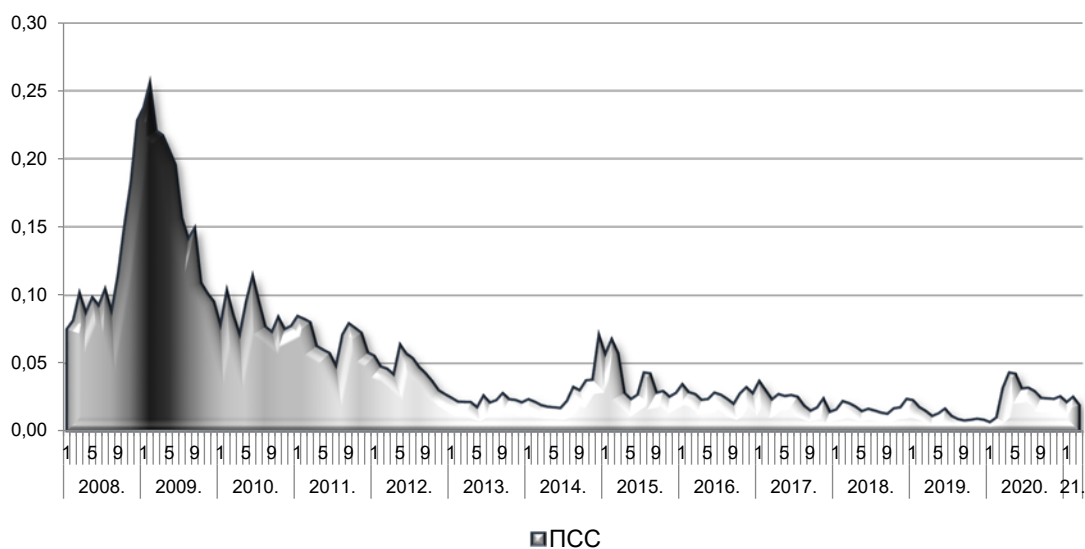
Пошто се ради о пуном моделу $F-DMS(3)-SAR(1)$, означимо параметре овог модела с натписом F :

$$\mu_1^F = 2,31E - 02, \delta_1^F = 6,30E - 05$$

$$\mu_2^F = 7,40E - 02, \delta_2^F = 3,95E - 04$$

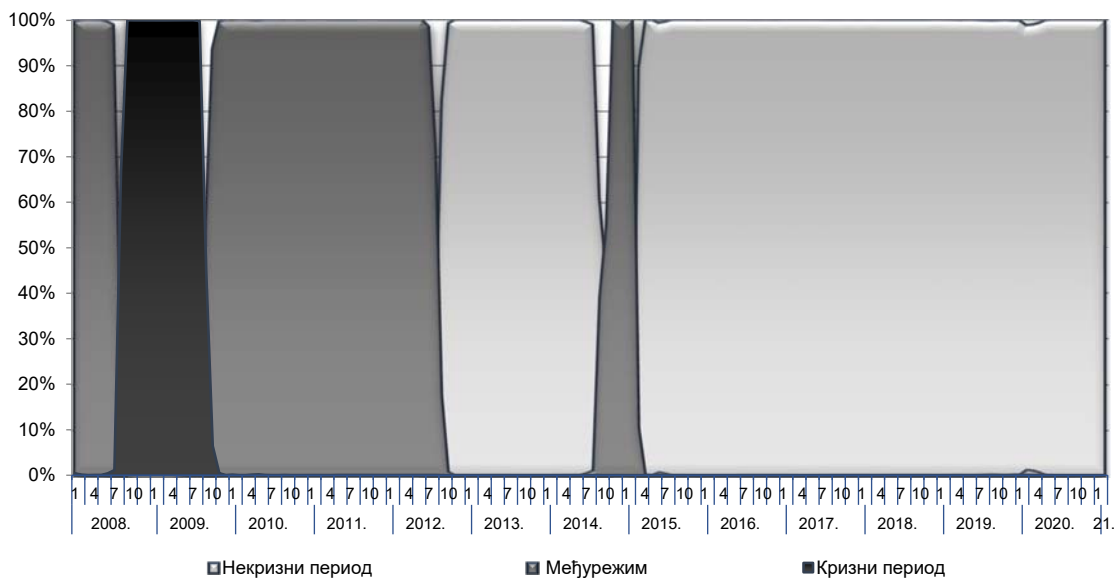
$$\mu_3^F = 1,87E - 01, \delta_3^F = 1,86E - 03$$

Слика 2. Кретање показатеља системског стреса



Оцењена очекивана вредност и волатилност, у статистичком смислу, разликују се у различитим режимима. Такође, вредности су у складу с прелиминарном анализом добијеном применом модела Гаусових мешања приказаној у Табели 2. Ниво очекиване вредности је најнижи у случају некризног периода и износи $\mu_1^F = 2,31E - 02$. У случају кризног периода она износи $\mu_3^F = 1,87E - 01$, што је у складу са очекиваним понашањем ПСС-а, односно да при порасту ризичности режима расте и вредност ПСС-а. С друге стране, волатилност такође оправдава економске фундаменте, где су очекиване више вредности колебања показатеља управо у кризним периодима, осликавајући повећану неизвесност. Волатилност у кризном периоду износи $\delta_3^F = 1,86E - 03$ и знатно је виша у односу на некризни и међукризни период. Како бисмо детаљније сагледали динамику режима, морамо уочити главна обележја сваког периода.

Слика 3. Условне вероватноће режима применом модела $F-DMS(3) SAR (1)$



Слика 4. Доприноси сегмената показатељу системског стреса

	FX	Gov	Mon	Equity	Bank	FOR	Sys
	0.42%	0.15%	0.81%	0.81%	0.36%	0.08%	5.41%
	0.90%	0.18%	0.70%	0.82%	0.20%	0.20%	5.74%
	0.82%	0.24%	1.00%	0.81%	0.51%	0.13%	7.20%
	0.32%	0.16%	1.39%	0.72%	0.58%	0.11%	5.97%
	0.33%	0.19%	1.48%	1.00%	0.76%	0.35%	6.57%
	0.26%	0.14%	1.87%	0.98%	0.61%	0.10%	6.02%
	0.19%	0.17%	1.84%	1.02%	0.98%	0.18%	6.62%
	0.13%	0.16%	1.92%	0.87%	0.79%	0.12%	5.55%
	0.52%	0.34%	2.04%	0.92%	0.72%	0.46%	7.05%
	0.81%	0.46%	2.16%	0.96%	0.49%	0.81%	8.76%
	1.71%	0.45%	1.64%	1.04%	1.03%	1.03%	12.29%
	1.90%	0.40%	2.03%	0.95%	1.00%	1.11%	15.92%
	2.22%	0.47%	2.21%	0.85%	0.92%	1.44%	16.84%
	1.85%	0.45%	2.14%	0.95%	0.88%	1.18%	18.67%
	1.07%	0.45%	1.97%	0.71%	0.79%	1.21%	16.35%
	1.32%	0.40%	1.93%	0.55%	0.74%	1.19%	10.29%
	1.09%	0.46%	1.72%	0.64%	0.67%	1.14%	15.45%
	1.23%	0.39%	1.70%	0.41%	0.70%	1.05%	14.22%
	1.10%	0.32%	1.41%	0.27%	0.60%	0.99%	11.64%
	0.94%	0.33%	1.28%	0.42%	0.36%	0.76%	10.56%
	0.95%	0.38%	1.26%	0.53%	0.57%	0.82%	11.12%
	0.93%	0.23%	1.19%	0.65%	0.41%	0.41%	8.15%
	0.82%	0.22%	0.96%	0.33%	0.23%	0.42%	7.52%
	0.96%	0.19%	0.92%	0.22%	0.19%	0.35%	7.68%
	0.99%	0.24%	0.93%	0.14%	0.20%	0.23%	6.93%
	0.88%	0.28%	1.09%	0.31%	0.23%	0.37%	7.77%
	0.99%	0.25%	1.18%	0.36%	0.26%	0.14%	6.84%
	0.96%	0.19%	0.90%	0.45%	0.29%	0.45%	6.43%
	0.80%	0.35%	0.98%	0.38%	0.29%	0.23%	7.16%
	0.82%	0.31%	0.81%	0.41%	0.20%	0.21%	5.46%
	0.82%	0.31%	1.07%	0.28%	0.13%	0.34%	7.09%
	0.76%	0.26%	1.09%	0.58%	0.24%	0.24%	5.97%
	0.46%	0.24%	1.02%	0.52%	0.20%	0.21%	5.46%
	0.70%	0.26%	0.96%	0.55%	0.13%	0.15%	6.20%
	0.68%	0.25%	1.20%	0.17%	0.19%	0.17%	5.65%
	0.95%	0.19%	0.87%	0.31%	0.19%	0.19%	6.41%
	0.55%	0.21%	0.99%	0.49%	0.40%	0.14%	6.20%
	0.41%	0.16%	1.11%	0.35%	0.87%	0.14%	5.74%
	0.39%	0.12%	1.23%	0.32%	0.99%	0.17%	6.32%
	0.38%	0.12%	0.89%	0.43%	1.27%	0.14%	3.76%
	0.34%	0.14%	0.87%	0.46%	1.46%	0.13%	3.29%
	0.39%	0.17%	0.79%	0.29%	1.22%	0.21%	3.20%
	0.43%	0.17%	0.86%	0.17%	1.16%	0.19%	2.96%
	0.33%	0.26%	0.87%	0.20%	1.02%	0.17%	4.17%
	0.31%	0.39%	0.87%	0.24%	1.32%	0.98%	4.33%
	0.31%	0.52%	0.82%	0.11%	1.44%	1.07%	3.86%
	0.37%	0.51%	0.79%	0.31%	1.44%	1.01%	3.72%
	0.31%	0.44%	0.56%	0.20%	1.03%	1.03%	2.74%
	0.46%	0.47%	0.82%	0.27%	0.83%	0.72%	2.57%
	0.51%	0.47%	0.82%	0.26%	0.69%	0.72%	2.84%
	0.65%	0.41%	0.57%	0.26%	0.69%	0.72%	2.03%
	0.52%	0.40%	0.68%	0.41%	0.75%	0.52%	1.83%
	0.46%	0.46%	0.68%	0.46%	0.75%	0.46%	1.84%
	0.92%	0.48%	0.94%	0.43%	0.45%	0.86%	2.82%
	0.68%	0.60%	0.84%	0.10%	0.75%	0.94%	2.31%
	0.84%	0.87%	0.20%	0.70%	0.20%	0.94%	2.16%
	0.56%	0.57%	0.80%	0.33%	0.74%	0.47%	1.76%
	0.60%	0.57%	0.90%	0.27%	0.89%	0.36%	1.37%
	0.31%	0.36%	0.72%	0.13%	1.44%	0.31%	1.91%
	0.53%	0.39%	0.28%	0.17%	1.00%	0.34%	0.81%
	0.49%	0.28%	0.50%	0.16%	0.89%	0.25%	0.81%
	0.44%	0.18%	0.31%	0.33%	1.29%	0.22%	0.84%
	0.25%	0.21%	0.21%	0.30%	1.27%	0.24%	0.91%
	0.26%	0.23%	0.22%	0.29%	1.24%	0.24%	0.82%
	0.29%	0.24%	0.19%	0.11%	1.53%	0.31%	0.81%
	0.22%	0.20%	0.16%	0.12%	1.24%	0.22%	0.82%
	0.41%	0.36%	0.20%	0.20%	1.16%	0.36%	0.33%
	0.29%	0.29%	0.19%	0.20%	1.18%	0.35%	0.90%
	0.19%	0.29%	0.19%	0.11%	1.07%	0.45%	0.62%
	0.31%	0.36%	0.29%	0.25%	0.40%	0.12%	0.91%
	0.38%	0.30%	0.25%	0.88%	1.71%	0.31%	0.31%
	0.36%	0.29%	0.29%	0.11%	1.18%	0.33%	0.61%
	0.33%	0.24%	0.29%	0.13%	0.89%	0.25%	0.61%
	0.44%	0.22%	0.22%	0.34%	1.22%	0.27%	0.81%
	0.36%	0.24%	0.26%	0.26%	1.19%	0.24%	0.81%
	0.33%	0.15%	0.21%	0.13%	1.15%	0.34%	0.81%
	0.23%	0.13%	0.27%	0.27%	1.08%	0.23%	0.81%
	0.21%	0.17%	0.26%	0.12%	0.81%	0.19%	0.81%
	0.19%	0.12%	0.23%	0.25%	0.80%	0.19%	0.66%
	0.31%	0.13%	0.24%	0.05%	0.67%	0.17%	1.21%
	0.34%	0.16%	0.26%	0.05%	0.66%	0.26%	2.62%
	0.38%	0.14%	0.26%	0.05%	0.48%	0.21%	2.01%
	0.36%	0.18%	0.24%	0.07%	0.52%	0.41%	2.48%
	0.44%	0.14%	0.26%	0.10%	0.51%	0.39%	2.28%
	0.94%	0.35%	0.86%	0.13%	0.33%	0.55%	4.47%
	0.76%	0.35%	0.85%	0.20%	0.39%	0.69%	3.81%
	0.95%	0.35%	1.02%	0.17%	0.73%	0.89%	3.72%
	0.69%	0.22%	0.79%	0.40%	0.63%	0.90%	3.21%
	0.79%	0.17%	0.16%	0.45%	0.69%	1.22%	1.83%
	0.45%	0.16%	0.19%	0.11%	0.64%	0.16%	1.56%
	0.38%	0.19%	0.20%	0.15%	0.56%	0.19%	1.61%
	0.43%	0.16%	0.17%	0.27%	0.53%	0.20%	2.58%
	0.35%	0.16%	0.89%	0.25%	0.47%	0.24%	2.41%
	0.31%	0.18%	0.21%	0.15%	0.43%	0.24%	1.84%
	0.41%	0.16%	0.13%	0.18%	0.32%	0.22%	2.06%
	0.44%	0.13%	0.11%	0.16%	0.24%	0.16%	1.85%
	0.64%	0.13%	0.16%	0.16%	0.41%	0.21%	1.92%
	0.75%	0.16%	0.11%	0.24%	0.33%	0.22%	2.01%
	0.56%	0.16%	0.14%	0.14%	0.36%	0.22%	1.82%
	0.67%	0.16%	0.13%	0.13%	0.39%	0.25%	1.76%
	0.36%	0.14%	0.13%	0.13%	0.28%	0.17%	1.70%
	0.35%	0.13%	0.11%	0.08%	0.21%	0.16%	1.87%
	0.43%	0.12%	0.11%	0.13%	0.20%	0.16%	2.18%
	0.56%	0.06%	0.19%	0.09%	0.19%	0.12%	1.98%
	0.31%	0.09%	0.26%	0.05%	0.19%	0.09%	1.91%
	0.36%	0.09%	0.27%	0.05%	0.19%	0.10%	1.76%
	0.34%	0.09%	0.21%	0.08%	0.16%	0.10%	2.33%
	0.29%	0.21%	0.19%	0.08%	0.16%	0.13%	2.69%
	0.31%	0.19%	0.19%	0.08%	0.16%	0.10%	2.31%
	0.26%	0.14%	0.16%	0.31%	0.33%	0.11%	2.91%
	0.16%	0.06%	0.16%	0.29%	0.45%	0.07%	2.50%
	0.19%	0.06%	0.16%	0.08%	0.39%	0.08%	2.00%
	0.23%	0.06%	0.26%	0.07%	0.62%	0.08%	2.00%
	0.45%	0.05%	0.26%	0.12%	0.40%	0.07%	1.87%
	0.21%	0.05%	0.28%	0.11%	0.45%	0.09%	1.87%
	0.38%	0.05%	0.28%	0.11%	0.40%	0.09%	1.62%
	0.20%	0.16%	0.15%	0.30%	0.30%	0.08%	1.46%
	0.42%	0.21%	0.15%	0.15%	0.36%	0.08%	1.41%
	0.39%	0.16%	0.24%	0.24%	0.24%	0.08%	1.71%
	0.38%	0.16%	0.16%	0.24%	0.27%	0.08%	1.09%
	0.19%	0.06%	0.19%	0.06%	0.42%	0.08%	1.22%
	0.22%	0.13%	0.18%	0.07%	0.52%	0.08%	1.47%
	0.36%	0.09%	0.24%	0.26%	0.37%	0.08%	1.40%
	0.14%	0.09%	0.24%	0.24%	0.36%	0.08%	1.31%
	0.11%	0.09%	0.20%	0.12%	0.36%	0.08%	1.28%
	0.20%	0.08%	0.22%	0.14%	0.30%	0.13%	1.40%
	0.13%	0.08%	0.21%	0.09%	0.30%	0.13%	1.31%
	0.15%	0.08%	0.18%	0.09%	0.30%	0.13%	1.26%
	0.09%	0.07%	0.18%	0.09%	0.30%	0.16%	1.19%
	0.11%	0.08%	0.18%	0.09%	0.30%	0.16%	1.37%
	0.09%	0.10%	0.30%	0.16%	0.16%	0.21%	1.35%
	0.10%	0.12%	0.30%	0.39%	0.09%	0.27%	1.61%
	0.14%	0.12%	0.32%	0.29%	0.10%	0.24%	1.59%
	0.13%	0.09%	0.23%	0.29%	0.09%	0.21%	1.27%
	0.13%	0.09%	0.20%	0.12%	0.29%	0.16%	1.13%
	0.09%	0.09%	0.19%	0.09%	0.29%	0.16%	0.84%
	0.08%	0.08%	0.19%	0.09%	0.29%	0.21%	0.96%
	0.27%	0.08%	0.15%	0.29%	0.23%	0.21%	0.96%
	0.26%	0.08%	0.15%	0.29%	0.23%	0.20%	1.02%
	0.17%	0.08%	0.11%	0.30%	0.15%	0.18%	0.91%
	0.22%	0.08%	0.11%	0.30%	0.15%	0.18%	0.91%
	0.19%	0.08%	0.12%	0.30%	0.15%	0.18%	0.91%
	0.16%	0.08%	0.12%	0.30%	0.15%	0.18%	0.91%
	0.20%	0.08%	0.12%	0.30%	0.15%	0.18%	0.91%
	0.15%	0.16%	0.18%	0.23%	0.24%	0.38%	2.52%
	0.23%	0.20%	0.34%	0.17%	0.20%	0.45%	3.25%
	0.17%	0.26%	0.34%	0.29%	0.19%	0.44%	3.20%
	0.22%	0.29%	0.29%	0.07%	0.39%	0.39%	2.45%
	0.23%	0.27%	0.22%	0.08%	0.37%	0.40%	2.45%
	0.11%	0.23%	0.21%	0.21%	0.37%	0.38%	2.27%
	0.11%	0.25%	0.22%	0.22%	0.37%	0.38%	1.95%
	0.07%	0.25%	0.24%	0.04%	0.18%	0.37%	1.88%
	0.29%	0.29%	0.23%	0.29%	0.18%	0.37%	1.79%
	0.13%	0.25%	0.30%	0.19%	0.18%	0.18%	1.86%
	0.18%	0.26%	0.33%	0.38%	0.14%	0.14%	1.81%
	0.18%	0.26%	0.33%	0.38%	0.14%	0.14%	1.81%
	0.23%	0.29%	0.30%	0.30%	0.28%	0.12%	1.44%

