



ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АТМОСФЕРНИЯ ГРАНИЧЕН СЛОЙ В КРАЙБРЕЖНАТА ЗОНА НА ГРАД АХТОПОЛ ПО СОДАРНИ И МОДЕЛНИ ДАННИ

ас.физ. Дамян Янчев Барантиев

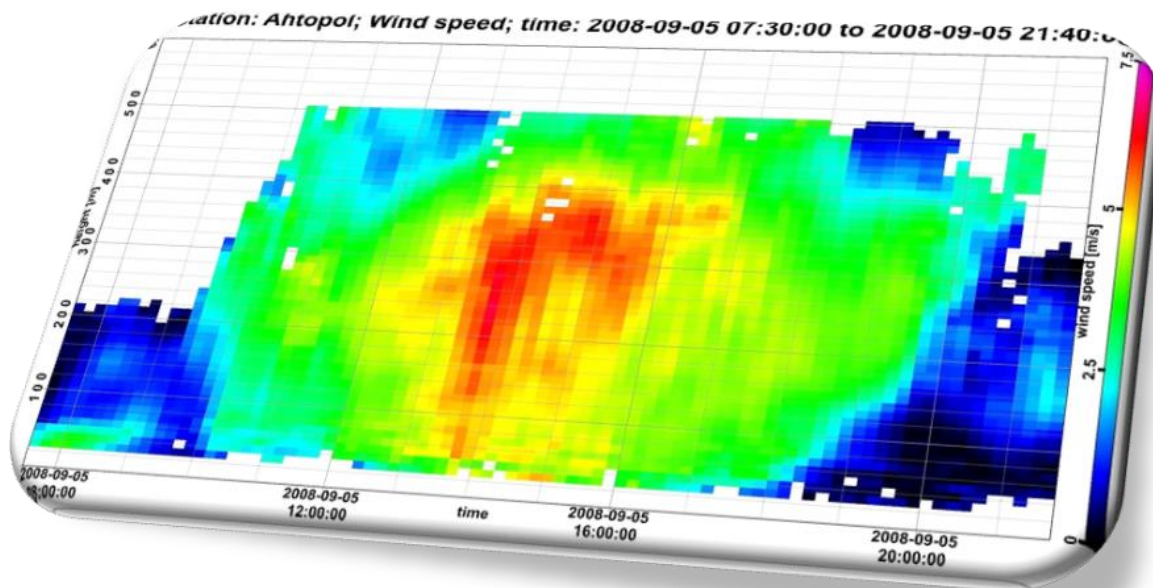
А В Т О Р Ф Е Р А Т

на дисертация

за присъждане на образователната и научна степен "доктор"
в област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика,
професионално направление 4.1. Физически науки (Дистанционни изследвания
на земята и планетите - шифър 01.04.12)

Научен ръководител:

проф. д.ф.н. Екатерина Бъчварова



София, 2016

ХАРАКТЕРИСТИКИ НА АТМОСФЕРНИЯ ГРАНИЧЕН СЛОЙ В КРАЙБРЕЖНАТА ЗОНА НА ГРАД АХТОПОЛ ПО СОДАРНИ И МОДЕЛНИ ДАННИ

ас.физ. Дамян Янчев Барантиев

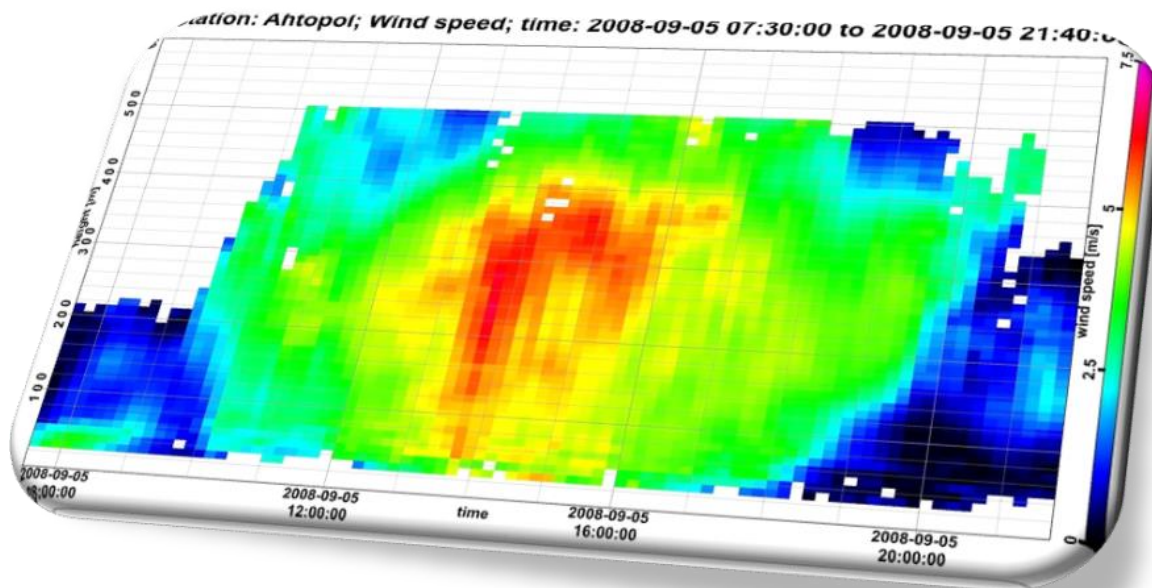
А В Т О Р Ф Е Р А Т

на дисертация

за присъждане на образователната и научна степен "доктор"
в област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика,
професионално направление 4.1. Физически науки (Дистанционни изследвания
на земята и планетите - шифър 01.04.12)

Научен ръководител:

проф. д.ф.н. Екатерина Бъчварова



София, 2016

Дисертацията е с обем 217 стр., съдържа 20 таблици, 151 фигури и 33 уравнения. Състои се от общо 9 глави - уводните бележки и литературен обзор в Глава 1 и в Глава 2, следва представяне на изследваният крайбрежен район в Глава 3, в Глава 4 и Глава 5 са изложени анализите на данни, следва глава с научни приноси, публикации и цитати, Глава 7 е определена за благодарности, Глава 8 се състои от 7 приложения към дисертационния труд и накрая в последната глава е използваната литература, включваща 103 заглавия, от които 19 на кирилица и 84 на латиница.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на разширен научен семинар на департамент "Физика на атмосферата и екология", проведен на 18.05.2016 г., съгласно заповед № РДО9-74/11.04.2016 г. на директора на НИМХ-БАН.

Състав на научното жури:

проф. дн Екатерина Бъчварова

доц. д-р Емилия Георгиева

доц. д-р Гергана Герова- катедра "Метеорология и геофизика", ФзФ , СУ

доц. д-р Николай Рачев- катедра "Метеорология и геофизика", ФзФ, СУ

чл.-кор. Костадин Ганев- НИГТГ-БАН

Резервни членове:

доц. д-р Андрей Богачев

доц. д-р Румяна Мицева- катедра "Метеорология и геофизика, ФзФ , СУ

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 18.10.2016 г. в 14:00 часа в Учебния център на НИМХ–БАН, гр. София

Материалите по защитата ще са на разположение на интересуващите се в канцеларията на НИМХ–БАН и на интернет страницата на института.

Номерата на фигурите, таблиците и формулите в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд. Авторефератът съдържа 82 фигури, 18 таблици, 12 уравнения и литература, включваща 83 заглавия, от които 17 - на кирилица и 66 на латиница.

Характеристики на атмосферния граничен слой в крайбрежната зона на град Ахтопол по содарни и моделни данни

Дамян Янчев Барантиев

Съдържание

1. Увод.....	1
1.1. Значимост на изучаването на крайбрежния атмосферен граничен слой (АГС).....	2
1.2. Кратък обзор на досегашни изследвания по Черноморието.....	3
1.3. Сътрудничество между НИМХ-БАН и НПО "Тайфун".....	3
1.4. Други проекти свързани с наблюденията в МО Ахтопол.....	4
1.5. Цели на дисертацията.....	5
1.6. Структура на дисертацията.....	5
2. Кратък литературен обзор по използваните методи за наблюдение и изследваните явления.....	6
2.1. Дистанционни методи за измерване, използвани при изучване на някои от характеристиките на АГС.....	6
2.2. Морска крайбрежна циркулация.....	7
2.3. Изследвания на крайбрежен граничен слой в различни райони по света.....	8
3. Метеорологична обсерватория гр. Ахтопол в климатичната система на България.....	9
3.1. Обща климатична характеристика на Българското черноморско крайбрежие.....	9
3.2. Метеорологична обсерватория гр. Ахтопол – локация и топография.....	11
3.3. Топлинни условия, облачност, валежи, вятър.....	12
3.4. Инсталирана научноизследователска апаратура за изучаване на крайбрежния АГС.....	13
4. Измервания и анализи.....	15
4.1. Приземни измервания и турбулентни характеристики.....	15
4.2. Дистанционни акустични измервания – вертикална структура на полето на вятъра при бризовата циркулация.....	20
4.3. Типизация на бризовата циркулация.....	25

4.4.	<i>Приложение на предложената типизация към данни от МО Ахтопол и някои детайли за нощната бризова циркулация.....</i>	31
4.4.1.	<i>Приложение на предложената типизация към данни от МО Ахтопол.....</i>	31
4.4.2.	<i>Някои детайли за нощната бризова циркулация.....</i>	34
4.5.	<i>Статистически данни на бризовата циркулация.....</i>	35
4.5.1.	<i>Създаване на извадки от данни.....</i>	35
4.5.2.	<i>Характеристики на осреднени бризови клетки в полето на скоростта и посоката на вятъра.....</i>	37
4.5.3.	<i>Турбулентни характеристики на осреднени бризови клетки.....</i>	41
4.6.	<i>Осреднени характеристики на морски ВМ и ВМ от към сушата.....</i>	46
4.6.1.	<i>Характеристики на вертикалните профили при морски ВМ.....</i>	49
4.6.2.	<i>Характеристики на вертикалните профили при ВМ откъм сушата.....</i>	54
4.7.	<i>Статистически анализи на скоростта на вятъра във височина и определяне на екстремални стойности.....</i>	56
4.7.1.	<i>Вероятностно разпределение и денонощен ход на скоростта на вятъра във височина от над седем годишен период на измерване. Профили на параметрите на Вейбул и екстремален профил на скоростта на вятъра. Височина на обръщане на денонощния ход на скоростта на вятъра.....</i>	59
4.7.2.	<i>Вероятностно разпределение и денонощен ход на скоростта на вятъра във височина през летните сезони (юни – август) от над седем годишен период на измерване. Профили на параметрите на Вейбул.....</i>	69
4.7.3.	<i>Вероятностно разпределение и денонощен ход на скоростта на вятъра във височина през зимните сезони (декември – февруари) от над седем годишен период на измерване. Профили на параметрите на Вейбул.....</i>	70
4.8.	<i>Месечни анализи на акустични данни и определяне височини на УГС и КГС при различен тип крайбрежни ВМ.....</i>	72
4.8.1.	<i>Нощен УГС на ВМ от към сушата.....</i>	73
4.8.2.	<i>Нощен КГС на ВМ от към морето.....</i>	76
4.8.3.	<i>Дневен КГС на ВМ от към сушата.....</i>	78
4.9.	<i>Оценка на приложимостта на широко използвани параметризации за профила на скоростта на вятъра в граничния слой.....</i>	79
4.9.1.	<i>Профили на хоризонталната скорост на вятъра, характеризиращи нощен УГС на ВМ от към сушата.....</i>	79
4.9.2.	<i>Турбулентни характеристики на ВМ характеризиращи УГС и КГС.....</i>	87

5. Числено моделиране на бризова клетка с WRF	90
5.1. <i>Подбор на типични метеорологични обстановки за целите на верификацията на численото моделиране</i>	91
5.2. <i>Конфигурация на WRF за симулация едно (Sim1)</i>	93
5.3. <i>Конфигурация на WRF за симулация две (Sim2)</i>	94
5.4. <i>Анализ на резултатите от численото моделиране</i>	95
6. Научни приноси, публикации и представени на резултати по дисертацията, цитати	99
7. Благодарности	101
8. Приложения	101
8.1 <i>ПРИЛОЖЕНИЕ А: Използвани означения и съкращения</i>	101
8.2 <i>ПРИЛОЖЕНИЕ Б: Технически характеристики на АМС МК-15</i>	101
8.3 <i>ПРИЛОЖЕНИЕ В: Преглед на основни и турбулентни параметри извеждани от АМС МК-15</i>	101
8.4 <i>ПРИЛОЖЕНИЕ Г: Технически характеристики на Scintec MFAS Flat Array Sodars</i>	101
8.5 <i>ПРИЛОЖЕНИЕ Д: Изходящи параметри при Scintec Flat Array Sodar MFAS</i>	101
8.6 <i>ПРИЛОЖЕНИЕ Е: Пояснение към физически процеси/характеристики и използвани параметризации при моделните симулации в глава 5</i>	101
8.7 <i>ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Пространствено времеви сечения на моделираните и интерполирани данни</i>	101
<i>Фиг.1. - 05.08.2008 г.;</i>	
<i>Фиг.2. - 05.09.2008 г.;</i>	
<i>Фиг.2. - 07.05.2009 г.;</i>	
9. Литература	102

1. Увод

Развитието на обществото изисква от метеорологията все по-точни прогнози по време и място, все по-точни данни за минали събития, все по-ранни предупреждения за опасни ситуации, все по-надеждни резултати от климатичните модели за планирането на бъдещето на планета и усвояване на нейни възобновяеми енергийни ресурси. Всички тези цели се постигат чрез усъвършенстване на моделите, което се определя от напредъка в описанието на физическите и химически процеси в атмосферата и по-конкретно в най-трудната за разбиране част от нея – атмосферния граничен слой и особено в условията на нехомогенна постилаща повърхност. От друга страна наличното технологично развитие на разновидни типове апаратури за измерване на редица метеорологични параметри в атмосферата и възможността за надеждна и бърза обмяна на по-големи обеми от информация, чрез непрестанното развитие на модерните телекомуникационни услуги, са предпоставка и способ за реализиране на по-точни пространствени качествени и количествени оценки на състоянието на атмосферата в даден момент и придобиване на реална представа за протичащите процеси в нея.

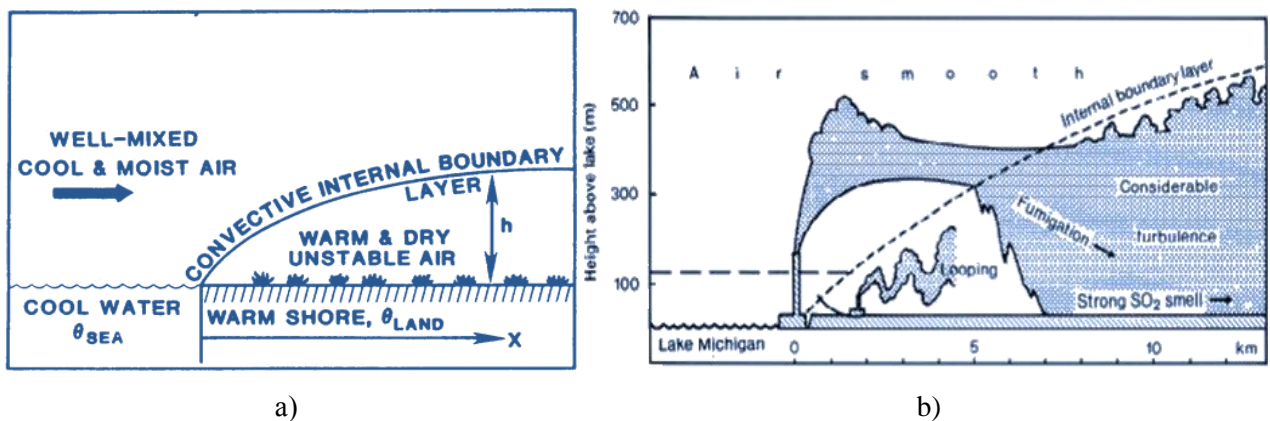
В България съществува традиция в изследванията на атмосферния граничен слой, има и измервания с модерна апаратура (содар) в станция Ахтопол.

Това са в най-кратък вид предпоставките и необходимостта от представената дисертация.

1.1. Значимост на изучаването на крайбрежния атмосферен граничен слой (АГС)

Атмосферният граничен слой (АГС) е прилежащ слой до земната повърхност (ЗП) и е определен от влиянието на подложната повърхност, която оказва въздействия на въздушния поток и процесите протичащи в него. Горната граница на АГС се простира до слой, определен като зона на взаимодействие или увличане (преходна зона – инверсен слой), разграничаваща го от т.н. свободната атмосфера, където влиянието на постилащата повърхност отсъства. Наблюдаваните процеси на обмен (пренос и преразпределение) на енергия и маса (газови примеси и частици) в АГС се осъществява благодарение на турбулентните му характеристики и разнообразния спектър от турбулентни вихри наблюдавани в него. Турбулентността на АГС се определя от механични (триене на въздушни маси в ЗП или поради бароклинност) и конвективни (архимедова сила) фактори, от термодинамичното му състояние (неустойчиво, неутрално и устойчиво стратифициран), както и от адвекцията и дисипацията на турбулентните вихри в него. Наличието на изразена положителна архимедова сила, поради силно нагриване на ЗП, води до създаването на конвективен граничен слой (КГС) обусловен от наличието на термици (вихри с термичен произход), осъществяващи интензивен турбулентен обмен и формиращи слой на смесване обхващащ основната част от КГС (Бъчварова, 2006). При нахлуването на въздушни маси (ВМ) над нова подложна повърхност започва тяхната трансформация породена от рязката смяна на физичните характеристики, присъщи за новата постилащата повърхност. Това води до сформирването на т.н. вътрешен граничен слой (ВГС), който се явява подслой на АГС. Трансформацията на по-хладните морски ВМ над нагрятата суша (лятно време, през деня) води до формирането на конвективен вътрешен граничен слой (КВГС) с височина зависеща от разстоянието от брега (Фиг. 1.1.1. – а). Така, в крайбрежните райони атмосферата е сложно разслоена и това води до различни дифузионни характеристики, а оттам до сложни процеси на разпространение на замърсители в сравнение с районите с хомогенна постилаща повърхност. Някои от най-важните проблеми в това отношение са циркулацията на замърсители изпуснати вътре в бризова клетка, задимяването (fumigation) на крайбрежен КВГС от източник в, или извън него, и наличието на множество инверсионни слоеве (Фиг. 1.1.1. – б) ограничаващи обема и височината, до която се разпространяват замърсителите (зоната на взаимодействие на горната му граница).

Образуването на конвективен слой, в който се разпространява замърсяване или други примеси, е недостатъчно висок за самоочистване на атмосферния въздух и това води до акумулиране на вредни примеси в крайбрежни зони. В комбинация с локалната циркулация (затворени дневни и нощни бризови клетки) формирането на КВГС може да доведе до по-дългосрочно акумулиране и рецикулация на замърсителя в атмосферата над крайбрежния район. Изучаването на спецификите и развитието на този слой, чрез провеждането на детайлни метеорологични измервания в крайбрежни райони, е важен елемент от научна и практическа гледна точка. Теоретичните и експериментални изследвания водят до постигането на нови знания и по-детайлен обзор на процесите, до възможност за усъвършенстване на параметризационните схеми използвани при мезометеорологичните модели и до подпомагане на дейностите свързани с опазване на качеството на атмосферния въздух в крайбрежните райони.



Фиг. 1.1.1. Схематично представяне на формиране на конвективен вътрешен граничен слой (КВГС) при преход на относително по-хладни морски въздушни маси над сравнително по-топла земна повърхност (лява фигура - а) (Hsu, 1986); Задимяване в резултат на разпространяване на замърсител от източник в крайбрежен КВГС и извън него (дясна фигура - б) (Simpson, 1994)

Структурата на АГС в крайбрежни райони е обект на изследване в много страни поради факта, че много градове и индустриални дейности са разположени на бреговете на морета, океани или големи езера. Концепцията за трансформация на въздушните маси е приложима и за други граници между различни постилаци повърхности, като поле-град, поле-гора, пустия-град и други, но процесите при прехода море-суша са най-интензивни.

