



**Окончателен научен отчет за изпълнение на
проект по договор № ДН 04/7 от 16 Декември, 2016 г.**

Тема на проекта:

**Изучаване структурата и динамиката
на Атмосферния граничен слой над
комплексна орография и градска
среда**

Ръководител на проекта:

/доц. д-р Р. Димитрова/

София, 20 Декември 2020 г.

Настъпили промени в личния състав, работната програма, статуса на членове на колектива и партниращата организация, срока за приключване на договора

Във връзка с определянето на проф. д-р Екатерина Бъчварова (участник и ръководител на екипа от страна на партниращата организация НИМХ -БАН) за член на ИС на ФНИ, се наложи освобождаването и от ангажиментите и свързани с проекта и нов член на колектива и ръководител на екипа от страна на НИМХ стана доц. д-р Мария Коларова. Уведомително писмо (Вх. № 0905/8 от 21.4.2017г.) бе изпратено до Председателя и Членовете на ИС на ФНИ. Прилагам подписите на членовете на новия колектив.

Поради необходимостта от извършване на ремонтни дейности, свързани с наличната апаратура в НИМХ бе поискана промяна в работната програма на проекта, като срокът за започване на работа по РП2 бе изместен още в първата фаза на проекта и започна от месец 7. Подадено уведомително писмо (Вх. № 100101/58 от 8.8.2017г.) и описание на корекциите направени в проекта.

По време на първия етап на проекта асистент Христина Кирова-Гълъбова (НИМХ -БАН) бе зачислена за докторант на самостоятелна подготовка от 1 Септември 2017г. Асистент Дамян Брантиев защити дисертация през 2016г. и бе зачислен като Главен асистент в НИМХ през 2017г.

По време на втория етап на проекта бе променен статута на партниращата организация НИМХ - БАН, като съгласно преходните и заключителни разпоредби на ЗДБРБ (§1-§6, ДВ бр. 103/13.12.2018) от основно звено при БАН (НИМХ-БАН) се преобразува като юридическо лице НИМХ, чийто ръководител е разпоредител с бюджет по бюджета на МОН от 1 януари 2019 г. ФНИ бе уведомен за тази промяна с писмо (Вх. №0905/10 от 28.03.2019 г.

По време на втория етап на проекта поради смяна на местоработата на Дамян Брантиев от асистент в НИМХ към пост-докторант към ИИКАВ-БАН от 18.12.2018г. продължи работата си в проекта като външен изпълнител.

След подадено заявление с Доклад с Вх. №100101/7 от 15.01.2020 г. за удължаване срока на договора с 6 месеца, с решение на ПНЕК (Протокол 1/24.02.2020) ДН04/7 бе удължен с 6 месеца с приключване на 25.11.2020 г.

Поради усложнената пандемична обстановка бе подадена молба с Вх. №100101/135 от 11.12.2020 г. за удължаване с два месеца срока за предаване на финансовия и научен отчети.

1. Описание на осъществените изследвания и дейности

Основна цел на проекта е детайлното изучаване на мезо-машабните физични процеси в района на Софийското поле, както и тяхното влияние върху структурата и динамиката на Атмосферния граничен слой (АГС). Научната хипотеза е, че АГС, където са съсредоточени основните процеси на взаимодействие между земната повърхност и атмосферата е силно модифициран в условията на комплексна орография в сравнение с равнинен терен. Термично и динамично индуцирани мезо-машабни потоци водят до формиране на сложна слоеста структура, която е все още не добре изучена и липсват достатъчно експериментални данни за района на Софийското поле. Теоретичните подходи и свързаните с тях параметризации се отнасят най-вече за гладка повърхност, докато редица допълнителни процеси, дължащи се на хоризонталната неизотропност на турбулентните потоци, трябва да бъдат отчитани при комплексна орография и градска среда. Все още съществуват ненапълно решени проблеми, и предлаганите изследвания в тази област ще допринесат за по-доброто разбиране същността на физическите процеси и по-нататъшен прогрес в усилията за подобряване на числената прогноза.

За да бъдат изпълнени целите на проекта, изследванията бяха разделени на пет основни работни пакета (РП), които съдържат редица под-задачи с конкретни дейности. Изпълнението на проекта се осъществява на два етапа, всеки с продължителност 18 месеца. Общата продължителност на проекта е три години.

По време на изпълнението на първата фаза на проекта се наложи малка промяна в работния план, като стартирането на работата по РП2 бе изместено с една година от първоначалната програма (месеци 19-36) и започна през месец юли 2017г. (месеци 7 - 36). Уведомително писмо (Вх. № 100101/58 от 8.8.2017г.) за направената промяна в работния план бе изпратено до Председателя и Членовете на ИС на ФНИ. Направените промени бяха необходими за предварителното провеждане на дейности свързани с ремонт на наличните инструменти в НИМХ в рамките на първата фаза на проекта. Това осигури навременното стартиране и провеждане на полеви интензивни кампании в района на Софийското поле. Приложен е коригираният график за изпълнението на дейностите по проекта.

График за изпълнението проекта

РП/месец	01-03	04-06	07-09	09-12	13-15	16-18	19-21	22-24	25-27	27-30	31-33	34-36
РП 1												
РП 2												
РП 3												
РП 4												
РП 5												

Получените резултати са обобщени за целия период на проекта, като описание на проведените изследвания е представено по работни пакети и дейности, съгласно утвърдения Работен план.

РП1. Проследяване и класифициране структурата на Градски граничен слой (ГГС) при различни метеорологични условия по наличните данни

Изпълнението на задачите поставени в РП1 бе планирано и изпълнено в първата фаза на проекта. Специфичните цели на РП1 са разработването на методология за класификация на структурата на ГГС на базата на наличните и достъпни данни от оперативните измервания в двете институции, базовата (СУ „Св. Кл. Охридски“) и партниращата (НИМХ), както и от предходния експеримент проведен в София (2003г.). Такова изследване не е правено в София до момента, поради липсата на достатъчно дълги времеви редици от измервания с висока резолюция във височина.

За да се изпълнят тези специфични цели бяха предвидени различни дейности, които са описани по-долу.

1.1. Създаване на база данни за целите на поставените в проекта задачи

Бе направена инвентаризация на съществуващите бази данни в двете партниращи организации и създадена обща база данни за ползване и осъществяване целите на проекта. СУ разполага с две експериментални бази за автоматични измервания, разположени на териториите на Геодезическата обсерватория „Плана“ и на Астрономическата обсерватория на СУ в Борисовата градина. Оперативно се измерват температура и влажност на въздуха (на 2 метра височина), скорост и посока на вятъра (на 8 метра височина), късовълнова радиация, тотален радиационен баланс (на 2 метра височина), поток топлина, температура и влажност в почвата (на 10 см дълбочина), приземна озонова концентрация. В станцията на Астрономическа обсерватория на СУ „Св. Кл. Охридски“ не се измерва радиационен баланс. Събираните в Плана данни са ежечасни, а в София времевата резолюция е 10 минути. НИМХ разполага с оперативни данни от две синоптични станции в изследвания район – централната метеорологична станция в кв. Младост (WMO 15614) и станция Драгоман (WMO 15605), в които измерванията са денонощни през 3 часа, считано от 0 ч. по Гринуич и обхващат атмосферно налягане, температура, влажност, скорост и посока на вятъра, вид, интензивност и количество на валежа, вид и височина на облачността, температура на почвата на повърхността и на няколко дълбочини. В станцията в София се измерват и параметри на слънчевата радиация. Допълнително НИМХ оперират и две климатични станции в Божурище и в Банкя, в които измерванията на температурата, влажността на въздуха, скоростта и посоката на вятъра се извършват в 7, 14 и 21 часа местно време.

В допълнение към тези приземни измервания съществуват и височинни оперативни данни. Основни средства за експериментално изследване на вертикалната структура на метеорологичните параметри са аерологичен сондаж или дистанционни методи на измерване чрез лидар-облакомер (ceilometer) и содар. Аерологичен сондаж на атмосферата с помощта на система “DigiCoraIII” (Vaissala) се провежда в НИМХ и дава представителна информация за температура, влажност, налягане и вятър в АГС със стъпка около 2 секунди, т.е. около 5-10 метра. Тези измервания са регулярни като се извършват един път в денонощието (в 12 UTC) поради високата цена на всяко пускане на балон с метеорологична сонда. Облакомерът Jenoptik CHM15k, опериран от катедра „Метеорология и геофизика“, работи в непрекъснат режим, като регистрира осреднени в рамките на една минута профили на обратно разсейвания сигнал с вертикална разрешаваща способност 15 метра. Атмосферният аерозол представлява основните разсейващи частици, като тяхното вертикално разпределение е директно отражение на

процесите в АГС. Данните от облакомера (за 9 години) и аерологичните сондажи (за 17 години) се допълват взаимно и позволиха да се определя височината на АГС оперативно за времето на проекта.

Наличните от системата за аерологичен сондаж данни са за периода от май 2001г. до края на 2017г. От въвеждането на системата DigiCORA на финландската фирма Vaisala през май 2001г. в Централната Аерологична Обсерватория (ЦАО) до май 2014г., аерологичните сондажи са извършвани със сонди RS-82 и RS-92, които осигуряват данни на всеки две секунди. Това прави разделителна способност на вертикалния профил на метеорологичните елементи около 10-12 m. От май 2014г., системата беше обновена и се премина на последното поколение система DigiCORA в комбинация с най-новите сонди RS-41SG. Това позволи реална вертикална разделителна способност от 5-6 m. За целия този период, с изключение на няколко кратки експериментални кампании, е извършван само аерологичния сондаж в 12 UTC, като половината години са без пропуснат ден, а пропуснатите дни не са поредни. Общо около 45 дни са без сондаж за целия разглеждан период. В отделни случаи, поради прекъсване на сигнала от наземните позициониращи станции, няма данни за посоката и скоростта на вятъра (до 2014г.). Неопределеността при измерванията са от порядъка на 0.3°C за температурата, около 5% за относителната влажност при температура над -40°C и 0.2 ms^{-1} за скоростта на вятъра.

Облакомерът Jenoptik CHM15k работи в непрекъснат режим от май 2009г. с две по-продължителни прекъсвания (юли 2010г. – януари 2011г.; август – декември 2014г.), осигурявайки непрекъснат запис на обратно разсеяния от суспендираните в атмосферата частици сигнал, който може да служи за индикация на динамиката на АГС.

След анализ на наличните от облакомера данни бе установено, че сигурно детектиране на еволюцията на ГГС може да бъде направено в ясно, безоблачно време, когато се развива конвективен граничен слой (КГС). Тогава аерозолите са равномерно разпределени по вертикалата и това позволява проследяване на денонощната динамика на ГГС. Разбира се наличието на адвектиран аерозолен слой във височина, или остатъчен такъв през нощта, налага необходимостта от експертна оценка и затова трудно се поддава на автоматизация. На базата на този анализ бе избран 10 дневен период, подходящ за оценка адекватността на пресъздаване на височината на ГГС от предвидените числени симулации.

Бяха използвани и наличните данни от експеримент проведен в София от 27 Септември до 03 Октомври, 2003г. Изследваният период се характеризира със слабо антициклонално поле близо до земята, топло и слънчево време за периодите 27-29 Септември и 2-3 Октомври. На 30 Септември над страната преминава студен фронт и валеж от 2.6 mm е измерен в София. Програмата на експеримента включва измервания на турбулентните потоци и проследяване на развитието на КГС в градска среда чрез аерологични наблюдения. Акустичните анемометри и хигрометър бяха монтирани на изследователската кула в НИМХ на височина 20 m и 40 m над земята. Сондите са пускани от площадката за аерологични наблюдения през 2 часа (от 04 до 16 GMT, EEST=GMT+3).

Създадената база данни бе допълнена със събраните нови редове от измервания от наличните и новозакупени инструменти, като тези данни също бяха използвани в проведените изследвания през втората фаза на проекта.

Очакваният резултат от тази дейност беше постигнат напълно, като беше създадена обща база данни, която бе използвана за изследванията проведени в РПІ и

РП2, както и за верификация на резултатите от симулациите с Weather Research and Forecasting (WRF) модела във всички следващи работни пакети (РП2-5).

1.2. Избор на методология за класификация на метеорологичните условия и разделяне на избраните данни по групи съгласно тази класификация

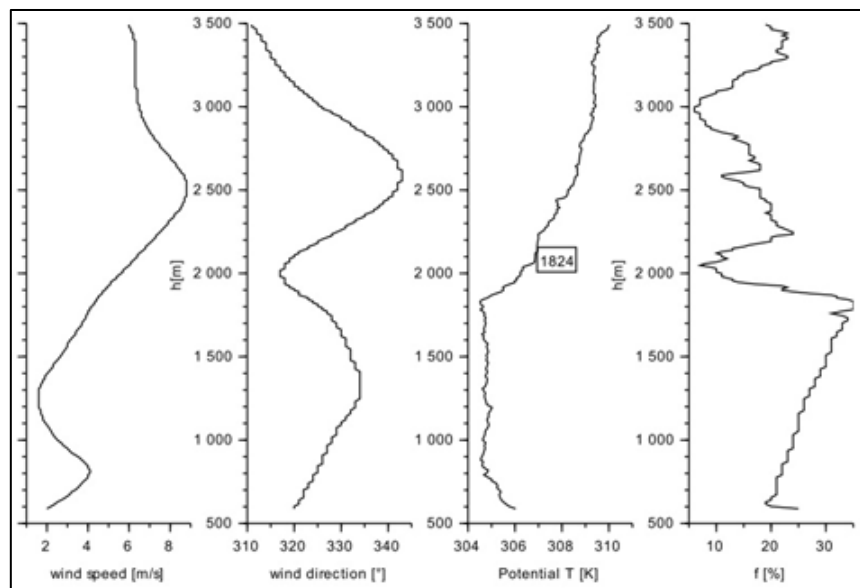
Необходимо беше разработването на методология за класифициране на метеорологичните условия по групи и отделянето на категории, характеризиращи градски от извънградски граничен слой.

По наличните данни и разположението на пусковата площадка на ЦАО, могат да се обособят 3 основни сектора на нахлуване на въздушните маси. *Източен* (посока на вятъра от 0° до 120°): нахлуващите въздушни маси в този сектор са най-малко повлияни от антропогенния фактор. На практика, контактът им с градската среда се осъществява само с малките населени места на изток от София и съвсем малко от самата столица. Вторият сектор на нахлуващи въздушни маси е с присъстваща западна компонента, наричан по-нататък *Западен* (посока на вятъра от 230° до 360°). При нахлуване от тази посока, въздушната маса е преминала през целия град и е силно повлияна от него. Третият сектор е с въздушни маси от юг наричан по-нататък *Южен* (посока на вятъра между 120° и 230°). Въздушните маси са повлияни отчасти от градската среда и основно са преминали през планината Витоша. В настоящето изследване, за класифицирането на една въздушна маса към даден тип от гореизборените, посоката на вятъра във вертикалния слой до 3500 m надморска височина трябва да е най-малко 85% от съответния сектор. Направено е също така разделение по сезони, като те са дефинирани както следва: зима – Декември, Януари и Февруари; пролет – Март, Април и Май; лято – Юни, Юли и Август; есен – Септември, Октомври и Ноември. При предложеното класифициране, от разгледаните над 5300 дни за 17 години, се падат по около 1400 дни на сезон. Очаквано, случаите без ясно изразено нахлуване са най-много – около 55% - 60%. По-голямата част от тях се характеризират с ниски стойности за скоростта на вятъра.

1.3. Анализ на структурата на ГГС

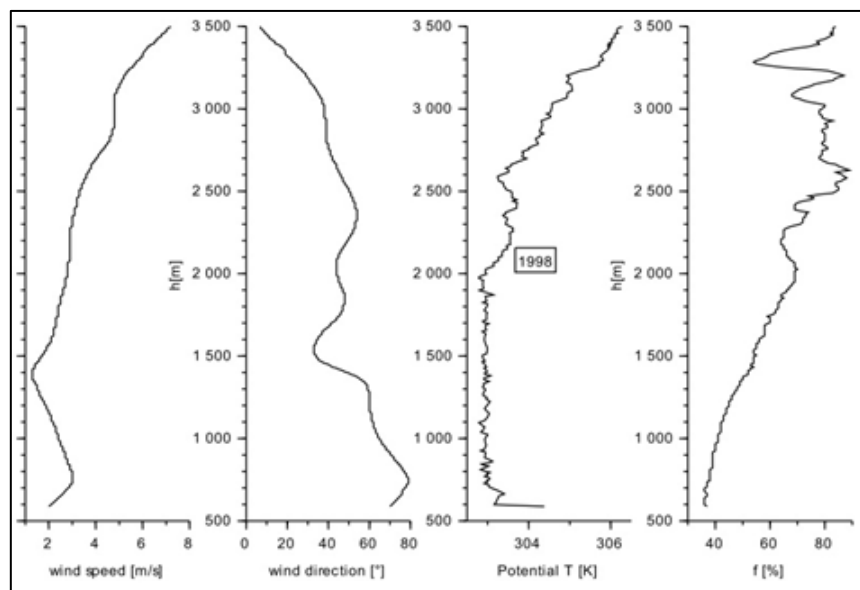
Изследване структурата на ГГС се осъществява чрез анализ на термодинамичните профили, допълнени от профилите на вятъра. Предполага се, че пасивните характеристики (например потенциалната температура) следва да имат близко до равномерно разпределение с височината и съответно рязката им промяна дава границата на ГГС. В допълнение се анализира хода на относителната влажност, която също търпи съществено изменение на интересувашата ни височина. Това позволи да се сравни структурата на ГГС между различните категории от въведената класификация.

При случаите, в които има изразено нахлуване, повече от половината са със западна компонента, тоест „градски тип въздушна маса“, между 420 - 450 дни сумарно на сезон за разгледания период. Типични за градското нахлуване вертикални профили на скоростта на вятъра, неговата посока, потенциалната температура и относителната влажност са представени на фиг. 1.



Фиг. 1. Профили на скоростта и посоката на вятъра, потенциалната температура и относителната влажност на 30 август 2011г., *Западен* сектор, характеризиращ нахлувания на градски тип въздушна маса.

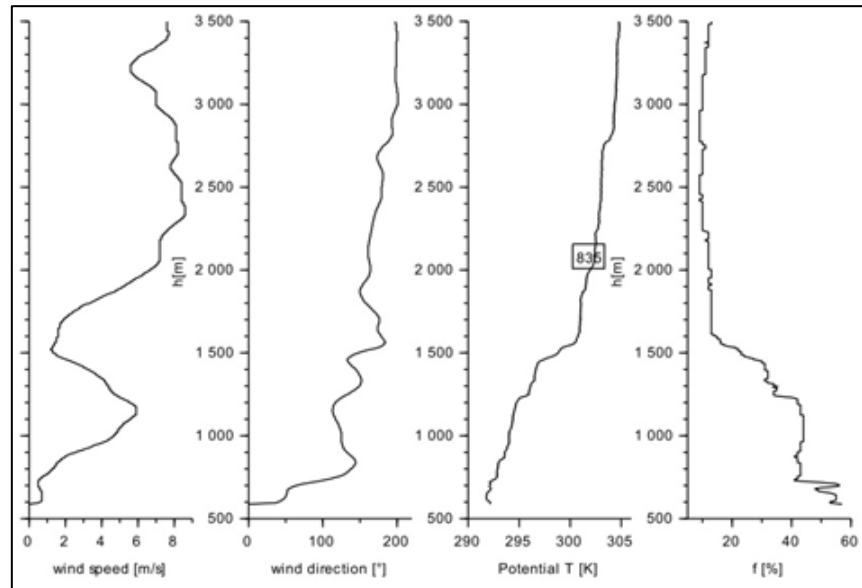
Нахлувания от Източен сектор се наблюдават главно през лятото, достигайки 205 дни сумарно, почти половината от западните нахлувания. През другите сезони, драстично намаляват нахлуванията на неповлияни от антропогенния фактор въздушни маси – около 142 дни сумарно за пролетта, 87 и 70 съответно за есента и зимата. Характерните вертикални профили на метеорологичните параметри са представени на фиг. 2.



Фиг. 2. Профили на скоростта и посоката на вятъра, потенциалната температура и относителната влажност на въздуха на 29 юли 2008г., *Източен* сектор, характеризиращ нахлувания на неповлияна от антропогенния фактор въздушна маса.

Смутени от планината Витоша въздушни маси (*Южен сектор*) са между 62 и 72 дни сумарно на сезон, като през лятото са най-рядко срещани – 36 случая. Самата

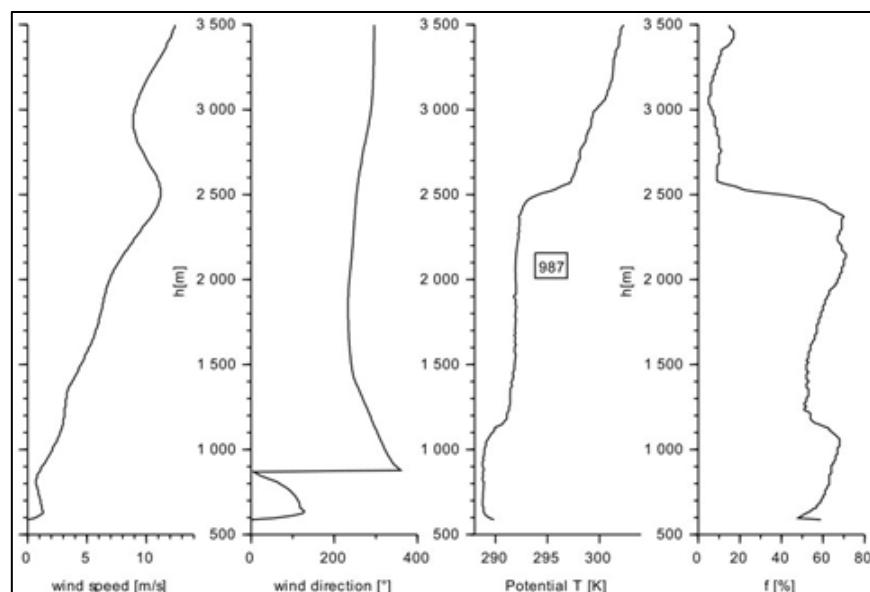
планина представлява препятствие, което трудно се преодолява. Такъв тип нахлувания обикновено са свързани с наблюдаването на фьонові обстановки. При тях въздушната маса е силно изсушена, като след преминаването на височина 1200 - 1500 m над морското равнище, стойностите на относителната влажност са под 20% (фиг. 3).



Фиг. 3. Профили на скоростта и посоката на вятъра, потенциалната температура и относителната влажност на въздуха на 17 февруари 2016г., Южен сектор, характеризиращ нахлувания на смутени от планината Витоша въздушни маса.

Такова нахлуване се характеризира с изключително силни ветрове и би оказало сериозно влияние върху сутрешния сондаж, какъвто обаче не се прави през последните 17 години. Характерно за тези сравнително редки нахлувания е, че вятърът е изцяло от Южния сектор и не са забелязва наличие на различни слоеве един над друг, както при въздушните маси от Изток или Запад. Не се наблюдават и силно конвективни условия при такива въздушни маси.

При анализа на профилите в така получените разпределения на типове въздушни маси, беше срещнат следния проблем – нахлувания на нов въздушен поток над все още изтласквана стара въздушна маса. Близък до земната повърхност слой остава неизтласкан от настъпващата въздушна маса по време на провеждането на аерологичния сондаж. Трудно се оценяват такива ситуации, поради недостатъчната времева резолюция на сондажите в ЦАО за момента. Моментите на настъпването и края на дадено нахлуване на нова въздушна маса могат да се анализират при наличие на нощен и/или сутрешен сондаж, но такива липсват. Такива случаи на застъпване са около 20% от ясно изразените нахлувания. При тях в профилите на потенциалната температура могат да се открият два слоя на смесване. По-ниският, обикновено до 1000 m над морско равнище, за старата въздушна маса и един на по-голяма височина, на нахлуващата въздушна маса, като тези ситуации се случват и при Западни, и при Източни нахлувания (фиг. 4).



Фиг. 4. Профили на скоростта и посоката на вятъра, потенциалната температура и относителната влажност на въздуха при нахлувания, когато стария слой още не е изтласкан.

Съвременните мезо-метеорологични модели съдържат параметризационни и динамични опции, даващи възможност за описание на различни групи атмосферни процеси с мащаби от метри до хиляди километри. Изборът на определена конфигурация за работа с модела изисква проверка на успеваемостта на системата чрез данни от наблюдения с голяма честота във времето и пространството. За целите на изследването, направено в РП1.3, са проведени числени симулации с мезо-метеорологичния модел Weather Research and Forecasting (WRF) с хоризонтална резолюция 1 km. Моделните резултати бяха верифицирани с данни от експеримента София (2003г.), поради по-голямата честота на аерологичните наблюдения (през 2 часа от 04 до 16 GMT, EEST=GMT+3). Наличните 35 сондажа до 8000 m, са разделени на две групи обхващащи часовете 04, 06, 16 GMT (преходните часове) и 08, 10, 12 и 14 GMT (обедните и следобедните часове). Директно сравнение между измерените и моделираните вертикални профили е направено за две от категориите, описани по-горе, нахлуващи въздушни маси: 1) когато над станцията е регистрирана въздушна маса от извънградски райони или предградие, и 2) когато над станцията е регистрирана въздушна маса повлияна от градската среда. Основните изводи, направени от това изследване са: 1) вертикалните профили на относителната влажност, температурата, потенциалната температура и скоростта на вятъра са възпроизведени с коефициент на корелация по-висок от 0.8; 2) повечето от изследваните метеорологични параметри са моделирани в обедните и следобедните часове с по-малки стойности на систематичното отклонение, спрямо преходните часове; 3) посоката на вятъра е моделирана с най-голяма грешка в слоя до 1000 m. Тези резултати бяха публикувани в Kirova and Batchvarova (2017). Подробености за проведените изследвания и получени резултата са налични в приложената статия и презентация.

Очакваният резултат от тази дейност беше публикуването на научните изследвания за определяне на височината и структурата на ГГС, както и разликата в

тази структура при различни метеорологични нахлувания. Очакваният резултат беше изпълнен чрез публикациите представени по-долу.

Kirova H. and Batchvarova E. (2017) Mesoscale simulation of meteorological profiles during the Sofia Experiment 2003. Int. J. Environment and Pollution, 61(2), 134-147

Gueorguiev O., Danchovski V., Batchvarova E., Barantiev D. (2017) Boundary-Layer Height by ceilometer and radiosounding in Sofia valley for specific cases. EMS Annual Meeting Abstracts, 14, EMS2017-810

РП2. Установяване спецификата на граничния слой над градска и извънградска среда

Работата по този пакет бе планирана за втората фаза на проекта, като само някои подготвителни дейности бяха извършени през първата фаза след направената промяна в работната програма. Поради липсата на достатъчно изчерпателна информация, базираща се на съществуващи и проведени преди това измервания, се проведе нов експеримент от непрекъснати (оперативни) измервания и интензивни кампании с допълнителни измервания в 4 двуседмични периода, избрани да характеризират различните сезони в Софийското поле. За да се проведе този експеримент бе необходимо използването на всички налични инструменти на базовата и партньорската организации и закупения от СУ по проекта нов инструмент 3-осев ултразвуков анемометър (3D sonic).

2.1. Подготовка, организиране и провеждане на експеримент в района на Софийското поле

Проведени бяха редица действия, свързани с подготовката на планирания експеримент, още през първата фаза на проекта, като закупуване на предвидения нов инструмент 3-осев ултразвуков анемометър (3D sonic), ремонтване, калибриране и доокомплектоване на наличните инструменти (2 ултразвукови анемометъра МТЕК) и содар SCINTEC от съответните фирми в Германия). Проведена беше също профилактика на метеорологичната станция, намираща се на територията на Геодезическата обсерватория „Плана”, ремонт на намиращия се там озонметър и диагностика на модем за връзка и предаване на данните. Бяха проведени предварителни проучвания за избор на оптимална като съотношение качество/цена техника, покриваща минималните необходими технически изисквания за осъществяването на интензивни микро-метеорологични измервания. Измерването на турбулентните потоци на топлина и импулс предполага използването на бърз акустичен анемометър, опериращ с честота не по-ниска от 10 Hz, който да позволи изчисляването на ковариационните моменти на вертикалните пулсации и тези на температурата и вятъра. Поради липса на достатъчно финансов ресурс в рамките на проекта за закупуване на цялостна система за измерване на турбулентни потоци или поне на бърз спектрален хигрометър, колективът на СУ разчита на комбинация от пулсационни (3 осов соник даващ потоци топлина и импулс) и градиентни измервания (паралел поток топлина - поток водна пара). За осигуряване на адекватни измервания на радиационния форсинг бе закупен четири-компонентен радиометър (балансомер), даващ възможност за едновременно определяне на нормалните компоненти на падащите върху подложната повърхност съответно късовълнова и дълговълнова радиации, също така на отразената дълговълнова радиация и съответно собственото излъчване на постилащата повърхност. След придобиването на

всички необходими сензори, съобразно предвидените за измерване метеорологични елементи започна планиране на самата станция.

За изграждане на микро-метеорологичната станция бе направен анализ на потенциално възможните за нейното разполагане територии. Те следваше да бъдат собственост на Софийски университет и да притежават поне минимална налична инфраструктура. Измерването на радиационните потоци предполага отсъствие на сериозни препятствия, които могат да компрометират най-вече измерването на общата късовълнова радиация. Още по големи са изискванията при пулсационните измервания, тъй като турбулентните потоци отразяват физическите свойства на подложната повърхност от т. нар. отпечатък, чиято големина зависи от височината на монтиране на датчиците спрямо повърхността, от вятъра, а също и от температурната стратификация. Изискването за еднородност на подложната повърхност в зоната на отпечатъка и около нея не допуска разполагането на апаратурата на територията на Астрономическата обсерватория в Борисовата градина. За това след анализ на всички възможни места бе решено изграждането на микро-метеорологичната станция да бъде на територията на учебно-експериментална база „Драгалевци“ (фиг. 5).



Фиг. 5. Местонахождение на избраната учебно-експериментална база „Драгалевци“ с новоизградената микро-метеорологичната станция.

Изграждането на станцията започна през лятото на 2019 г. с адаптиране на съществуващата инфраструктура и изграждане на необходимата нова такава за инсталирането на станцията. Изградени бяха подземни трасета за захранване на станцията с електричество (наложи се модифициране на ел. табло с цел отделяне захранването на станцията в отделен кръг) и комуникация с локален компютър (локален файлов сървър). Изградена бе носещата арматура за всички елементи на станцията (мачта, основа, обтяжки, стойки всички сензори и ел. компоненти на станцията). Осигурен бе отдалечен достъп до локалния компютър. Паралелно се извършваха тестове на отделните сензори и управляващи модули в лабораторни условия. Подготвени бяха и

нужните софтуерни продукти за управление на сензорите и събиране на данните от тях, както и за създаване на гореспоменатите файлове с данни. Допълнително беше реализирано и автоматично архивиране на данните на отдалечен файлов сървър.

Станцията беше изградена и въведена в експлоатация с непрекъснат режим на работа от 8.11.2019г. В последствие се наложиха някои корекции по софтуера, касаещ формата на данните (бяха добавени допълнителни параметри за вятъра); комуникацията компютър – дейталогер (проблеми с галваничните разделители); допълнителни настройки, касаещи синхронизацията дейталогер – локален компютър – отдалечен сървър.

Станцията записва автоматично два типа данни:

- бързи - данни от акустичния анемометър, с честота 10Hz, т.е. на всеки 0.1s;
- бавни - данни от всички инсталирани сензори, осреднени (за валежа са суми) на всеки 10min.

Основните спецификации на станцията и структурата на файловете с бавни данни са представени в Таблица 1.

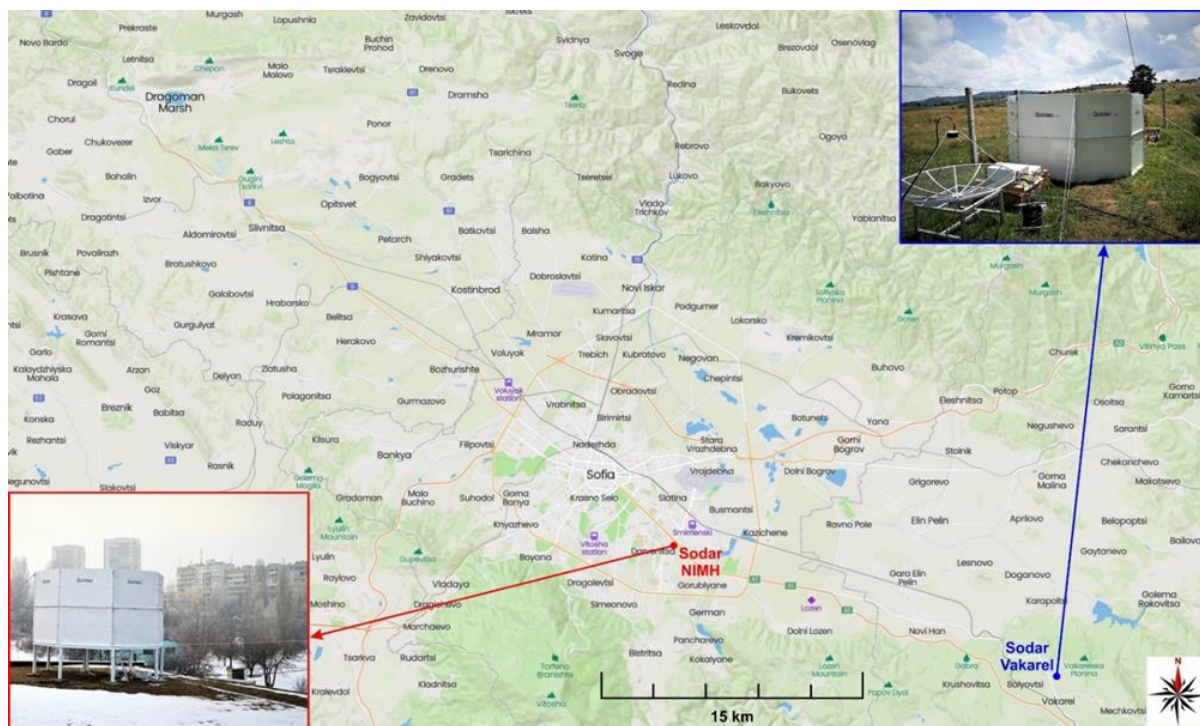
Таблица 1. Описание на измерваните параметри с техните характеристики и използваните сензори.

параметър	мерни единици	сензор	височина	осредняване
температура въздух	°C	GaltekMella	2 m	10 min
температура въздух	°C	GaltekMella	7 m	10 min
влажност въздух	%	GaltekMella	2 m	10 min
влажност въздух	%	GaltekMella	7 m	10 min
атмосферно налягане	hPa	Vaisala PTB110	1 m	10 min
слънчева радиация - постъпваща	W/m ²	Apogee SN-500	7 m	10 min
слънчева радиация - отразена	W/m ²	Apogee SN-500	7 m	10 min
дълговълново (земно) излъчване	W/m ²	Apogee SN-500	7 m	10 min
атмосферно срещульчение	W/m ²	Apogee SN-500	7 m	10 min
сумарен валеж	mm	Vaisala	1 m	10 min (сума)
температура почва	°C	PRT Noname	-0.1 m	10 min
температура почва	°C	PRT Noname	-0.3m	10 min
температура почва	°C	PRT Noname	-0.6m	10 min
влажност на почвата (обемна)	%	CampbellScientific CS616	-0.1m	10 min
поток топлина в почвата	W/m ²	HukseFlux HFP01	-0.1m	10 min
скорост на вятъра	m/s	Gill WindMaster 3D	8 m	10 min
посока на вятъра	°	Gill WindMaster 3D	8 m	10 min

Данните постъпват в реално време и се съхраняват в сървър. На 25.01.2020г. бяха регистрирани съмнителни показания от балансомера след комуникация с доставчика и в следствие и с производителя в опит да се отстранят проблемите, последното се оказа невъзможно, което наложи изпращането до производителя за гаранционен ремонт. За съжаление в усложнената обстановка поради COVID19 логистика се оказа доста мудна, като в крайна сметка от 22.07.2020 балансомера отново бе инсталиран и непрекъснатото събиране и архивиране на всички гореизброени метеоеlementи продължи.

Резултати от анализите на данните за различни метеорологични характеристики за два месеца август (лято) и октомври (есен) са представени в *Приложение 1*. Показани са обработени времеви редове и сезонните промени в денонощния ход на метеорологичните данни (температурата на въздуха, почвата и подложната повърхност, поток топлина в почвата, скорост на вятъра) и турбулентните характеристики (турбулентен поток на импулс и топлина, турбулентна кинетична енергия). Продължава събирането на информация за изброените в Таблица 1 характеристики. Поради описаните по-горе проблеми не са обработени за момента редове от зимата и пролетта. Последващото обработване на дълги редове от уникални данни за турбулентните характеристики ще позволи определянето на енергийния баланс и структурата на АГС свързана с денонощния ход и отделните сезони.

Организиран и проведен бяха четири експериментални кампании с акустични дистанционни измервания с висока пространствена и времева резолюция. Избрани бяха 4 периода (чрез непрекъснато следене на очакваната синоптична обстановка) за провеждане на измервания едновременно в София и във Вакарелската планина (фиг. 6).



Фиг. 6. Местоположение на двата содара използвани в измервателните кампании в градска (НИМХ, $42^{\circ} 39'15.6''\text{N}$, $23^{\circ} 23'02.0''\text{E}$), и извън градска (Вакарел, $42^{\circ} 34'30.3''\text{N}$, $23^{\circ} 42'17.2''\text{E}$) среда.

Измерванията на профилите на вятъра и турбулентността в градски и извън градски АГС се извърши с еднотипни моно-статични доплерови акустични системи за дистанционно наблюдение - Flat Array Sodar MFAS. Използваните содари са немско производство (Scintec) с работен честотен диапазон от 1650-2750 Hz, 9 ъгъла на излъчване / приемане ($0^\circ, \pm 9.3^\circ, \pm 15.6^\circ, \pm 22.1^\circ, \pm 29^\circ$), вертикален обхват от 150 m до 1000 m и пространствена резолюция от 10 m. Точността на измерване на скоростта на вятъра (WS) е $0.1 - 0.3 \text{ ms}^{-1}$, а за посоката на вятъра (WD) е 2 - 3 градуса (ScintecAG, 2011). Изходните данни от двата содара са записвани на всеки 10 минути с период на осредняване от 30 минути. Първото ниво на измерване е 30 m, като при избраната времева резолюция, максималният вертикален диапазон е 73 нива на измерване (т.е. до 750 m). Ефективният обхват на содарите (височината, до която успяват да извършат измервания) зависи от отражението на акустичните импулси от постоянно променящите се температурни нееднородности в атмосферата с последващ доплеров анализ, поради което наличността на данните за содарите варира до различни височини и не е постоянна характеристика.

Содарът в София бе разположен на територията на НИМХ на около 580 m над морското равнище. Той бе монтиран на покрива на сградата на ЦАО на приблизителна височина 15 m, в непосредствена близост до пусковата площадка и метеопарка на Централната Метеорологична Станция (ЦМС), на разстояния съответно 45 m и 60 m, без влияещи фактори и препятствия между трите точки. Поради високия шум, издаван от содара по време на измерванията (въпреки звукоизолационната защита), работата му беше ограничена през нощите на измервателните кампании в град София, като измервания бяха провеждани между 9 и 18 часа местно време (UTC + 2 /3 през лятото/).

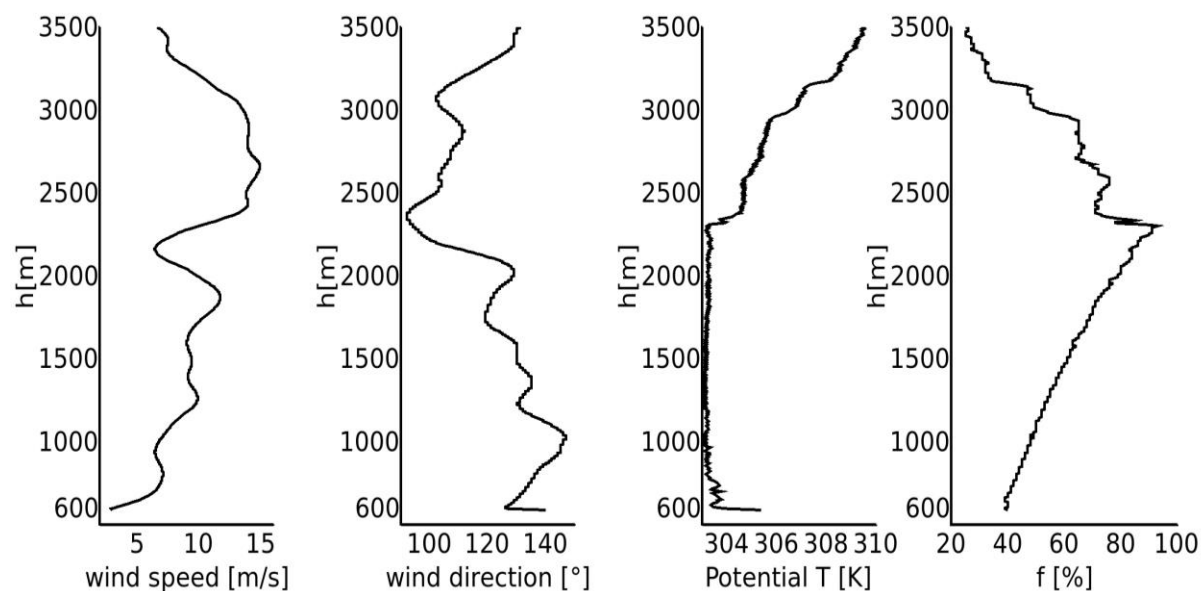
Вторият содар бе разположен на територията на Българската служба за обслужване на въздушното движение (ДП РВД) в непосредствена близост до ненасочен радиофар Вакарел близо до село Вакарел на около 860 m над морското равнище. Содарът във Вакарел е оборудван допълнително с радиоакустичната представка за сондиране (Radio Acoustic Sounding System - RASS), поради което в допълнение към измерванията на вятъра и турбулентните профили са налични и измервания на температурни профили за извънградския район. Непрекъснатите измервания във Вакарел започват на 3 септември 2018г. в 5:30 UTC сутринта с ограничение на вертикалния обхват до 400 m. Разстоянието между двата содара по права линия е около 27 km.

Направен беше подбор на серии от по две седмици на сезон: лятна кампания от 18 август до 22 септември 2018 г., есенна - от 4 до 21 декември 2018 г., зимна - 20 февруари до 6 март 2019 и пролетна - от 12 до 27 март 2019 г. Селектирани бяха периоди, в които поне няколко поредни дни (3 - 4 минимум) има подходящи условия за търсене на специфични структури на вертикалните профили на метеорологичните елементи, измервани от содара в НИМХ и аерологичния сондаж. Изпълнени бяха 3 пълни измервателни кампании и една частична на територията на НИМХ – София. След 20 март поради технически проблеми в антената и кабелите на содара, кампанията не донесе пълни резултати. Проблемът обаче се оказа по-сериозен от първоначално опознатото като дефектирал кабел и въпреки усилията, содара не можа да бъде възстановен за последващи предвидени измервания в подходяща обстановка началото на лятото (края на май - началото на юни 2019). Поради гръмотевична буря през месец юли 2018г. работата на автоматична станция Вайсала AWS310 в метеопарка на ЦМС бе

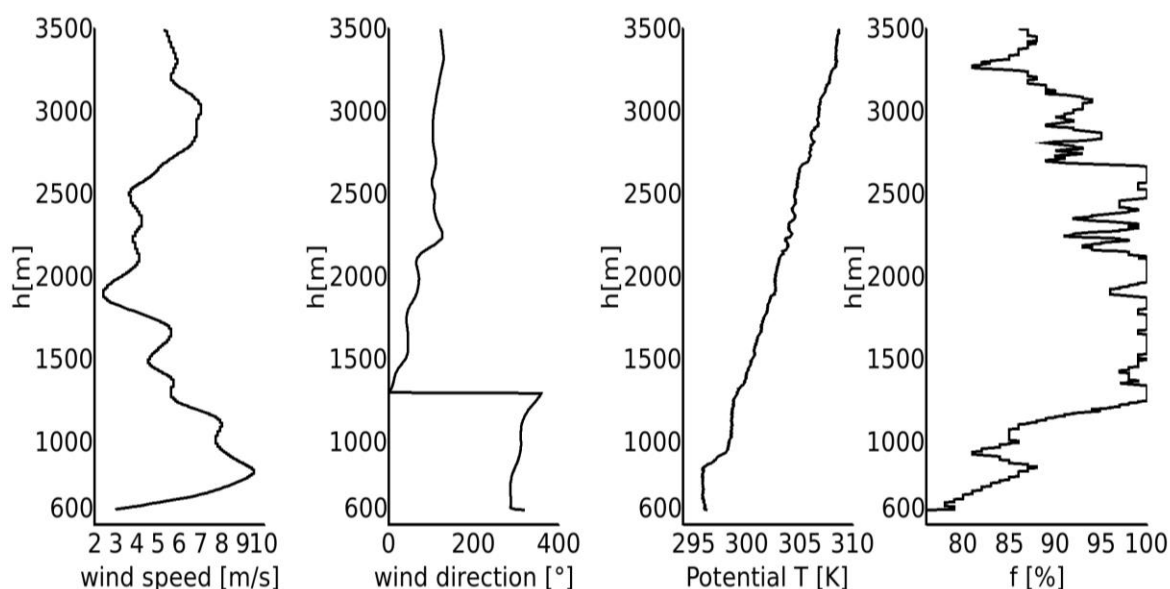
преустановена и липсват данни за вятъра за първите две кампании. Данните за температура и влага са измервани на всеки час, за вятъра – всеки десет минути. Синоптичните данни от ЦМС са на всеки три часа. Събрани са данни също от изпълняването на аерологичния сондаж в ЦАО с Вайсала MW41 DigiCORA, използващи аерологични сонди RS-41SG, по един на ден в 12 UTC, с вертикална разделителна способност 5 – 6 m.

За периодите на измерване на содара, аерологичните данни са в пълен комплект и без пропуски в данните за всички височини до 3500 m, което достатъчно пълно обхваща движенията на въздушните маси в Софийското поле и АГС винаги е в тези рамки. По тях е определена височината на АГС основно чрез градиента във височина на профила на потенциалната температура. При изчислението на потенциалната температура привеждането е към 1000 hPa, тъй като привеждането към налягането на площадката за пуск не показва никакви разлики във вертикалния профил.

За летния период (18 август - 22 септември 2018г.) височината на АГС съвсем отчетливо се промени при преминаването на фронтната система през Софийското поле. В дните на предфронтната обстановка височината на АГС бе над 1800 - 2000 m надморско равнище (фиг. 7а), в дните на преминаване на фронта спада под 1400 m и след това отново се повишава над 1600 m (фиг. 7б). В дните преди и след фронталната линия се забелязва, че профилът на потенциалната температура се променя в много тесни граници в разглеждания слой (5 - 6 K). Скоростта на вятъра е под 10 ms^{-1} за почти целия период.

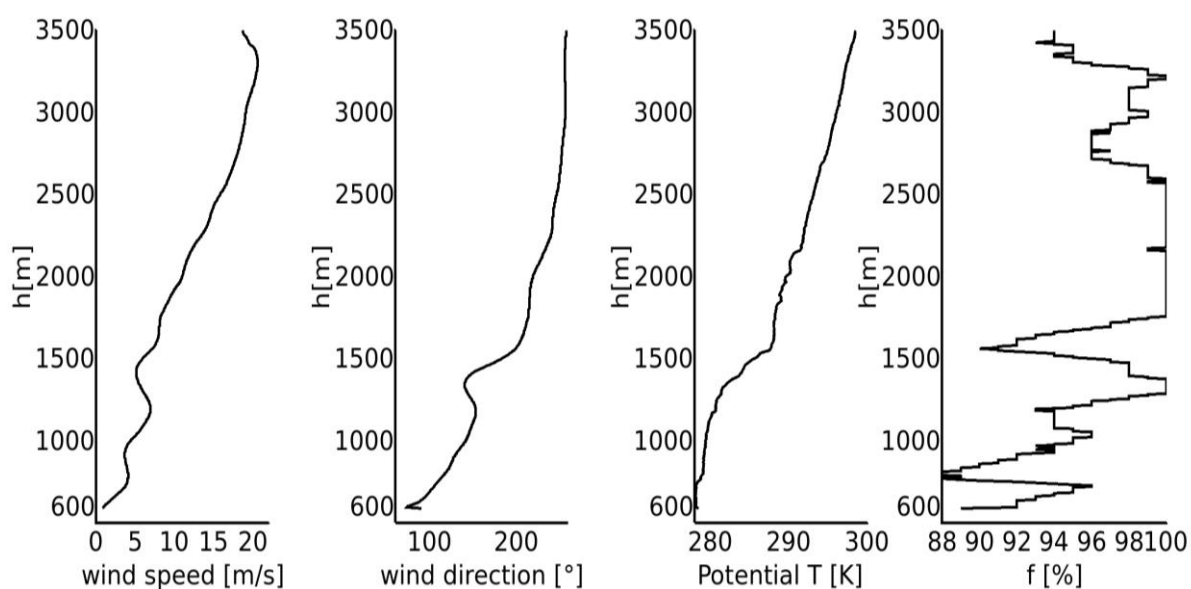


Фиг. 7а. Вертикални профили на метеорологичните елементи — скорост и посока на вятъра, потенциална температура и относителна влажност за 23 Август 2018 г. (предфронтната обстановка).



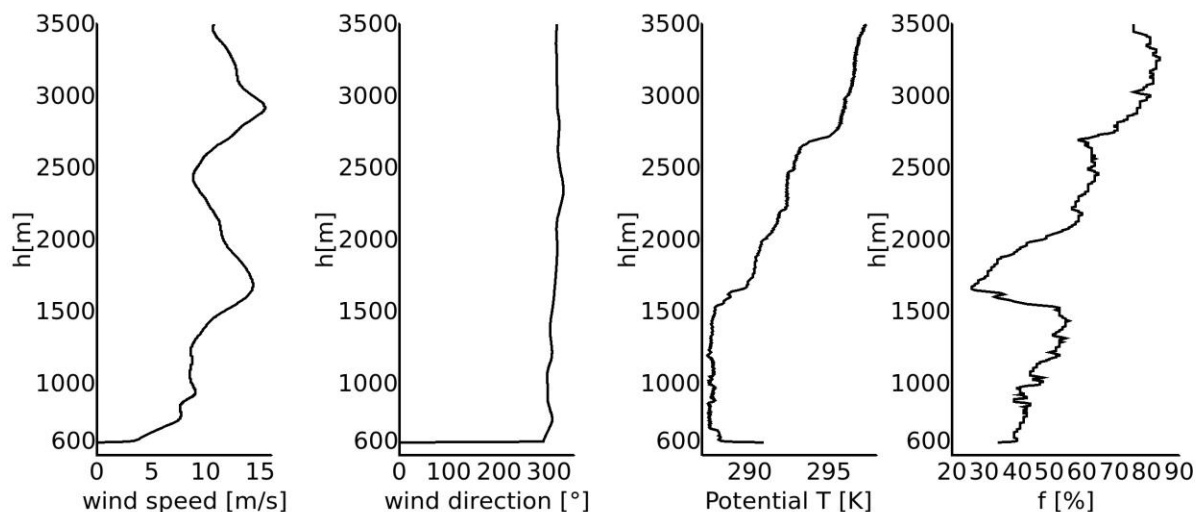
Фиг. 76. Вертикални профили на метеорологичните елементи — скорост и посока на вятъра, потенциална температура и относителна влажност за 27 Август 2018 г. (при преминаване на фронта).

Есента кампания през декември показва, че височината на АГС при преминаването на фронтната система или нахлувания на други въздушни маси над Софийското поле рядко се покачва над 1400 m надморско ниво (фиг. 8). В този период обаче, скоростта на вятъра е осезаемо по-висока и достига до над 20 ms⁻¹ (които са част от нахлувания, а не от фьонове обстановки).