2.4. Анализа фактора ризика и степена стреса у посматраном периоду

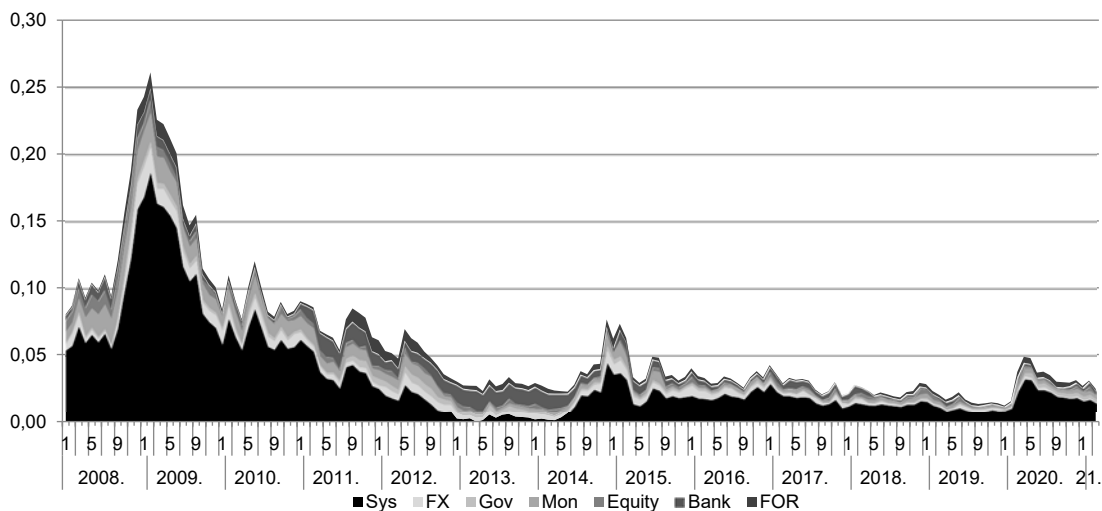
Показатељ системског ризика дефинише преткризни период од јануара 2008. године до септембра 2008. године. Први шокови у домаћем финансијском систему јављају се прво на новчаном тржишту и тржишту капитала. Просечна месечна вредност *BEONIA* расте са 9,4% у јануару 2008. године на преко 17% у новембру и децембру 2008. године. Истовремено, јавља се смањење вишка динарске ликвидности банака, док берзански индекс *BELEX15* у овом периоду губи преко 70% своје вредности.

Период од октобра 2008. године до октобра 2009. године обележава ескалација светске финансијске кризе. У последњим месецима 2008. године били смо сведоци најгоре финансијске кризе од Велике депресије тридесетих година прошлог века. У јануару 2009. године неочекивано падају цене акција на свим већим светским тржиштима. Велики број америчких и европских банака у билансима исказују велике губитке. У септембру 2008. године долази до банкрота Леман Бродерс (*Lehman Brothers*), док Голдман Сакс (*Goldman Sacks*) и Морган Стенли (*Morgan Stanley*) траже помоћ државе како не би прогласили банкрот. Систем федералних резерви убацује у банкарски систем стотине милијарди долара државне помоћи. Финансијска криза прелива се на финансијски систем Европе, први пут од увођења евра као валуте 1999. године. У атмосфери панике, регулатори широм Европе усвајају додатне мере монетарне и фискалне политике ради смањења ефеката надлазеће рецесије. Већина централних банака у Европи истовремено смањује референтне каматне стопе.

Иницијални шокови који су настали у домаћем финансијском систему у првој половини 2008. године наставили су да се

продубљују и симултано да јачају. На девизном тржишту слаби домаћа валута према еврџу за преко 10% међугодишње, уз истовремени раст распона између куповног и продајног курса, осликавајући неизвесност на девизном тржишту. Јавне финансије такође трпе значајне шокове. У децембру 2008. године Србија бележи највишу историјску вредност премије ризика обвезница тржишта у настајању – преко 1.300 базних поена. Упоредо с тим расте и консолидовани фискални дефицит, који на крају 2009. године износи близу 4,2% бруто домаћег производа. Просечна месечна вредност *BEONIA* у јануару 2009. године достиже максимум од 18,2%. Берзански индекси бележе огроман пад. *BELEX15* је за једанаест месеци опао с преко 1.800 (јун 2008) на 400, колико је износио у априлу 2009. године. Банкарски сектор бележи кризу ликвидности, јер долази до повлачења око 6,2% укупних депозита, односно око 1,3 милијарде динара. Истовремено, захваљујући подршци матица банака које послују у Републици Србији, ликвидносна структура банака је очувана, спречавајући знатније потресе. Земље у окружењу такође се суочавају са знатним шоковима. Берзански индекси земаља у окружењу у просеку губе 55% на вредности у односу на јануар 2008. године, док глобални индекс обвезница тржишта у настајању Србије достиже свој историјски максимум у децембру 2008. године. На основу Сlike 2 и Сlike 4 можемо видети да ПСС и системска компонента достижу свој историјски максимум у фебруару 2009. године, с нивоом ПСС-а од 0,26, када је јачина кризе у Републици Србији била најизраженија.

Слика 5. Кретање показатеља системског стреса по компонентама и приказ најзначајнијих фактора ризика



У периоду од октобра 2009. до августа 2012. године постепено се смирује светска економска криза, која поприма локални карактер кризе сувереног дуга. Криза зоне евра одвија се од краја 2009. године. Неколико чланица зоне евра (Грчка, Португалија, Ирска, Шпанија и Кипар) нису у стању да отплате или рефинансирају свој државни дуг или да обезбеде значајна средства у своје финансијске системе без помоћи других земаља зоне евра или међународних финансијских институција. Европска централна банка реагује смањењем каматних стопа и обезбеђивањем повољнијих кредита ради обезбеђења ликвидности финансијског система зоне евра. У септембру 2012. године Европска централна банка смирује финансијска тржишта најавом неограничене подршке земљама

чланица зоне евра. Домаћи финансијски систем није у толикој мери погођен као током почетка 2009. године. Видљив је пораст нивоа показатеља ПСС-а у јуну 2010, септембру 2011. и мају 2012. године. У јуну 2010. године повећава се волатилност на домаћем девизном тржишту, што изазива знатније девизне интервенције Народне банке Србије у том периоду. У сегменту банкарског сектора успорава кредитна активност и расте ризичност матица банака у грчком власништву услед повећања вредности осигурања од кредитног ризика Грчке.

У септембру 2011. године јавља се следеће знатније повећање ПСС-а, у највећој мери услед кретања у међународном окружењу. У сегменту међународног окружења повећава се ниво ризика суверена, поготово Грчке и Италије, који се преноси на раст ризика банкарских група ових држава. Поред тога, нагло скачу индекси обвезница тржишта у настајању, приказујући повишену перцепцију ризика инвеститора ка тржиштима у настајању. У јуну 2012. године јавља се још један период повишеног стреса, када домаћа валута знатно слаби, бележећи 11,5% међугодишњег пада. Истовремено, први пут од избијања кризе, консолидован фискални дефицит прелази ниво од 6%, док просечна премија осигурања од кредитног ризика матица домаћих банака у страном власништву бележи историјски максимум, поготово у случају грчких и кипарских банака, осликавајући ризик сувереног дуга.

