



INNOAIR
SOFIA MUNICIPALITY



Система за ранно предупреждение за възникване на замърсяване от фини прахови частици за района на София

Хр. Брънзов, Д. Сираков, В. Николов, Н. Нейков, Пл. Нейчев,
Хр. Гълъбова, Н. Нейкова, М. Проданова

Национален Институт по Метеорология и Хидрология

Моделиране на атмосферното замърсяване, 24.09.2021 г., гр. София



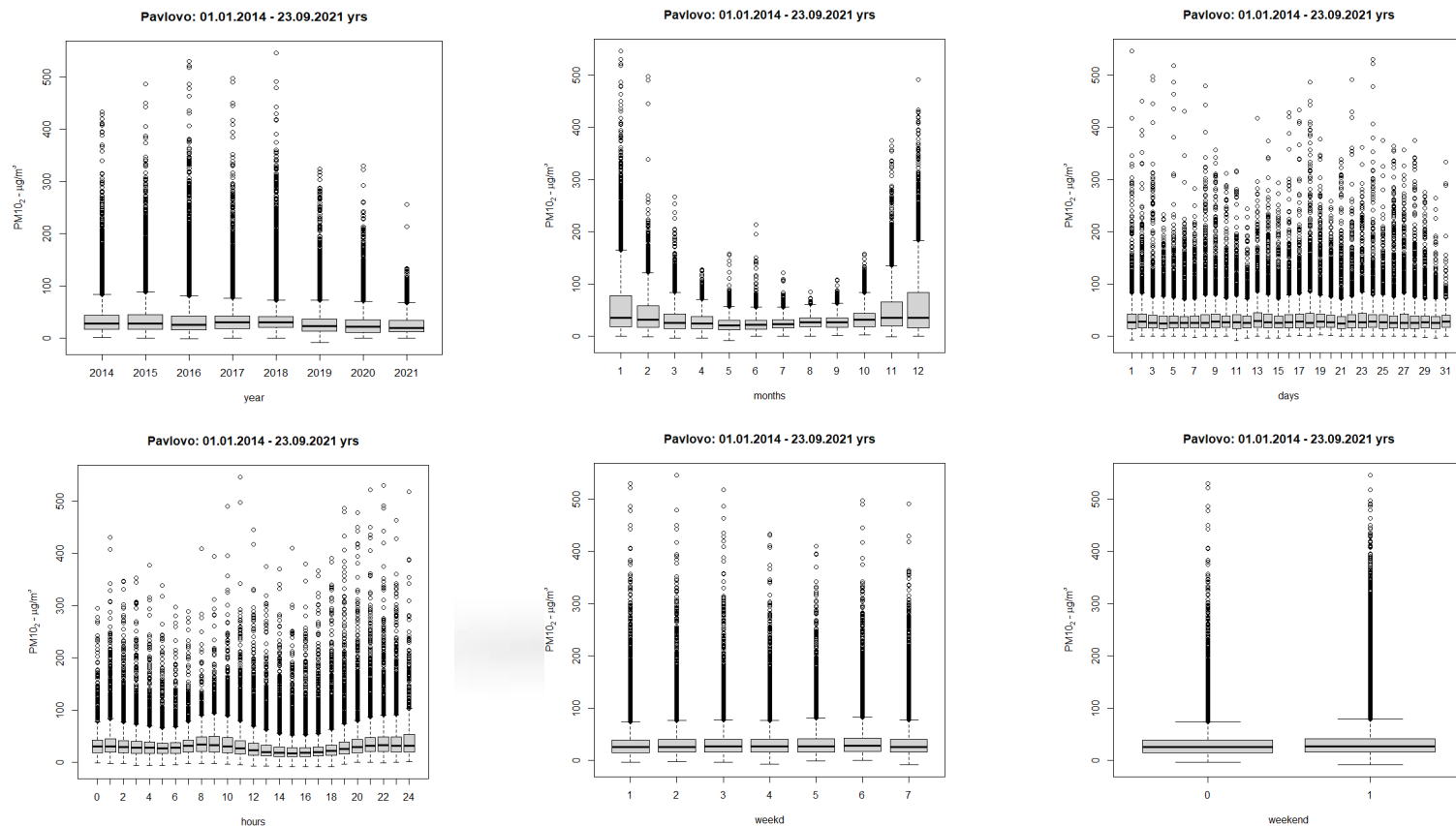
Проектът е възложен на НИМХ от Софийска община с договор № СОА 17-ДГ55-53 от 15.02.2017 г.