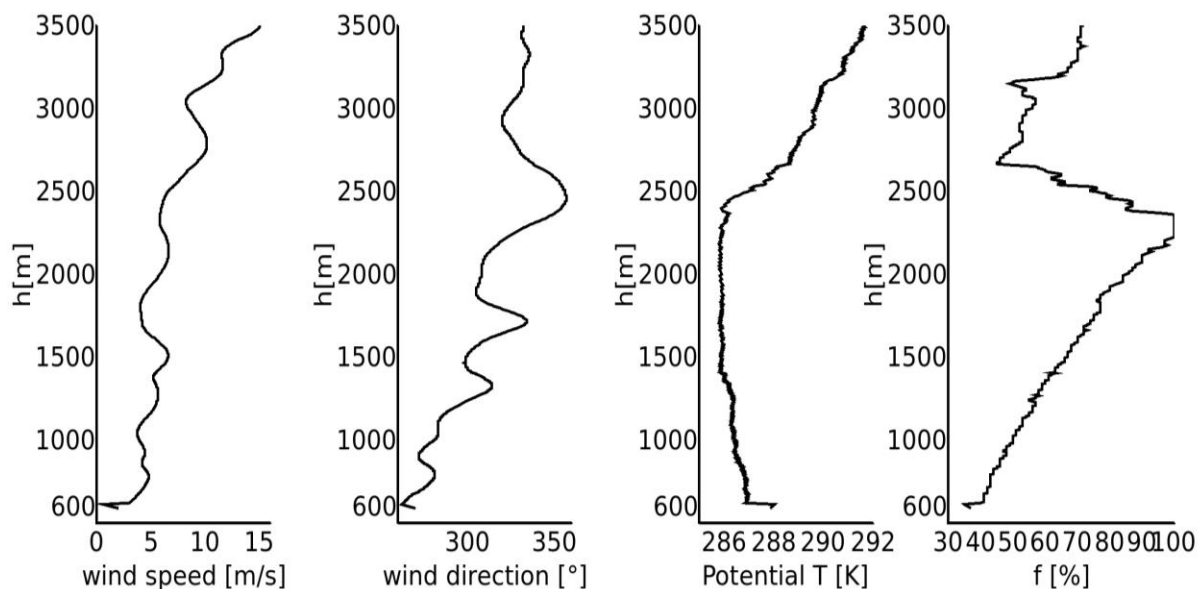


Фиг. 8. Вертикални профили на метеорологичните елементи — скорост и посока на вятъра, потенциална температура и относителна влажност за 14 Декември 2018 г.

Есента кампания през декември показва, че височината на АГС при преминаването на фронтовата система или нахлувания на други въздушни маси над Софийското поле рядко се покачва над 1400 m надморско ниво (фиг. 9). В този период обаче, скоростта на вятъра е осезаемо по-висока и достига до над 20 ms^{-1} (които са част от нахлувания, а не от фьонове обстановки).



Фиг. 9. Вертикални профили на метеорологичните елементи — скорост и посока на вятъра, потенциална температура и относителна влажност за 14 Декември 2018 г.



Фиг. 10. Вертикални профили на метеорологичните елементи — скорост и посока на вятъра, потенциална температура и относителна влажност за 15 Март 2019 г.

Избраният зимен период се характеризира с големи вариации на височината на АГС — от 1000 до 2200 m и типични скорости около 10 и над 10 ms^{-1} . От наличните

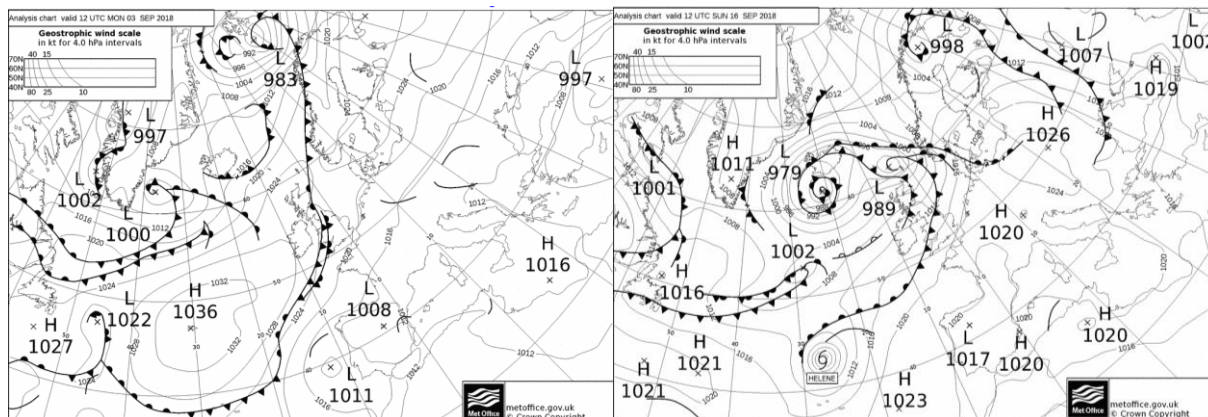
данни за непълния пролетен период също се вижда, че в края на март месец 2019 година височината на АГС отново варира в широки граници — от 1000 до 2400 m (фиг. 10) с определени дни скорости до 25 ms^{-1} във височина.

Организирането и провеждането на експеримент в района на Софийското поле бе успешно, създадена бе уникална база данни, която беше прибавена към вече съществуващата, което беше и очаквания резултат от тази дейност. Направена беше и първична обработка на част от данните, които бяха използвани при проведените дейности 2.2. и 2.3.

2.2. Провеждане на числени експерименти за избрани периоди от проведените интензивни кампании и верификация на модела

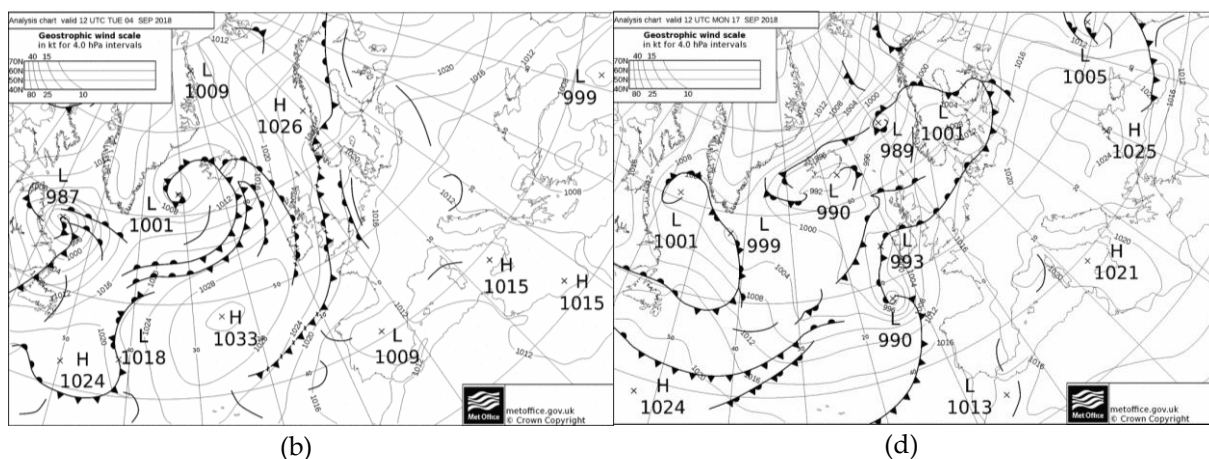
Избрани бяха два периода с продължителност два дни от първата измервателна кампания (18 август до 22 септември 2018г.) за провеждане на числени експерименти. Избраните периоди 3 - 4 и 16 - 17 септември 2018г. съответстват на типични промени в посоката на въздушния поток (обръщане на посоката на вятъра по географската ос на долината) и разполагат с достатъчно налични данни за оценка на работата на числения модел при възпроизвеждане на вертикална структура на полетата на вятъра и турбулентността.

Слаби градиенти на атмосферното налягане се наблюдават над Балканския полуостров на синоптичните метеорологични карти на Европа на фиг. 11 през избраните периоди за валидиране на данните от числения модел. В периода 1 - 2 септември 2018г. България е във фронталната част на висока долина и размита барично поле с относително ниско налягане и слаб циклонен градиент близо до земята, времето е предимно слънчево с високи температури около $35 - 36^\circ\text{C}$. На 3 и 4 септември долината се премества на изток през Балканите и стационарира над североизточните райони (фиг. 11 - а и б). Времето е предимно облачно като през нощта на 4 септември, на места в Западна България, се развива мощна купесто-дъждовна облачност, с гръмотевични бури и краткотрайни, но интензивни валежи. В периода 15 - 23 септември 2018 г. налягането при земята и във височина се повишава (фиг. 11 - в и г). В близост до земната повърхност израства хребет от запад, като над Балканите и Черно море дни се формира слаб антициклон. Във височина гребенът е от запад-югозапад. Времето е предимно слънчево с незначителна купеста облачност и температури по-високи от обичайните. В някои затворени котловини има сутрешни инверсии и по-ниски минимални температури.

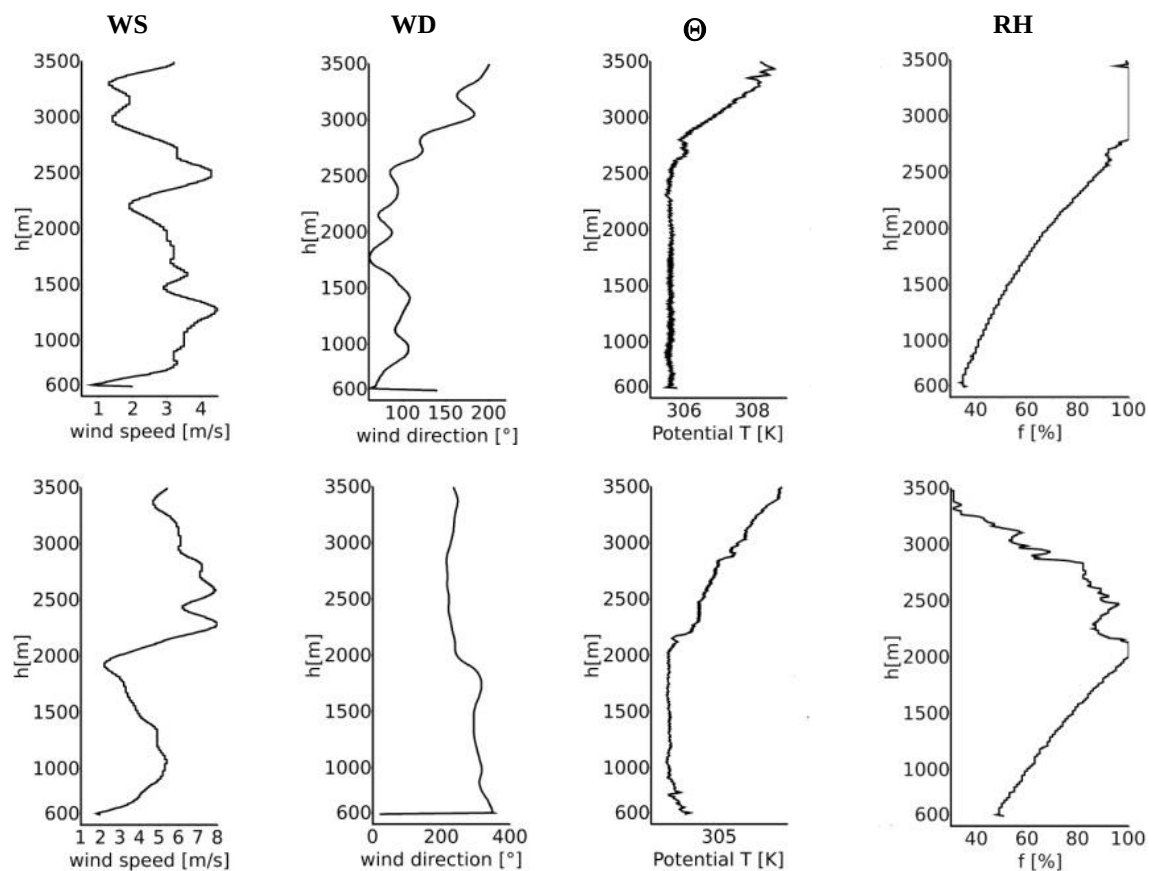


(a)

(c)



Фиг. 11. Синоптични метеорологични карти на Европа с наземен анализ на атмосферното налягане за 3 септември - (а), 4 септември - (б), 16 септември - (в), 17 септември - (г) на 2018 г. в 12 UTC (UK Met Office).

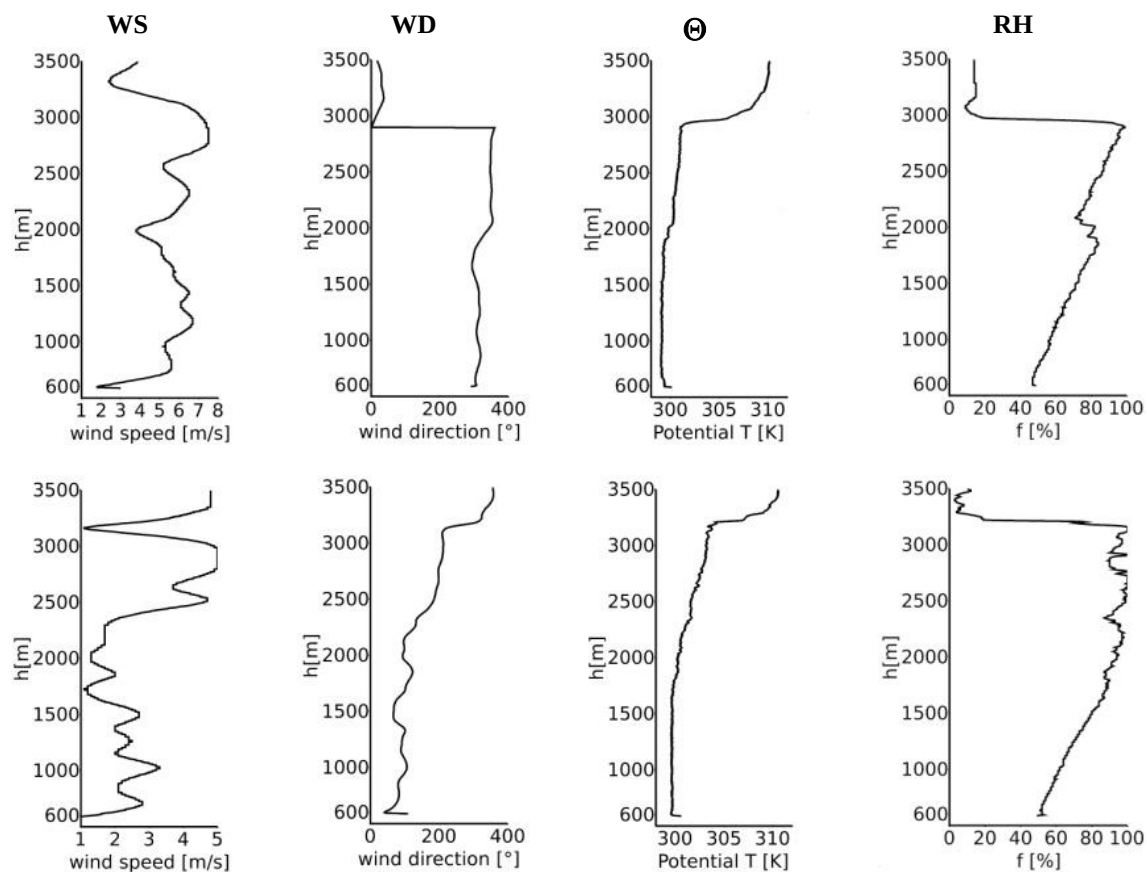


Фиг. 12. Профили от аерологичния сондаж от 12 UTC на скорост и посока на вятъра, потенциална температура и относителна влажност на 03.09.2018г. (първи ред) и 04.09.2018г. (втори ред).

Данните от аерологичните сондажи (от 12 UTC) са представени на фиг. 12 – 13. Те включват посока и скорост на вятъра, потенциална температура (Θ) и относителна влажност (RH). Сондите са пускани от ЦАО в НИМХ, разположена на 50 m югозападно

от содара, инсталиран в НИМХ. През двата дни от първия период са наблюдавани облаци по време на сондажа, с покритие повече от 6/10. На 3 септември височината на АГС е около 2700 m - изчислена от профила на Θ (фиг. 12) и с вятър от ESE. На 4 септември височината на АГС е 2100 m (фиг. 12) с посока на вятъра в АГС - NWN, а над него - WSW и скорост на вятъра по – ниска от 5 ms^{-1} в АГС и между 5 и 8 ms^{-1} над него.

На 16 септември посоката на вятъра е WNW и NNW и скорост между 5 - 7 ms^{-1} (фиг. 13) в рамките на АГС, височината на който е оценена на 2900 m. Над АГС е регистрирана промяна в посоката на вятъра към NNE и намаляване на WS над него. На 17 септември посоката на вятъра е ENE с около 2 пъти по-ниска скорост около 2 ms^{-1} (фиг. 13) в АГС. Височината на АГС е около 2200 m и над граничния слой посоката се променя до SSW с по – висока скорост от 4 ms^{-1} .



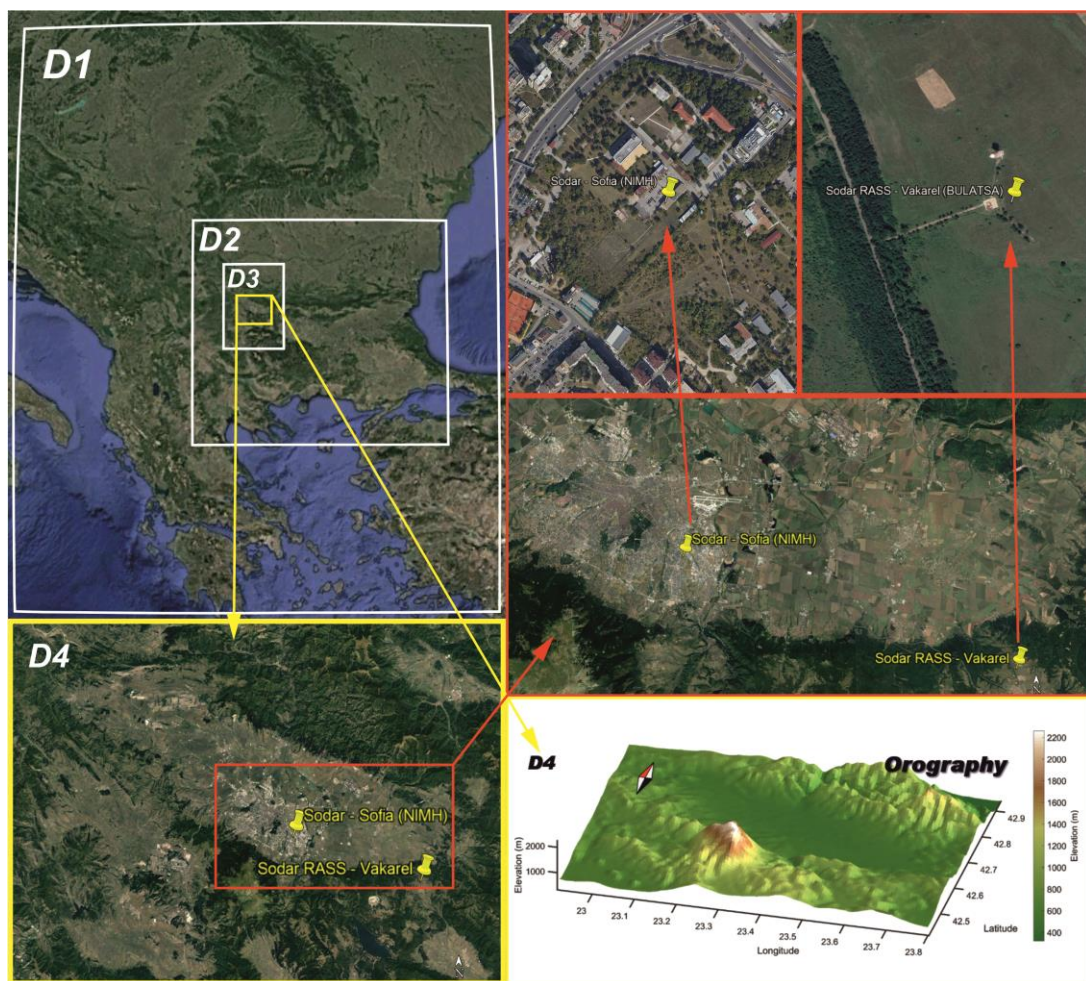
Фиг. 13. Профили от аерологичния сондаж от 12 UTC на скорост и посока на вятъра, потенциална температура и относителна влажност на 16.09.2018г. (първи ред) и 17.09.2018г. (втори ред).

За числените експерименти е използван моделът WRF (v3.9), като симулациите са извършени върху общо 4 вместилища една в друга области при използвана Ламбертова проекция. Най-външната област (D1) е с хоризонтална стъпка от 32 km и обхваща Балканския полуостров, D2 е със стъпка от 8 km и обхваща България, D3 е със стъпка от 2 km и обхваща Западна България и най-вътрешната област D4 е със стъпка от 500 m и покрива Софийското поле и обграждащите я планини. Областта на интерес е D4 със 157×129 клетки с обща площ приблизително $79 \times 65 \text{ km}$. Броят на вертикалните нива на модела е 99 до 50 hPa, с голям брой нива близо до земната повърхност – 23 нива (до 500

m) и 40 нива до 1000 m. Моделните области, увеличен изглед на най-вътрешната област D4, нейната орография, заедно с местоположение на содарите в София и Вакарел и околностите им е представено на фиг. 14.

Началните и граничните условия са получени от 0.25° NCEP Final Operational Model Global Tropospheric Analyses, налични на всеки 6 часа. Този продукт идва от Global Data Assimilation System, която непрекъснато събира данни от наблюдения от Global Telecommunications System. Асимилация на данни (fdda) е използвана за D1 за всичките вертикални нива и за D2 само за нивата над първите 10. Не е използвана асимилация на данни за D3 и за най – вътрешната област (Софийското поле).

За по-реалистично представяне на топографията е използвана базата на НАСА SRTM1Arc, която е с резолюция ~ 30 m. Разпространяваната с модела USGS база данни (~ 1 km разделителна способност) за земното покритие (подложната повърхност) също е подменена с по-съвременната и прецизна Европейска база данни CORINE 2012 (CLC2012, ЕЕА) с разделителна способност ~ 90 m. Извършена е преквалифицираща процедура за да се адаптира новата информация от CLC2012 към съществуващата класификация на подложната повърхност от USGS. Пълно описание на използваната методология е представено във Vladimirov et al. (2018).



Фиг. 14. Моделните области, увеличен изглед на най-вътрешната област D4, нейната орография и местоположение на содарите в София и Вакарел и околностите им.

Използваните физични опции на WRF включват новата версия на Radiative Transfer Model - RRTMG [1] за дълговълнова и късовълнова радиация; модела на земната повърхност Noah [2], за описание на микрофизичните процеси схемата Lin et al. описана в [3], подходяща за реални симулации с висока резолюция и Grell-Freitas [4] - параметризация за облаците с вертикално развитие (използвана само за D1 и D2). Две от наличните схеми за АГС (със съответните им схеми за приземен слой) - BouLac [5] и Quasi-Normal Scale Elimination scheme - QNSE [6] са избрани за настоящите числени експерименти след предварително сравнение с данни от предишни проучвания. При използването на тези схеми се получи най - доброто възпроизвеждане на наблюденията при предишните изследвания, когато бяха тествани всичките налични опции за АГС.

Бяха проведени четири числени експеримента (за два периода и две схеми за АГС), като резултатите са систематизирани в Таблицы 2 - 5. За валидирането на модела са използвани следните профили на метеорологични елементи: посока на вятъра (WD), хоризонтални компоненти на скоростта на вятъра (U и V), турбулентна кинетична енергия (ТКЕ) и температура на атмосферния въздух (Т) за Вакарел. Моделните резултати бяха интерполирани към нивата, на които содара извършва измервания максимум - 58 нива от 30 до 600 m на всеки 10 m. Следните статистически индикатори бяха изчислени за изследваните параметри: корелационен коефициент (*r*), средоквадратична грешка (*rmse*), стандартно отклонение (*SD*), средно (*mean*) на модела (*mod*) и на наблюдението (*obs*) и статистическо отклонение *bias* (*mod* - *obs*). Линеината връзка се счита за много слаба, ако $|r| < 0.3$, умерена, ако $0.3 < |r| < 0.5$, значима, ако $0.5 < |r| < 0.7$, силна, ако $0.7 < |r| < 0.9$ и много силна, ако $0.9 < |r| < 1$.

Таблица 2. Статистически индикатори за Sim.1 (BouLac, период: 03 – 04.09.2018г.)

		брой	r	rmse	SD mod	SD obs	bias	mean mod	mean obs
София	U	3251	0.735	2.3	2.3	3.4	0.4	-0.1	-0.5
	V	3251	0.662	2.0	1.6	2.7	-0.7	-0.8	-0.1
	ТКЕ	2869	0.589	0.7	0.9	0.5	1.0	1.7	0.7
Вакарел	U	9291	0.744	2.1	1.9	3.1	-0.1	-0.4	-0.3
	V	9291	0.583	2.9	2.7	3.5	0.3	0.1	-0.2
	ТКЕ	6361	0.744	0.7	1.0	0.5	0.1	0.7	0.6
	T	6975	0.785	1.7	2.3	2.7	0.1	18.9	18.8

Таблица 3. Статистически индикатори за Sim. 3 (QNSE, период: 03 – 04.09.2018г.)

		брой	r	rmse	SD mod	SD obs	bias	mean mod	mean obs
София	U	3251	0.575	2.8	2.4	3.4	-0.6	-1.1	-0.5
	V	3251	0.479	2.4	1.9	2.7	-0.9	-1.0	-0.1
	ТКЕ	2869	0.307	0.5	0.3	0.5	0.0	0.7	0.7
Вакарел	U	9291	0.601	2.5	2.1	3.1	-0.5	-0.9	-0.3
	V	9291	0.580	3.0	3.0	3.5	0.1	-0.1	-0.2
	ТКЕ	6361	0.596	0.4	0.3	0.5	-0.3	0.2	0.6
	T	6975	0.761	1.8	2.2	2.7	0.0	18.7	18.8

Статистическите индикатори за първия период (3 - 4.09.2018г.) са представени в Таблици 2 и 3 съответно с BouLac и QNSE схеми за граничен слой. Представени в таблиците също са броя на данните, използвани в показаната статистика. Единиците (не са показани в таблиците) за статистическите индикатори (без r) са както следва: за U и V ms^{-1} , TKE m^2s^{-2} , за T $^{\circ}C$. Сравнявайки двете местоположения (София и Вакарел), по-малки стойности на грешките и по-високи стойности на r (без V с BouLac за първия период) са получени за извънградската станция при преход от SE към NW поток. Сравнявайки двете схеми за този период се вижда, че по – висока корелация е изчислена с BouLac значителна или силна, докато при симулацията с QNSE се отчита умерена или значителна, като само за T , $r > 0.7$. Най - добре симулиран параметър е T с bias 0.1 (BouLac) и не отместена стойност за (QNSE).

Аналогично статистически индикатори за втория период (16 - 17.09.2018г.) са представени в Таблица 4 и 5 съответно с BouLac и QNSE схеми за граничен слой. В този случай отново има промяна на основния въздушен поток но в обратен ред, вятърът променя посоката си от NW към SE. По-големи грешки като цяло са получени за София, с по-малки стойности на r (с изключение на резултата за U при Sim. 4; Таблица 5). За Sim. 2 (Таблица 4) корелацията между измерените и симулирани параметри е силна и много силна с изключение за TKE в София (умерена). Трябва да се отбележи, че bias за Sim. 4 (Таблица 5) са по-големи по абсолютна стойност (с изключение на T) спрямо Sim. 2 (Таблица 4) и същевременно стойностите на r са по – ниски: слаба корелация за TKE (София), значителна корелация за V (София) и TKE (Вакарел), силна за U (София) и U , V (Вакарел) и много силна за температурата.

Таблица 4. Статистически индикатори за Sim. 2 (BouLac, период: 16 – 17.09.2018г.)

		count	r	rmse	SD mod	SD obs	bias	mean mod	mean obs
София	U	3252	0.894	2.7	3.1	5.1	-0.4	1.0	1.5
	V	3252	0.780	2.1	1.6	3.1	-0.3	-1.7	-1.4
	TKE	2682	0.399	0.7	0.8	0.5	0.9	1.8	0.9
Вакарел	U	10661	0.917	2.0	4.0	4.9	0.1	0.8	0.7
	V	10661	0.882	2.2	3.6	4.5	-0.3	-0.5	-0.2
	TKE	8528	0.727	0.6	0.9	0.8	-0.1	0.6	0.7
	T	8837	0.928	0.8	2.2	2.0	-0.8	16.0	16.8

Таблица 5. Статистически индикатори за Sim. 4 (QNSE, период: 16 – 17.09.2018г.)

		count	r	rmse	SD mod	SD obs	bias	mean mod	mean obs
София	U	3252	0.908	2.4	3.6	5.1	-0.6	0.9	1.5
	V	3252	0.655	2.4	1.5	3.1	-0.8	-2.3	-1.4
	TKE	2682	0.190	0.6	0.3	0.5	0.0	0.9	0.9
Вакарел	U	10661	0.876	2.4	4.5	4.9	0.4	1.1	0.7
	V	10661	0.880	2.2	4.1	4.5	-0.1	-0.52	-0.1
	TKE	8519	0.636	0.6	0.3	0.8	-0.4	0.3	0.7
	T	8843	0.915	1.0	2.4	2.0	-0.8	16.0	16.8

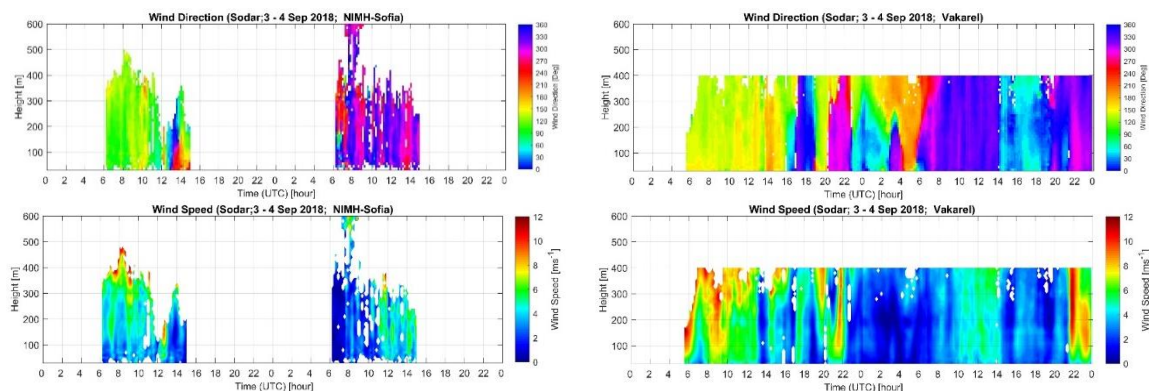
Сравнения на вертикалните профили между измерените и моделираните метеорологични параметри са представени в *Приложение 2*. В заключение може да се посочи 1) на базата на статистическите индикатори, изчислени за всеки период поотделно и всяка симулация, по – добри резултати за изследваните параметри са получени със схемата BouLac за АГС за двата периода, като първият, характеризиращ се със смяната посоката на вятъра от SE към NW, е по-добре възпроизведен и от двете схеми; 2) пространствените изменения във височина на разгледаните метеорологични параметри са възпроизведени с по-високи корелационни връзки в сравнение с тяхните времеви изменения (денонощния ход), като най-големи несъответствия са регистрирани при възпроизвеждането на вятъра по време на преходните периоди на смяна на посоката му и при възникване на локална циркулация.

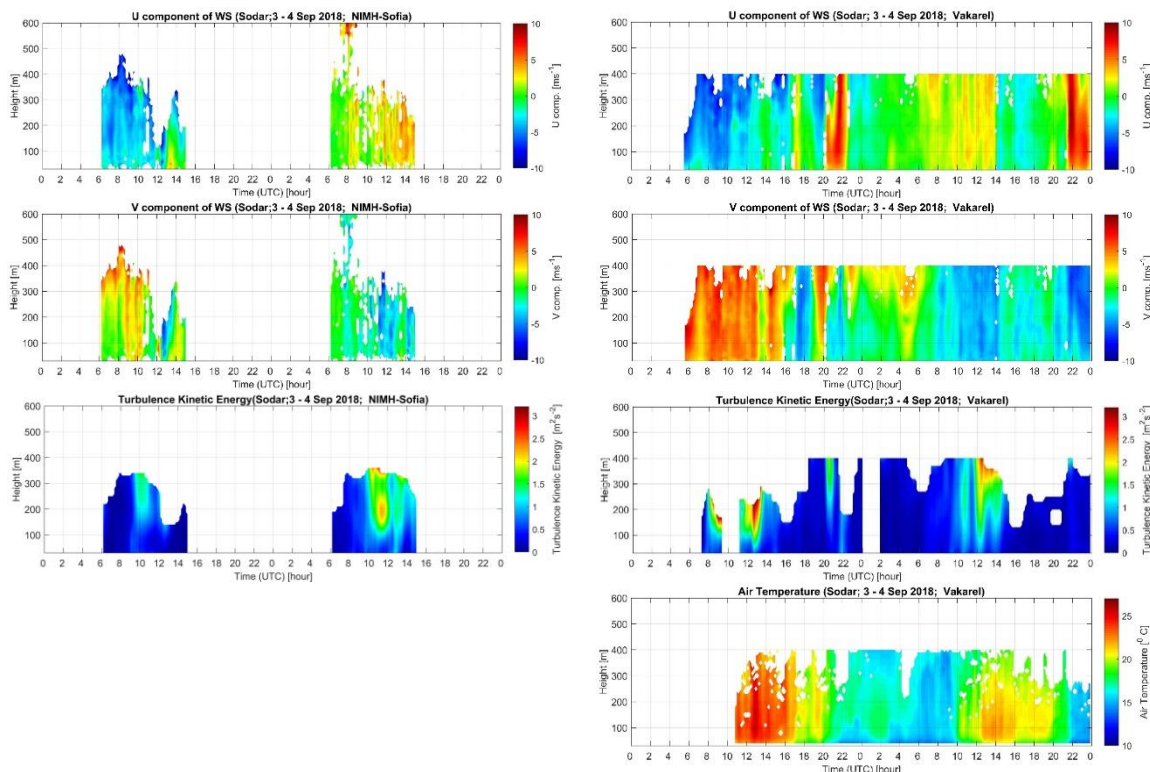
Очакваният резултат от тази дейност е изпълнен, като бяха оценени симулационните възможности на използвания модел WRF. Работата е част от презентация на конференция (EMS 2019), както и от подготвена статия, която за съжаление не успя да премине през процеса на рецензиране преди края на проекта.

Damyan Barantiev, Reneta Dimitrova, Hristina Kirova, Ekaterina Batchvarova, Maria Kolarova, Rosen Penchev, Evgeni Vladimirov, and Orlin Gueorgiev, Numerical simulations of wind field evolution over complex terrene against sodar measurements, EMS Annual Meetings Abstracts, Vol.16, EMS2019-577, 2019.

2.3. Изучаване еволюцията и спецификата на граничния слой в градска и извънградска среда, за различните групи, определени в РПІ

Дистанционните измервания на вертикалните характеристики на АГС в София и Вакарел са представени на фиг. 15 за периода 3 - 4 септември 2018г., който се характеризира с обръщане на посоката на вятъра по географската ос на Софийското поле от SE към NW и в двете локации на проведените измервания. През първия ден от периода се наблюдават по-високи стойности в полето на WS, достигащи до около 12 ms^{-1} . Средни скорости от около 6 ms^{-1} за Вакарел и 4.6 ms^{-1} за София са калкулирани за целите слоеве на измерване от содарите за същия ден между 6 и 15 UTC. Поради нощните ограничения на измерванията содарът в София не успя да регистрира прехода в WD, докато чрез непрекъснатите наблюдения във Вакарел се регистрира целият процес. Значителен спад в стойностите на WS в целия вертикален диапазон на содара се наблюдава по време на преходния период през нощта, което е свързано с честите промени в WD, наблюдавани по това време.



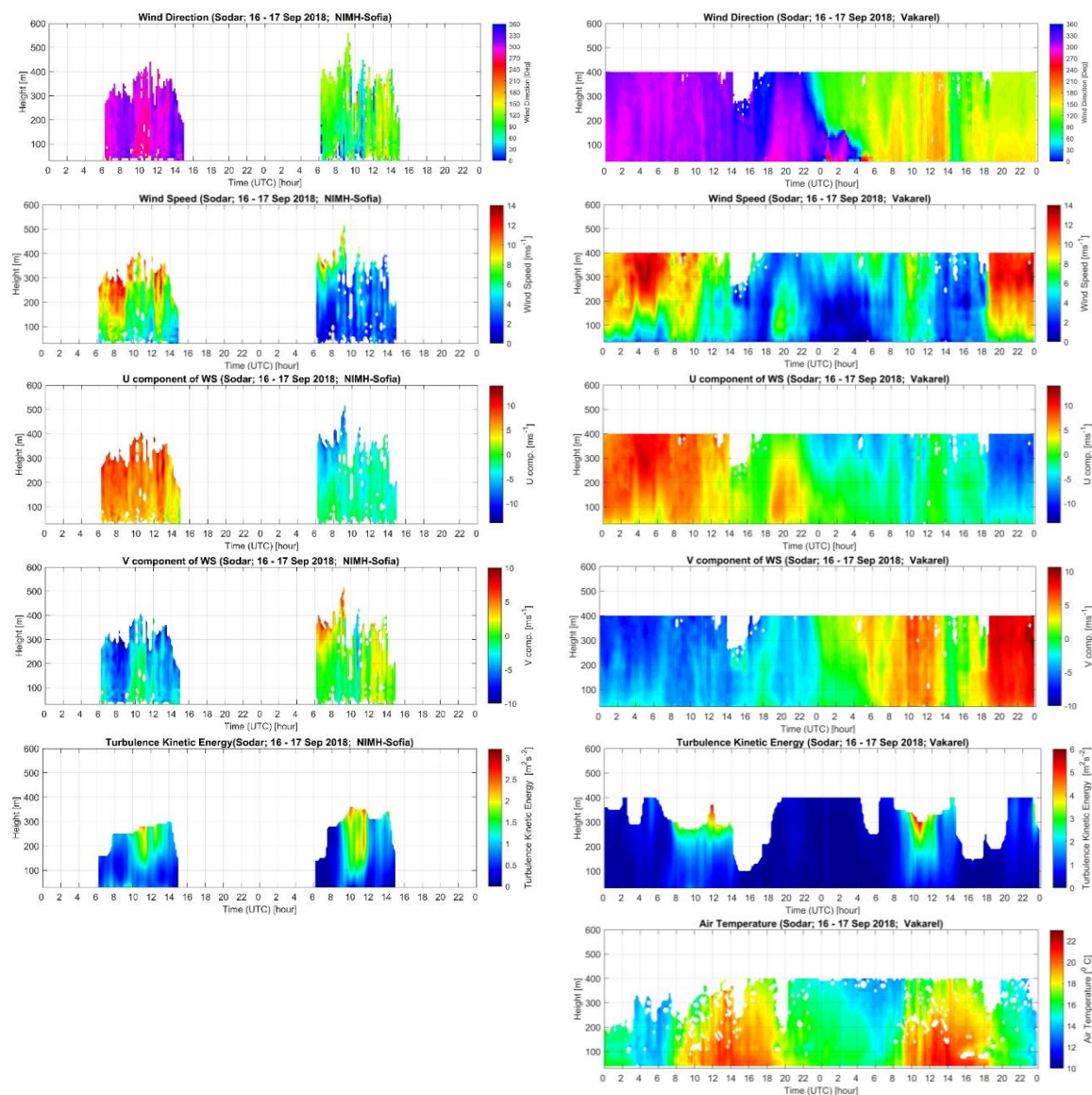


Фиг. 15. Содарни измервания на WD, WS, U, V, TKE в София и във Вакарел и Т (само за Вакарел) за периода 3 – 4 септември 2018г.

Когато се разглеждат хоризонталните компоненти на WS трябва да се отбележи, че положителните стойности на източната компонента U означава западен пренос, докато при северната компонента V, положителните стойности показват южен вятър. Наблюдава се преобладаващ Е вятър в града и SE извън градския район.

По-високи стойности на TKE са регистрирани от содара във Вакарел на 3 септември със средна стойност от $1.13 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ за времеви интервал 6 до 15 UTC за целия слой на измерване, докато в София тази средна стойност е повече от два пъти по-ниска $0.44 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$. На 4 септември тези стойности на TKE са доста близки, $0.89 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ за Вакарел и $0.91 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ съответно за София. Температурата е по-висока на 3 в сравнение с 4 септември във Вакарел, като максималните стойности спадат с $3.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ за втория ден.

Измерванията от содарите в София и Вакарел през втория период (16 - 17 септември 2018 г.) са представени на фиг. 16. Този период се характеризира отново с обръщане в посоката на крупномасщабния поток, но противоположно на първия период, WD от SW става SE и в двете точки на измерване. По време на втория период са регистрирани по-високи стойности на WS в сравнение с първия период. Аналогично се наблюдават по-високи стойности в полето на WS през първия ден (16 септември) и на двете места. Преходният период, наблюдаван през нощните часове в данните от Вакарел, е отново свързан с ниски стойности на скоростта на вятъра и рязка промяна на WD в целия вертикален обхват на содара – промяната настъпва първо във височина, след което и близо до земната повърхност.

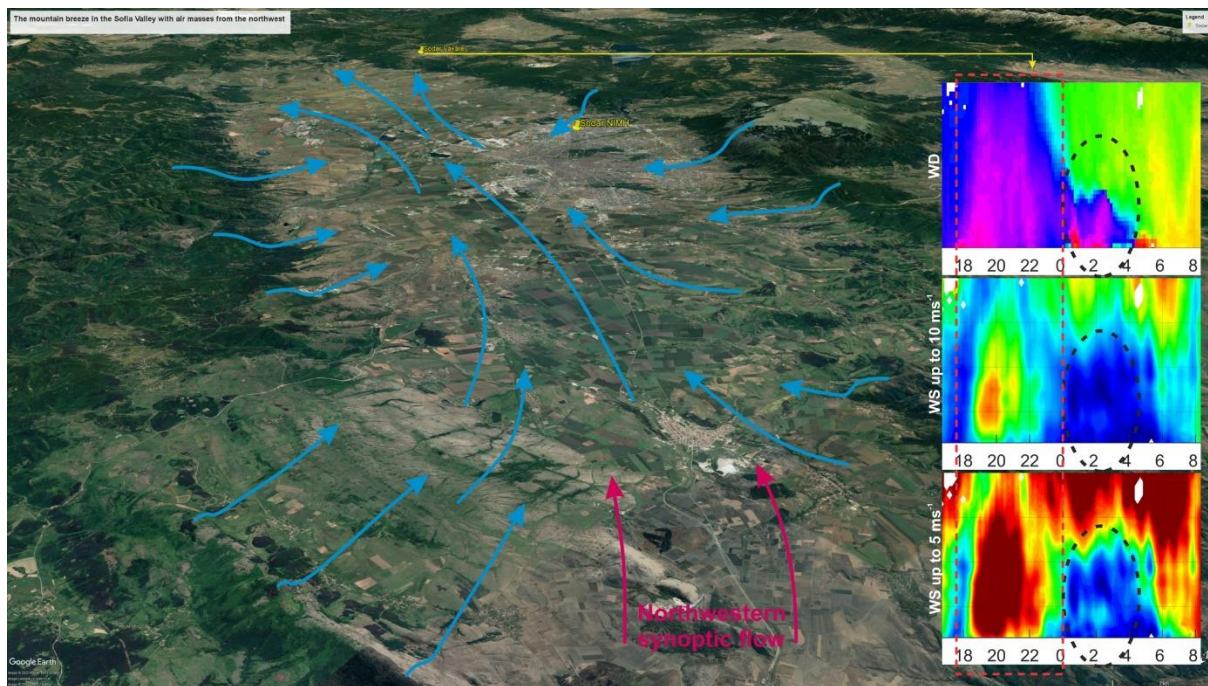


Фиг. 16. Содарни измервания на WD, WS, U, V, TKE в София и във Вакарел и Т (само за Вакарел) за периода 16 – 17 септември 2018г.

Наблюдаваните ниски стойности на WS се препокриват от части от тихата зона (почти безветрие) на локална циркуляция, попаднала в обхвата на содара. Планински бриз в периферията на долината е регистриран от содара във Вакарел от 17:30 UTC на 16 септември до 5:30 UTC 17 септември (фиг. 16). Схематично представяне на нощната локална циркуляция в Софийската долина при северозападен синоптичен поток е показано на карта на Google Earth на Фиг.17. До 0:20 UTC регистрираната локална циркуляция е подхранвана от преобладаващия NW синоптичен поток над изследвания район (Фиг. 16). Вертикалните мащаби на планинския бриз с включена зона на затишие надвишават обхвата на содара (в първата експериментална кампания до 400 m височина), както във времеви интервал от 19:40 до 20 UTC в полето на WS се наблюдава ясно наличието на ядро на бризовата циркуляция с максимални достигнати стойности на скоростта от $7 - 8 \text{ ms}^{-1}$ на височина между 70 и 150 m. Подобна вертикална структура на

локалната циркулация в полето на вятъра, но за крайбрежния регион на България (морски бриз) е представена подробно и класифицирана в [7].

Количествените и качествени характеристики на наблюдавания планински бриз бързо отслабват след 0:20 UTC, когато преобладаващият NW синоптичен поток се обръща в противоположна посока SE във височина (Фиг. 16). Оптимален вертикален мащаб от 150 m на клетката се наблюдава между 2 и 2:30 (без зоната на затишие, в която се регистрира обратния поток на бриза във височина), когато преобладаващият синоптичен поток се променя до SE. Ядрото на новосформиралата се бризова клетка в полето на WS е локализирано на височина от 50 до 70 m със стойности, близки до 2 ms^{-1} .



Фиг. 17. Схематично представяне на планински бриз, под влиянието на северозападен синоптичен поток в Софийското поле, достигащ югоизточната периферия на долината, граничеща със склоновете на планината Ихтиманска Средна гора (карта - Google Earth).

По-високи стойности на ТКЕ се наблюдават през втория период на изследване и на двете места, като най-високите стойности са регистрирани от содара във Вакарел и за двете дати (фиг. 15, 16). Максимална стойност на ТКЕ от $5.4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ е регистрирана на 16 септември на височина 370 m в 11:40 UTC и $5.6 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ на 17 септември на 300 m в 10:40 UTC. Малко по-висока средна стойност от $1.4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ е регистрирана от содара във Вакарел между 6 и 15 UTC за всички нива на измерване на 16 септември в сравнение с $1.3 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$, регистрирана на 17 септември, докато в София са изчислени средни стойности от $0.9 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ съответно за двата дни.

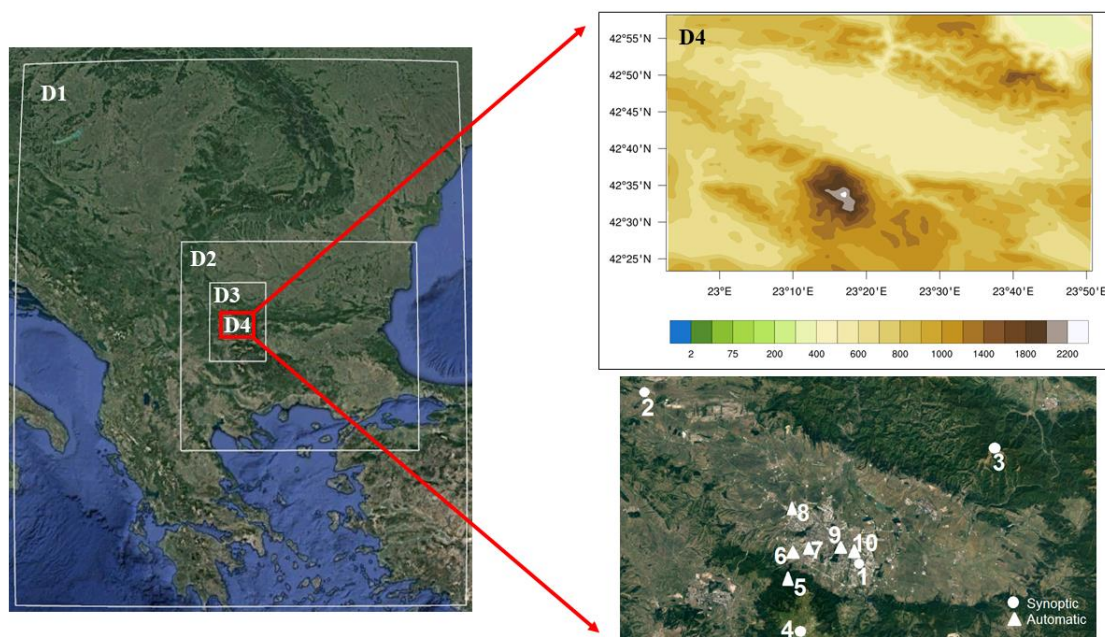
Малко по-високи стойности са регистрирани при температурните профили на 17 септември в сравнение с тези от 16 септември във Вакарел. Установената разлика в максималните стойности на температурата на атмосферния въздух за двата дни е 0.9°C (Фиг. 16). По-ниски температури се регистрират във Вакарел през втория период в сравнение с първия.

Очакваният резултат от тази дейност е изпълнен, бе описана спецификата на вертикалния профил на граничния слой над градска и извънградска среда при различни метеорологични условия. Работата е част от презентация на конференция (EMS 2019), както и от подготвена статия, която за съжаление не успя да премине през процеса на рецензиране преди края на проекта.

Damyan Barantiev, Reneta Dimitrova, Hristina Kirova, Ekaterina Batchvarova, Maria Kolarova, Rosen Penchev, Evgeni Vladimirov, and Orlin Gueorgiev, Numerical simulations of wind field evolution over complex terrene against sodar measurements, EMS Annual Meetings Abstracts, Vol.16, EMS2019-577, 2019.

РПЗ. Изучаване спецификата на мезо-машабната циркулация при различни метеорологични условия

Спецификата на комплексната топография и градската среда изисква числени симулации с висока разделителна способност. Въпреки проведени предходни числени експерименти за района, мащабни изследвания с такава висока резолюция в хоризонтални (500 m) и вертикални (50 нива) мащаби не са правени до сега. Специфичната цел на този работен пакет е да се избере оптималната конфигурация на модела WRF за изследваната област (фиг. 18) и моделните данни да се използват за изучаване спецификата на мезо-метеорологичната циркулация в района на Софийското поле.



Фиг. 18. Карта на най-вътрешната моделирана област със стъпка 500 m и местоположение на станциите, използвани за верификация на модела - синоптични станции с измервания на всеки 3 часа (символ кръг): 1. София-НИМХ, 2. Драгоман, 3. Мургаш, 4. Черни връх и автоматични станции с почасови измервания (символ триъгълник): 5. Копитото, 6. Павлово, 7. Хиподрума, 8. Надежда, 9. Борисова градина и 10. Дружба.

3.1. Описание, анализ и избор на типични метеорологични ситуации по наличните архивни данни, за целите на числения експеримент

За целите на числените експерименти, свързани с работата по този пакет, бе необходимо избирането на конкретни метеорологични обстановки, с помощта на които да се изследва влиянието на крупно-машабните (синоптични) потоци върху мезо-машабните (локални) условия в района на Софийското поле. Освен тях бяха избрани други метеорологични обстановки, свързани с характерни явления, наблюдаващи се в района на град София, като мъгла, интензивни валежи и градушки.

