

Оригинални научни рад

911.2:551.51

КЛАСИФИКАЦИЈЕ ЦИРКУЛАЦИЈЕ АТМОСФЕРЕ

*Горица Станојевић*¹*

*Географски факултет у Београду

Апстракт: Класификовање облика циркулације атмосфере спада у домен синоптичке климатологије. Генерално издвајају се три главне групе класификација: субјективне, мешовите и објективне. У методолошком подледу савремене тенденције крећу се у правцу потпуне објективизације класификационих процедура применом различитих статистичко-математичких метода. Класификације циркулације атмосфере представљају веома користан алат у истраживањима промена климе; у реконструисању климе прошлости, анализама варијабилности климе садашњости, као и у проценама климе будућности. Примењују се и за предвиђање времена у метеорологији, али и у анализама квалитета ваздуха, изради атласа ветрова, биометеоролошким истраживањима. Имајући у виду научне и оперативне могућности примене класификација циркулације атмосфере приметан је недостатак радова који се баве овом проблематиком у домаћој научној литератури. Тек у протеклим годинама јављају се радови који истражују везу између климатске варијабилности на простору Србије и одлика одређених типова циркулације атмосфере.

Кључне речи: синоптичка климатологија, циркулација атмосфере, класификациони метод

Увод

Класификација представља један од највише коришћених статистичких метода у атмосферским наукама. Класификовање облика циркулације атмосфере спада у домен синоптичке климатологије. Атмосферска циркулација се само условно може посматрати као систем са јасно одвојеним и дефинисаним подсистемима, што чини да је и свака њена класификација условна (Huth et al., 2008). Међутим, примена овог метода не губи на значају у истраживањима. То је у складу и са растом интересовања за проучавање временских и климатских услова, посебно са аспекта њиховог утицаја на човека и његове активности. У зависности од временског низа за који су доступни подаци о променљивим на основу којих је дефинисан циркулациони фактор могуће је реконструисати климу прошлости, утврдити савремене промене климе, али и симулирати

¹ gorstana@yahoo.com

климатске услове у будућности помоћу различитих математичких модела (Global Climate Models, General Circulation Models).

Постоји велики број класификација које се разликују по својој временској и просторној резолуцији, методолошким приступима, броју типова, али и наменама. Генерално се издвајају три основне групе: субјективне, мешовите и објективне класификације циркулације атмосфере. Савремене методолошке тенденције се састоје у успостављању објективног математичко-статистичког приступа који својом просторно-временском резолуцијом омогућава утврђивање макроциркулационих одлика, при чему са резултати могу ускладити и на локалној скали. Формирањем радне групе COST733² у оквиру организације за Европску сарадњу у науци и техници (European Cooperation in Science and Technology- COST) постављени су циљеви у области хармонизације и примене класификација временских ситуација за Европске регионе. Дефиниција једног од циљева гласи: „Постизање општег нумеричког метода за утврђивање, поређење и класификовање временских ситуација у Европи, са могућношћу прилагођавања ка било ком Европском (суб)региону на временској скали од 12 часова до 3 дана и просторној скали од 200 до 2000 km, уз могућност вишенаменске примене“ (www.cost733.org/about_cost733.htm).

У домаћој научној литератури присутан је недостатак радова који се баве овом проблематиком. У овом раду дат је општи преглед метода, приступа, иновација, али и апликативни (научни и оперативни) значај циркулационих класификација. Такође, представљене су и могућности примене одређених класификационих процедура у истраживању климатских одлика Србије.

Концепт циркулационих типова

Класификација је поступак разврставања ентитета тј. објеката, појава и процеса у одређен број група (класа, типова, скупова) на основу њихових особина, односно ентитети једне групе показују извесне сличне особине,

² COST733 Action Harmonisation and applications of weather type Classifications for European Regions је радна група при организацији COST која је основана 2005. године. У новембру 2010. биће одржан завршни скуп ове групе са изношењем закључака петогодишње активности COST733 акције на пољу методолошког напретка, апликације, евалуације и верификације класификација временских и циркулационих типова. Такође, биће представљени и будући правци развоја класификационог метода у атмосферским и наукама о животној средини (www.cost733.org).

