



## **„Decision tree“ method for a forecast of some severe weather events at Burgas airport**

**Elena Topuzova<sup>1,2\*</sup>, Nikolay Rachev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *BULATSA, Sofia Air Traffic Control Centre; Meteorological Services for the Civil Aviation, 1 Brussels blvd, 1540 Sofia, Bulgaria*

<sup>2</sup> *Sofia University, Faculty of Physics, 5 James Bourchier Blvd, 1164 Sofia, Bulgaria*

**Abstract:** We have prepared two forecast schemes based on „decision tree“ method for Burgas airport. The first one is for fogs, the second one – for winds with average speed or gusts  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  as well as blowing or drifting snow for the cold half-year. The first scheme is applied for 10 cases with and 10 without fog registered at the beginning of 2014. Ten days with strong winds with average speed or gusts  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  for the warm and 10 days for the cold half-year are examined with the second scheme. Empirical values of the average pressure gradient for Burgas are established for the second tree which are used as an initial filter. Some particular situations with and without forming of fog at the airport, as well as four situations in the cold half-year favorable for blowing or drifting snow are examined

**Keywords:** fog, blowing snow / drifting snow, strong wind with average speed or gusts  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$

---

## **Методът „decision tree“ за прогноза на някои от опасните явления на летище Бургас**

**Елена Топузова<sup>1,2\*</sup>, Николай Рачев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *ДП „РВД“, РЦ за ОВД София, ЕПЦ; бул. „Брюксел“ 1, 1540 София*

<sup>2</sup> *СУ „Св. Кл. Охридски“; Физически факултет, катедра „Метеорология и геофизика“, бул.„Джеймс Баучър“ 5, 1164 София,*

**Резюме:** За летище Бургас са изготвени две схеми за прогноза по метода „decision

---

\* elipeter780@yahoo.com

tree”. Едната е за мъгла, другата - за вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  и снежна виелица или поземка за студеното полугодие. За целта по първата схема са изследвани регистрираните от началото на 2014 г. 10 случая с и 10 без формирана мъгла, а по втората - 10 дни със силен вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  за топлото и 10 за студеното полугодие. За второто дърво са установени емпирични стойности на средния баричен градиент за Бургас, които служат за първоначален филтър. Разгледани са някои конкретни ситуации с и без образуване на мъгла на летището, а за студеното полугодие – четири обстановки благоприятстващи снежна виелица или поземка.

**Ключови думи:** мъгла, снежна виелица / поземка, силен вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$

---

## 1. УВОД

Идеята на метода „decision tree” е да се изработи схема, съставена от набор от входни параметри, която прогнозира стойността на параметъра-цел, които са най-съществени за реализирането му (Kumar, 2013; Colquhoun, 2010). Прилага се главно в авиационната метеорология. Основното му предимство е компактното представяне и елиминирането на субективността при изготвянето на прогнозата. Методът представлява процес, който метеорологът трябва да следва стъпка по стъпка, за да анализира данните и да вземе решение, за изготвянето на прогнозата. (Wheeler, 1993). Основава се на физичните процеси затова може успешно да бъде използван, както за изготвяне на прогнози, в това число и за свръхкраткосрочни такива (nowcasting), каквито са необходими за авиацията (Colquhoun, 2010; Wantuch, 2001). След внедряването на дървото в оперативната практика на унгарските авиометеоролози се установява значително подобрене на прогнозите (Wantuch, 2001).

Настоящото изследване цели да изготви и изследва две схеми, базирани на метода „decision tree” за летище Бургас. Едната от тях е за прогноза на мъгла. Другата схема е за силен вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  за топлото и студеното полугодие, както и снежна виелица или поземка на летището. Полугодията са дефинирани, по следния начин: топло - от април до септември и студено - от октомври до март. За всяко дърво са анализирани по 20 случая. За първото са изследвани регистрираните в началото на 2014 г. по 10 дни с и без мъгла на летището. За втората схема са взети по 10 дни със силен вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  за всяко полугодие. Установени са емпирични критични барични градиенти за Бургас, които служат за първоначален филтър на дървото. За студеното полугодие са разгледани четири случая със снежна виелица или поземка на летището.

## **2. ИЗПОЛЗВАНИ ДАННИ И МЕТОДОЛОГИЯ**

От началото на 2014 г. за летище Бургас са анализирани 10 дни от годината с формирана адвективно-радиационна или адвективна мъгла и 10 дни без мъгла. Регистрациите са направени по архивните данни на редовните авиометеорологични сведения METAR за Бургас на Световната организация за гражданска авиация (ICAO) (WMO, 2014). Предимството на съобщенията METAR пред другите сведения е голямата честота на излъчване - на всеки 30 минути. Те съдържат данни за приземен вятър, видимост, видимост на пистата за излитане и кацане, време в момента на наблюдението (явление), облачност, температура на въздуха и точката на оросяване, атмосферно налягане, допълнителна информация (метеорологични явления в изтекло време, срез на вятъра, състояние на пистата за излитане и кацане) и тренд – прогноза (прогноза за кацане). За случай с мъгла се счита всяка регистрация с хоризонтална видимост под 1 km, като мъглата може да бъде повсеместна, частична или на валма. От съобщенията METAR за Бургас са използвани архивните данни за температурата и точката на оросяване, също така минималната температура и тази, в момента на формиране и дисипиране на мъглата. Анализирани са някои по-специфични случаи с и без образуване на мъгла на летището.

За периода 2003-2016 г. са избрани по 10 дни за топлото и студеното полугодие със силен вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ . Случаите от 2003 до 2004 г. са идентифицирани от архивните сведения SYNOP за Бургас на НИМХ към БАН (stringmeteo, synop, bg\_stday), а от 2005 до 2016 г. от редовните сведения METAR за летището (ogimet, metars).