Изборът на метеорологичните ситуации е направен с помощта на данни от електронния архив, както и от архива с анализирани синоптични карти на НИМХ -БАН. За пълнота и достоверност на анализа, изборът е направен на базата на приземни и височинни характеристики на атмосферата. Разглеждането на тези характеристики в цялата нужна дебелина на атмосферата, осигурява точно диагностициране на онези от тях, имащи основна роля при развитието на интересуващите ни процеси. След анализиране на предварително избран (поради наличност на данни от глобалните модели Global Forecas System (GFS) с по-добра разделителна способност, вход към модела) едногодишен период от август 2015 г. до август 2016 г. бяха определени общо 12 обстановки, които обхващат общо период от 23 дни. Избраните 12 случая са анализирани допълнително с помощта на реанализи от глобалния числен модел на американската метеорологична служба (NOAA) - GFS. Синоптичните обстановки и данните за тях са събрани, обобщени и подробно описани. Част от подбора и анализа се осъществява с помощта на софтуер за статистически анализ StatSoft.

Очакваният резултат от тази дейност беше разработването на методология за описание, анализ и избор на типични метеорологични ситуации по наличните архивни данни. Този резултат беше постигнат, методологията е установена и използвана за подбор на метеорологични обстановки, свързани с подробното изследване влиянието на синоптичните процеси върху локалните изменения на потока за района на Софийското поле.

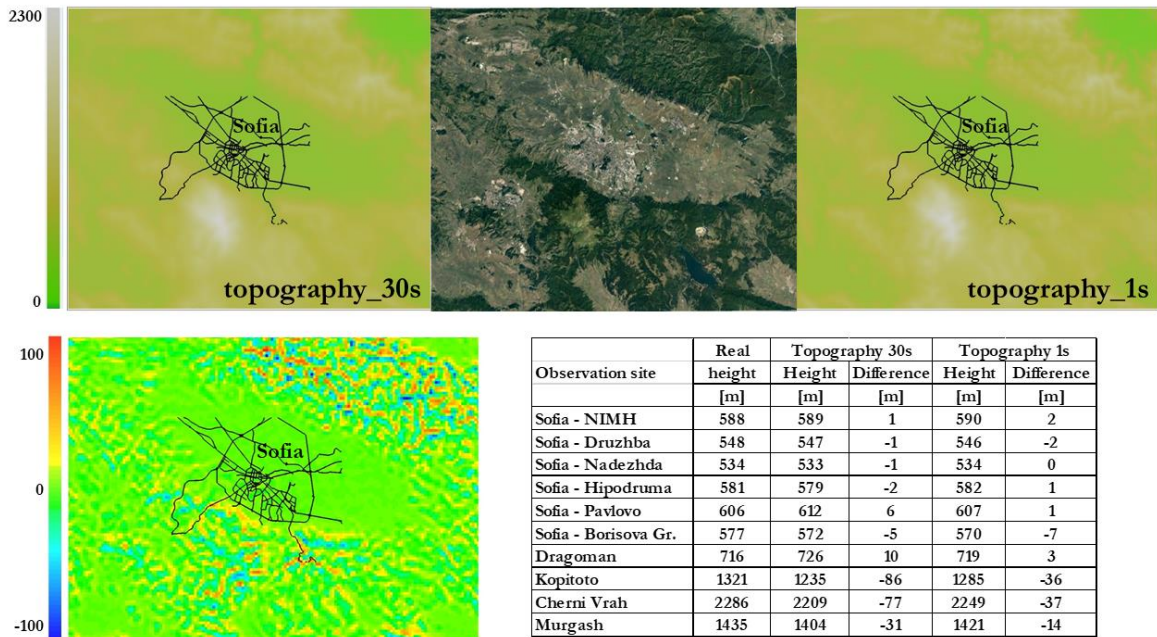
3.2. Конфигурация на модела и провеждане на машабни числени експерименти

Цялостната работа по конфигуриране на модела WRF за мултимашабни симулации с използване на „нестинг“ процедура, с най-вътрешна област покриваща Софийското поле с хоризонтална резолюция 500 m е завършена. Беше подготвен и осъществен набор от числени експерименти за избраните в РПЗ.1 метеорологични ситуации с различни моделни конфигурации, с цел да се определят оптималните параметри, така че да работят достатъчно надеждно при широк набор от явления – силен вятър (над 10 ms^{-1}), умерен (между 5 ms^{-1} и 10 ms^{-1}), слаб (под 5 ms^{-1}), антициклонално тихо и слънчево време.

Бяха направени и редица промени, свързани с подобряване на представянето на орографията и подложната повърхност в модела WRF. Беше приложена методика за обработване и привеждане на сурови топографски данни към разпознаваеми от споменатия модел данни от мисия SRTM (<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>). Разработен беше софтуер, който позволява автоматизацията на процеса и позволява получаването на детайлна орография за района на цяла България (фиг. 19).

Разликата е в обхвата $\pm 100 \text{ m}$ с основно отклонение при по-високите точки. Топографията с висока разделителна способност намалява разликата в сравнение с

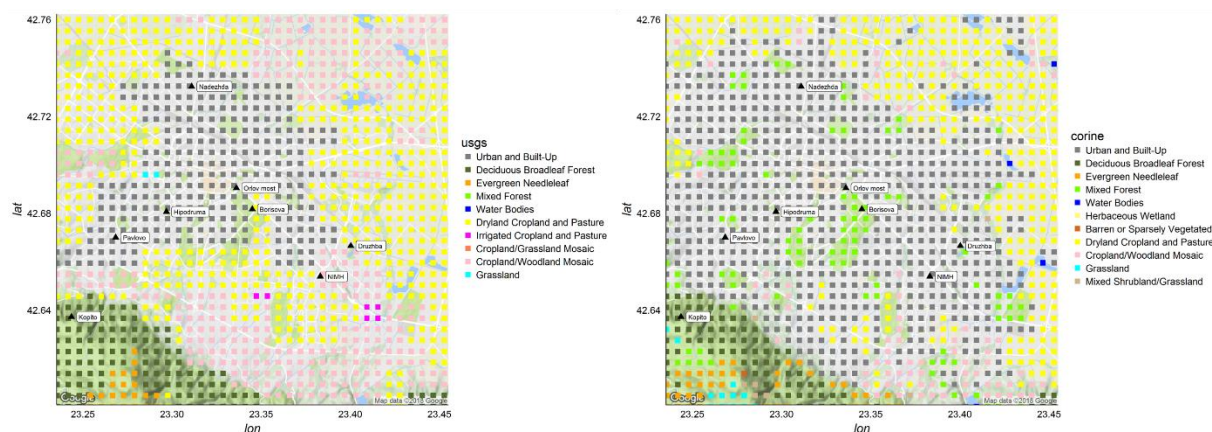
реалната надморска височина за повече от станциите по върховете, най-значима за Копитото (50 m) и Черни връх (40 m). Промяната в Софийското поле не е съществена. По-детайлното представяне на орографията в модела води до подобрене в моделните резултати, най-вече по високите планински части, където изгладената топография (разпространявана свободно заедно с модела) има най-съществени отклонения от действителната височина.



Фиг. 19. Топография с 30 и 1 arc-секунди и карта на областта от Google Earth (горен панел); карта на разликата между двете бази данни и таблицата с разлики за конкретни локации използвани за валидиране на модела (долен панел).

Една от главните слабости при мезо-метеорологичните модели е не-доброто описание на подложната повърхност, която описва топлофизичните свойства на долната граница на модела и пряко влияе върху моделните резултати. Затова беше приложена методика за замяна на стандартната подложна повърхност в числения модел WRF с по-съвременна и с по-висока разделителна способност. За основа бяха използвани сурови данни от европейска мисия за събиране на данни CLC2012 (<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>) за района на цяла Европа и приложена методика, чрез която да се преобразуват данните в разпознаваеми от числения модел. За тази процедура отново бе разработен автоматичен софтуер. Бяха направени сравнения между 4 различни типа подложни повърхности, както и между старата конфигурация и конфигурацията след направените промени (фиг. 20), като беше оценена работата на модела.

Използването на по-съвременни бази данни, с по-висока разделителна способност, съществено подобрява представянето на параметрите на подложната повърхност и води до намаляване на грешките в моделните резултати, особено в района на градската среда. Използваните данни от CLC2012, внедрени в модела са единствените, които описват парковете в рамките на града и дават най-добри резултати при сравнителния анализ с останалите 3 бази данни. Подробности за получените резултати и направената верификация на модела са публикувани в Vladimirov et al. (2018).



Фиг. 20. Сравнение на различни категории подложна повърхност, картографирани с използване на USGS (30 s) и адаптираните данни с висока разделителна способност CORINE (3 s).

Очакваният резултат от тази дейност беше конфигуриране на модела и избор на оптималните моделни параметри, така че да работят достатъчно надеждно при широк набор от метеорологични ситуации. Всичко предвидено беше постигнато, свидетелство за което са публикуваната статия и два доклада от конференции.

Vladimirov E., Dimitrova R. Danchevski V. (2018) Sensitivity of WRF model results to topography and land cover: study for the Sofia region. *Annuaire de l'Université de Sofia "St. Kliment Ohridski", Faculté de Physique*, 111, 87-101.

Vladimirov E., Dimitrova R. Danchevski V. (2018) Sensitivity of WRF model results to topography and land cover: study for the Sofia region, Bulgarian 10th Jubilee International Conference of the Balkan Physical Union, Sofia Bulgaria, August 26 -30, 2018.

Vladimirov E., Dimitrova R. Danchevski V. (2019) Подобрене на метеорологична числена прогноза с CORINE Land Cover, 2012, Първи национален семинар по програма „Коперник“ на ЕС, 22-23 ноември 2018 г., София, България

3.3. Верификация на моделните резултати с наличните приземни и височинни експериментални данни за основните метеорологични характеристики

За да ползваме моделните резултати в по-нататъшни изследвания е необходима верификация, т.е. сравняването на моделните данни с данни от измервания, за да може да се оцени тяхната представителност. Използвана беше цялата налична база създадена в РП1.1, като поради недостатъчния брой на измервателни станции в София бяха добавени и данни от станциите на Министерството на околната среда и водите (общо 6) в рамките на града и една височинна станция на Копитото. Направената валидация включва анализ на данните от стандартните приземни измервания (температура и влажност на 2 m), вятър (скорост и посока), от аерологичните сондажи (температура, влажност, вятър) и някои по-специфични характеристики като височина на АГС. Бяха пресметнати статистически характеристики, описващи възможността на модела да описва адекватно действителните атмосферни процеси. Под-мрежовите процеси се параметризират в мезо-машабните модели и изборът на схема е от изключителна важност за получените моделни полета. В модела WRF се параметризират няколко основни процеса – късовълнова и дълговълнова радиация, микрофизичните процеси, турбулентните процеси, процесите на пренос в почвата и потоците описващи

взаимодействието на почвата с въздуха, както и формирането на облаците (прилага се за по-грубите изчислителни мрежи само). За да се направи оптималния избор за използвани параметризации е необходимо да се тестват различни схеми, като поради техния голям брой всевъзможните комбинации от тях са трудно осъществима задача. За изследването в този проект най-голям принос има правилното описание на турбулентните процеси, имащи основна роля за формирането на АГС. Поради тази причина, числените експерименти бяха фокусирани главно върху използването на различни параметризации на турбулентността и верификация на моделните резултати, получени с всяка от тях, за да се получи количествена оценка за оптимален избор. Категоричният избор на една схема е непосилна задача, тъй като според своята природа локалните схеми работят по-добре при устойчиви условия в атмосферата, докато нелокалните при конвективни условия. Но проведените експерименти сведоха наличните в модела 8 схеми до 3, които най-добре описват потока при различни условия. В допълнение бяха тествани и няколко различни параметризации за микрофизиката. Резултатите от тази работа са част от презентациите на две конференции и една публикувана вече статия (Egova et al., 2017), които са представени като резултати в дейност 3.4 на пакета.

В допълнение към направеното, за една от избраните схеми на АГС, а именно Quasi-Normal Scale Elimination (QNSE), беше направена допълнителна верификация на модела, използвайки данните от експеримента София (2003). Освен основните метеорологични характеристики, оценявани в предишните описани изследвания, в тази работа бяха оценени и приземните турбулентни потоци топлина, влага и момент на движение, които са критични за моделиране на конвективното смесване, нарастването на АГС и движенията в атмосферата. Единствено от този експеримент съществуваха налични данни от измервания на характеристиките на турбулентното движение в град София, преди проведената нова кампания през втория етап на проекта. Трябва да се отбележи, че дори приземните полета на метеорологични параметри да са задоволително моделирани, то приземните потоци могат да се окажат не достатъчно добре възпроизведени от модела, което отчасти се дължи на невъзможността на параметризациите в числените модели да уловят/представят добре подмрежовата турбулентност. Затова тази оценка е особено важна и представя възможностите на модела за адекватно описание на турбулентността. Резултати от това изследване са представени в Kirova et al. (2019) и Приложение 3.

Резултатите от проведеното изследване позволиха да се направи положителна оценка за възможностите на модела да описва адекватно вертикалните профили и приземните турбулентни потоци в различни периоди от денонощието. Работата представляваше предварителна подготовка за последващото използване на модела във втория етап на проекта за симулиране характеристиките на въздушния поток за периода на проведения полеви експеримент в РП2.

Очакваният резултат от тази дейност беше конфигуриране на модела и избор на оптималните моделни параметри, така че да работят достатъчно надеждно при широк набор от метеорологични ситуации. Всичко предвидено беше постигнато. Подробности за използваната конфигурация на модела и проведената верификация бяха представени на международна конференция ITM 2019 (37th International Technical Meeting) и последвала публикация Kirova et al. 2019, нпуета за печат.

Kirova H., Batchvarova E., Dimitrova R., Vladimirov E. (2019) Validation of WRF with detailed topography over urban area in complex terrain. Proceedings of the 37th

International Technical Meeting on airpollution modelling and its applications (ITM2019), 23rd – 27th September 2019.

Kirova H., Batchvarova E., Dimitrova R., Vladimirov E. (2019) Validation of WRF with detailed topography over urban area in complex terrain, Air Pollution Modeling and its Application XXVII, Editors: Dr. Clemens Mensink, Dr. Volker Matthias, приема за публикация.

3.4. Анализ на моделните резултати за определяне на основните мезо-метеорологични явления в района на Софийското поле и влиянието им върху крупномасштабните синоптични потоци

В рамките на тази дейност бяха проведени два типа числени експерименти: 1) за установяване на модификацията на крупномасштабните синоптични потоци, вследствие комплексния терен и формирането на устойчиви мезо-масштабни циркулации в района, при различен тип нахлуващ поток; 2) изследване на влиянието на градската среда върху формирането на специфична мезо-масштабна циркулация и промяна на турбулентните потоци вследствие на тази градска среда. Първият тип експерименти обхваща 9 избрани случая с различен тип синоптично нахлуване, съобразено с ориентацията на Софийското поле така, че потокът да е перпендикулярен на планинските препятствия Витоша и Стара Планина (NE и SW), или да е насочен по оста (NW и SE) вятър. За всеки един от тях бяха разгледани условия със силен или умерен вятър. За сравнение е изследван и един случай със слаб вятър, когато термичните ефекти за генериране на движение имат по-голям принос от механичните. Описание на изследваните случаи е представено в Таблица 6.

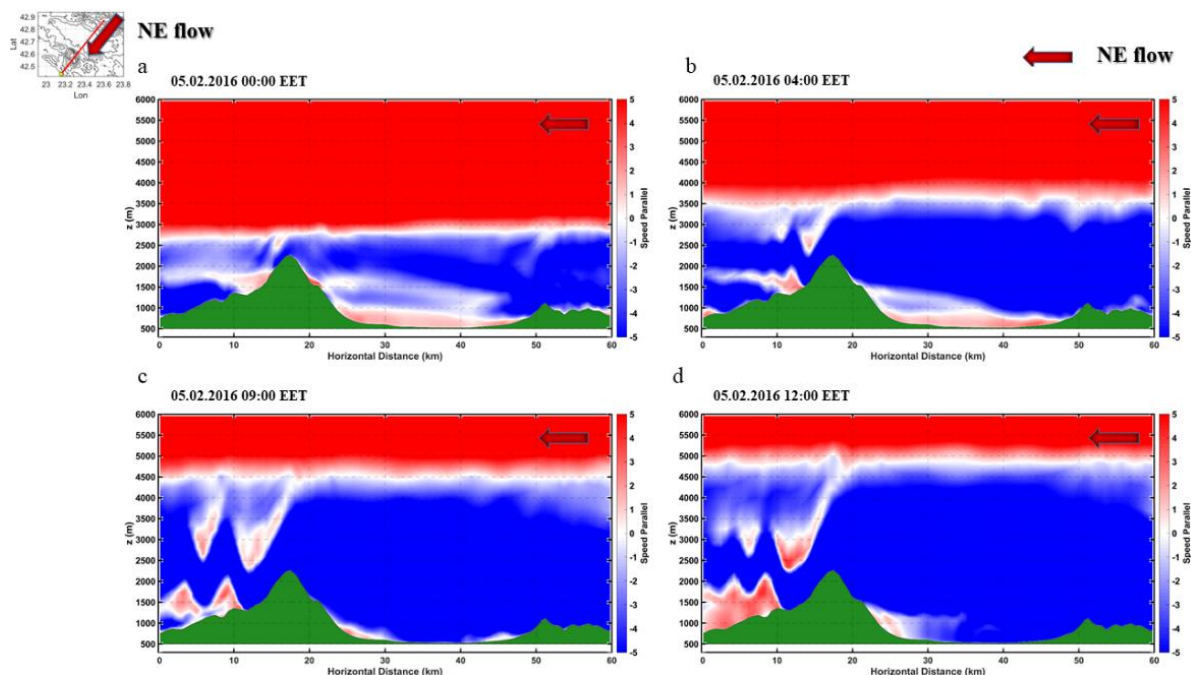
Таблица 6. Описание на изследваните случаи 9 на брой в периода Август 2015 – август 2016

Случай	Начало (UTC)	Край (UTC)	Посока на вятъра	Скорост на вятъра
Случай 1	14/08/2016 00:00	16/08/2016 00:00	безветрие	< 5 m/s
Случай 2	04/01/2016 00:00	05/01/2016 00:00	Слаб SW вятър	5 – 10 m/s
Случай 3	06/08/2015 00:00	07/08/2015 00:00	Слаб NE вятър	5 – 10 m/s
Случай 4	11/11/2015 00:00	12/11/2015 00:00	Слаб NW вятър	5 – 10 m/s
Случай 5	22/10/2015 00:00	23/10/2015 00:00	Слаб SE вятър	5 – 10 m/s
Случай 6	22/11/2015 00:00	23/11/2015 00:00	Силен SW вятър	> 10 m/s
Случай 7	05/02/2016 00:00	06/02/2016 00:00	Силен NE вятър	> 10 m/s
Случай 8	25/05/2016 00:00	26/05/2016 00:00	Силен NW вятър	> 10 m/s
Случай 9	27/11/2015 00:00	28/11/2015 00:00	Силен SE вятър	> 10 m/s

Анализирани бяха приземното (на 10 м) и на височина 700 hPa поле на вятъра, които описват модифицирания и несмутения крупномасштабен поток. В резултат на тези експерименти бяха получени някои изводи за влиянието на орографията и градската среда върху формирането на локалната мезо-циркулация. По-интересна е модификацията на синоптичния въздушен поток, когато посоката е перпендикулярна на основните препятствия Стара планина и Витоша. Североизточният синоптичен поток се сблъсква с планината Витоша, част от въздуха е блокирана, част от потока се разделя около препятствието, образувайки зона на застой в рамките на следата зад планината. Друга част от потока се обръща срещу основното течение, образувайки голям мезо-вихър

в източната част на долината. Синоптичният поток от SW е случай с най-висока скорост на вятъра повече от 25 ms^{-1} при 700 hPa. Той има достатъчно енергия за преодоляване на планината Витоша, което прави голяма зона на стагнация след препятствието със слаб обратен поток.

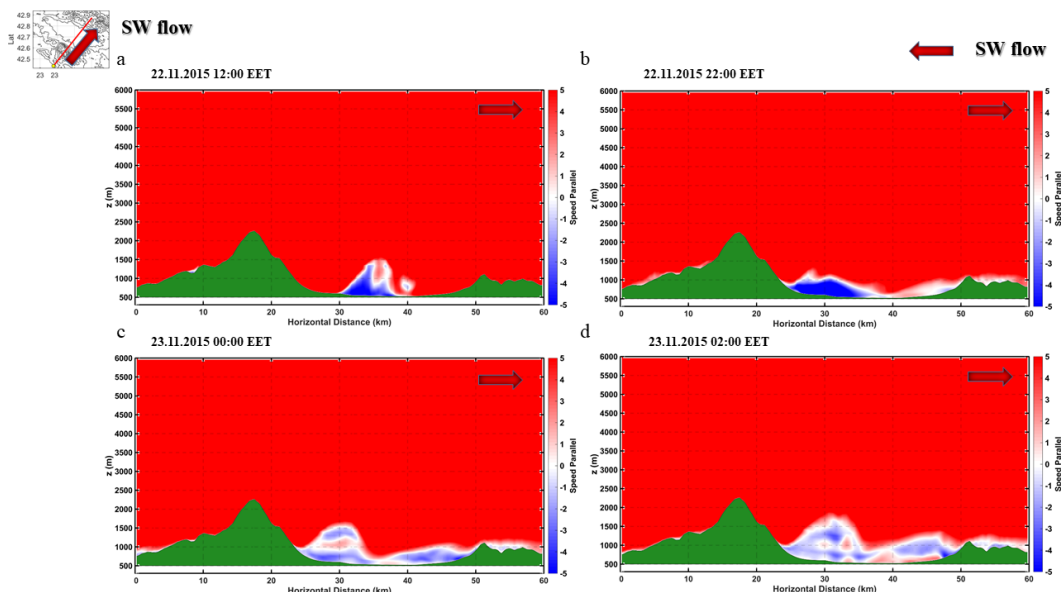
Вертикалните сечения на интерполираните хоризонтални вектори на вятъра при избраното напречно сечение по оста на долината са показани както за интересни случаи (случаи 6 и 7), така и за случая на безветрие. Фиг. 21 съответства на случай 7 със силен NE поток, който среща планината Витоша.



Фиг. 21. Вертикални сечения на полето на вятъра в различно локално време (UTC + 2 часа) при силен NE синоптичен поток (показан в горния ляв ъгъл) за случай 7.

По време на устойчивите нощни условия се симулират три слоя с обратен поток в средата (фиг. 20а, б). Дебелината на обратния поток се увеличава с времето и рязката промяна в посоката на вятъра води до разпространение на потока зад препятствието и образуване на големи вихри в подветрените склонове на планината Витоша. Вторичен обратен поток се наблюдава в долината близо до земната повърхност след достигане до по-ниските препятствия в северната част на Софийското поле. Флуктуациите нарастват с течение на времето, образувайки орографски вълни с максимална амплитуда преди изгрева, когато устойчивостта е най-висока (фиг. 20в). След изгряването на Слънцето стабилният нощен слой става по-слаб, амплитудата на формираните вълни намалява (Фиг. 20г) и те постепенно изчезват.

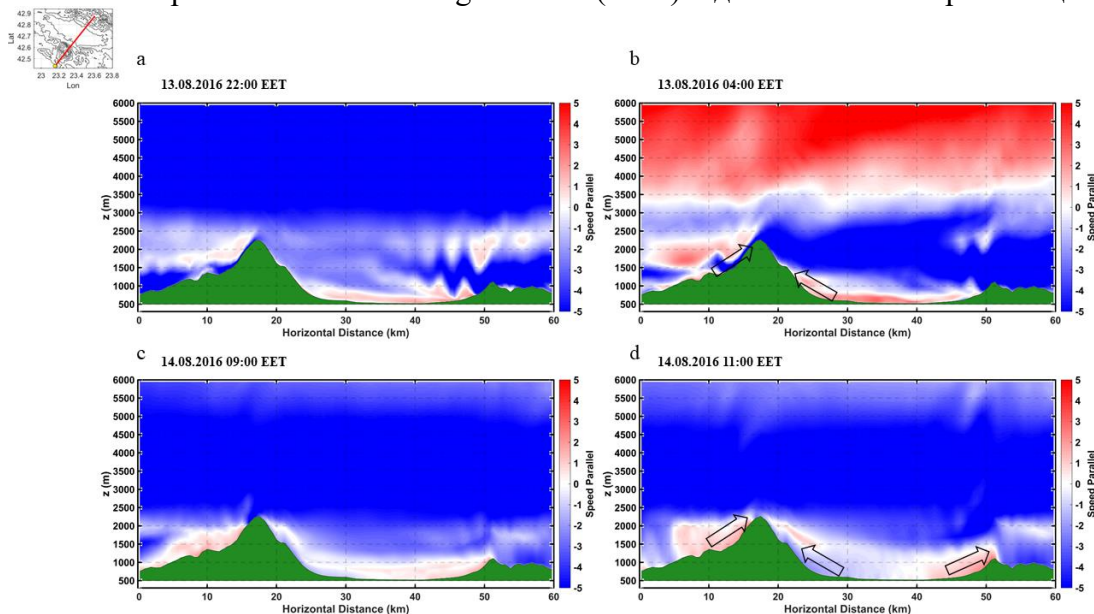
Фиг. 22 съответства на случай 6 с много силен SW вятър със скорост повече от 25 ms^{-1} . Въздушният поток има достатъчно енергия, за да премине през препятствието, образувайки неравномерно разпределени области с обратен поток вътре в полето. Формирането на тези вихри най-вече се дължи на увеличаване на граваността над градската зона, което води до развитие на много сложна слоеста структура при стабилни нощни условия (фиг. 22в, г).



Фиг. 22. Вертикални сечения на полето на вятъра в различно локално време (UTC + 2 часа) при силен SW синоптичен поток (показан в горния ляв ъгъл) за случай 6.

Образуването на локалното явление склонов вятър може да се наблюдава при слаб синоптичен поток – случай 1 (фиг. 23). През нощта поради охлаждането на земната повърхност тънък слой, по-студен от околната среда, изтича надолу по склона, образувайки низходящ поток (фиг. 23а), който се засилва с увеличаване на стабилността (фиг. 23б). След изгрева на Слънцето започва нагряване на повърхността и процесът се обръща след сутрешния преход (фиг. 23в) като се доразвива до добре изразен анабатичен поток вътре в долината (фиг. 23г).

Повече подробности за проведените изследвания и получени резултата са налични в приложената статия Egoва et al. (2017) и двете изнесени презентации.



Фиг. 23. Вертикални сечения на полето на вятъра в различно локално време (UTC +3 часа) при много слаб вятър (показан в горния ляв ъгъл) за случай 1.

Очакваният резултат от тази дейност беше оценка на влиянието на мезо-метеорологичните явления върху модификацията на крупномащабните потоци. Всичко предвидено беше постигнато и доведе до една публикация и две участия в конференции.

Egova E., Dimitrova R., Danchevski V. (2017) Numerical study of meso-scale circulation specifics in the Sofia region under different large-scale conditions. Bul. J. Meteo & Hydro, 22(3-4), 54-72

Egova E., Dimitrova R., Danchevski V. (2017) Study specifics of the meso-scale circulation under different large-scale conditions for Sofia region. EMS Annual Meeting Abstracts, 14, EMS2017-366;

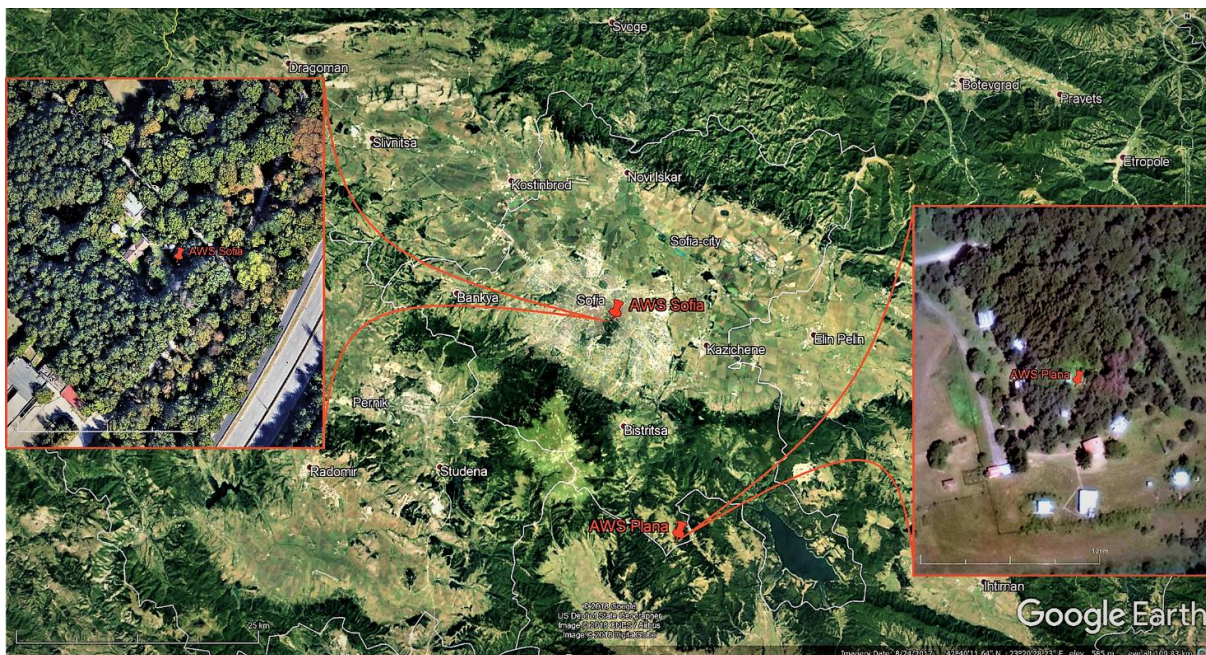
Egova E., Dimitrova R., Danchevski V. (2017) Simulations of meso-scale phenomena under different large-scale conditions in Sofia region. Изд. на VI Национална Студентска Научна Конференция по Физика и Инженерни Технологии, 16-17 Ноември, 2017г., гр. Пловдив

РП4. Изучаване спецификата на постилащата повърхност и нейното влияние върху структурата на приземния слой и ГОТ

Такива специфични оценки за интензитета на ГОТ по данни включително за вертикалната структура на метеорологичните полета от градска и извънградска станции не са правени до сега за района на Софийското поле. Има изследвания в миналото (преди 2000 г.), базирани на приземни климатични данни и данни от експериментални кампании, провеждани от НИМХ през 80-те и 90-те години (виж Литературния обзор [8 до 30]).

4.1. Сравнение на приземните характеристики на АГС в градска и извънградска среда по наличните архивни данни

Анализирани бяха наличните архивни данни от автоматичните приземни измервания в двете експериментални бази на СУ, разположени на териториите на Геодезическата обсерватория „Плана“ и на Астрономическата обсерватория в Борисовата градина (Фиг. 23). Бяха анализирани наличните архивни данни от приземните измервания и определен подходящ времеви ред около 10 години (от 10.12.2006г. до 20.10.2016г.) за статистически анализ на данните. Измерваните метеорологичните параметри от двете АМС са съответно: температура и относителна влажност на атмосферния въздух, скорост и посока на приземния вятър, сумарна слънчева радиация и количество валеж. Едночасови осреднени записи на данните са осъществявани на всеки кръгъл час по зимното часово време (GMT+2). Началната и крайната дата на периода определят неговата дължина от 3362 денонощия, като през първото денонощие измерванията започват в 18 часа, а през последното денонощие от периода те са се провели до 13 часа. Това като резултат дава максимална възможна наличност от 87859 времеви серии на измерваните параметри и при двете АМС. Архивът от данни съвпадащ за двете станции наброява 86444 времеви серии, което съставлява 98.4% наличност на данни.



Фиг. 23. Сателитни снимки показващи локациите на AMC разположени в гр. София (горе; GPS координати 42°40'54.0"N, 23°20'41.9"E) и планина Плана (долу; GPS координати 42°28'35.6"N, 23°25'31.1"E)

Бе направено сравнение между основни характеристики на приземния слой между градска (Борисовата градина) и извънградска (Плана) станции. Отстоянието между двете станции е приблизително 24 км по права линия, като AMC – Плана се намира на юг-югоизток спрямо AMC – София. Надморската височина, на която са провеждани измерванията в гр. София е 580 m, а тези в Плана е на височина 1 236 m над морското равнище. Двете станции са заобиколени от дървета (Фиг. 9 – увеличените сателитни изображения), което от своя страна оказва влияние на измерените от тях метеорологични параметри.

Бяха направени детайлни анализи на наличните метеорологични параметри за наличие и оценка качеството на архивните данни чрез проверка за наличието на хомогенна по стойности редица от последователно изчислени дисперсии за съответна променлива чрез сравнение на техните стойности с осреднената за целия период. Въпреки старанието резултатите от анализите за наличност и качество на данните за температурата да се представят възможно най-нагледно, поради наличието на голям брой данни през периода на изследване, е много трудно визуално да се онагледят едночасови стойности за период от близо 10 години. Данните от анализа на сумарната слънчева радиация показват много грешни стойности (14402 случая) поради множество отрицателни стойности, които са в рамките на инструменталната грешка на пиранометъра на AMC – София. Налични са и два случая в ранните сутрешни часове на 31 декември 2009 г., които също са близки до инструменталната грешка (не надвишават -6 Wm^{-2}). Направеният анализ на данните за сумарната слънчева радиация от AMC – Плана показва доста по-добри резултати, като при него не са регистрирани случай с отрицателни стойности, а само 12 на брой, близки до инструменталната грешка (не надвишават -6 Wm^{-2}).

Средно-денонощните и максимално денонощни стойности на сумарната слънчева радиация достигат по-високи стойности при АМС – Плана от колкото в АМС – София. Максималната стойност на средно-денонощната сумарната слънчева радиация при АМС – Плана е 378 Wm^{-2} докато при АМС – София тази стойност е 344 Wm^{-2} . Екстремната стойност при максималните денонощни стойности измерени от АМС – Плана е 1172 Wm^{-2} , а при АМС – София тя е 1071 Wm^{-2} . Максималните средно-денонощни температури при двете АМС са с еднакви стойности с точност до една десета от градуса (28.7°C), докато при минималните стойности се наблюдава разлика от 1.5°C (за АМС – Плана -15.0°C , а за АМС – София -13.5°C). През по-голяма част от денонощията се наблюдават по-високи средно денонощни температури при АМС – София в сравнение с тези при АМС – Плана, което в голяма степен е определено от разликата в надморската височина на двете АМС.

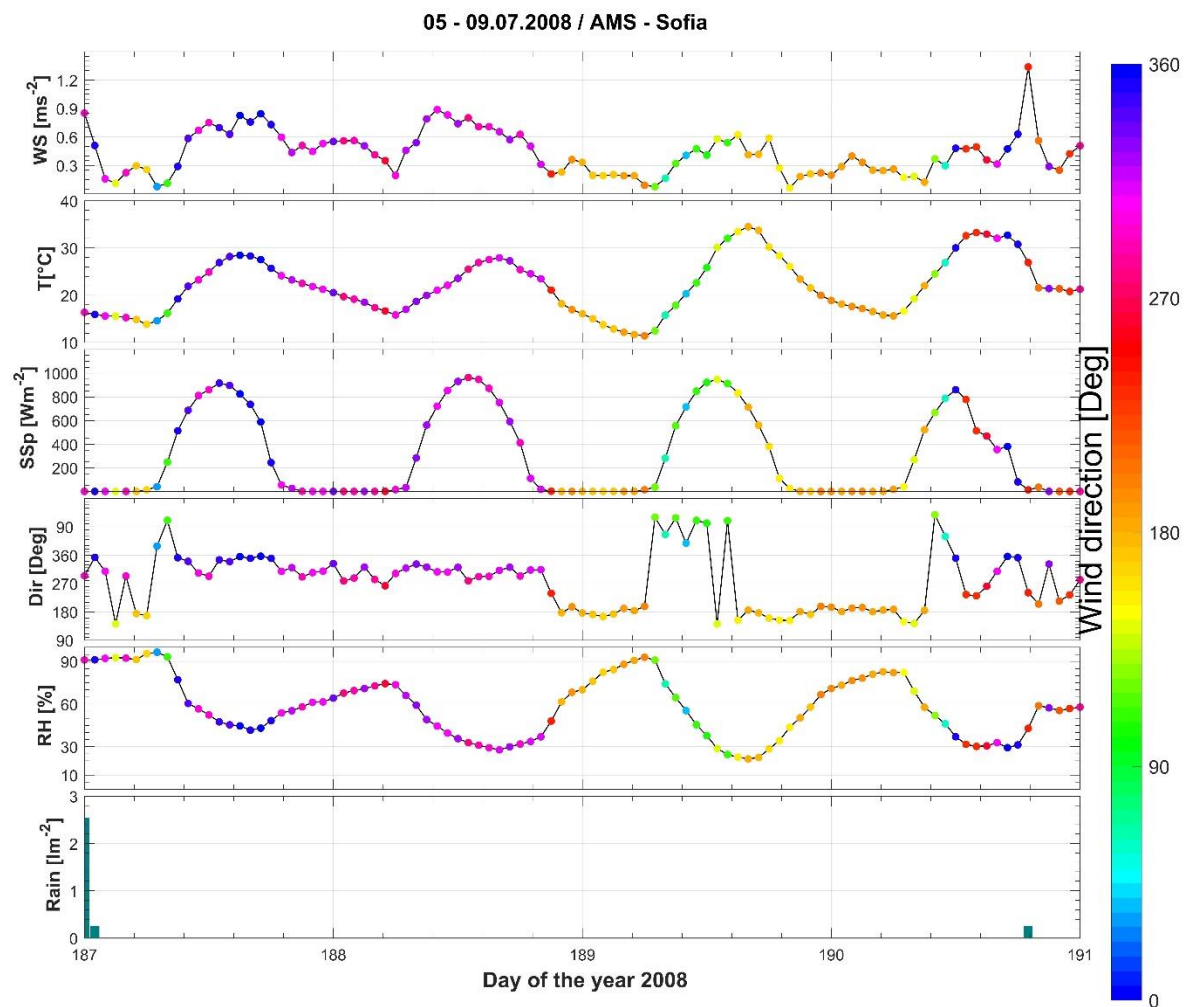
Изменението на метеорологичните елементи в периода 05 - 09.07.2008г., отчетени от АМС – София са представени на фиг. 24, където се вижда, че преди достигането на максимално отчетената температурна амплитуда (ден 189 от 2008г.), въздушния поток е сменил посоката си от северозападната към югоизточната четвърт.

Линейна корелация на денонощните температурни амплитуди е представена на фиг. 25 (ляво) с начална нулева стойност. От представените резултати се потвърждава, че за по-значителната част от наличните данни, температурната амплитуда в АМС – София е по-висока от тази при АМС – Плана. Видно от графиката е, че съществуват денонощия, при които температурната амплитуда при АМС – Плана е по-висока от тази при АМС – София. Това най-често се е случвало през студеното полугодие (фиг. 25 - дясно) но съществуват такива денонощия и през топлото, като техния брой е най-голям през 2008г.

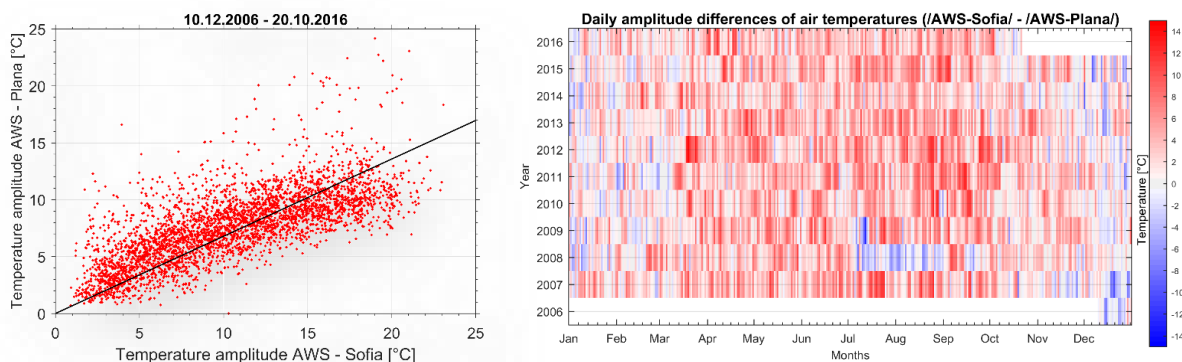
По-голяма част от средната денонощна относителна влажност има по-високи стойности при АМС – Плана, като и при двете станции се забелязва тяхното понижение през топлото полугодие. За денонощните амплитуди на относителна влажност по-високи стойности са характерни за АМС – София. При денонощните и денонощните максимални едночасови количества валежи се открояват значително по-големи количества в АМС – Плана. Максималния денонощен валеж при АМС – София е 77.7 lm^{-2} и е регистриран на 5 август 2009 г., а отчетеното максимално едночасово количество валеж е 31.0 lm^{-2} , регистриран два дена по късно на 7 август. Тези количества при АМС – Плана са съответно 174.0 lm^{-2} и 59.2 lm^{-2} регистрирани на 2 март 2008 г.

Средно-денонощните стойности на посоката на вятъра при двете АМС се отличават по-между си значително, но същевременно се наблюдават и близки по стойности посоки на ветровете при някой денонощия. Въпреки, че двете станции са на отстояние 24 km една от друга, влиянието на синоптичната адвекция на въздушни маси върху приземния вятър е силно повлияно от дървесната растителност с която са заобиколени. Непроменените стойности на средно-денонощната посока на вятъра при АМС – Плана за по-дълги периоди (месеци) се дължи на проблем с качеството на данните от анемометъра за тази станция. Този проблем се потвърждава и при представените резултати на средно-денонощните, максималните и минималните скорости на вятъра от този анемометър, при които се вижда наличие на не променящи се стойности на скоростта на вятъра. Най-високите стойности на скоростта на вятъра при АМС – Плана са регистрирани в периода от края на януари до средата на април на 2007г, както и през първото тримесечие на 2009г. При АМС - София не са налице продължителни

технически проблеми с анометъра, но представителността на данните е компрометирана от високия процент на тихо време и регистрираните като цяло ниски стойности на скоростта на вятъра, поради дървесната растителност сред която е разположена станцията. Проведените анализи за качеството на данните за посока на вятъра при двете АМС потвърждават наличието на проблеми при измерванията на ветромерите. Резултатите от двете станции се отличават съществено една от друга при регистриране на случаи с непроменена посока на вятъра при скорост > 0 и при променена посока, но измерена нулева стойност на скоростта на вятъра. При АМС – София съществуват над 100 такива случая (променена посока, но измерена нулева стойност на скоростта на вятъра), докато при АМС – Плана липсват такива случаи, но броя на случаите с непроменена посока на вятъра при скорост > 0 е над 4000, като те са разположени основно в периода 2011 – 2014г.



Фиг. 24. Изменение на метеорологичните елементи измерени от АМС – София в периода 05 - 09 юли 2008г.



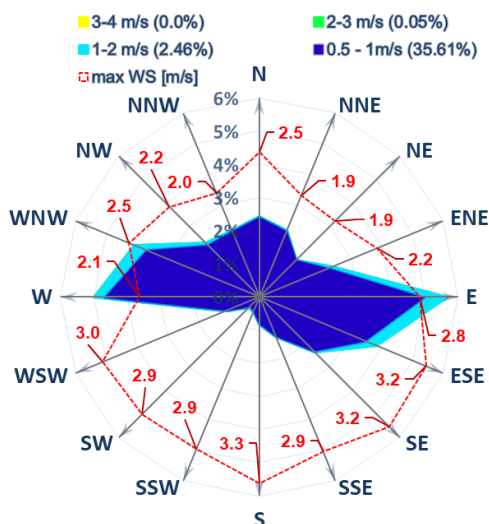
Фиг. 25. Линейна корелация през начална нулева стойност (ляво) и температурна разлика (дясно) на денонощни температурни амплитуди от АМС – София и АМС – Плана за периода 10.12.2006г. – 20.10.2016г.

Режимът на вятъра е от съществено значение при формиране на ГОТ. Затова бе направен анализ на данните от измерванията на двете АМС, който е представен чрез честотно разпределение на вятъра по посоки, определено от интервали на скоростта на вятъра през 1 ms^{-1} , както и от разпределение по посоки на максимално измерената скорост на вятъра на Фиг. 24. Скоростните интервали са определени чрез следните критерии:

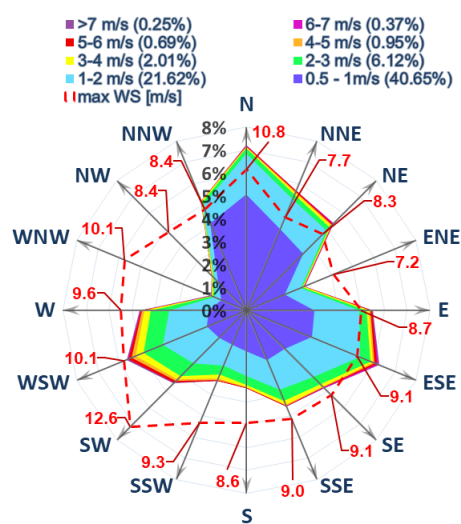
- тихо време при скорости $\leq 0.5 \text{ ms}^{-1}$;
- интервал $0.5 - 1 \text{ ms}^{-1}$ при скорости > 0.5 но $< 1.5 \text{ ms}^{-1}$;
- интервал $1 - 2 \text{ ms}^{-1}$ при скорости ≥ 1.5 но $< 2.5 \text{ ms}^{-1}$;
- интервал $6 - 7 \text{ ms}^{-1}$ при скорости ≥ 6.5 но $< 7.5 \text{ ms}^{-1}$;

Тихото време при АМС – София (фиг. 26 - ляво) е близо два пъти повече от това регистрирано от АМС – Плана (фиг. 26 - дясно) и съставлява малко над 60% от всички случаи. Високите проценти на тихото време и при двете АМС са определени в голяма степен от дървесната растителност, сред която се намират и двете станции. Регистрираните максимални скорости в различните посоки при АМС – София са значително по-ниски от тези при АМС – Плана, като максималната скорост при АМС - София е 3.3 ms^{-1} , докато при АМС – Плана тя е 12.6 ms^{-1} . Честотното разпределение на вятъра по посоки при АМС – София има добре изразени максимуми при ветрове с източна и западна посока, причина за което може да се търси в географската ориентация и местоположение на Софийското поле. При АМС – Плана се наблюдават три изразени максимума при честотното разпределение на вятъра по посоки - N, ESE и WSW. Разпределението на посоката на вятъра в различните скоростни интервали е с най-висок процент наличност при скорости > 0.5 но $< 1.5 \text{ ms}^{-1}$ и при двете АМС (над 35 % при АМС – София и над 40 % при АМС - Плана). Скоростният интервал $2 - 3 \text{ ms}^{-1}$ е най-рядко срещан, с наличие на данни (0.05% от случаите) за АМС – София, докато при АМС – Плана последният скоростен интервал обхваща скорости по-големи от 7 ms^{-1} , а наличността на такива скорости е 0.25 %.

Wind rose - AWS Sofia. Period 10.12.2006 - 20.10.2016
Data availability - 98.4% (86418 data sets)
Calm - 61.8 % ($\leq 0.5 \text{ ms}^{-1}$)



Wind rose - AWS Plana. Period 10.12.2006 - 20.10.2016
Data availability - 98.4% (86415 data sets)
Calm - 27.4 % ($\leq 0.5 \text{ ms}^{-1}$)



Фиг. 26. Рози на вятъра с честотно разпределение на скоростите на вятъра в интервали разположени през 1 ms^{-1} и максимални стойности на скоростта на вятъра по посоки за АМС – София (ляво) и АМС – Плана (дясно)

Очакваните резултати от тази дейност е постигнат. Направено е сравнение на приземните характеристики на АГС в градска и извънградска среда по наличните архивни данни.

4.2. Проследяване еволюцията на ГГС (разликата в приземната температура между градска и извънградска среда) и интензитета за дългогодишен период на базата на наличните данни

При изготвяне на проектното предложение бе замислено данните описани в предишната дейност 4.1 да се използват за изчисляването на интензитета на ГОТ. За тази цел е необходимо проследяването на разликата в приземната температура между градска и извънградска среда. За да са съпоставими измененията на температурата е удачно да се сравняват данни от близки по надморска височина станции, или съответните стойностите на температурите да се унифицират, като се преведат в стойности на потенциална температура, която не се влияе от физическото повдигане или спускане на въздушната маса. Двете АМС са разположени на различна надморска височина, поради което е неуместно да се пристъпва към директното сравнение на изменението на температурата на атмосферния въздух. За да се пристъпи към изчисление на потенциалната температура в двете станции е необходимо да има налична информация за атмосферното налягане, но този метеорологичен параметър липсва и при двете АМС, поради което в настоящия момент тези бази данни не могат да се използват за изследване наличието и интензитета на ГОТ. Макар и централно разположена, станцията в Борисовата градина е повлияна от близката околност – висока дървесна растителност и не е представителна за градски условия.

Поради тази причина бяха потърсени други налични бази данни от измервания, които да съдържат всички необходими метеорологични параметри и да са представителни за предвижданото изследване в тази дейност. Беше направен обзор на

база наличните публикации за София, като бяха обобщени резултати от проведени от НИМХ експериментални кампании в София през 90-те години (виж приложената литература), свързани с описание и анализ на ГОТ.

Микроклиматичните условия в градовете са обект на много изследвания в последните десетилетия поради непрекъснатото нарастване на частта от населението на земята живеещо в тях. Понастоящем, над 50% от човечеството живее в градове. В големите градове разликите между стойностите на метеорологичните елементи в града и извън него са значителни. София, с население над 1.5 милиона жители не е сред световните мегаполиси като Истанбул, Токио, Пекин, Ню Йорк, Мексико. Европейските големи градове са с население от няколко милиона. Големият брой хора е фактор за повишаване на температурата на въздуха в големите градове, както поради собствената топлина, така и поради ползването на средства за допълнително отопление или охлаждане на сградите.

Освен числеността на населението важен фактор за различията град-извън градска среда е застрояването с материали, които имат характеристики, различни от тези на естествения ландшафт. Уличните настилки и строителните материали поглъщат и излъчват много повече топлина. Изкуствените материали променят и режима на влажността на въздуха, което променя климатичния комфорт за хората в града. Застрояването променя и полето на скоростта на вятъра в градовете спрямо извънградските територии, като в много случаи води до безветрие, а в други - до усиляване на вятъра в дълбоките улични каньони. Градоустройството определя степента на проветряване на градовете, от което зависи и качество на атмосферния въздух. Повишеното замърсяване на въздуха в градовете е причина за промени в елементите на радиационния баланс.

Изброените фактори са причина за формирането на специфичния градски климат, чието основно проявление е ГОТ. При големи разлики в температурата град/извън град се формира и специфична локална циркулация с направление от по-студените към по-топлите области (подобно на бризова циркулация). Така, въздушните маси от периферията към центъра на града могат да носят свеж чист въздух, ако не бъдат спирани от плътно застрояване с масивни високи сгради. В случая на замърсяваща промишленост в периферията на градовете, локалната циркулация може да доведе до увеличаване на концентрациите на различни примеси във въздуха в централните райони.