1.2. Кратък обзор на досегашни изследвания по Черноморието

През 50-те години на XX век в НИМХ се реализират редица изследвания на базата на климатични, синоптични и експериментални наблюдения по българското крайбрежие. В този период са публикувани студията за климатично райониране на България (Събев and Станев, 1959). Редици специализирани експериментални изследвания са реализирани от учените в НИМХ през 70-те и 80-те години на XX век във връзка с началото на дейностите по мониторинг на околната среда и моделиране на разпространението на примеси в атмосферата. Такива са експериментите, проведени от НИМХ във Варна (1973), Бургас (1976 и 1990) по различни проекти (Бъчварова and Донеv, 1983; Бъчварова, 1984b; Бъчварова, 1984a; Бъчварова, 1985; Йорданов and Бъчварова, 1985b; Йорданов and Бъчварова, 1985a; Бъчварова, 2006) С широка климатична тематика и международно участие са изследванията в Шкорпиловци (1978-1980, 1982-1983) (Belberov et al., 1980; Belberov et al., 1982; Belberov et al., 1983; Корчев and Манолов, 1983). В района на Ахтопол през 90-те години са организирани наблюдения на

аерозолния състав на атмосферата в рамките на проекти по международно сътрудничество ([Wiman et al., 2002](#)). Анализ на обратните траектории обяснява наблюдавания аерозолен състав.

Липсата на финансиране за научни изследвания и приватизацията на големи индустриални обекти, като ЛУКОЙЛ Нефтохим Бургас, доведоха до многогодишен застой в експерименталните изследвания и в модернизацията на измерванията както в страната, така и по черноморското крайбрежие.

1.3. Сътрудничество между НИМХ-БАН и НПО "Тайфун"

Съгласно разпоредбите на Споразумението между правителството на Република България и правителството на Руската федерация за икономическо и научно-техническо сътрудничество от 8 май 2007 г, бе инициализирана официална съвместна среща между делегати на Федералната служба за Хидрометеорология и мониторинг на околната среда, Руската федерация (*Росхидромет*), и Националния институт по метеорология и хидрология към Българската академия на науките (НИМХ при БАН) в гр. София през периода 17-19 септември 2007 г. В съответствие с протокола от първото заседание на официалните делегации в рамките на гореспоменатото междуправителствено споразумение се пристъпва към извършване на дейностите, посочени в параграф 1.1 на програмата за сътрудничество между *Росхидромет* и НИМХ при БАН за 2007-2009 - приет е набор от оборудване за регистриране на параметрите на граничния слой на атмосферата въз основа на акустичен локатор (содар) производство на немската компания Scintec (придобита от Roshydromet и доставени в София през септември 2007 г.) и автоматизирана метеорологична станция с триизмерен акустичен анемометър произведен от Научно-производствено обединение (НПО) "Тайфун" – Росхидромет.

В резултат на това се инициализира съвместен научноизследователски проект в областта на хидрометеорологията и мониторинг на околната среда, между НИМХ - БАН и НПО "Тайфун" – Росхидромет, който поставя начало на дистанционното звуково сондиране на атмосферата в България през юли 2008 г. в най-южната морска синоптична станция на Българското Черноморие - Метеорологична Обсерватория (МО) Ахтопол. Целта на този проект е натрупване и проучване на данни за крайбрежен граничен слой посредством приземни и акустични дистанционни измервания, полагайки основите на неговото климатичното изучаване с висока пространствена и времева резолюция ([Barantiev et al., 2011](#); [Batchvarova et al., 2012](#); [Novitsky et al., 2012](#)).

Тук трябва да се отбележи, че оборудването на МО Ахтопол с модерен наземно базиран прибор за дистанционно сондиране на атмосферния граничен слой е в синхрон с наблюдавания в световната и европейска практика преход от експериментални изследвания в ограничени периоди от време ([Kerman et al., 1982](#); [Portelli, 1982](#); [Wilczak et al., 1991](#)) към продължителни/оперативни измервания с прибори даващи данни с висока пространствена и времева резолюция - радари, лидари, содари, микровълнови радиометри ([Floors et al., 2013](#); [Gryning et al., 2016](#)).

1.4. Други проекти свързани с наблюденията в МО Ахтопол

В продължение на вече 7 години, освен за българо-руското сътрудничество, МО Ахтопол е център за осъществяване и на българското участие в редица други международни проекти. Оперативните измервания със содара и анализите на данните бяха основа за участието на НИМХ в европейската програма за сътрудничество (COST), акция COST ES0709 „European Ground-Based Observations of Essential Variables for Climate and Operational Meteorology (EG-CLIMET)“, в периода 2010 – 2012 г ([Illingworth et al., 2013](#)). В момента продължава

сътрудничество по акция COST ES1303 „Towards operational ground based profiling with ceilometers, doppler lidars and microwave radiometers for improving weather forecasts (TOPROF)“, 2013 – 2017. Тези сътрудничества целят навлизането на данните от наземно базирани дистанционни измервания в оперативната работа на метеорологичните служби с цел подобряване на прогнозата на времето (Illingworth et al., 2015).

Друг важен проект осъществен в периода 2013-2015 г. бе в рамките на програма за сътрудничество с Турция – Joint study of anthropogenic air pollution in the Burgas – Kirklareli cross-border area as a step towards future assessments on its impact on the population and the environment (SAAP4FUTURE) насочен към привличане на общественото внимание към и популяризиране на изследванията по разпространение на примеси, химически състав на аерозолите, процеси на сухо и мокро отлагане, метеорологични характеристики в граничните райони Бургас и Къркларели (Georgieva et al., 2015).

Содарните данни бяха използвани и в проект по двустранно сътрудничество между БАН и съвета за научни изследвания на Италия (CNR) за изследване на крайбрежните гранични слоеве на основата на дистанционни измервания – паралел между Ахтопол на Черно море и Ламеция Терме на Средиземно море (Coastal boundary layer studies based on remote sensing instruments – a parallel between Ahtopol at the Black Sea and Lamezia Terme at the Mediterranean) в периода 2013 – 2015.

През 2016 започна и нов тригодишен проект за сътрудничество между БАН и Съвета за научни изследвания на Италия (CNR) за изследване метеорологичните условия обуславящи периоди на завишено замърсяване на въздуха в крайбрежни райони на Италия и България, 2016-2018. С увереност може да се каже, че содарът в МО Ахтопол е важна предпоставка за участието на колективи от НИМХ в различни международни проекти, сътрудничества и инициативи. Наличието на този прибор дава възможност и за надграждане на системата наблюдения в зависимост от спечелените научни проекти в НИМХ.

1.5. Цели на дисертацията

Изброените цели на дисертацията са свързани и с научните въпроси, които са поставени за решаване на основата на нови уникални за България метеорологични данни:

1) Поддържане на работата на содар MFAS SCINTEC с обхват до 1000 m, архивиране и обработка на данните от него;

2) Анализ на уникални за България дългогодишни содарни данни с висока пространствена и времева резолюция за вертикалната структура и турбулентността в крайбрежния АГС, който да доведе до нови знания за:

- *средните и турбулентни характеристики на метеорологичните параметри в станция Ахтопол по приземни наблюдения,*

- *Вертикалния строеж в полето на скоростта на вятъра и турбулентността в район от южното черноморско крайбрежие,*

- *Характеристики и класификация на бризовата циркулация,*

- *Количествено определяне на параметри на бризовите клетки – вертикален мащаб, вертикална структура, време и начин на настъпване и край, честота,*

- *Количествено определяне на характеристиките на АГС при въздушни маси от морето и такива откъм сушата,*

- *Статистически анализи на скоростта на вятъра във височина по седем годишен период на измерване чрез профилите на параметрите на в разпределението на Вейбул,*

- *Характеристики на АГС в условията на екстремални за района скорости на вятъра,*
- *Месечни анализи на акустични данни и определяне височини на УГС и КГС при различен тип ВМ,*
- *Проверка на параметризационни схеми използвани в мезометеорологични модели;*

3) Проверка на успеха на мезометеорологичен модел при моделирането на затворена бризова клетка.

1.6. Структура на дисертацията

След уводните бележки в глава 1, в Глава 2 от дисертацията е направен кратък обзор на литературата по съвременни методи и уреди за дистанционни измервания в атмосферата, на изследвания на АГС в крайбрежни райони и на работи посветени на използване на такава апаратура в крайбрежни райони. Много повече ползвана литература е цитирана в отделните глави. В Глава 3 от дисертацията се представят рамките на досегашните български изследвания на процесите в крайбрежната зона на Черно море, дават се климатични характеристики за стари и по-нови периоди по публикувани данни, описва се новото оборудване на станция Ахтопол за наблюдение на полето на вятъра и турбулентността при земята и във височина до 1000 m. В глава 4 от дисертацията е съсредоточена основната част от анализите на данни, но първо подробно се описва новата информация. Следва въвеждане на нова типизация на бризовата циркулация по приземни и височинни данни; определяне на средни характеристики на бризовите клетки и на АГС при морски въздушни маси и такива откъм сушата; статистически анализи на скоростта на вятъра във височина по седем-годишен период от данни чрез параметрите в разпределението на Вейбул; определяне характеристиките на крайбрежния АГС в условията на екстремални стойности на скоростта на вятъра; детайлизиране на резултатите по сезони и месеци; проверка на някои параметризационни схеми за профилите на вятъра и турбулентните характеристики, използвани в мезометеорологични модели. В Глава 5 от дисертацията е представена съвместна работа с ас. Христина Кирова-Гълъбова и други колеги от ФАЕ по проверката на симулации с мезометеорологичен модел чрез содарните данни. В Глава 6 са обобщени научните приноси, даден е списък на публикациите по дисертацията, в Глава 7 се отправят благодарности към колегите оказвали съдействие по работата през изминалите 7 години. В Глава 8 са дадени различни приложения уточняващи детайли от измерванията и анализите и в Глава 9 са изброени ползваните литературни източници.

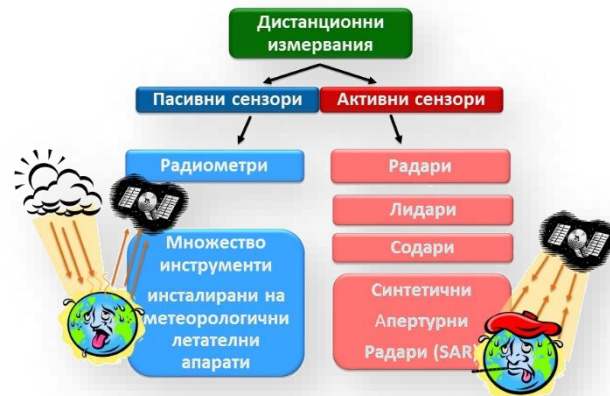
2. Кратък литературен обзор по използваните методи за наблюдение и изследваните явления

2.1. Дистанционни методи за измерване, използвани при изучаване на някои от характеристиките на АГС.

Чрез дистанционното наблюдение се придобива информация за даден обект или явление, без да се правят физически контакти с обекта и дава възможност да се събират данни за опасни или недостъпни райони (Prasad, 2015). Дистанционните измервания на основни атмосферни физически параметри в ниските слоеве на тропосферата се използват успешно в различни оперативни приложения, включително метеорологични наблюдения и прогнозиране на времето и климата, прогнози свързани със замърсяването на въздуха и редица други. Тяхната способност да сканират в непрекъснат режим, осигурявайки данни с висока резолюция в пространството и времето, допринася за един по-детайлен обзор при изучаване на процеси

протичащи в атмосферата. Значителното технологично развитие, на наземно базираните уреди за дистанционни измервания на атмосферните характеристики през последните 5-6 години, ги поставя сред надеждните и незаменими прибори при редица иновативни научни методи за изследване на основните метеорологични параметри и на турбулентността в атмосферният граничен слой (АГС) (Coulter and Kallistratova, 2004; Engelbart et al., 2009; Emeis, 2010; Cimini et al., 2011; Illingworth et al., 2013; Peña et al., 2016).

Инструментите за дистанционни измервания се делят на два основни типа определени от вида на използваните от тях сензори: активни и пасивни (Emeis, 2010). На *Фигура 2.1.1.* е представено схематично разпределение, според вида на сензора, на някои от често използваните дистанционни уреди при метеорологичните наблюдения.

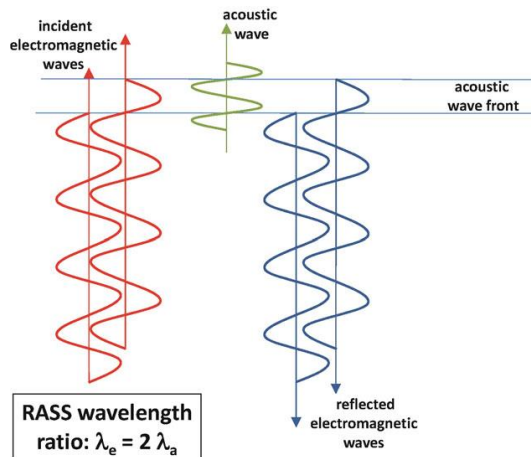


Фиг.2.1.1. Разделение при дистанционните измервания според типа на използвания сензор

В тази част от дисертацията се въвеждат принципите на приборите (радарите, лидарите, содарите) според дължината на електромагнитните или акустични вълни, които използват. Посочват се характеристиките, възможностите, резолюцията, вида на получените данни. Открити са особеностите на содарите, в сравнение с лидарите и по-конкретно факта, че те дават директно информация за турбулентността в атмосферата.

Содарните системи (SODAR - SONic Detection And Ranging) за наблюдение се използват в метеорологията за измерване на профили на вятъра и турбулентни характеристики, измервайки разсейване на звуковите вълни от налични температурни нееднородности породени от атмосферната турбулентност (турбулентни нееднородности). Вертикалният обхват на содара в повечето случаи е ограничен до 1000 m. Пространствено-времевата разделителна способност на содарите зависи от максималния вертикален обхват и периода на извеждане на данни (пример: изходящи данни на 10 минути, вертикална пространствена разделителна способност 10 m и обхват 700 m). Освен чрез наблюдение на интензитета на разсения сигнал содарите могат да използват и Доплеровия способ за наблюдение, поради наличие на транспортиране на вихри от вятъра в атмосферата. Освен скоростта и посоката на вятъра, като функция на височината, содарните системи имат възможността да измерват директно и редица турбулентни характеристики (sigW, TKE и други), (Emeis, 2010).

Радио-акустични сондиращи системи (RASS - Radio Acoustic Sounding System) - содарните системи отчитащи Доплеровото изместване в чистотата на обратно върналите се разсеяни звукови сигнали от турбулентни нееднородности в атмосферата могат да бъдат комбинирани успешно с допълнителни радио антени, излъчващи електромагнитни вълни. За да се осъществи успешно съвместното използване на звукови и електромагнитни вълни трябва да е изпълнено условието на Bragg за тях - дължината на електромагнитната вълна да е равна на два пъти дължината на звуковата вълна (схематично представяне на *Фиг. 2.1.4.*). Ако това условие бъде изпълнено се получават профили на виртуалната температура над содара. Такива приставки се използват и при радарите за измерване на профили на вятъра (VHF) на по-големи височини.

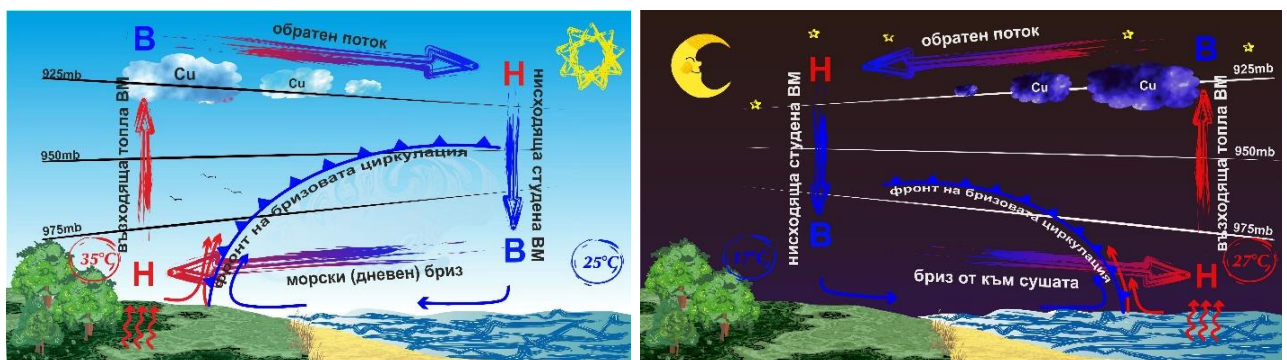


Фиг.2.1.4. Схематично представяне на условието на Bragg при RASS презентации (Emeis, 2010)

2.2. Морска крайбрежна циркуляция

През топлото полугодие с увеличаването на температурния контраст между суша и вода, по Българското Черноморие се засилва и влиянието на морското крайбрежие върху вятъра. Различният температурен режим на двете подложни повърхности, породен от разликата в топлофизичните им свойства, води до появата на *бризова циркуляция*, изразяваща се в характерно обръщане на посоката на вятъра с денонощна периодичност. Такава периодична циркуляция на посоката на вятъра в крайбрежните райони е ясно изразена при слънчево време и слаба динамика на атмосферните процеси, каквито се наблюдават в условията високи или размити барични полета (Сиракова, 2000). При по-интензивна динамика на мезомасщабните процеси в атмосферата, в области на ниско налягане и изразени барични градиенти, бризът бива потискан, като локално явление, и често бива маскиран или заличен от фона на общия пренос на въздушни маси (ВМ) в атмосферата.

Скоростта на бриза и големината на бризовата клетка нарастват с повишаване на температурата на атмосферния въздух и на температурния контраст суша-море. Характерната скорост на вятъра при морския бриз достига стойности близки до 5 ms^{-1} . Посоката на бриза е перпендикулярна на бреговата ивица но с увеличаване на хоризонталните размери на бризовата клетка, тя може да се измести поради отклоняващото действие на силите на триене и на Кориолис (Андреев, 1999).



а) морски (дневен) бриз;

б) брегови (нощен) бриз;

Фиг. 2.2.1. Схема на бризова циркуляция

Аналогично, през нощта поради по-бързо изстиване на сушата, нейната температура е по-ниска от тази на водата. Посоката на баричния градиент се сменя, поради което се променя и посоката на локалната крайбрежна циркуляция. Породените компенсационни движения от разликата в наляганята близко до ЗП, насочени от сушата към морето, определят наличието

на брегови (нощен) бриз (Фиг.2.2.1. – б)). Циркулацията на ВМ в затворената клетка на нощния бриз е в обратна посока от тази на дневния и компенсационното движение (обратния поток) във височина е насочен от морето към сушата.

Мащабите на бризовата клетка варират според различни фактори но най-съществено значение оказва факторът на температурния контраст - колкото по-голям е той, толкова по-изразен е бризът. Поради тази причина нощният бриз има сравнително по-малки мащаби от дневния. Във вертикална посока морският бриз може да обхване слой от няколко стотин метра или пък да надвиши височини от 1000m. Според хоризонталните си мащаби, клетката на дневният бриз, може да обхване десетки километри от вътрешността на сушата (20-40 km) в зависимост от нейната орография. Това нахлуване на по-хладни и влажни морски ВМ е причина да липсва ясно изразен дневен максимум на температурата, и от своя страна оказва влияние върху климата на крайбрежните зони, понижавайки температурата с 2 - 3 °С, и повишавайки относителната влажност на атмосферния въздух с 5 – 15 % (Сиракова, 2000).