По първото дърво за определяне на синоптичната обстановка за формиране на мъгла, както и типа ѝ, а по второто – за силен вятър със скорост  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  за летището са анализирани синоптични карти на Европа по архивни данни от числени модели за прогноза на времето (wetter3, Archiv; wetterzentrale, topkarten). Разгледани са атмосферни реанализи (ecmwf, climate-reanalysis; meteociel, archives), архивни данни от измервания (stringmeteo, synop, bolc\_map), приземни синоптични карти (wetter3, archive\_dwd; wetter3, archive\_ukmet) и анализирани данни от сондажи на атмосферата (ready.noaa.gov). Всички изброени материали са със свободен достъп в Интернет. За всяка една от метеорологичните обстановки с и без мъгла, както и за силен вятър на летище Бургас са анализирани няколко карти. От анализа на приземното барично поле на Европа на метеорологичните служби на Германия (wetter3, archive\_dwd) и Великобритания (wetter3, archive\_ukmet) се определят баричните образувания при земята, както и свързаните с тях атмосферни фронтове. От комбинираните карти на приземното барично поле, на баричната топография на 500 hPa и на относителната топография 500-1000 hPa (wetter3, Archiv) се определят баричните образувания във височина, адвекцията на студ или топлина, на ниво 700 hPa - влажността на въздушната маса. От картите с атмосферни анализи (wetterzentrale, topkarten) и реанализи (ecmwf, climate-

reanalysis; meteociel, archives) се определя типа на въздушната маса – топла или студена и нейната стратификация – устойчива или неустойчива. Прогностичните аерологични сондажи на атмосферата на модела GFS за Бургас, модифицираме с реалните приземни температура и точка на оросяване, взети от сведението METAR за Бургас, при което са определени приземните и приповдигнатите инверсии на температурата. Също така, са взети температурата на 850 hPa и вятърът на това ниво, участващи във формулата на индекса *FOGSI* ([ready.noaa.gov](http://ready.noaa.gov)).

Базирайки се на типизацията на Годев (1976), която е валидна предимно за адвективно-радиационни мъгли, формиращи се във вътрешността на страната, но не и за района на българското черноморско крайбрежие, са направени изводи за най-често срещаните синоптичните обстановки, които благоприятстват формиране на този тип мъгла за летище Бургас. За периода 2008-2014 г. е направена типизация на мъглите за летището, като е установено е, че 5 % от тях са радиационни, 7 % - фронтални, 27 % - адвективни и с най-голям дял са адвективно-радиационните – 61 % (Топузова & Рачев, 2015). Разгледани и подробно анализирани са методите на Saunders и неговите модификации за прогноза на температурата, при която ще се образува мъглата, както и за прогноза на температурата, при която мъглата ще се разсее (Топузова & Рачев, 2016; Топузова & Рачев, 2017a). Изчислен е емпиричният индекс *FOGSI* за Бургас, като за целта са разгледани 40 случая от 2014 г. с формирана мъгла на летището. Установена е критична стойност 41, която разделя случаите с и без вероятност за образуване на мъгла (Топузова & Рачев, 2017a). С цел да бъде намален броят на „фалшивите аларми“ за *FOGSI* се поставя втора прагова стойност, която служи за филтър в началото на схемата за прогноза на мъгла. Тя се определя от максималната такава (57.5), от резултатите получени при изчисляването му за 40<sup>-те</sup> ситуации с регистрирана мъгла от 2014 г. Няма случай на формиране на мъгла на летището при  $FOGSI \geq 58$ . Споменатите методи са приложими за прогноза на радиационна или адвективно-радиационна мъгла.

В предишно изследване за периода 2003-2016 г. са идентифицирани 248 дни със силен вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  на летище Бургас. От тях 73 % са регистрирани през студеното и 27 % през топлото полугодие, като за всяко от тях са определени по 6 типични синоптични обстановки, благоприятстващи такъв вятър. В схемата „decision tree“ за прогноза на силен вятър са включени само първите три от тях, защото за всяко полугодие те обхващат около 78 % от случаите (Топузова & Рачев, 2017b). За същия период, през студеното полугодие са установени и 24 дни (13.3 %) със снежна виелица или поземка на летището. Те са включени в дървото, защото създават неблагоприятни условия на пистата за излитане и кацане – лош спиращ ефект, понякога закритие на летището, поради невъзможност от снегочистване, а 33 % от тях са съпроводени с намаляване на хоризонталната видимост от 500 до 1000 m. От същото изследване (Топузова & Рачев, 2017b) е установено, че типична синоптична обстановка за летище Бургас, при която условията са подходящи за снежна виелица или поземка е при

комбинирано влияние на периферия на антициклон от север – североизток (или баричен гребен от север – североизток) и тил на средиземноморски циклон, с центърна югоизток от България, изтеглящ се на североизток над Черно море или стационаращ над морето.

### **3. СХЕМА ПО МЕТОДА “DECISION TREE” ЗА ПРОГНОЗА НА МЪГЛА НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС**

На Фиг. 1 е представена схема по метода „decision tree” за прогноза на мъгла на летище Бургас, съставена от 18 стъпки. Първата от тях е изчисляване на емпиричния индекс  $FOGSI$  за летището, който е допълнително средство за изготвяне на прогноза за мъгла със стойности от прогностичния сондаж на модела на GFS от 12 UTC. Ако  $FOGSI < 58$  - преминаваме към стъпка 2), в противен случай се излиза от дървото. Извършваме приземен анализ на синоптичната обстановка. Проверяваме дали има добре изразен антициклон в близост до територията на България. Ако е „НЕ“ излизаме от дървото. При отговор „ДА“ - преминаваме към третата стъпка – проверяваме за добре изразени атмосферни фронтове на север от страната ни. При отрицателен отговор, при преминаване на бавноподвижна фронтална система през Югоизточна България, която е съпроводена с валежи - има условия за образуване на фронтална мъгла 5). При положителен отговор от стъпка 3) възможностите са три: стъпка 6) приземното барично поле е слабоградиентно от антициклонален или циклонален тип; стъпка 7) страната ни попада в югозападната част на антициклон с център на североизток от България и стъпка 8) топъл сектор на циклон, чийто център е разположен над Северна Европа. При втората и третата ситуации (стъпки 7) и 8)), при положителен отговор, продължаваме да се движим по дървото, следвайки схемата от 14) до 18). При отрицателен отговор и на трите ситуации дървото ни отвежда на последната стъпка - няма условия за формиране на мъгла. В първата от трите ситуации (стъпка 6)), ако отговорът е „ДА“, при прогнозиран през деня вятър, ориентиран от изток/югоизток, през студентите месеци имаме налична адвекция на топъл и влажен въздух от акваторията на Черно море. Ако това условие е изпълнено, разглеждаме очаквания вятър след полунощ – стъпка 11). Ако го прогнозираме да бъде слаб със скорост  $2-3 \text{ m s}^{-1}$ , ориентиран от югозапад в съчетание с нощното радиационно охлаждане, то има благоприятни условия за формиране на адвективно-радиационна мъгла. Ако след стъпка 11) получим отговор „НЕ“ и прогнозираме вятър, ориентиран от североизток или изток със скорост  $3-5 \text{ m s}^{-1}$  12), тогава съществуват условия за образуване на адвективна мъгла. Като помощно средство за прогноза на адвективна мъгла използваме сателитните изображения, а за адвективно-радиационна мъгла прилагаме метода на Saunders за прогноза на температурата, при която ще се формира мъгла ( $T_f$ ). За целта, модифицираме прогностичния сондаж на глобалния модел на GFS от