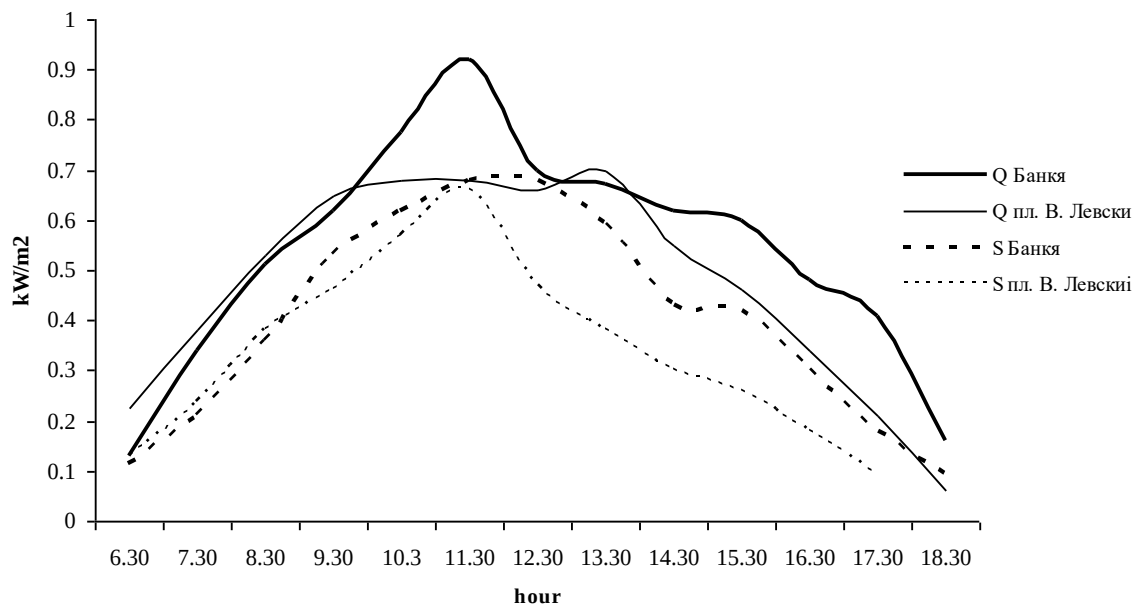
Към изброените характеристики за големите градове в равна хомогенна местност винаги се наслагва и влиянието на специфичното географско положение и релефа на местността. Най-общо, котловинното разположение увеличава условията за задържане на примеси в градската среда поради често наблюдавани температурни инверсии, както и поради влияние на околните планини върху режима на вятъра. Такъв е случаят с град София, заемащ около 500 km², от площта на Софийското поле/котловина, която е с площ 1180 km². Средната надморска височина на града е 560 m, а на ограждащите планини около 2000 m.

Допълнителен фактор, определящ характеристиките на ГОТ са синоптичните условия. Най-големи разлики град/извън град се наблюдават при антициклонални обстановки. Съгласно [8], антициклонално време се наблюдава в София в 2/3 от дните в годината.

До 90-те години на XX век са работили няколко метеорологични станции на територията на града – пл. Левски, НИМХ, Банкя и Божурище. Микроклиматични

изследвания по тези данни и по данните от експериментални кампании са представени в краткия обзор на Микроклиматичните условия в София [30], отразяващ дългогодишни климатични изследвания на град София, провеждани в НИМХ [8-30].

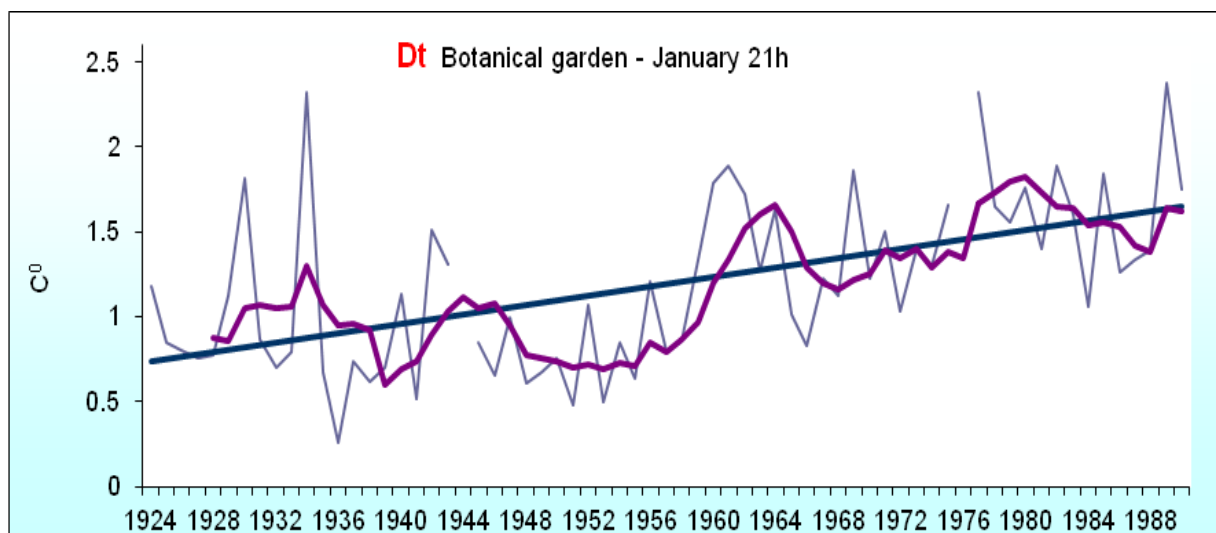
За София [19, 20, 30] е характерно намаляване на пряката слънчева радиация (S) в сравнение с извънградските райони и увеличаването на разсеяната радиация поради голямото съдържание на прах и замърсители в атмосферата. В резултат на това в часовете около пладне, когато е максимумът на характеристиките на слънчевата радиация, разликата в сумарната слънчева радиация (Q) град/извън град при средни условия на облачността е в интервала 10-20%. Разликите са установени по време на експедиционните проучвания в София през зимата на 1981 и лятото на 1982 в пунктове „Пл. В. Левски“ и „Банкя“ (фиг. 27).



Фиг. 27. Дневен ход на сумарната (Q) и пряка (S) слънчева радиации в пунктове Банкя и пл. В. Левски в София

ГОТ най-често се характеризира с температурната разлика градска-извънградска станции (Dt). В работите [13, 15, 18, 19] се анализират данните от експедиционни изследвания през юни и декември 1976 г. Установено е, че ГОТ през лятото е най-интензивен в периода 03 - 04 часа през нощта, когато $Dt = 6.3$ °C. Разликата намалява в часовете на дневния температурен максимум - 14 часа. През зимата най-големите разлики се наблюдават в 22 часа. Максималната интензивност на топлинния остров, регистриран по време на зимния експеримент, е $Dt = 4.3$ °C.

С разрастването на града през годините, разликата между температурата в града и извън града нараства. Това е проследено [30] по данните на станция Ботаническа градина (най-старата станция на територията на града), разположена в близост до паметника „Васил Левски“ и на станция Божурище (извънградска станция). Многогодишното изменение на Dt за периода от 1924 до 1990 г. по средните месечни температури в 21 ч. през януари (фиг. 28) е в диапазона 0.2-2.5 °C, а линейният тренд е от 0.75 до 1.7 °C. Аналогично, за месец октомври разликите са в диапазона 0.25-3 °C, а линейният тренд от 0.6 до 2.5 °C.



Фиг. 28. Многогодишен ход (1924 - 1990г.) на средната месечна разлика Dt (Ботаническа градина-Божурище) през януари в 21ч.

Геометрията на ГОТ се променя с развитието на градската среда и стопанската дейност в нея. За София, по време на експлоатацията на Креиковци и източната индустриална зона ГОТ се характеризира с шлейф изтеглен на североизток, ядро над централната градска част и вторично ядро над района на квартал Дружба. Проведените през 1992г. и 1993г. полеви експерименти дават известна представа за термичния режим в източната част на града [8, 12, 21]. Най-големи разлики в температурите са наблюдавани през нощта, докато в обедните часове те са били до два пъти по-малки. Максималната регистрирана разлика “град – околност” е 4.8 °C през лятото и 4.0 °C през зимата. Относителната влажност в центъра на града е по-ниска от тази в периферията, като максималните различия (до 15%) са в часовете преди пладне и след залез слънце. Градските паркове, зелени и водни зони влияят върху структурата на ГОТ, поради по-ниската температура и по-висока влажност в тях в сравнение със застроените зони. По време на маршрутни изследвания [30] е установена разлика до 50% в относителната влажност между зони с различна подложна повърхност в града.

По описаните данни от експериментални изследвания [7, 13], са направени и изводи за микроклиматичното райониране на София, на базата на особеностите на релефа и режима на метеорологичните елементи. Разглеждат се четири микроклиматични района, а именно: отворена котловина, централна градска част, периферна част и подножие на планините.

Интересно е да се отбележи, че според проведените изследвания в София, скоростта на вятъра в града е средно с $1.3 - 2 \text{ ms}^{-1}$ по-ниска от тази извън него, като максималните разлики се наблюдават в следобедните часове (14 - 16 часа), а минималните в ранните сутрешни часове. В условията на антициклонално време през лятото за южните квартали на София, разположени в подножието на северния склон на Витоша е характерна проявата на планинска бризова циркулация [30]. Дневният бриз, духащ от града нагоре по склона на планината (долинен бриз), не е проявен за разлика от ясно изразения нощен бриз (планински бриз), с начало след 19 ч. и край около 7 ч. Този локален вятър се проявява най-ярко през юли и август и допринася за добрите

условия за термичен комфорт на човека в града в горещи дни. Вертикалната мощност на планинския бриз е 30 - 40 m, а скоростта е $1-3 \text{ ms}^{-1}$, поради което високи сгради разположени напречно на потока препятстват проветряването на града.

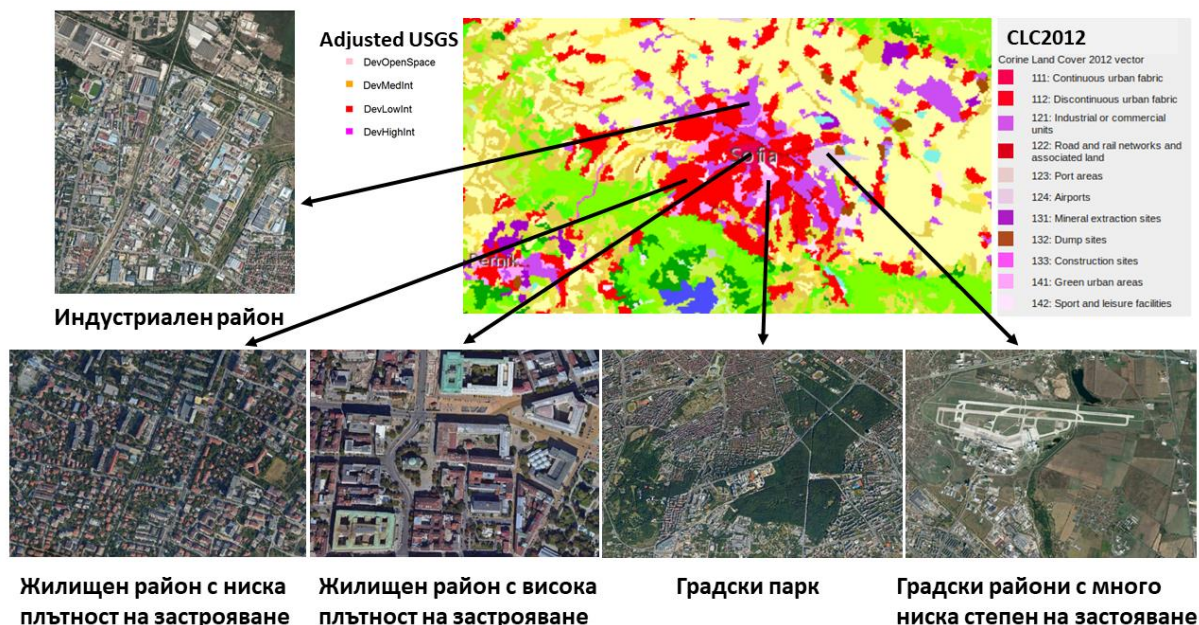
Трябва да се отбележи, че малкият брой станции за наблюдение в София не позволява разкриване на повече детайли за структурата на ГОТ. С развитието на гражданската мрежа за наблюдения, на новите технологии за заснемане от дроне с термични камери на температурата на градската повърхност и на все по-голямата разделителна способност на метеорологичните модели в бъдеще ще се получи по-подробна картина на ГОТ в града. Поради тази причина, ГОТ бе допълнително изследван чрез числени експерименти, описано в 4.3. Сравняване на моделните данни за основни характеристики на почвата и приземните потоци с наличните експериментални данни.

Очакваният резултат от тази дейност е оценка за интензивността на ГОТ в град София. Това бе направено на базата на климатични данни и данни от експерименти (проведени от НИМХ и цитирани в приложената Литература [8-30]) и от различни източници, които бяха анализирани и обобщени.

4.3. Сравняване на моделните данни за основни характеристики на почвата и приземните потоци с наличните експериментални данни

Предвидената работа по тази дейност включва верификацията на основни характеристики на почвата и приземните потоци, което да позволи използването на моделните резултати за оценка на влиянието на приземните характеристики върху структурата на АГС. От особено значение е правилното описание на различните типове подложна повърхност, което беше осъществено с подмяната и използването на по-съвременната и подробна база данни CLC2012. Градските категории 11 на брой описани в нея бяха приведени към 4 категории (жилищен район с ниска и висока плътност на застрояване, индустриален район, район с много ниска степен на застрояване, като летище, паркинги, спортни съоръжения) а парковете в София поради тяхната специфика са разглеждани като смесен тип гора. На фиг. 29 са показани използваните категории в градската среда, като е представена и типичната им морфология.

Взаимодействието на границата между повърхността и атмосферата се описва в модела чрез повърхностните потоци на топлина, влага и инерция, които се изчисляват в Land Surface Model (LSM), обособен модул в WRF. В допълнение към определяне на повърхностните потоци, LSM изчислява и промените в свойствата на почвата, като температура и влага за да осигури баланса на потоците на граничната повърхност. Различните категории подложна повърхност имат различни характеристики (топлинна инерция, топлинен капацитет, излъчвателна способност и албедо), като стойностите за типичните категории в Софийското поле са представени в Таблица 7. Тези стойности, свързани със свойствата на повърхността за различните категории са получени от композиция от изображения, събрани от сателитни наблюдения (Landsat) в рамките на американската национална база данни за земното покритие (NLCD 2006). Моделът чете необходимите параметри от зададени таблици (LANDUSE.TBL) в зависимост от преобладаващата категория подложна повърхност за всеки елемент (квадратче) от мрежата.



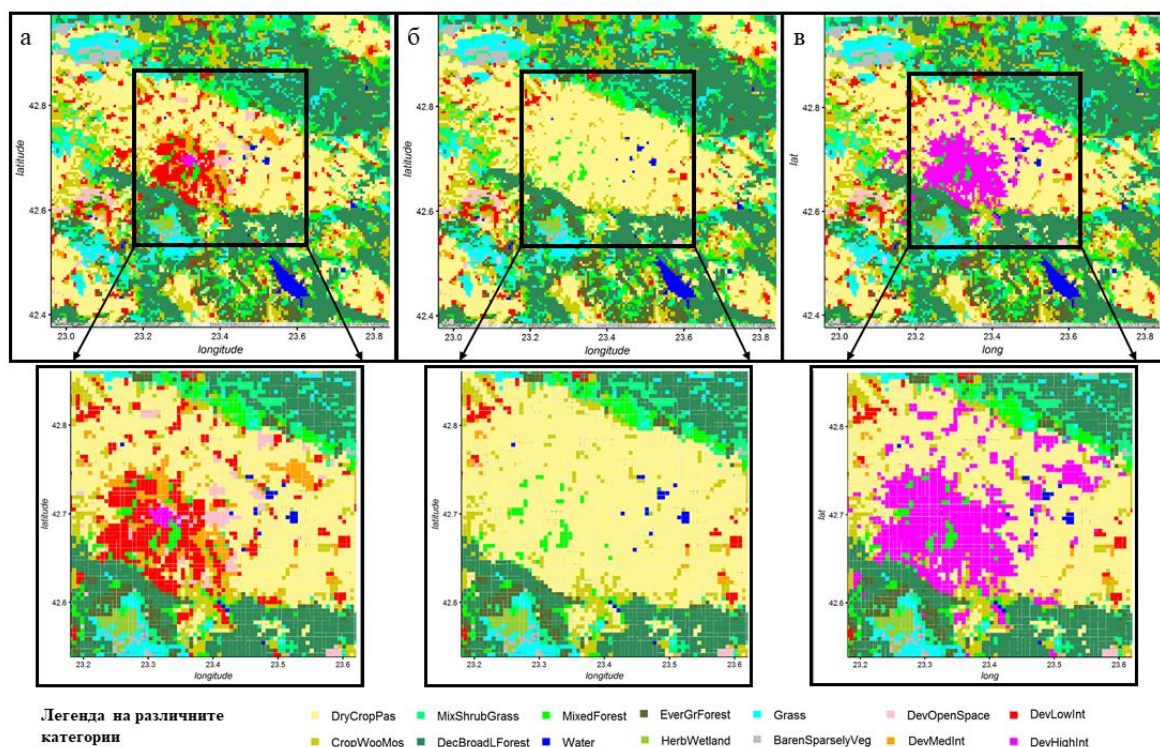
Фиг. 29. Карта на подложната повърхност в Софийска Софийското поле описана чрез CLC2012 с типична морфология на използваните нови 4 категории за описание на градската среда.

Таблица 7. Описание на характеристиките на използваните в експеримента категории за летен сезон използвана от модела WRF. От ляво на дясно са показани: албедо (ALBD %), съдържание на влага в подложната повърхност (SLMO $\times 100\%$), излъчвателна способност (SFEM %), динамична грапавост (SFZ0 $\times 10^{-2}$ m), термична инерция (THERIN $\times 4.184 \times 10^2 \text{ J/m}^2 \text{ Ks}^{1/2}$) и топлинен капацитет (SFHC $\times 10^6 \text{ J/m}^3 \text{ K}$).

Категории	ALBD	SLMO	SFEM	SFZ0	THERIN	SFHC
жилищен район с висока плътност на застрояване	10	0.10	0.88	100	3	1.89
индустриален район	10	0.15	0.90	60	3	1.89
жилищен район с ниска плътност на застрояване	11	0.20	0.95	40	3	1.89
район с много ниска степен на застрояване	12	0.10	0.97	30	3	1.89
суха земя/зеделски земи/пасища	17	0.30	0.99	15	4	2.50
мозайка от земеделски земи/горски площи	16	0.35	0.99	20	4	2.50
смесена гора	13	0.30	0.97	50	4	4.18

Избран беше относително спокоен, без значителни промени в метеорологичното време период от 25 август – 1 септември, 2015 г. Направена бе валидация на модела с три схеми на АГС и различен брой нива по вертикалата (50 и 99 нива) на основните метеорологични параметри – температура, влажност и скорост на вятъра с наличните приземни данни и вертикални профили от аерологичния сондаж, както и на температурата в почвата на 10 cm по данни налични в 3 станции – НИМХ, Борисова градина и Плана. Направена беше също оценка за възможностите на модела да изчисли височината на АГС с различните схеми като беше сравнена с данни от измервания с

облакомера намиращ се в Борисовата градина. На базата на тази верификация бе избрана една схема Yonsei University scheme - YSU [31] с 99 вертикални нива за проведения по-нататък експеримент.



Фиг. 30. Полетата, описващи структурата на подложната повърхност чрез посочените в легендата класове с използване на: реалната подложна повърхност в Софийска община (а); сменена градска среда с типичен за района клас извънградска подложна повърхност (б); градската среда съставена само от район с висока плътност на застрояване (в). Показана е цялата област (горния ред) в детайли (долния ред).

Направени бяха 3 типа числени симулации: 1) с използване на реалната подложна повърхност в Софийска община; 2) подменена градска среда с типичен за района клас извънградска подложна повърхност; 3) всички класове на градската среда бяха заменени с жилищен район с висока плътност на застрояване, които би отговарял на най-неблагоприятния сценарий за презастрояване на урбанизирания район. Полетата, описващи структурата на подложната повърхност, използвани при тези симулации са представени във фиг. 30.

Получените моделни резултати бяха използвани за провеждането на два експеримента: 1) оценка на ефекта на урбанизиране чрез представяне на пространственото поле на разликата между градска и извън градска среда (ГОТ) и 2) оценка на ефекта от презастрояване на урбанизираните райони, чрез разликата между моделните резултати при градска среда съставена само от район с висока плътност на застрояване и реалната. Представени бяха промените в потоците топлина и влага, температурата, влажността, височината на АГС и скоростта на вятъра, като осреднени характеристики и тяхното пространствено разпределение. Подробно описание на резултатите е представено в Dimitrova et al. (2019) тук са дадени само направените основни изводи.

Първият експеримент (всички градски категории в района на София са заменени с най-често срещаната категория земно покритие в града) показва, че урбанизацията може да повиши температурата на въздуха с 5 °C и да намали влагата с 2 g/kg в централната част на София. Топлинният поток се повишава с повече от 100 W/m², а потокът влага намалява с ~ 200 W/m². Замяната на извънградски тип подложна повърхност към градски се отразява и на височината на АГС (~ 900 m по-висока в града) и до намаляване на скоростта на вятъра в следобедните часове. Човешката дейност превръща нашите градове в по-сухи, намалява дневната амплитуда на температурата, увеличава турбулентния стрес и прави околната среда по-неблагоприятна за живот.

Вторият експеримент, който отговаря на хипотетично разрастване на градското развитие, показва ефекта от презастрояването, което добавя допълнителен стрес върху урбанизираната среда. Промените в градската структура, изграждането на високи сгради и по-плътни застроени площи, увеличават топлинния поток с повече от 100 W/m² в сутрешните часове, внасяйки допълнителен стрес върху градската среда. По-високите сгради водят до нарастване на височината на АГС с ~ 400 m, най-вероятно в следствие на по-интензивната турбулентност, както и до слабо понижение на потока влага в сутрешните часове, но без съществена промяна в полето на влажността.

Предизвикателствата свързани с урбанизираната среда са големи и трябва да бъдат решени бързо, чрез подходящо градско планиране, за да се осигури устойчиво развитие на нашите градове. Интегриран подход към градската система, може да помогне за предварителна оценка на ефекта от дейностите при градското планиране, отчитайки увеличаващото се население и екологичните проблеми, свързани с човешката дейност, както и последиците за здравето и комфорта на живот на населението. Този подход може да предотврати вземането на грешни решения поради липса на правилно градоустройствено развитие.

Очакваният резултат от тази дейност беше оценка на симулационните възможности на модела за основни характеристики на почвата и приземните потоци. Работата по тази дейност приключи успешно, като дори бе разширена с направените експерименти показващи влиянието на ГОТ и доведе до две публикации (едната в импактно списание) и представяне на международна конференция.

Dimitrova R., Danchovski V., Egova E., Vladimirov E. (2018) Modelling the impact of vanish green areas on local meteorological conditions in Sofia, Bulgaria, Proc. of International Conference on Natural Science and Environment (ICNSE), 7-8 November 2018, Tokyo, Japan; 12-17.

Dimitrova R., Danchovski V., Egova E., Vladimirov E. (2018) Modelling the impact of vanish green areas on local meteorological conditions in Sofia, Bulgaria, Proc. of International Conference on Natural Science and Environment (ICNSE), 7-8 November 2018, Tokyo, Japan.

Dimitrova R., Danchovski V., Egova E., Vladimirov E., Sharma A., Gueorguiev O., Ivanov D., (2019) Modeling the Impact of Urbanization on Local Meteorological Conditions in Sofia, Atmosphere, 10 (7), 1-24, ISSN (online):2073-4433, Q2, IF (2.4/2019), SJR (0.7/2019).

РП5. Подобряване на локалната краткосрочна числена прогноза с модела WRF чрез използване на експерименталните данни и придобитите знания

Основната цел на този работен пакет е създаването на една моделна система за локалната прогноза, добре валидирана и работеща при различни метеорологични

условия в Софийското поле. Използвани са всички придобити знания в рамките на дейностите по другите работни пакети за осъществяването на тази цел.

5.1. Прилагане на ансамблов подход с цел минимизиране на грешките от параметризацията, динамичните опции и начални условия

За изготвянето на ансамблова прогноза е важно да се използва подходящия подход, който да е съобразен с поставената задача. Един от подходите е да се извърши многократна детерминистична прогноза с един и същ числен модел, като се променят леко само началните условия чрез внасяне на смущение в тях. Атмосферата по принцип е хаотична и малки изменения в началното състояние могат да доведат до големи разлики в прогнозата. Такъв подход обикновено се използва при глобалните симулации, при средносрочни и краткосрочни прогнози, като ансамбълът от получения набор фазови траектории дава най-вероятната оценка за протичане на атмосферните процеси. Друг подход е да се използват няколко различни числени модела и да се получи средно по ансамбъла от всички модели. Съществуват редица източници на грешки при численото моделиране свързани с несъвършенство на теоретичните модели, зависещо най-вече от използваните опростявания (приближения) или непълното разбиране и описание на същността на някои процеси протичащи в атмосферата и използваните параметризации на под-мрежовите ефекти. Затова използването на различни модели би могло да доведе до компенсиране на грешките, макар че този подход все повече се отрича, защото е по-скоро статистически а не детерминистичен. Такъв подход се използва най-вече при моделиране на климата. При регионално и локално моделиране използвания модел, в случая WRF, особено при симулации за минали периоди от време, използва като начални и гранични условия полетата от глобалните модели, в които са асимилирани всички налични данни от измерванията, така, че не е необходимо въвеждането на смущение в началните полета. Един друг подход с разглеждане на ансамбъл от различни конфигурации е по-подходящ за такъв тип изследвания и бе приложен в настоящата работа.

Повечето от подобренията, направени в числените модели за прогноза на времето през последните 50 години могат да се разделят главно на 3 категории – намаляване на резолюцията на мрежата в която се изчислява, подобрения в изчислителната техника (числените схеми), или подобрения в схемите, описващи параметризацията на под-мрежовите физически процеси.

Развитието на изчислителната техника с огромни темпове доведе до възможността за значително намаляване на стъпката в числените модели, като за регионални мащаби вече е достигнат предела за мезо-мащабните модели до няколкостотин метра. Факт е, че по-добрата резолюция значително подобрява описанието на орографията, особено при комплексен терен, но има и своето ограничение при много стръмни склонове например, когато градиента в две съседни клетки от мрежата е много голям. По-фината мрежа също позволява по-детайлното описание на типа подложна повърхност, което е от съществено значение за обменните процеси, най-вече в приземния слой, където се изчисляват потоците на импулс, топлина и влага. В настоящото изследване бяха използвани и сравнени резултати получени с различна хоризонтална стъпка (1 km и 500 m), използването на различен брой вертикални нива (50 и 99), както и подмяна и използването на орография и подложна повърхност с по-добра резолюция.

Докато описаните по-горе проблеми са донякъде частично решени, параметризацията на под-мрежовите процеси в АГС продължава да бъде предизвикателство при мезо-мащабното моделиране, особено в комплексен терен, като се явява съществен източник на неточност при числените прогнози. Тъй като съществуват много дренбо-мащабни явления в атмосферата, които са важни за човешката дейност, като бризова и планинско-долинна циркулация, гръмотевични бури, формиране на мъгли, пориви на вятъра и силна турбулентност, основните усилия за подобряване на числените прогнози в момента са насочени към развитие на възможностите на моделите да разрешават все по-малки по мащаби локални процеси. Това е важно също, защото локалните явления влияят върху крупно мащабната циркулация чрез преноса към по-големите мащаби [32, 33].

Най-важните компоненти на всеки числен модел са схемите за параметризиране на под-мрежовите процеси, а анализът от работата на тези схеми е ключов аспект за успешното прогнозиране на времето. Моделът WRF използва параметризация на 5 основни физически процеси - (1) микрофизика; (2) под-мрежови процеси свързани с формирането на облаци (конвекция), (3) турбулентност в АГС, (4) процеси на взаимодействие между атмосферата и подложната повърхност и (5) радиационни процеси. Моделът предлага множество от различни подходи, т.е. различни параметризационни схеми, за всеки един от изброените физически процеси. Дори с наличните изчислителни мощности през последните години осъществяването на всички възможни комбинации от различни схеми е неосъществим. Изборът на оптимална конфигурация за конкретната област е труден процес и изисква верификация на модела и оценка на неговата пригодност. Приложението на WRF за решаване на многообразни по тип задачи, за стотици различни области по света, водят до обобщението, че моделните резултати са най-чувствителни към прилаганите схеми за турбулентност в АГС (заедно със съответната схема описваща приземния слой, неразделна част от използваната схема) и към начина на описание на микрофизичните процеси в модела, т.е. прилаганата микрофизична схема. Тъй като това са най-проблематичните параметризации в модела, работата за подобрения в тази насока продължава от десетилетия. Това доведе до разработването и внедряването на десетки различни схеми за описание на тези два физически процеса, което допълнително усложнява избора на оптимална моделна конфигурация. В настоящата работа, базирайки се на предишен опит са използвани различни схеми на турбулентност в АГС, свързаните с тях процеси на взаимодействие между атмосферата и подложната повърхност и различни схеми за описание на микрофизичните процеси, в зависимост от конкретната задача. Бяха анализирани резултатите от проведени числени симулации с различна конфигурация и проведена мащабна верификация на модела.

В зависимост от елементите, които бихме желали да сравняваме, както и конкретния период, отново има два подхода. Единият е получените резултати, от различните конфигурации, да се прилагат с различно тегло към получения нов изход. Другият - да се вземе средното по ансамбъл, което според [34, 35] почти винаги дава точни резултати от използването на една единствена конфигурация. Въвеждането на ансамблово осредяване върху решения с различни моделни конфигурации помага за отстраняването на случайните грешки, дължащи се на несъвършенства в различните

параметризационни схеми. Използването би могло да подобри резултатите, в случай, че не е установена и избрана вече конкретна конфигурация, но би било нужно допълнително време за обработката на получените моделни данни, а също би се появила и нуждата от по-големи компютърни ресурси.

Използването на ансамблов подход е широко разпространено при изготвянето, както на научни изследвания, така и на оперативни прогнози за времето, но изисква индивидуален подход при конкретното научно изследване, върху което ще се прилага (при сравняване на температура, валеж, мъгла, вятър и т.н.), а при изготвянето на прогноза за времето от значение е също и периодът (12, 24 часа или повече). В настоящото изследване не бе необходимо прилагането на този подход, тъй като проведената валидация на модела за различните задачи доведе до еднозначен избор на най-подходящата конфигурация.

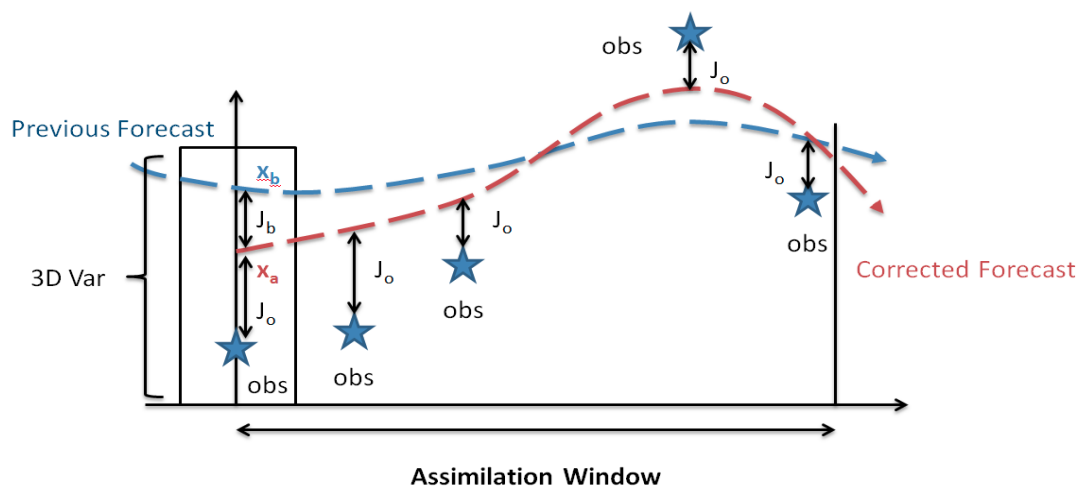
Работата по тази дейност е изпълнена успешно, като е прилаган най-удачния ансамблов подход към отделните и различни задачи, правена е верификация на резултатите и избрана най-добре описващата реалните условия моделна конфигурация.

5.2. Асимилиране на радарна и наземна спътникова информация в модела

Използването на асимилация на данни, техника широко разпространена през последното десетилетие, води до значително подобряване на началните условия задавани при прогнозата. Нехомогенностите в орографията и подложната повърхност в България значително модифицират синоптичните и в дори в по-висока степен мезо-машабните процеси над страната. Един от факторите, на които се дължи подобряването на прогнозите на времето е процедурата по асимилиране на данни, особено спътникови и радарни.

В зависимост от метода на асимилация на тези данни, те служат за подобрене на началните условия от една страна и за подобряване на точността на изходните полета по време на изчисленията от друга. В метеорологичния модел WRF е имплементиран асимилационен модул WRFDA, който позволява да се използват няколко метода за асимилация на данни – 3D Var, 4D Var, Ensemble DA, Hybrid 3DVar/Ensemble. На фиг. 28 е представено сравнение на двата най-често използвани метода – 3D и 4D Var. При използването на първия метод, само в определени моменти се асимилира стойност на даден метеорологичен елемент. В случаите, когато се използва 4D Var метода, на практика се използва опростен метеорологичен модел, който минимизира отклоненията на прогнозираните стойности, не само в настоящия момент, но и в изминалия период от прогнозата, за да подобри максимално крайните резултати. След определен период, когато се регистрира ново наблюдение, процеса се повтаря.

На фиг. 31 с “obs” са отбелязани моментите, в които се измерва стойност от наблюдение, J_o е отклонение от тази стойност на прогнозираната, а J_b е отклонението на стойността на коригираната от асимилацията на данни стойност, от предходно прогнозираната. 4D Var, Ensemble DA, Hybrid 3DVar/Ensemble методите изискват значителен компютърен ресурс и затова за числените експерименти беше избран 3D Var метода.



$$J(x) = \frac{1}{2} (x_0 - x_0^b)^T B_0^{-1} (x_0 - x_0^b) + \frac{1}{2} \sum_{k=0}^K (y_k - H_k x_k)^T R_k^{-1} (y_k - H_k x_k)$$

x_a = model variable

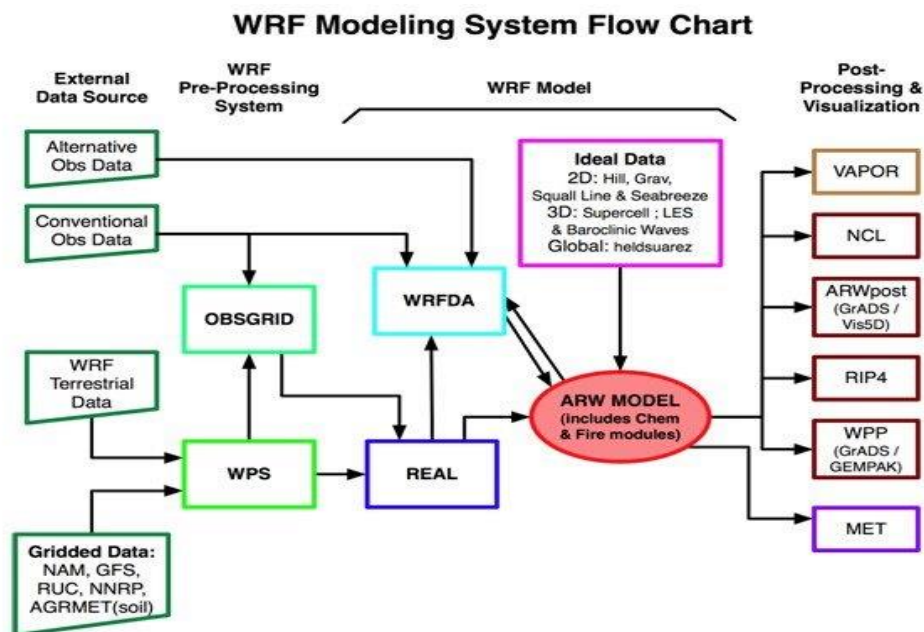
J_o = distance to observations

x_b = background field

J_b = distance to forecast

Фиг. 31. Схематично представяне на двата най-често използвани метода – 3D и 4D Var

За целите на задачата за асимилация на данни по метода 3D Var, беше нужно да се разработи софтуер, който да подготви входните данни за асимилационния модул на модела WRF – WRFDA. На фиг. 32 е представен схематично потока от данни, който се осъществява, за да се асимилират измерванията в модела. Последователността е следната: суровите данни се подлагат на предварителна обработка с помощта на специално разработения предварително софтуер, така че да се формират подходящо за захранване на модула WRFDA. Този модул от своя страна ползва за входни данни два типа стойности на метеорологичните елементи – при т.нар. “студен старт” входните данни представляват интерполирани в мрежата на модела стойности от глобален или регионален модел с по-голяма област, или при т.нар. “топъл/горещ” старт – стойностите на метеорологичните елементи от предходна прогноза. След като WRFDA асимилира подадените данни, той захранва метеорологичния модел с модифицираните метеорологични елементи, които се счита че са значително по-точни и по-близки до стойностите, наблюдавани в реалната атмосфера.



Фиг. 32. Схема на потока от данни, който се осъществява при асимилация

В направеното изследване с 3D Var метода, за стойности на грешките на началното поле (B , от формулата за изчисление на $J(x)$) (фиг. 31) се използват стандартните таблици предоставени в модула WRFDA, както се използват и стандартните стойности от модула за корекции на вариационните отклонения. В WRFDA могат да се използват два модела за лъчист пренос на енергия, с чиято помощ да се приравняват стойностите на метеорологичните елементи получени от спътникови наблюдения в стойности подходящи за асимилация в метеорологичния модел. За настоящия експеримент се използва модела CRTM. Периодът на асимилация на сателитни данни е ± 1 час около инициализацията на метеорологичния модел. Основното предимство на този тип асимилиране на данни и избрания момент на асимилация, е да се предоставят възможно най-точни начални условия.

В проучването са използвани два типа данни от наблюдения – стандартни и неконвенционални. Стандартните се предоставят през GTS мрежата и включват типичните синоптични наблюдения в зададените часове 00, 06, 12, 18 UTC и са определен набор от наблюдения. Всички останали, които се получават извън периодите на синоптични наблюдения и извън стандартния определен набор се считат за неконвенционални. Те могат да бъдат локални измервания на метеорологични елементи, радарни наблюдения, спътникови и т.н. За настоящите числени експерименти са избрани данни от неконвенционални спътникови наблюдения. Видовете наблюдения и броя на използваните наблюдения са представени в Таблицы 8 и 9.

За целите на задачата за асимилация на данни по метода 3D Var, беше нужно да се разработи софтуер, който да подготви входните данни за асимилационния модул на модела WRF – WRFDA. На фиг. 32 е представен схематично потока от данни, който се осъществява, за да се асимилират измерванията в модела. Последователността е следната: суровите данни се подлагат на предварителна обработка с помощта на специално разработения предварително софтуер, така че да се формират подходящо за

захранване на модула WRFDA. Този модул от своя страна ползва за входни данни два типа стойности на метеорологичните елементи – при т.нар. “студен старт” входните данни представляват интерполирани в мрежата на модела стойности от глобален или регионален модел с по-голяма област, или при т.нар. “топъл/горещ” старт – стойностите на метеорологичните елементи от предходна прогноза. След като WRFDA асимилира подадените данни, той захранва метеорологичния модел с модифицираните метеорологични елементи, които се счита че са значително по-точни и по-близки до стойностите, наблюдавани в реалната атмосфера.

Таблица 8. Брой наблюдения асимилирани в различните области.

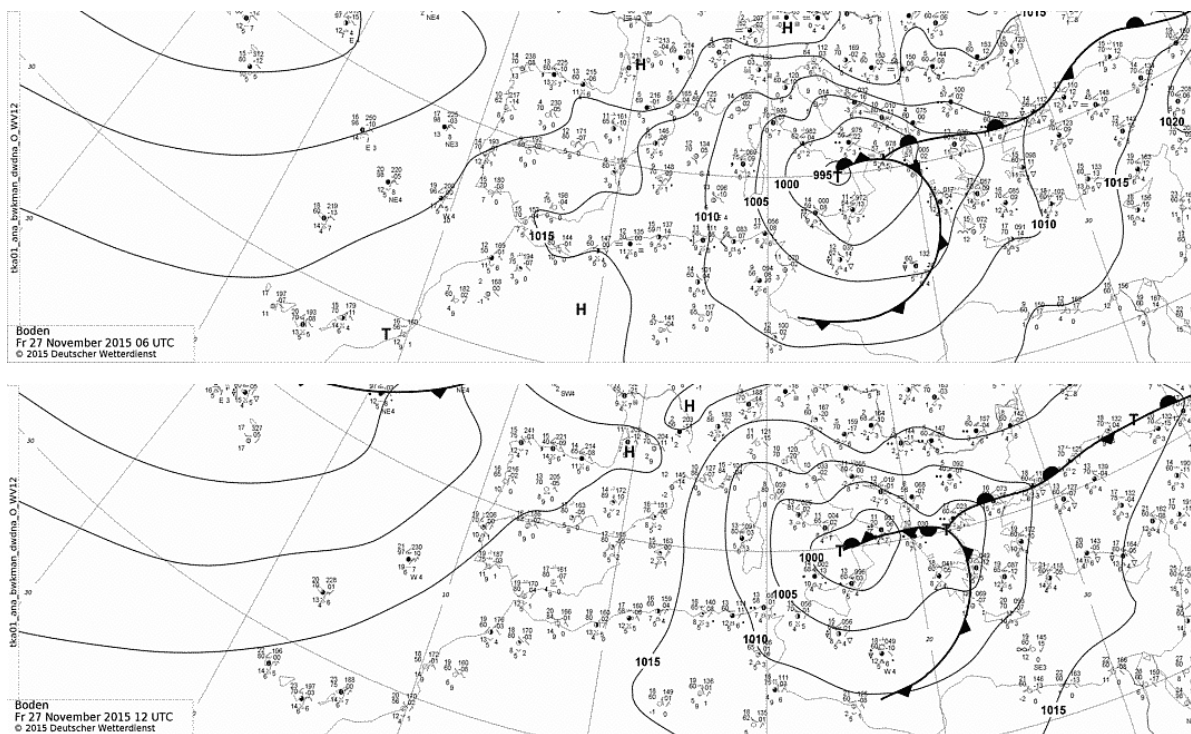
Стандартни наблюдения	D1	D2	D3	D4
Радиосондажи	9	1	1	1
Синоптични наблюдения	359	58	4	2
AMV – вектори на скоростта на вятъра	480	90	3	0
GPS Рефракции	300	0	0	0
Кодови съобщения METAR	99	15	1	1
Съобщения SHIP Observation reports	7	0	0	0

Таблица 9. Видове платформи, от които са асимилирани спътникови данни

D1	D2	D3	D4
noaa19-amsua	noaa19-amsua	noaa19-amsua	noaa19-amsua
eos2-air	eos2-air	-	-
eos2-amsua	eos2-amsua	eos2-amsua	eos2-amsua
jpss0-atms	jpss0-atms	jpss0-atms	jpss0-atms

За числените експерименти бе избрана динамична синоптична обстановка на 27.11.2015г. Наблюдавана е циклонална система, разположена над южна Италия и влияеща над Балканския полуостров и в частност България (фиг. 33). Западните части на страната, включително Софийско поле, се намират в топлия сектор на Средиземноморския циклон, в който се наблюдава южен пренос на топли и влажни въздушни маси, които водят до интензивни валежи. При тези обстановки, характерни са обилни валежи от дъжд, а при достатъчно ниски температури при земята и във височина – сняг. В дадената ситуация се наблюдава обилен валеж от дъжд, който по-късно през деня се преобразува във валеж от сняг. Метеорологичната обстановка бързо се влошава и снеговалежа води до затруднения в транспортната и електропреносна системи.

Бяха използвани няколко източника на данни от стандартни наблюдения (радиосондажи, синоптични наблюдения, AMV – вектори на скоростта на вятъра, GPS Рефракции, Кодови съобщения METAR, Съобщения SHIP Observation reports) и спътникови данни. Експериментите, които са проведени са разделени на четири сценария: *сценарий 1* – числени експерименти, проведени без асимилация на данни, *сценарий 2* – с асимилация на спътникови данни, *сценарий 3* – с асимилация само на стандартни данни и *сценарий 4* – с асимилация на стандартни и спътникови данни. Резултатът от проведените експерименти с четирите сценария са представени във вид на разлики в полетата на температурата и на специфичната влажност и вертикални профили на метеорологичните елементи. Всички резултати са от началния момент на изчислението, т.е. съди се за влиянието на асимилация на данни в началните условия на численото моделиране.

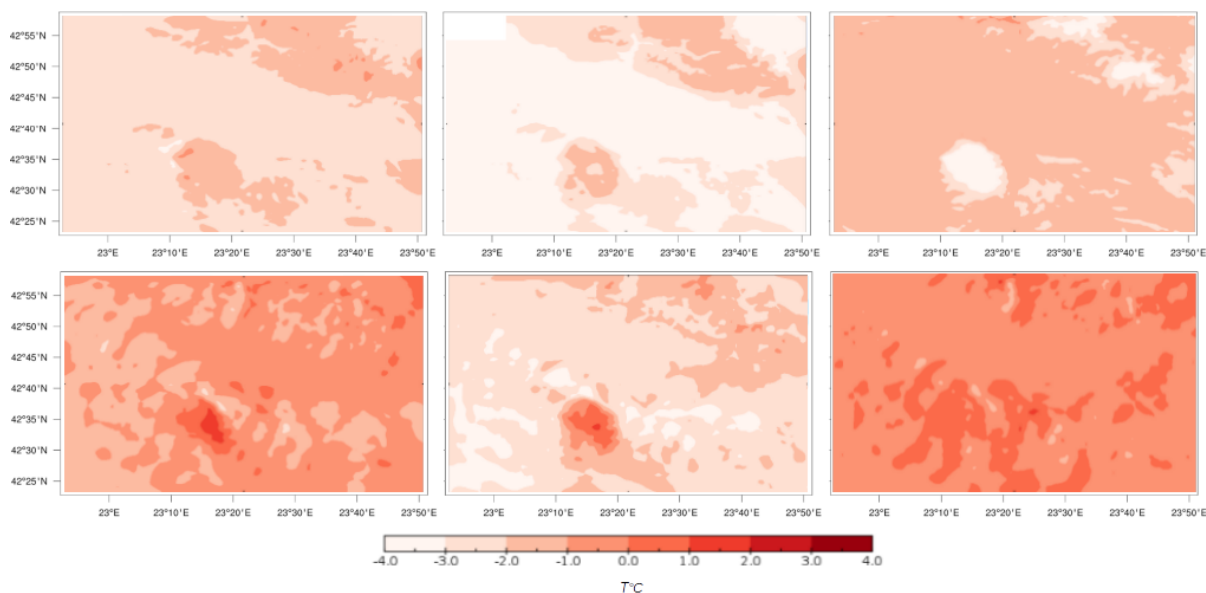


Фиг. 33. Анализ от немската метеорологична служба DWD (използван източник wetter3.de) на синоптичната обстановка над южните части от Европа. Фигурата изобразява полето на приземяното налягане и фронталните системи, свързани със Средиземноморския циклон.

Възможно най-точни данни за температурните полета близо до земната повърхност и във височина, са от изключителна важност при провеждането на анализа на синоптичната обстановка, защото от стойностите на температурата на определена височина над земната повърхност зависи и вида на валежа — дъжд или сняг. От разликите в полето на температурата, представено на фиг. 31 се вижда че асимилацията на стандартни данни е по-малко значима (фиг. 31, 3-та колона), като резултата е охлаждане с $\sim 1^{\circ}\text{C}$ близо до първото моделно ниво (на около 10 м) и не влияе съществено на по-високите нива (дадено е примерно на около 1500 м). Най-вероятно това се дължи на единственото стандартно наблюдение (радиосондаж) през деня, което дава информация за реалната температура във височина. Асимилацията на спътникови данни има съществен ефект на всички наблюдавани нива, като от изобразените две на фиг. 34, се вижда че при земята се наблюдава понижаване на температурата от около $3 - 4^{\circ}\text{C}$ (достатъчно за да се предположи валеж и образуване на покривка от сняг). Дори, още по-благоприятно за големи количества сняг е затоплянето на по-високите слоеве над АГС,

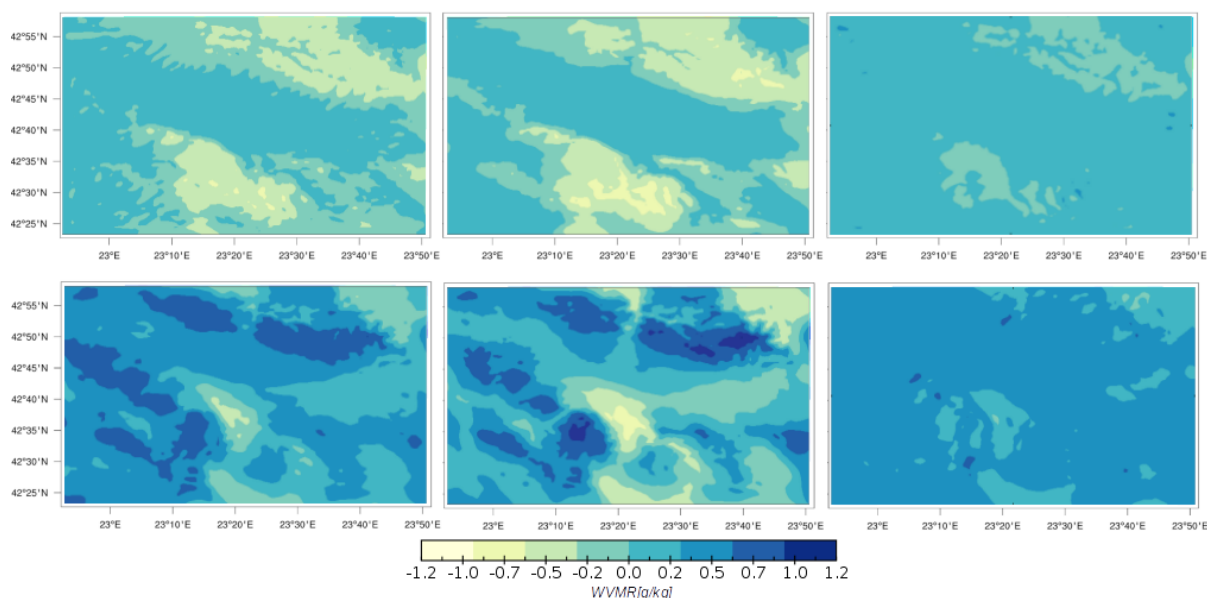
т.е. асимилацията на спътникови данни дава информация за по-топла въздушна маса, което е индикатор, че може да съдържа в себе си и по-голямо количество влага.

Фиг. 34 Разлики между различните сценарии на числени експерименти за полето на температурата: на горния ред – на височина приблизително 10 m; на долния ред – на височина приблизително 1500 m. Трите колони от по две фигури, представляват съответно: 1-ва колона – разлика между *сценарий 4* и *сценарий 1*; 2-ра колона – разлика между *сценарий 2* и *сценарий 1*; 3-та колона – разлика между *сценарий 3* и *сценарий 1*.



За да се предположи с по-висока точност не само вида на валежа в дадената синоптична ситуация а и количеството, към проведения по-горе анализ относно промяната на температурата при асимилация на спътникови данни, е нужно да се оцени и полето на специфичната влажност. Специфичната влажност се използва в синоптичния анализ, за да предостави информация за влажността на въздушната маса. Високи стойности на специфичната влажност и високи температури във височина, придружени с ниски стойности на температурата при земята предоставят идеални условия за валеж от сняг с натрупване на снежна покривка през зимните месеци. На фиг. 35 са представени разлики между различните сценарии на асимилация на данни.

Отново се вижда, че сценария с асимилация на спътникови данни е най-значим. Началните стойности на специфичната влажност са по-високи, сравнени със сценария без асимилация на данни. Във високите нива се наблюдава по-съществено увеличение на специфичната влажност и в комбинация с по-високите стойности в полето на температурата, установени по-рано, се образуват начални условия, които дават превес на условията за прогнозиране на обилен снеговалеж над територията на Софийското поле.



Фиг. 35 Разлики между различните сценарии на числени експерименти за полето на специфичната влажност: на горния ред – на височина приблизително 10 m; на долния ред – на височина приблизително 1500 m. Трите колони от по две фигури, представляват съответно: 1-ва колона – разлика между *сценарий 4* и *сценарий 1*; 2-ра колона – разлика между *сценарий 2* и *сценарий 1*; 3-та колона – разлика между *сценарий 3* и *сценарий 1*.