Период од децембра 2012. до почетка 2020. године обележава период ниског ризика, са стабилним вредностима нивоа системског ризика, осим периода повишеног стреса од септембра 2014. године до априла 2015. године. Овај период обележава период стабилног девизног курса и ниске и стабилне инфлације. Такође, стабилизује се вредност берзанског индекса *BELEX15*. Банкарски сектор је адекватно капитализован и високо ликвидан, уз смањене кредитне активности током 2013. и почетком 2014. године. Јављају се појединачне епизоде повишеног стреса у одређеним сегментима, који нису знатније утицали на системску компоненту ризика. Крајем 2014. године консолидован фискални дефицит достиже вредност од 6,2%, након чега почиње да пада, док индекс обвезница тржишта у настајању бележи нешто више вредности у односу на претходни период.

Пандемија изазвана вирусом корона почетком 2020. године узроковала је незапамћену здравствену и економску кризу на светском нивоу. Ради заштите живота људи, уведене су мере које су биле праћене потресима на међународном финансијском и робном тржишту, изразитим растом неизвесности и бегом у сигурну активу, што је за последицу имало оштар пад глобалне економске активности. Услед оваквих неизвесних кретања током другог тромесечја 2020. године, на раст ПСС-а највише су утицала кретања на међународном тржишту. Од краја априла, када је достигла своју највишу вредност од 312 базних поена у току 2020. године, премија ризика *EMBI* на дуг у доларима Србије враћа се на силазну путању и на крају другог тромесечја достиже вредност од 137 базних поена. Током целе 2020. очувана је релативна стабилност курса динара према еврџу, упркос појачаној неизвесности услед кризе изазване пандемијом вируса корона, уз правремене и адекватне девизне интервенције. Умерени депрецијацијски притисци, који су као последица пандемије били присутни од марта, постепено су слабили током године, а у новембру и децембру 2020. године преовладали су апрецијацијски притисци. Обиман пакет економских мера за ублажавање негативних

последица пандемије резултирао је растом фискалног дефицита и јавног дуга, који је, ипак, био међу најмањим у Европи. Учешће јавног дуга централне државе у бруто домаћем производу повећано је са 52,0% крајем 2019. на 57,4% бруто домаћег производа крајем 2020. Започети опоравак светске привреде од средине 2020. успорио је поновно ширење вируса корона од октобра 2020. године, које је условило враћање рестриктивних мера у многим земљама. Добри макроекономски фундаменти и предузете обимне мере монетарне и фискалне политике омогућили су да Република Србија боље санира последице изазване вирусом корона од већине европских земаља.

3. Оцена вероватноће настанка системске кризе

У последње време велики број научних радова бави се начинима побољшавања модела за рано упозорење, углавном путем развоја нових аналитичких алата. Поред традиционалних бинарних модела који се заснивају на примени трансформације Логит или пробит [*Berg and Pattillo (1998)*], у литератури се јављају вишедимензионални алати који се заснивају на коришћењу већег броја показатеља при конструкцији сигнала раног упозорења [*Rose and Spiegel (2012)*, *Bussiere and Fratzscher (2006)*, *Frankel and Saravelos (2010)*], применом машинског учења [*Kou et al. (2019)*], док је примена Марковљевих прекидачких модела детаљно објашњена у раду *Abiad (2003)*. У раду аутора *Kliesen et al. (2012)* наглашава се чињеница да је финансијске кризе готово немогуће предвидети. Оне су подстакнуте различитим покретачима и јављају се у различитим облицима, па је тешко најавити нове кризе ослањајући се на старе видове упозорења. Додатан проблем је тај што се ниво финансијског стреса не може директно измерити, јер нема свој еквивалент у реалној сфери.

Ми ћемо применити тзв. приступ униваријантних сигнала (*univariate signalling approach*), који се заснива на оцени одређеног сигнала током претходних кризних периода, на основу којих се проналазе критичне вредности изнад којих показатељ упућује на велику могућност појаве кризе. Овакав приступ омогућује једноставнију интерпретацију добијених резултата. Детаљнија анализа врста приступа за формирање сигнала раног упозорења може се наћи у *Kaminsky (1999)*.

У овом раду предлажемо приступ сигнала раног упозорења који се заснива на вероватноћи настанка системске кризе на основу методологије представљене у претходном поглављу. Овај приступ омогућава, за разлику од бинарних модела, анализу већег броја режима који се по интензитету могу сврстати у више или мање кризне. Иако је *ex-post* идентификација помоћу ПСС-а добра, у генералном случају неопажених кризних периода, односно периода које тек протоком времена можемо оценити као кризне и при препознавању главних фактора кризе у прошлости и доношењу закључака о периодима повећаних турбуленција, сигнали раног упозорења омогућавају благовремено дизање свести доносилаца одлука о могућем наступању системске кризе и пружају довољно времена за правовремену реакцију.

На основу пуног модела објашњеног у претходном поглављу, приступамо дефинисању ограниченог модела за оцену вероватноће настанка системске кризе. Главна карактеристика динамичких Марковљевих прекидачких модела представљају

условне транзитивне матрице стања. За разлику од статичких Марковљевих модела, вероватноће прелазака из једног режима у други временски су зависне од ендогене независне променљиве стања \mathbf{X}^S . У раду *Diebold et al. (1994)* представљени су основни градивни блокови за добијање динамичких вероватноћа. Претпоставимо, на основу пуног модела, да се кретање зависне променљиве, у овом случају ПСС-а, може дефинисати као:

$$(y_i | S_t = i; \theta_i) \sim N(\mu_i^F, \sigma_i^F), \quad (21)$$

где $i = 1, 2, 3$ на основу резултата приказаних у Табели 1 и Табели 8, а θ_i представља скуп параметара режима i .

Коришћењем оцењених параметара пуног модела који се односе на моменте дистрибуција зависне променљиве y_t добијамо ограничен модел. Скуп параметара модела делимо на два скупа. Први скуп се односи на параметре момената дистрибуција зависне променљиве α_i^F режима i , док се други скуп односи на параметре променљиве стања који се користе при процени условних транзитивних вероватноћа β_i^F , односно $\theta_i^F = (\alpha_i^F, \beta_i^F)$.

Ограничен модел добија се максимизацијом логаритамске функције веродостојности на основу променљиве стања s доцњом h :

$$\begin{aligned} \log L &= \sum_{j=1}^{|S_t|} \sum_{i=1}^{|S_t|} f(y_t | S_t = j, S_{t-1} = i, \Psi_{t-h}^S, (\alpha_i^F, \beta_i^R)) \cdot \Pr(S_t = j, S_{t-1} = i | \Psi_{t-h}^S, (\alpha_i^F, \beta_i^R)), \end{aligned} \quad (21)$$

где $|\cdot|$ означава кардиналност скупа.

Максимизацијом логаритмоване функције веродостојности $\max_{\beta_i^R}(\log L)$ добијамо скуп параметара ограниченог модела – модела β_i^R .

Условна вероватноћа режима j на основу предходних информација Ψ_{t-h} , а на основу параметара пуног модела (α_i^F, β_i^R) , добија се као:

$$\begin{aligned} \Pr(S_{t+1} = j | \Psi_{t-h}, (\alpha_i^F, \beta_i^R)) &= \sum_{i=1}^{|S_t|} \Pr(S_{t+1} = j, S_t = i | \Psi_{t-h}, \Psi'_{t-h}, (\alpha_i^F, \beta_i^R)) = \\ &= \sum_{i=1}^{|S_t|} \Pr(S_{t+1} = j | S_t = i, \Psi_{t-h}^S, (\beta_i^R)) \Pr(S_t = i | \Psi'_{t-h}, (\alpha_i^F)) \end{aligned} \quad (22)$$

Рекурзијом долазимо до условне вероватноће режима j у тренутку $t + h$ на основу претходних информација ψ_t :

$$\Pr(S_{t+h} = j | \psi_t, (\alpha_i^F, \beta_i^R)) = \sum_{i=1}^{|S_t|} \Pr(S_{t+h} = j, S_{t+h-1} = i | \psi_t^S, \psi'_t, (\alpha_i^F, \beta_i^R)) = \quad (23)$$

$$= \sum_{i=1}^{|S_t|} P_r \left(S_{t+h} = j | S_{t+h-1} = i, \psi_t^S, (\beta_i^R) \right) P_r \left(S_{t+h-1} = i | \psi_t^S, (\alpha_i^F) \right),$$

где $P_r \left(S_{t+1} = j | S_t = i, \psi_t^S, (\alpha_i^F, \beta_i^R) \right)$ представља условну вероватноћу преласка из једног режима у други на основу претходних информација и параметара променљивих стања ψ^S , а β_i^R представља оцењен вектор осетљивости транзитивних вероватноћа у односу на променљиве стања \mathbf{X}^S .

Условљена транзитивна вероватноћа може бити дефинисана, у генералном случају, пробит трансформацијом као у једначини (14):

$$P_r \left(S_{t+1} = j | S_t = i, \psi_{t-h}^S, (\beta_i^R) \right) = \Phi(\mathbf{X}^S, \mathbf{B}^R). \quad (24)$$

У случају постојања више од два режима, груписањем можемо дефинисати скуп некризних режима $\{nc\}$ и скуп кризних режима $\{c\}$. Посматрајмо транзитивну матрицу у следећем облику:

$$P_r(\cdot | \cdot) = \begin{bmatrix} P_r(S_{t+1} = \{nc\} | S_t = \{nc\}, \cdot) & P_r(S_{t+1} = \{nc\} | S_t = \{c\}, \cdot) \\ P_r(S_{t+1} = \{c\} | S_t = \{nc\}, \cdot) & P_r(S_{t+1} = \{c\} | S_t = \{c\}, \cdot) \end{bmatrix} \quad (25)$$

Условна транзитивна вероватноћа останка у некризним режимима $\{nc\}$ у тренутку $t + 1$ може се израчунати као:

$$P_r(S_{t+1} = \{nc\} | S_t = \{nc\}, \cdot) = \frac{\sum_{j=1}^{|S_{nc}|} \sum_{i=1}^{|S_{nc}|} P_r(S_t = i | \cdot) P_r(S_{t+1} = j | S_t = i, \cdot)}{\sum_{i=1}^{|S_{nc}|} P_r(S_t = i | \cdot)} \quad (26)$$

Истовремено, условну транзитивну вероватноћу останка у кризним режимима $\{c\}$ у тренутку $t + 1$ можемо означити као:

$$P_r(S_{t+1} = \{c\} | S_t = \{c\}, \cdot) = \frac{\sum_{j=1}^{|S_c|} \sum_{i=1}^{|S_c|} P_r(S_t = i | \cdot) P_r(S_{t+1} = j | S_t = i, \cdot)}{\sum_{i=1}^{|S_c|} P_r(S_t = i | \cdot)} \quad (27)$$

Условна транзитивна вероватноћа преласка из некризних режима $\{nc\}$ у кризни режим $\{c\}$ тренутку $t + 1$ може се израчунати као:

$$P_r(S_{t+1} = \{c\} | S_t = \{nc\}, \cdot) = \frac{\sum_{j=1}^{|S_c|} \sum_{i=1}^{|S_{nc}|} P_r(S_t = i | \cdot) P_r(S_{t+1} = j | S_t = i, \cdot)}{\sum_{i=1}^{|S_{nc}|} P_r(S_t = i | \cdot)} \quad (28)$$

Условна транзитивна вероватноћа преласка из кризних режима $\{c\}$ у некризни режим $\{nc\}$ тренутку $t + 1$ добија се тривијално на основу једначине (28).

Вероватноћа да ће наступити бар један кризни период у временском интервалу $t + \gamma + 1, t + \gamma + 2, \dots, t + \gamma + hor$ назваћемо вероватноћом настанка системске кризе PSC , који се може једнозначно израчунати као:

$$PSC_{t+\gamma} = 1 - \left(P_r(S_{t+\gamma} = \{c\} | S_{t+\gamma-1} = \{nc\}, \cdot) P_r(S_{t+\gamma} = \{c\}, \cdot) P_r(S_{t+\gamma} = \{nc\} | S_{t+\gamma-1} = \{nc\}, \cdot)^{(hor-1)} + P_r(S_{t+\gamma} = \{nc\}, \cdot) P_r(S_{t+\gamma} = \{nc\} | S_{t+\gamma-1} = \{nc\}, \cdot)^{hor} \right) \quad (29)$$

где $\gamma = 1, 2, \dots, h$ и $P_r(S_{t+\gamma} = \{c\}, \cdot)$ израчунава се рекурзивно применом једначине (23).

Једначина (29) указује на то да вредност вероватноће настанка системске кризе $PSC_{t+\gamma}$ у тренутку $t + \gamma$ представља оцену условних вероватноћа које се заснивају на неодређености режима у коме се налазимо у претходном тренутку $t + \gamma - 1$.