2.3. Изследвания на крайбрежен граничен слой в различни райони по света

В тази част от дисертацията са обсъдени резултатите от 12 експериментални изследвания с използване на дистанционни методи за сондиране в крайбрежни райони в различни краища на света.

В заключение може да се отбележи, че в литературата има изследвания посветени на крайбрежния граничен слой с помощта на содари на много места по света, но главно за кратки периоди или отделни дни. Тези изследвания доказват големите възможности на тази апаратура за изследване на турбулентността и скоростта на вятъра в АГС, в частност в крайбрежни райони. Анализът на дългогодишни данни, предложен в тази дисертация, носи нова информация със значение не само за България. Освен за теоретични изследвания, създадената база от данни може да бъде използвана за режимни изследвания, като оценка на потенциала за добив на ветрова енергия на различни височини над земната повърхност или замърсяването на атмосферата в условията на ТВГС. Моделирането на няколко затворени клетки на бризова циркулация с помощта на мезометеорологичен модел, показва сходни с намерените в литературата резултати – мезометеорологичните модели могат качествено да симулират процесите на затворена бризова клетка, но с отмествания във времето, пространството и стойностите на параметрите.

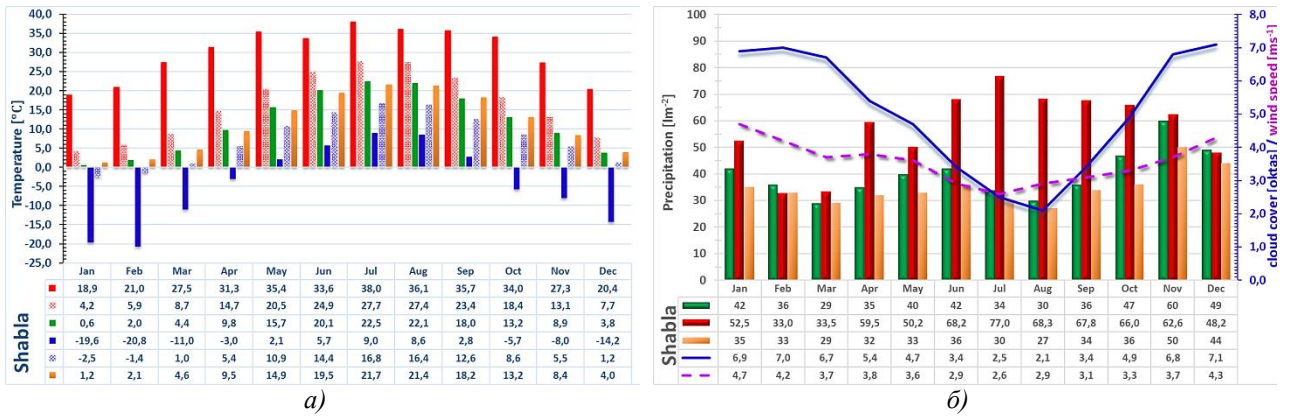
3. Метеорологична обсерватория гр Ахтопол в климатичната система на България

3.1. Обща климатична характеристика на Българското черноморско крайбрежие

В тази част от дисертацията се представя местоположението на гр. Ахтопол в съответствие с утвърдилото се климатично райониране на България от Събев и Станев, 1959.

Климатът на Българското Черноморие попада в континентално-средиземноморската климатична област, като за него е отделена Черноморска климатична подобласт с три обособени климатични районна – климатичен район на Северното Черноморие, климатичен район на Бургаската низина и климатичен район на Странджанското Черноморие.

За илюстрация са приведени климатични данни от станции Шабла, Бургас, Царево, Резово и Ахтопол, които показват изразени по-мека (но по-ветровита) зима и по-хладна пролет, летен сезон с изразена бризова циркулация,



Фиг. 3.1.1. Климатични характеристики на северното Черноморие (метеорологична станция Шабла) – а) средно месечни стойности на температурата на атмосферния въздух (зелени колони), средна месечна максимална температура (колони в червен цвирх), средна месечна минимална температура (колони в син цвирх), както и месечни стойности на абсолютно минималната и абсолютно максималната температура (съответно син и червен цвят) за периода от 1931 г. до 1970 г. (Кючукова, 1983), и средно месечни стойности на температурата на атмосферния въздух (оранжеви колони) за периода от 1961 г. до 1990 г. (НИМХ-БАН – климатични норми); б) средни месечни стойности на скоростта на вятъра - лилава пунктирана линия: период 1931-1970 г. (Кючукова, 1982), на общата облачността в балове - синя линия: период 1941-1970 г. (Кючукова, 1979), на количества измерени валежи - зелени колони: период 1931-1985 г., както и максимални количества на измерените валежи за едно денонощие (24 h) по месеци - червени колони период 1931-1984 г. (Колева and Пенева, 1990), и средни месечни стойности на количества измерени валежи (оранжеви колони) за периода от 1961 г. до 1990 г. (НИМХ-БАН – климатични норми)

Локалната крайбрежна циркулация влияе едновременно на ветровия режим, температурния режим, влажността на въздуха и режима на валежите, спомагайки за налична лятна засушливост, която заедно със относително по-големите есенно - зимни валежи, характеризират средиземноморския характер на тази подобласт. Без коментар в това резюме са представени само комплексните графики показващи приликите и различията между трите подрайона.



Фиг. 3.1.2. Климатични характеристики на Бургаската низина (метеорологична станция Бургас) – а) средно месечни стойности на температурата на атмосферния въздух (зелени колони), средна месечна максимална температура (колони в червен цвирх), средна месечна минимална температура (колони в син цвирх), както и месечни стойности на абсолютно минималната и абсолютно максималната температура (съответно син и червен цвят) за периода от 1931 г. до 1970 г. (Кючукова, 1983), и средно месечни стойности на температурата на атмосферния въздух (оранжеви колони) за периода от 1961 г. до 1990 г. (НИМХ-БАН – климатични норми); б) средни месечни стойности на скоростта на вятъра - лилава пунктирана линия: период 1931-1970 г. (Кючукова, 1982), на общата облачността в балове - синя линия: период 1941-1970 г. (Кючукова, 1979), на количества измерени валежи - зелени колони: период 1931-1985 г., както и максимални количества на измерените валежи за едно денонощие (24 h) по месеци - червени колони период 1931-1984 г. (Колева and Пенева, 1990), и средни месечни стойности на количества измерени валежи (оранжеви колони) за периода от 1964 г. до 1990 г. (НИМХ-БАН – климатични норми)



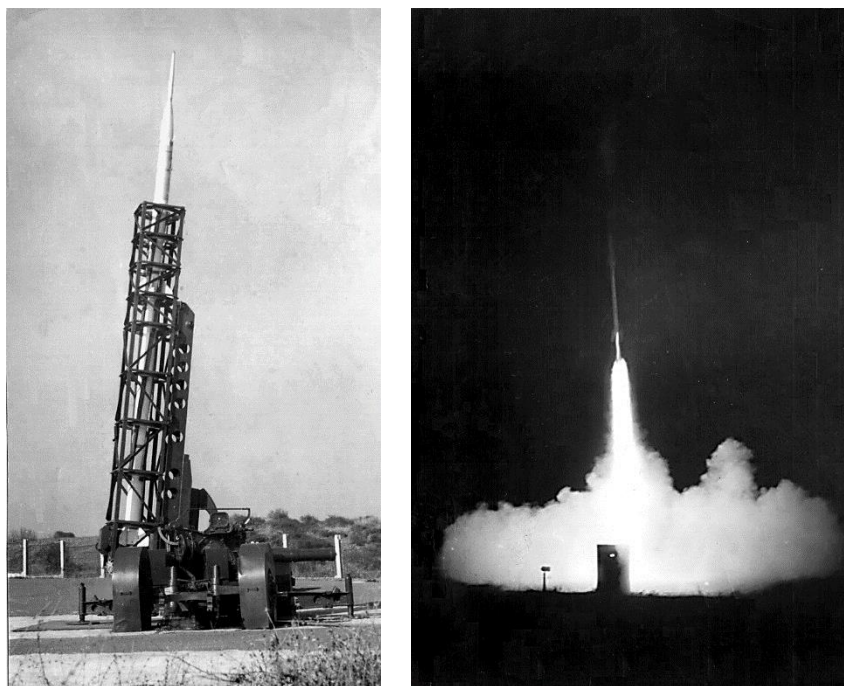
Фиг. 3.1.3. Климатични характеристики на Странджанското Черноморие (метеорологична станция Царево) – а) средно месечни стойности на температурата на атмосферния въздух (зелени колони), средна месечна максимална температура (колони в червен цвят), средна месечна минимална температура (колони в син цвят), както и месечни стойности на абсолютно минималната и абсолютно максималната температура (съответно син и червен цвят) за периода от 1931 г. до 1970 г. (Кючукова, 1983); б) средни месечни стойности на скоростта на вятъра - лилава пунктирна линия: период 1931-1970 г. (Кючукова, 1982), на общата облачност в балове - синя линия: период 1941-1970 г. (Кючукова, 1979), на количества измерени валежи - зелени колони: период 1931-1985 г., както и максимални количества на измерените валежи за едно денонощие (24 h) по месеци - червени колони период 1931-1984 г. (Колева and Пенева, 1990)

3.2. Метеорологична обсерватория гр. Ахтопол – локация и топография

Метеорологична Обсерватория (МО) Ахтопол е най-южната крайбрежна синоптична станция от системата на НИМХ-БАН и е разположена в югоизточна България на около 2 km в югоизточна посока от гр. Ахтопол. Обсерваторията попада в континентално-средиземноморската климатична област, Черноморска климатична подобласт, климатичен район на Странджанското Черноморие (Събев and Станев, 1959). Разположена е върху равнинен тревист терен на около 400 m навътре в сушата и е на 30 m над морското равнище. Брегът в близост до обсерваторията е стръмен с височина от около 10 метра, а разположението на бреговата ивица е с приблизителна посока от северозапад към югоизток (Фиг. 3.2.1.).



Фиг. 3.2.1. Местоположение на МО Ахтопол в югоизточна България (на около 60 км. югоизточно от гр.Бургас, географски координати - 27° 57'г.д.; 42° 05' г.ш.) и сателитна снимка на района (google map)



Фиг. 3.2.2. Полигон за изстрелване на ракети с приготвена ракетна обстановка (ляво) и първото изстрелване на ракета (дясно) за изследване на движенията във високите части на атмосферата в СРСА.
Архив на ХМО-Бургас

През 80-те години на миналия век, територията на която е разположена в момента МО Ахтопол е била експериментален полигон за наблюдение и изучаване на движенията във високите слоеве на атмосферата (след мезопаузата) на височини достигащи 100 km. Научното изследване се е осъществявало чрез съвместно участие на български и руски учени, експерти в областта на изследване, като програмата е била секретна. По това време наименованието на станцията е било Синоптична Ракетна Станция Ахтопол (СРСА). На [Фигура 3.2.2.](#) са показани снимки от архива на ХМО-Бургас.

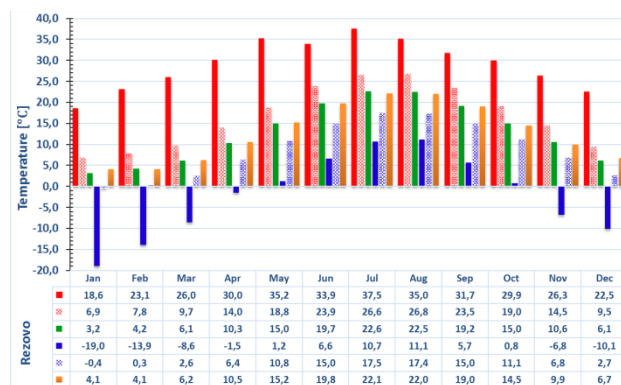
Климатичните и синоптични измервания започват да се извършват на една и съща метеорологична площадка (тази на СРСА) едва през 1994 г.

3.3. *Топлинни условия, облачност, валежи, вятър*

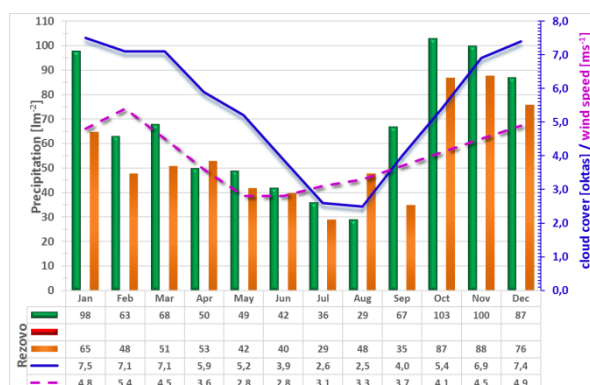
Стандартните климатични наблюдения провеждани през годините в МО Ахтопол не са публикувани в използваните за другите области справочници (започва да работи като такава от 1981 г), имало е и преместване на климатичната станция от града в СРСА през 1994 г. В Странджанската климатична подобласт в различни периоди са работили както станция Ахтопол, така и Царево и Резово. Комбинирайки информацията от тях може да се придобие представа за различни климатични норми, характерни и екстремни стойности на основни метеорологични параметри.

На [Фигура 3.3.1.](#) са изведени различни средни месечни стойности на температурата на атмосферния въздух, абсолютно минимални и максимални стойности през различните месеци измерени на територията на Резово през периода от 1931 г. до 1970 г. и климатични норми за станция Ахтопол от 1971 до 1990 г., определящи топлините условия на климата в района. Графиката показва, че най-топли в Резово и Ахтопол са месеците юли и август.

На [Фигура 3.3.2.](#) са изведени осреднени месечни стойности на скорост на вятъра, общата облачност, количеството на измерените валежи, както и максималните измерени количества валежи за 24 часа на територията на МО Ахтопол и станция Резово за описаните по-горе периоди.



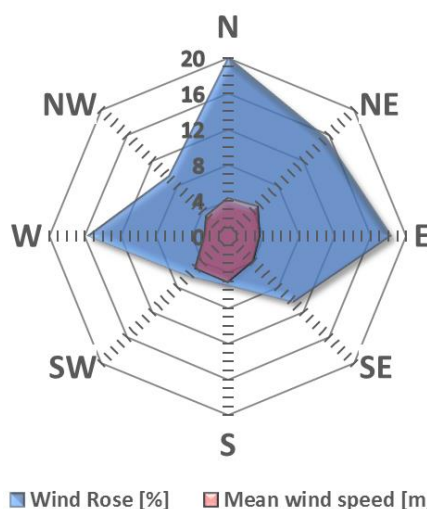
Фиг. 3.3.1. Климатични характеристики за станция Резово – средно месечни стойности на температурата на атмосферния въздух (зелени колони), средна месечна максимална температура (колони в червен цвят), средна месечна минимална температура (колони в син цвят), както и месечни стойности на абсолютно минималната и абсолютно максималната температура (съответно син и червен цвят) за периода от 1931 г. до 1970 г. (Кючукова, 1983), и средно месечни стойности на температурата на атмосферния въздух (оранжеви колони) за гр. Ахтопол за периода от 1971 г. до 1990 г. (НИМХ-БАН – климатични норми);



Фиг. 3.3.2. Климатични характеристики за станция Резово - средни месечни стойности на скоростта на вятъра - лилава пунктирна линия: период 1931-1970 г. (Кючукова, 1982), на общата облачността в балове - синя линия: период 1941-1970 г. (Кючукова, 1979), на количества измерени валежи - зелени колони: период 1931-1985 г. (Колева and Пенева, 1990), както и средни месечни стойности на количества измерени валежи (оранжеви колони) за гр. Ахтопол за периода от 1971 г. до 1990 г. (НИМХ-БАН – климатични норми);

На [Фигура 3.3.3.](#) е изведена роза на вятъра (син цвят – разпределение в %) с изменение на средните скорости на вятъра в зависимост от посоката му (червен цвят – скорост в ms^{-1}) за град Царево. Това е най-близката станция до гр. Ахтопол, от която може да се представи разпределение на вятъра по посоки от климатичните справочници. На фигурата се вижда, че ветрове с посока от N, NE и E имат значителна повтораемост, като тяхната средна скорост варира в интервала $3.5 - 4.7 \text{ ms}^{-1}$. Не е малка и повтораемостта и на ветровете със западна посока, но тяхната средна скорост е сравнително ниска – до 2.5 ms^{-1} . Най-редки са ветровете от S и SW, но техните средни скорости са най-високи – малко над 5 m/s^{-1} . Тихото време е 2%.

Carevo 1931-1971 (calm 2.0%)



Фиг. 3.3.3. Роза на вятъра (син цвят) и изменение на средните скорости на вятъра в зависимост от посоката му (червен цвят) за град Царево: период 1931-1970 г. (Ключукова, 1982)

3.4. Инсталирана научноизследователска апаратура за изучаване на крайбрежния АГС

Дистанционното звуково сондиране на атмосферата в България започна през юли 2008 г. в най-южната ни морска синоптична станция от системата на НИМХ - Метеорологична Обсерватория (МО) Ахтопол. Наред с акустичното сондиране на атмосферата се постави и начало на измервания с висока времева резолюция на стандартни метеорологични параметри, и турбулентни характеристики в крайбрежния приземен слой (ПС). Всичко това се постигна благодарение на споменатия вече съвместен научноизследователски проект между НИМХ - БАН и НПО "Тайфун" – Росгидромет (*глава 1.3.*), при който руската страна по проекта осигури необходимата апаратура.

За изучаване на профилите на вятъра и турбулентността в крайбрежен АГС се използва акустична моно статична Доплерова система за сондиране на атмосферата – Scintec Flat Array Sodar MFAS с честотен обхват 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 до 1000 m и вертикална резолюция от 10 m. Точността при измерване на скоростта на вятъра е $0.1 - 0.3 \text{ ms}^{-1}$, за посоката на вятъра е 2 - 3 Deg. Пълните техническите характеристики на Scintec Flat Array Sodar MFAS са предоставени в [ПРИЛОЖЕНИЕ Г](#).

Содарната система е монтирана на покрива на административната сграда на МО Ахтопол (*Фигура 3.4.1.* - *дясно*) на приблизителна височина 4.5 m и осъществява запис на всеки 10 минути, а периодът на осреднение е 20 минути. Максималния вертикален обхват при тези първоначални настройки е 520 m.



Фиг. 3.4.1. Тримерен акустичен анемометър със сензор за слънчева радиация монтирани на метеорологична мачта на височина 4.5 m, сензор за температура на атмосферния въздух в стандартна метеорологична клетка (дясна снимка: част от оборудването на АМС МК-15) и содар (лява снимка: Scintec Flat Array Sodar MFAS) находящ се на покрива на административната сграда на МО Ахтопол. Тестови измервания на инсталираната апаратура от 18 до 20 юли 2008 г.

Едновременно с измерванията на содара започва и изследването на турбулентните характеристики при земята чрез измервания от автоматична метеорологична станция (АМС) МК-15 (производство - НПО "Тайфун") с тримерен акустичен анемометър монтиран на височина 4.5 m (Фигура 3.4.1. - ляво). Честотата на измерванията на МК-15 е 0.5 Hz, и при тестовите изпитания записите се правят на всеки 10 секунди. Останалите елементи АМС МК-15 са: сензор температура и влажност на атмосферния въздух (Фигура 3.4.1. - дясно), сензор за валеж (количество и интензитет на валежа), сензор за атмосферно налягане, сензор за слънчева радиация, централно устройство (вътре е монтиран датчика за атмосферно налягане), захранване. Пълните техническите характеристики на АМС МК-15 са предоставени в ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

Компютърните системи управляващи инсталираната апаратура в МО Ахтопол със специализиран софтуер са установени в основната административна сграда на синоптичната станция заедно с централно устройство на АМС МК-15.