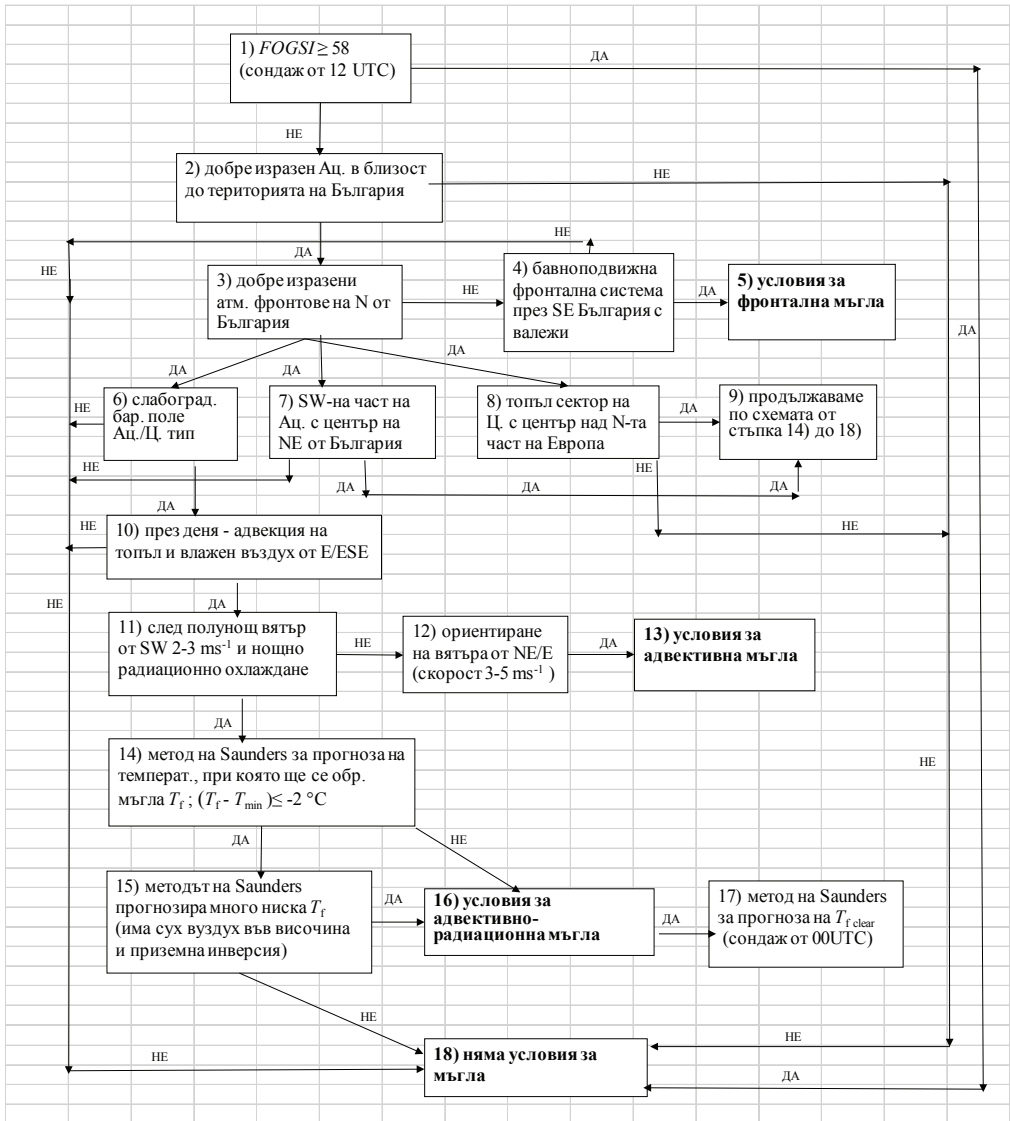
12 UTC с приземните температура и точка на оросяване от редовното сведение METAR за Бургас. Ако получената разлика между  $T_f$  и минималната температура ( $T_{\min}$ ), взета от редовните авиометеорологични сведения за Бургас, е по-голяма от  $-2\text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_f - T_{\min} > -2\text{ }^\circ\text{C}$ ) се приема, че има условия за формиране на адвективно-радиационна мъгла. При ( $T_f - T_{\min}$ )  $\leq -2\text{ }^\circ\text{C}$  допълнително се проверява дали съществува приземна инверсия на температурата и слой със сух въздух над нея – условия при които методът на Saunders прогнозира нереално ниска  $T_f$  (Топузова & Рачев, 2016). Ако отговорът на стъпка 15) е „НЕ“, тогава няма условия за формиране на адвективно-радиационна мъгла. При прогнозирана адвективно-радиационна мъгла (достигане до стъпка 16), следва да се приложи методът на Saunders за прогноза на температурата, при която мъглата ще се разсее  $T_{f\text{ clear}}$  (стъпка 17). За целта е необходимо да се използва прогностичния сондаж на GFS за Бургас от 00 UTC, като отново се модифицират приземните температура и точка на оросяване от аерологичната диаграма с реалните, взети от сведението METAR за Бургас (Топузова & Рачев, 2017a).

В случаите, при които мъглата е с доминираща адвективна компонента, методът на Saunders и индексът *FOGSI* не са приложими. При прогноза на адвективни мъгли трябва да се използват други методи, като най-често се прилага синоптичният метод, проследяване на различни спътникови изображения и числени модели за прогноза на времето (Holtslag, 2010; Wantuch, 2001).