В заключение може да се каже, че асимилацията на спътниковите данни по метода 3D-Var показаха значително подобрение в два от най-основните метеорологични характеристики – температура и влажност. При процеса на асимилация на спътникови данни, приземните стойности на температурата се понижиха с до 3-4 °C, което даде предимство на осъществяване на прогноза с натрупване на снежна покривка. Във височина температурата показва леко повишение, което е индикатор за, първо – по-влажна въздушна маса и второ, съответно за синоптичен сценарий с по-високо количество на валеж. В полето на влажността, при земята и във височина се наблюдава значително повишение на стойностите, което означава увеличение на количеството валеж. Това проучване, показва че използването на метода 3D-Var за асимилация на спътникови данни в модула WRFDA на метеорологичния модел WRF подпомага предсказването на случай с обилан снеговалеж с натрупване на снежна покривка за района на Софийско поле.

В настоящото изследване също бе осъществена асимилация на данните от метеорологичен радар, разположен до с. Вакарел с географски координати 23,7 градуса дължина и 42,57 градуса ширина, на височина 895 м. Форматът, в който се предоставят суровите данни е Rainbow, разработен от производителя на метеорологичния радар и представлява XML структура с BLOB обекти, които са удобни контейнери за значителни по обем данни каквито са обемните (.vol формат) измервания от метеорологичния радар. Радарът прави измервания с дължина на вълната 5.3 cm на приблизително разстояние около 250 km. Обемните измервания от метеорологичния радар се извършват периодично през цялото денонощие. В случая, на всеки пет минути се получават данни, даващи информация за радиалната скорост на метеорологичните обекти, спрямо радара,

и тяхната отражаемост. В изследванията беше избрано да се използват данните за радиалната скорост, тъй като е достатъчно скоростите да бъдат пре-проектирани в координатната система на модела и директно да се асимилират чрез асимилационния модул. За да се асимилира отражаемостта е нужна допълнителна информация за други метеорологични елементи, която към настоящия момент липсва.

Разработен беше нов софтуер за тази задача, който е написан в средата Python 3x. Използвани са набор от помощни библиотеки, за декодиране на XML файловете с BLOB структури в тях. Създадена е процедура за географско рефериране на стойностите на радиалната скорост в географски координати и абсолютна височина над средно морско ниво, така че да могат да се запишат в подходящи структури от данни. След тези процедури, данните последователно се записват в текстови файлове, които са форматираны така, че да могат да бъдат правилно прочетени от асимилационния модул. Разработен е и скрипт, който да автоматизира процеса на обработка на входящи файлове от формат Rainbow до текстовия формат, удобен за WRFDA.

Очакван резултат от тази дейност бе подобряване на моделните резултати. Работата е завършена успешно, като е представена на 3 конференции и има една публикация по темата в импактно списание.

Vladimirov E., Dimitrova R., Danchovski V. (2017) Satellite data assimilation impact on short-term forecasts for the Sofia region. EMS Annual Meeting Abstracts, 14, EMS2017-391

Vladimirov E., Dimitrova R. Danchovski V. (2017) Impact of data assimilation on WRF model prediction: satellite data, surface and upper observations. Изд. на VI Национална Студентска Научна Конференция по Физика и Инженерни Технологии, 16-17 Ноември, 2017г., гр. Пловдив

Vladimirov E., Dimitrova R. Danchovski V. (2019) Impact of data assimilation on short-term precipitation forecasts using WRF-ARW model, International Conference on Large-Scale Scientific Computing 11 June, 2019, Sozopol, Bulgaria.

Vladimirov E., Dimitrova R., Danchovski V. (2020) Impact of data assimilation on short-term precipitation forecasts using WRF-ARW model. Large-Scale Scientific Computing, Lecture Notes in Computer Science, 1-8, Editors: Dr. Ivan Lirkov, Prof. Svetozar Margenov, Print ISBN: 978-3-030-41031-5; Electronic ISBN: 978-3-030-41032-2, Q2, IF (1.071/2019), SJR (0.43/2019).

5.3. Промяна (ако е необходимо) на табличните характеристики заложи в модела

Беше направено проучване и събрана информация за видовете почви в района на Софийското поле, където преобладават черноземните смолници, алувиално-ливадните и делувално-ливадни почви. За полупланинските райони са характерни канелените и кафявите горски почви. Към настоящия момент агрометеорологичната мрежа на НИМХ се състои от 28 агрометеорологични и фенологични станции. Те са разположени в районите на земеделското производство и обхващат площи с надморска височина не по-голяма от 800 m, като в Софийското поле има само една станция, намираща се в НИМХ. След проведени разговори с колеги от секция „Агрометеорология“, департамент „Метеорология“ в НИМХ бе установено, че единствената информация, която е налична е за температура и влагосъдържание на почвата. Липсата на данни за табличните характеристики на подложната повърхност (включително за градската среда) описани в Таблица 7 не позволи провеждането на експерименти с подмяна на тези характеристики

и замяната им с измерени за района стойности. Въпреки това, проведената валидация на модела за температурата на почвата на различни нива показва добро съответствие и направените изследвания бяха проведени с табличните характеристики, заложиени в модела.

Очакван резултат от тази дейност бе подобряване на моделните резултати. Проведената валидация на модела показва добро съвпадение между моделните и измерени стойности на наличните характеристики на почвата и поради липса на необходимите данни не бе направена промяна в табличните характеристики, заложиени в модела.

Литература

- [1] Iacono M J, Delamere JS, Mlawer EJ, Shephard MW, Clough SA, Collins WD (2008) Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. J Geophys Res Atmos 113:2-9.
- [2] Chen, F., and J. Dudhia, (2001) Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modelling system. Part I: Model implementation and sensitivity. Mon Weather Rev 129:569–585.
- [3] Lin, Y. L., R. D. Farley, H. D. Orville, (1983) Bulk parametrization of the snow field in a cloud model. J Appl Meteorol 22:1065–1092.
- [4] Grell, G. A. and D. Devenyi, (2002), A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. Geophys. Res. Lett. 29(1693).
- [5] Bougeault, P., P. Lacarrere, (1989), Parametrization of orography-induced turbulence in a mesobeta-scale model. Mon Weather Rev 117(8):1872–1890.
- [6] Sukoriansky, S., B. Galperin, V. Perov, Application of a new spectral theory of stably stratified turbulence to the atmospheric boundary layer over sea ice. Boundary-Layer Meteorol., 2005, 117(2):231–257.
- [7] Barantiev, D., Batchvarova, E., & Novitsky, M. (2017). Breeze circulation classification in the coastal zone of the town of Ahtopol based on data from ground based acoustic sounding and ultrasonic anemometer. Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology (BJMH), 22(5).
- [8] Andreev V., Ch. Branzov, E. Koleva, A. Tsenkova, J. Ivantsheva, P. Videnov, Climate and Human Comfort of Sofia, In: Penev L., Niemela J., Kotze D. J., and N. Chipev (eds.), Ecology of the city of Sofia: Species and Communities in an Urban Environment, p. 25-54, Pensoft Publishers, Sofia 2004.
- [9] Andreev V., D. Sirakov, A. Tsenkova, J. Ivantsheva, P. Videnov, Air Quality of Sofia - Meteorological Aspects, In: Penev L., Niemela J., Kotze D. J., and N. Chipev (eds.), Ecology of the City of Sofia: Species and Communities in an Urban Environment, p. 55-82, Pensoft Publishers, Sofia 2004.
- [10] Andreev V., Urban Climate and Air Quality – a Review, In: Penev L., Niemela J., Kotze D. J., and N. Chipev (eds.), Ecology of the City of Sofia: Species and Communities in an Urban Environment, p. 83-127, Pensoft Publishers, Sofia 200.

- [11] Андреев, В., В. Александров, Е. Бъчварова, Актуални рискови явления в атмосферата, София, 2010.
- [12] Batchvarova, E., D. Syrakov, A. Tzenkova, 1996, Air pollution characteristics of a region of Sofia and data from field experiments (1992-1993). In. Urban Air Pollution, Monitoring and control strategy (I. Allegrini and F. De Santis Eds), NATO ASI Series 2. Environment – v.8, 235-242.
- [13] Блъскова Д., Л. Златкова, С. Лингова, Ж. Модева, Л. Събев, М. Тенева, Климат и микроклимат на София, Изд. БАН, София 1983, 154 с.
- [14] Gospodinov, A. Tzenkova-Bratoeva, Spatial and Temporal Variability of the Rate of Change of the Winter Thermal Comfort Conditions in Bulgaria, Proc. 7TH Conference on Biometeorology, 12-14 April 2010, Freiburg, Germany, p. 195-201.
- [15] Gospodinov, Ilian and Anna Tzenkova-Bratoeva, Wind Chill Index in the Operational Practice of NIMH: Description and Analysis of the First Two Winter Seasons Data, GEOMED 2010, Antalia 2010.
- [16] Златкова Л., А. Ценкова, Предварителни изследвания на влиянието на градовете върху режима на вятъра”, Хидрология и метеорология, кн.4. 1982.
- [17] Златкова Л., А. Ценкова, Микроклимат на градовете обусловен от замърсяването на въздуха, научен отчет Н.4.13.3 “Изучаване микроклимата на градовете обусловен от замърсяването на атмосферата, библ. НИМХ, 1985.
- [18] Златкова Л., А. Ценкова, А. Йотова, Експедиционни микроклиматични изследвания – Витоша, IV, 1984г, сб. докл. Национална конференция по екологични генетични проблеми от замърсяването на околната среда с международно участие, Враца 1986.
- [19] Лингова Ст., Л. Златкова, А. Ценкова Ю. Иванчева, Някои изследвания на влиянието на градовете върху режима на метеорологичните елементи, I Национална конференция по екология по програма МАБ ЮНЕСКО, Слънчев бряг, 1982.
- [20] Модева Ж., Л. Златкова, А. Ценкова, Ю. Иванчева, Изследване на микроклимата на града във връзка с промишленото замърсяване”, I Конгрес на физиците в България, София 1983.
- [21] Syrakova, M., M. Zaharieva, 1998. Sofia Heat Island – Diurnal and Seasonal Variation. Part I. Frequency distribution of hourly temperature differences. Bulg. J. of Meteorol. and Hydrology, 14, 210-219.
- [22] Syrakova, M., M. Zaharieva, 1999. Sofia Heat Island – Diurnal and Seasonal Variation. Part II. Diurnal and seasonal variations of the heat island intensity. Bulg. J. of Meteorol. and Hydrology, 11, 1-16.
- [23] Ценкова А., Ю. Иванчева, Влияние на урбанизацията върху микроклимата и условията на комфортност в района на община “Искър”, сб. Доклади от XXII-ти колоквиум “Физиката в опазването на човека и околната среда” на тема “Влияние на физическите фактори с нисък интензитет върху човека”, Гюлежица 23-25 VI 2000г., 13-16стр.
- [24] Ценкова А., Ю. Иванчева, П. Виденов, Върху климата на града на примера на някои български градове, сб. Докл. XXX Конференция по въпросите на обучението по физика, Пловдив 30 май - 2юни 2002.
- [25] Tzenkova Anna, Julia Ivancheva, Human comfort in Sofia and its surrounding area, Трета европейска конференция по приложна климатология ECAC 2000, Пиза октомври 2000.

- [26] Tzenkova Anna, Julia Ivancheva, Vasil Andreev, Examination of the climate conditions and air pollution in the ecological zone “Sofia – EAST”, Трета европейска конференция по приложна климатология ECAC 2000, Пиза октомври 2000.
- [27] Tzenkova-Bratoeva Anna, Julia Ivancheva, Ekaterina Batchvarova and Reija Ruhela, The Estimation of Bioclimatic Conditions in Part of Bulgaria and Finland Using Different Human Comfort Indexes, BALWOIS 2008, May 2008 - Ohrid, Republic of Macedonia, (Abstract in BALWOIS 2008 Abstracts, full paper on CD - Balwois-fp-274.pdf)
- [28] Videnov, Plamen, Hristomir Branzov, Julia Ivancheva, On the solar radiation characteristics in urban area, Международен симпозиум по слънчева радиация IRIS 2000 – Санкт Петербург юли 2000.
- [29] Tzenkova-Bratoeva, A., J. Ivancheva, P. Videnov, I. Gospodinov, Human Comfort Conditions and the Heat Waves in Bulgaria in the summer season 2007, GOMED 2010, Antalia 2010.
- [30] Ценкова, А и Ю. Иванчева (2019) Микроклиматични условия в София (под печат – лична комуникация).
- [31] Hong, S., Y. Noh, J. Dudhia (2006), A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. Mon Weather Rev 134(9):2318–2341.
- [32] Thompson, P. D., 1957: Uncertainty of the initial state as a factor in the predictability of large scale atmospheric flow patterns. Tellus, 9, 275–295.
- [33] Tribbia, J. J. and Baumhefner D. P. (2004) Scale Interactions and Atmospheric Predictability: An Updated Perspective. Mon Wea Rev, 132(3), 703-713.
- [34] Sivillo, J.K., Ahlquist, J.E., Toth, Z. (1997)
- [35] Arribas, A., Robertson, K. B., Mylne, K. R. (2005) Test of a poor man’s ensemble prediction system for short-range, Wea and Forecasting, 12(4), 809–818.

2. Списък на научните публикации

1. Kirova H. and Batchvarova E. (2017) Mesoscale simulation of meteorological profiles during the Sofia Experiment 2003. *Int. J. Environment and Pollution*, 61(2), 134-147, **Q3, IF (0.648/2017), SJR (0.215/2017)**;
<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJEP.2017.085658>;
<https://doi.org/10.1504/IJEP.2017.085658>
 2. Egova E., Dimitrova R., Danchovski V. (2017) Numerical study of meso-scale circulation specifics in the Sofia region under different large-scale conditions. *Bul. J. Meteo & Hydro*, 22(3-4), 54-72; http://meteorology.meteo.bg/global-hange/files/2017/BJMH_2017_vol_22_3-4/BJMH_v22_issue_3-4_eegova_numerical.pdf
 3. Vladimirov E., Dimitrova R., Danchovski V. (2018) Sensitivity of WRF model results to topography and land cover: study for the Sofia region. *Annuaire de l'Université de Sofia "St. Kliment Ohridski"*, Faculté de Physique, 111, 87-101; http://www.phys.uni-sofia.bg/annual/archive/111/full/GSU-Fizika-111_07.pdf
 4. Dimitrova R., Danchovski V., Egova E., Vladimirov E. (2018) Modelling the impact of vanish green areas on local meteorological conditions in Sofia, Bulgaria, *Proc. of International Conference on Natural Science and Environment (ICNSE)*, 7-8 November 2018, Tokyo, Japan; 12-17; http://www.worldresearchlibrary.org/up_proc/pdf/2093-154658219312-17.pdf
 5. R. Dimitrova, V. Danchovski, E. Egova, E. Vladimirov, A. Sharma, O. Gueorguiev, D. Ivanov, (2019) Modeling the Impact of Urbanization on Local Meteorological Conditions in Sofia, *Atmosphere*, 10 (7), 1-24, ISSN (online):2073-4433, **Q2, IF (2.4/2019), SJR (0.7/2019)**; doi:<https://doi.org/10.3390/atmos10070366>
- Цуману (5):*
- Herbel I., URBAN HEAT ISLAND: Assessment techniques, mitigation and applications in a post-socialist city. Book, Presa Universitara Clujeană, 2020*
- Sheridan, L.M.; Krishnamurthy, R.; Gorton, A.M.; Shaw, W.J.; Newsom, R.K. Validation of Reanalysis-Based Offshore Wind Resource Characterization Using Lidar Buoy Observations. Marine Technology Society Journal 2020, 54, 44. [CrossRef]*
- Manev, I. Serological survey of vector-borne pathogens in stray dogs from Sofia area, Bulgaria. Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports 2020, 21, 100441*
- Siewert, J.; Kroszczynski, K. GIS Data as a Valuable Source of Information for Increasing Resolution of the WRF Model for Warsaw. Remote Sensing 2020, 12, 1881. Open Access on mdpi.com*

Roşu, I.-A.; Ferrarese, S.; Radinschi, I.; Ciocan, V.; Cazacu, M.-M. Evaluation of Different WRF Parametrizations over the Region of Iaşi with Remote Sensing Techniques. Atmosphere 2019, 10, 559. Open Access on mdpi.com

6. Kirova H., Batchvarova E., Dimitrova R., Vladimirov E. (2019) Validation of WRF with detailed topography over urban area in complex terrain, Air Pollution Modeling and its Application XXVII, Editors: Dr. Clemens Mensink, Dr. Volker Matthias, приета за публикация

7. Vladimirov E., Dimitrova R., Danchevski V. (2020) Impact of data assimilation on short-term precipitation forecasts using WRF-ARW model. Large-Scale Scientific Computing, Lecture Notes in Computer Science, 1-8, Editors: Dr. Ivan Lirkov, Prof. Svetozar Margenov, Print ISBN: 978-3-030-41031-5; Electronic ISBN: 978-3-030-41032-2, **Q2, IF (1.071/2019), SJR (0.43/2019)**; https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-41032-2_30?fbclid=IwAR0m33YZwKlxu68YksuYuriudCgxNz16_fX5su8yeu3RqTaBiQ9rBYjVUrg

8. Savov P., Kolev N., Batchvarova E., Kirova H., Kolarova M. (2020) Particulate matter characteristics and atmospheric boundary layer height over Sofia, Proceedings of 1st International conference on Environmental protection and disaster RISks, 2020, Sofia, Bulgaria; <https://doi.org/10.48365/envr-2020.1.6>.

9. Savov P., Kolev N., Batchvarova E., Kirova H., Kolarova M. (2020) Interaction between particulate matter characteristics and atmospheric boundary height over Sofia based on case studies. Studies in Systems, Decision and Control (SSDC), Springer, Series Ed.: Kacprzyk, Janusz, ISSN: 2198-4182

3. Списък на участията в научни форуми

Международни форуми

1. Gueorguiev O., Danchevski V., Batchvarova E., Barantiev D. (2017) Boundary-Layer Height by ceilometer and radiosounding in Sofia valley for specific cases. EMS Annual Meeting Abstracts, 14, EMS2017-810;

https://presentations.copernicus.org/EMS2017-810_presentation.pdf
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2017/EMS2017-810.pdf>

2. Egova E., Dimitrova R., Danchevski V. (2017) Study specifics of the meso-scale circulation under different large-scale conditions for Sofia region. EMS Annual Meeting Abstracts, 14, EMS2017-366;

https://presentations.copernicus.org/EMS2017-366_presentation.pdf
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2018/EMS2018-253.pdf>

3. Vladimirov E., Dimitrova R., Danchevski V. (2017) Satellite data assimilation impact on short-term forecasts for the Sofia region. EMS Annual Meeting Abstracts, 14, EMS2017-391;

http://presentations.copernicus.org/EMS2017-391_presentation.pptx
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2017/EMS2017-391.pdf>

4. Dimitrova R., Danchevski V., Egova E., Vladimirov E. (2018) Modelling the impact of vanish green areas on local meteorological conditions in Sofia, Bulgaria, International Conference on Natural Science and Environment (ICNSE), 7-8 November 2018, Tokyo, Japan;
5. Barantiev D., Dimitrova R., Kirova H., Batchvarova E., Kolarova M., Penchev R., Vladimirov E., Gueorgiev O. (2019) Numerical simulations of wind field evolution over complex terrene against sodar measurements, EMS Annual Meetings Abstracts, Vol.16, EMS2019-577, 2019; <https://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2019/EMS2019-577.pdf>
6. Danchevski V., Vladimirov E., Egova E., Barantiev D., Ivanov D., Dimitrova R., Batchvarova E. (2019) Statistical analysis of ceilometer overlap function, EMS Annual Meetings Abstracts, Vol. 16, EMS2019-808, 2019; <https://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2019/EMS2019-808.pdf>
7. Kirova H., Batchvarova E., Dimitrova R., Vladimirov E. (2019) Validation of WRF with detailed topography over urban area in complex terrain. Proceedings of the 37th International Technical Meeting on airpollution modelling and its applications (ITM2019), 23rd – 27th September 2019
8. Vladimirov E., Dimitrova R. Danchevski V. (2019) Impact of data assimilation on short-term precipitation forecasts using WRF-ARW model, International Conference on Large-Scale Scientific Computing 11 June, 2019, Sozopol, Bulgaria.
9. Egova E., Dimitrova R., Danchevski V. (2018) Numerical Simulation of the Effect of Different Large-scale Flows on Local Circulation over Sofia Valley, Bulgarian 10th Jubilee International Conference of the Balkan Physical Union, Sofia Bulgaria, August 26 -30, 2018.
10. Vladimirov E., Dimitrova R. Danchevski V. (2018) Sensitivity of WRF model results to topography and land cover: study for the Sofia region, Bulgarian 10th Jubilee International Conference of the Balkan Physical Union, Sofia Bulgaria, August 26 -30, 2018.
11. Kolev N., Savov P., Kolarova M., Kirova H., Batchvarova E. (2020) Particle concentration on a mountain slope in relation to ABL height, 12th International Conference on Air Quality - Science and Application 2020 (AQ2020), 9-13 March 2020, Thessaloniki, Greece.
12. Savov P., Kolev N., Batchvarova E., Kirova H., Kolarova M. (2020) Particulate matter characteristics and atmospheric boundary layer height over Sofia, 1st International conference on ENVIRONmental protection and disaster RISks, 29 September - 01 October 2020, Sofia, Bulgaria.

Национални форуми

1. Egova E., Dimitrova R., Danchevski V. (2017) Simulations of meso-scale phenomena under different large-scale conditions in Sofia region. Изд. на VI Национална Студентска Научна Конференция по Физика и Инженерни Технологии, 16-17 Ноември, 2017г., гр. Пловдив
2. Vladimirov E., Dimitrova R., Danchevski V. (2017) Impact of data assimilation on WRF model prediction: satellite data, surface and upper observations. Изд. на VI Национална Студентска Научна Конференция по Физика и Инженерни Технологии, 16-17 Ноември, 2017г., гр. Пловдив

3. Vladimirov E., Dimitrova R. Danchovski V. (2019) Подобрене на метеорологична числена прогноза с CORINE Land Cover, 2012, Първи национален семинар по програма „Коперник” на ЕС, 22-23 ноември 2018 г., София, България

4. Отчет за изпълнение на Плана за експлоатация на научните резултати от изпълнението на проект

Планът за реализация и разпространение на резултатите от научния проект беше изпълнен по повечето показатели, предвидени в проекта, изброени по-долу.

- Създадена беше страница на проекта, която е добавена към официалната страница на катедра „Метеорология и геофизика“ (<http://mg.phys.uni-sofia.bg/projects.html>) към Физически факултет на СУ „Св. Климент Охридски. На тази страница е публикувано резюме на проекта с описание на работната програма и очакваните резултати от различните дейности, както и очакваните резултати от цялостното изпълнение на проекта. Представен е също приносът на проекта за повишаване капацитета и квалификацията на членовете на колектива, както и списък на всички публикации и презентации на международни и национални форуми с линк до електронна версия. Представени са междинния и окончателен отчети по проекта. Също кратка анотация на проекта има на страницата на СУ „Св. Климент Охридски“ – раздел проекти.
- Резултати от анализа при работата по РП1 и РП2, са представени за демонстрация на различната структура на профилите на АГС, описващи градска и извънградска среда, в курсовете по „Граничен слой и процеси на взаимодействие (атмосфера-океан-суша)“ и „Динамична метеорология II“. Резултати от работата по РП3 бяха използвани в курсовете по „Екологични проблеми и транспорт на замърсители“ и „Граничен слой и процеси на взаимодействие (атмосфера-океан-суша)“, като пример за подобряване на моделните резултати от по-детайлното представяне на орографията в параметрите на подложната повърхност в числените модели. Курсовете са от образователната програма на специалност „Астрономия, геофизика и метеорология“ и магистърската програма „Метеорология“ на Физически Факултет, СУ „Св. Кл. Охридски“.
- Издадени са 10 публикации, 3 от тях в престижни списания с импакт фактор. Резултатите от изследванията са представени в престижни международни конференции като: EMS Annual Meeting (2017 г. и 2019 г.), 37th International Technical Meeting on airpollution modelling and its applications (ITM2019), 12th International Conference on Air Quality - Science and Application 2020 (AQ2020), International Conference on Large-Scale Scientific Computing, International Conference on Natural Science and Environment (ICNSE), Bulgarian 10th Jubilee International Conference of the Balkan Physical Union и 1st International conference on ENVIRONmental protection and disaster RISks. Регистрирано е представяне също и в национални форуми като VI Национална Студентска Научна Конференция по Физика и Инженерни Технологии и Първи национален семинар по програма „Коперник” на ЕС. Участието на докторантите в международните форуми им даде възможност за създаване на лични контакти с известни учени в изследваната област и дискусия на работата по проекта с тях. Участието в национални форуми позволи представяне на работата по проекта пред млади учени от българската научна общност.

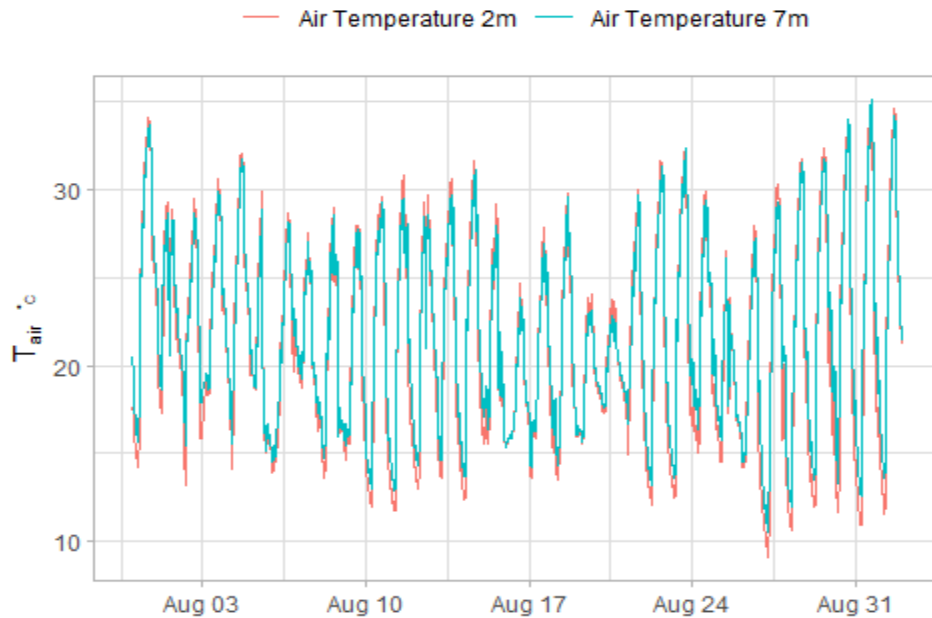
- Разработването на подобрена версия на мезо-метеорологичния модел WRF и използването и за краткосрочни прогнози в района на Софийското поле е от изключителен интерес за „Ръководство на въздушното движение“ (ДП РВД) и отдел прогнози на НИМХ. Създадени са контакти с „Районен център за обслужване на въздушното движение в София“ и направените промени ще бъдат внедрени в оперативната версия на модела, използван за работа в ДП РВД. Голяма част от докторантите, работещи в проекта са служители на НИМХ и директно ще приложат знанията и опита от изследователската работа в своята дейност.
- Планувано бе представяне на резултатите от проекта за по-широк кръг публика в края на месец май 2020г., но поради настъпилата пандемична обстановка такъв тип изяви бяха отменени. На страницата на проекта е представено резюме с най-значимите резултати от проекта, описани на разбираем език за неспециалисти.

Приложение 1

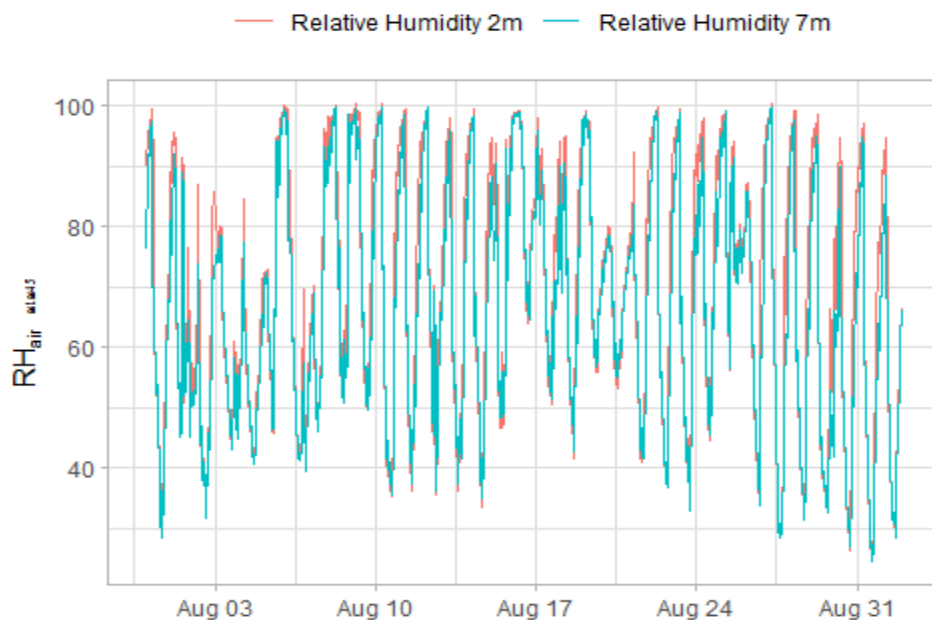
Метеорологични данни и турбулентни характеристики - времеви редици

На следващите фигури е представена еволюцията на метеорологичните параметри и някои турбулентни характеристики за месеците **август** и **октомври** (лято и есен).

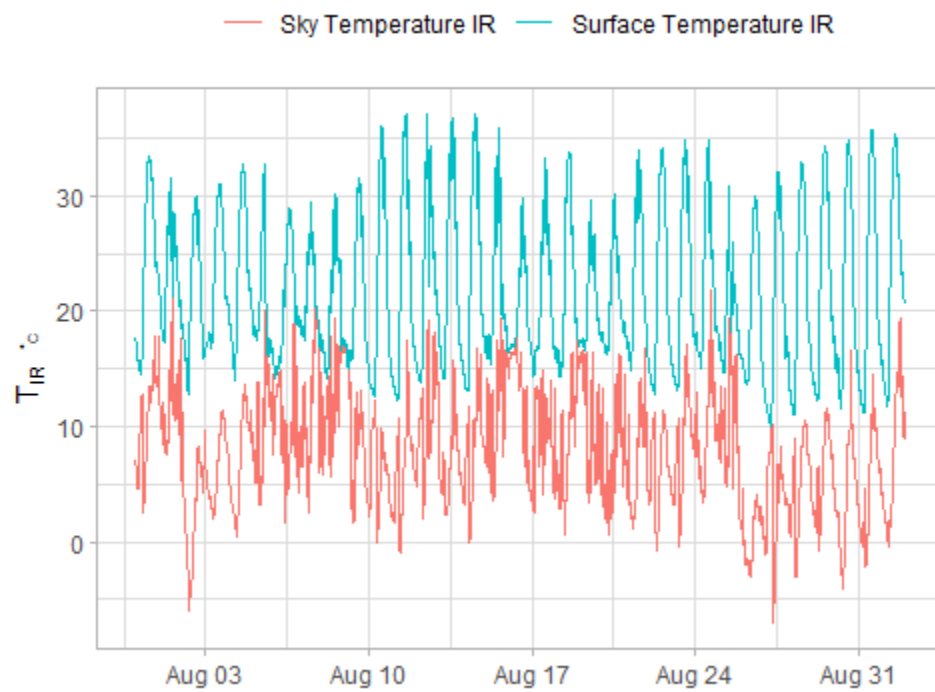
Температура на въздуха през лятото



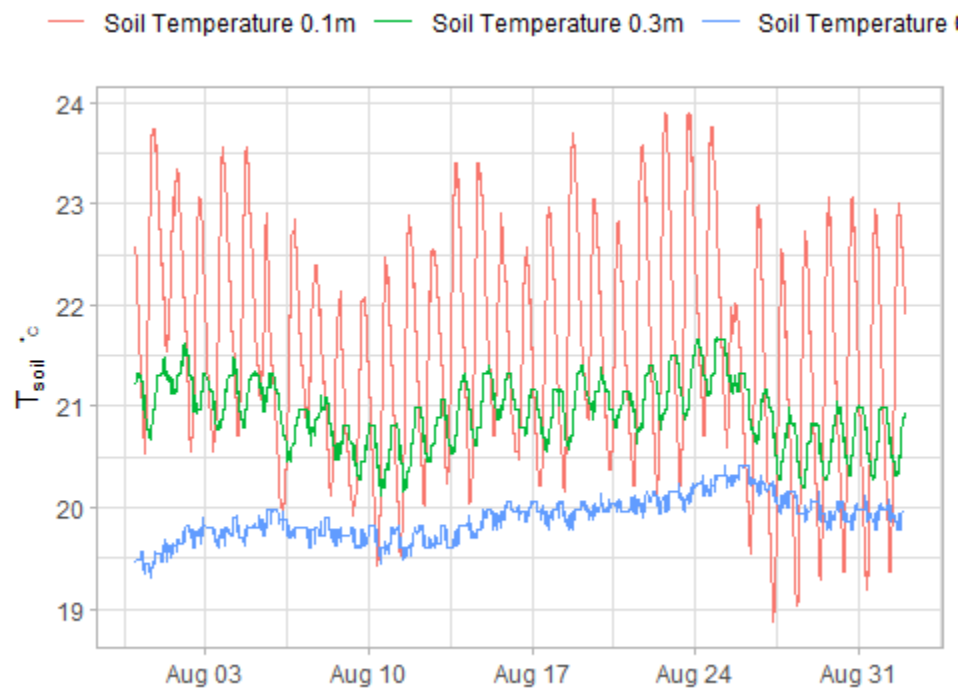
Относителна влажност на въздуха през лятото



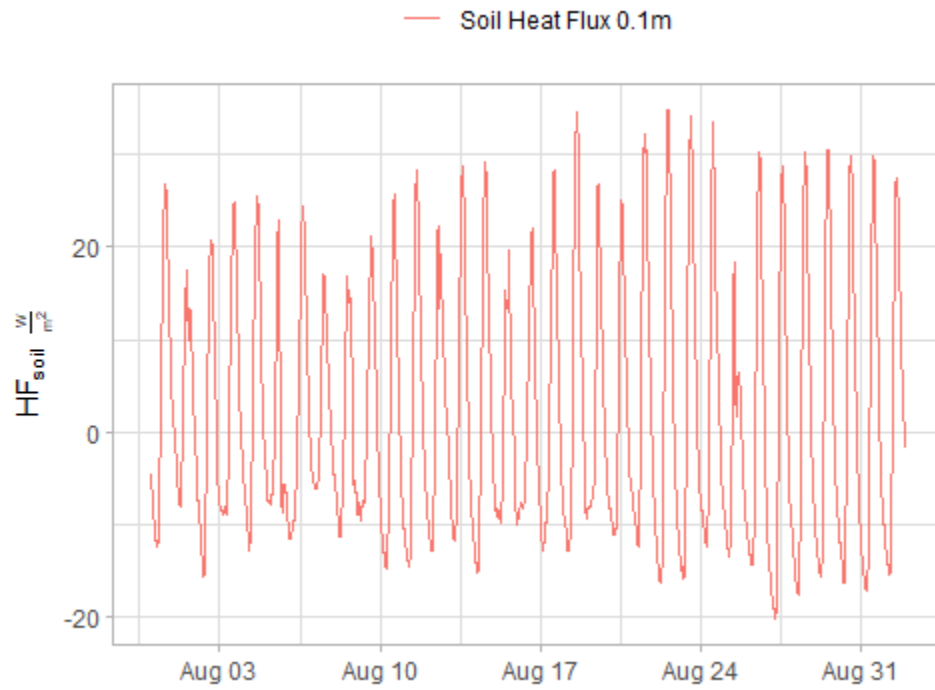
Яркостна (IR) температура на подложната повърхност и небосвода през лятото



Температура на почвата през лятото

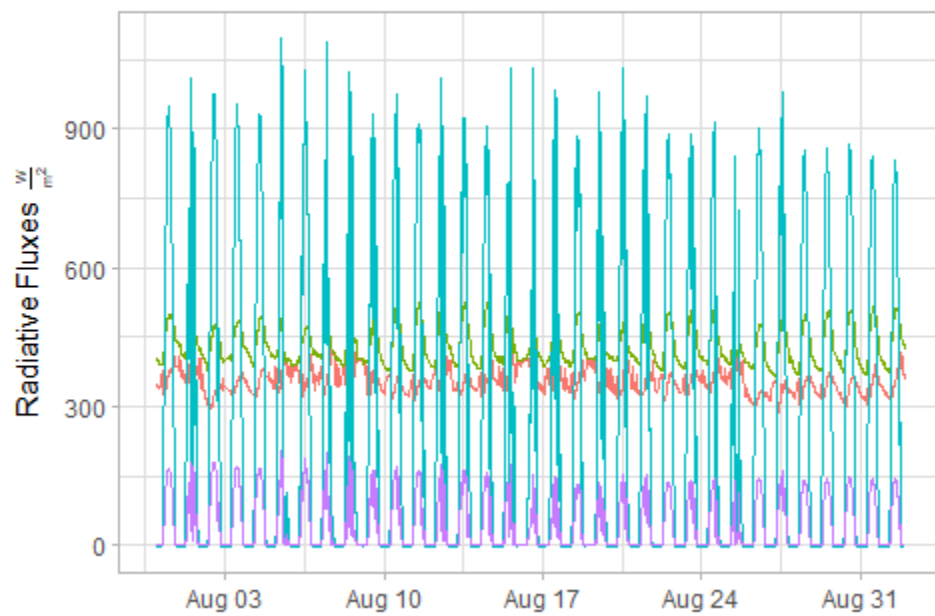


Поток топлина в почвата през лятото

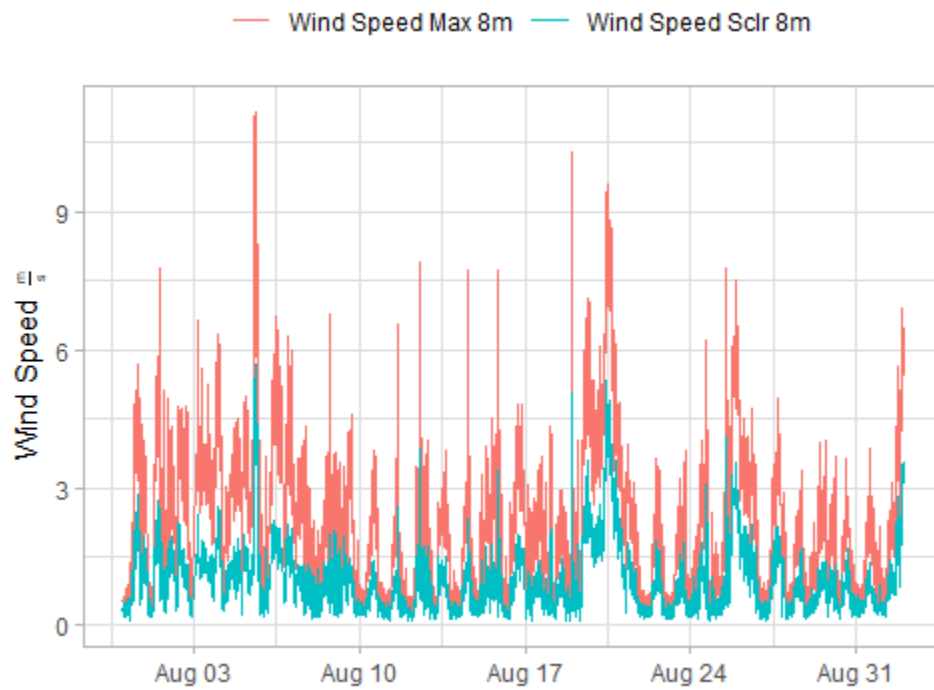


Лъчисти (радиационни) потоци през лятото

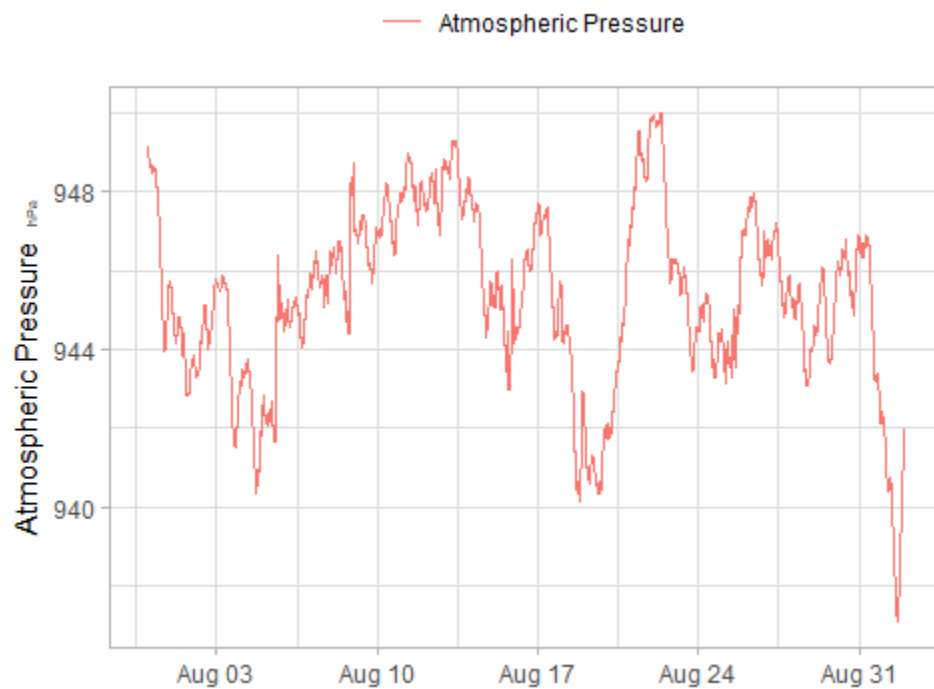
Longwave Incoming — Longwave Outgoing — Shortwave Incoming — Short



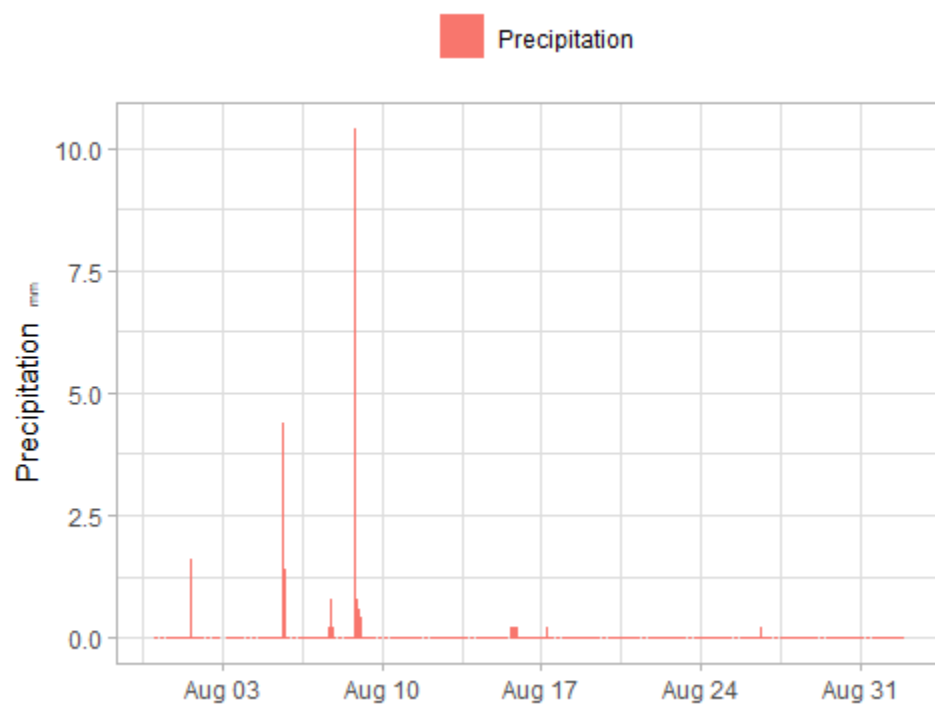
Скорост на вятъра през лятото



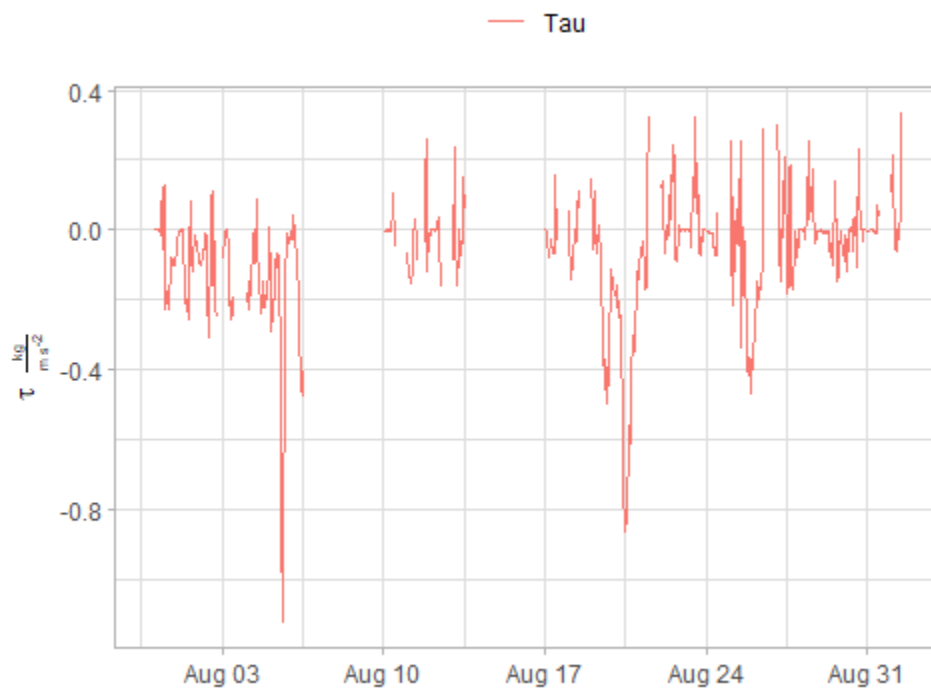
Атмосферно налягане през лятото



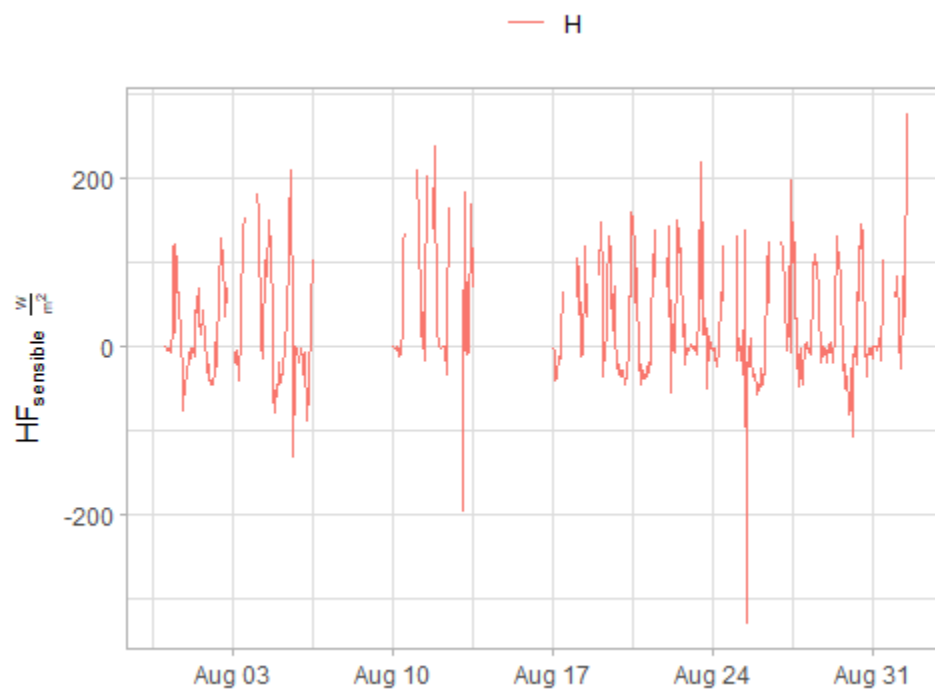
Количество валеж през лятото



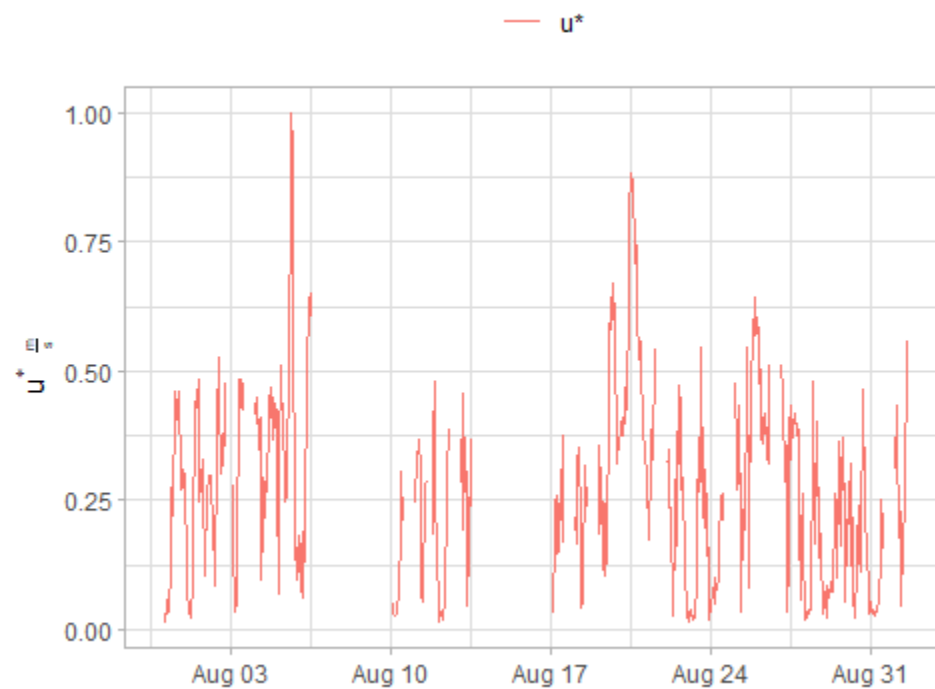
Вертикален турбулентен поток импулс през лятото



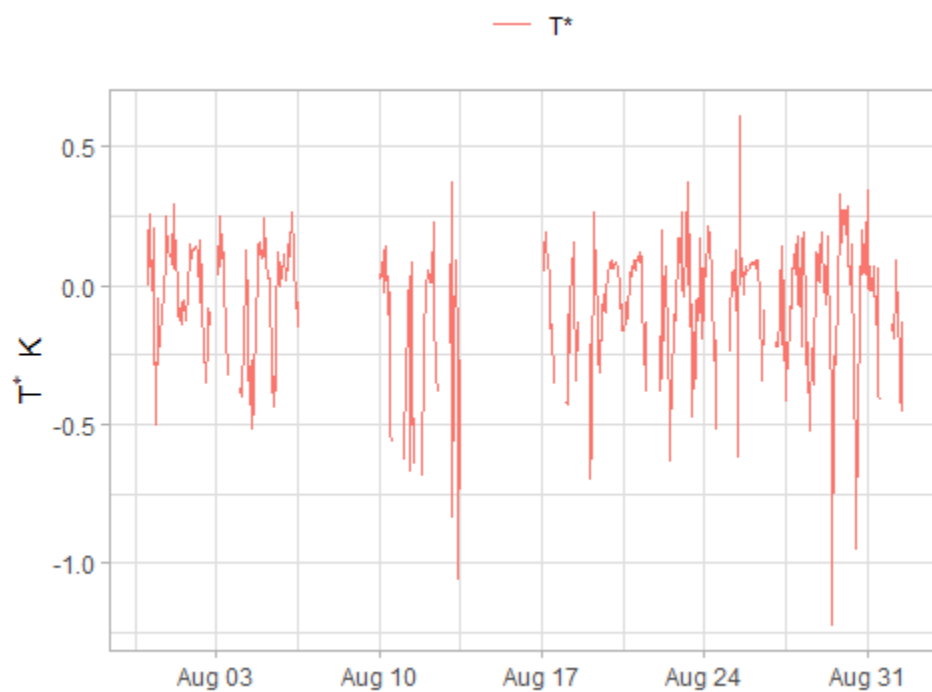
Вертикален турбулентен поток топлина през лятото