4. Измервания и анализи

Подбраният основен период за анализи в тази дисертация, обхваща времето от 20 юни 2008 г. до 10 октомври 2012 г. Изключение от този подбран времеви интервал има в представения статистически анализ на скоростта на вятъра в глава 4.7., при който са използвани единствено данни от акустичното сондиране на атмосферата (АССА) и изследваният период е удължен (20 юли 2008 г. до 31 януари 2016 г.). Измерванията на характеристиките на крайбрежен граничен слой в МО Ахтопол през годините бяха повлияни от няколко факта, отразяващи се върху непрекъснатостта на оперативния режим и качеството на данните:

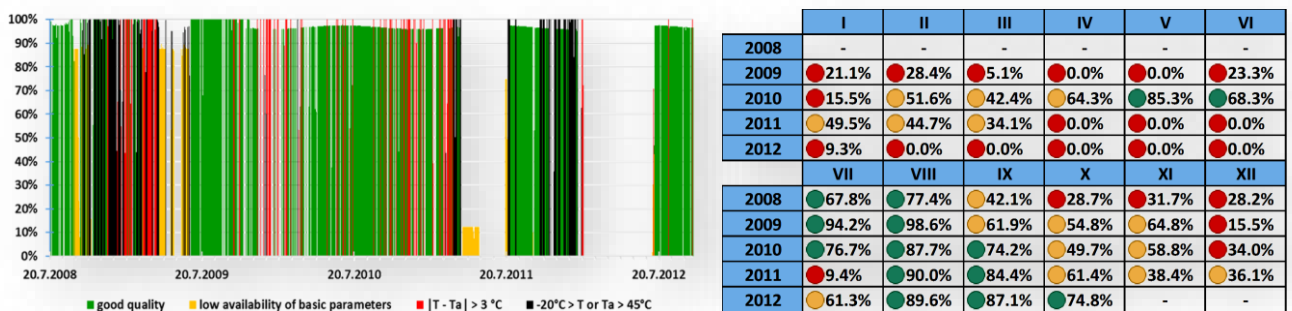
- чести прекъсвания на електричеството в МО Ахтопол до 2012 г. поради сериозни технически проблеми свързани с претоварване на цялата електрическа инсталация на обсерваторията;
- работният режим на содара през периодите от юли до ноември на 2008 г., както и от юли до октомври на 2009 г. е от 07:30 до 21:40 часа, по заповед на директора на НИМХ;

- практически затруднения при техническата поддръжка на АМС МК-15, поради невъзможността на представителите от НПО "Тайфун" – Росгидромет да осъществяват гостувания при наличие на такива;
 - практическа невъзможност до 2011 г. за дистанционен контрол и поддръжка на оперативния режим на инсталираната апаратура – до тази година синоптична станция Ахтопол бе единствената от мрежата на НИМХ-БАН, на която не бе осигурен достъп до интернет;
 - денонощията през които е имало валежи, шумът от които не е позволявал акустични измервания.
 - турбулентните нееднородности в атмосферата не са с постоянен характер по времето и пространството, поради което се наблюдават прекъсвания в целостта на измерените профили на вятъра и различен обхват на содара.
- Наличието на непрекъснати редици от данни с високо качество е важна предпоставка при провеждането на научни изследвания, поради което изложените по-горе факти са оставили своя отпечатък в този научен труд.

4.1. Приземни измервания и турбулентни характеристики

Изходящите основни и турбулентни параметри от оперативния режим на АМС МК-15, както и използвани изчисления за тяхното извеждане, са представени в ПРИЛОЖЕНИЕ В от дисертацията и подробно в началото на тази част от работата.

На *Фигура 4.1.1.* (дясно) са представени месечните наличности на данни през основния анализиран период, само на резултатните данни с добро качество, преминали през контрола на трите критерия.

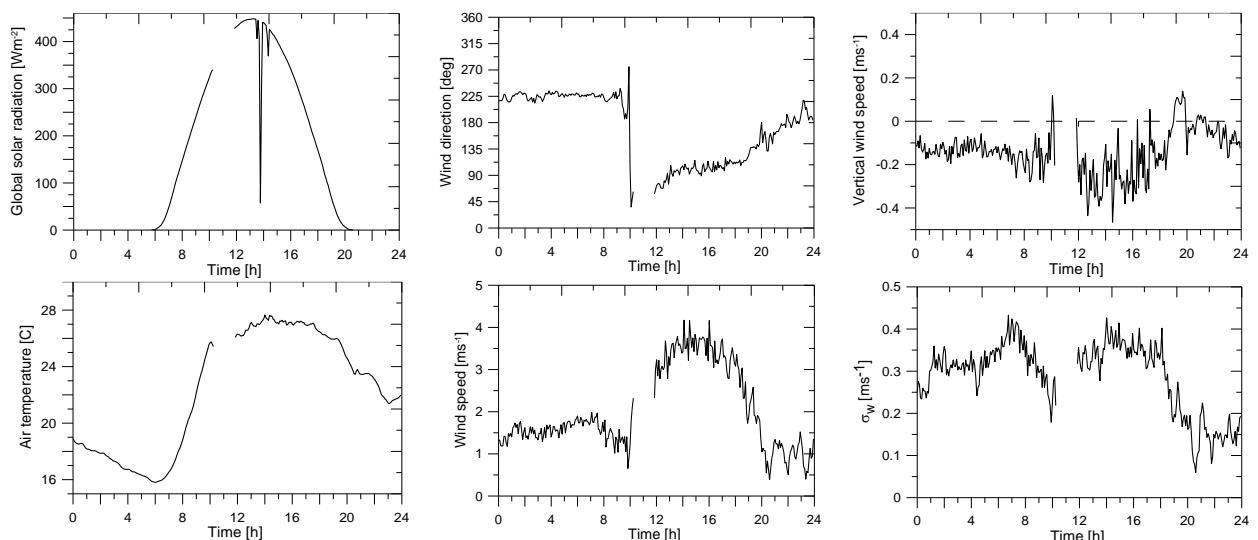


Фиг. 4.1.1. Денонощна наличност на данни с приложен критерии за качество на данните (ляво) и резултатна месечна наличност на данни с добро качество от оперативния режим на АМС МК-15 в МО Ахтопол през периода 20.07.2008 г. – 10.10.2012 г.

Посочените наличности през първия и последен месец на целия период, са представени, като наличие на данни в индивидуални периоди с големина определена от броя на съответните им дни попадащи в разглеждания цялостен период (12 дневен период за юли и 10 дневен за октомври). Месеците, през които се наблюдава рязко повишаване на наличността на данни с добро качество, могат да се отъждествят с провежданите тогава периодичните ежегодни гостувания на представителите от НПО "Тайфун", при които се налагаше да се осъществява поддръжка на АМС МК-15 и въвеждането им в изправност.

За да се представят измененията при някои основни параметри регистрирани от АМС МК – 15, характеризиращи ПС на АГС в изследваната крайбрежна зона, са подбрани три денонощия от началото на месец август 2008 г. Две от тях са определени от наличие на дневна бризова циркулация (5 и 6 август), а при третото денонощие (2 август) се наблюдава доминиращото влияние на мезомащабните процеси в изследвания район. Най-представителна дата от гледна точка на локалната крайбрежна циркулация е 5 август, за която дата са изведени графики на *Фигура 4.1.2.* с денонощен ход от пет минутни осреднени стойности на шест параметъра. Графиката на глобалната слънчева радиация (*горе ляво*) показва ясно време (безоблачно)

сутрин и наличие на облачност в следобедните часове. Минималната отчетена стойност на температурата на атмосферния въздух е $15.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ през нощта, а максималната такава през деня е достигнала $27.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Фиг. 4.1.2. - долу ляво). Като резултат от тези две стойности се получава денонощна температурна амплитуда от $12.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Внимание трябва да се обърне на липсата на ясно изразен максимум на графиката на температурата на атмосферния въздух в следобедните часове. Това е характерна черта на дневната бризова циркулация (глава 4.3. – характерни черти на температурната график при дневен бриз). Началният момент на бриза е ясно изразен на графиката оказваща изменението на посоката на вятъра в ПС (Фиг. 4.1.2. - средата горе), чрез наблюдаваното рязко изменение с близо 180 Deg в 10 часа сутринта. Краят на дневния бриз е определен от плавно изменение на посоката на вятъра от към сушата. Според данните на АМС МК-15, средната скорост на вятъра преди 10 часа сутринта е 1.5 ms^{-1} . Малко преди промяната на посоката на вятъра от към морето се наблюдава значителен спад в нейните стойности (Фиг. 4.1.2. - средата долу), последван от рязко повишаване след промяната на посоката на вятъра. В момента на оптимално развитие на бризовата циркулация се наблюдават стойности на скоростта достигащи 4 ms^{-1} , а нейният край може да се отбележи с поредния рязък спад в стойностите на скоростта на вятъра, наблюдаван около 20 часа. На графиката на вертикалната скорост (Фиг. 4.1.2. – дясно горе) се наблюдават изразени пикове с положителни стойности преди началото и края на бризовата циркулация, докато при нейната дисперсия (Фиг. 4.1.2. – дясно долу) се наблюдават спадове в стойностите, в началото и края, аналогични като при хоризонталната скорост.

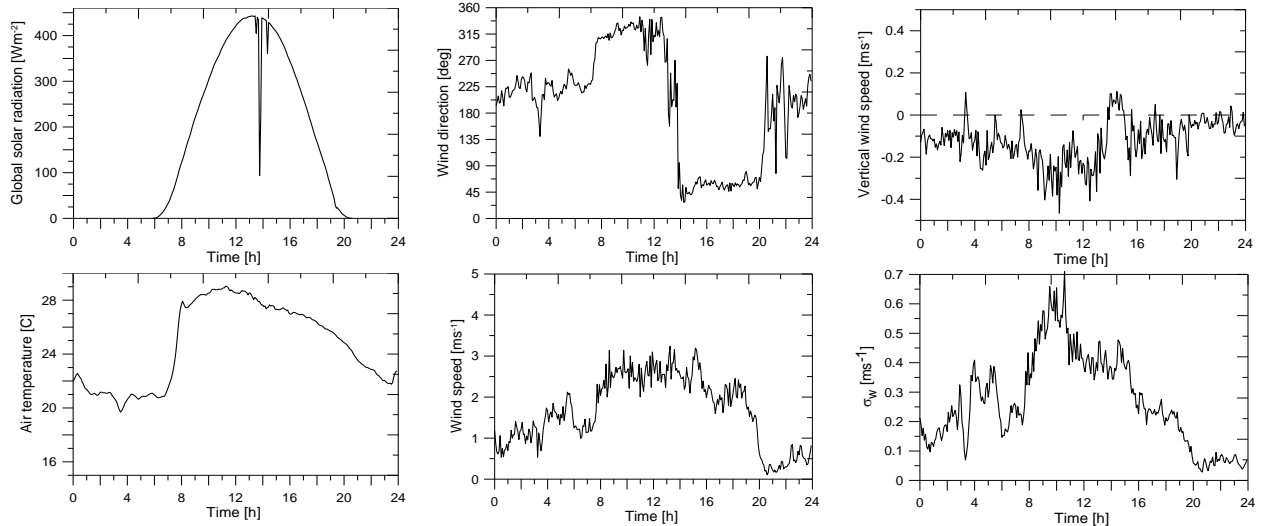


Фиг. 4.1.2. Денонощен ход от пет минутни осреднени стойности на приземни данни регистрирани на 5 август 2008 г. от АМС МК-15 в МО Ахтопол (от ляво на дясно и от горе на долу): глобална слънчева радиация, посока на вятъра, вертикална скорост, температура на атмосферния въздух, скорост на вятъра и дисперсия на вертикалната скорост. (UTC+3)

Графиките на Фигура 4.1.3., оказващи измененията на същите параметри в ПС на дата 6 август, отново разкриват наличие на локална крайбрежна циркулация, но посочените по-горе признаци имат различни характеристики. Развитие на облачността през деня е аналогично, като при предходния ден, но съществено различие се наблюдава при денонощната температурна амплитуда. Температурната графика на 6 август (Фиг. 4.1.3. – долу ляво) оказва минимална стойност от $19.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимално отчетената е $29.1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Като резултат денонощна амплитуда е $9.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, което е с $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ по-ниска стойност от тази на предходния ден.

На 5 август в сутрешните часове, вятърът променя посоката си близо със 180 Deg за няколко минути, докато на 6 август това се случва в продължение на повече от 5 часа за да се стигне до бризова циркулация едва в 14 часа. (сравни Фиг. 4.1.3. – среда горе и Фиг. 4.1.2. - среда

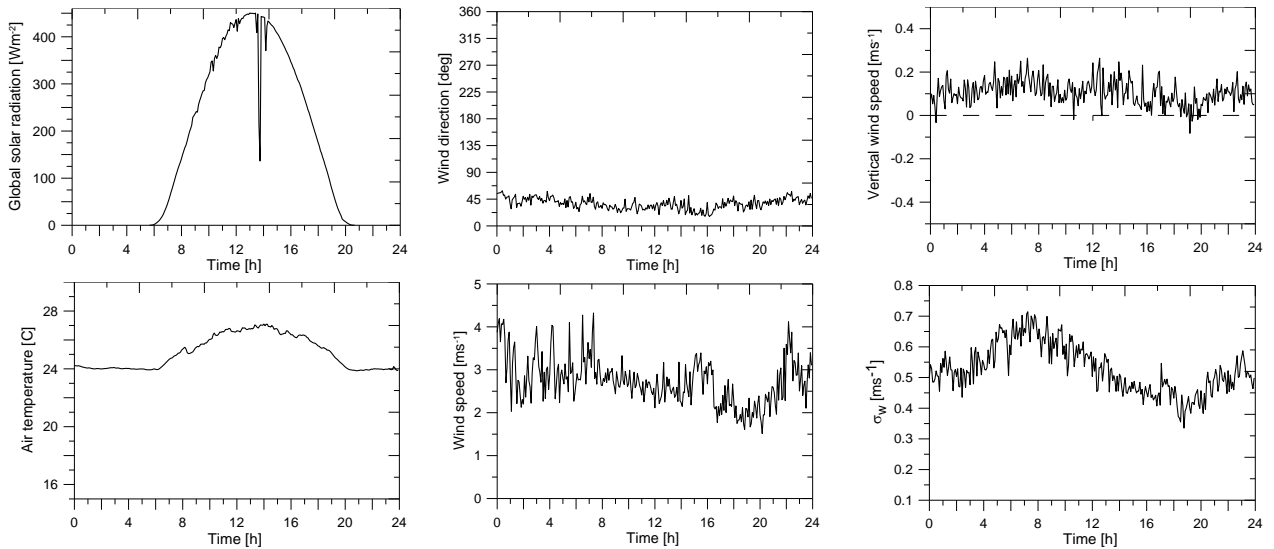
горе). Графиката на скоростта на 6 август (Фиг. 4.1.3. – долу) показва по-ниски стойности по време на бризовата циркулация (около 3 ms^{-1}) от регистрираните на 5 август. Причина за наблюдаваните различия в характеристиките на бризовата циркулация на 5 и 6 август е различния баланс между локалните и синоптичните условия. На 6 август морският бриз преодолява север-северозападен поток.



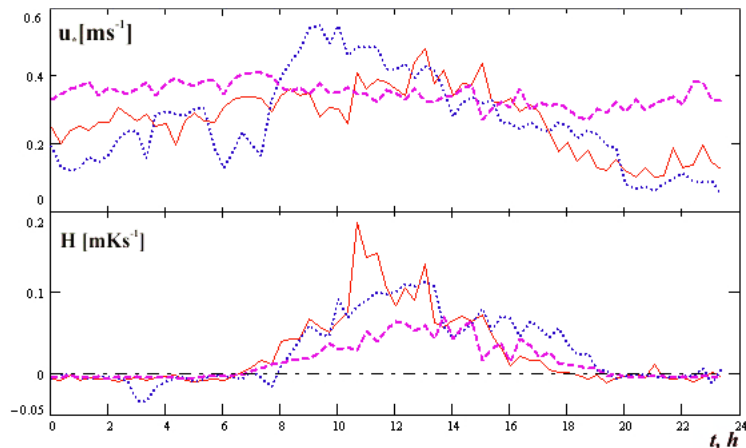
Фиг. 4.1.3. Денонощен ход от пет минутни осреднени стойности на приземни данни регистрирани на 6 август 2008 г. от АМС МК-15 в МО Ахтопол (от ляво на дясно и от горе на долу): глобална слънчева радиация, посока на вятъра, вертикална скорост, температура на атмосферния въздух, скорост на вятъра и дисперсия на вертикалната скорост. (UTC+3)

Графиките на Фигура 4.1.4. категорично показват липсата на бризова циркулация в изследвания район на дата 2 август. През цялото денонощие на тази дата, вятърът е имал постоянна скорост от приблизително 3 ms^{-1} (средата долу) и посока 35-40 Deg (средата горе), а вертикалната му компонента се характеризирала със стойности вариращи около 0.1 ms^{-1} (горе ляво). Наблюдаваната температурна амплитуда през денонощието е незначителна за сезона и е близо $3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Денонощният ход на скоростта на триене и явния турбулентен поток топлина, за разглежданите по-горе три дати, са изведени с двадесет минутни осреднени стойности на Фигура 4.1.5. Денонощният ход на скоростта на триене (Фиг. 4.1.5. - горе) на 2 август (розов пунктир) има стационарен характер с незначителни флуктуации през денонощието вариращи в интервала от 0.26 до 0.41 ms^{-1} . В условие на бризова циркулация (на 5 август – оранжева линия) стойността на скоростта на триене в началото е 0.2 ms^{-1} , след което нараства бавно достигайки 0.48 ms^{-1} в 13:20 часа. След този час стойността намалява до 0.12 ms^{-1} в 20 часа.. Наблюдава се слабо понижаване на стойностите по време на преминаване на фронта (9:40 - 10:40 часа) на тази дата. Подобен пик се наблюдава също на 6 август (сини точки) във времеви интервал между 6:20 и 7:40 часа и отново при преминаването на фронталната зона в 14 часа. След достигане на максимална стойност от 0.55 ms^{-1} скоростта на триене на 6 август започва плавно да намалява. При денонощния ход на явния турбулентен поток топлина (Фиг. 4.1.5. - долу) се наблюдава ясно изразен максимум след преминаване на фронта на бризовата циркулация на дата 5 август, като в 10:20 часа $H=0.076 \text{ mKs}^{-1}$, а в 11:00 часа $H=0.168 \text{ mKs}^{-1}$. Анализът данните от тези 3 денонощия е публикуван в Barantiev et al, 2011.