- **Целта е да бъде създадена система за ранно предупреждение (СРП) за очаквано замърсяване с фини прахови частици (ФПЧ₁₀) за района на общината, в които са разположени автоматични измерителни станции на замърсяването: ж.к. Дружба, ж.к. Надежда, кв. Хиподрума, кв. Павлово, м. Копитото.**
- **При очаквано замърсяване над пределно допустимата концентрация (ПДК) от 50 µg/m³, градските власти да могат предварително да предприемат превантивни мерки.**



- За постигането на тази цел е необходимо да бъде създаден стохастичен модел за района на гр. София, определящ връзката между състоянието на атмосферата и замърсяването ѝ с ФПЧ_{10} .
- Входни данни за този модел са паралелни симулации на прогноза с модела WRF (Weather Research and Forecast) и данни за измерените концентрации на ФПЧ_{10} в пунктовете за мониторинг в гр. София в кв. Павлово, ж.к. Хиподрума, ж.к. Надежда, ж.к. Дружба, „Орлов мост“, ж.к. Младост и м-т „Копитото“.
- Измерените данните за периода 01.01.2014 – 20.09.2021 г са 67728 усреднени часови стойности за всяка от станциите на ИАОС. На фиг. 1 на следващия слайд са дадени разпределенията на ФПЧ_{10} в различни времеви скали в кв. Павлово. Аналогични са резултатите за останалите пунктове.

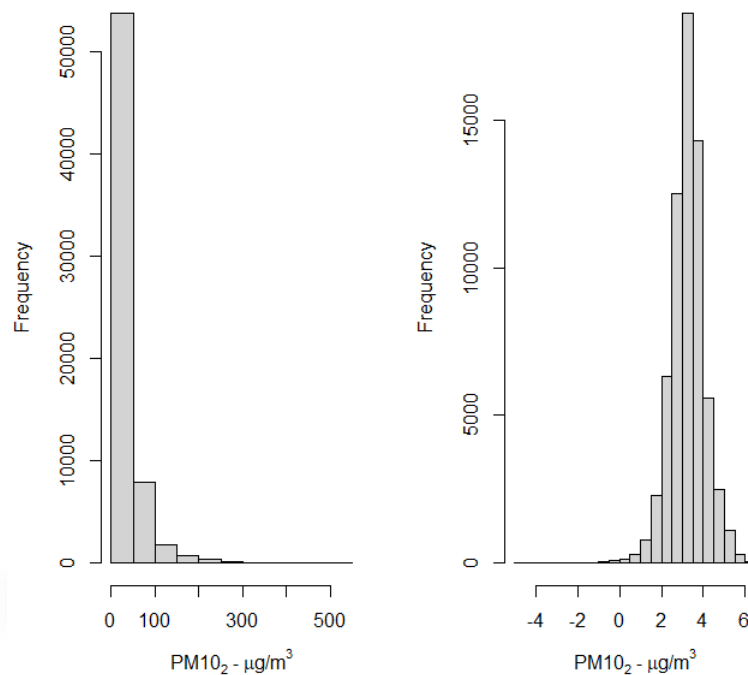
Разпределение на ФПЧ₁₀ за станция Павлово



Фиг. 1. Времени редици от часовите измервани стойности на ФПЧ₁₀, характеризиращи се с годишен, сезонен, седмичен и дневен ход

Хистограма на разпределение на ФПЧ_{10} за станция Павлово

Pavlovo: 01.01.2014 - 23.09.2021 y Pavlovo: 01.01.2014 - 23.09.2021 y



Фиг. 2. ИАОС кв. Павлово: хистограми на разпределението на измерени (вляво) и логаритмувани (вдясно) стойности на ФПЧ_{10} за периода 01.01.2014-20.09.2021 г.

Числен модел на атмосферата WRF

- **СРП е комбинация от прогностичен, числен модел на атмосферата WRF с числен стохастичен модел за оценка на потенциала на атмосферата към замърсяването с ФПЧ. WRF (Weather Research and Forecast) в момента е най-често използван в световен мащаб мезо-метеорологичен модел за симулация и прогноза на процесите в атмосферата за широк кръг от приложения.**
- **За прогнозиране на метеорологични параметри за целите на проекта е използван вариантът WRF-ARW с използване на динамичното ядро ARW (Advanced Research WRF), версия 3.7.1.**
- **WRF се изпълнява два пъти в денонощието, като резултатът е прогноза за 72 часа. По интернет се изтеглят GFS-данни за 84 часа (12 часа преди началото на прогнозата). Първите 12 часа служат за т.нар. spin-up (самонастройка на модела), а останалите 72 часа са прогноза.**