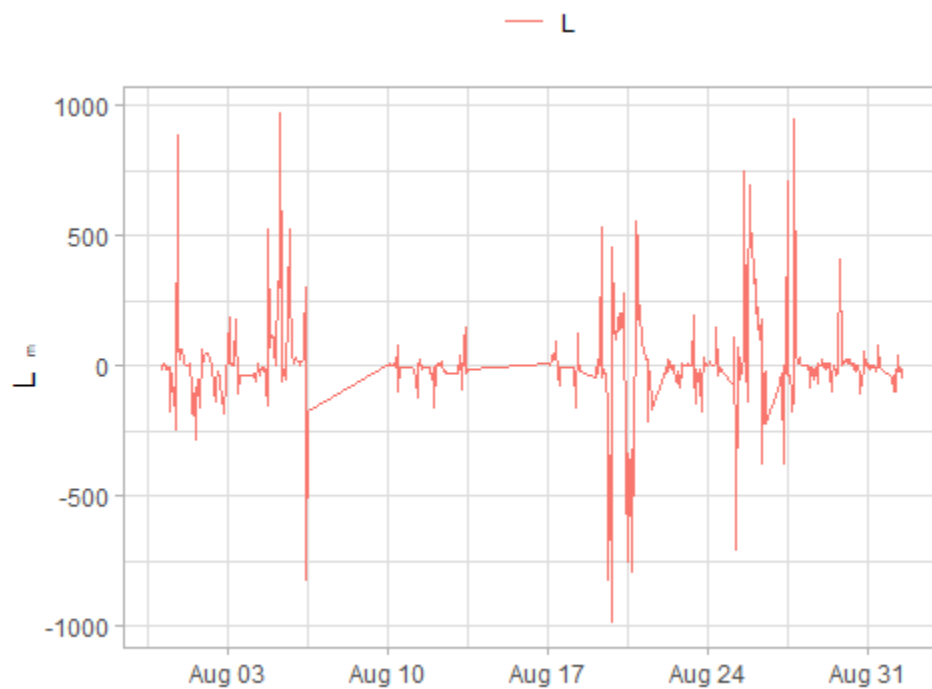
u^* - мащаб за скорост в ПС (динамична скорост) през лятото



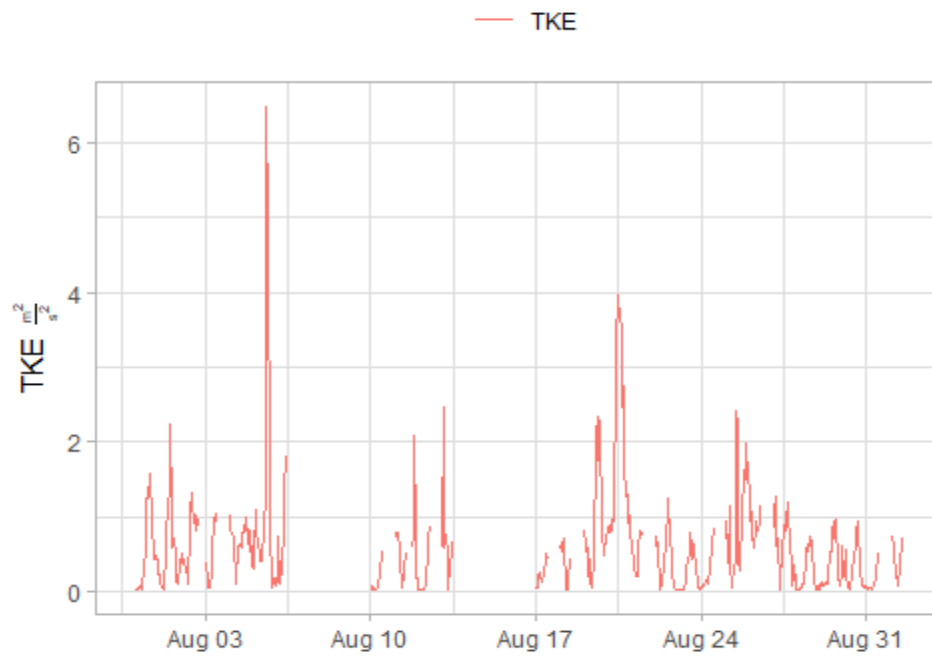
T^* - мащаб за температура в ПС през лятото (май отговаря на θ^* от учебника на Сираков)



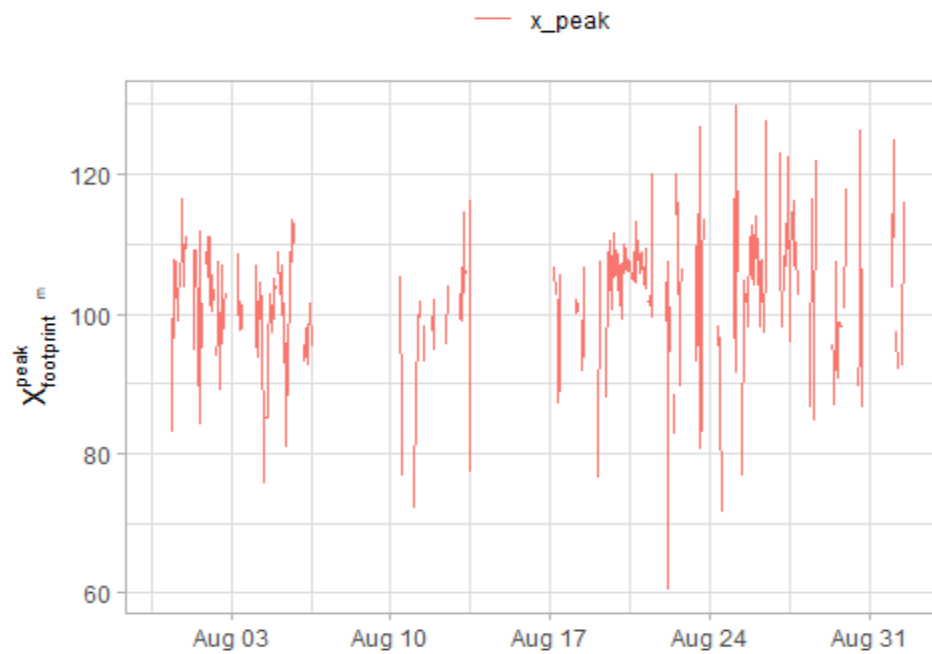
L - мащаб на Монин-Обухов през лятото (Забележка: Ограничил съм го -1000, +1000)



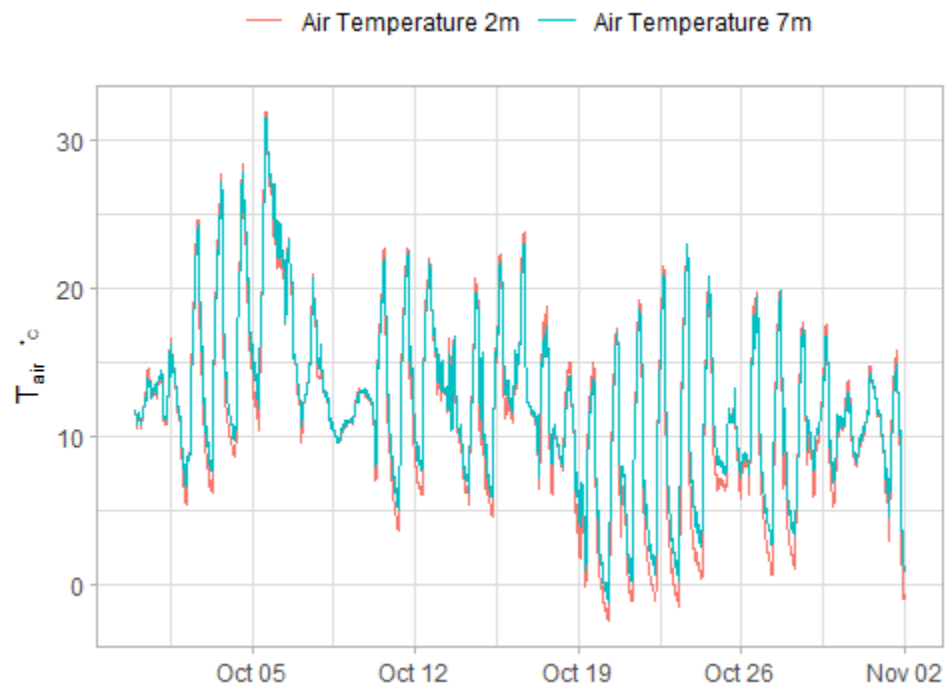
TKE - турбулентна кинетична енергия през лятото



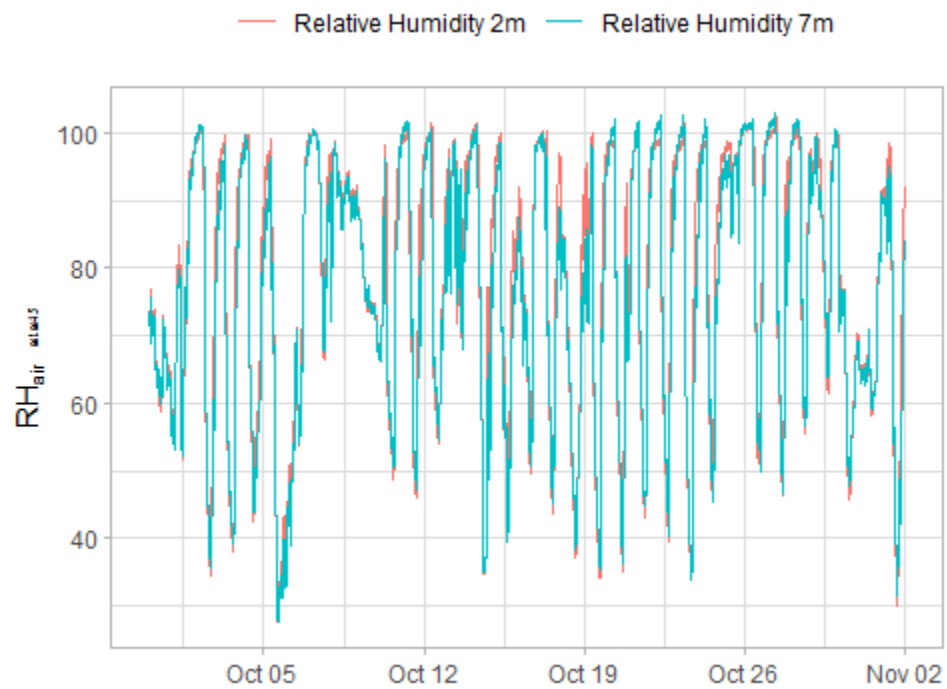
x_{peak} - разстояние (срещу вятъра) до зоната с максимален принос в турбулентните потоци през лятото



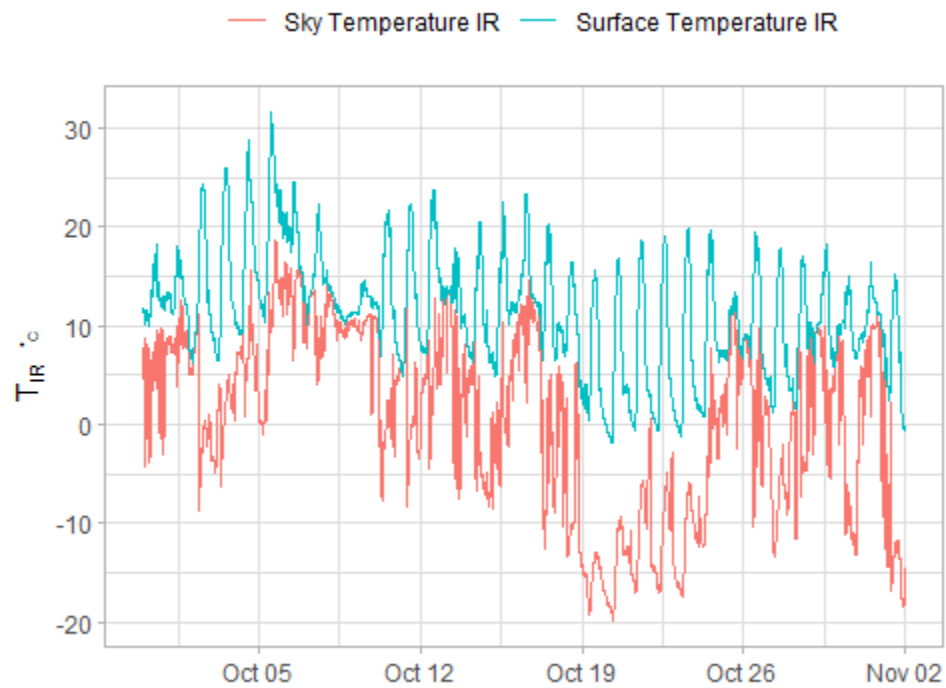
Температура на въздуха през есента



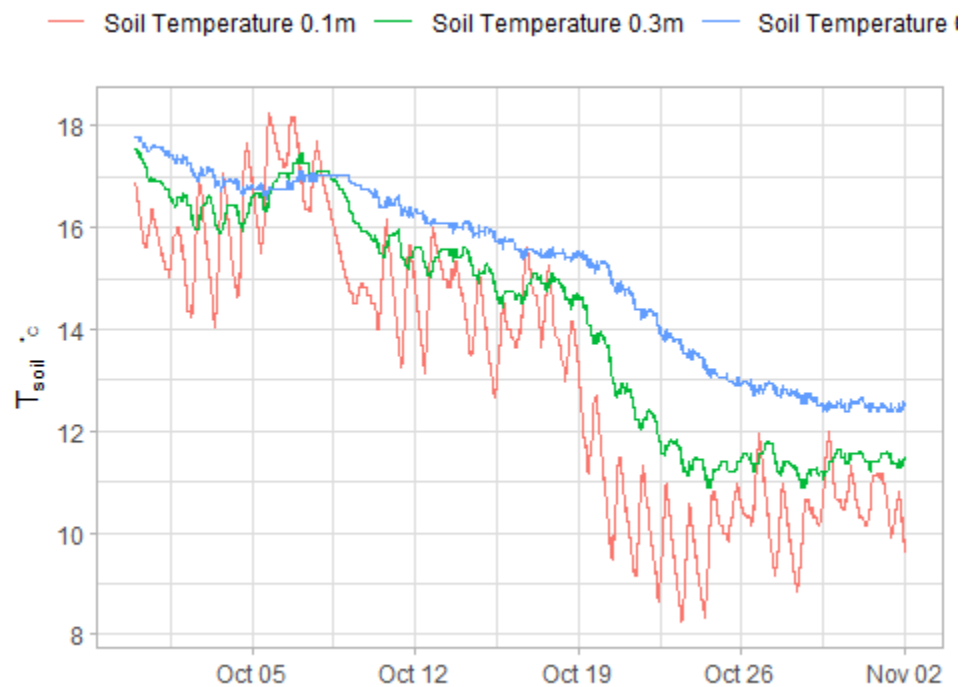
Относителна влажност на въздуха през есента



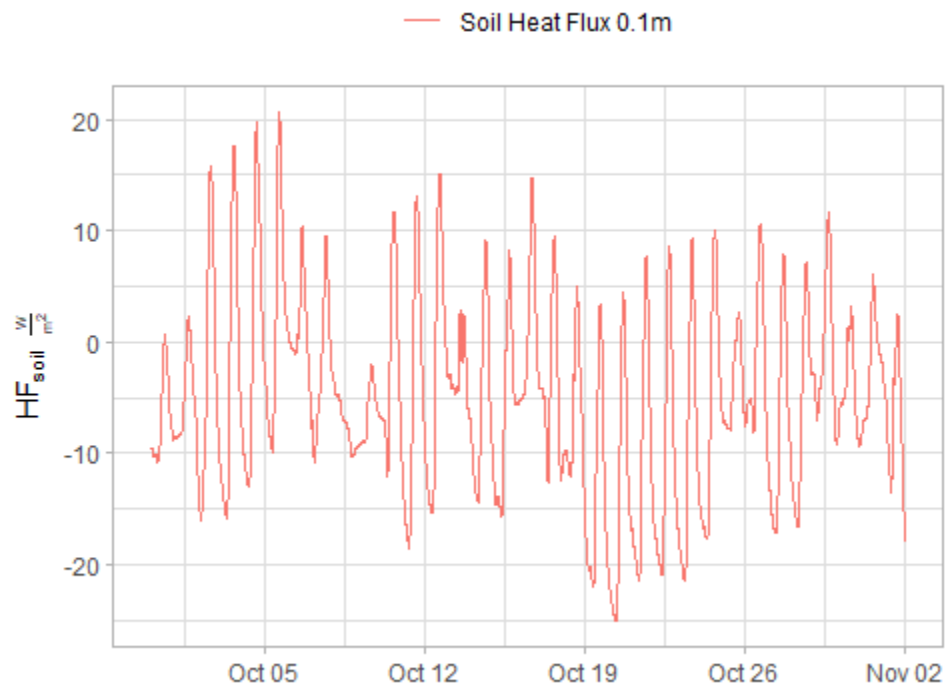
Яркостна (IR) температура на подложната повърхност и небосвода през есента



Температура на почвата през есента

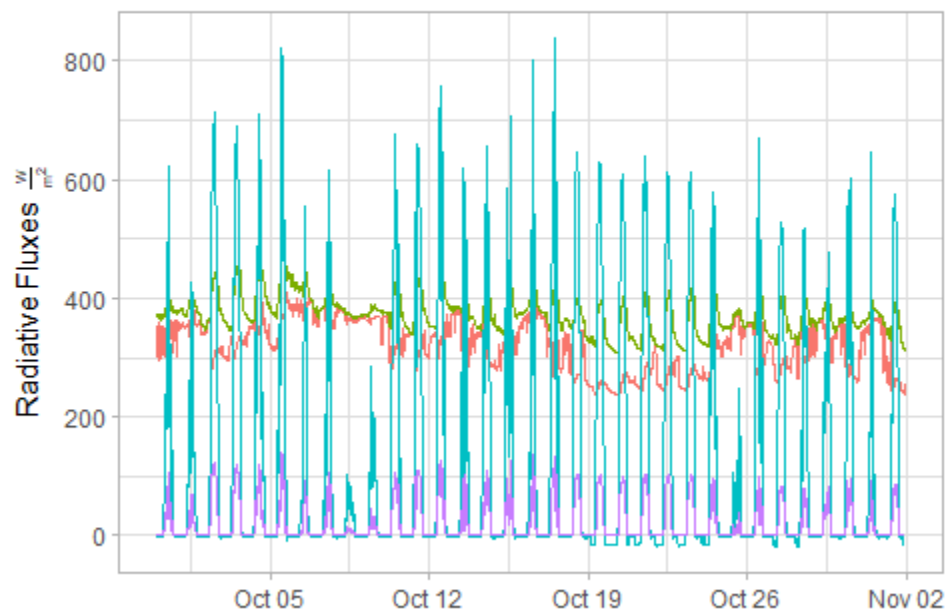


Поток топлина в почвата през есента

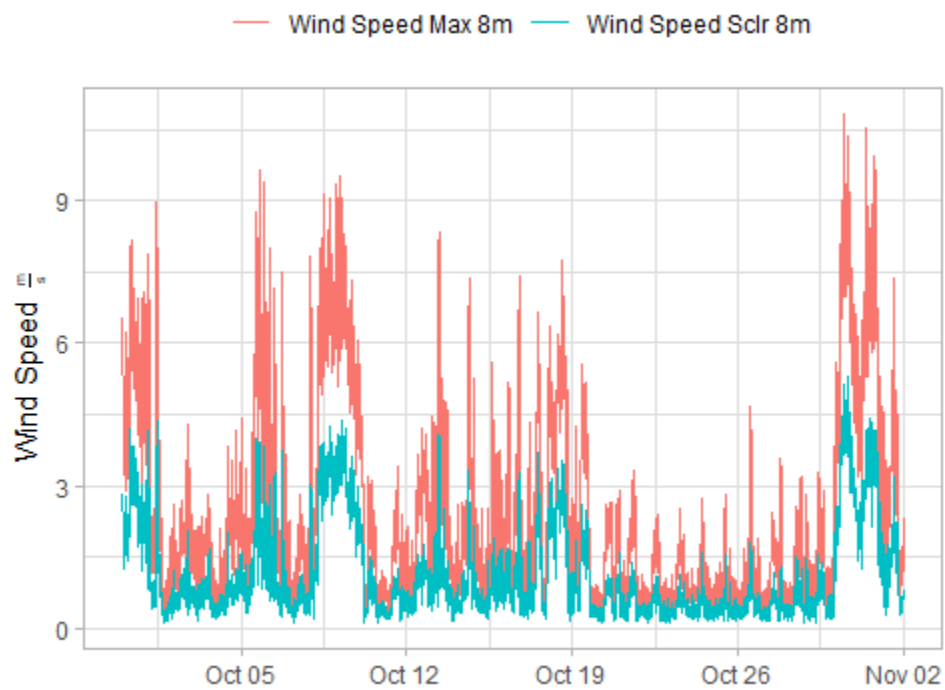


Лъчисти (радиационни) потоци през есента

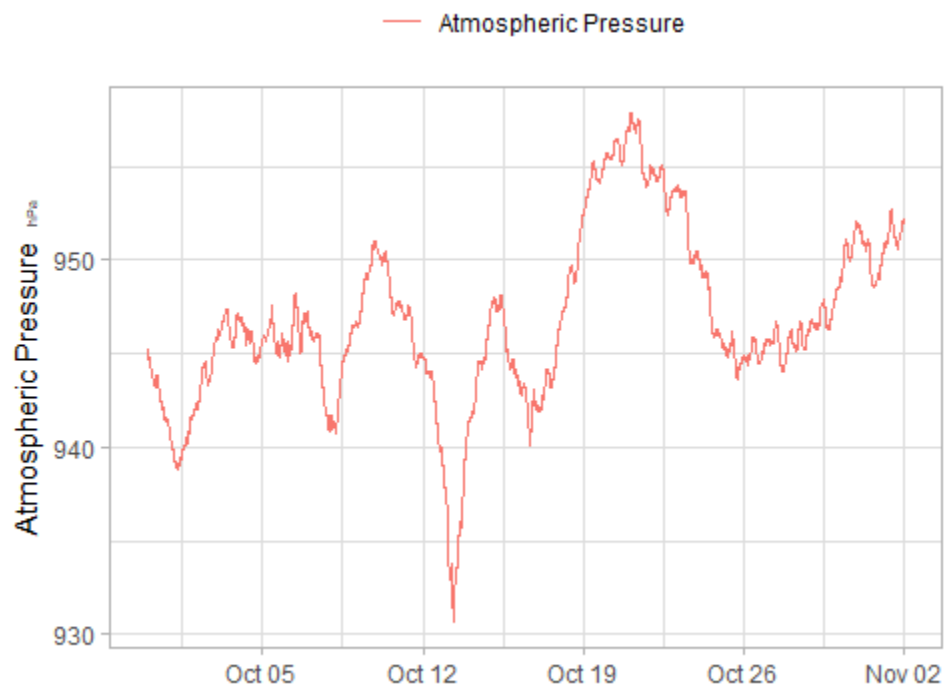
Longwave Incoming — Longwave Outgoing — Shortwave Incoming — Short



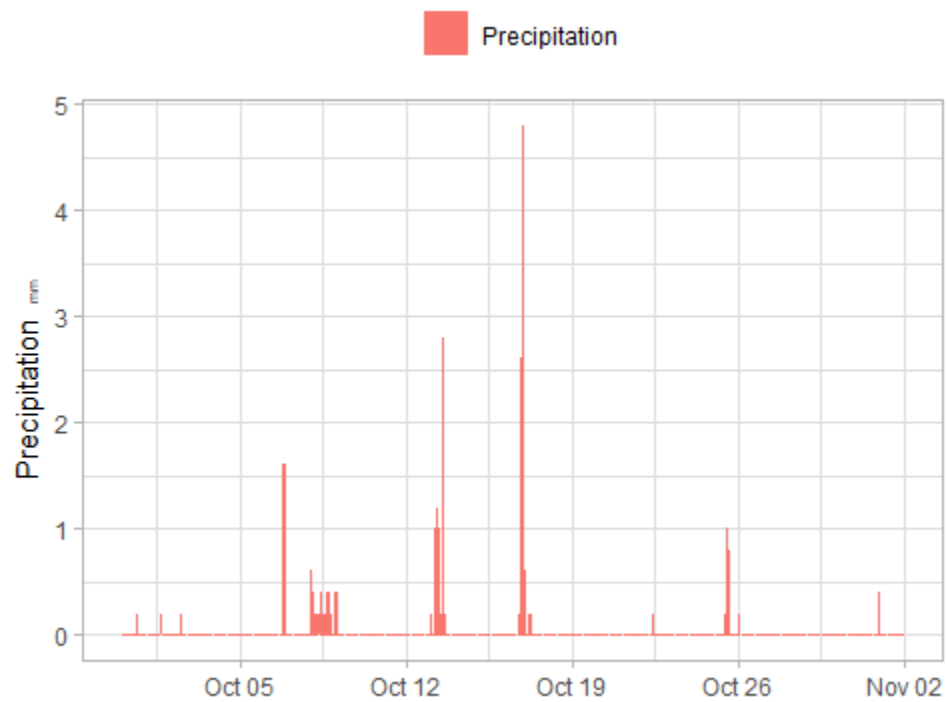
Скорост на вятъра през есента



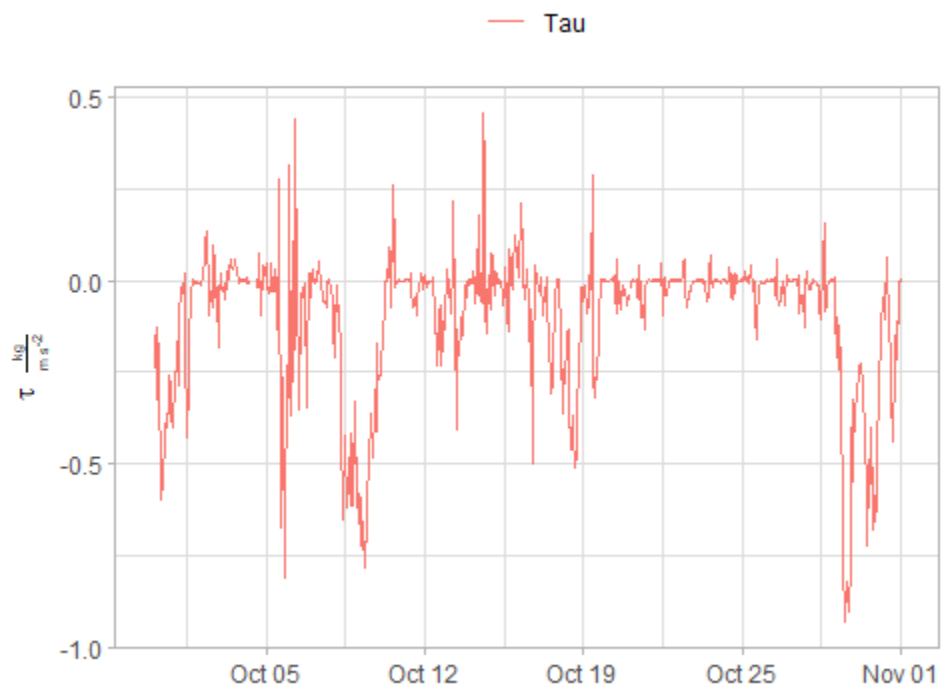
Атмосферно налягане през есента



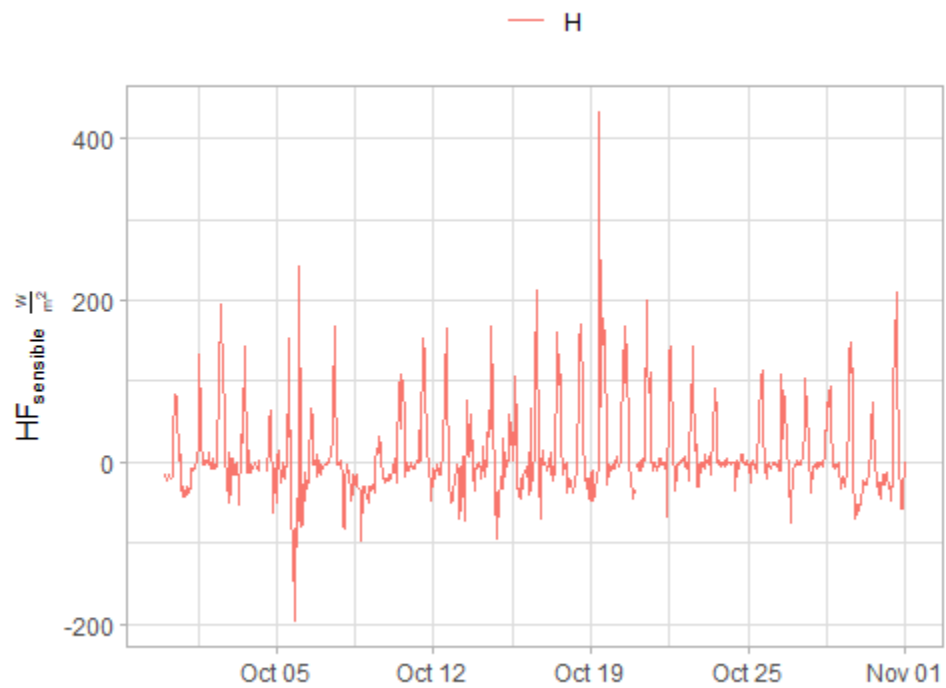
Количество валеж през есента



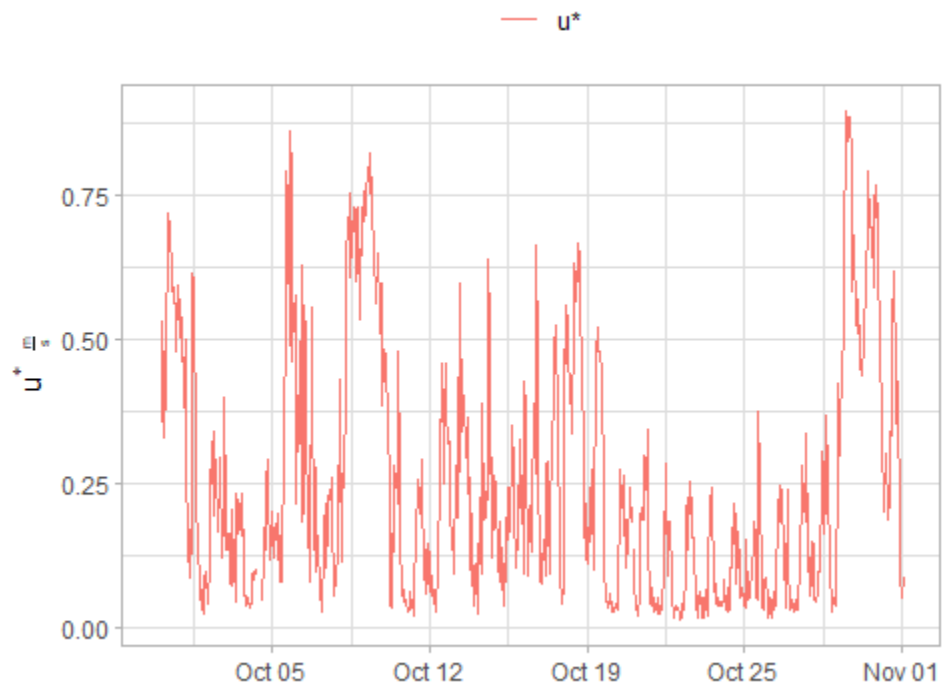
Вертикален турбулентен поток импулс през есента



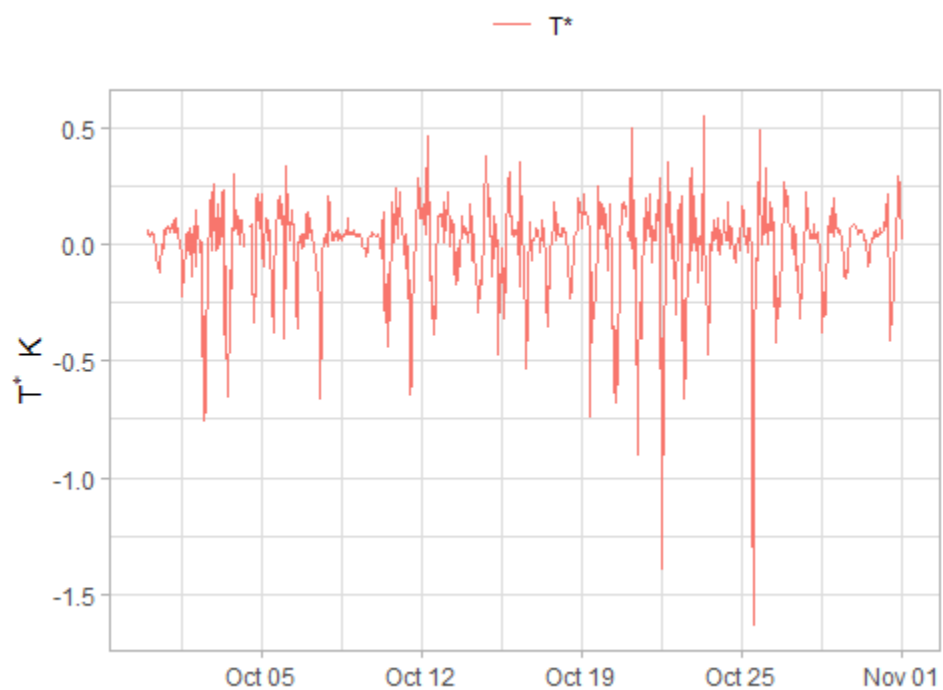
Вертикален турбулентен поток топлина през есента



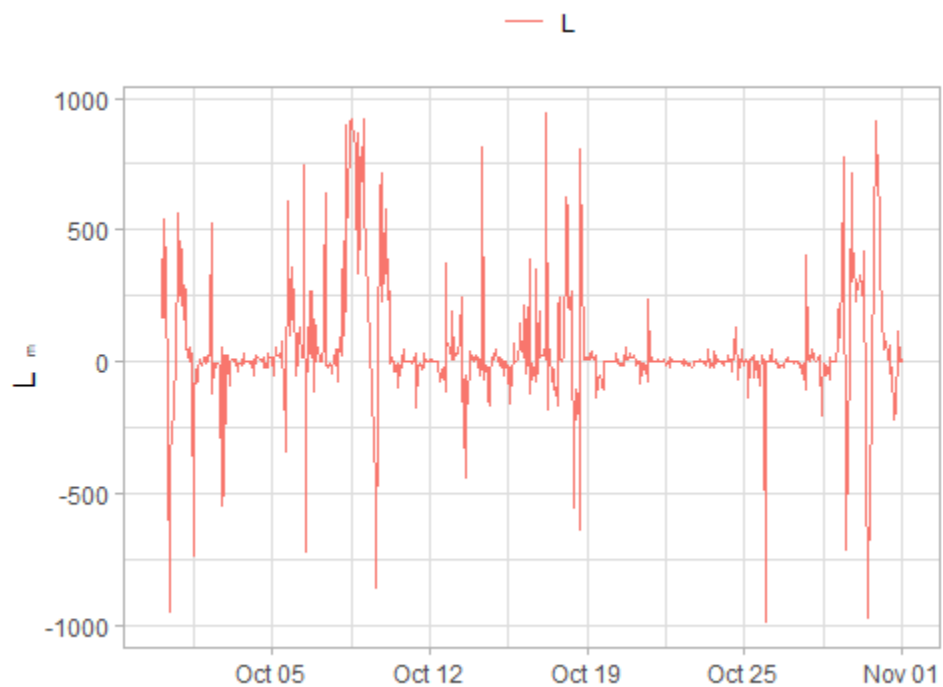
u^* - мащаб за скорост в ПС (динамична скорост) през есента



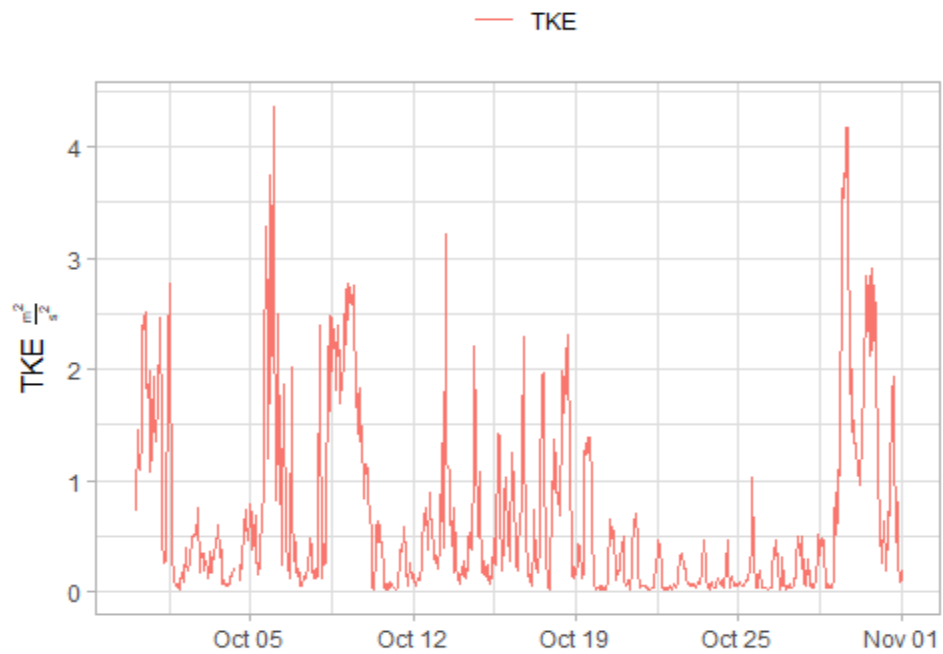
T^* - мащаб за температура в ПС през есента (май отговаря на θ^* от учебника на Сираков)



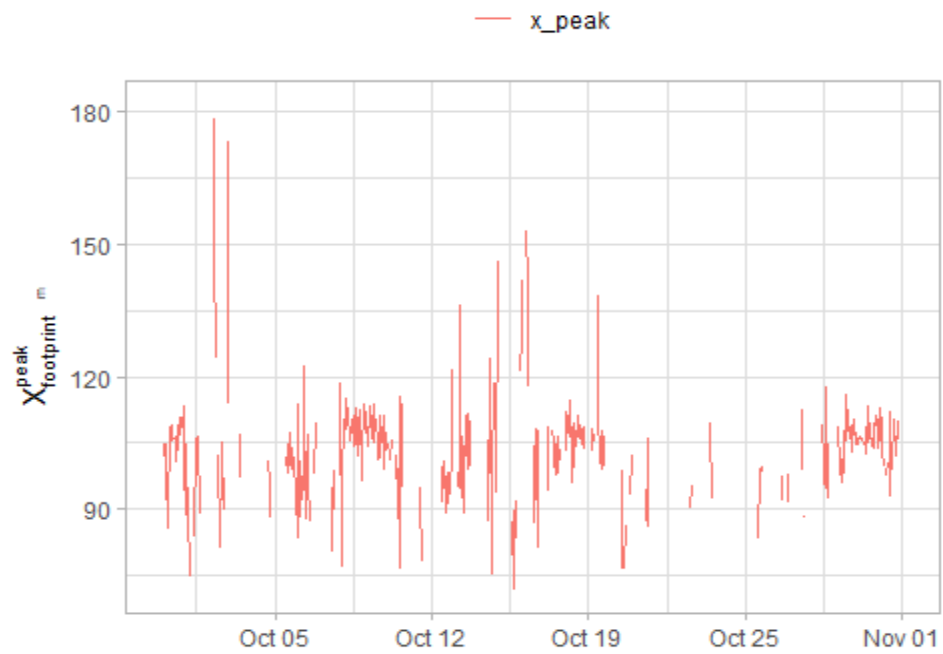
L - мащаб на Монин-Обухов през есента (Забележка: Ограничил съм го -1000, +1000)



TKE - турбулентна кинетична енергия през есента

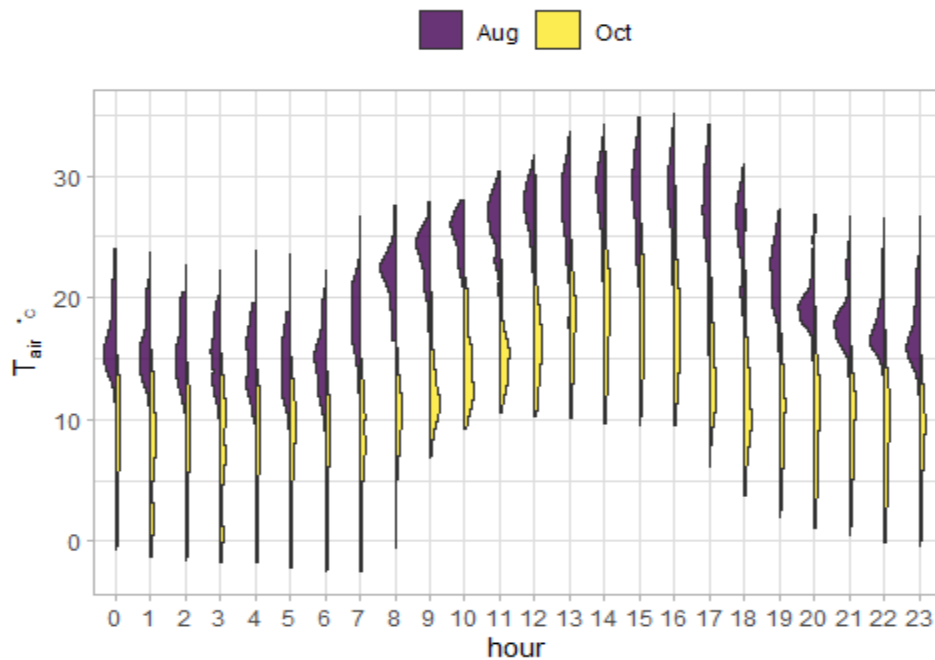


x_{peak} - разстояние (срещу вятъра) до зоната с максимален принос в турбулентните потоци през есента

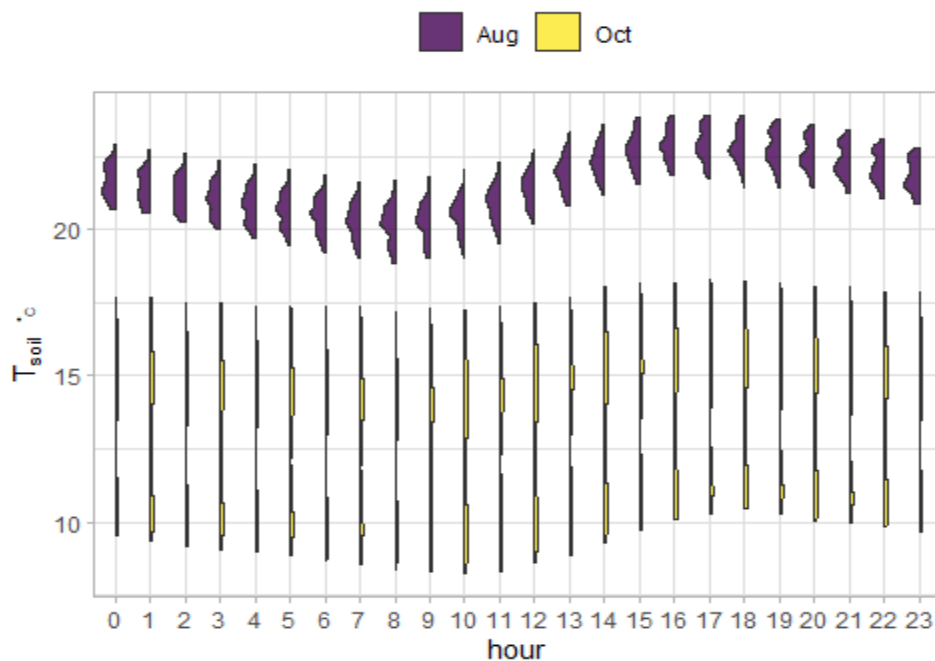


Метеорологични данни и турбулентни характеристики - сезонни промени в денонощния ход

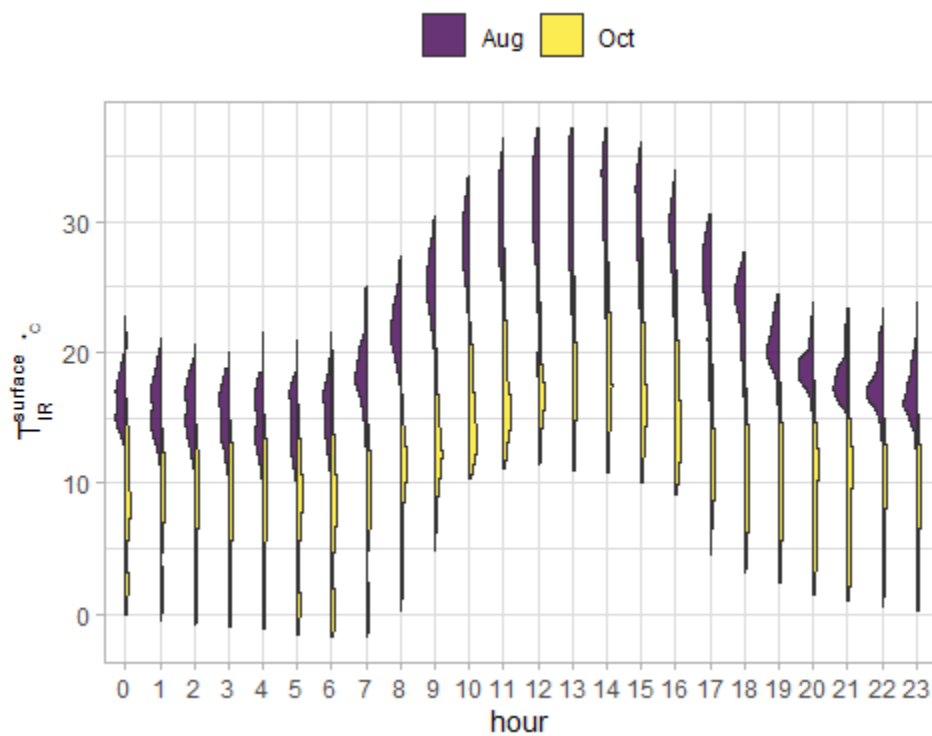
На следващите фигури е съпоставен денонощния ход метеорологичните параметри и някои турбулентни характеристики за месеците **август** и **октомври** (лято и есен)
Денонощен ход на температурата на въздуха лято - есен (Август - Октомври)



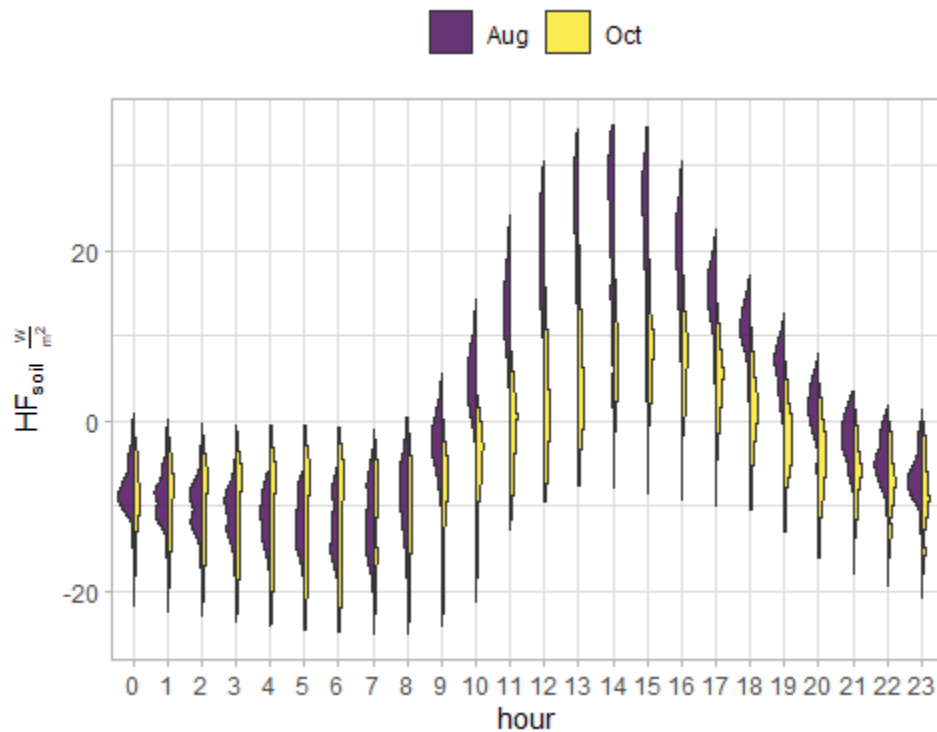
Денонощен ход на температурата на почвата на 10см лято - есен (Август - Октомври)



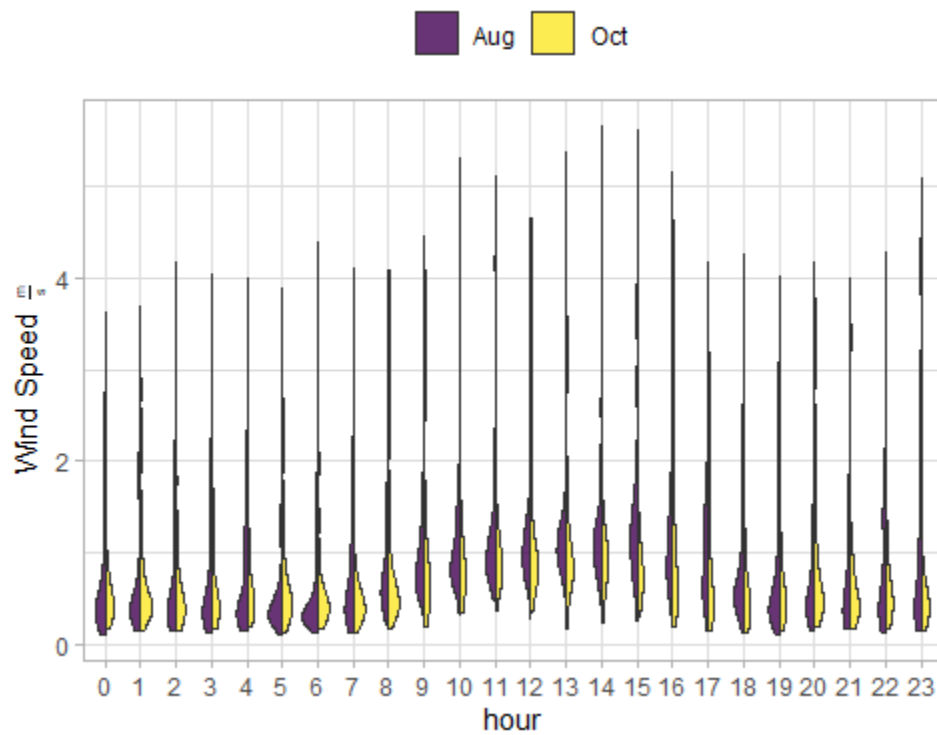
Денонощен ход на температурата на подложната повърхност лято - есен (Август - Октомври)