При изготвяне на бъдещите прогнози за мъгла на летище Бургас по метода „decision tree“, прогнозираната минимална температура, както и температурата, и точката на оросяване ще се взимат от локалния числен модел на ALADIN, разработван от колектив в НИМХ на БАН.

Нека направим съпоставка на описаната до тук схема за прогноза на мъгла за летище Бургас с вече утвърдената и прилагаща се такава от унгарските авиометеоролози. Дървото за прогноза на мъгла, разработено за летището в Будапеща (Wantuch, 2001), се различава от това за Бургас. Унгарците разглеждат въздуха от приземния слой до 925 hPa - дали е сух, средно или много влажен, дали вятърът е слаб или по-силен и дали има радиационно охлаждане. Използват индекса *FOGSI*, като предварителен филтър със съответната прагова стойност за Будапеща. Според тях, на летището има условия за мъгла, ако има наличие на влажен въздух в слоя от земната повърхност до 925 hPa в комбинация с нощното радиационно охлаждане. Схемата за прогноза на мъгла за летище Бургас (Фиг.1) е съставена много по-обстойно. Емпиричният индекс *FOGSI* се прилага само в началния й стадий, за да се филтрират случаите без мъгла. Унгарците проверяват състоянието на приземния въздух, докато в нашия случай се прилага методът на Saunders и неговите модификации, при които с разработването им върху аерологичната диаграма се получава точен критерий за температурата, при която ще се формира мъгла ( $(T_f - T_{\min}) > -2\text{ }^\circ\text{C}$ ). От съществено значение за летище Бургас е непосредствената му близост до голям воден басейн, какъвто е Черно море и по-

малките водоеми - Бургаските езера. Затова са установени типични синоптични обстановки, които благоприятстват формирането на мъгла.

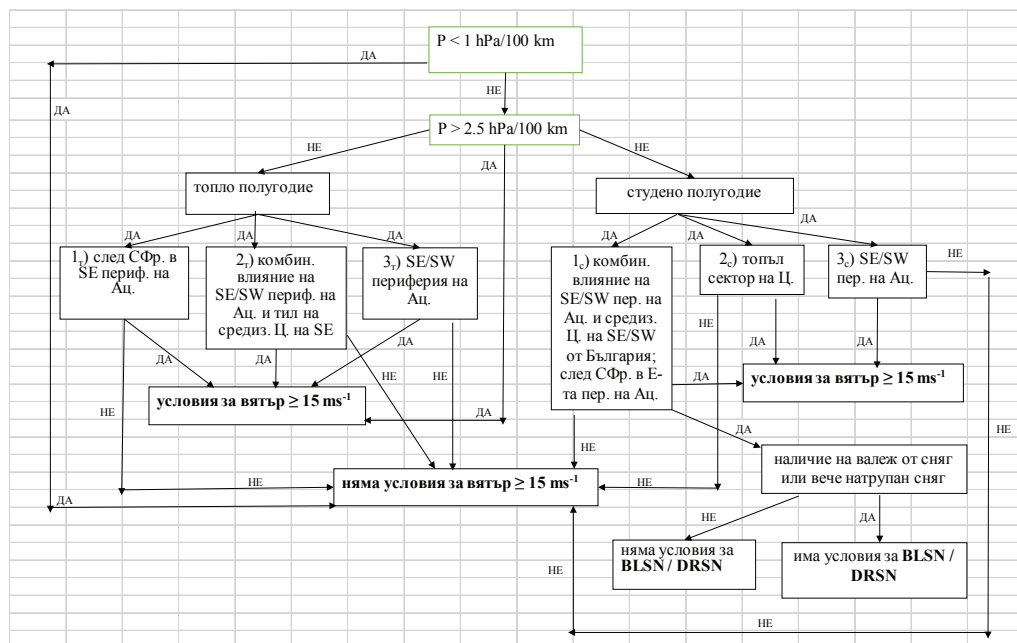


Фиг. 1. Схема по метода “decision tree” за прогноза на мъгла на летище Бургас.

Fig. 1. Scheme of „decision tree“ method for a forecast of fogs at Burgas airport.

#### 4. СХЕМА ПО МЕТОДА “DECISION TREE” ЗА ПРОГНОЗА НА ВЯТЪР СЪС СРЕДНА СКОРОСТ ИЛИ ПОРИВИ $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ И СНЕЖНА ВИЕЛИЦА ИЛИ ПОЗЕМКА НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС

На Фиг. 2 е представена схема по метода „decision tree” за прогноза на вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ , а за студеното полугодие и за снежна виелица или поземка на летището.



**Фиг. 2** Схема по метода “decision tree” за прогноза на вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ , а за студеното полугодие и снежна виелица или поземка на летище Бургас.

**Fig. 2** Scheme of „decision tree“ method for a forecast of winds with average speed or gusts  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ , for cold half - year as well as blowing snow or drifting snow at Burgas airport.

В изследване на Годев (1976) е установено, че при среден баричен градиент 2 - 3 hPa на 100 km, обикновено вятърът има скорост 12 - 15  $\text{m s}^{-1}$ , като в зависимост от влиянието на орографията, на места е по-силен или по-слаб. Използвайки този резултат, в началото на дървото за прогноза на силен вятър (Фиг. 2) поставяме два емпирични филтъра за абсолютната стойност на средния баричен градиент за Бургас (P). За получаването им е анализиран седемгодишен период от 2010 до 2016 г., за който са разгледани 10243 данни за средна скорост и пориви на вятъра през 6 часа в основните синоптични срокове 00, 06, 12 и 18 UTC за Бургас ([stringmeteo.com/synop/bg\\_stday](http://stringmeteo.com/synop/bg_stday)). За същия период през 6 часа са ползвани