3.1. Критични нивои вероватноће настанка системске кризе и оптимални хоризонт предвиђања

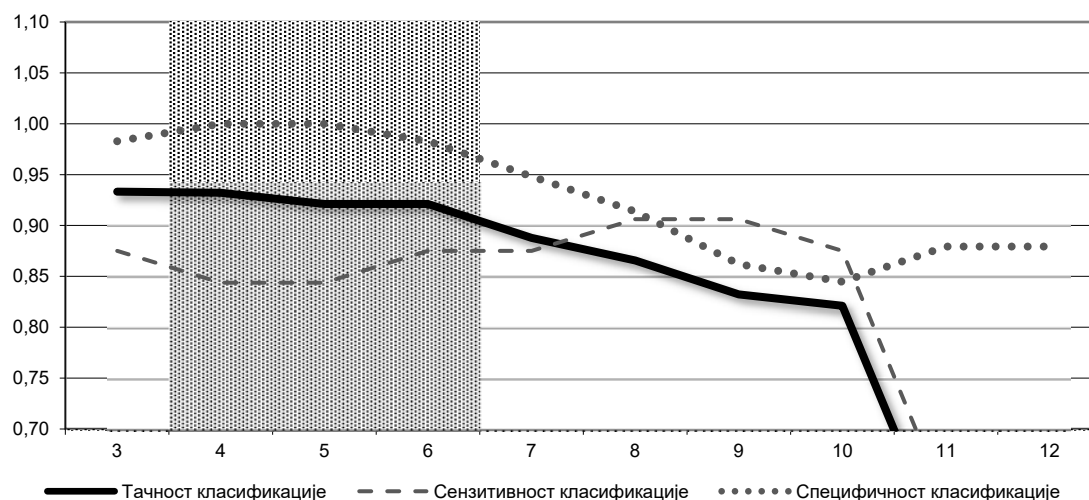
У Прилогу 4 приказани су ограничени модели у којима се доцња h зависне променљиве стања мења у интервалу од три до 12 месеци у случају постојања три режима, у складу са анализом спроведеном у претходним поглављима. Вредности предвиђања мање од три месеца нису узете у разматрање услед кратког хоризонта предвиђања, чиме се губи на употребној моћи система раног упозорења. Као што се може видети у случају мањих доцњи, вредности оцењене веродостојности су више. Тако у случају постојања доцње од три месеца веродостојност износи 281,5, док у случају доцње од 12 месеци веродостојност износи 250,46. Такође, мера квалитета класификације режима RCM опада с повећањем доцње зависне променљиве, која достиже минимум при доцњи од десет месеци и износи 0,0194. Вредности информативних критеријума AIC и BIC опадају с повећањем доцње. Како бисмо одабрали најбољу спецификацију модела, морамо оценити квалитет класификације сваког модела.

У случају постојања три режима, применом једначине (29) израчуната је вероватноћа да ће наступити бар један кризни период у временском интервалу $t + \gamma + 1, t + \gamma + 2, \dots, t + \gamma + hor$ за временски хоризонт $hor = 6$ месеци. Ову вероватноћу ограничених модела назваћемо PSC^R . У Прилогу 4, у Табели 11, приказане су вредности горњег и доњег критичног нивоа вероватноће настанка системске кризе PSC^R , при коме се достиже максимална тачност класификације режима приказаних на Слици 3, који су добијени на основу вероватноћа режима пуног модела.

Као што се може видети у Прилогу 4, у Табели 11, доње критичне границе b_l у случајевима свих модела блиске су вредности нула и крећу се у интервалу $[0,01-0,1]$. С друге стране, горње критичне границе b_u , које служе за одвајање кризног периода од некризног и међукризног периода, налазе се у знатно ширем интервалу $[0,15-0,8]$. На

основу тачности вишекласне класификације [Sokolova and Lapalme (2009)], можемо видети да при доцњама променљиве стања које су веће од десет месеци максимална тачност класификације знатно опада. У случају доцњи од 11 и 12 месеци, одговарајуће максималне тачности класификације износе 0,57. Такође, при овим доцњама сензитивност класификација пада на ниске вредности, што упућује на закључак да оптимални хоризонт предвиђања мора бити строго мањи од 11 месеци. Специфичност класификације у случају свих модела креће се у интервалу од 0,84, па до теоријске максималне вредности 1.

Слика 6. Оцена параметара вишекласне класификације у зависности од доцње променљиве стања



Овде се мора направити компромис између тачности класификације и хоризонта предвиђања. На Слици 6 представљене су тачност, сензитивност и специфичност класификације у зависности од хоризонта предвиђања, односно доцње променљиве стања. Видимо да се у случају доцњи до шест месеци добијају вредности тачности класификације изнад 90%. Поред тога, у случају доцње од шест месеци, сензитивност и специфичност класификације имају високе вредности, што оправдава коришћење доцње од шест месеци и критичних нивоа за класификацију режима од 0,005 за доњи, односно 0,760 за горњи критични ниво класификације. У Прилогу 4, на Слици 16, приказане су фамилије кривих тачности класификације у односу на кретање горње критичне вредности у случају доцње од шест месеци, за постављене вредности доњих критичних нивоа на 0,005, 0,1 и 0,2, респективно.

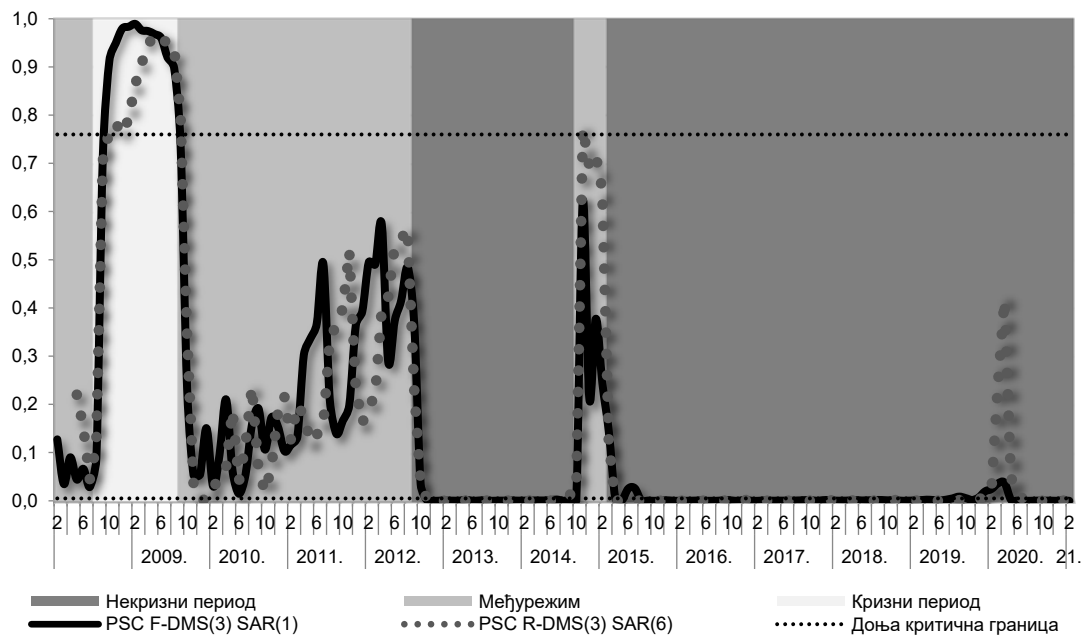
3.2. Анализа вероватноће настанка системске кризе

У Табели 3 приказане су вредности транзитивних вероватноћа на основу пуног модела $F-DMS(3) SAR(1)$ за последњи тренутак t узорка, односно за март 2021. године, на основу које је применом једначина (24) до (29) добијена пројекција транзитивних матрица у интервалу $t + 1, t + 2, \dots, t + 6$, која је приказана у Табела 4.

Табела 3. Транзитивна матрица модела $F-DMS(3) SAR (1)$ у марту 2021. године

	Некризни	Међукризни	Кризни
Некризни	98,9%	24,0%	16,8%
Међукризни	1,1%	55,8%	34,1%
Кризни	0,0%	20,2%	49,1%

Транзитивне вероватноће понашају се у складу са очекивањем да се по дијагонали налазе највеће вредности, односно да је вероватноћа останка у истом режиму највећа. Друго, вероватноћа преласка из кризног у некризни период износи 16,8%, док вероватноћа преласка из некризног у кризни период износи приближно 0%. Даљи режими носе мање вероватноће преласка у односу на суседне, што је у складу са очекиваним понашањем транзитивних матрица. Исте особине показују и пројектоване транзитивне вероватноће на основу ограниченог модела $R-DMS(3) SAR (6)$, приказане у Табели 4.

Слика 7. Кретање сигнала раног упозорења пуног модела $F-DMS(3) SAR (1)$ и ограниченог модела $R-DMS(3) SAR (6)$ 

На Слици 7 приказано је кретање вероватноће настанка системске кризе на основу пуног модела $F-DMS(3) SAR (1)$ и ограниченог модела $R-DMS(3) SAR (6)$. Као што се може видети, вероватноће настанка системске кризе добро прате динамику пуног модела. Ипак, могу се уочити неслагања вероватноћа у међукризном режиму у периоду од новембра 2009. године до августа 2012. године, где долази до кашњења вероватноће настанка системске кризе ограниченог модела од четири месеца. Друго, одмах након кризног периода, вероватноћа ограниченог модела пада на веома ниске вредности у новембру 2009. године. Ипак, овај месец није погрешно класификован као некризни услед ниске вредности доње критичне вредности вероватноће од 0,005. Очевидно је и недостизање високих вредности вероватноће у периоду од октобра 2008. до фебруара 2009. године, али је ниво изнад горње критичне вредности, те је овај период тачно

класификован као кризни. Приметан је и нешто виши ниво вероватноће настанка системске кризе у децембру 2014. године, у ком случају је ограничен модел сврстао овај месец у кризни, док је вероватноћа пуног модела имала нешто ниже вредности, које упућују на повећани ризик периода, али ипак у недовољном нивоу за сврставање у кризни период. Такође, приметно је повећање сигнала раног упозорења редукованог модела у априлу и мају 2020. године на 0,241 и 0,416, респективно, али с нивоима знатно нижим од вредности горње критичне границе, након чега је сигнал у константном паду све до априла 2020. године. Оба модела су некризне периоде класификовали идентично.

Табела 4. Пројектоване вредности условних транзитивних вероватноћа од априла 2021. до септембра 2021. године

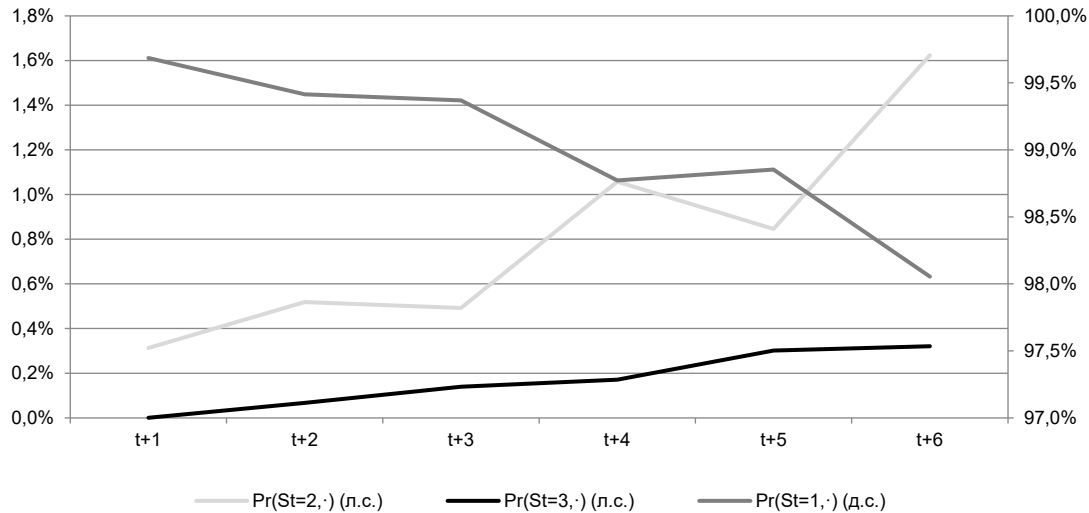
<i>R-DMS(3) SAR (6)</i>		Некризни	Међукризни	Кризни
Април 2021.	Некризни	99,7%	25,1%	17,9%
	Међукризни	0,3%	53,7%	35,4%
	Кризни	0,0%	21,2%	46,7%
Мај 2021.	Некризни	99,6%	25,4%	18,2%
	Међукризни	0,4%	53,3%	35,3%
	Кризни	0,0%	21,3%	46,5%
Јун 2021.	Некризни	99,8%	23,7%	16,4%
	Међукризни	0,2%	55,6%	35,6%
	Кризни	0,0%	20,6%	48,0%
Јул 2021.	Некризни	99,2%	27,6%	20,8%
	Међукризни	0,8%	50,3%	34,8%
	Кризни	0,0%	22,1%	44,5%
Август 2021.	Некризни	99,8%	24,0%	16,7%
	Међукризни	0,2%	55,2%	35,6%
	Кризни	0,0%	20,8%	47,7%
Септембар 2021.	Некризни	98,9%	28,7%	22,1%
	Међукризни	1,1%	48,8%	34,4%
	Кризни	0,0%	22,5%	43,4%

На Слици 8 приказано је пројектовано кретање вероватноће режима $P_r(S_t = j | \cdot)$ у посматраном временском хоризонту од шест месеци, односно у периоду од априла 2021. до септембра 2021. године, пројектованих на основу једначине (23). Као што се може видети, пројектован је раст вероватноће налажења у кризном периоду $P_r(S_t = 3 | \cdot)$ током периода пројекције. Такође, у овом периоду пројектован је пад вероватноће некризног режима $P_r(S_t = 1 | \cdot)$ са 99,5% у првом месецу пројекције на 98% шестог месеца. Истовремено, расте вероватноћа међукризног режима $P_r(S_t = 2 | \cdot)$.