док се између група издвајају разлике. Класификациони метод се током времена развијао, усавршавао, тако да о њему данас говоримо са аспекта различитих методолошких и употребних приступа. Утврђивањем квалитативних и квантитативних односа између елемената добија се мера сличности/различитости на основу које се одређује припадност сваког елемента одређеном скупу тј. подскупу. Тако класификација превазилази механички поступак тј. саму процедуру образовања класа, формирајући системски уређене односе између чланова једног скупа чијом анализом се добијају нова сазнања и узрочно-последичне везе које могу послужити у даљим истраживањима.

Класификација атмосферске циркулације је најпре своју примену нашла у метеорологији, односно у временским прогнозама. Развој рачунара пружио је нове могућности рада са великим базама података и усавршавање класификационог метода, али и нове методе предвиђања времена. То је условило да се класификације све мање користе за временске прогнозе, а своје место све више налазе у синоптичкој и статистичкој климатологији (Huth et al., 2008).

Циркулација атмосфере се може различито дефинисати, па су сходно томе и разноврсни начини њене класификације. Међутим, циркулација атмосфере је по својој суштини целина пре делова, континуум. Само условно можемо посматрати циркулацију атмосфере као систем са јасно одвојеним и дефинисаним подсистемима, па је свака њена класификација условна. Тако класификационе категорије губе физичку основу, а њихова улога је поједностављење физичке реалности (Huth et al., 2008). То значи да не постоји апсолутно тачна, правилна класификација атмосфере, већ прилагођена одређеној намени, боља или лошија по одређеним критеријума.

Као продукт класификације циркулације атмосфере добијају се циркулациони типови. Зависно од саме класификационе процедуре њихов број је различит. Често се називају и синоптичким типовима, што није погрешно, али је то термин који се веже за период употребе класификације циркулације атмосфере пре примене рачунара, када је синоним за њу био каталог синоптичких типова (Huth et al., 2008). Према анкети која је прослеђена релевантним појединцима и институцијама на простору европских земаља, а која је иницирана акцијом COST733 и резултати презентовани у неколико студија (Huth et al., 2006, Huth et al., 2008), показано је да број типова варира у највећем броју класификационих процедура између 4 и 40, док се број субтипова креће и до 209. Треба

нагласити и да ова анкета приказује ситуацију на пољу постојећих класификација до 2006. г.

Циркулационе типове одређују просторна и временска резолуција, али и променљиве које су коришћене за њихово дефинисање. Према резултатима поменуто анкетe 84% класификација се базира на вредностима притиска на нивоу мора, геопотенцијалној висини или пољима ветра. Најчешће је један ниво коришћен као улазни податак за класификацију; у највећем броју студија то је геопотенцијала висина од 500 hPa. Укључивањем вишеструких нивоа добија се мало додатних информација због великог степена зависности међу индивидуалним нивоима (Huth et al., 2008). Такође, треба правити разлику између циркулационих типова и типова времена и типова ваздушних маса. Сваки од њих заснива се на различитим подацима који су коришћени у класификационим процедурама.

За дефинисање циркулационих типова користе се променљиве и то као часовне, дневне или месечне вредности. Различитог размера, од локалног до континенталног, простор се посматра најчешће у виду умрежених станица или тзв. гридова. Спроведена анкета је показала да се од постојећих класификација које се користе и у научне и у оперативне сврхе у Европи 84% базира на дневним подацима, а 9 % на краћој временској скали, од 12 или 6 часова. Међутим, ова разлика није због методолошког приступа већ доступних података. Само 5 % класификација користе месечне вредности. По просторном обухвату континенталне чине 50 %, субконтиненталне 22 %, на нивоу величине државе 20 %, регионалне 3 % и локалне 5 %.