данните от атмосферните реанализи на ERA Interim и ECMWF, необходими за пресмятане на абсолютната стойност на средния баричен градиент, осреднен за площ с размери 230x240 km, в центъра на която се намира Бургас. За всички 10243 регистрации е изчислен средният баричен градиент, като получените стойности са разделени на такива с вятър със средна скорост над  $15 \text{ m s}^{-1}$ , с пориви над  $15 \text{ m s}^{-1}$  и с по-слаб вятър. След направените изчисления се стига до заключението, че при  $P < 1 \text{ hPa}/100 \text{ km}$  няма условия за вятър със средна скорост или пориви над  $15 \text{ m s}^{-1}$ . При  $P > 2.5 \text{ hPa}/100 \text{ km}$  – има условия за споменатия вятър и при стойности в интервала от 1 до 2.5, в зависимост от полугодieto, след извършен детайлен анализ на приземното барично поле, фокусът ни се насочва върху типичните синоптични обстановки за България, при които има условия за вятър със средна скорост или пориви над  $15 \text{ m s}^{-1}$  (Топузова & Рачев, 2017b). Изследвана е грешката на средния баричен градиент, представена в таблица 1. В Таблица 1а за периода 2010 – 2016 г. са случаите (и в %), при които стойността на средния баричен градиент  $P < 1 \text{ hPa}$  на 100 km, но въпреки това има регистриран вятър със средна скорост (във втората колонка) и пориви (в третата колонка)  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ . В Таблица 1б за същия период са случаите (и в %), при които  $P > 2.5 \text{ hPa}$  на 100 km, но вятърът е със средна скорост  $< 15 \text{ m s}^{-1}$ .

Продължаваме по схемата, като за всяко от полугодията се тръгва по клона на дървото. За топлите месеци, трите най-чести обстановки за летището, при които се прогнозира вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ , е 1,) след преминал студен атмосферен фронт в югоизточна/източна периферия на антициклон; след преминаване на циклон и свързаният с него студен атмосферен фронт. Втората типична ситуация за Бургас е 2,) при комбинирано влияние на югоизточна/югозападна периферия на антициклон и тил на средиземноморски циклон, с център на югоизток от страната. Третата обстановка е 3,) при югоизточна/югозападна периферия на антициклон. За студеното полугодие, трите типични синоптични обстановки за летището, при които се очаква вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  е 1,) при комбинирано влияние на югоизточна/югозападна периферия на антициклон и средиземноморски циклон, с център на югоизток/югозапад от страната; след преминал студен атмосферен фронт в източната периферия на антициклон. Втората типична ситуация е 2,) в топъл сектор на циклон, а третата 3,) в югоизточна/югозападна периферия на антициклон (Топузова & Рачев, 2017b). Когато през студеното полугодие на земната повърхност има натрупан пухкав сняг или се прогнозира силният вятър да бъде съпроводен със снеговалеж при синоптична обстановка - комбинирано влияние на антициклон с център на север-североизток от България и средиземноморски циклон, с център на югоизток, тогава очакваме снежна виелица или поземка. Обикновено тези явления са съпроводени с ниска хоризонталната видимост. Прогнозира се едното или другото явление в зависимост от това, до каква височина над земната повърхност вятърът издига

снежинките, като на височина  $\geq 2$  m – се прогнозира високоносеща се снежна виелица, ако е  $< 2$  m – нисконосеща се поземка.

**Таблица 1.** Регистрираните за периода 2010 – 2016 г. брой случаи (и в %) с грешка при стойността на средния баричен градиент P, като: а) – случаите, при които  $P < 1$  hPa на 100 km, но е имало вятър със скорост и пориви  $\geq 15$  m s<sup>-1</sup> и б)  $P > 2.5$  hPa на 100 km, но вятърът е бил със средна скорост  $< 15$  m s<sup>-1</sup>.

**Table 1.** Registered for the period 2010 – 2016 a number of cases (in % too) with a mistake in the value of the average pressure gradient P, as: a) – the cases where  $P < 1$  hPa at 100 km but there was registered winds with speed and gusts  $\geq 15$  m s<sup>-1</sup> b)  $P > 2.5$  hPa at 100 km but the winds was with an average speed  $< 15$  m s<sup>-1</sup>.

<b>а)</b>	ск. на вятъра $\geq$ 15 m s <sup>-1</sup>	пориви на вятъра $\geq$ 15 m s <sup>-1</sup>
бр. сл. 2010-2016 г.	196	934
от тях бр. сл. с $P < 1$	3	118
% бр. сл. с $P < 1$	1.5	12.6
<b>б)</b>	ск. на вятъра $< 15$ m s <sup>-1</sup>	
бр. сл. 2010-2016 г.	9293	
от тях бр. сл. с $P > 2.5$	432	
% бр. сл. с $P > 2.5$	4.6	

## 5. РЕЗУЛТАТИ

### 5.1. Резултати от метода „decision tree” за прогноза на мъгла на летище Бургас

В Таблица 2 са представени първите 10 дни от 2014 г. с регистрации на мъгла на летище Бургас. Във втората колонка от нея са получените резултати от абсолютната стойност на разликата между прогнозираната по метода на Saunders ( $T_f$ ) и измерената от сведението METAR за Бургас температура на формиране на мъглата ( $T_{fog}$ ). В третата колонка е изчислената абсолютна стойност на разликата между прогнозираната по метода на Saunders ( $T_{fog\ clear}$ ) и реалната от сведението METAR температура ( $T_{clear}$ ), при която мъглата дисипира. В четвъртата колонка е изчислен индексът *FOGSI*. В предпоследната колонка е определен типът на мъглата, а в последната – типът на синоптичната обстановка за България.

От таблицата е видно, че за 90 % от ситуациите методът на Saunders за прогноза на температурата, при която ще се образува мъгла дава много добри резултати. Само за един случай (06.01.2014 г.), разликата между  $|T_f - T_{fog}| > 2$  °C.

За прогнозиране на температурата, при която мъглата ще се разсее, по метода на Saunders се получава 100 % успеваемост ( $|T_{\text{fog clear}} - T_{\text{clear}}| \leq 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Индексът *FOGSI* успешно прогнозира мъгла на летището ( $\text{FOGSI} < 41$ ) при 60 % от случаите и при 40 % от тях греша - стойността му е  $> 41$  (критичната стойност на индекса за Бургас). За прегледност, стойностите получени по метода на Saunders и индекса *FOGSI*, според които няма условия за образуване на мъгла, са с удебелен шрифт.