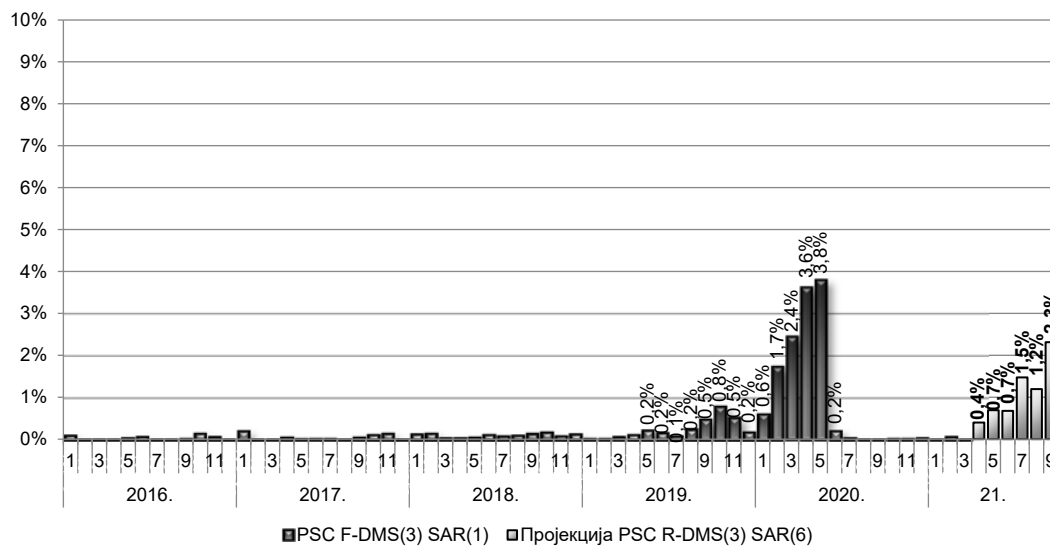
На Слици 9 приказано је историјско кретање оцењене вероватноће настанка системске кризе у било ком тренутку током наредних шест месеци – *PSC* на основу пуног модела *PSC F-DMS(3) SAR (1)* у периоду од јануара 2016. до марта 2021. године и пројекција вероватноће настанка системске кризе – *PSC* у било ком тренутку током периода април–септембар 2021. године на основу ограниченог модела *PSC R-DMS(3) SAR(6)* добијена на основу једначине (29). Максимална вредност добија се у септембру 2021. године, са 2,3% вероватноће настанка системске кризе у било ком тренутку у периоду од септембра 2021. до марта 2022. године. Видимо да се ради о малим

вредностима вероватноће, која не упућује на значајну вероватноћу настанка кризе у посматраном периоду.

Слика 8. Пројектовано кретање вероватноће режима у посматраном временском хоризонту од шест месеци



Слика 9. Кретање сигнала раног упозорења пуног модела PSC F-DMS(3) SAR(1) у периоду јануар 2016 – фебруар 2021. и пројекција ограниченог модела PSC R-DMS(3) SAR(6) у периоду март–септембар 2021. године

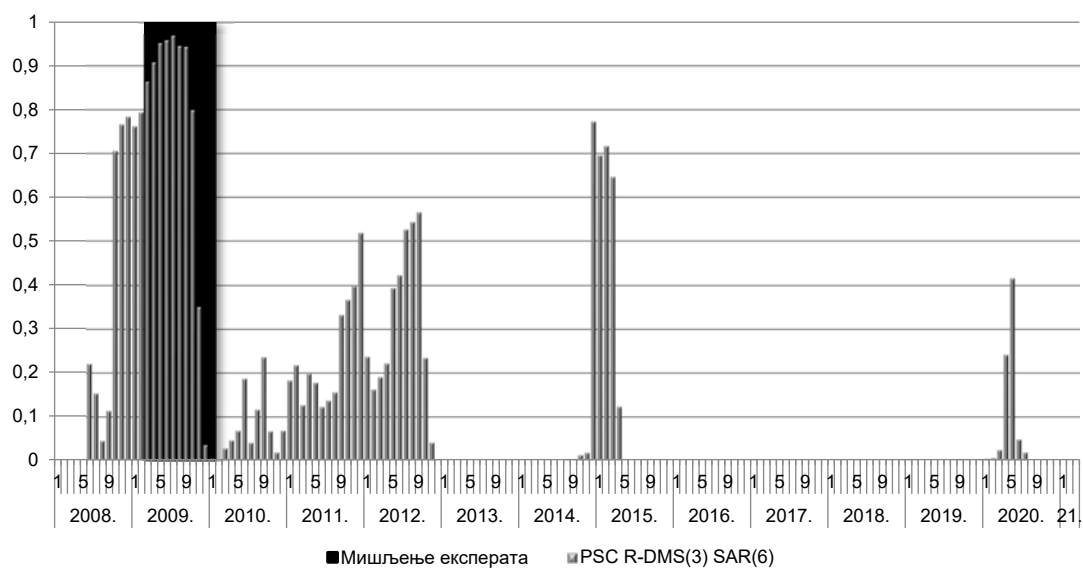


3.3. Верификација сигнала раног упозорења настанка системске кризе

На Слици 10 приказано је кретање вероватноће настанка системске кризе, док су прним правоугаоником приказане изјаве о перцепцији ризика у јавним гласилима носилаца економске политике. Детаљне изјаве експерата, с датумима објава, дате су у Прилогу 5. Након оптимистичних изјава експерата на крају 2008. године, у новембру се јавља први наговештај могуће кризе у јавним гласилима, у којима се наводи да је могућ настанак кризе у наредном периоду. Прва јавна изјава о томе да се Република Србија

налази у кризи дата је у марту 2009. године. Као што се са слике може видети, вероватноћа настанка системске кризе приближава се горњем критичном нивоу у октобру 2008. године. Вероватноћа настанка системске кризе јавила се четири месеца пре прве званичне потврде. Такође, вероватноћа се вратила на нормалне нивое током октобра 2009. године, односно три месеца пре прве јавне констатације експерата да је Република Србија изашла из кризе, која се први пут јавља крајем јануара 2010. године. Ефективни период предвиђања на основу вероватноће настанка системске кризе, иако по спецификацијама износи шест месеци, у случају емпиријске анализе на основу јавних обраћања експерата износи четири месеца. Видљива је асиметричност у периодима перцепције настанка и престанка кризе. Наиме, приметно је да период сигнализирања пре настанка кризе нешто дужи од периода након смиривање кризе. Ова разлика се може објаснити потребом за потврду у случају негативних вести како се не би унела додатна нестабилност на тржишта. С друге стране, приметан је оптимизам у случају позитивних изјава ради смиривања тржишта, који се огледа у краћем периоду између сигнала раног упозорења и првих званичних изјава о окончању кризе.

Слика 10. Вероватноћа настанка системске кризе и натписи у јавним медијима



4. Закључак

У овом раду представљен је ПСС Републике Србије. У рачунању ПСС-а, шест сегмената финансијског система агрегирано је у композитни индекс, који динамички узима у обзир њихове међусобне мере сагласности. Пружен је детаљан аналитички оквир за рачунање композитног показатеља и системске компоненте ризика, који је заснован на примени Марковљевих прекидачких модела с динамичким транзитивним вероватноћама. Препознати су предности и недостаци различитих приступа агрегације подиндекса сегмената финансијског система које улазе у обрачун ПСС-а. Поред тога, валидиран је број режима системске кризе применом методе Гаусових компонената. Оба приступа идентично су оценила број режима и моменте дистрибуција ПСС-а, што

упућује на јединственост добијених резултата. У другом делу рада пружен је аналитички оквир за сигнале раног упозорења, који се заснива на методологији коришћеној приликом израчунавања ПСС-а и који пружа јединствен оквир не само за оцену тренутног нивоа стреса у систему већ и за оцену вероватноће настанка системске кризе у будућности. Дат је аналитички оквир за оцену вероватноће настанка системске кризе у случајевима постојања произвољног броја режима. Квалитет класификације предложеног модела валидиран је путем оцена мера квалитета класификације у случају постојања произвољног броја режима, али и квалитативно на основу јавних обраћања носилаца економских политика и експерата.

Показано је да је ПСС у стању да правилно препозна кризне периоде, као и ниво системског ризика финансијског система, те да оцени системску компоненту стреса, пружајући значајне информације о степену акумулације ризика на финансијским тржиштима, као и на могуће импликације на финансијску и макроекономску стабилност. У раду је дата детаљна анализа главних фактора нестабилности у периодима повишеног стреса за период од јануара 2008. до марта 2021. године на основу кретања композитног ПСС-а. За агрегирање показатеља појединачних сегмената финансијског система у подиндекс сегмената предложен је приступ који произлази из приступа агрегације композитног индекса. Детаљно су приказане предности предложеног приступа у односу на најчешће коришћене приступе агрегације у литератури.

За разлику од *ex-post* идентификације неопажених кризних периода и главних фактора ризика који су до њих довели у прошлости, сигнали настанка системске кризе омогућавају правовремено сигнализирање могућег наступања системске кризе и фактора који до тога доводе, те пружају могућност правовремених реакција. У раду је показано да сигнали раног упозорења одлично прате динамику неопажених периода, пружајући оцену вероватноће наступања системске кризе у произвољном временском хоризонту. Оптималан период у случају Републике Србије и релативно кратких временских серија износи шест месеци. На основу квалитативне анализе јавних саопштења носилаца економске политике Републике Србије, показано је да је ефективни период предвиђања нешто краћи и износи између четири и шест месеци.

Приказани ПСС може представљати одличан додаток постојећим аналитичким алатима којима се оцењује финансијска стабилност као што су макропруденцијални стрес-тестови, индекс финансијског стреса и индекс стабилности банкарског сектора [NBS (2021)] и пружити додатне информације о мери системског ризика у финансијском систему Републике Србије.

Прилог 1. Анализа метода агрегација подиндекса

У овом прилогу су приказана кретања индекса применом различитих метода агрегације података, као и разлози за примену предложеног метода агрегације. Први приступ агрегације назива се метод једнаких варијанси (*Equal variances*) и заснива се на примени истих тежина при агрегацији. Метод једнаких варијанси генерише индекс који даје једнаку важност свакој променљивој. Ово је најчешћи метод агрегације који се користи у литератури [Illing and Liu (2003)]. Основна претпоставка овог модела јесте нормалност променљиве, што уједно представља и највећи недостатак поменуте методе, јер не узима у обзир појаву дебелих репова у дистрибуцији, хетероскедастичности и појаву која се назива груписање волатилности [McNeil and Frey (2000)] (*Volatility clustering*). Предност оваквог приступа представља једноставност, као и чињеница да у великом броју случајева ми не знамо *apriori* тежинске функције при агрегацији, тако да су претпоставке ове методе валидне.

Друга анализирана метода јесте примена методе основних компонената (*Principal component analysis*). Ова метода представља статистичку процедуру која користи ортогоналну трансформацију ради редуковања димензије података и узима у обзир линеарну корелацију између временских серија [Jolliffe (2002)]. Ортогоналне компоненте називају се основне компоненте или главне компоненте. Број основних компонената мањи је или једнак димензији улазног простора. Основне компоненте се рангирају на основу процента објашњеног варијабилитета улазног простора. Прва основна компонента је дефинисана као компонента која објашњава највећи део варијација улазних података. За сваки сегмент финансијског система користи се прва основна компонента и овај приступ назваћемо „прва *PCA* компонента”. Као што ћемо видети, основни недостатак овог приступа лежи у чињеници да прва основна компонента често објашњава мали проценат варијабилитета у подацима и самим тим не осликава у довољној мери динамику података.

Следећи приступ је такође заснован на примени свих основних компонената. Поред прве компоненте, свака следећа компонента објашњава, у опадајућем редоследу, варијабилитет улазних података. Овај приступ [Louzis and Vouldis (2013), Hatzius et al. (2010)] заснива се на отежаној суми вредности основних компонената у зависности од вредности објашњеног варијабилитета. Како не бисмо узимали све основне компоненте, узимамо само оне компоненте које кумулативно објашњавају више од одређеног процента укупног варијабилитета улазних података. Особина ортогоналности основних компонената чини да се агрегацијом ових компонената решава проблем мултиколинеарности у оквиру улазног простора.