Методи класификације циркулације атмосфере

Постоје разноврсни приступи и начини за класификовање облика атмосферске циркулације. Међутим, зависно од тога како су дефинисани циркулациони типови, а потом и извршено додељивање индивидуалних случајева неком од њих, односно колико је у ова два сукцесивна поступка имплементирано субјективног расуђивања тј. објективног математичко-статистичког моделовања, издвајају се три основне групе класификација: субјективне, мешовите и објективне. Треба напоменути да циркулациони типови могу бити дефинисани пре одређивања припадности одређеног атмосферског стања неком од њих (a priori), али и непосредно у току саме њихове класификације (Huth et al., 2008).

Субјективне класификације

Субјективне (мануелне или ручне класификације како се још називају) одликује субјективно расуђивање тј. главни критеријум којим се руководи при дефинисању, а потом и разврставању одређених ситуација је знање стручњака. Уједно оне су и први практични покушаји метеоролога да се детектује, дефинише и публикује „понашање“ атмосферске циркулације. Најпознатије класификације из ове групе су Hess-Brezowsky класификација, затим Lamb-ова, а потом Schüerpp-ова и Vangengeim-Girs-ова класификација циркулације атмосфере. Иако субјективне, оне су учестало коришћене у различитим истраживањима. Један од разлога за то су и временски низови са којима располажу. Главна обележја наведених субјективних метода су приказана у табели 1.

Hess-Brezowsky класификација је најпознатија из ове групе, а уједно и најпознатија класификација циркулације атмосфере уопште. Учестало је коришћена у многим истраживањима у којима се анализирају савремене промене климе на простору европског континента. Разлог за то јесте временски низ која она обухвата (1881-2004), али чиљеница да је Хес-Брезовски каталог више пута допуњаван и хомогенизован; иницијано га је створио F.Baur 1944. године да би рад на њему наставили P.Hess и H.Brezowsky (1952, 1977), док су послење издање уредили F.W. Gerstengabe и P.C. Werner (2004). Кретање фронталних зона и положаји акционих центара у односу на централну Европу су основни критеријуми по којима ова класификација издаваја 29 различитих типова (нем. Grosswetterlagen-а или скраћено GWL) и једну групу неодређених синоптичких ситуација. GWL се групишу у 10 главних типова (нем. Grosswettertypen или скраћено GWT), при чему је битно нагласити да за сваки GWL постоји ограничење у трајању од најмање 3 узастопна дана. Временски низ од преко једног века са којим Hess-Brezowsky каталог располаже омогућава истраживање промена циркулације атмосфере и то најчешће кроз анализу промена у учесталости и постојаности (персистентности) одређених одлика односно типова циркулације атмосфере. Једна од главних критика на рачун овог класификационог метода је њена јака фокусираност на простор централне Европе (географско порекло класификације је Немачка), тако да одређена велика временска стања тада не могу имати пренесено значење на просторној скали величине Европе и североисточног Атлантика (James, 2007).

Lamb-ов каталог представља широко коришћену дневну синоптичку класификацију за Британска острва. Каталог је први пут публикован 1972.

године, а његова пуна оригинална верзија³ обухвата период од 1. јануара 1861. до 3. фебруара 1997. године. Главни критеријуми за класификовање синоптичких ситуација се заснивају на физичко-геометријским одликама ваздушних маса у односу на Британска острва, као што је правац ваздушног тока, његова јачина и у ком степену је ваздушна маса има циклонална/антициклонална обележја (Barry, Carleton, 2001). На основу овога по доминантном правцу кретања издваја се 8 типова који се даље разврставају у односу на доминацију циклоналних/антициклоналних одлика. Као и у Hess-Brezowsky каталогу овде се издваја једна група неклассификованих ситуација, док не постоји ограничење у временском трајању циркулационих типова.