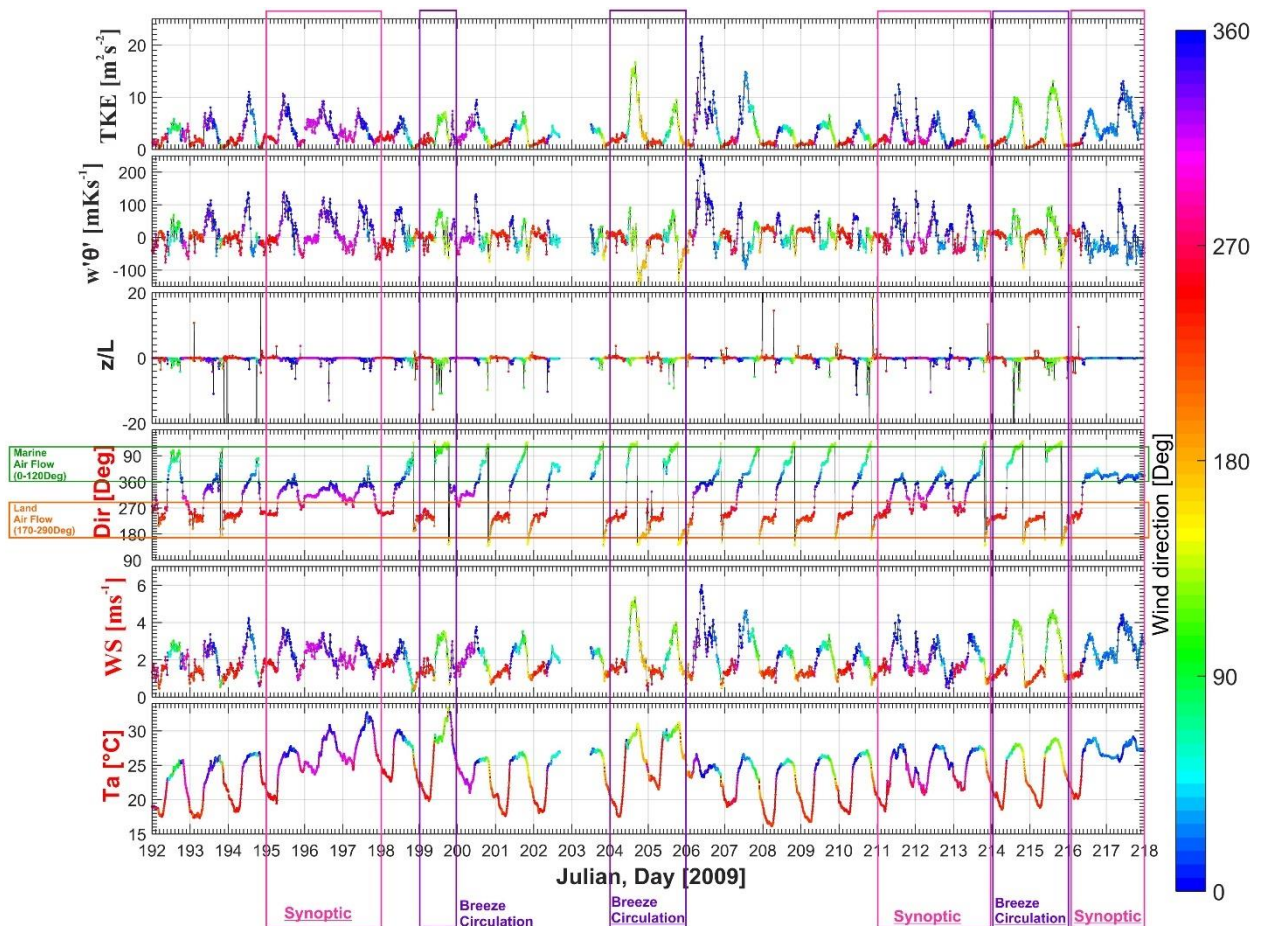
Фиг. 4.1.4. Денонощен ход от пет минутни осреднени стойности на приземни данни регистрирани на 2 август 2008 г. от АМС МК-15 в МО Ахтопол (от ляво на дясно и от горе на долу): глобална слънчева радиация, посока на вятъра, вертикална скорост, температура на атмосферния въздух, скорост на вятъра и дисперсия на вертикалната скорост. (UTC+3)



Фиг. 4.1.5. Денонощен ход от двадесет минутни осреднени стойности на скоростта на триене u_* (горе) и явен турбулентен поток топлина H (долу) регистрирани в приземния слой на ---2 август, — 5 август и6 август 2008 г. от АМС МК-15 в МО Ахтопол. (UTC+3)

За да се представи една по-обща картина на наблюдаваните изменения на характеристиките на ПС в крайбрежния район, са изведени денонощни изменения на десет минутни осреднени стойности, на измерени параметри от АМС МК-15 за периода от 1 юли до 6 август на 2009 г. на [Фигура 4.1.6.](#) Наред с някои от вече представените параметри на тази фигура са изведени данни за турбулентната кинетична енергия (*първа графика от горе на долу - TKE*) и безразмерен параметър на стратификация базиран на мащаба за дължина на Монин-Обухов (*трета графика от горе на долу - z/L*). Също така, вместо данните от стандартния сензор за температура на атмосферния въздух, са представени данни за акустичната температура (*графиката най-долу - T_a*). Цветният бар от страни на графиките оказва посоката на вятъра и дава представа за типа на въздушните маси при всеки един параметър. Зеленият цвят отличава морските ВМ, докато ВМ от към сушата са представени от червения цвят. На [Фигура 4.1.6.](#) се виждат открити периоди със доминиращо влияние на синоптичните процеси (*розови правоъгълници*), както и дни с ясно изразени бризови циркулации (*лилави правоъгълници*), отличаващи се с рязко изменение в посоката на вятъра в началото и в края на дневната локална крайбрежна циркулация. За да се улесни разграничаването на двата типа основни ВМ, морски

и такива от към сушата, на графиката оказваща изменението на посоката на вятъра (*четвърта от горе на долу*) са използвани съответно зелена и оранжева маркировка. Обособените от тях правоъгълници определят интервали за посоката на вятъра съобразена с разположението на бреговата ивица в изследвания район (*глава 4.6 - интервали от географски посоки определящи типа на ВМ*). Видно от графиката е доминиращото влияние на локалната циркулация над крупномащабните синоптични процеси по време на разглеждания период. Дори при северните потоци денем (дни 195-198 и 211-214) има обратен поток през нощта. Извън оградените периоди с ясно изразена бризова циркулация има много дни с плавно изменение на посоката на вятъра от към морето през деня.



Фиг. 4.1.6. Денонощни изменения на десет минутни осреднени стойности на приземни данни, регистрирани през периода от 12 юли до 6 август на 2009 г. от АМС МК-15 в МО Ахтопол (от горе на долу): турбулентна кинетична енергия, явен поток топлина, безразмерен мащаб за дължина, посока на вятъра, скорост на вятъра и акустична температура.

В тази част от дисертацията са представени оригинални данни за турбулентните характеристики на ПС в станция на българското Южно Черноморие. Акустичните анемометри дават данни с голяма резолюция във времето и за средните стойности на метеорологичните параметри.

4.2. Дистанционни акустични измервания – вертикална структура на полето на вятъра при бризовата циркулация

Акустичното сондиране на атмосферата в МО Ахтопол дава възможност да се получи информация за изменението на редица параметри в крайбрежния граничен слой, описващи неговата вертикална структура, до максимална височина 1000 m, зависеща от пространствените и времеви мащаби на изходящите му профили. Като оптимален вариант

между максимален вертикален обхват и период на извеждане на данни бе избран вариант, при който содарът регистрира профили с вертикална резолюция от 10 m, чиято оптимална височина в началото бе 520 m от ЗП, и извеждани записи от 20 минутни осреднени данни на всеки 10 минути (20 минутни „пълзящи“ осреднени данни на всеки 10 минути). През годините на оперативен режим, фирмата производител предоставяше периодични обновления в софтуера на содара, което доведе до постепенно увеличаване на оптималната височина на извежданите профили при запазване на избраната в началото пространствена и времева резолюция на данните. Определената максимална височина в настройките на АССА не гарантира нейното задължително достигане в процеса на измерване. Реално достигнатата височина (ефективната) на изходящите профили се определя от наличността на турбулентни температурни нееднородности в сондиращия атмосферен слой над содара, които могат да върнат обратно отразения от тях звуков импулс в приемника на содара. Освен полето на вятъра (скорост, посока и неговите векторни компоненти), содарът дава възможност да се наблюдават профили на редица турбулентни параметри, да определя градиент на вятъра (в скоростта и посоката), класа на устойчивост на атмосферата и др. Пълна информация относно наличните изходящи параметри от оперативния режим на Scintec Flat Array Sodar MFAS може да се види в ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Работният режим на содара, също е търпял редица смущения през годините, поради част от изложените факти в началото на глава 4, но за разлика от оперативния режим на АМС МК-15, след октомври месец на 2009 г., неговият непрекъснат режим на работа е определен основно от прекъсванията на електричество в МО Ахтопол. Ниската наличност на данни (жълти и червени обозначения в Таблица 4.2.1.) през втората половина на 2008 г., както и на 2009 г. се дължат основно на поставените ограничения в нощния режим на работа, докато през другите месеци, тя е вследствие на настъпили усложнения от прекъсване на електричеството в МО Ахтопол. Наред с месечната наличност в Таблица 4.2.1. е оказана и максималната ефективна височина, до която измерванията на содара са достигнали през съответните месеци на основния разглеждан период.

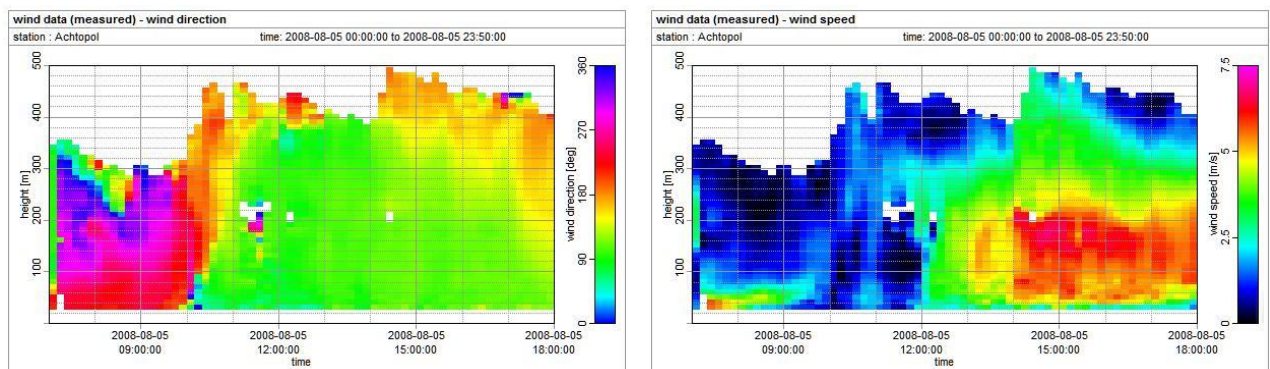
Таб. 4.2.1. Месечна наличност на данни и максимално достигната ефективна височина от оперативния режим на Scintec Flat Array Sodar MFAS в МО Ахтопол през периода 20.07.2008 г. – 10.10.2012 г.

	I	II	III	IV	V	VI
2008	-	-	-	-	-	-
max range [m]	-	-	-	-	-	-
2009	99.9%	99.6%	99.2%	96.7%	98.3%	99.3%
max range [m]	520	520	680	680	680	680
2010	97.5%	98.3%	89.0%	68.5%	96.8%	86.4%
max range [m]	680	680	680	680	680	680
2011	96.8%	94.8%	99.8%	96.7%	96.8%	96.2%
max range [m]	510	460	510	510	510	510
2012	75.3%	95.8%	99.7%	96.7%	99.3%	93.3%
max range [m]	620	620	620	620	620	620
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2008	34.7%	45.2%	40.3%	57.7%	59.5%	88.4%
max range [m]	500	520	520	520	520	520
2009	94.6%	57.5%	59.9%	58.4%	96.7%	96.0%
max range [m]	680	680	680	680	680	680
2010	99.9%	98.3%	99.9%	92.6%	99.6%	99.8%
max range [m]	560	510	510	510	510	510
2011	92.2%	99.9%	38.8%	78.8%	99.2%	81.3%
max range [m]	510	510	560	620	620	620
2012	99.1%	31.9%	96.6%	30.6%	-	-
max range [m]	700	620	720	600	-	-

От таблицата се вижда, че ефективния обхват на содара през месеците се е изменял различно в зависимост от височината на температурните нееднородности попаднали в обхвата му, но още през март 2009 г. настройките на системата за акустично сондиране са позволявали измерванията да достигнат до 680 m (поради подобрения на софтуера на содара). Максималната достигната ефективна височина на содара в тази таблица е 720 m, като тази

височина се явява и негов максимален вертикален обхват в настройките му при зададената първоначално пространствена и времева резолюция на данните (нива на измерване през 10 m и изход на всеки 10 минути от 20 минутни осреднени данни).

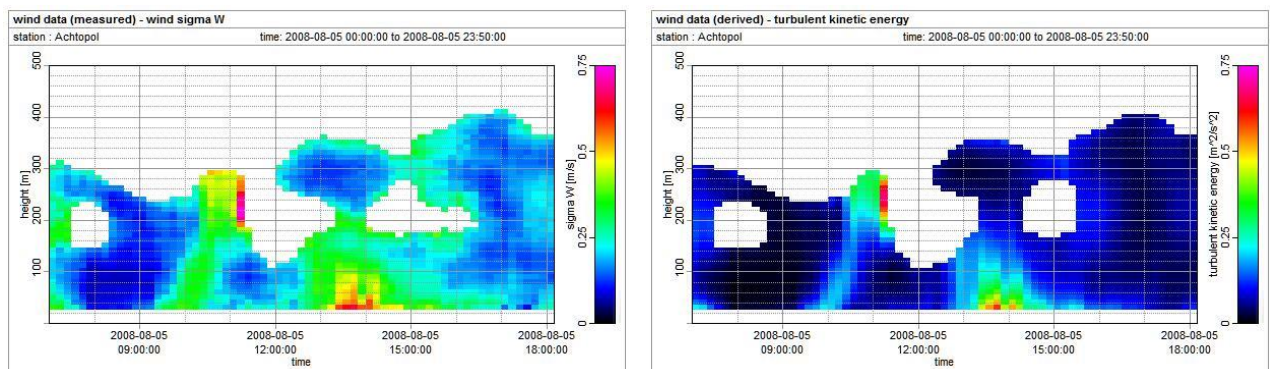
Излъчените звукови импулси от содара винаги достигат до зададения в настройките максимален вертикален обхват (определен от изходящата резолюция на данните), но регистрираният отразен сигнал преминава през редица автоматични процедури за качествен контрол на данните, което като резултат от наличната турбулентна нееднородност над содара се изразява в ефективна височина на измерване. Контролът за качество на данните при акустичното сондиране на атмосферата е стриктен и е заложен в софтуера на содара, като при определени параметри се позволява на потребителя да извършва ограничени изменения в процедурите за качествен контрол. За да представим вертикалната структура на полето на вятъра в условия на крайбрежна бризова циркулация в изследвания район, ще разгледаме някои от изходящите параметри на содара. Представените приземни данни за 5 август 2008 г. в [глава 4.1. \(Фиг. 4.1.2.\)](#) недвусмислено определят наличието на бриз през деня, който рязко изменя посоката на вятъра в 10 часа сутринта. На представеното пространствено-времево сечение на посоката на вятъра на [Фигура 4.2.1. \(ляво\)](#) се вижда рязко изменение в посоката на вятъра от SW към SE посока, започващо ниско долу при ЗП на височина 30 m в 9:50 часа местно време. Десет минути по-късно, изменението на посоката на вятъра е обхванало слоя между 30 и 50 m височина, продължавайки постепенно да нараства с течение на времето: в 10:30 часа – височината на слоя е 90 m, а в 10:40 часа е 160 m. Тази нарастваща височина, при която се наблюдава разграничение на двата основни типа ВМ (морски и такива от към сушата), чрез рязко изменение в посоката на вятъра, разкрива променящите се пространствени мащаби на дневния бриз при сутрешното му развитие, определени от регистрираната височина на локалния фронт на бризовата циркулация.



Фиг. 4.2.1. Пространствено-времеви сечения на посоката на вятъра (ляво) и скоростта на вятъра (дясно), регистрирани на 5 август 2008 г. от Scintec Sodar MFAS в МО Ахтопол. (UTC+3)

Зоната на морския бриз в бризовата клетка, определена от обратния поток във височина, е изцяло в обхвата на содара в 12:30 часа и се вижда, че нейните вертикални размери са достигнали до 390 m над ЗП. Максимални пространствени мащаби са достигнати след 13 часа, като обратният поток на бризовата клетка е регистриран отново едва в 14:20 на височина 430 m. След този момент, вертикалният мащаб на уловената бризова клетка започва да намалява постепенно. На графиката с пространствено-времево сечение на скоростта на вятъра ([Фигура 4.2.1. дясно](#)) се откроява обособена зона с ясно изразен максимум. Тази зона се явява, като ядро на бризовата клетка, в което максималните стойности на скоростта са издигнати на височина около 150-160 m от ЗП. Наблюдаваното ядро в полето на скоростта на вятъра е част от еволюцията на бризовата клетка и неговите характеристики изцяло зависят от нейните пространствени мащаби. Стойностите на скоростта на вятъра нарастват с постепенното развитие на бриза в сутрешните часове и след достигане максимални размери на бризовата

клетка се наблюдава изразеният максимум на скоростта на вятъра във височина. Характеристиките на обособеното ядро, като достигната скорост, височина над ЗП и пространствени мащаби са определени от интензивността и силата на локалните сили създали крайбрежната дневна циркулация. Важно е да се спомене наличието на зона на затишие (почти безветрие) в полето на скоростта на вятъра в началото на бризовата циркулация свързано със преминаването на фронта във височина и наблюдавано при приземните измервания на тази дата (Фиг. 4.1.2. средата долу – 10 часа). За да се придобие представа за турбулентната структура на крайбрежния граничен слой, в условия на бризова циркулация, са изведени пространствено-времеви сечения на дисперсията на вертикалната скорост на вятъра и турбулентната кинетична енергия (ТКЕ) за 5 август на Фигура 4.2.3. И на двете графики се вижда наличието на сравнително по-високи стойности в зоната на локалната фронтална система на бризовата циркулация във височина. На графиката на приземните измервания на дисперсията на вертикалната скорост, преминаването на фронталната система на бриза близо до ЗП е свързано с рязък пик на понижаване на стойностите (виж Фиг. 4.1.2. дясно долу – 10 часа), който пик във височинно времево сечение на дисперсията (виж Фиг. 4.2.3. ляво) е свързан с обособена зона на относително по-високи стойности, последвана от зона на по-ниски стойности във височина. Периодите на по-голяма дисперсия на вертикалната скорост са свързани с процесите на конвекция преди настъпването на бризовия фронт и в обедните и следобедни часове при пълното развитие на локалната циркулация и достигането на големи скорости на вятъра и значителни потоци топлина. Такава зона с относително по-високи стойности, обхващаща преминаването на сутрешния фронт на бриза във височина, е обособена и на графиката на ТКЕ (Фиг. 4.2.3. дясно), при която също следва зона на затишие.