Користећи податке који су дефинисани на почетку овог рада, добијамо стандардизоване вредности индекса за све методе агрегације у периоду од посебног интереса, а које су приказане на Слици 14. Као што се може видети, сви индекси имају сличну динамику кретања системског стреса Републике Србије. Томе у прилог говори и висока корелисаност између индекса добијених различитим методама агрегације, који су приказани у Табела 5. Вредности линеарне корелације крећу се у интервалу од 0,79 до 0,94. Највиша међусобна корелисаност индекса забележена је између приступа једнаких варијанси и приступа свих основних компонената, док је најнижа вредност

забележена између приступа једнаких варијанси и приступа у коме користимо само прву основну компоненту.

Табела 5. Вредности међусобних корелација различитих приступа агрегације подиндекса

	Једнаке варијансе	Прва <i>РСА</i> комп.	Све <i>РСА</i> комп.	Портфолио агрегација
Једнаке варијансе	1,00	0,79	0,97	0,88
Прва <i>РСА</i> комп.	0,79	1,00	0,85	0,94
Све <i>РСА</i> комп.	0,97	0,85	1,00	0,90
Портфолио агрегација	0,88	0,94	0,90	1,00

Разлог томе лежи у чињеници да прва компонента није довољна у свим сегментима да опише варијабилитет података. Ово је нарочито видљиво у сегментима девизног тржишта – *FX* и јавних финансија – *GOV*, где прве основне компоненте објашњавају свега 32,9%, односно 43,9% варијабилитета, респективно, као што се може видети у Табели 6.

Иако имају сличну динамику, знатније одступање између различитих индекса јавља се у периоду од маја 2012. године до јануара 2013. године. Нивои показатеља заснованих на методама једнаких варијанси и методи свих основних компонената знатно су виши у односу на друге две методе. При одабиру методе која најбоље описује ПСС-а у случају финансијског система Републике Србије, детаљније ћемо анализирати наведени период како бисмо оценили разлике у приступима. Пажњу ћемо усмерити на две методе, и то методу једнаких варијанси и методу која укључује матрицу коваријансе.

Табела 6. Процент варијансе података по основним компонентама

	1. комп	2. комп	3. комп	4. комп	5. комп	6. комп	7. комп
<i>FX</i>	32,9%	32,3%	21,2%	13,5%			
<i>GOV</i>	43,9%	30,3%	16,7%	7,2%	2,0%		
<i>MON</i>	51,6%	16,4%	14,9%	9,5%	4,2%	2,8%	0,5%
<i>EQU</i>	51,1%	30,0%	16,3%	2,6%			
<i>BANK</i>	49,8%	33,5%	16,7%				
<i>FOR</i>	72,5%	27,5%					

На Слици 15 приказана је динамика кретања подиндекса за сваки сегмент финансијског система Републике Србије. На Слици 15 приказане су и условне корелације коришћењем методе експоненцијално отежаних покретних просека (*EWMA*) временских серија сегмента. Међусобне корелације су агрегиране упросецавањем вредности узајамних корелација коришћењем формуле

$$\bar{R} = \frac{1}{N} \sum R'_{i,j} \text{ где } R'_{i,j} = \begin{cases} R_{i,j}, & \forall i > j \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (30)$$

Даља анализа асимптотских својстава вишедимензионалних мера сагласности (*Concordance measures*) могу се видети у раду *Joe* (1990).

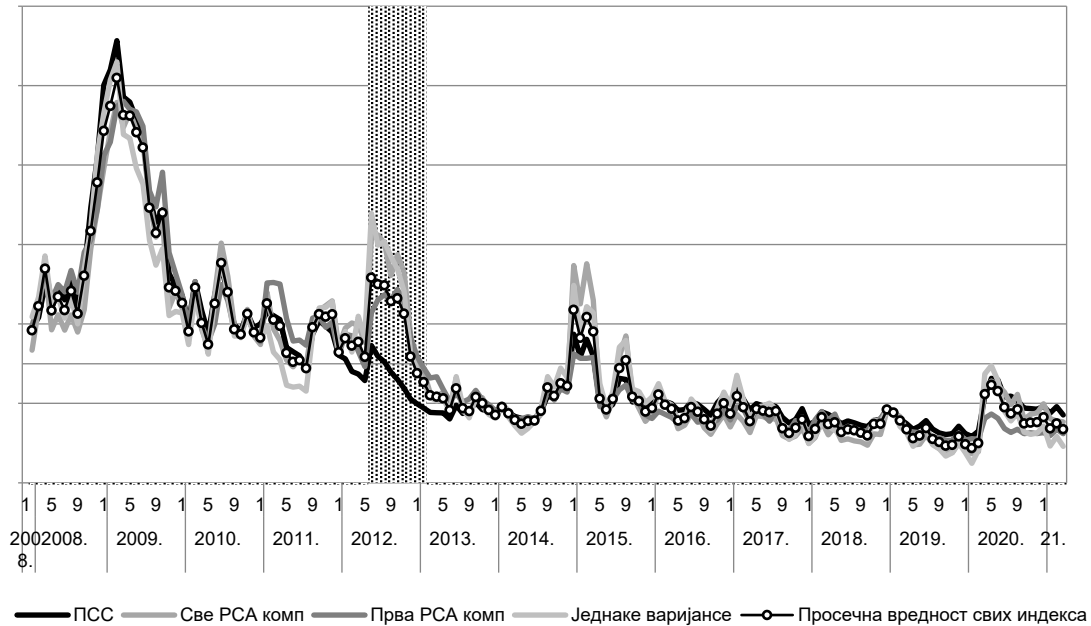
У периоду од маја 2012. до јануара 2013. године видимо разлику у нивоу ПСС-а, која настаје услед разлика у појединачним сегментима, а нарочито у случају јавних финансија, тржишту новца и сегменту банкарског сектора. Разлике између подиндекса највеће су у случају највеће разлике између вредности неусловне корелације (Табела 7) и вредности условне временски променљиве корелације добијеној једначинама (7) до (9), као и једначином (30).

Табела 7. Вредности неусловне корелације показатеља сегмената

	Неусловна корелација
<i>FX</i>	0,1060
<i>GOV</i>	0,1426
<i>MON</i>	0,2593
<i>EQU</i>	0,3445
<i>BANK</i>	0,1770
<i>FOR</i>	0,4803

На основу анализе разлике подиндекса за сваки сегмент понаособ и разлике вредности неусловне корелације вредности условне корелације, које су приказане на Слици 15, видимо да у свим случајевима, осим у случају тржишта капитала, постоји снажна линеарна условљеност између разлике вредности неусловне корелације и условне корелације у односу на одступање ова два подиндекса. Друга карактеристика линеарне апроксимације, која је приказана на Слици 15, јесте да у случају поклапања вредности неусловне корелације и вредности условне корелације долази до поклапања подиндекса. На Слици 15 крстићима је посебно обележен период од маја 2012. до јануара 2013. године, у коме се јавило највеће одступање између два индекса. Као што се може видети, ради се о екстремним вредностима разлике између корелација. Ово показује да агрегирање помоћу методе основних компонената, иако пружа могућност узимања у обзир неусловних корелација вишедимензионалног простора улаза, нема добру могућност праћења динамичких мера сагласности између променљивих. Иако се добро показује у случајевима редукције улазног простора, не прати добро динамику, поготово у случајевима када долази до нагле промене коваријансе улазног простора која се јавља при променама режима, што је од посебног интереса при формирању ПСС-а.

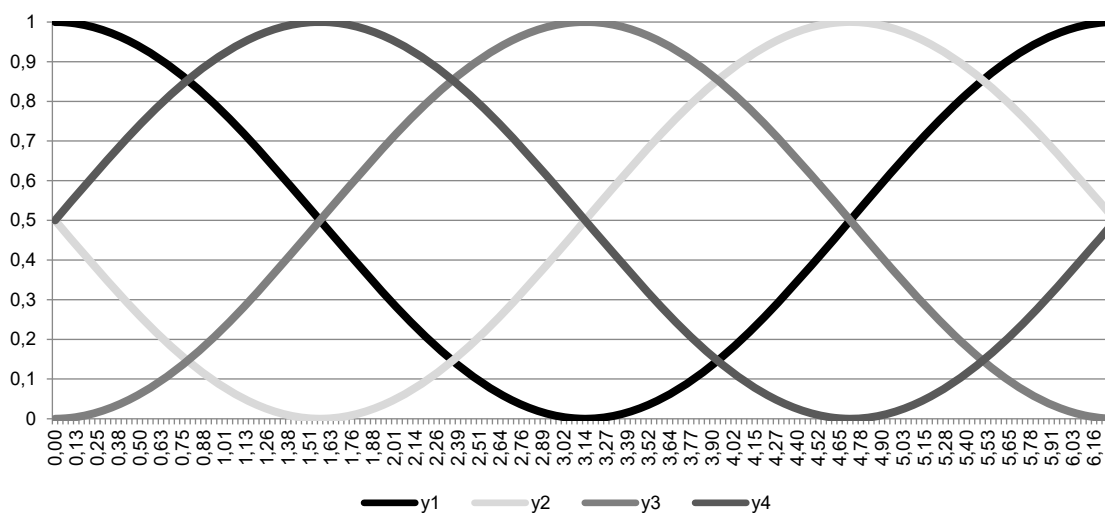
Слика 11. Кретање показатеља системског стреса применом различитих метода агрегације



На следећем примеру може се видети ова особина методе основних компонената. Претпоставимо да је улазни простор, приказан на Слици 12, у складу са синусним функцијама

$$y_i = \frac{\sin\left(\left(x + \left(\frac{\pi}{2}\right)\right)i + 1\right)}{2}, i = 1, 2, 3, 4 \quad (31)$$

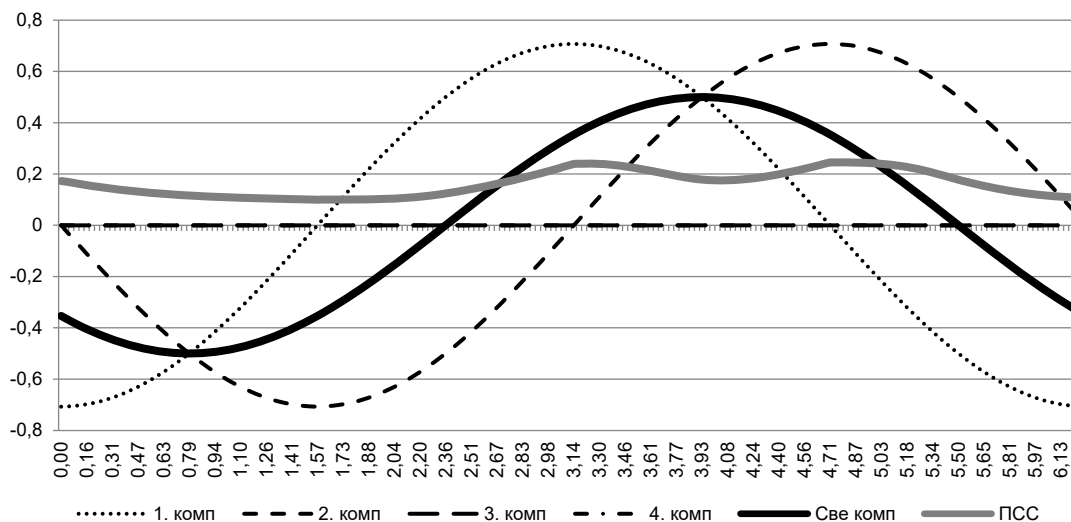
Слика 12. Пример комонотоничних и контракомонотоничних сигнала