Табела 1. Главна обележја најпознатијих субјективних класификација.

Субјективан метод	Дефинисање типова	Класификовање ситуација	Просторна резолуција	Бр. тип.	Бр. супер тип.	Временски период каталога
Hess-Brezowsky	Знање стручњака	Према визуелним особинама појединачних ситуација	Европа	29	10	1881-2004
Lamb	Физичко-геометријско		Британска острва	28	8	1861-1997
Vangengeim-Girs	Знање стручњака		Северна хемисфера	26	3	Од 1891
Schüerrp	Физичко-геометријско		Швајцарска	40	10	Од 1945

Друге две класификације из групе субјективних класификација које имају интернационално препознавање су Vangengeim-Girs-ова и Schüerrp-ова класификација. Vangengeim-Girs-ова класификација представља класификацију облика хемисферске циркулације (од 35°N до 80°N) и у основи разликује 3 основне групе циркулације: западну, источну и меридионалну (Barry, Carleton, 2001). Највише је коришћена у истраживањима у Русији и бившем Совјетском Савезу. У својој студији Stepp и Jaagus (2002) на основу корелационе анализе учесталости циркулационих форми са притиском на нивоу мора за територију Европе у периоду 20. века, закључују да Vangengeim-Girs боље описује циркулацију у северној и источној Европи, док Hess-Brezowsky се боље показала за централну, западну и јужну Европу.

Schüerrp-ова класификација се фокусира на територију Швајцарске и временски низ који обухвата је од 1945. године. Ова класификација

³ Каталог је доступан на http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hulme/uk/lamb_all.dat

користи у својој анализи станичне податке о временским параметрима и то расподелу ваздушног притиска, правац и јачину ветра и геопотенцијална поља 500hPa. Разликује 40 типова који се групишу у 10 базних (Liniger, Frei, 2006). Овај метод се и данас користи за анализу циркулационих и временских услова који показују извесне специфичности обзиром на њен просторни домет (Алпски планински систем).

Мешовите класификације

У случају мешовитих (хибридних) класификација типови су дефинисани субјективно а priori, док се разврставање синоптичких ситуација врши објективним критеријумима. Према Huth et al. (2008) од објективних процедура које се користе за разврставање појединачних случајева претходно утврђеним типовима најзаступљеније су подешавање нумеричног прага као критеријума, затим нумеричка мера дистанце, па и такве као што су неуронске мреже (средства „вештачке интелигенције“).

До сада је урађена објективизација два најпознатија субјективна каталога, Hess-Brezowsky и Lamb-овог каталога (табела 2). Објективни GWL каталог⁴ представља нумерички утврђене GWL-е који имају исто значење и номенклатуру као оригинални Hess-Brezowsky типови као и трајање од најмање 3 узастопна дана (James, 2007) . Овај каталог обухвата период од 1850. године, при чему се хомогеним може сматрати за период од 1948. године јер у прорачунима користи NCEP и ECMWF ERA40 реанализе. Једна од предности овог каталога ја већа просторна конзистентност изван централне Европе.

Табела 2. Главна обележја две мешовите класификације.

Мешовити метод	Дефинисање типова	Класификовање ситуација	Просторна резолуција	Временски период каталога
Објективни GWL систем	Знање стручњака	Метод дистанце	Европа и Североисточни Атлантук	Од 1850
Објективни Jenkinson 'Lamb' каталог	Физичко-геометријско	Метод критеријум прага	Британска острва	Од 1880

У другом случају ради се о Jenkinson-овој објективној верзији Lamb-овог каталога⁵ у коме су подаци доступни за период од 1880. године. Покушаји објективизације Лембове класификације су се показали као веома успешни

⁴ Каталог је доступан на <http://www.cost733.org/GWL/ObjGWL.html>

⁵ Каталог је доступан на http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hulme/uk/lambjenks_all.dat

(за простор Норвешке и Пиринејског полуострва). У том смислу као оптимално решење наметнуло се преношење мреже величине као у оригиналној верзији (Британска острва и околина) пропорционално на одређене делове Европе и тако склапање једне мозаичне слике. Међутим, уклапање мноштва информација у једну целину је веома тешко и захтевно, а при томе је квалитет добијених резултата је и даље споран (James, 2007).