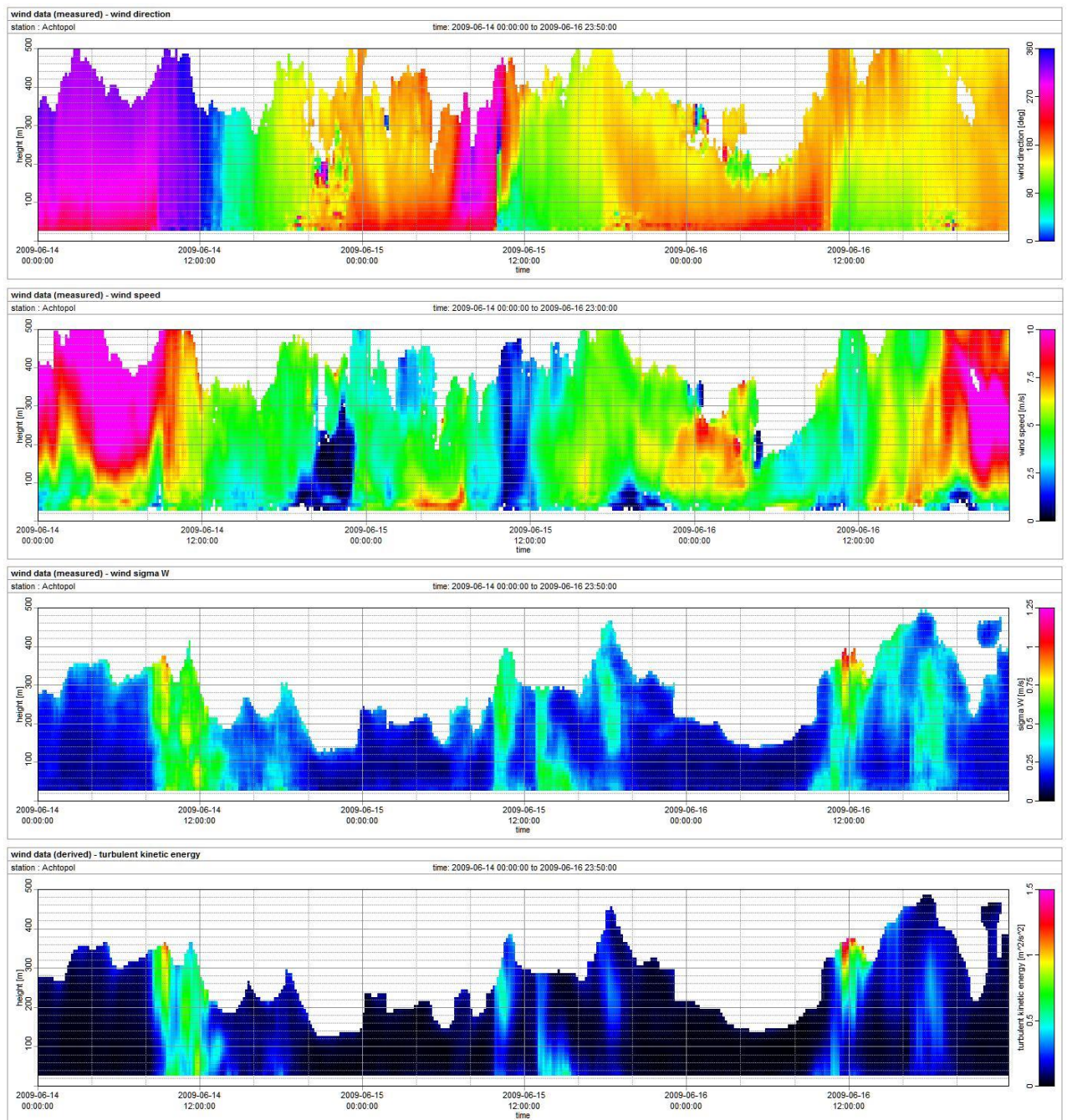


Фиг. 4.2.3. Пространствено-времеви сечения на дисперсия на вертикалната скорост (ляво) и турбулентната кинетична енергия (дясно) регистрирани на 5 август 2008 г. от Scintec Sodar MFAS в МО Ахтопол. (UTC+3)

По време на установения морски бриз се наблюдават по-високи стойности на дисперсията на вертикалната скорост (графика ляво), обхващайки слой симетричен на бризовата клетка но със значително по-малки вертикални пространствени мащаби, достигащ до височина 220 m. Максималните стойности достигат 0.5 ms^{-1} за дисперсията на вертикалната скорост в първите 30-40 m над ЗП и $0.6 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ за ТКЕ. Приземните измервания на ТКЕ потвърждават регистрирането на пикове по време на бризови циркулация (Фиг. 4.1.6. - горна графика в заградените дни от лилави правоъгълници).

Непрекъснатият режим на работа на содара през юни месец на 2009 г. дава възможност да се проследи еволюцията на крайбрежния граничен слой в изследвания район през три последователни дни (Фиг. 4.2.4.), в които содарът е регистрирал наличие на бризова циркулация. Видимо от изложените графиките на Фигура 4.2.4., бризовата циркулация през първия ден (14 юли) е била силно повлияна от мезомащабните сили през почти половината период от нейното съществуване поради наличието на силни ветрове достигащи до 15 ms^{-1} над 100 m височина от западната четвърт. На този ден действието на локалните сили започва в

9:50 часа (налична промяна на посоката на вятъра и слаба зона на затишие в полето на скоростта, ясно изразена в първите 60 m от ЗП), но тяхното въздействие е недостатъчно за да проявят доминиращ характер над съществуващия общия пренос на ВМ. Като резултат от взаимодействието на локални и синоптични сили, на графиката на посоката на вятъра (*първа графика от горе на долу*) се вижда задържане на посоката на въздушния поток в северната четвърт. Този резултат от суперпозицията на двете основни действащите сили в района има продължителност от близо 4 часа и се наблюдава в целия крайбрежен граничен слой, попаднал в обхвата на содара. По пладне, когато локалните сили са достатъчно големи и са с доминиращо въздействие, се наблюдава окончателното обръщане на посоката на вятъра от към морето, с което реално се слага началото на бризовата циркулация през този ден. Обръщайки внимание на долните две графики на *Фигура 4.2.4. (дисперсията на вертикалната скорост – трета графика от горе на долу, ТКЕ – последна графика долу)* в този момент на промяна на вятъра от към северната четвърт, могат да се установят зони с наблюдавани оптимални стойности в полетата на тези два параметъра, характеризиращи преминаването на локална фронтална система на бризова циркулация (*Фиг. 4.2.3. – повишени стойности в зоната на локалната фронтална система*). Това говори за стационарност при локалния фронт поради взаимодействието му с синоптичните сили в този момент и напомня на случая описан от приземните данни на 6 август 2008 г (*Фиг. 4.1.3. – среда горе - посока на вятъра*), за който случай за съжаление не се разполага със 24 часово акустично сондиране на атмосферата. Оптималната височина на бризовата клетка на дата 14 юни не е известна, поради не наличие на регистриран обратен поток във височина при акустичното сондиране на атмосферата на тази дата. Краят на тази дневна бризова циркулация е ясно определен от наличието на продължително затишие в полето на скоростта достигащо над 200 m височина и слагащо начало на нощната бризова циркулация, при която се наблюдава ясно изразено ядро с достигнати максимални стойности на скоростта на вятъра при бреговия бриз (*втора графика от горе на долу*). Следващата дневна бризова клетка на 15 юни е най-ясно изразената в пространствено-времените сечения на изложените параметри от трите представени в разглеждания период на *Фигура 4.2.4*. Вижда се преминаване на ясно изразен фронт в сутрешните часове, достигащ до височина 230 m над ЗП за 20 минутен интервал, след който интервал височината на фронта се понижава до 120 m за да продължи определянето на постепенното нарастване на бризовата клетка през този ден (*първа графика – посока на вятъра*). Преминаването на фронта на дневния бриз е свързано с поредната зона на затишие в полето на скоростта, която в този момент е обхванала целия ефективен обхват на содара, а в края на дневната локална крайбрежна циркулация, височина на затишие достига до 120 m. По време на дневната бризова циркулация се оформя и характерното ядро в полето на скоростта между двете зони на затишие (издигнато във височина между 80 и 180 m), което се случва след достигане на максималните пространствени мащаби на бризовата клетка. (*втора графика – посока на вятъра*). Измененията при турбулентните параметри на 15 юни (*дисперсията на вертикалната скорост – трета графика, ТКЕ – последна графика*) са още по показателни от тези наблюдавани на *Фигура. 4.2.3.* и потвърждават направените изводи към нея. В допълнение може да се каже, че зоните с повишени стойности на турбулентните параметри са тясно свързани, както с термичното влияние на ЗП върху прилежащия към нея въздушен слой по време на бризовата циркулация, така и с пространствения преход на единият основен тип ВМ към другия такъв - т.е. с началото и края на дневната бризова циркулация и свързаните с тях преходни или ясно изразени локални фронтални зони. Това се потвърждава и при турбулентните данни описващи последния ден от изложения период на тази фигура, през който ден се наблюдава бризова клетка с най-малки пространствени мащаби, която изцяло е попаднала в обхвата на содара.



Фиг. 4.2.4. Пространствено-времени сечения на (от горе на долу): посоката на вятъра (първа), скорост на вятъра с ограничение на цветния бар до 10 ms^{-1} (втора), дисперсията на вертикалната скорост (трета) и турбулентната кинетична енергия (последна графика) регистрирани в периода от 14-16 юни 2009 г. от Scintec Sodar MFAS в МО Ахтопол. (UTC+3)

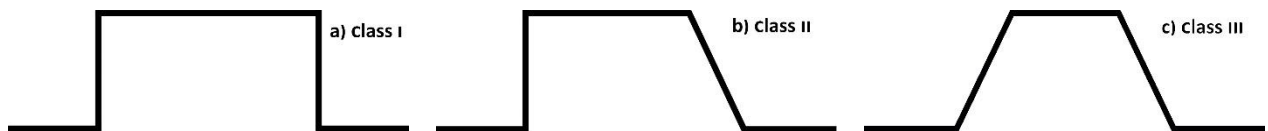
Ниските размери на клетката са породени от влиянието на синоптичните сили, които потискат нейното развитие и допринасят за разделяне на ядрото в полето на скоростта в момент в който се очаква да се достигнат оптимални пространствени мащаби. Ниската височина на бризовата клетка е причината в обхвата на содара да се локализират сравнително високи стойности на турбулентните параметри в горната и част, където се намира зоната на взаимодействие (преход) между морските ВМ и обратния поток от към сушата.

Провеждането на акустични сондирания на крайбрежния АГС в МО Ахтопол е модерен и надежден начин за придобиване на информация за вертикалната структура на средните и турбулентни характеристики на полето на вятъра. Изучаването на тези данни с висока

пространствена и времева резолюция предоставя много по-детайлно знание за пространствената динамика на процесите в АГС. Тези данни могат да бъдат използвани в теоретични изследвания за проверка и усъвършенстване на параметризационни модели, за оценка на симулациите с мезометеорологични модели, за изследване на разпространението на примеси в атмосферата. Дългогодишната експлоатация на тази наземно базирана акустична система за сондиране позволява да се правят и редица режимни оценки за вертикалната структура на крайбрежния АГС и за целите на различни приложения – ветрова енергетика, замърсяване на въздуха. Поддържането, работата и съхраняването на информацията от тази апаратура за дистанционни измервания е също значителен актив за НИМХ.

4.3. Типизация на бризова циркулация

Систематичните наблюдения на бризовата циркулация в районна, позволяват схематично да се представят три основни типа бризова циркулация в МО Ахтопол (Фигура 4.3.1), класифицирани според начина на преминаване на бризовия фронт. Бризови циркулации от Клас I се характеризират с бързи преминаващи фронтове в началото и в края на бризовата клетка, придружени с рязка промяна в посоката на вятъра (Фиг. 4.3.1. - a).

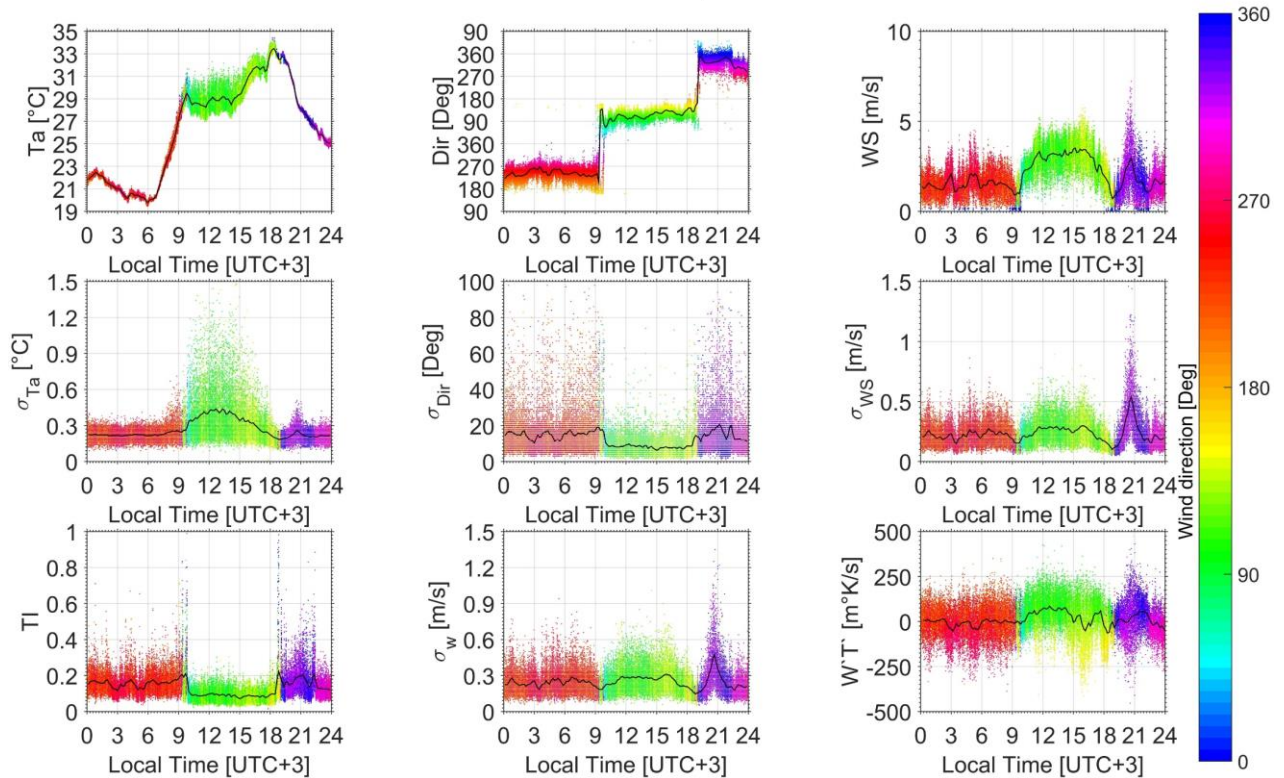


Фиг. 4.3.1. Схематично представяне на трите основни типа бризова циркулация наблюдавани в МО Ахтопол: а) Клас I (ясно изразена бризова циркулация); б) Клас II (добра бризова циркулация); в) Клас III (нормална бризова циркулация)

Този тип бриз описва ясно изразена локална крайбрежна циркулация, която се развива при слаби барични полета дори и през студеното полугодие. От прегледа на приземните метеорологични измервания на 19 юли 2009 г. (Фиг. 4.3.2.) се установява, че този тип ясно изразена бризова циркулация се характеризира с:

- типично висока денонощна температурна амплитуда за сезона, която през летните месеци често надвишава 10 °C (ляво - горе);
- ясно изразени и бързо преминаващи фронтни системи в началото и в края на дневния бриз, които рязко изменят посоката на вятъра при земята с близо 180 Deg за около 10 минути (среда – горе); .
- забележителни спадове в пулсациите на скоростта на вятъра (горе – дясно), както и при хоризонталната и вертикална турбулентни компоненти (съответно среда – дясно и долу – среда) непосредствено преди преминаването на фронталните системи ; с
- спад на хоризонтална скорост на вятъра, характеризиращ зоната на затишие на бризовата фронтна система.

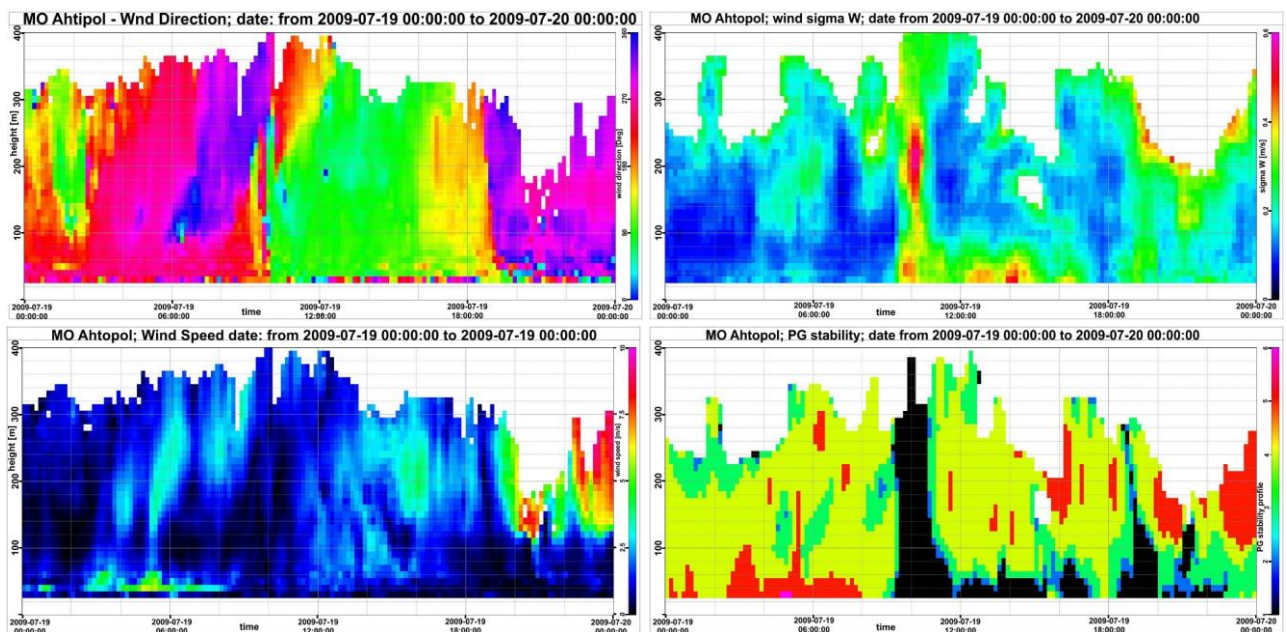
19.07.2009 / MO Ahtopol



Фиг. 4.3.2. Приземни данни от 3D акустичен анемометър на АМС МК-15 характеризиращи бризова циркулация от Клас I на дата 19 юли 2009 г. в МО Ахтопол. (малки цветни точки - сурови данни на всеки 2 sec; черна линия – 20 минутни пълзящи осреднени данни на всеки 10 минути.) От ляво на дясно и от горе на долу: акустична температура, посока на вятъра, хоризонтална скорост на вятъра, стандартно отклонение (дисперсия) на акустичната температура, дисперсия на посоката на вятъра, дисперсия на хоризонталната скорост, турбулентна интензивност, дисперсия на вертикалната скорост и вертикален поток топлина. (Информация за начините на пресмятане е налична в Приложение B)

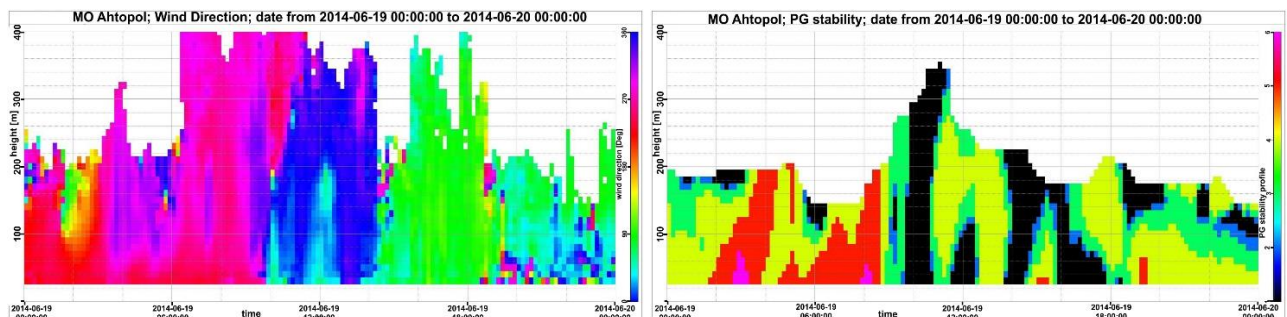
Акустичните сондирания на атмосферата на 19 юли 2009 г. разкриват вертикалната структура на бризовата клетка (Фиг. 4.3.3.) и затвърждават данните от приземните измервания за ясно изразен тип на бризова циркулация (Клас I). При графиката на посоката на вятъра на Фигура 4.3.3. (горе вляво) се виждат ясно изразени и бързо преминаващи фронтове (в началото и в края на дневния бриз), които рязко изменят посоката на вятъра за 10-20 минути в почти целия вертикален обхват на содара. В зависимост от сезона, поради различните пространствени мащаби на локалната крайбрежна циркулация, е възможно ефективния обхват на содара изцяло да покрие вертикалните пространствени мащаби на бризовата клетка (затворена бризова клетка попаднала в обхвата на содара). Друг характерен признак при вертикалната структура на Клас I е добре обособено ядро, при което се достигат оптимални за бризовата циркулация стойности в полето на скоростта (Фиг. 4.4.3. долу вляво). Аналогично на приземните измервания, при акустичните сондажи, малко преди преминаването на фронта, както и в началото на неговото преминаване скоростта на вятъра намалява почти до тихо време. Началото на клас I бризова циркулация е свързано също така със забележимо нарастване на стойностите в полето на дисперсията на вертикалната скорост в почти целия вертикален обхват на содара (Фиг. 4.3.3. горе вдясно). Наблюдава се също така и развитие на добре изразена неустойчива стратификация във височина, свързана отново с преминаването на фронталните системи и зоните на затишие (Фиг. 4.3.3. долу вдясно). Изменението на посоката на вятъра откъм морето е в синхрон с приземните данни, според които това изменение настъпва след 09:20 часа. Във този момент за 10-20 мин във височина (в слоя между

150-220 m над ЗП) може да се отчете преминаване на първичен фронт на дневния бриз, последван от същинският фронт на бриза в 10:00 часа, който трайно изменя във височина посоката на вятъра откъм морето.