От 10<sup>-те</sup> случая с мъгла (Таблица 2), проверени по схемата на метода “decision tree” за прогноза на мъгла, всеки един от тях, според типа на синоптичната обстановка, отговаря на условията за формиране на мъгла. На 06.01., 14.01., 07.02. и 07.03 приземното барично поле благоприятства образуване на мъгла (югозападна периферия на антициклон). Само в първия случай методът на Saunders не дава успешна прогноза за температурата, при която ще се формира мъгла, също и изчислената стойност за индекса *FOGSI* е по-голяма от критичната за формиране на мъгла за Бургас. Въпреки това, на летището има регистрирана мъгла. Най-вероятно причината за това несъответствие е типът на мъглата – добре изразена адвективна. При другите три ситуации и двата метода дават подходящи условия за мъгла.

На 08.01., 19.01., 14.02., 19.02. и 28.02 типът на приземното барично поле (слабоградиентно) също благоприятства образуването на мъгла. С изключение на втората дата ориентацията на вятъра, както през деня, така и през нощта допринасят за образуването на мъгла. Без първия и четвъртия случай *FOGSI* греша ( $\text{FOGSI} > 41$ ). С поставянето на втората прагова стойност на индекса още в началото на дървото ( $\text{FOGSI} \geq 58$ ) се анализират всички ситуации с регистрирана мъгла. Така и трите случая от Таблица 2, при които  $\text{FOGSI} > 41$  и не прогнозира вероятност за мъгла, се разглеждат по-нататък по дървото.

Ще анализираме ситуацията на 19.01.2014 г., при която типът на синоптичната обстановка благоприятства образуване на мъгла, но след стъпка 10) се излиза от дървото. На сателитното изображение от TERRA MODIS от 19.01.2014 г., с фокус върху България, с разделителна способност 500 m, добре се вижда образувалата се адвективно-радиационна мъгла в района на Бургас, в голяма част от Горнотракийската низина на изток от Пловдив, както и по поречието на Марица и Тунджа (NASA Earth Data). В Пловдив през цялото денонощие от 18.01 до 19.01 (10 UTC) е имало мъгла, която след около 02 UTC на 19.01 преминава в облещваща. Мъглата се пренася от запад на изток – директно със студен въздух от поречието на река Тунджа над Бургас. От редовните сведения METAR за Бургас разглеждаме вятъра през деня, който е бил ориентиран от W със скорост 4-6 m s<sup>-1</sup>. След 15:30 UTC се преориентира от WSW до SW със скорост 2-4 m s<sup>-1</sup>, температурата на въздуха е 11 °C. От 00 до 03 UTC температурата на летището се понижава от 7 °C до 4 °C, като в 03 UTC е регистрирана адвективно-радиационна мъгла с ниска плътна слоеста облачност с долна граница от 30 до 60 m.

**Таблица 2.** Последователни дати от 2014 г. с регистрирана мъгла на летище Бургас, за които са приложени методите на Saunders за прогнозиране на температурата, при която ще се образува мъгла, температурата, при която мъглата ще дисипира и изчисляване на индекса *FOGSI*.

**Table 2.** Contiguous dates from 2014 with registered fogs at Burgas airport, for them is used Saunders' forecasting method of the fog formation temperature, fog dissipation temperature as well as calculation of the *FOGSI* index.

дати с мъгла 2014 г.	Saunders $ T_f - T_{fog} $ [°C]	Saunders $ T_{fog\ clear} - T_{clear} $ [°C]	<i>FOGSI</i> < 41	тип на мъглата	тип на синопт. обст. за България
06.01	<b>3</b>	1	<b>50.5</b>	адв.	SW част на Ац.
08.01	1	2	22.9	адв.	слабоград. бар. поле
09.01	2	1	22.5	адв.- рад.	слабоград. бар. поле
14.01	2	2	30.9	адв.- рад.	SW част на Ац
19.01	2	1	<b>43.9</b>	адв.- рад.	слабоград. бар. поле
07.02	0	2	22.2	адв.- рад.	SW част на Ац
14.02	1	0	<b>56.6</b>	адв.- рад.	слабоград. бар. поле
19.02	1	1	40.9	адв.	слабоград. бар. поле
28.02	0	2	<b>43.2</b>	адв.- рад.	слабоград. бар. поле
07.03	0	2	39.9	адв.	SW част на Ац.

В Таблица 3 са представени 10 случая за летище Бургас от 2014 г., при които няма регистрирана мъгла. За прегледност стойностите получени по метода на Saunders и индекса *FOGSI* (*FOGSI* < 41), според които има условия за образуване на мъгла, са с удебелен шрифт.

От Таблица 3 се стига до заключение, че при проверка на метода на Saunders за прогноза на температурата, при която ще се образува мъгла за 10 дни от 2014 г. за „фалшиви аларми“, при 90 % от случаите прогнозата е успешна. Само при 10 % от тях (ситуацията от 03.01.2014 г.), методът дава грешна стойност – вероятност за формиране на мъгла.

„Фалшивите аларми“ за *FOGSI* за 10<sup>те</sup> регистрации без мъгла от същата година показват, че при 60 % индексът грешни - прогнозира вероятност за мъгла (*FOGSI* < 41). Само за 40 % от случаите, за *FOGSI* се получава стойност  $\geq 41$ , при която не се очаква мъгла. На 03.01.2014 г. и по двата метода има условия за формиране на мъгла, но реално такава не се образува. С поставянето на втората прагова стойност на индекса в началото на схемата (*FOGSI*  $\geq 58$ ) два случая от разглежданите 10 без мъгла веднага отпадат още в началото на дървото (11.01 и 13.01).

За 10<sup>те</sup> случая без мъгла на летището от Таблица 3, преминаваме по схемата на метода “decision tree” за прогноза на мъгла на летище Бургас (Фиг.1). Според типа на синоптичната обстановка при четири от тях, България попада в SW –

на периферия на антициклон. След стъпка 14), при тези случаи изходът е „ДА“, но след стъпка 15) - няма условия за мъгла. Два от случаите са след преминал атлантически циклон и свързаният с него студен атмосферен фронт. При тях след стъпка 4) преминаваме на 18) – няма условия за мъгла. При случая от 23.01. синоптичната обстановка е циклонално барично поле - фронтална система, разположена на север от страната. След стъпка 4) се получава, че няма условия за образуване на мъгла.