Пост-процесинг на метеорологичните данни

- От изходен файл на WRF се изтеглят данни за 12 двумерни променливи на земната повърхност и 7 тримерни променливи на 19 нива в атмосферата, от земната повърхност до около 5500 метра над нея. Допълнително се изчисляват полета, като мащаб на Монин-Обухов, параметър на устойчивост на Паскуил, градиенти на температурата в 7 слоя, количество на ниската облачност, средна вертикална скорост в 50 метровия приземен слой и др. Общият брой на предикторните променливи е 24:
- $t2[C]$ - температура на ниво 2m, $td2[C]$ - точка на оросяване на ниво 2m, $ts[C]$ - температура на почвата, $tst2[C]$ - повърхностна температура, $D10[deg]$ -посока на вятъра на височина 10m, $V10[m/s]$ -скорост на вятъра на височина 10m, $Q2[g/kg]$ - специфична влажност, $Us[m/s]$ -скорост на триене, $Moi[1/m]$ - мащаб на Монин-Обухов (инверсен, т.е. $1/L$), $PBLH[m]$ - височина на планетарния граничен слой (ПГС), $PBLT[m^2/s^2]$ - турбулентна кинетична енергия от ПГС, $PBLT[m]$ - хоризонтална скала на ПГС, CL - ниско ниво на облачност, $W[m/s]$ - средна вертикална скорост в слоя 50m, $Pasq$ -клас на устойчивост по Паскуил, $G20[C/100m]$ - температурен градиент в слоя 0-20m, $G50[C/100m]$ - температурен градиент в слоя 20-50m, $G120[C/100m]$ - Температурен градиент в слоя 50-120m, $G200[C/100m]$ - температурен градиент в слоя 120-200m, $G300[C/100m]$ - температурен градиент в слоя 200-300m, $G500[C/100m]$ - температурен градиент в слоя 300-500m, $G800[C/100m]$ - температурен градиент в слоя 500-800m, $RAINNC[mm]$ - конвективен валеж, $RAINNC[mm]$ - неконвективен валеж;

Стохастичен модел

Нека $y_t = \log(\Phi\PЧ_{10})$ за $t = 1, \dots, T$ е вектор от логаритъма на измерените стойности на $\Phi\PЧ_{10}$, а $x_t = (y_{t-r}, \dots, y_{t-d}, x_{t1}, \dots, x_{tm})$ се състои от лагове на y_t , метеорологични предиктори и техни лагове, крайни разложения на редове на Фурие, съответстващи на сезонен, седмичен, дневен и часови ход на $\Phi\PЧ_{10}$.

Разпределението на времевия ред y_t е комплексно в момента t , но може да се апроксимира с крайна смес от Гаусови авторегресионни разпределения

$$\psi(y_t, x_t; \Psi) = \sum_{j=1}^J \pi_j(z_t, \beta_j) \varphi(y_t, \mu_j(t), \sigma_j)$$

където

- $\varphi_j(y_t, \mu_j(t), \sigma_j)$ е плътността на Гаусовото разпределение с параметри на очакване $\mu_j(t) = x_t^T \theta_j + \theta_{j,0}$ и дисперсия σ_j^2 за $j=1, \dots, J$;
- $\pi_j(z_t, \beta_j)$ е вероятност (тегло на j -та компонента) за $j=1, \dots, J$;
 $\Psi = (\beta_1^T, \dots, \beta_J^T, \theta_1^T, \dots, \theta_J^T, \theta_{1,0}, \dots, \theta_{J,0}, \sigma_1, \dots, \sigma_J)^T$ е вектор от неизвестни коефициенти, като $\beta_j^T = (\beta_{j1}, \dots, \beta_{jq})$ и $\theta_j^T = (\theta_{j1}, \dots, \theta_{jp})$ за $j=1, \dots, J$;
- компонентите на вектора z_t са някои от предикторите на x_t .

Казано с други думи, разпределението на потенциала на замърсяване y_t в момента t се характеризира с разпределението $\varphi_j(y_t, \mu_j(t), \sigma_j)$ с вероятност $\pi_j(z_t, \beta_j)$, т.е.