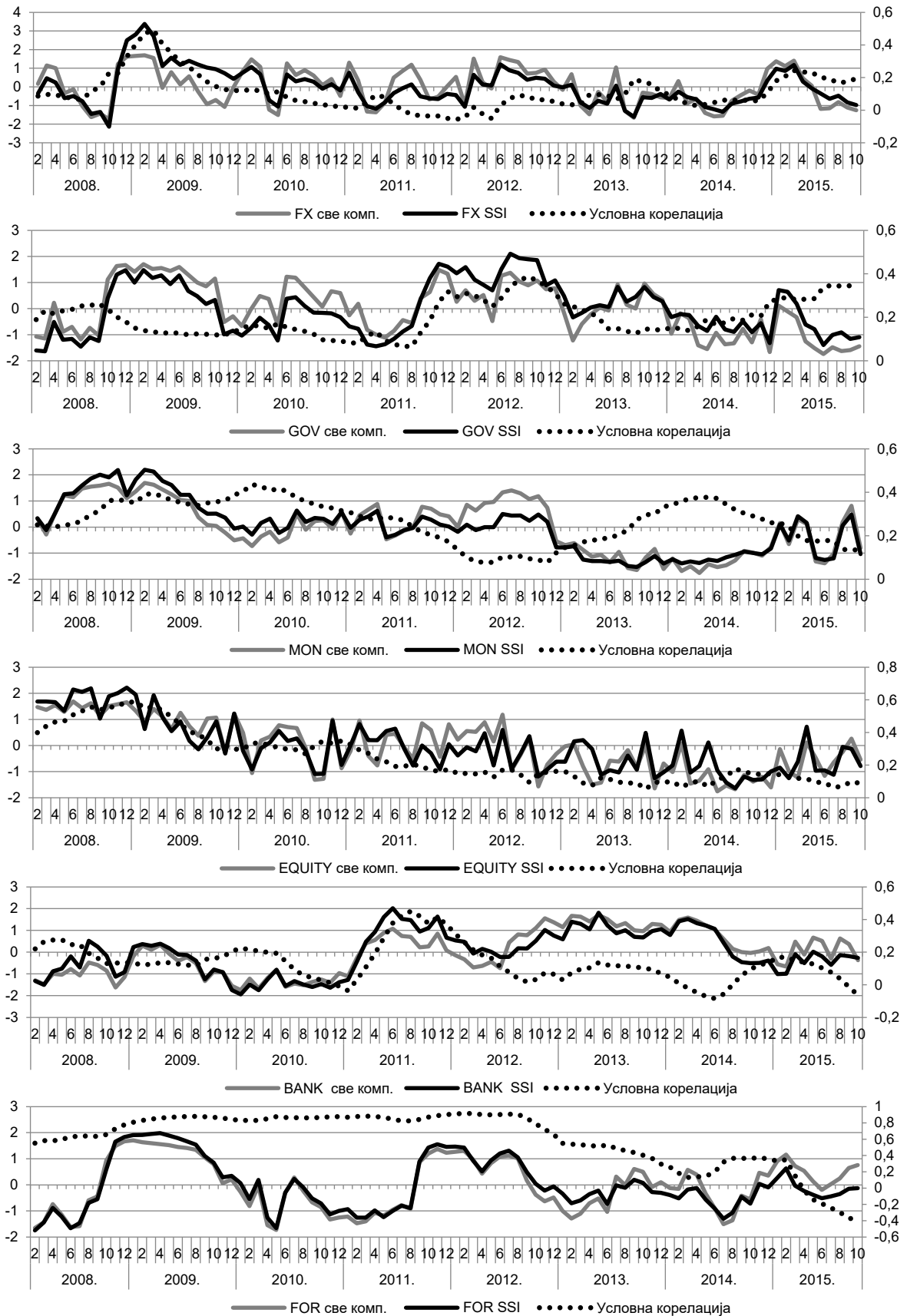
Као што се може видети, збир ових сигнала у времену је константан. Такође, постоје два пара сигнала који су контракомонотонични [McNeil et al. (2015)], и то $\{y_1, y_3\}$ и $\{y_2, y_4\}$, те се поништавају међусобно. Применом методе свих основних компонената, која је приказана на Слици 13, можемо видети да постоје прве две компоненте које

објашњавају 100% варијабилитета сигнала. Ове компоненте су померене у времену, с тим да прва компонента има шири опсег од друге компоненте. Трећа и четврта компонента имају вредности које су блиске нули. Агрегирањем прве две компоненте добијен је индекс приказан пуном црном линијом. Стандардизована вредност индекса креће се у интервалу $[-0,5-0,5]$. Нормализацијом, којом стандардизован индекс сводимо на јединични интервал, достижу се обе граничне вредности у интервалу, што представља недостатак примене ове методе. Наиме, агрегација основних компонената покрива цео нормализован интервал и на тај начин амплификују утицај екстремних вредности. С друге стране, портфолио агрегација има много мирнију динамику. Опсег овог индекса креће се у интервалу $[0,1-0,25]$, што је у складу с претпоставком о константности индекса парова контракомонотоничких променљивих и кретањем неусловне корелације. Друга предност овог начина агрегације јесте та што не захтева даљу нормализацију и на тај начин не постиже екстремне вредности јединичног интервала, омогућавајући правилнији обухват динамике самог индекса.

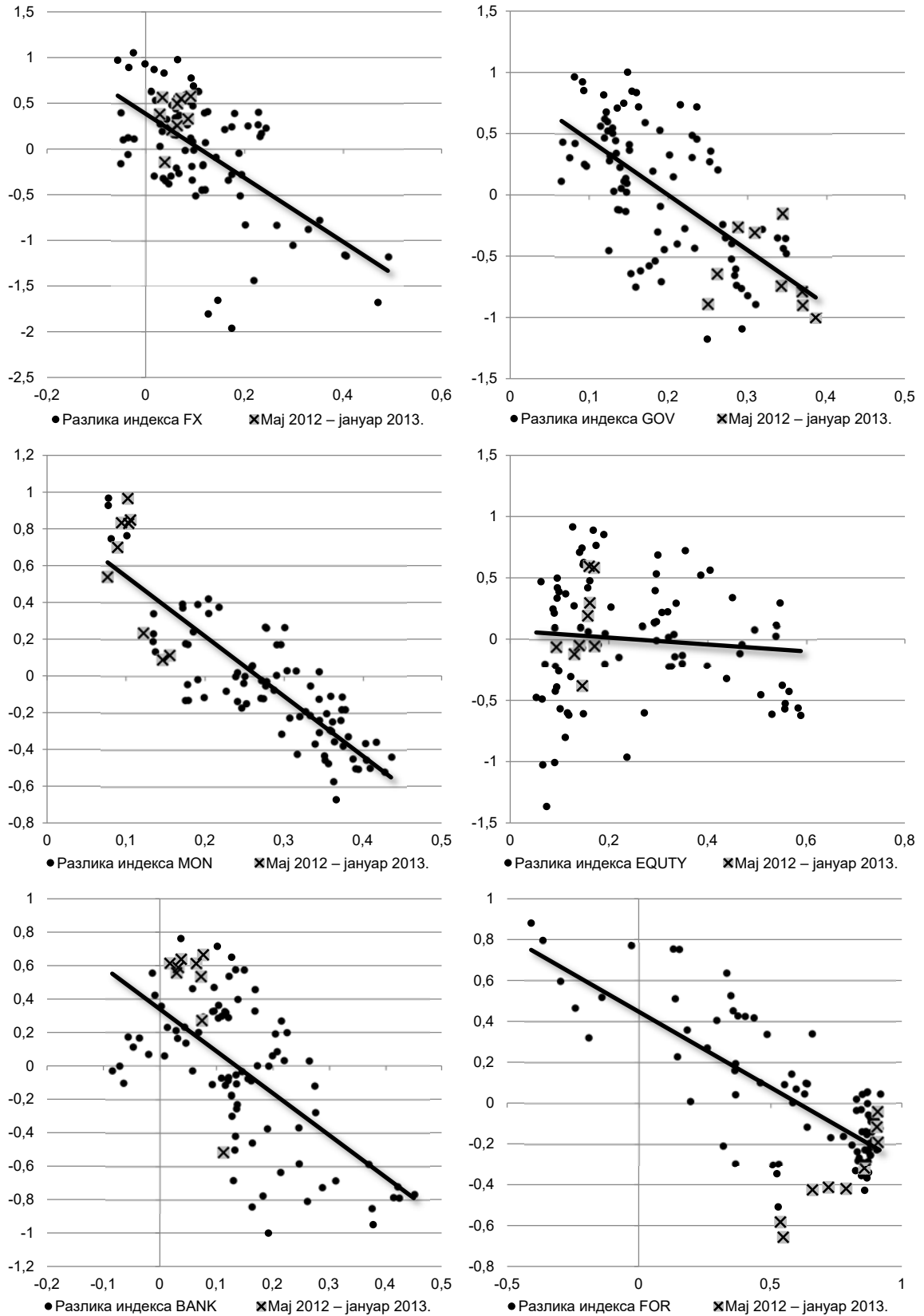
Слика 13. Пример кретања показатеља заснованих на приступу свих основних компонената и приступа портфолио агрегације



Слика 14. Кретање подиндекса применом приступа свих компонената и приступа портфолио агрегације по сегментима и вредности условне корелације серија подиндекса



Слика 15. Разлика вредности подиндекса применом приступа свих компонената и приступа портфолио агрегације по сегментима у зависности од вредности условне корелације серија у подиндексу



Прилог 2. Списак показатеља за рачунање показатеља системског стреса

Сегмент	Показатељ	Ознака
Девизно тржиште	Међугодишња стопа раста курса RSD према EUR	<i>FX.EUR_RSD_MG</i>
	Реализована волатилност међугодишње стопе раста курса RSD према EUR	<i>FX.RV</i>
	Апсолутна вредност интервенција Народне банке Србије на девизном тржишту	<i>FX.NBS_Interventions</i>
	Разлика између продајног и куповног курса RSD према EUR	<i>FX.B_A_spread</i>
Јавне финансије	Разлика приноса до доспећа 10Г државне обвезнице и 10Г немачке државне обвезнице	<i>Gov.YTM_RS_minus_BUND</i>
	Разлика између продајне и куповне цене 10Г државне обвезнице	<i>Gov.B_A_spread_RS</i>
	Реализована волатилност приноса до доспећа 10Г државне обвезнице	<i>Gov.YTM_RS_RV</i>
	EMBI Global Србије	<i>Gov.EMBI_G_Serbia</i>
	Консолидовани фискални резултат (у % БДП-а)	<i>Gov.Deficit</i>
Тржиште новца	Просечна отежана каматна стопа по основу преконоћних позајмица на међубанкарском тржишту – BEONIA	<i>Money.BEONIA</i>
	Разлика између BEONIA и референтне каматне стопе	<i>Money.BEONIA_minus_REFRATE</i>
	Стандардна девијација BEONIA	<i>Money.BEONIA_StDev</i>
	Разлика између максималне стопе на преконоћне позајмице и каматне стопе на кредитне олакшице	<i>Money.DEPOSIT_CREDIT_Rates</i>
	Просечна издвојеност динарске обавезне резерве 17. у месецу	<i>Money.Allocated_RR</i>
	Разлика између тромесечне каматне стопе на EURIBOR и приноса до доспећа немачке државне обвезнице	<i>Money.EURIBOR_MINUS_BUND</i>
	Разлика између тромесечне каматне стопе на EURIBOR и преконоћне каматне стопе EONIA	<i>Money.EURIBOR_MINUS_EONIA</i>
Тржиште капитала	CMAX трансформација берзанског индекса BELEX15	<i>Equity.CMAX_BELEX15</i>
	Промет берзанског индекса BELEX15	<i>Equity_BELEX15_turn</i>
	Реализована волатилност берзанског индекса BELEX15	<i>Equity_BELEX15_RV</i>
	Реализована волатилност промета берзанског индекса BELEX 15	<i>Equity.RV_BELEX15_turn</i>
Банкарски сектор	Кредитни јаз помоћу једностраног HP филтера	<i>Banking.Loan_Gap</i>
	Депозитни јаз помоћу једностраног HP филтера	<i>Banking.Deposits_gap</i>
	Отежана сума CDS матичних банака у складу са учешћем у билансној суми	<i>Banking.weight_CDS</i>
Међународно окружење	Композитни EMBI GLOBAL	<i>FOR.EMBI_G_comp</i>
	Просечна вредност берзанских индекса земаља у окружењу	<i>FOR.Stock_indexes</i>

Извор НБС, МФИН, *Bloomberg* и Београдска берза.

Прилог 3. Статистике оцењених вредности параметара модела

Табела 8. Основне статистике при различитим вредностима доцње зависне променљиве стања и броја режима

	F-DMS(2) SAR (0)	F-DMS(3) SAR (0)	F-DMS(2) SAR (1)	F-DMS(3) SAR (1)	F-DMS(2) SAR (2)	F-DMS(3) SAR (2)
Веродостојност	225.93	286.29	227.84	289.3	226.69	285.97
Број параметара	6	12	6	12	6	12
AIC	-439.86	-548.58	-443.68	-554.6	-441.37	-547.93
BIC	-424.66	-518.19	-428.48	-524.21	-426.24	-517.67
RCM	3.17%	2.26%	2.91%	2.11%	2.78%	2.64%
Нормалност (p вредност)	3.95E-01	1.00E-03	3.11E-01	1.00E-03	2.93E-01	1.00E-03
Аутокорелација	0.00E+00	1.13E-08	0.00E+00	2.97E-09	0.00E+00	8.47E-11
ARCH	4.47E-08	5.15E-03	2.27E-08	1.66E-02	4.23E-07	2.43E-03

Табела 9. Статистике оцењених вредности параметара F-DMS(3) SAR (1) модела

F-DMS(3) SAR (1)	коэффициент	Стандардна грешка	p вредност
Варијанса (1)	6.30E-05	1.00E-05	0.00E+00
Варијанса (2)	3.95E-04	1.09E-04	4.00E-04
Варијанса (3)	1.86E-03	1.23E-03	1.33E-02
Очекивана вредност (1)	2.31E-02	8.61E-04	0.00E+00
Очекивана вредност (2)	7.40E-02	3.05E-03	0.00E+00
Очекивана вредност (3)	1.87E-01	1.31E-02	0.00E+00
$P_{a(1 1)}$	9.11E+01	8.88E+00	0.00E+00
$P_{a(1 2)}$	-3.81E+01	9.05E+03	9.97E-01
$P_{a(1 3)}$	3.61E+02	1.96E+06	1.00E+00
$P_{a(2 1)}$	2.47E+01	5.18E+00	0.00E+00
$P_{a(2 2)}$	-8.98E+00	7.55E+00	2.36E-01
$P_{a(2 3)}$	9.11E+01	8.88E+00	0.00E+00

Остале вредности параметара транзитивних вероватноћа $P_{a(3|1)}$, $P_{a(3|2)}$ и $P_{a(3|3)}$ добијају се на основу приказаних транзитивних вероватноћа