**Таблица 3.** Дати без мъгла на летище Бургас през 2014 г., за които методът на Saunders за прогноза на температурата, при която ще се образува мъгла и индексът *FOGSI* са проверени за така наречените „фалшиви аларми“.

**Table 3.** Dates without fogs at Burgas airport during 2014, which are checked for „false alarms“ by using the Saunders’ method for a forecast of the temperature for formation of fog as well as the *FOGSI* index.

дати без мъгла 2014 г.	Saunders (False alarms) $T_{f(f)} - T_{\min} \leq -2 \text{ } ^\circ\text{C}$	<i>FOGSI</i> (False alarms)	тип на синопт. обс. за България (00 UTC)
01.01	-4	<b>18.1</b>	SW пер. на Ац.
02.01	-2	<b>22.2</b>	SW част на Ац.
03.01	<b>-1</b>	<b>22.1</b>	слабоград. бар. поле от Ац. тип
04.01	-2	<b>24.1</b>	SW част на Ац.
11.01	-8	60.7	след преминал СФр. на атл. Ц.
12.01	-7	51.8	слабоград. бар. поле от Ац. тип
13.01	-3	62	след преминал СФр. на атл. Ц.
23.01	-3.5	43.6	цикл. бар. поле-фронт. система на N от страната
30.01	-2	<b>19.9</b>	комбин. влиян. на баричен гребен. от NNE и Ц. на E
04.02	-3	<b>30.4</b>	SW пер. на Ац.

На 03.01. и 12.01.2014 г. България попада в слабоградиентно барично поле от антициклонален тип. В първия случай в следобедните часове макар и за кратко от 14:30 до 15:30 UTC вятърът се ориентира от SE със скорост  $1-2 \text{ m s}^{-1}$ , облачността е плътна слоестокупеста с долна граница 600 m. След полунощ вятърът се преориентира от SW, като остава слаб със скорост около  $2 \text{ m s}^{-1}$ , видимостта варира между 6 и 8 km, а долната граница на облачността се снижава до около 450 m. Продължавайки по стъпките на дървото и по двата метода получаваме, че има условия за адвективно-радиационна мъгла. Най-вероятно причината, поради която мъглата не се е формирала, е наличието на плътната ниска слоеста облачност, която се задържа през цялото денонощие. Във втория случай (12.01.2014 г.) след 15 UTC вятърът на летището се ориентира от SE до NE със скорост 3 до  $5 \text{ m s}^{-1}$ , а

след 22 UTC се преориентира от SW със скорост 2-3 m s<sup>-1</sup> – условия, подходящи за мъгла. Но след стъпки 14) и 15), изходът от дървото е, че няма условия за мъгла. В последния разглеждан случай (30.01.2014 г.) още от стъпка 2) излизаме от дървото. Причината за това е типът на синоптичната обстановка - комбинирано влияние на баричен гребен от север-североизток и циклон, с център на изток от страната.

## **5.2. Резултати от метода „ decision tree” за прогноза на вятър със средна скорост или пориви $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ и снежна виелица или поземка на летище Бургас**

От сведенията METAR за летище Бургас за топлото и студеното полугодие са избрани по 10 дни с регистриран силен вятър със средна скорост или с пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ , като за всеки от тях е изчислена абсолютната стойност на средния баричен градиент (Таблица 4). Регистрациите са подредени таблично по типа на първите три най-често срещани синоптични обстановки за България, обозначени съответно с индексите „<sub>T</sub>“ – за топлото и „<sub>C</sub>“ – за студеното полугодие. За студените месеци за всички случаи, а за топлите – за един от тях се получава стойност за баричния градиент  $> 2.5 \text{ hPa}$  на 100 km, при което изходът от схемата е за налични условия за вятър със средна скорост или пориви  $> 15 \text{ ms}^{-1}$ . За 9 от 10-те дни за топлото полугодие се получава стойност  $1 < P < 2.5$ , при което се разглеждат синоптичните обстановки за югоизточната част от страната.

За първите четири случая от студеното полугодие (Таблица 4), според дървото, има налични условия и за снежна виелица или поземка на летището. Ще разгледаме по-подробно тези четири обстановки.

На 03.02.2005 г. времето в България се обуславя от комбинирано влияние на средиземноморски циклон, разположен на юг от страната, и свързаният с него топъл атмосферен фронт, а на североизток - обширен антициклон с център над Европейска Русия. Първият слаб снеговалеж на летището е регистриран още на 02.02. в 19:30 UTC, който на 03.02. в ранните сутрешни часове преминава в умерен. Няколко часа по-късно с усилването на северния вятър в 05:00 UTC и след това през целия ден, има налична снежна виелица, която за кратко преминава в поземка. На 04.02. в 06:00 UTC настъпва промяна в синоптичната обстановка - средиземноморският циклон оклюдира над Черно море. Отново са регистрирани снежна виелица и поземка.

На 26.02.2011 г. в 00 UTC синоптичната обстановка над страната е сходна с тази от 03 и 04.02.2005 г. - комбинирано влияние на оклюдиращ средиземноморски циклон, чийто център е на югоизток от България и обширен антициклон с център над Европейска Русия (баричен гребен от NNE). В 04:00 UTC на 26.02 започва слаб снеговалеж на летището, като в 09:00 UTC с усилването на северния вятър, е налична първата регистрация на снежна виелица.

**Таблица 4.** 20 дни със силен вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  за топлото и студеното полугодие за летище Бургас. Типът на синоптичната обстановка от 1 до 3 съответства на първите три най-чести ситуации за България, подредени по реда, който е представен в схемата на дървото (Фиг. 2).

„т“ – топло полугодие, „с“ – студено полугодие.

**Table 4.** 20 days with severe winds with average speed or gusts  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$  for warm and cold half – year at Burgas airport. The type of synoptical situation from 1 to 3 correspond to the first of tree the most frequent situations for Bulgaria, orderly as it is presented in the scheme of the tree (Fig. 2).

„т“ – warm half - year, „с“ – cold half - year.