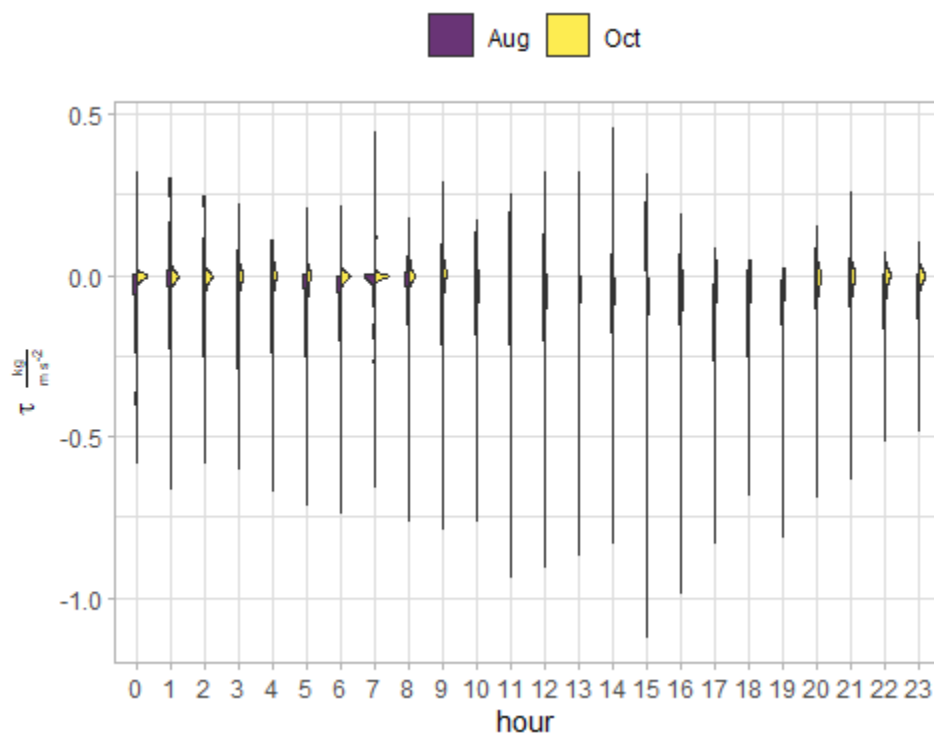
Денонощен ход на потока топлина в почвата на 10см лято - есен (Август - Октомври)



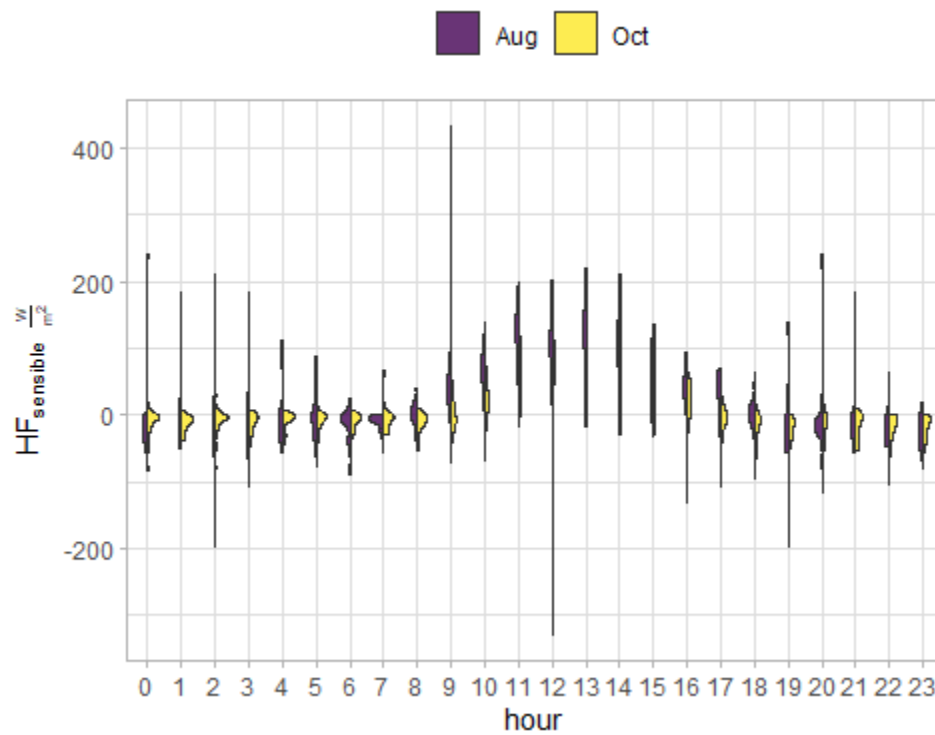
Денонощен ход на скоростта на вятъра на 8м лято - есен (Август - Октомври)



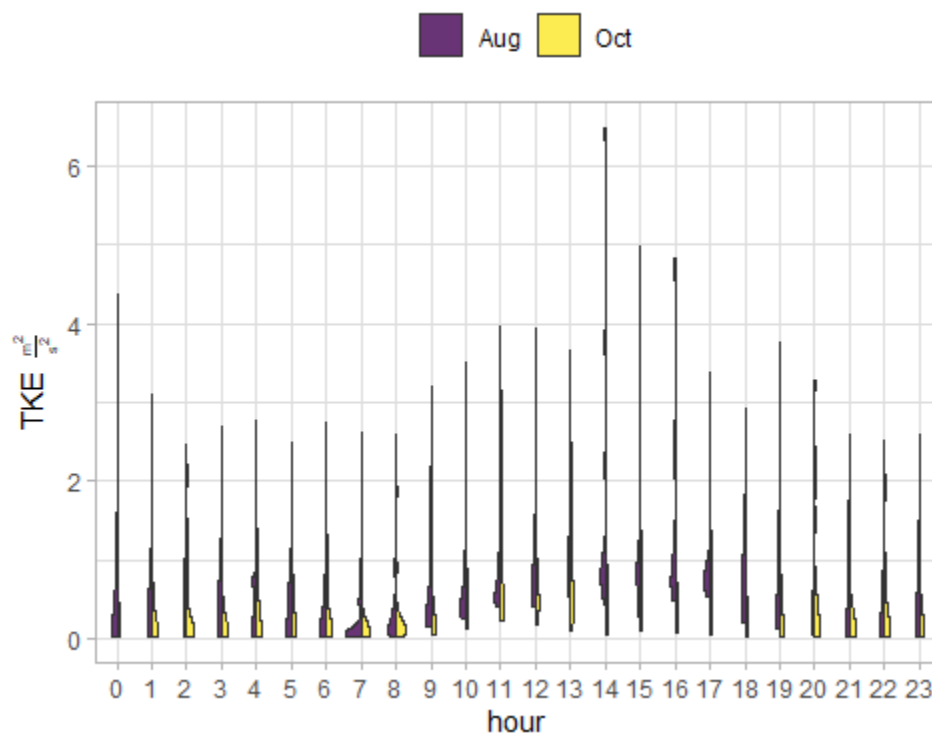
Денонощен ход на турбулентния поток импулс лято - есен (Август - Октомври)



Денонощен ход на турбулентния поток топлина лято - есен (Август - Октомври)



Денонощен ход на турбулентната кинетична енергия лято - есен (Август - Октомври)



Приложение 2

Представените резултати са част от работата по 2.2. Провеждане на числени експерименти за избрани периоди от проведените интензивни кампании и верификация на модела

По-подробният анализ на корелационния коефициент (r) се състои в разглеждането на неговите пространствени и времеви изменения, т.е. изменението им във височина и във времето. **Пространствените изменения** (по вертикалата във височина) се изчисляват като на всяко ниво на измерване (от 30 до 600 m през 10 m – общо 58 нива) се изчислява корелационната зависимост между 2 променливи (измерване и модел) от всички времеви серии (т.е. от максимум 288 двойки променливи (измерване и моделни данни) при продължителност на периода от 48 часа и измерване на всеки 10 мин (6 измервания на час), като тези изменения са показани на фиг. 1 – 4, **оцветените в синьо оси и вертикалните сини линии с цветни триъгълници**. Цветните триъгълници указват броя на двойките, участващи в извеждането на r на дадена височина (100 % наличност има при участие на 288 двойки). Изменението на r в този случай носи информация как модела възпроизвежда вертикалната структура на изследваното поле по принцип, тъй като е изчислен в на базата на различни метеорологични условия (в рамките на разгледаните 48 часа).

Времевите изменения на r се изчисляват за всеки момент от времето (на всеки 10 min), като се използват двойки параметри (стойности, интерполирани от модел и измерване) от всички нива на измерване от 30 до 600 m, фиг. 1 – 4 **оцветените в червено оси и червените линии с цветните точки**. Цветните точки аналогично като при пространствените изменения показват броя на двойките, участващи в извеждането на r в даден момент от време, като 100 % наличност отговаря на 58 двойки. Изменението на r в този случай носи информация за това доколко добре модела се справя с еволюцията или промяната на метеорологичните условия във времето. Вижда се, че при този анализ участват по-малко на брой двойки, тъй като броя на нивата е 58.

За повечето нива в района на гр. София (фиг. 1 - а, b, c) е получена положителна корелация: 85 % за U , 98 % за V и 94 % за ТКЕ, докато за Вакарел (фиг. 1 – d, e, f, g) в 97 % от случаите $r > 0.5$. Отрицателните стойности в r над София съответстват на много малък брой двойки, участващи при изчисленията (под 10) и би трябвало да се разглеждат като статистически непредставителни.

Има една съществена разлика при разглеждането на времевите изменения в r в градската и извънградската среда, което произтича от факта, че липсват измервания за гр. София през нощта, когато имаме най-ниска корелация между измерените и моделираните стойности. Основната причина е устойчивата температурна стратификация и ниските стойности на скорост на вятъра и турбулентност. За София (фиг. 1 - а, b, c) е пресметната положителна корелация за 75 % от времената на наблюдения, като най-ниска стойност 32 % се установява в полето на ТКЕ. За Вакарел (фиг. 1 – d, e, f, g) най-висока положителна корелация е наблюдавана за V от 74 %, най-ниска за ТКЕ и T . Най-ниските стойности за r за всички изследвани променливи са получени в интервала от 19:50 до 20:40 UTC на 4 септември, когато се установява смяна в посоката на вятъра съпътстваща със зона на затишие и засилена проява на локалната циркулация в района на Вакарел. За

съжаление този период не е отчетен в измерванията за гр. София, поради високия шум, издаван от содара по време на работа и разположението му в близост до жилищна зона.

На фиг.2 са представени по аналогичен начин резултатите получени със схемата на АГС QNSE (Sim 3) за същия период 3-4 септември. Вертикалният профил в гр. София (фиг. 2 - а, b, c) е възпроизведен с положителна корелация при над 80 % за скоростта на вятъра и 97% за ТКЕ. Във Вакарел (фиг. 2– d, e, f, g) корелацията за целия профил на променливите е положителна.

Аналогични графики са показани за периода 16-17 септември 2018 г. за моделните симулации с изследваните 2 схеми на АГС (фиг. 3 – 4). Постигната е много добра корелация за пространственото изменение (по вертикалата) за този период при всички изследвани променливи, като r е много високо над 90% за T в слой около 300 m над земната повърхност. Схемата BouLac се представя малко по-добре от QNSE в този случай. Времевите изменения показват по-слаба корелация, аналогично на установеното при предишния разгледан случай. Почти липсва корелация през нощните часове на преход и устойчива стратификация.

Разликите между измерените и моделирани ТКЕ и T за периода 3 - 4.09.2018г. са представени на фиг. 5. Почти през целия първи период през светлата част на деня ТКЕ е надценена (фиг. 5 - в синьо) от модела и в двете станции, докато през нощта е подценена във Вакарел. Установеното завишаване на ТКЕ в София (BouLac, фиг. 5а и фиг. 5с) е с по-високи стойности спрямо Вакарел. Краят на периода, в който моделът надценява ТКЕ във Вакарел е 13:40 UTC на 3 септември и 14:20 UTC на следващия ден (фиг. 5 с). Средното на разликите от първия ден между наблюдаваната и симулирана ТКЕ е $-1.1 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ и $-1 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ за втория ден в градската станция и съответно $-0.75 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ и $-0.67 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ в извънградската. Стойностите на най-големите разлики в ТКЕ са подобни за двете местоположения и дни, $-2.86 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ в София и $-2.69 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ във Вакарел на 3 септември и $-2.79 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ и съответно $-2.61 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ на следващия ден. Най-дългият период с по-ниски стойности на ТКЕ от измерените (във Вакарел) се наблюдава от късния следобед (14:40 UTC) до сутрешните часове (5:20 UTC) на 3 септември със средна стойност на разликите около $0.3 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ и максимална от $1.7 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$. Максимумът на разликата е между 20:20 – 20:50 UTC във високите слоеве, под които е започнала промяната в посоката на въздушния поток. Вторият период със занижени стойности на ТКЕ от модела започва в 14:20 UTC на 4 септември и продължава до края на симулацията със средно за разликата около $0.25 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$.

Моделът най-силно подценява T между 13:40 и 16:30 UTC на 3 септември и между 17:10 и 20 UTC на 4 септември (фиг. 5е). По-високи симулирани стойности на T от 6.5°C се установяват в 9:10 UTC на 4 септември (на 40 m). Като цяло моделът надценява стойността на T през нощта и подценява през деня главно в следобедните часове. Също така в периода на преход (ранните сутрешни между 1 и 8 UTC и късните вечерни часове 19 – 20 UTC) се наблюдават по-високи стойности на моделирана T в първите нива близо до земната повърхност и по-ниски стойности в по-високите нива. Най-голямо подценяване от 5.2°C е регистрирано през за първия ден в 14:30 UTC на 90 m и 3.5°C в 19:30 UTC на 190 m за втория ден.

В началото на двудневния период моделните резултати с конфигурацията, използваща схемата QNSE за АГС (Sim 3), предимно завишава стойностите на ТКЕ в

София (фиг. 5b), като за 4 септември по - високи стойности за ТКЕ от измерените са симулирани почти за целия ден, в сравнение с Boulas, когато те са характерни за следобедните и вечерните часове. ТКЕ е надценена с по-високи стойности в София, отколкото във Вакарел за съответните височини. Периодът с по-високи ТКЕ от измерените за София е до 14:30 UTC и до 5:40 UTC, съответно на 3 и 4 септември. Средното на разликата между измерените и симулираните стойности за ТКЕ е около $-0.26 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ за първия ден и $0.13 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ за втория ден в София и съответно около $0.45 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ и $0.4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ във Вакарел. Максималните получени отрицателни разлики са $-1.84 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ в София и $-0.79 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ за Вакарел през първия ден и съответно $-1.52 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ и $-0.43 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ за втория ден. Най - голямото подценяване е отбелязано във Вакарел на 3 септември ($3.06 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$) и на следващия ден $2.42 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ за двете станции.

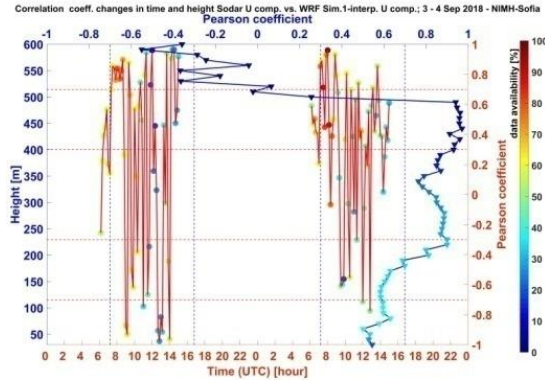
Разликата в полетата на ТКЕ получени с двете различни схеми на АГС е доста осезателна.

Температурата е предимно надценена от модела (фиг. 5 в червено). Средната разлика между измервания и симулации е под 0.1°C за целия период. Най-голямото надценяване на температурата с 6°C е регистрирано в 9:20 UTC на 4 септември на ниво 40 m над земята. Температурата е най - силно завишена на нивата близо до земната повърхност, докато тя е силно подценена във височина. Най-голямото подценяване от 5.6°C за първия ден и 3.4°C за втория ден е регистрирано съответно в 14:20 UTC на 150 m и в 19:40 UTC на 230 m.

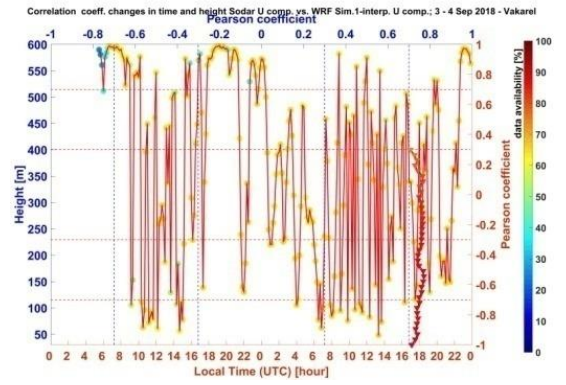
Анализ е направен и за втория период (16 – 17.09. 2018 г.) при вятър променящ посоката си от NW към SE на 17 (фиг. 6).

Разлики между измерените и моделираните стойности в посоката на вятъра са показани на фиг. 7 за периода 3 – 4.09.2018г. и на фиг. 8 за периода 16 – 17.09.2018г.

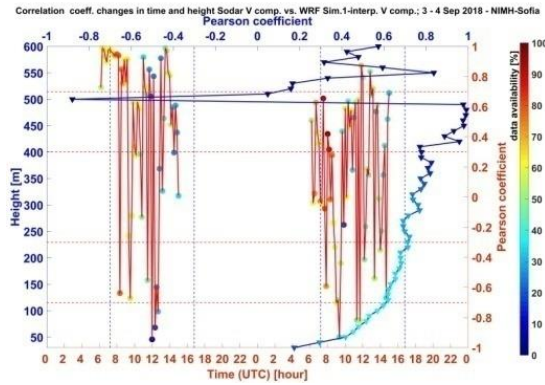
На следващите фиг. 9 – 16 са представени полетата от моделните резултати (в ляво) и интерполираните полета (в дясно) които показват, че няма съществени разлики и всички направени изводи по-горе не са повлияни от направената линейна интерполация между най-близко намиращите се моделни нива към нивата на измерване от содара.



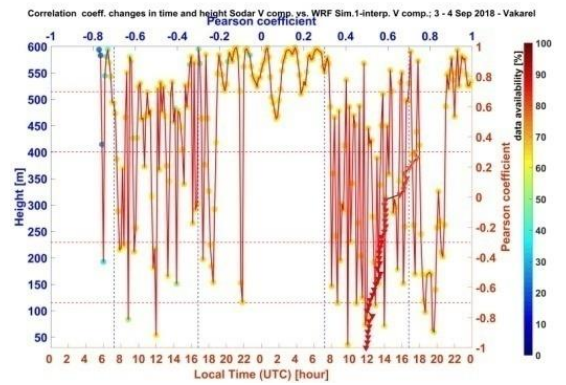
(a)



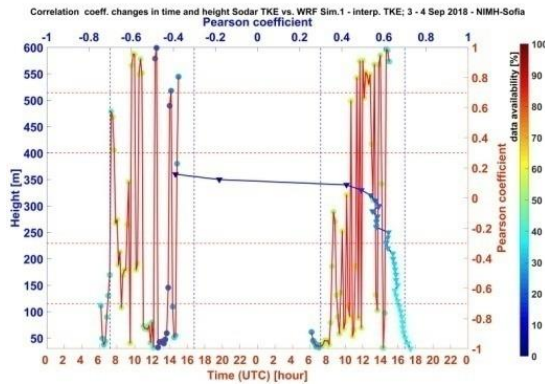
(d)



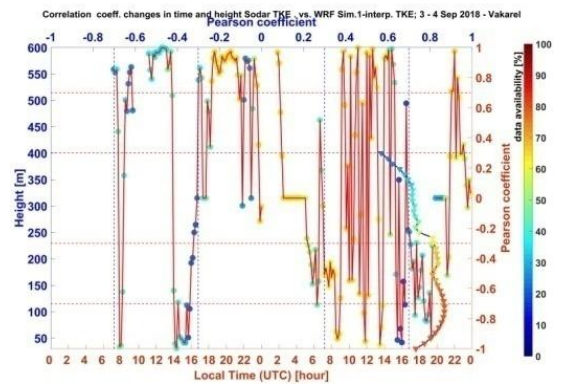
(b)



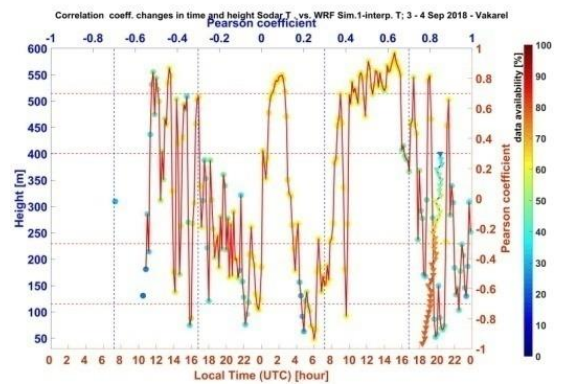
(e)



(c)

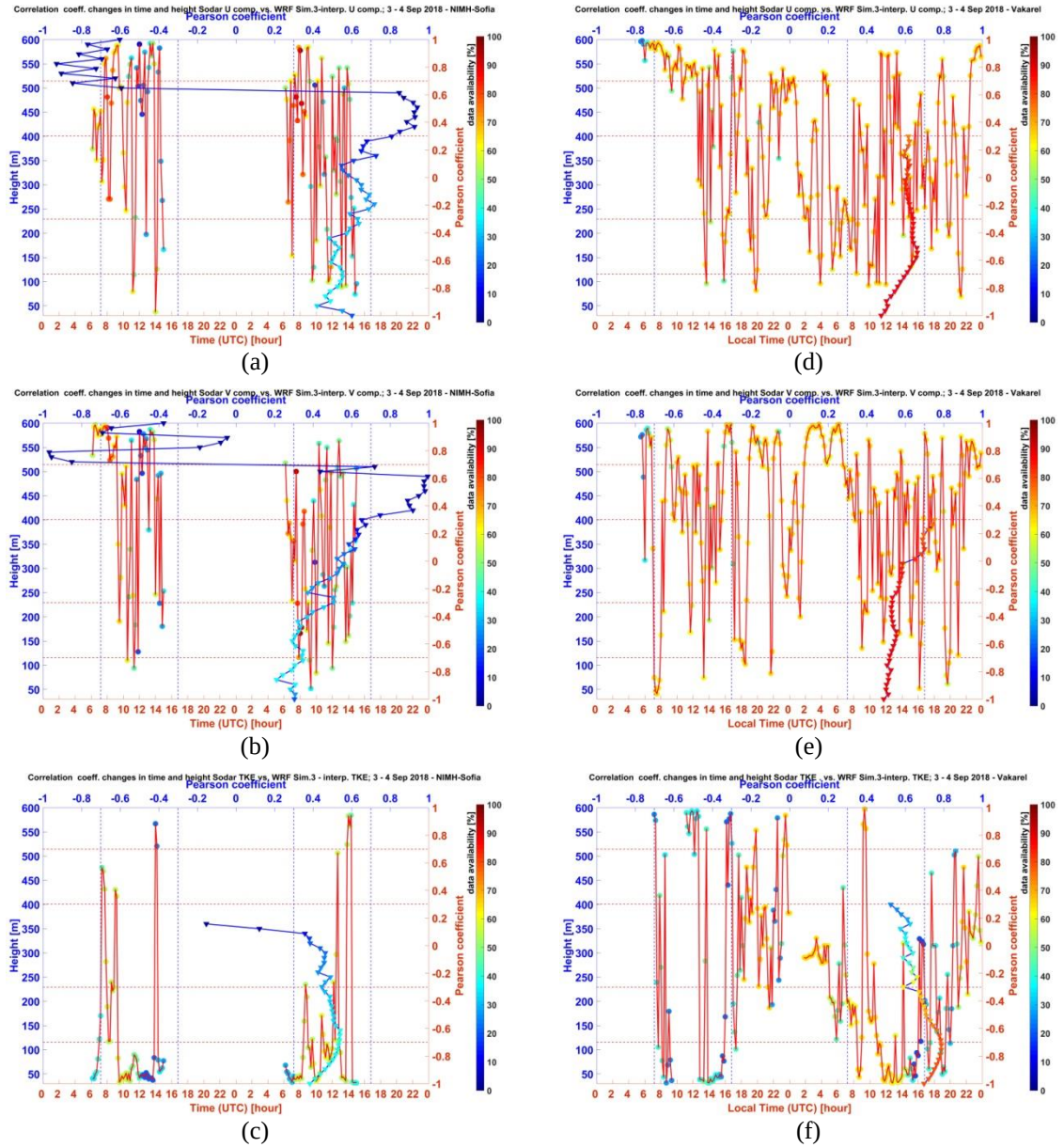


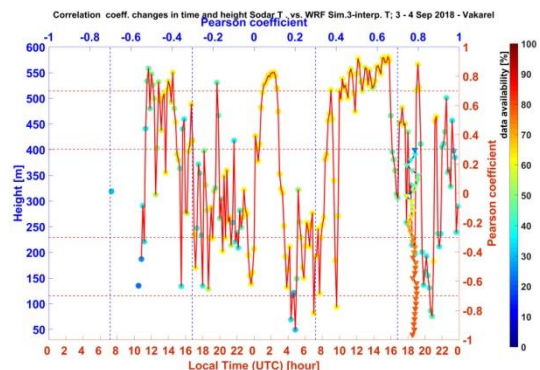
(f)



(g)

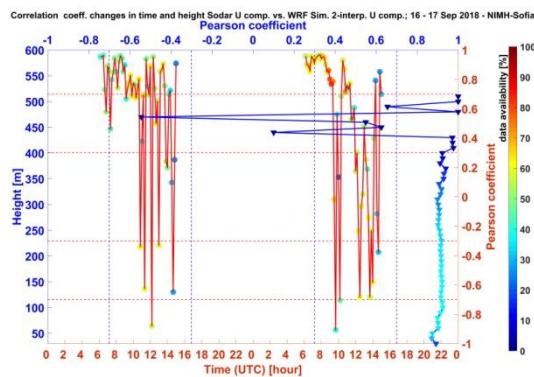
Фиг. 1. Пространствени (сините оси и линии с оцветени триъгълници) и времеви (червените оси и линии с оцветени точки) стойности на r за изучаваните променливи: U (a, d), V (b, e), TKE (c, f) и T (g) - (схема BouLac, Sim. 1). Наличността на данните е представена чрез цвета на използваните символи (триъгълници и точки) със съответната легенда в София (a, b, c) и Вакарел (d, e, f, g) за периода 3 - 4.09.2018г.



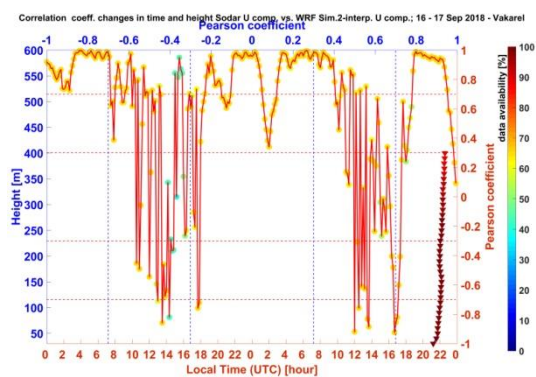


(g)

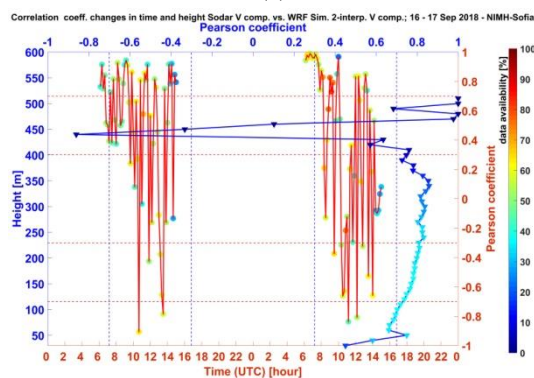
Фиг. 2. Пространствени (сините оси и линии с оцветени триъгълници) и времеви (червените оси и линии с оцветени точки) стойности на r за изучаваните параметри: U (a, d), V (b, e), TKE (c, f) и T (g) – (схема QNSE, Sim. 3). Наличността на данните е представена чрез цвета на използваните символи (триъгълници и точки) със съответната легенда в София (a, b, c) и Вакарел (d, e, f, g) за периода 3 - 4.09.2018 г.



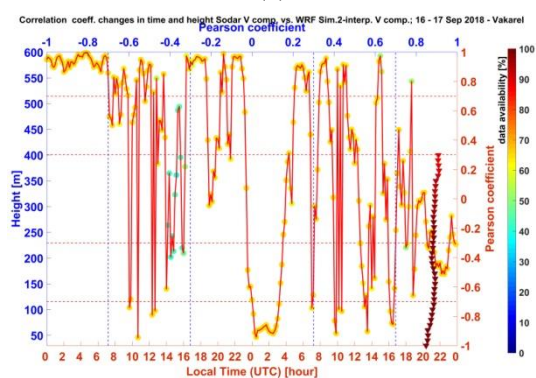
(a)



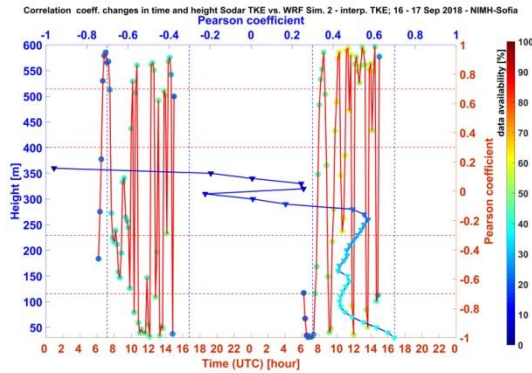
(d)



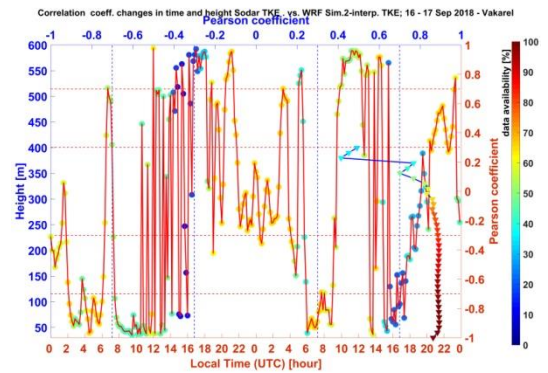
(b)



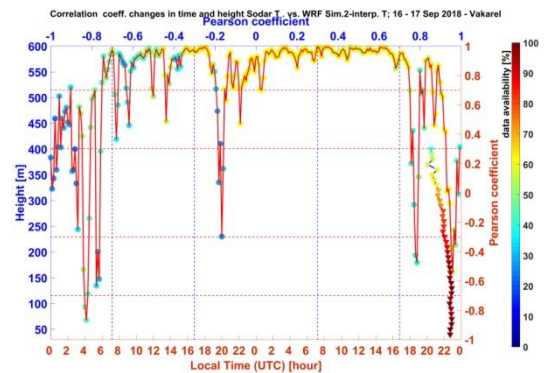
(e)



(c)

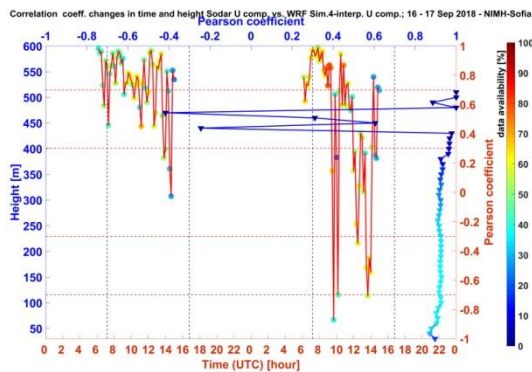


(f)

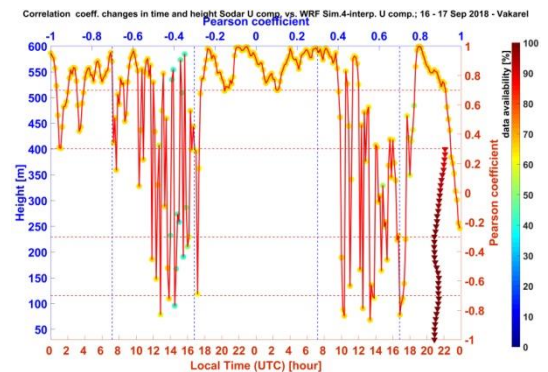


(g)

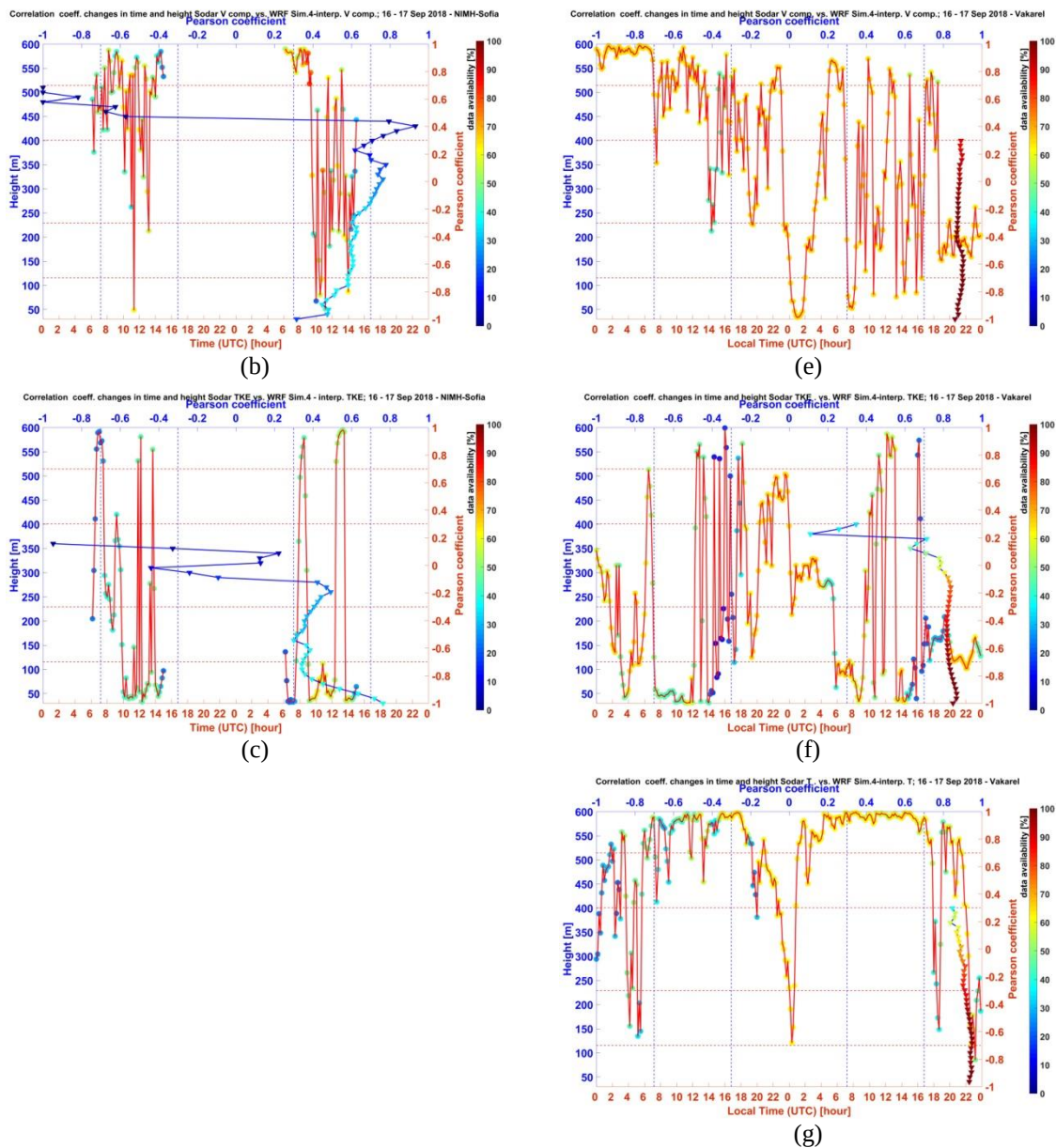
Фиг. 3. Пространствени (сините оси и линии с оцветени триъгълници) и времеви (червените оси и линии с оцветени точки) стойности нагза изучаваните параметри: U (a, d), V (b, e), TKE (c, f) и T (g) - (схема BouLac, Sim. 2). Наличността на данните е представена чрез цвета на използваните символи (триъгълници и точки) със съответната легенда в София (a, b, c) и Вакарел (d, e, f, g) за периода 16-17.09.2018 г.



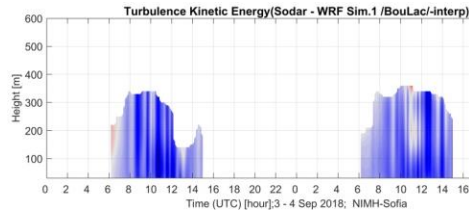
(a)



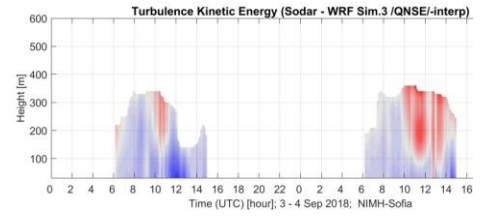
(d)



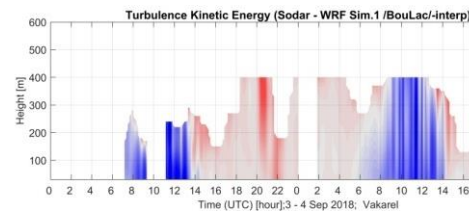
Фиг. 4. Пространствени (сините оси и линии с оцветени триъгълници) и времеви (червените оси и линии с оцветени точки) стойности на r за изучаваните параметри: U (a, d), V (b, e), TKE (c, f) и T (g) - (схема QNSE, Sim. 4). Наличността на данните е представена чрез цвета на използваните символи (триъгълници и точки) със съответната легенда в София (a, b, c) и Вакарел (d, e, f, g) за периода 16-17.09.2018 г.



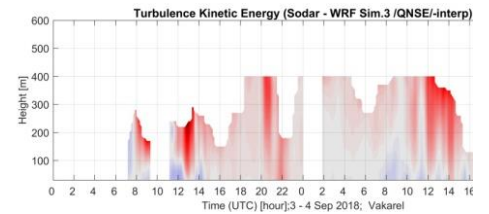
a)



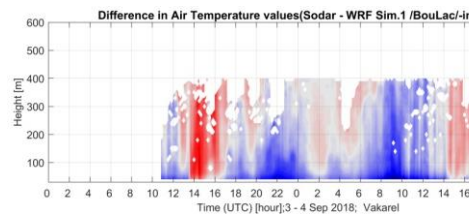
b)



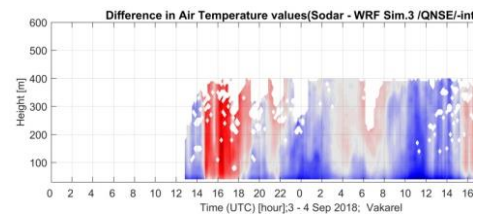
c)



d)

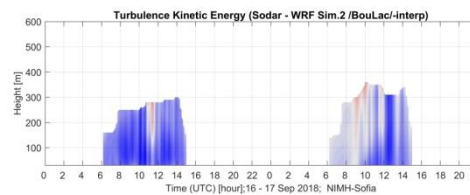


e)

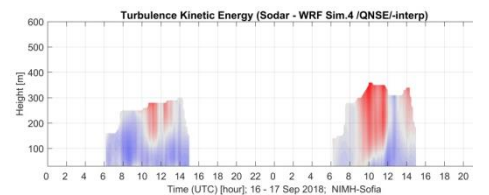


f)

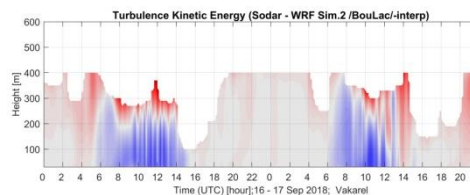
Фиг. 5. Разлика между измерените и моделирани стойности на величините TKE и T при използваните две схеми за АГС (BouLac – ляв панел и QNSE–десен панел) в София (a, b) и Вакарел (c - f) за периода 3 – 4.09.2018г.



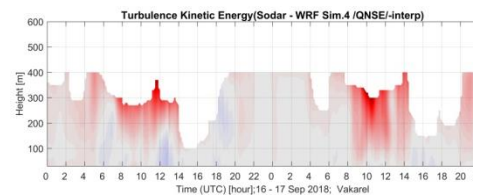
a)



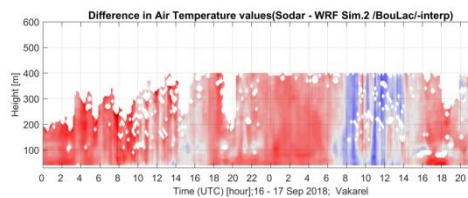
b)



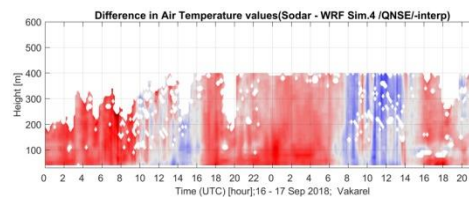
c)



d)

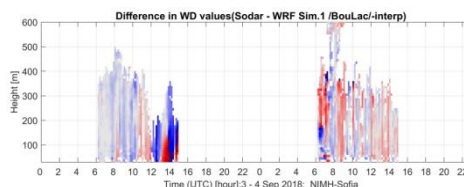


e)

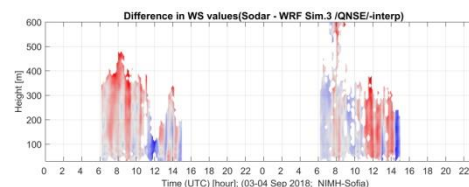


f)

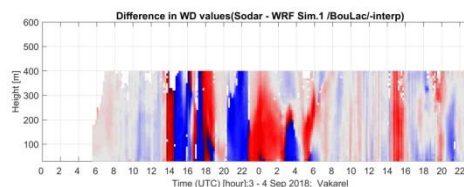
Фиг. 6. Разлика между измерените и моделирани стойности на величините TKE и T при използваните две схеми за АГС (BouLac – ляв панел и QNSE–десен панел) в София (а, b) и Вакарел (с - f) за периода 16 – 17.09.2018г.



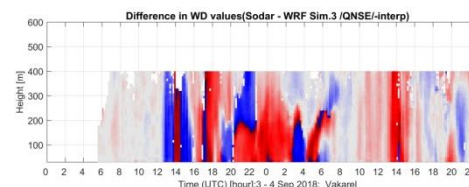
a)



b)

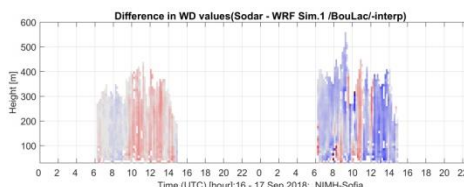


c)

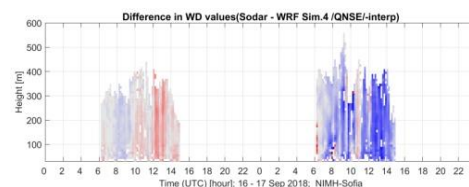


d)

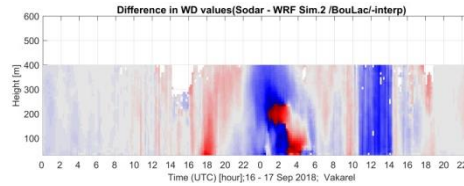
Фиг. 7. Разлика между измерените и моделирани стойности на посоката на вятъра при използваните две схеми за АГС (BouLac – ляв панел и QNSE–десен панел) в София (а, b) и Вакарел (с, d) за периода 3 – 4.09.2018г.



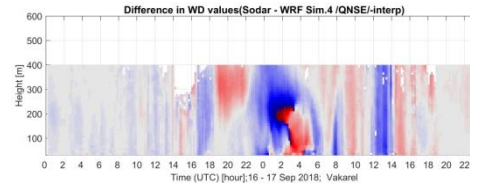
a)



b)

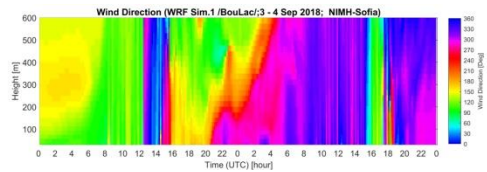


c)

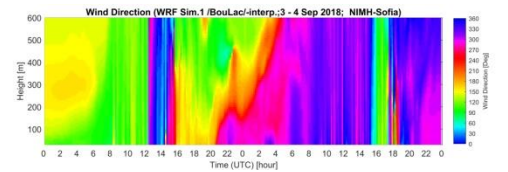


d)

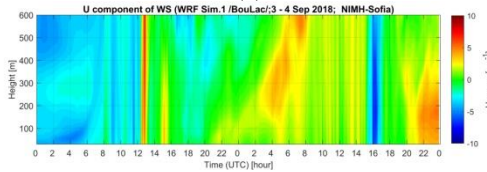
Фиг. 8. Разлика между измерените и моделирани стойности на посоката на вятъра при използваните две схеми за АГС (BouLac – ляв панел и QNSE–десен панел) в София (a, b) и Вакарел (c - f) за периода 16 – 17.09.2018г.



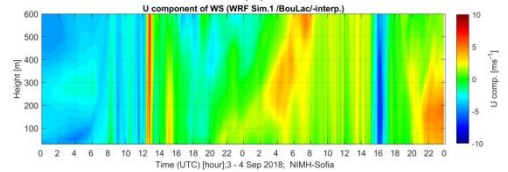
(a)



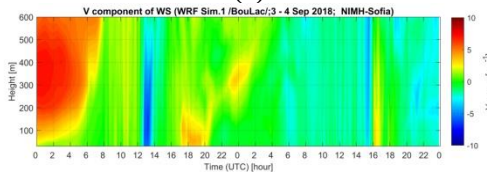
(e)



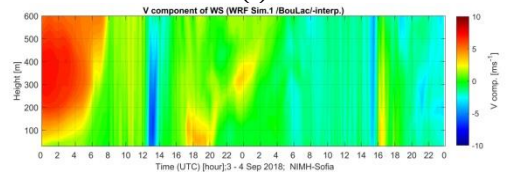
(b)



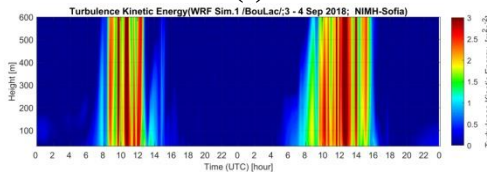
(f)



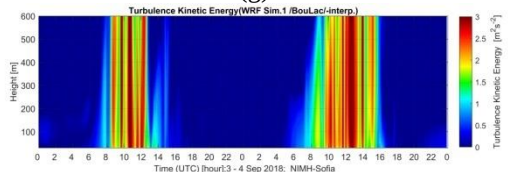
(c)



(g)

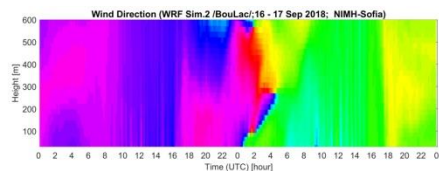


(d)

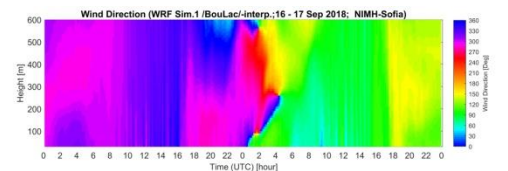


(h)

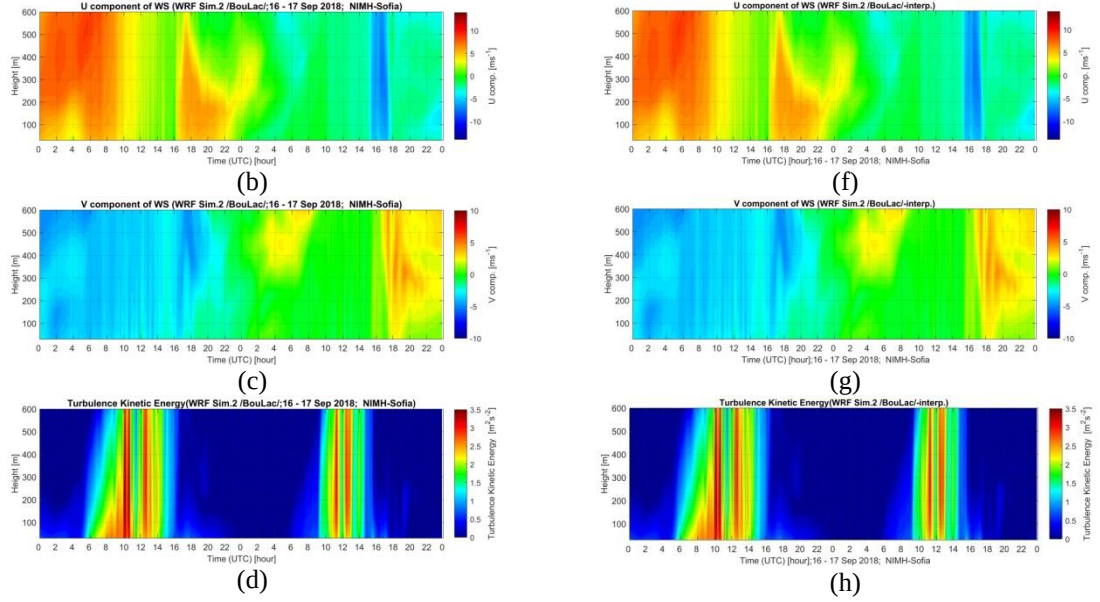
Фиг. 9. Моделни резултати за WD (a), U (b), V (c), TKE (d) (ляв панел) и линейно интерполираните им стойности (десен панел): WD (e), U (f), V (g), TKE (h) за 3 – 4.09.2018 г. в София (използвана BouLac схема на АГС; Sim. 1).