[illegible]

Оценките на неизвестните параметри на вектора Ψ се определят по метода на максималното правдоподобие: търси се максимум на функцията на правдоподобие $L(\Psi)$ с пенализация тип lasso

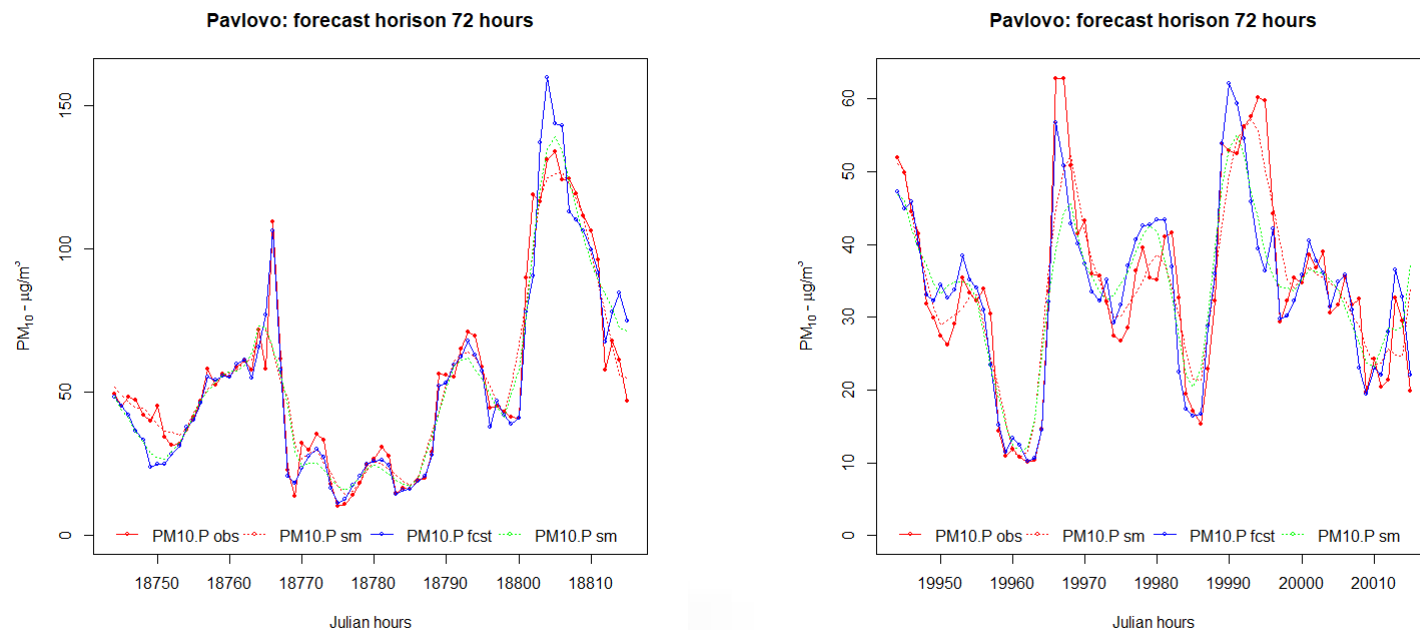
$$\max_{\Psi} \left(L(\Psi) = \prod_{t=d}^T \psi(y_t, x_t; \Psi) = \prod_{t=d}^T \sum_{j=1}^J \pi_j(z_t, \beta_j) \varphi_j(y_t, \mu_j(t), \sigma_j) \right).$$

Забележка 1: при решаването на тази оптимизационна задача, вероятностите $\pi_j(z_t, \beta_j)$ се моделират с методологията на номиналната логистичната регресия (т.н. невронна мрежа)

$$\pi_j(\mathbf{z}_t, \beta_j) = \frac{\exp(\mathbf{z}_t^T \beta_j)}{\sum_{l=1}^J \exp(\mathbf{z}_t^T \beta_l)} \quad 3a \quad j=1, \dots, J.$$

Забележка 2: оптималния брой на компонентите на сместа J се определя чрез информационните критерии AIC и BIC на Акайке и Шварц.