ТОПЛО ПОЛУГОДИЕ			СТУДЕНО ПОЛУГОДИЕ		
дата	тип на синопт. обст. за България	P (hPa на 100 km)	дата	тип на синопт. обст. за България	P (hPa на 100 km)
08.08.05 г.	1 <sub>т</sub>	1.1	03.02.05 г.	1 <sub>с</sub>	3.3
18.04.05 г.	1 <sub>т</sub>	1.2	04.02.05 г.	1 <sub>с</sub>	3.1
30.08.06 г.	1 <sub>т</sub>	1.5	26.02.11 г.	1 <sub>с</sub>	3.5
01.08.07 г.	1 <sub>т</sub>	1.5	20.12.12 г.	1 <sub>с</sub>	4.7
01.08.15 г.	1 <sub>т</sub>	1.7	09.11.10 г.	2 <sub>с</sub>	3.8
27.04.08 г.	2 <sub>т</sub>	1.1	29.11.10 г.	2 <sub>с</sub>	3
08.09.09 г.	2 <sub>т</sub>	1.1	28.10.12 г.	2 <sub>с</sub>	3
01.04.05 г.	2 <sub>т</sub>	1.1	29.11.12 г.	2 <sub>с</sub>	3.1
15.04.04 г.	3 <sub>т</sub>	1.1	30.01.12 г.	3 <sub>с</sub>	3.6
30.09.15 г.	3 <sub>т</sub>	2.8	12.02.15 г.	3 <sub>с</sub>	3.4

На 20.12.2012 г. в 00 UTC синоптичната обстановка се повтаря, като тази от предходните три дати – комбинирано влияние на тил на средиземноморски циклон, с център на югоизток от България и обширен антициклон разположен на североизток, с център над Европейска Русия. След слаб до умерен снеговалеж на летището, на 20.12. в 02:30 UTC е направена първата регистрация на снежна виелица, която за кратко преминава в поземка, продължава до 15:00 UTC.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направения анализ на 20-те случая с и без регистрирана мъгла на летище Бургас през 2014 г. се стига до заключението, че методът „decision tree“ може да бъде успешно приложен за прогноза на мъглите на летището. Разгледани са специфични синоптични обстановки с формирана мъгла, за които следвайки стъпките на дървото се получава, че няма условия за формирането ѝ. След поставяне на втори

филтър за индекса *FOGSI* още в началото на схемата (стойност  $\geq 58$ ), се избягва високият процент „фалшиви аларми“.

Втората схема за прогноза на силен вятър със средна скорост или пориви  $\geq 15 \text{ m s}^{-1}$ , както за снежна виелица или поземка през студеното полугодие за летището, е също надеждна. За разгледаните 20 ситуации за България изходът от дървото дава 100 % успеваемост.

Ефикасността на създадените схеми ще бъде силно зависима от данните, които ще се ползват от локалния числен модел на ALADIN.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящото изследване е осъществено с подкрепата на проект BG051 PO001-3.306-0057 „Изграждане на съвременна образователна и научно-изследователска среда за развитието на докторанти, постдокторанти и млади учени във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“.

## ЛИТЕРАТУРА

- Colquhoun J, “Forecast techniques: A decision tree method of forecasting thunderstorms, severe thunderstorms and tornadoes”, Bureau of meteorology, Darlinghurst, 2010, Australia
- Holtstag, G. J. Steeneveld, A. A. M. Holtstag, Fog forecasting: “old fashioned” semi-empirical methods from radio sounding observations versus “modern” numerical models, 2010
- Kumar R., Asst. Prof., Dept. of ECS, Dronacharya College of Engineering, Gurgaon, India: “Decision Tree for the Weather Forecasting”; International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 76– No.2, August 2013
- Wantuch F., Visibility and fog forecasting based on decision tree method, January 2001, 2, 3, 1-15; [https://www.researchgate.net/.../228420283\\_Visibility\\_and\\_fog](https://www.researchgate.net/.../228420283_Visibility_and_fog).
- Wheeler M., Primary Author, Michael K. Atchison, Robin Schumann, Greg E. Taylor, John D. Warburton, Ann Yersavich: „Analysis of rapidly developing fog at the Kennedy Space Center 1986 – 1990“; Final Report; NASA, Kennedy Space Center, Under Contract NAS10-11844; 29 October 1993.
- WMO, Manual on Codes - International Codes, Volume I.1, 2014, 306.
- Годев Н., Синоптическа метеорология, Наука и изкуство, София, 1976.
- Топузова Ел., Н. Рачев: „Мъгли над летище Бургас през периода 2008-2014 г.“, Ann. de l’Univ. “St. Kl. Ohridski”, 2015, 108, 115-132.
- Топузова Ел., Н. Рачев: „Метод за прогноза на радиационни мъгли над летище Бургас Ann. de l’Univ. “St. Kl. Ohridski”, 2016, 109, 80-92.
- Топузова Ел., Н. Рачев: „Прогноза на мъгли над летище Бургас“, Ann. de l’Univ. “St. Kl. Ohridski”, 2017a, 110.
- Топузова Ел., Н. Рачев2: „Синоптически обстановки, водещи до създаването на опасни за авиацията условия на летище Бургас“, Ann. de l’Univ. “St. Kl. Ohridski”, 2017b, 110.
- [www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim](http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim).



[www.meteociel.fr/modeles/archives.php](http://www.meteociel.fr/modeles/archives.php).

NASA Earth Data: [https://lance.modaps.eosdis.nasa.gov/imagery/subsets/?project=&subset=Europe\\_3\\_03](https://lance.modaps.eosdis.nasa.gov/imagery/subsets/?project=&subset=Europe_3_03)

[www.ogimet.com/metars.phtml.en](http://www.ogimet.com/metars.phtml.en).

[www.ready.noaa.gov/READYamet.php](http://www.ready.noaa.gov/READYamet.php).

[www.stringmeteo.com/synop/bolc\\_map.php](http://www.stringmeteo.com/synop/bolc_map.php).

[www.stringmeteo.com/synop/bg\\_stday.php](http://www.stringmeteo.com/synop/bg_stday.php).

[www.wetter3.de/Archiv](http://www.wetter3.de/Archiv).

[www.wetter3.de/Archiv/archiv\\_ukmet.html](http://www.wetter3.de/Archiv/archiv_ukmet.html).

[www2.wetter3.de/Archiv/archiv\\_dwd.html](http://www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html).