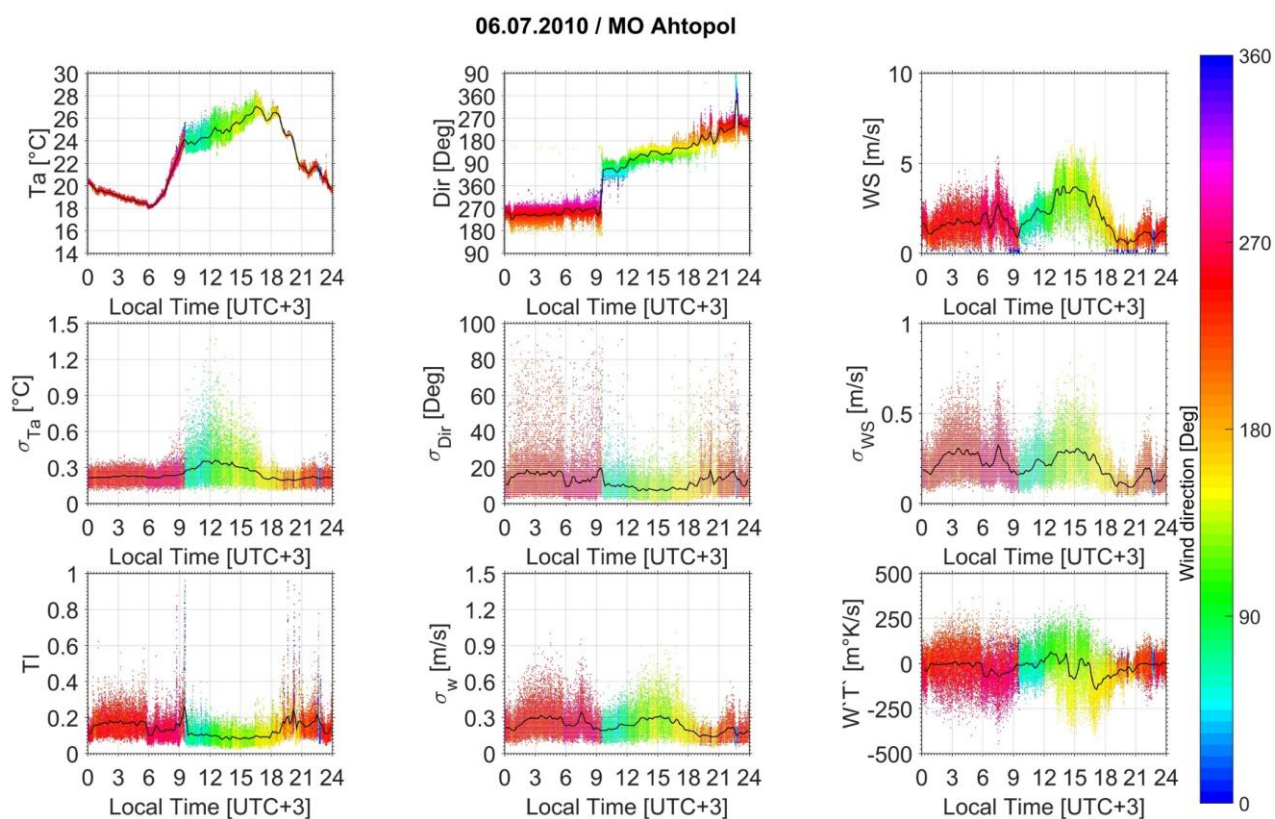
Фиг. 4.3.3. Пространствено-времево сечение от акустично сондиране на атмосферата, характеризиращи бризова циркулация от Клас I на дата 19 юли 2009 г. в МО Ахтопол. От горе на долу и от ляво на дясно: посока на вятъра, скорост на вятъра, дисперсия на вертикалната скорост на вятъра, клас на устойчивост по Pasquill-Gifford. Посочените часове са по местно време (GMT+3).

Такъв тип кратко и рязко изменение на посоката на вятъра (откъм морето за около 10 мин), при земята и/или във височина, последвано от кратко и рязко изменение на вятъра откъм сушата преди въздушния поток да се стабилизира окончателно откъм морето (т.е. преминаване на първичен фронт на морски бриз) би могло да се регистрира, както при бризови циркулации от Клас I, така и при Клас II. Възможни са случаи, при които се наблюдава преминаване на вторичен фронт след първичния (Фиг. 4.3.4.), който да е последван от същинския фронт на бризовата циркулация. Този тип бризови циркулации се случват сравнително рядко и често са повлияни от мезомащабни сили. Степента на влиянието на синоптичните сили върху локалната крайбрежна циркулация обуславя една от съществените разлики между двата съседни класа на бризова циркулация - Клас I и Клас II.



Фиг. 4.3.4. Пространствено-времево сечение от акустично сондиране на атмосферата с регистриран вторичен фронт на бризова циркулация на дата 18 юни 2014 г. в МО Ахтопол. От ляво на дясно: посока на вятъра, клас на устойчивост по Pasquill-Gifford. Посочените часове са по местно време (GMT+3).

Бризови циркулации от Клас II се характеризират с бързо преминаващ фронт на бриза в началото и постепенно изменение на посоката на вятъра в края на бризовата циркулация (схематично представяне на *Фиг. 4.3.1. – b*). При този тип бризова циркулация също е възможно да се наблюдава преминаване на първичен и вторичен фронт в началото на бризовата циркулация. От приземните метеорологични измервания се установява (*Фиг. 4.3.5.*), че наблюдаваните изменения на параметрите при този тип добра бризова циркулация са доста близки до тези на ясно изразения тип бриз (Клас I) с изключение на плавно изменящата се посока на вятъра в края на дневния бриз. Като основни разлики могат да се почертаят стойностите на денонощните температурни амплитуди и дисперсиите на акустичните температури на атмосферният въздух (по-ниски при Клас II, сравни *Фиг. 4.3.2.* и *Фиг. 4.3.5. - горе ляво*). Отличаващи разлики също така са изменението в посоката на вятъра при преминаването на фронта в началото на бризовата циркулация (при Клас II изменението рядко надвишава 120 Deg), както и разлика при квазистационарните условия, свързани с устойчивостта на наблюдаваните метеорологични параметри, характеризиращи въздушния поток откъм морето при дневен бриз. Отговорността за тези различия може да се асоциира със слабо влияние на мезомащабни сили върху локалната крайбрежна циркулация.

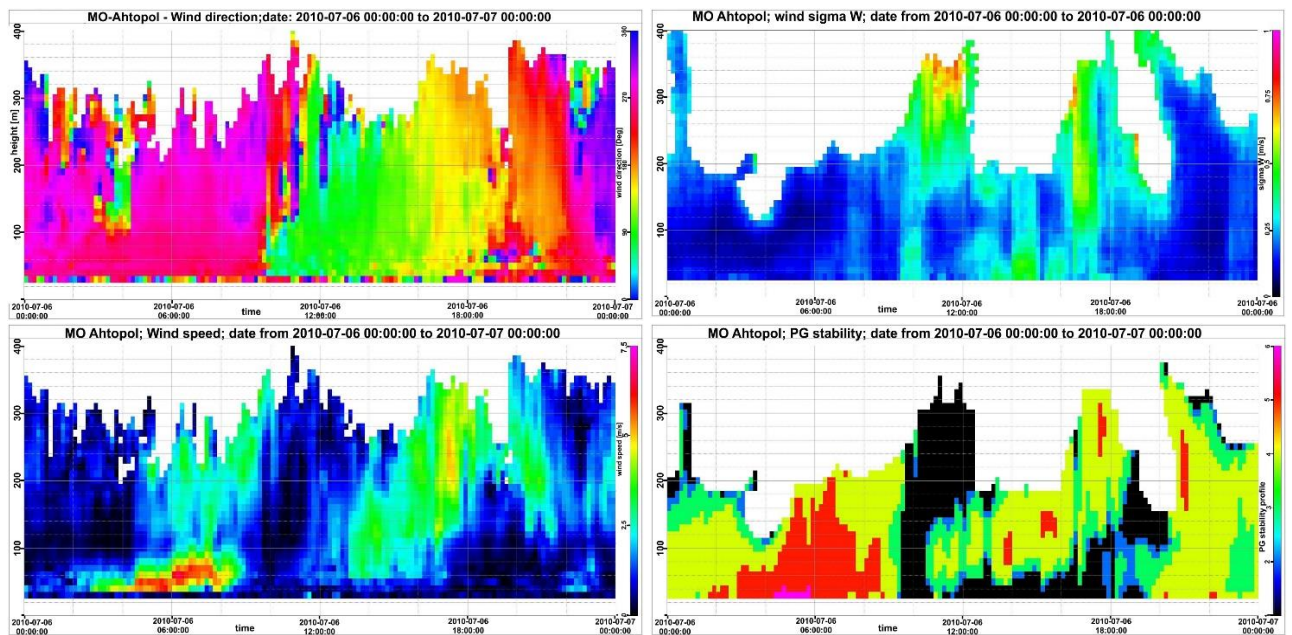


Фиг. 4.3.5. Приземни данни от 3D акустичен анемометър на АМС МК-15 характеризиращи бризова циркулация от Клас II на дата 06 юли 2010 г. в МО Ахтопол. (малки цветни точки - сурови данни на всеки 10 sec; черна линия – 20 минутни пълзящи осреднени данни на всеки 10 минути;) От ляво на дясно и от горе на долу: акустична температура, посока на вятъра, хоризонтална скорост на вятъра, стандартно отклонение (дисперсия) на акустичната температура, дисперсия на посоката на вятъра, дисперсия на хоризонталната скорост, турбулентна интензивност, дисперсия на вертикалната скорост и вертикален поток топлина.

При Клас II е възможно преминаването на фронта близко до земната повърхност да протече за по-дълъг период от време в сравнение с този от Клас I. Последвалите след фронта по-слаби квази стационарни условия на дневният бриз от Клас II водят до по-голяма нестабилност при насочеността на въздушният поток откъм морето с изменения достигащи $\pm 30^\circ$ от характерната посока на дневния бриз в района (*Фиг. 4.3.5. - горе среда*). По-слабо изразената

квазистационарност на въздушния поток, при бризови циркулации от Клас II, е ясно изразена също така, чрез по-ниски стойности на хоризонталната скорост на вятъра и вертикалния топлинен поток в началото на бризовата циркулация, както и по-кратко времетраене на задържане на характерните средни стойности на тези параметри при дневен бриз (Фиг. 4.3.2. и Фиг. 4.3.5.).

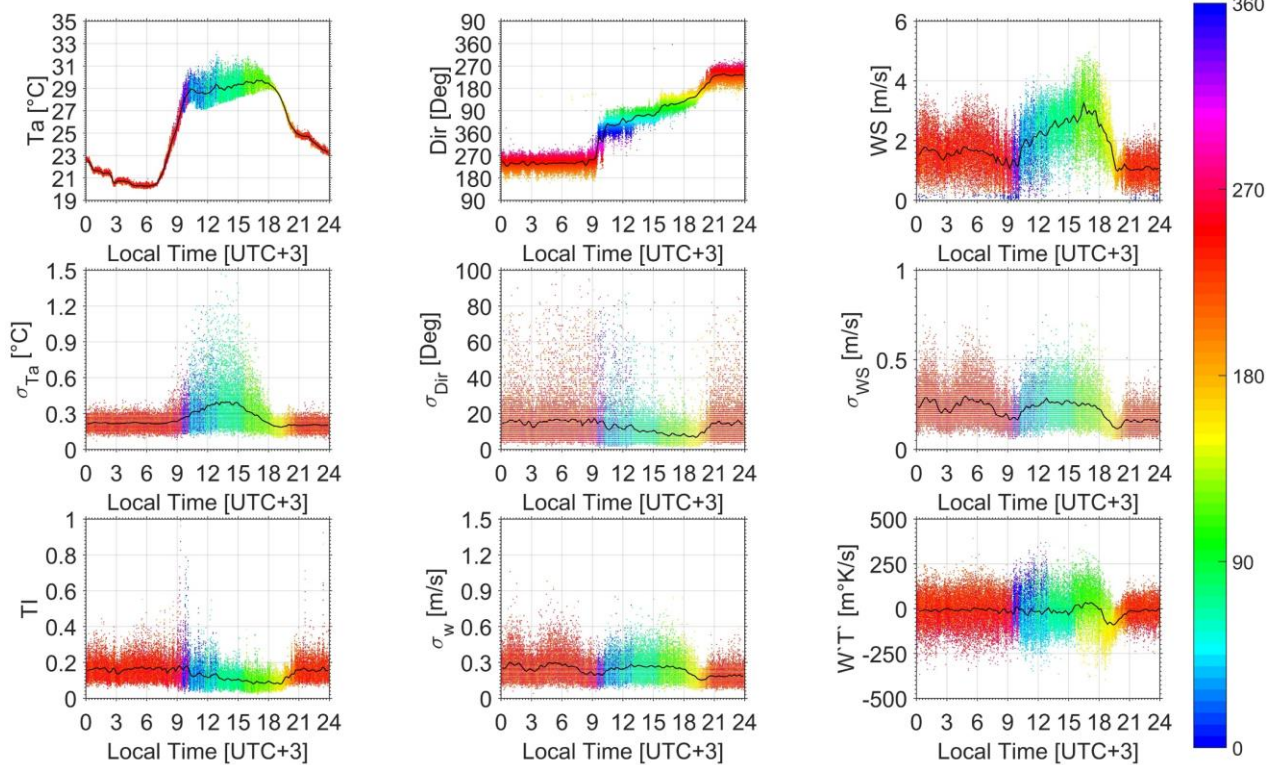
Чрез акустичните дистанционни измервания в атмосферата се установяват още разлики в полето на вятъра между Клас I и Клас II (виж Фиг. 4.3.6. и Фиг. 4.3.3.). Благодарение на тези измервания може да бъде установено влиянието на синоптични процеси върху бризовия поток във височина..



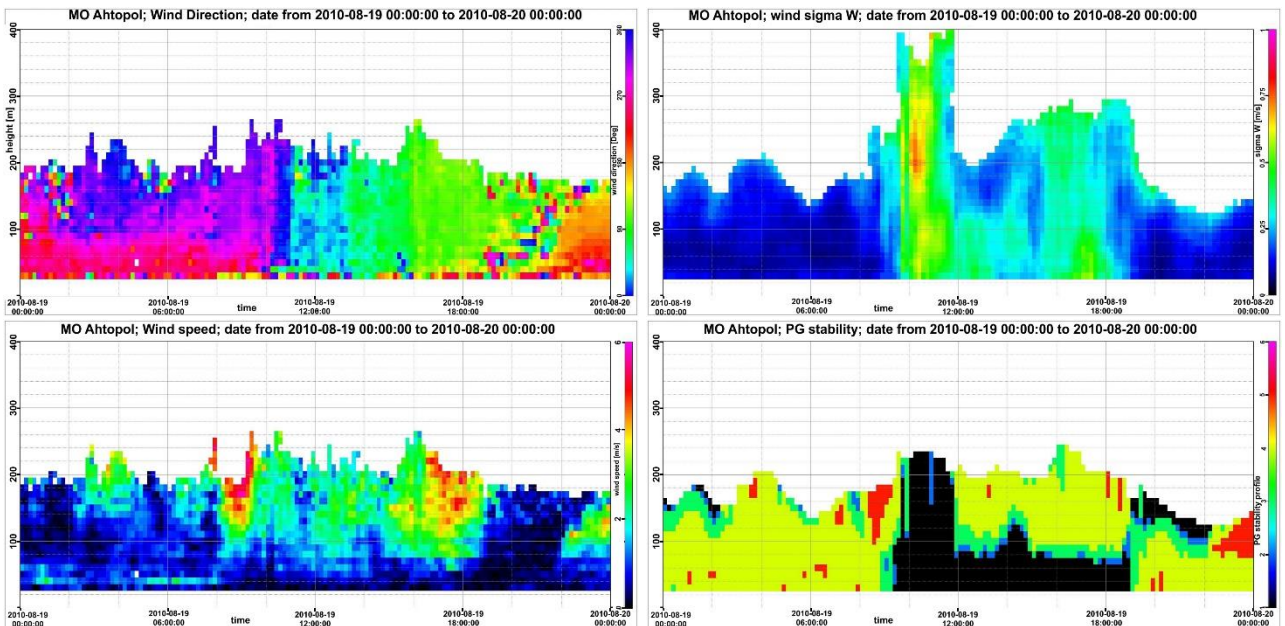
Фиг. 4.3.6. Пространствено-времево сечение от акустично сондиране на атмосферата, характеризиращи бризова циркулация от Клас II на дата 06 юли 2010 г. в МО Ахтопол. От горе на долу и от ляво на дясно: посока на вятъра, скорост на вятъра, дисперсия на вертикалната скорост на вятъра, клас на устойчивост по Pasquill-Gifford. Посочените часове са по местно време (GMT+3).

Бризови циркулации от Клас III се характеризират с постепенно изменение на посоката на вятъра, както в началото, така и в края на бризовата циркулация (виж схематично представяне на Фиг. 4.3.1. – c). Такава бризова циркулация се регистрира сравнително често в изследвания район. При този клас в повечето случаи се наблюдава влияние на мезомасщабни сили, което влияние в голяма степен може да доминира над локалните сили в крайбрежния район. На Фигура 4.3.7. са изведени данни от приземните метеорологични измервания описващи бризова циркулация от Клас III. Съществено за този клас са наблюдаваните по-големи изменения на посоката на вятъра откъм морето, които изменения могат да достигнат отклонение от $\pm 45^\circ$ от характерната посока на локалната крайбрежна циркулация. Скоростта на вятъра при земята би могла да варира в доста по-големи граници по време на дневния бриз от колкото при Клас I и Клас II, в зависимост от това дали синоптичните сили подсилват или отслабват влиянието на възникналите локални сили. Характерното плавно изменение на посоката на вятъра, в началото и края на бризовата циркулация отнема над 10 мин при земята и над 20 мин във височина. Продължителността и височината, до която могат да достигнат пространствените и времевите мащаби на бризовата циркулация от този клас, зависят от сезона и от степента на влияние на мезомасщабните сили. При вертикалната структура на бризова циркулация от Клас III се наблюдава нормално изразена бризова клетка в полетата на скоростта и посоката на вятъра (Фиг. 4.3.8.).