Резултати от взаимодействието на двата модела



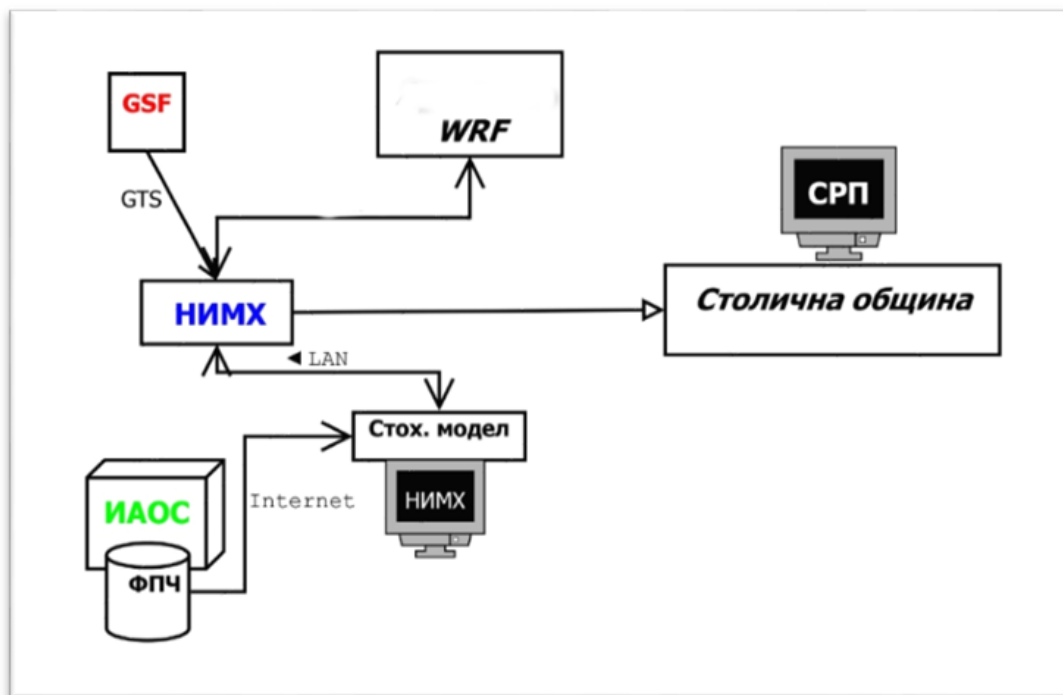
Фиг. 3. Павлово: 72 часова прогноза за потенциала за замърсяване; измерени и прогнозирани стойности на ФПЧ_{10} са дадени с червени и сини точки/линии, докато съответните им изгладени стойности са дадени с пунктирни линии, съответно в червен и зелен цвят.



Работа на СРП

- Специализираният софтуер създава автоматично архив на прогнозите. При получаване на нова прогноза той веднага обновява информацията на контролния панел и архивира данните.
- Всеки ден се издават две прогнози. Първата прогноза за следващите 3 дни се издава в 23 часа предния ден и се актуализира в 11 часа в първия ден на прогнозата. Целият процес на създаване на прогнозата и доставянето ѝ до сървър на Столична община е напълно автоматизиран.
- На следващия слайд е показан контролния панел на специализирания софтуер на СРП.

Схема на информационните потоци на СРП



Измерените стойности на ФПЧ_{10} от ИАОС постъпват 2 пъти в денонощието, WRF и стох. модел се изпълняват два пъти в 23 часа на текущия ден и 11 часа на следващия ден, като резултатът е прогноза за 72 часа, която се предоставя на Столична община.



Потребителски интерфейс

- Създаден е потребителски интерфейс на СРП за ранно прогнозиране на потенциала на атмосферата за замърсяване с ФПЧ_{10} за гр. София, предназначен за визуализиране и архивиране на прогнозите, постъпващи от НИМХ. Прогнозите се генерират два пъти в денонощието – в 23 часа и в 11 часа.
- Потенциалът за замърсяване с ФПЧ_{10} е разделен на 5 категории: нисък, умерен, среден, висок и много висок. На контролния панел на СРП те са означени с текст и с цветен код. За всяка един от 5 пункта в София, прогнозата се предоставя за следващите 2 дни.
- При получаване на нова прогноза информацията на контролния панел се обновява и данните се архивират. Архивът може да се визуализира по всяко време.
- В допълнителен панел, достъпен за специалистите на общината, числената прогноза за замърсяването с ФПЧ_{10} от ежечасни стойности за следващите 72 часа е дадена в същите категории за всеки един от пунктовете. За удобство на интерпретация на резултатите е предвидена опция за изглаждането им с 3-часови и 6-часови пълзящи средни стойности.

Система за ранно предупреждение за потенциал за замърсяване от ФПЧ₁₀ за района на София



Фиг. 4. Потенциалът за замърсяване с ФПЧ₁₀ е разделен на 5 категории: нисък (под 50 µg/m³), умерен (51-100 µg/m³), среден (101-150 µg/m³), висок (151-200 µg/m³) и много висок (над 200 µg/m³). На контролния панел на СРП те са означени с текст и с цветен код. За всяка един от 5 пункта в София, прогнозата се предоставя за следващите 2 дни.



Екипът на НИМХ участвал в създаването на СРП:

- 1. проф. д-р Христомир Брънзов - ръководител**
- 2. Валери Николов**
- 3. проф. дфн Димитър Сираков**
- 4. проф. дн Нейко Нейков**
- 5. доц. д-р Пламен Нейчев**
- 6. ас. Христина Гълъбова**
- 7. ас. Надя Нейкова**
- 8. физик Мария Проданова**