Објективне класификације

Код објективних класификација (компјутерски базирание/computer based, аутоматизоване/automated) и дефинисање типова и додела индивидуалних случајева извршена је нумеричким процедурама. Међутим, треба напоменути да ове методе нису у потпуности ослобођене субјективних одлука (број типова, мера сличности/различитости између типова) (Huth et al., 2008).

Према Huth et al. (2008) методе које се користе у објективним класификацијама се могу поделити у неколико група: методе базирание на корелацији (користе сличност између дневних облика као критеријум, сличност је у изражена у терминима корелације или као сума квадратних разлика; кластер анализа (хијерархијске просечна веза и Вард метод и нехијерархиска k-mean техника), PCA (principal component analysis) и то T-mode и S-mode, нелинеарне методе - неуронске мреже представљене самоорганизујућим мапама (SOM - self-organizing maps), затим тзв. „fuzzy“ методе, остале нелинеарне (класификационо и регресионо дрво) и мешовите методе.

Резултати анкете COST733 су показали са су објективне класификације заступљеније (45%) у односу на субјективне (30%) и мешовите (25%), при чему се кластер анализа наводи ка најзаступљенија статистичка процедура и то k-mean нехијерархијска кластер анализа. Међутим, чини се да још увек није успостављена објективна класификациона процедура која би могла да одговори на највећи број захтева који се пред њу стављају: оптималан број типова, смањивање унутар типа варијабилности, али и успостављању универзалног класификационог метода како је то дефинисано у уводном делу овог рада. Једна од статистичких процедура од које се доста очекује на овом пољу су самоорганизујуће мапе које представљају специфично пројектоване неуронске мреже. Такође, проширивање истраживања на стратосферску циркулацију доноси сазнања о динамици атмосфере и механизмима преноса утицаја (Huth, Canziani, 2003), и уопште бољем разумевању климатског система.

Научна и практична употреба класификација циркулације атмосфере

Класификације циркулације атмосфере представљају веома корисан алат за истраживање климатских промена. У зависности од временског домета доступних података могу се применити у реконструисању климе прошлости, анализама варијабилности климе садашњости, као и у проценама климе будућности.

Ограничена доступност временских низова података, у већини случајева на мање од једног века, представља значајну препреку у реконструисању климе прошлости. У протеклим годинама остварено је неколико пројеката који имају за циљ стварање базе података о вредностима ваздушног притиска на простору Европе и Северног Атлантика. Циљ пројекта EMULATE⁶ (EU-Project European and North Atlantic daily to multidecadal climate variability) јесте стварање базе података са дневним вредностима ваздушног притиска на нивоу мора уређених по гريدној структури резолуције 5°x5° за простор северног Атлантика и Европе за период од 1850. године до данас. Овим је омогућена анализа промена одлика циркулације атмосфере, а самим тим и детаљније истраживање утицаја циркулације атмосфере на површинске климатске променљиве. Корак даље представља пројекат ADVICE⁷ (Annual to Decadal Variability in Climate in Europe) који има два циља; први је утврђивање климатске варијабилности за простор Европе и северног Атлантика у периоду 1780-1997., користећи историјске инструменталне податке, док се други циљ односи на реконструкцију климе за време касног Маундеровог минимума (1675-1715), користећи документарне изворе. Поред тога што ова база података омогућава различита истраживања на пољу циркулације атмосфере и њене повезаности са површинским климатским варијаблама, овако дугачак низ података омогућава и истраживања природне климатске варијабилности, поготово са аспекта савременог форсирања ставова о антропогеном утицају као значајном фактору климатских промена.