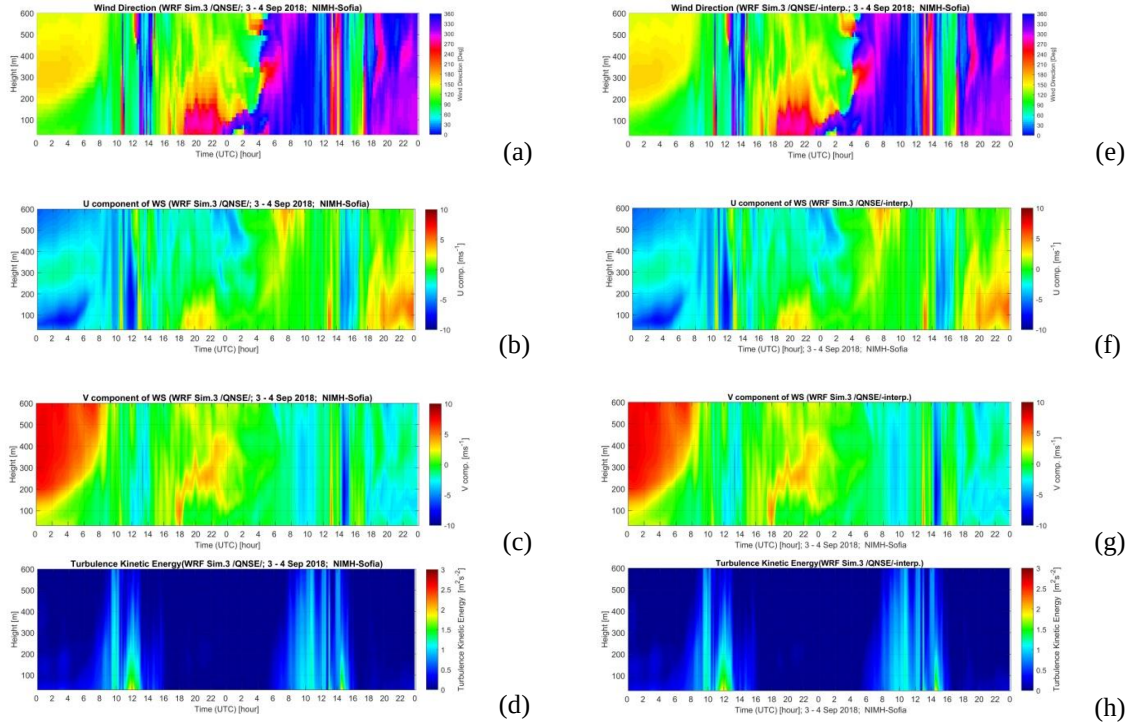
(a)



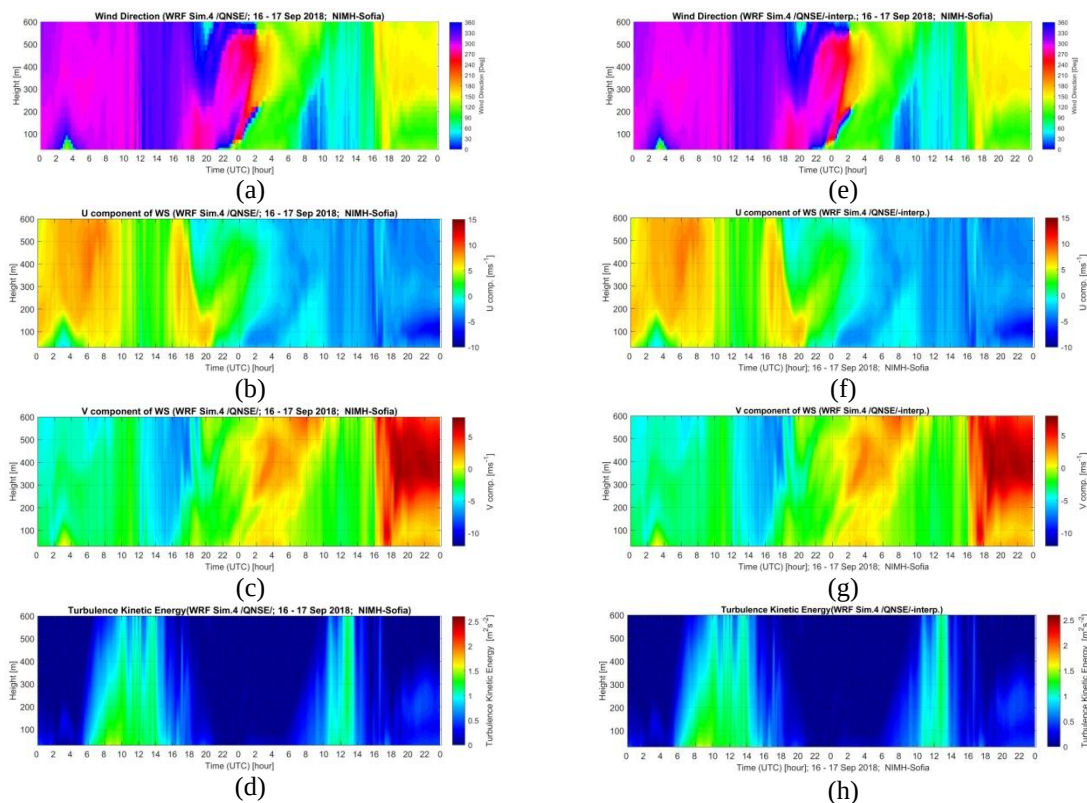
(e)



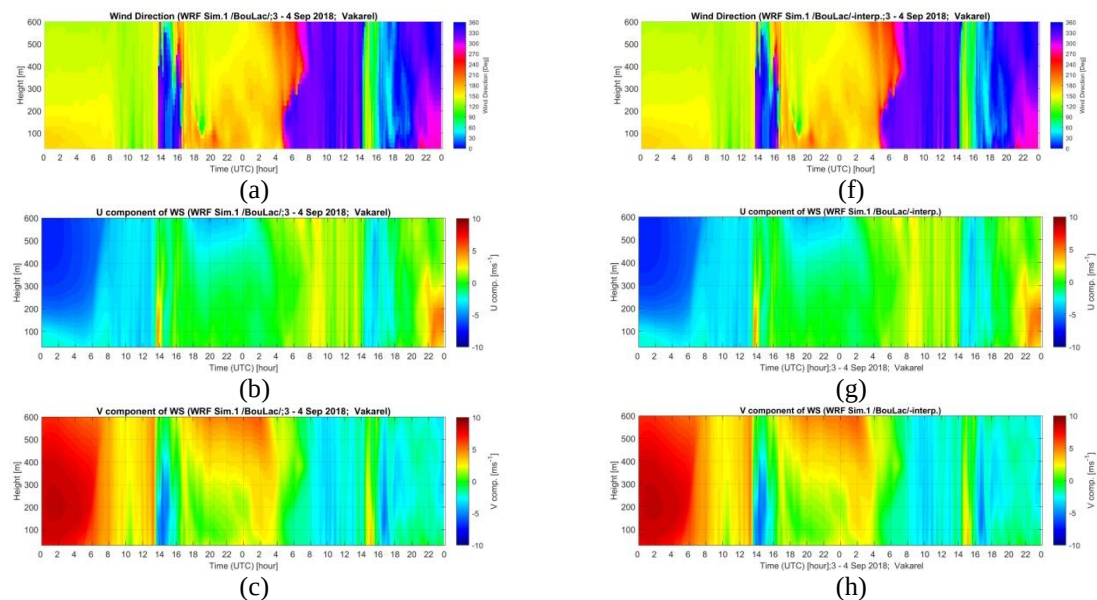
Фиг. 10. Моделни резултати за WD (a), U (b), V (c), TKE (d) (ляв панел) и линейно интерполираните им стойности (десен панел): WD (e), U (f), V (g), TKE (h) за 16 – 17.09.2018 г. в София (използвана BouLac схема на АГС; Sim. 2).

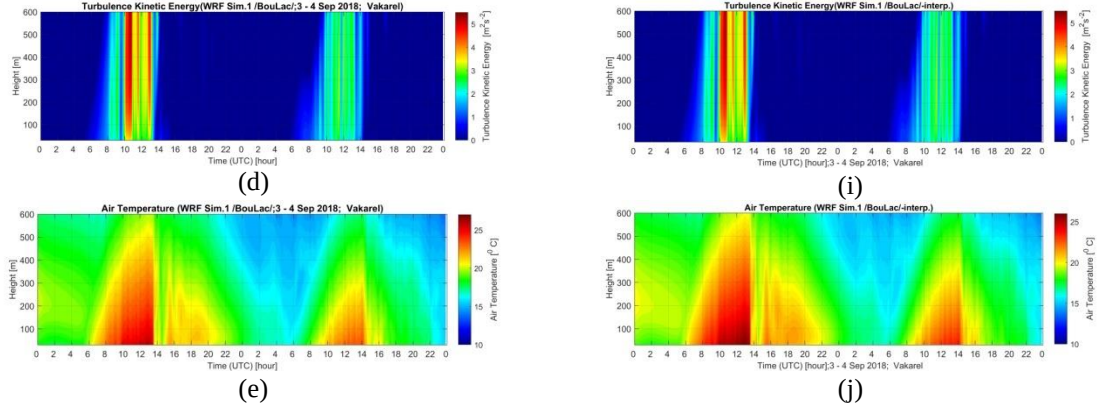


Фиг. 11. Моделни резултати за WD (a), U (b), V (c), TKE (d) (ляв панел) и линейно интерполираните им стойности (десен панел): WD (e), U (f), V (g), TKE (h) за 3 – 4.09.2018 г. в София (използвана QNSE схема на АГС; Sim. 3).

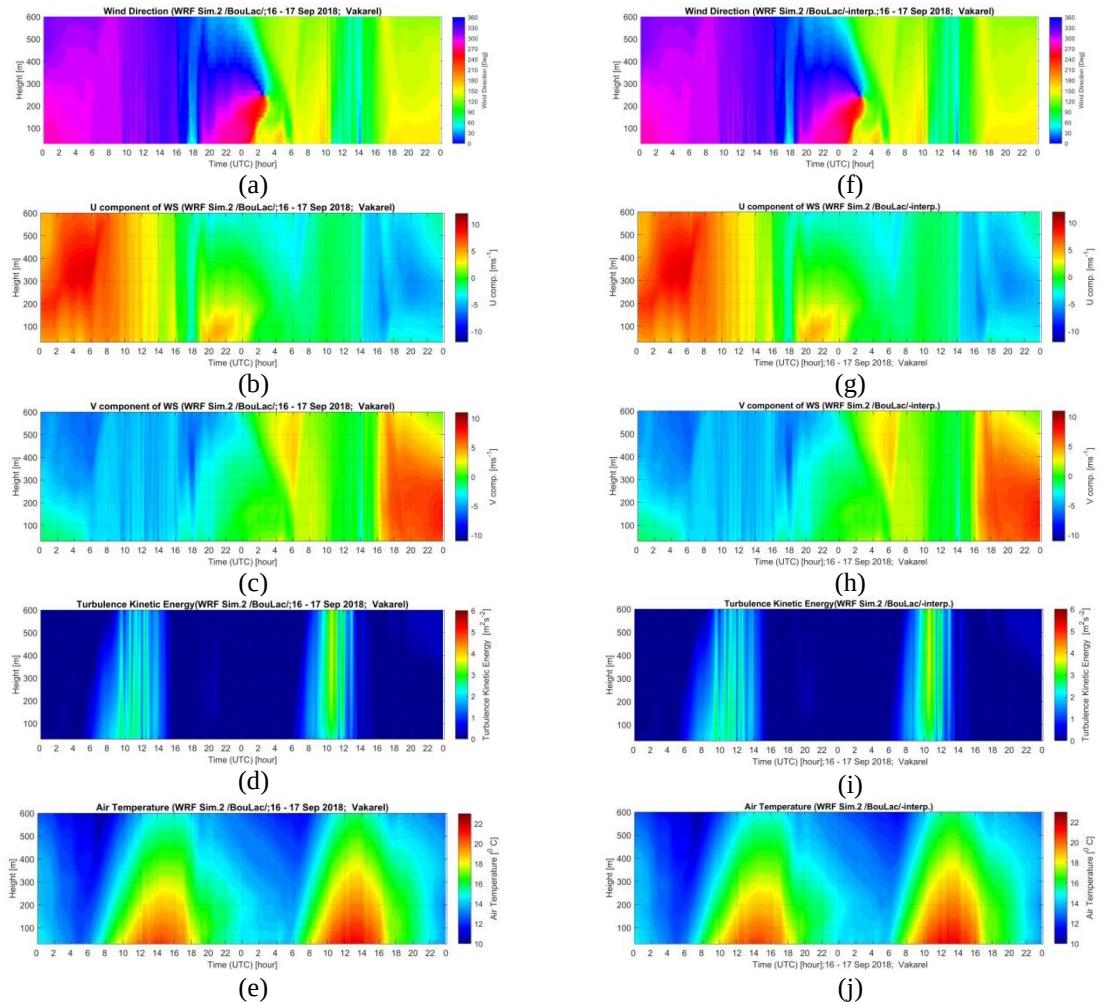


Фиг. 12. Моделни резултати за WD (a), U (b), V (c), TKE (d) (ляв панел) и линейно интерполираните им стойности (десен панел): WD (e), U (f), V (g), TKE (h) за 16 – 17.09.2018 г. в София (използвана QNSE схема на AGC; Sim. 4).

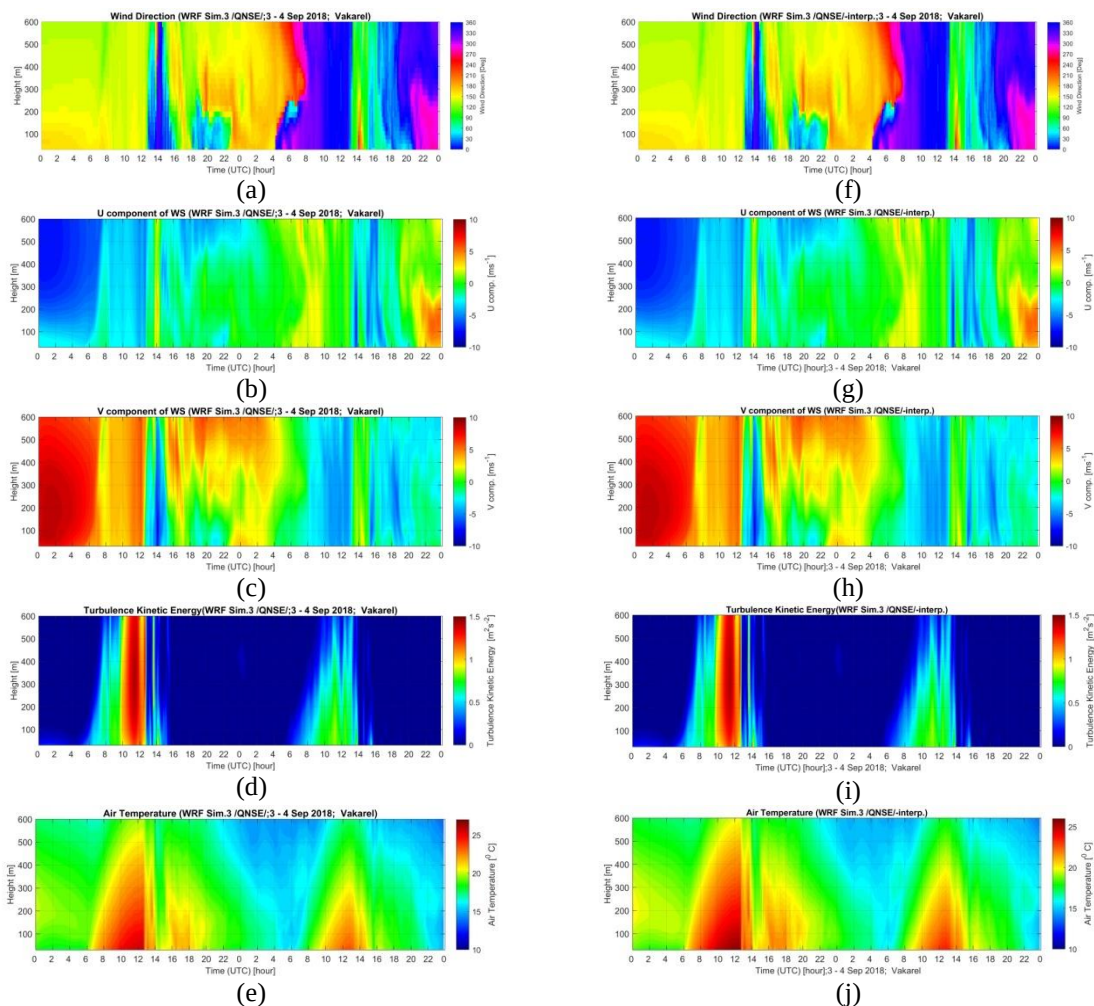




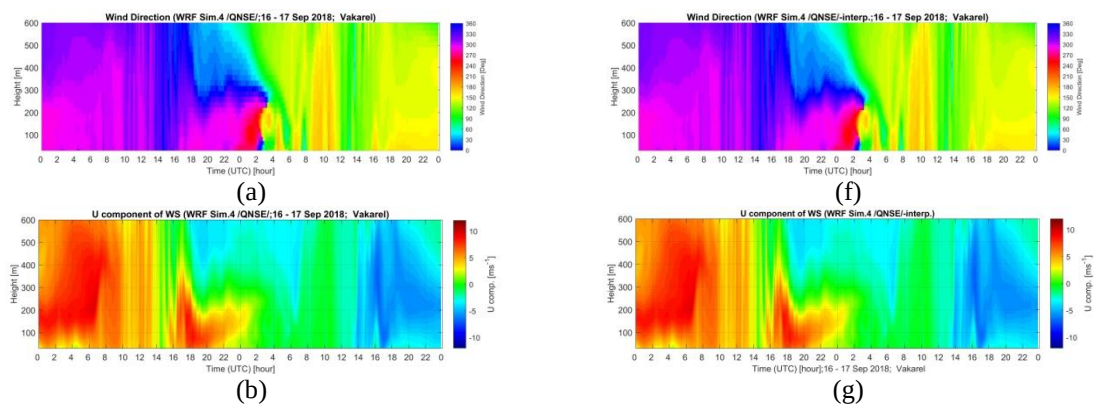
Фиг. 13. Моделни резултати за WD (a), U (b), V (c), TKE (d), T (e) (ляв панел) и линейно интерполираните им стойности (десен панел): WD (f), U (g), V (h), TKE (i), T (j) за 3 – 4.09.2018 г. във Вакарел (използвана BouLac схема на AГC; Sim. 1).

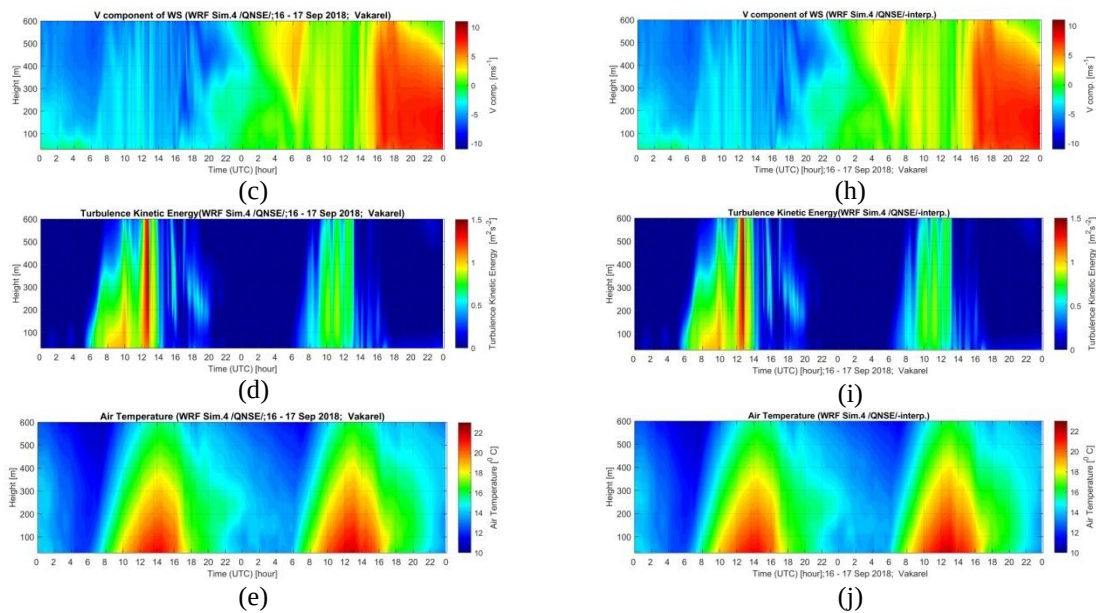


Фиг. 14. Моделни резултати за WD (a), U (b), V (c), TKE (d), T (e) (ляв панел) и линейно интерполираните им стойности (десен панел): WD (f), U (g), V (h), TKE (i), T (j) за 16 – 17.09.2018 г. във Вакарел (използвана BouLac схема на AГC; Sim. 2).



Фиг. 15. Моделни резултати за WD (a), U (b), V (c), TKE (d), T (e) (ляв панел) и линейно интерполираните им стойности (десен панел): WD (f), U (g), V (h), TKE (i), T (j) за 3 – 4.09.2018 г. във Вакарел (използвана QNSE схема на AGC; Sim. 3).





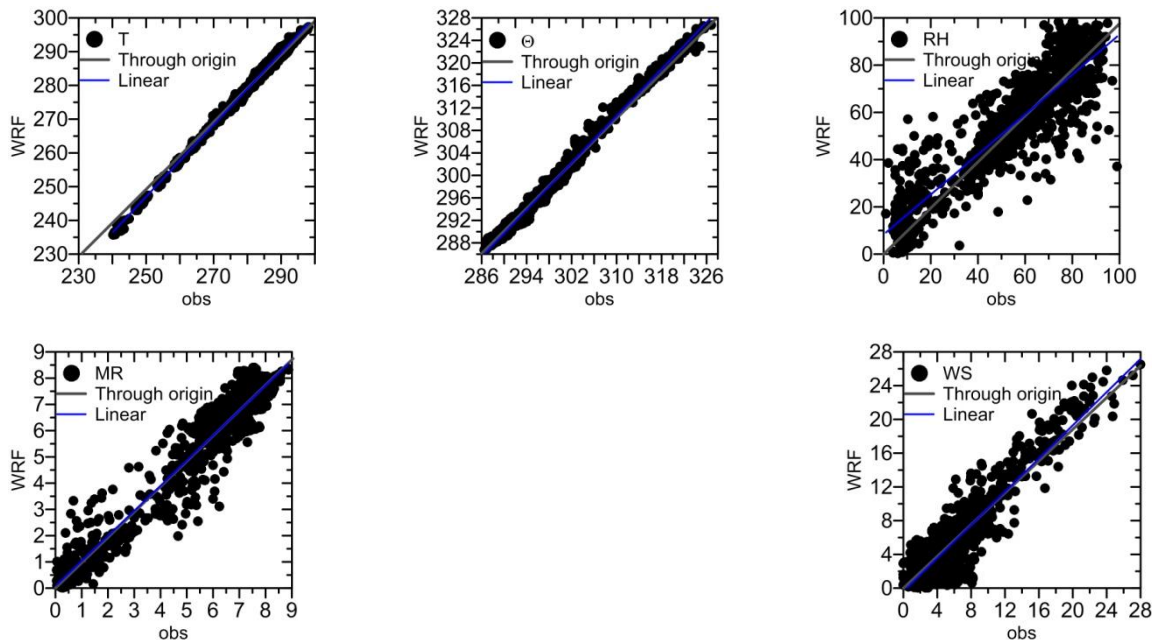
Фиг. 16. Моделни резултати за WD (a), U (b), V (c), TKE (d), T (e) (ляв панел) и линейно интерполираните им стойности (десен панел): WD (f), U (g), V (h), TKE (i), T (j) за 16 – 17.09.2018 г. във Вакарел (използвана QNSE схема на АГС; Sim. 4).

Приложение 3

Представените резултати са част от работата по РПЗ.3. Верификация на моделните резултати с наличните приземни и височинни експериментални данни за основните метеорологични характеристики

В рамките на настоящия проект са адаптирани 2 нови бази данни в използвания модел WRF (Vladimirov et al., 2018), SRTM за орография с разделителна способност една ъглова секунда и най-новата база CORINE Land Cover 2012 с разделителна способност 3 ъголни секунди, което води до подобрене на моделните резултати за температурата на 2 m, вследствие на по-добрата моделна топография и реалистично описание на земното покритие (Vladimirov et al., 2018).

Данните от експеримента София (2003) бяха използвани за сравнение с резултатите от избраната конфигурация на модела WRF, с адаптираните горепосочени бази данни и използвана схема за атмосферен граничен слой Quasi-Normal Scale Elimination (Sukoriansky et al., 2005). Използваната конфигурация е с висока разделителна способност ($\Delta x=500$ m), а вертикалната структура на атмосферата е описана от 50 нива. За оценка на възможността на представената конфигурация да възпроизведе вертикалните профили са използвани следните статистически индикатори: средна стойност (*mean*), систематично отклонение (*MB*, модел - наблюдение), нормирана средноквадратична грешка (*NRMSE*), стандартно отклонение (*SD*), средна абсолютна грешка (*MAE*) и корелационен коефициент на Пийрсън (*r*). Изследвани са следните параметри: температура (*T*), потенциална температура (Θ), относителна влажност (*RH*), отношение на сместа (*MR*) и скорост на вятъра (*WS*).

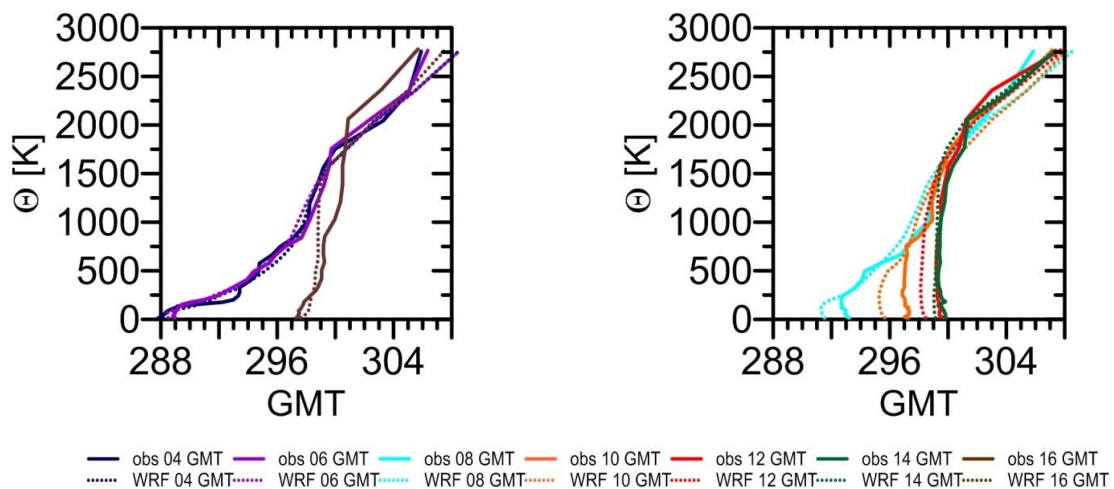


Фиг. 1. Диаграми на разсейването за *T*, Θ , *RH*, *MR* и *WS*, обхващащи данни от всички часове с налични измервания по програмата на експеримента и до височина 8000 m

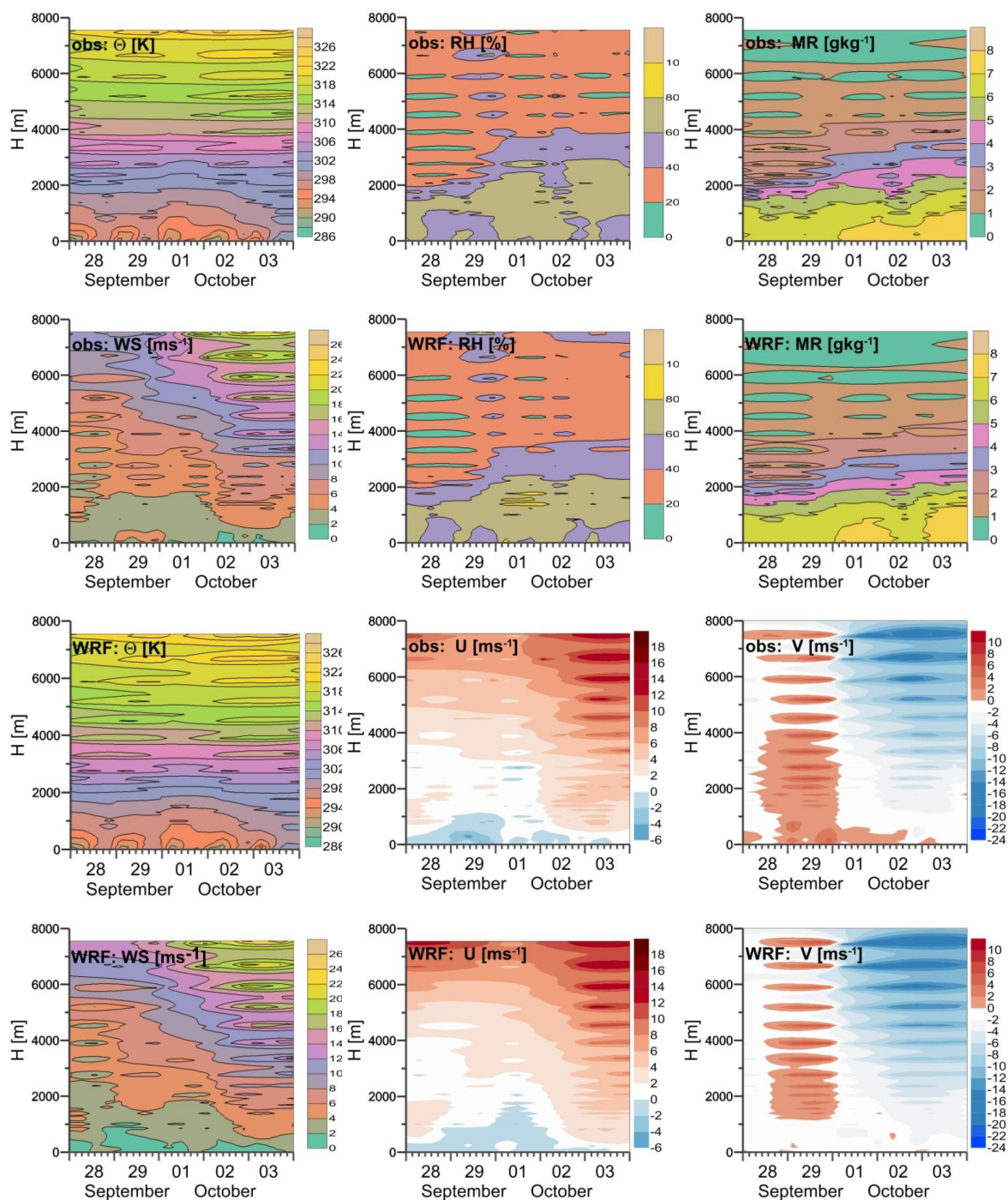
Вертикалните профили и пространствено - времевите сечения (Фиг. 2, 3) на измерените и моделираните параметри до 8000 m показват, че използваната

конфигурация качествено добре описва обстановката в периода 28.09 - 03.10.2003г. В полето на потенциалната температура при земята се очертава ясно, както в наблюденията, така и в модела, прехода от устойчив към конвективен граничен слой в сутрешните часове. В сондажа (Фиг. 2) от 04 GMT моделът и наблюденията показват устойчив слой до 250 m и остатъчен конвективен слой от 1000 m до 1800 m с обширна зона на взаимодействие/увличане (ЗВ) между тях. Два часа по-късно се наблюдава по-слаба устойчивост до 250 m, а в 8 GMT започва развитие на конвективен слой от земята до 250 m, както в сондажа, така и в моделните резултати. В 10 GMT конвективният слой е развит до 750 m, както в данните от сондажа, така и от моделните данни, като моделираната Θ е с 2 K по-ниска. В 12 GMT конвективният слой достига до 1750 m, и при двете бази данни, като моделната Θ е с 1.5 K по-ниска. В 14 GMT конвективният слой достига до 2000 m, както в сондажа, така и в моделните резултати, като моделната Θ е с около 1 K по-ниска. В 16 GMT започва образуване на устойчив слой, простиращ се до 250-300 m в наблюденията, като моделната Θ е с около 1 K по-висока, а над него до 2000 m се разполага остатъчен конвективен слой. На Фиг. 2 се вижда подобно класическо развитие на атмосферен граничен слой (АГС) и на 28 Септември, докато след валежа на 30 Септември, вертикалната структура в полето на Θ остава повлияна от това смущение. Стойностите на RH и MR (Фиг. 3) са по-ниски в моделните резултати близо до земната повърхност, но наблюдаваното и моделираното разпределение по височина са много близки.

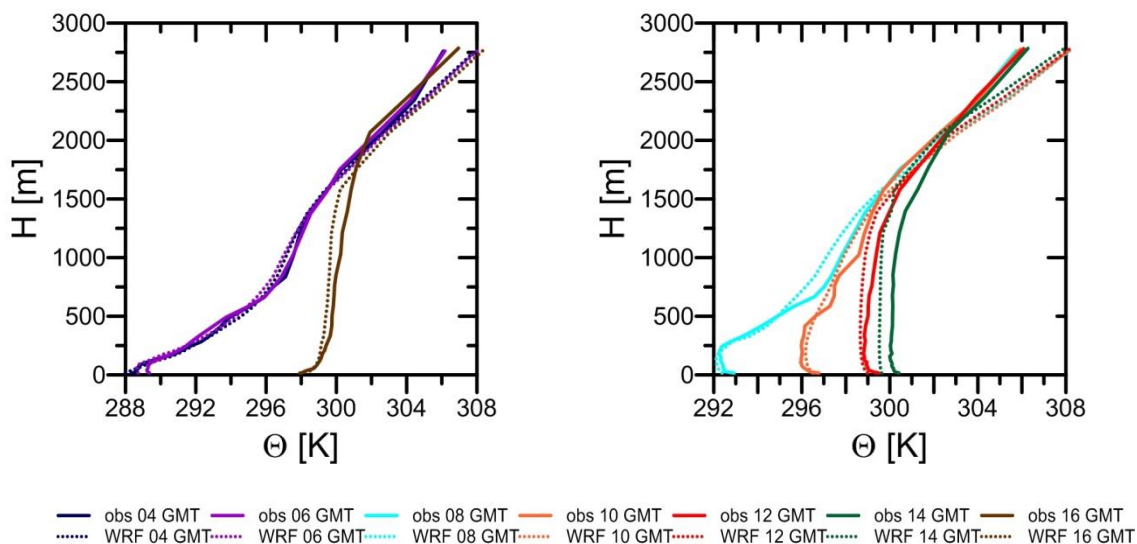
На Фиг. 4 са представени осреднените по срок на наблюдение профили на потенциалната температура за слоя въздух до 3000 m, включващи данните от петте дни със сондаж. Използваната конфигурация на WRF възпроизвежда успешно средното състояние на атмосферата за периода, като дава близки до наблюдаваните височини на АГС и дава близки до наблюдаваните часове на преходите от устойчив към конвективен и от конвективен към устойчив АГС. Разликите между моделните и наблюдаваните осреднени профили са по-малки от тези за конкретен ден (например, Фиг. 2).



Фиг. 2. Профили на потенциалната температура на 29.09.2003г. - сравнение на моделните резултати с данни от сондаж до 3000 m



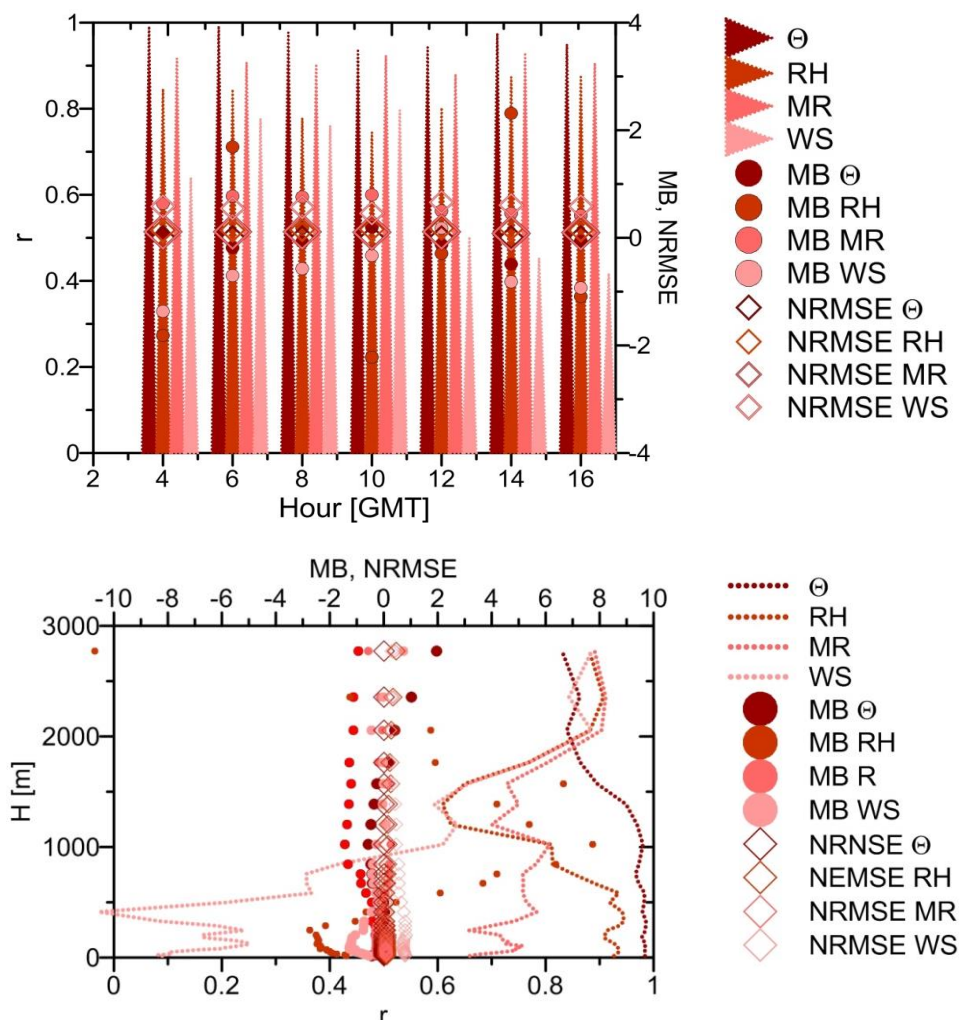
Фиг. 3. Вертикални сечения на наблюдаваните и измерените Θ , RH , MR , WS , U (зонална), V (меридионална) компоненти на скоростта на вятъра и WD до 8000 m в часовете на експеримента София (2003)



Фиг. 4. Осреднени профили по часове на Θ до 3000 m, разделени на 04, 06, 16 GMT (преходните часове) и 08, 10, 12 и 14 GMT (обедните и следобедните часове)

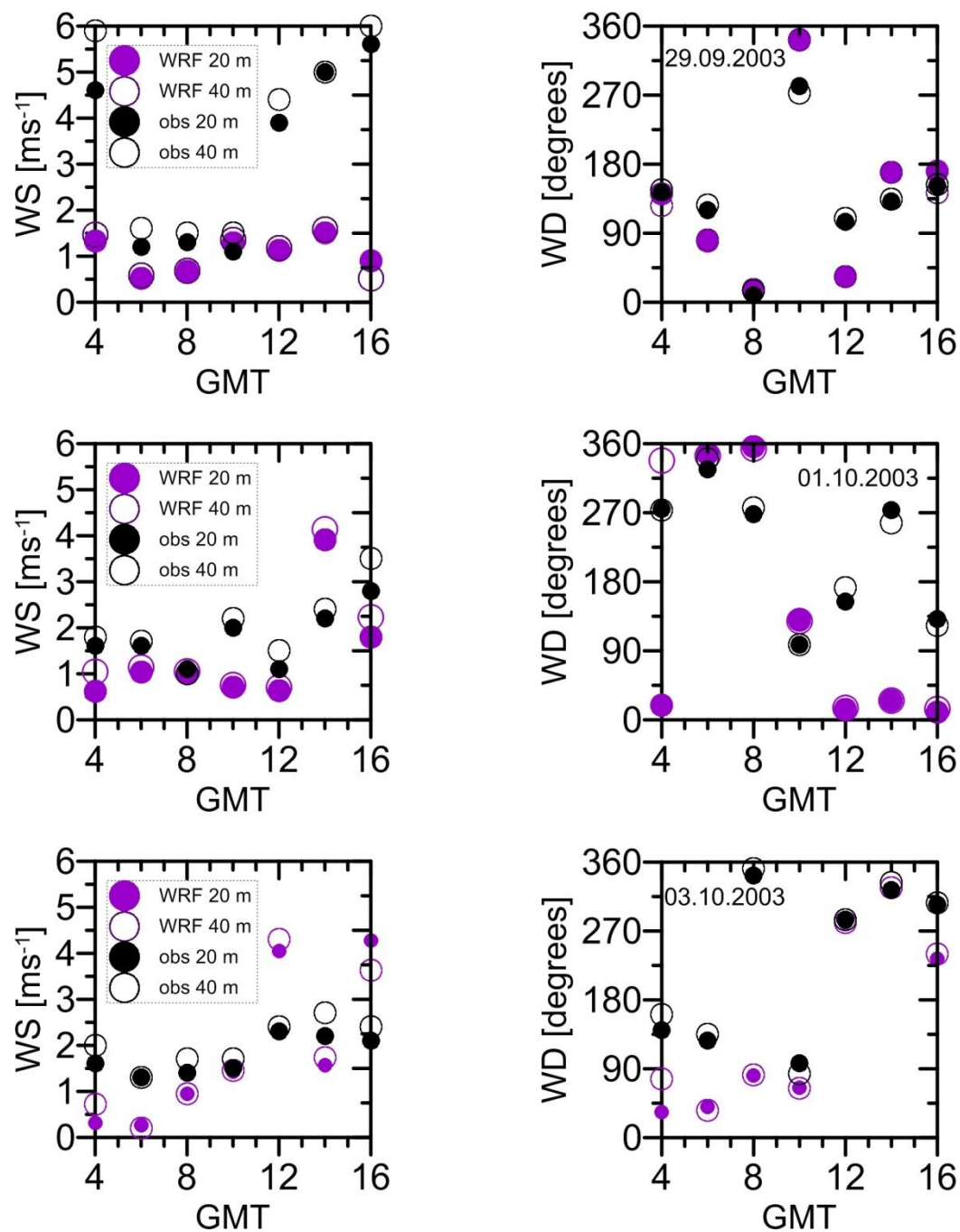
Симулираните стойности на WS са по-ниски

Статистическите индикатори: r , MB , и $NRMSE$ са изчислени за всеки срок по данните за всички височини в слоя въздух до 3000 m (Фиг. 5, горен панел). Изчислена е корелацията за T , Θ , и MR , за RH - висока в 8, 10, 12 GMT и много висока в останалите часове, за WS корелацията е висока в сутрешните и обедните часове, а за останалите срокове - значителна. Профилите на r , MB , и $NRMSE$ до 3000 m, формирани за всяко моделно ниво от всички сондажи са показани на Фиг. 5, долен панел, за да се оцени способността на модела да възпроизведе наблюдаваната вертикална структура на разглежданите параметри в рамките на АГС. Много висока положителна връзка е получена между T и Θ за всички нива до 3000 m. Стойностите на MB за T са между -1.4 K и -0.2 K, като понижението на прогнозираната температура е по-малко от 1 K до 800 m. Средното статистическото отклонение за Θ е в интервала -0.6 K до 2 K, като моделът е надвишил стойностите за Θ над 1700 m. По отношение на характеристиките на влажността между измерените и моделирани стойности на RH има много висока положителна корелация до 1000 m, а над това ниво, MR е с висока положителна корелация за всички нива, с изключение на височините около 2000 m и 2400 m, където $r > 0.8$. Относителната влажност, RH е подценена от модела до височина 400 m и над 2400 m, като най-ниски стойности ($MB = -10\%$) са получени за височина около 2700 m. MR до височина 3000 m е прогнозирано със стойностите на MB в интервала -0.6 до 0.3 gg^{-1} , като по-ниски моделирани стойности на MR от измерените са получени до 500 m и над 1400 m. Висока корелация между измерена и моделирана WS е получена над 1000 m, като средно статистическото отклонение за скоростта е в интервала -1.7 ms^{-1} до 0.7 ms^{-1} и WS е надценена от модела около 1200 m и 2800 m.



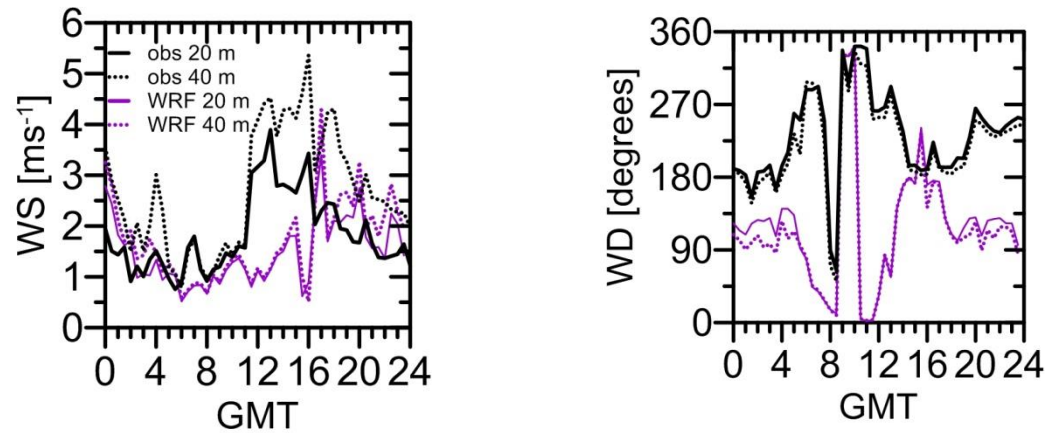
Фигура 5. Статистически индикатори: r , MB , и $NRMSE$ по срокове за слоя въздух до 3000 m (горен панел). Стойност на r , MB , и $NRMSE$ за всяко ниво до 3000 m по всички срокове на сондажа (долен панел)

Разположението на измервателната площадка спрямо града определя, измерванията като повлияни от градската среда при западни ветрове, а при източни от извънградската среда (Kirova and Batchvarova, 2018). На Фиг. 6 са представени измерените и моделирани стойности за WS и WD за конкретни дни. Сутрешните часове на 29 септември се характеризират с източни ветрове при земята, преминаващи по-късно през деня към север и запад и отново към изток в следобедните часове, като във височина преобладава югоизточен и южен вятър. Преобладаващите ветрове на 01 Октомври са със северна компонента във височина, западни в сутрешните часове и източни в обедните близо до земната повърхност. На 03 Октомври през целия ден във височина преобладава западен вятър. Измененията в посоката са най-значителни в слоя до 400 - 500 m в сутрешните часове на 03.10 и обедните часове на 29.09 и 01.10. Според този анализ на посоката вятъра по данни от аерологичния сондаж, определяме като повлияни от градската среда условия на 01 и 03 Октомври и като повлияни от извън градска среда на 29 Септември.

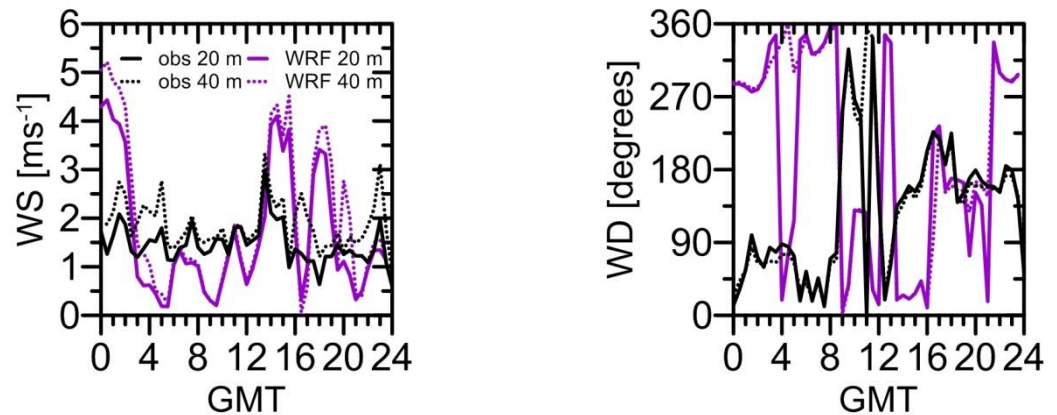


Фигура 6. Моделирана и измерена (от аерологични сондажи) скорост и посока на вятъра на 20 m и 40 m за 29 Септември, 01 и 03 Октомври

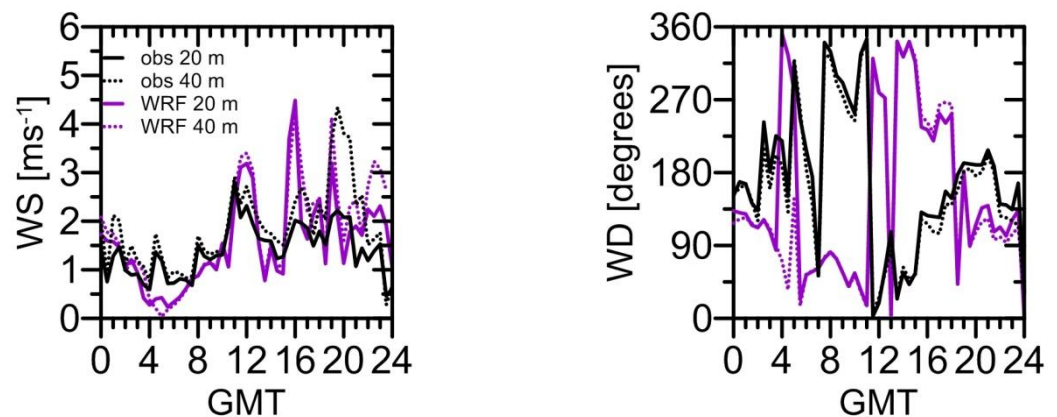
29.09.2003



01.10.2003



03.10.2003



Фигура 7. Моделирани и измерени (на 20 m и 40 m с акустични анемометри) скорост и посока на вятъра за същите описани дни 29 Септември, 01 и 03 Октомври

Моделът (Фиг. 6) подценява значително измерената на нива 20 m и 40 m висока скорост на вятъра в сутрешните и вечерни часове на 29 Септември (ден с променяща

се посока на вятъра, предимно извънградско влияние в сутрешните и вечерни часове) и дава близки стойности в обедните часове, когато скоростта на вятъра е под 2 ms^{-1} и потокът е от засторените части на града. На 01 и 03 Октомври моделът предимно подценява скоростта на вятъра, когато имаме по-малка изменчивост през деня. Обобщавайки резултатите може да се каже, че моделът подценява по-малко по-ниските скорости на вятъра, които са свързани с поток идващ от града (запад и север) и подценява в по-голяма степен по-високите скорости на вятъра, свързани с поток идващ от изток (извънградски условия) в разглежданите дни. Горните изводи се отнасят също и за сравнението с моделните данни с 24 часовите измервания от акустичните анемометри (Фиг. 7). Най-голямо подценяване на стойността на скоростта на вятъра се наблюдава на 29 Септември в 16 GMT, когато измерената стойност е над 5 ms^{-1} , а моделната е под 1 ms^{-1} . В сутрешните часове на 01 и 03 Октомври моделът подценява, а в следобедните надценява скоростта на вятъра. В трите дни има периоди със значително по-големи скорости на вятъра на 40 m спрямо 20 m височина, особеност която не се отчита от модела.

Литература

- Batchvarova, E. and Rotach, M.W., Bilateral Bilateral co-operation on urban boundary layer studies. Turbulence measurements for urban boundary layer research in Sofia, *Final Report COST Action 715*, 2005, ISBN: 978-954-9526-30-1, pp 185-188.
- Batchvarova, E., Gryning, S-E., Rotach, M.W. and Christen, A. () ‘Comparison of modeled aggregated turbulent fluxes and measured turbulent fluxes at different heights in an urban area’, in Borrego, C. and Norman, A. (Eds.): *Air Pollution Modeling and its Application XVII*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, NATO Challenges of Modern Society, 2007, pp.363–370.
- Janjic, Z., The step-mountain coordinate: physics package. *Mon. Weather Rev.*, 1990, 118:1429–1443
- Kirova, H. and Batchvarova, E., Mesoscale simulation of meteorological profiles during the Sofia Experiment 2003, *Int. J. Environment and Pollution*, 2017, Vol. 61, No. 2, pp 134-147
- LeMone, M.A.; Chen, F.; Alfieri, J.G.; Tewari, M.; Geerts, B.; Miao, Q.; Grossman, R.L.; Coulter, R.L. Influence of land cover and soil moisture on the horizontal distribution of sensible and latent heat fluxes in southeast Kansas during IHOP_2002 and CASES-97. *J. Hydrometeorol.* 2007, 8, 68–87.
- Patil, M.N.; Waghmare, R.T.; Halder, S.; Dharmaraj, T. Performance of Noah land surface model over the tropical semi-arid conditions in western India. *Atmos. Res.* 2011, 99, 85–96
- Sukoriansky, S., Galperin, B., Perov, V., Application of a new spectral theory of stably stratified turbulence to the atmospheric boundary layer over sea ice. *Boundary-Layer Meteorol.*, 2005, 117(2):231–257.
- Vladimirov, E., Dimitrova, R. Danchovski, V., Sensitivity of WRF model results to topography and land cover: study for the Sofia region, *Annuaire de l’Université de Sofia “St. Kliment Ohridski”*, Faculté de Physique, 111, (in press).