Прилог 4. Модели за оцену вероватноће настанка системске кризе

Табела 10. Статистике ограничених модела у зависности од доцње променљиве стања

Хоризонт	AIC	BIC	Нормалност	ARCH	RCM	Веродостојност
<i>R-DMS(3) SAR(3)</i>	-561,83	-542,53	1,00E-03	2,42E-04	0,0252	285,85
<i>R-DMS(3) SAR(4)</i>	-551,08	-536,01	1,00E-03	2,43E-04	0,0263	281,54
<i>R-DMS(3) SAR(5)</i>	-540,71	-525,71	1,00E-03	9,94E-06	0,0245	276,36
<i>R-DMS(3) SAR(6)</i>	-538,98	-524,05	1,00E-03	2,22E-06	0,0250	275,49
<i>R-DMS(3) SAR(7)</i>	-535,91	-521,05	1,00E-03	3,83E-07	0,0233	273,96
<i>R-DMS(3) SAR(8)</i>	-526,81	-512,01	1,00E-03	9,80E-08	0,0221	269,40
<i>R-DMS(3) SAR(9)</i>	-518,62	-503,89	1,00E-03	1,07E-07	0,0215	265,31
<i>R-DMS(3) SAR(10)</i>	-520,79	-506,14	1,00E-03	3,24E-09	0,0194	266,40
<i>R-DMS(3) SAR(11)</i>	-515,76	-501,18	1,00E-03	5,95E-10	0,0209	263,88
<i>R-DMS(3) SAR(12)</i>	-511,05	-496,54	1,00E-03	5,26E-11	0,0211	261,53

Табела 11. Оцена квалитета класификације ограничених модела у зависности од доцње променљиве стања

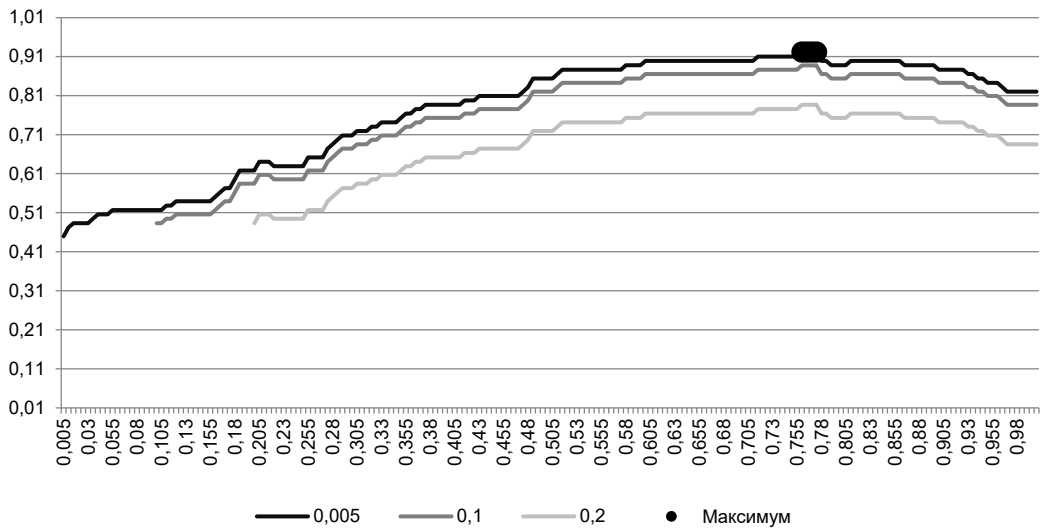
	b_l	b_u	Тачност класификације	Сензитивност класификације	Специфичност класификације
<i>R-DMS(3) SAR(3)</i>	0,010	0,805	0,9333	0,875	0,983
<i>R-DMS(3) SAR(4)</i>	0,005	0,720	0,9322	0,844	1,000
<i>R-DMS(3) SAR(5)</i>	0,005	0,715	0,9211	0,844	1,000
<i>R-DMS(3) SAR(6)</i>	0,005	0,760	0,9211	0,875	0,983
<i>R-DMS(3) SAR(7)</i>	0,005	0,740	0,8878	0,875	0,948
<i>R-DMS(3) SAR(8)</i>	0,005	0,620	0,8656	0,906	0,914
<i>R-DMS(3) SAR(9)</i>	0,005	0,460	0,8322	0,906	0,862
<i>R-DMS(3) SAR(10)</i>	0,005	0,460	0,8211	0,875	0,845
<i>R-DMS(3) SAR(11)</i>	0,001	0,260	0,5767	0,532	0,879
<i>R-DMS(3) SAR(12)</i>	0,001	0,015	0,5767	0,551	0,879

Табела 12. Статистике оцењених вредности параметара модела *R-DMS(3) SAR (6)*

<i>R-DMS(3) SAR (6)</i>	Коефицијент	Стандардна грешка	<i>p</i> вредност
Варијанса (1)	6,30E-05	-	-
Варијанса (2)	3,95E-04	-	-
Варијанса (3)	1,86E-03	-	-
Очекивана вредност (1)	2,31E-02	-	-
Очекивана вредност (2)	7,40E-02	-	-
Очекивана вредност (3)	1,87E-01	-	-
$Pa_{(1 1)}$	1,14E+02	1,94E+01	0,00E+00
$Pa_{(1 2)}$	-2,79E+01	1,15E+01	1,65E-02
$Pa_{(1 3)}$	-3,82E+01	5,19E+03	9,94E-01
$Pa_{(2 1)}$	3,61E+02	1,30E+05	9,98E-01
$Pa_{(2 2)}$	2,38E+01	4,54E+00	0,00E+00
$Pa_{(2 3)}$	-7,25E+00	3,99E+00	7,11E-02

Остале вредности параметара транзитивних вероватноћа $Pa_{(3|1)}$, $Pa_{(3|2)}$ и $Pa_{(3|3)}$ добијају се на основу приказаних транзитивних вероватноћа.

Слика 16. Фамилија кривих кретање тачности класификације у случају три режима у зависности од доње и горње критичне вредности (хоризонтална оса) класификације



Прилог 5. Историја вести о кризи од 2008 до 2010. године

I expect that the crisis will be mitigated before they are reflected negative effects on our country. (Дневник, 3. 10. 2008)

„Србија из ове велике светске финансијске кризе излази неокрњена... Показало се да је наша рестриктивна монетарна политика постојана заштита од уласка криза попут актуелне.” (Дневник, 16. 10. 2008)

Global crisis threatens Serbia in 2009. (Stratfor, 4. 11. 2008)

„Криза је у Србију стигла раније него што се очекивало, за шта су одговорни 'домаћи економски актери'.” (Б92, 3. 3. 2009)

„Криза није престала, али слаби.” (РТВ Пинк, 12. 5. 2009)

Serbia has emerged from the crisis according to economical indicators. (БЕТА, 20. 1. 2010)

„Србија, формално и статистички посматрано, изашла из кризе.” (Данас, 17. 5. 2010)

Литература

- Abiad, M. A. (2003), „Early warning systems: A survey and a regime-switching approach”, International Monetary Fund.
- Alexander, C. (2009), „Market Risk Analysis, Value at Risk Models”, *John Wiley & Sons*.
- Ang, A., and Bekaert, G. (2002) „Regime switches in interest rates”, *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(2), 163–182.
- Attinasi, M. G., Checherita-Westphal, C. D., and Nickel, C. (2009), „What explains the surge in euro area sovereign spreads during the financial crisis of 2007–09?”.
- Baele, L. (2005), „Volatility spillover effects in European equity markets”, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 40(02), 373–401.
- Berg, A., and Pattillo, C. A. (1998), „Are currency crises predictable? A test”.
- Borio, C. (2003), „Towards a macroprudential framework for financial supervision and regulation?”, *CEifo Economic Studies*, 49(2), 181–215.
- Bussiere, M., and Fratzscher, M. (2006), „Towards a new early warning system of financial crises”, *Journal of International Money and Finance*, 25(6), 953–973.
- Cavanagh, J., and Long, R. (1999) „Introducing the JP Morgan Emerging Markets Bond Index Global (EMBI Global)”, *Emerging markets research*, JP Morgan Securities Inc.
- Chae, J. (2005), „Trading volume, information asymmetry, and timing information”, *The journal of finance*, 60(1), 413–442.
- Crotty, J. (2009), „Structural causes of the global financial crisis: a critical assessment of the ‘new financial architecture’”, *Cambridge Journal of Economics*, 33(4), 563–580.
- De Bandt, O., Hartmann, P., and Peydro, J. (2009), „Systemic risk in banking: An update”, *Oxford Handbook of Banking*, Oxford University Press, Oxford.
- Dempster, A. P., Laird, N. M., and Rubin, D. B. (1977), „Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm”, *Journal of the royal statistical society, Series B (methodological)*, 1–38.
- Diebold, F. X., Lee, J. H., and Weinbach, G. C. (1994), „Regime switching with time-varying transition probabilities”, *Business Cycles: Durations, Dynamics, and Forecasting*, 144–165.
- Dornbusch, R. (1976), „Expectations and Exchange Rate Dynamics”, *The Journal of Political Economy*, Vol. 84, pp. 1161–76.
- Dumičić, M. (2014), „Pokazatelji financijskog stresa za male otvorene visokoeuroizirane zemlje – primjer Hrvatske”, HNB Istraživanja, 43.
- Frankel, J. A., and Saravelos, G. (2010), „Are leading indicators of financial crises useful for assessing country vulnerability? Evidence from the 2008-09 global crisis”, National bureau of economic research.
- Hamilton, J. D. (1989), „A new approach to the economic analysis of nonstationary time series and the business cycle”, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 357–384.
- Hatzius, J., Hooper, P., Mishkin, F. S., Schoenholtz, K. L., and Watson, M. W. (2010), „Financial conditions indexes: A fresh look after the financial crisis”, National Bureau of Economic Research.
- Hollo, D., Kremer, M., and Lo Duca, M. (2012), „CISS-a composite indicator of systemic stress in the financial system”.

- Houben, A., Kakes, J., and Schinasi, G. J. (2004), „Toward a framework for safeguarding financial stability”, International Monetary Fund.
- Illing, M., and Liu, Y. (2003), „An index of financial stress for Canada”, Bank of Canada.
- Illing, M., and Liu, Y. (2006), „Measuring financial stress in a developed country: An application to Canada”, *Journal of Financial Stability*, 2(3), 243–265.
- IMF (2001), Government finance statistics manual 2001, Statistics Department.
- IMF (2008), „Financial Soundness Indicators: Compilation Guide”, International Monetary Fund.
- Joe, H. (1990), „Multivariate concordance”, *Journal of multivariate analysis*, 35(1), 12–30.
- Jolliffe, I. (2002), „Principal component analysis”, Wiley Online Library.
- Kaminsky, G. L. (1999), „Currency and banking crises-the early warnings of distress”, International Monetary Fund.
- Kliesen, K. L., Owyang, M. T., and Vermann, E. K. (2012), „Disentangling diverse measures: A survey of financial stress indexes”, *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 94(5), 369–398.
- Kovačević, D., Mladenović, N., Petrović, B., and Milošević, P. (2014), „DE-VNS: Self-adaptive Differential Evolution with crossover neighborhood search for continuous global optimization”, *Computers & Operations Research*, 52, 157–169.
- Kou, G., Chao, X., Peng, Y., Alsaadi, F. E., & Herrera-Viedma, E. (2019), „Machine learning methods for systemic risk analysis in financial sectors”, *Technological and Economic Development of Economy*, 25(5), 716–742.
- Lo Duca, M., and Peltonen, T. A. (2011), „Macro-financial vulnerabilities and future financial stress-Assessing systemic risks and predicting systemic events”.
- Louzis, D. P., and Vouldis, A. T. (2013), „A financial systemic stress index for Greece”.
- McNeil, A. J., and Frey, R. (2000), „Estimation of tail-related risk measures for heteroscedastic financial time series: an extreme value approach”, *Journal of empirical finance*, 7(3), 271–300.
- McNeil, A. J., Frey, R., and Embrechts, P. (2015), „Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques and Tools: Concepts, Techniques and Tools”, *Princeton university press*.
- NBS (2021), *Annual Financial Stability Report 2020*, National bank of Serbia publications.
- Obstfeld, M., and Rogoff, K. (2009), „Global imbalances and the financial crisis: products of common causes”.
- Podpiera, J., and Ötker, M. I. (2010), „The fundamental determinants of credit default risk for European large complex financial institutions”, International Monetary Fund.
- Press, W. H. (2007), „Numerical recipes 3rd edition: The art of scientific computing”, *Cambridge university press*.
- Rose, A. K., and Spiegel, M. M. (2012), „Cross-country causes and consequences of the 2008 crisis: early warning”, *Japan and the World Economy*, 24(1), 1–16.
- Schwarcz, S. L. (2008), „Systemic risk”, *Georgetown Law Journal*, 97(1).
- Sokolova, M., and Lapalme, G. (2009), „A systematic analysis of performance measures for classification tasks”, *Information Processing & Management*, 45(4), 427–437.
- Tamakoshi, G., and Hamori, S. (2015), „The European Sovereign Debt Crisis and Its Impacts on Financial Markets”, Routledge.