У студијама савремене климатске варијабилности акценат је утврђивању повезаности између одлика циркулације атмосфере и екстремних климатских догађаја. Hess-Brezowsky каталог је и један од најчешће коришћених у овом типу истраживања. Промене у учесталости и перзистентности циркулационих се одражавају и на интезитет и трајање

⁶ <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/research>

⁷ <http://www.uea.ac.uk/~f094/advice.html>

топлих и хладних таласа (Domonkos et al., 2003, Cony et al., 2008, Kyselý, 2007, Kyselý and Huth, 2008).

У протеклим годинама урађено је неколико радова у којима се варијабилност климатских елеманата, и то температуре ваздуха и падавина на простору Србије у другој половини XX века истражује у светлу промена одређених типова атмосферске циркулације (Радовановић, Дуцић, 2004, Дуцић и сар., 2010а, Дуцић и сар., 2010b). У овим радовима коришћене су субјективне класификације циркулације атмосфере (Hess-Brezowsky класификација и циркулациони механизми Дзердевског). Чини се да у домаћој научној литератури недостају истраживања на ову тему, поготово анализе веза између екстремних климастких догађаја и одређених типова циркулације атмосфере. Значајан проблем представља и то што у постојећим класификационим процедурама регион југоисточне Европе улази у њихов спољашњи просторни домет, па се поставља питање њихове прилагодљивости у истраживањима за ове просторе.

Класификације циркулације атмосфере су настале за потребе временске прогнозе, а са растом перформанса рачунара постале су један од основних метода у синоптичко климатолошким истраживањима. Међутим, класификације као алат у прогнозама времена су поново актуелне. Нови приступи и побољшане методологије отварају нове могућности на овом пољу. Једана од њих је и тзв. ensemble forecasting односно стварање вишеструких прогноза од дате тачке времена, свака са незнатно модификованим почетним условима.

Употреба класификационог метода своју примену налази и у студијама загађења и квалитета ваздуха, изради атласа ветрова, анализа шума пожара али и медицинској метеорологији (Huth et al., 2006). Kassomenos et al. (2001) утврђују статистички значајну везу између дневног морталитета у Атини и одређених типова атмосферске циркулације. Све ово наводи на закључај о великом научном и практичном значају класификација циркулације атмосфере. Успостављање одговарајућег методолошког приступа и постојање одговарајућих сетова података који се могу обрађивати још увек су актуелна питања за примену класификационог метода у анализама динамике циркулације атмосфере.

Закључак

Класификовање облика циркулације атмосфере спада у домен синоптичке климатологије. Постоји велики број класификација које се према

методолошким приступима могу поделити у три основне групе: субјективне, мешовите и објективне класификације циркулације атмосфере. Савремене тенденције се крећу у правцу потпуне објективизације класификационих процедура применом различитих статистичко-математичких метода. Такође, настоји се и успостављању што дужих временских сетова података који би омогућили праћење одлика циркулације атмосфере, а самим и тим и поузданије утврђивање њене везе са површинским климатским променљивим.

Практична примена класификационог приступа огледа се у његовој поновној активацији за потребе предвиђања времена у метеорологији, али и у другим студијама како што су праћење загађења ваздуха, анализама шумских пожара, изради атласа ветрова, као и биометеоролошким истраживањима.

У протеклим годинама објављено је неколико радова у којима се варијабилност климатских елеманата на простору Србије у другој половини XX века истражује у светлу промена одређених типова атмосферске циркулације. Могућности за истраживања на овом пољу су велике, нарочито у анализама везе између екстремних климатских догађаја и циркулације атмосфере. У том смислу потребна је и једна компаративна студија постојећих класификација како би се утврдиле предности и недостаци у истраживањима климатских одлика на овим просторима.

Литература

Barry, R. G. & Carleton, A. M. (2001). *Synoptic and dynamic climatology*. London: Taylor and Francis Group.

Cony, M., Hernández, E. & Del Teso, T. (2008). Influence of synoptic scale in the generation of extremely cold days in Europe. *Atmósfera*, 21 (4), 389-401.

Domonkos, P., Kysely, J., Piotrowicz, K., Petrović, P. & Likso, T. (2003). Variability of extreme temperature events in South-Central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. *Int. J. Climatol.*, 23, 987-1010.

Дуцић, В., Луковић, Ј. и Станојевић, Г. (2010). Циркулација атмосфере и колебање падавина у Србији у периоду 1949-2004. *Гласник српског географског друштва*, XC (2), 85-96.

Дуцић, В., Станојевић, Г. и Иконовић, В. (у штампи). Циркулација атмосфере и колебање температуре ваздуха у Србији у периоду 1949-2004. *Зборник радова Географског факултета у Београду*.

Gerstengorge, F. W. & Werner, P.C. (2005). *Katalog der Grosswetterlagen Europas Nach Paul Hess und Helmuth Brewowsky 1881-2004*. Potsdam: Potsdam-Inst. F. Klimafolgen-forschung.

Hess, P. & Brezowsky, H. (1952). *Katalog der Grosswetterlagen Europas*. Bad Kissingen: Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone 33.

Hess, P. & Brezowsky, H. (1977). *Katalog der Grosswetterlagen Europas 1881–1976, 3. verbesserte und ergänzte Aufl.* Offenbach am Main: Berichte des Deutschen Wetterdienstes 113.

Huth, R. & Canziani, P. O. (2003). Classification of hemispheric monthly mean stratospheric potential vorticity fields. *Annales Geophysicae*, 21, 805–817.

Huth, R., Beck, C., Philipp, A., Demuzere, M., Ustrnul, Z., Cahynová, M., Kyselý, J. & Tveito, O. E. (2008). Classifications of Atmospheric Circulation Patterns. Recent Advances and Applications. *Trends and Direction in Climate Research: Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1146, 105-152.

Huth, R., Ustrnul, Z., Dittmann, E., Bissolli, P., Pasqui, M. & James, P. (2006). Inventory of Circulation Classification Methods and Their Applications in Europe within the COST 733 Action. U O. E. Tveito & M. Pasqui (ed.), *Proceedings from the 5 annual meeting of the European Meteorological Society, Session AW8 – Weather types classifications*, (9-17). Utrecht: COST733.

James, P. M. (2007). An objective classification method for Hess and Brezowsky Grosswetterlagen over Europe. *Theor. Appl. Climatol.*, 88, 17-42.

Kassomenos, P., Gryparis, A., Samoli, E., Katsouyanni, K., Lykoudis, S. & Flocas, H. A. (2001). Atmospheric Circulation Types and Daily Mortality in Athens, Greece. *Environmental Health Perspectives*, 9 (6), 591-596.

Kyselý, J. (2007). Implications of enhanced persistence of atmospheric circulation for the occurrence and severity of temperature. *Int. J. Climatol.*, 27, 689-695.

Kyselý, J. & Huth, R. (2008). Relationships of surface air temperature anomalies over Europe to persistence of atmospheric circulation patterns conducive to heat waves. *Advances in Geosciences*, 14, 243-249.

Liniger, M.A. & Frei, C. (2006). Weather type classification: Approaches in Switzerland. U O. E. Tveito & M. Pasqui (ed.), *Proceedings from the 5 annual meeting of the European Meteorological Society, Session AW8 – Weather types classifications*, (55-61). Utrecht: COST733.

Радовановић, М. и Дуцић, В. (2004). Колебање температуре ваздуха у Србији у другој половини XX века. *Гласник Српског географског друштва, LXXXIV* (1), 19-29.

Sepp, M. & Jaagus, J. (2002). Frequency of circulation patterns and air temperature variations in Europe. *Boreal Environment Research*, 7, 273-279.