19.08.2010 / MO Ahtopol



Фиг. 4.3.7. Приземни данни от 3D акустичен анемометър на АМС МК-15 характеризиращи бризова циркулация от Клас III на дата 19 август 2010 г. в МО Ахтопол. (малки цветни точки - сурови данни на всеки 2 sec; черна линия – 20 минутни пълзящи осреднени данни на всеки 10 минути.) От ляво на дясно и от горе на долу: акустична температура, посока на вятъра, хоризонтална скорост на вятъра, стандартно отклонение (дисперсия) на акустичната температура, дисперсия на посоката на вятъра, дисперсия на хоризонталната скорост, турбулентна интензивност, дисперсия на вертикалната скорост и вертикален поток топлина.



Фиг. 4.3.8. Пространствено-времево сечение от акустично сондиране на атмосферата, характеризиращи бризова циркулация от Клас III на дата 19 август 2010 г. в МО Ахтопол. От горе на долу и от ляво на дясно: посока на вятъра, скорост на вятъра, дисперсия на вертикалната скорост на вятъра, клас на устойчивост по Pasquill-Gifford. Посочените часове са по местно време (GMT+3).

Измененията в хомогенността в полето на посоката на вятъра по време на този дневен тип локална циркулация са ясно изразени в началото и в края на морския бриз. В полето на скоростта на вятъра също се наблюдава не постоянност на потока, като често максималните стойности се достигат малко преди края на дневния бриз. По-слабото въздействие на локалните сили от своя страна, също биха могли да се проявят с преминаване на първичен и вторичен фронт в началото на бризовата циркулация.

Наличие на бризови циркулации по Българското Южно Черноморие се наблюдава целогодишно (макар и с по-ниска честота през студеното полугодие), което обуславя наблюдаваните при тях разновидни времеви, пространствени и качествени мащаби. Това от своя страна води до сезонни и дори месечни изменения в горе посочените характеристики на бризови циркулации във всеки един от класовете, като описаните изменения в полето на вятъра запазват своята същност. Предложената типизация на бризова циркулация успешно характеризира случаите на е морски бризов в проучвания регион, но наличието на множество разновидни взаимодействия между локални и синоптични сили е причина наред с основните класове на бризовата циркулация да се наблюдават и различни частни случаи.

Предложената типизация на бризови клетки по приземни и/или вертикални сондираня е новост, позволяваща да се охарактеризират наблюдаваните процеси по редица признаци в изменението на основни метеорологични елементи и турбулентността, както близо до ЗП, така и във височина. Тя е приложена за първи път на Българското Черноморие и разкрива значими детайли в еволюцията и структурата на дневния бриз. Границите на нейната приложимост са с широк обхват от научна и практическа гледна точка, и тя би могла да се използва при бъдещи проучвания в крайбрежни зони, подпомагайки достигането на нови знания в областта на климатичните изследвания, мезометеорологичното моделиране, опазване на качеството на атмосферния въздух и редица други научни изследвания, при които локална крайбрежната циркулация значим фактор.

4.4. Приложение на предложената типизация към данни от МО Ахтопол и някои детайли за нощната бризова циркулация

4.4.1. Приложение на предложената типизация към данни от МО Ахтопол

Класификацията на бризови циркулации, определена схематично на [Фигура 4.3.1.](#), ни позволява да сравняваме броя и вида на бризовите клетки отчетени чрез провежданите акустични измервания в МО Ахтопол. На [Таблица 4.4.1.1.](#) са представени обработени данни от тримерния акустичен анемометър на АМС МК-15 и сондиранята на SCINTEC MFAS Sodar, оказващи броя на дните, в които са се провеждали измервания със съответната апаратура (*втора колона*), брой на дни с регистрирана бризова циркулация (*трета колона*), както и тяхното класифициране според начина на преминаване на локалните им фронтове в периода юли-септември на 2009 г (*последните три колони*). Наличността на данни при содара е малко по-висока, от колкото при акустичния анемометър през разглеждания период, но броя на регистрираните дни с бризова циркулация е по-висок при приземните измервания. Това се дължи на силното влияние на подложната повърхност върху приземните измервания (на височина 4.5 m), докато акустичното сондиране на атмосферата разкрива нейната вертикална структура и редуцира броя на дните с регистриран бриз. Влиянието на подложната повърхност може да се отчете и чрез наблюдавания максимум на регистрирани бризови циркулации от Клас II при приземните измервания, който максимум се измества към Клас III при акустичните сондираня на атмосферата. Броят на регистрираните от содара бризови циркулации и тяхното класифициране през едни и същи месеци варират от година на година ([Таб. 4.4.1.2.](#)) в зависимост от броя на създадите се благоприятни условия за развитие на локална циркулация,

определена от динамиката на мезометеорологичните процеси над Южното Българско Черноморие.

Табл. 4.4.1.1. Анализ на регистрирани дневни бризови циркулации от акустични данни в МО Ахтопол през периода от юли до септември на 2009 г. и класифицирането им в трети основни типа според начините на преминаване на локалните им фронтални системи. (триизмерен акустичен анемометър на АМС МК 15 – червен цвят; SCINTEC MFAS Sodar – син цвят)

2009	Брой дни със соник и содарни данни	Брой дни с бризова циркулация	Клас I	Клас II	Клас III
Юли	30 / 31	28 / 18	6 / 1	16 / 7	6 / 10
Август	30 / 30	18 / 12	2 / 0	15 / 3	1 / 9
Септември	26 / 29	16 / 11	2 / 0	13 / 4	1 / 7

В Таблица 4.4.1.2. са изведени статистически данни за над четири годишен период на измерване с АССА в МО Ахтопол, оказващи броя на дните с оперативен режим на содара, броя на регистрираните бризови циркулации и съответно тяхното класифициране през различните разглеждани месеци и години в МО Ахтопол. От изложените данни в таблицата може да се установи, че най-благоприятната календарна година за развитие на бризова циркулация през разглеждания период е била 2009 г., а тази с най-нисък брой регистрирани е била 2010 г. Увеличаване на бризовите циркулации се наблюдава през топлото полугодие, през месеците от май до август. Рекордна наличност на регистриран бриз се наблюдава през месец юни (малко над 70% от дните с измервания), а като месец с най-нисък регистриран брой може да се отбележи декември, последван от януари и февруари. Броят на локалните крайбрежни циркулации определени, като Клас III доминира с един порядък над останалите два класа. Най-рядко са регистрирани бризови циркулации описани от Клас I – едва 16 дена от общо 567 дни, което се равнява на по-малко от 3% от случаите на регистриран бриз.

Табл. 4.4.1.2. Брой регистрирани дневни бризови циркулации по данни от акустично сондиране на атмосферата (SCINTEC MFAS Sodar) и тяхното разпределение по класове през различните месеци и години от период на измерване -20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012 г. в МО-Ахтопол

Класификация на бриз	I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII												Годишно	SCINTEC MFAS Sodar (Ахтопол)	I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII												Годишно			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII				
2008	дни с измервания	-	-	-	-	-	-	10	29	26	31	30	31	157	2011	дни с измервания	31	28	31	30	31	30	29	31	13	25	30	28	337	
	дни с бриз	-	-	-	-	-	-	2	15	11	15	6	2	51		дни с бриз	9	7	11	9	12	19	23	18	4	9	11	2	134	
	Клас I	-	-	-	-	-	-	0	1	1	0	0	0	2		Клас I	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
	Клас II	-	-	-	-	-	-	1	1	2	2	0	0	6		Клас II	1	2	1	2	1	1	3	0	0	3	2	0	16	
2009	дни с измервания	31	28	31	30	31	30	31	31	31	30	20	30	31	354	2012	дни с измервания	24	29	31	30	31	30	31	13	25	10	-	-	254
	дни с бриз	6	10	17	15	23	27	18	12	11	5	14	2	160	дни с бриз		2	9	13	12	18	20	11	5	7	8	-	-	105	
	Клас I	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3	Клас I		0	0	1	1	0	1	0	0	0	2	-	-	5	
	Клас II	0	1	0	1	3	6	7	3	4	1	1	0	27	Клас II		1	3	2	2	6	4	2	1	2	1	-	-	24	
2010	дни с измервания	31	28	29	23	31	27	31	31	30	30	30	31	352	Общо	дни с измервания	117	113	122	113	124	117	132	135	124	116	120	121	1454	
	дни с бриз	4	7	10	9	27	15	9	9	10	4	10	3	117		дни с бриз	21	33	51	45	80	81	63	59	43	41	41	567		
	Клас I	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	4		Клас I	1	1	4	1	1	3	1	1	1	2	0	0	16	
	Клас II	0	3	3	2	3	4	1	2	2	0	0	2	22		Клас II	2	9	6	7	13	15	14	7	10	7	3	2	95	
2010	Клас III	4	3	6	7	23	10	8	7	8	4	10	1	91	Клас III	18	23	41	37	66	63	48	51	32	32	38	7	456		

Както бе споменато в глава 3.2 морският бриз в крайбрежните зони благоприятства за намаляване на образуването на конвективна облачност и свързаните с нея валежи. През 2014 г. успешно се проведе съвместен българо-турски научен проект (SAAP4FUTURE), изследващ антропогенното замърсяване на въздуха в трансграничния район на Бургас-Къркларели и влиянието му върху населението и околната среда (Georgieva et al., 2015). При изследване на сухи периоди (без наличие на валеж), в рамките на проведена кампания на взимане на валежни проби в района на МО Ахтопол организирана в този проект, бяха използвани данни от

акустичното сондиране на атмосферата и се извърши анализ на регистрирани бризови циркулации в изследвания район, указани в [Таблица 4.4.1.3](#). Първият ред от таблицата показва максималния обхват достигнат от содара, а вторият и третият ред наличността на данни изразени съответно в проценти и брой времеви серии на измерване през различните месеци на проведената кампания. Ниската наличност на данни през август и септември се дължи на сериозен проблем в основното електрическо захранване на обсерваторията през периода 20.08.2014 - 15.09.2014. Последните четири реда от [Таблица 4.4.1.3](#) показват общия брой на дните с регистрирана бризова циркулация и тяхното разпределение по класове. Най-висок брой на дни с бриз е наблюдаван през юли, а като доминиращ тип бризова циркулация през разглеждания период (отново като в [Таблица 4.4.1.1](#)) може да се определи Клас III. Изключение прави единствено месец октомври, при който се наблюдават еднакъв брой на регистрирани дни с бриз от Клас II и Клас III. Най-ниска наличност се наблюдава отново при Клас I. Обособените сухи периоди по време на проведената кампания на проекта SAAP4FUTURE са указани в първата колона на [Таблица 4.4.1.4](#).

Табл. 4.4.1.3. Максимален обхват на содара, наличността на данни и брой на дните регистриран бриз и тяхната класификация определена от [Фигура 4.3.1](#), през месеците от юни до ноември на 2014 г. в МО Ахтопол. ([Georgieva et al., 2015](#))

SCINTEC MFAS Sodar	(Ахтопол) 2014					
	VI	VII	VIII	IX	X	XI
максимален обхват [m]	720	720	720	630	750	630
наличност на данни	99,8%	90,0%	61,4%	51,7%	98,5%	97,4%
брой профили	4310	4016	2739	2233	4398	4207
дни с измервания	30	28	19	15	31	30
дни с бриз	15	20	14	7	6	7
Клас I	0	1	0	1	0	1
Клас II	5	1	3	2	3	1
Клас III	11	18	11	4	3	5

Табл. 4.4.1.4. От ляво на дясно: определени сухи периоди по време на кампанията за вземане на проби в МО Ахтопол от юни до ноември 2014 г., брой на дните с оперативен режим на содара през определените сухи периоди (големината на баровете е определена от максималния по времетраене сух период), отчетени дни бризова циркулация по време на сухите периоди и тяхното разпределение по класове ([Georgieva et al., 2015](#))

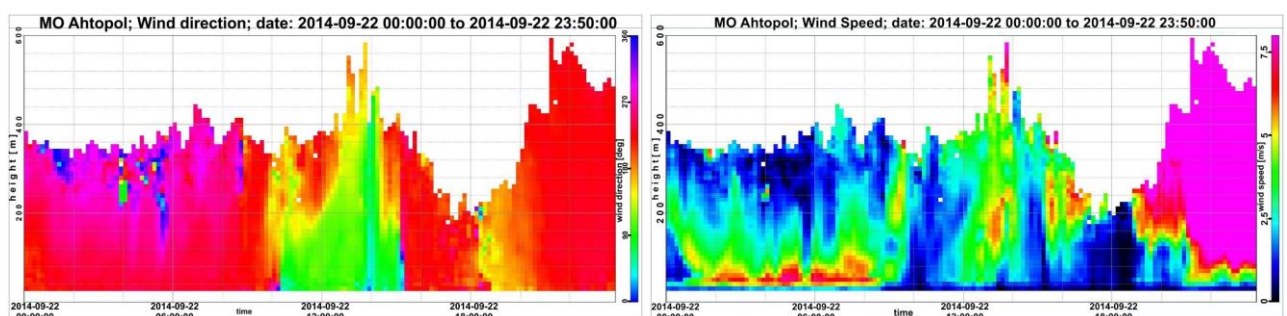
Сухи периоди (2014)	Дни с измервания	Наличие на бриз	Клас I	Клас II	Клас III
02 - 04 VI	3	66,7%	0,0%	0,0%	66,7%
05 - 14 VI	8	25,0%	0,0%	12,5%	12,5%
16 - 18 VI	3	100,0%	0,0%	66,7%	33,3%
21 VI - 04 VII	14	57,1%	0,0%	7,1%	50,0%
04 - 12 VII	9	77,8%	0,0%	11,1%	66,7%
12 - 16 VII	5	80,0%	0,0%	0,0%	80,0%
16 - 23 VII	8	50,0%	0,0%	0,0%	50,0%
24 VII - 01 VIII	6	66,7%	16,7%	0,0%	50,0%
01 - 08 VIII	8	75,0%	0,0%	0,0%	75,0%
08 - 17 VIII	10	70,0%	0,0%	30,0%	40,0%
17 - 25 VIII	3	33,3%	0,0%	0,0%	33,3%
25 VIII - 03 IX	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
07 - 14 IX	0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
17 - 23 IX	7	42,9%	14,3%	14,3%	14,3%
23 - 26 IX	4	50,0%	0,0%	0,0%	50,0%
27 IX - 08 X	12	25,0%	0,0%	8,3%	16,7%
08 - 23 X	16	25,0%	6,3%	6,3%	12,5%
31 X - 13 XI	14	21,4%	0,0%	7,1%	14,3%
16 - 19 XI	4	50,0%	0,0%	0,0%	50,0%
20 - 24 XI	5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25 - 30 XI	6	16,7%	0,0%	0,0%	16,7%

При всички разглеждани сухи периоди, при които се е осъществявало акустично сондиране на атмосферата, са налични дни с бризова циркулация ([Таб. 4.4.1.4.- третата колона](#)). Последните три колони на [Таблица 4.4.1.4](#), оказват процентното разпределение на отчетените

дневни бризови циркулации според представената класификация в тази в [глава 4.3.](#) . Като относително дълги сухи периоди с регистриран висок брой на дни с бризова циркулация (над 70%) могат да бъдат посочени следните периоди: 04-12 юли, 01-08 август и 08 -17 август. При последния от посочените периоди се наблюдава високо наличие на бризови циркулации от Клас II. През един от най-кратките сухи периоди (13-15 юли) са регистрирани бризови циркулации от Клас III през всички му дни.

4.4.2. Някои детайли за нощната бризова циркулация

Въпреки, че в тази дисертация не се изследва в детайли нощната бризова циркулация е редно да се отчете и нейната наличност при данните от акустичното сондиране на атмосферата в МО Ахтопол. Пространствените и мащаби са значително по-малки от тези на дневната бризова циркулация но по продължителност са съпоставими. Характерното ядро в полето на скорости на вятъра се наблюдава и при нощната локална циркулация, но за разлика от дневната, ядрото е разположено по-близко до ЗП, поради по-малките пространствени мащаби. Скоростта на вятъра при нощния бриз е съпоставима с тази от дневния и също зависи от влиянието на мезометеорологичните процеси. При добре изразена нощна циркулация се наблюдават и характерните зони на затишие в нейното начало и край, както и над самото ядро в полето на скоростта. Зоните на затишие са преходните моменти между двата потока и разграничават двата основни типа въздушни маси (морски и такива откъм сушата). По-малките пространствени мащаби на нощната бризова циркулация я правят по-трудно забележима, особено при по-ниски стойности на скоростта на вятъра. Регистрирането на обратен поток откъм морето във височина при нощен бриз в МО Ахтопол се случва изключително рядко, въпреки по-малките пространствени мащаби на клетката, и често бива маскиран (трудно разпознаваем) поради доминиращия западно-източен пренос на ОАЦ, която влияе, както на скоростта на обратния поток откъм морето, така и на неговата посока. По-малките вертикални мащаби на нощната локална циркулация от своя стана водят и до по-малка изменчивост на пространствените и мащаби през различните сезони за разлика от измененията, които търпи дневния бриз. През студеното полугодие, както в началото и в края на топлото (май и септември) пространствените мащаби на дневния бриз биха могли изцяло да бъдат обхванати от ефективния обхват на содара и във височина да бъде регистриран обратния въздушен поток откъм сушата. На [Фигура 4.4.2.1.](#) са изложени графики на полетата на посоката и скоростта на вятъра описващи едновременно нощна и дневна бризова клетка, попаднали в обхвата на содара и даващи реална представа за тяхната еволюция и структура през септември.



Фиг. 4.4.2.1. Пространствено-времево сечение от акустично сондиране на атмосферата, характеризиращи бризова циркулация от Клас I на дата 22 септември 2014 г. в МО Ахтопол. Посока на вятъра (лява графика), скорост на вятъра (дясна графика). Посочените часове са по местно време (GMT+3) Цветния бар оказващ стойностите на скоростта на вятъра на дясната графика е ограничен по стойност за да се постигне по-добра визуализация на данните.

Нощният бриз е ясно изразен в полето на скоростта на вятъра с отличаващо се ядро и зони на затишие, а наблюдаваните характеристики на дневния бриз го определят, като Клас I. От фигурата се вижда, че през септември височината на нощния бриз достига до близо 200 m, като максималната височина, до която достига ядрото му в полето на скоростта на вятъра е близо 120 m. Височината на дневния бриз е близо 500 m, а ядрото му в полето на скоростта е издигнато във височина (над 120m) поради по-големи те му пространствени мащаби.

Създадената класификация е приложена за дългогодишен период от време и отразява особеностите на основните метеорологични характеристики и турбулентността в климатичния район на Странджанското Черноморие от Черноморска климатична подобласт (Събев and Станев, 1959).

От друга страна, тя може да бъде адаптирана и към други крайбрежни райони тъй като дава основа, чрез която може да се определи степента на доминиране на локалните крайбрежни сили над синоптичните такива при наличие дългогодишни наблюдения на метеорологичните характеристики в условията на бризова циркулация.

4.5. Статистически данни за морския бриз в МО Ахтопол

4.5.1. Създаване на извадки от данни

Анализът на бризови клетки в тази глава обхваща визуално регистрирани дневни бризови клетки (оттук нататък за краткост ще изпусваме „дневни“) или морски бриз, частично или почти цялостно обхванат от ефективния обсег на SCINTEC MFAS Sodar за периода от 20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012 г. в МО Ахтопол. През периода на изследване содарът е бил в оперативен режим общо 1454 дена, през които е регистрирал общо 567 случая с морски бриз (или бризови циркулации) (Таб. 4.4.1.2.). Проведени са два анализа на содарните данни, като при първия от тях, общият брой на визуално регистрираните бризови клетки е 48 а при втория - 86. Общото при характеристиките на избраните бризови клетки е ясно изразен източен поток при земята и във височина през деня (надвишаващ или достигащ до 250 m) в продължение на минимум час и половина (през студеното полугодие, типичната продължителността е приблизително два часа). Друг използван критерий е достигането на типична за бризова циркулация скорост на VM (над 4 ms^{-1}). Ясен визуален критерий е и наличието на добре изразено ядро в полето на скоростта, където тя достига оптимални стойности, както и наблюдавано затишие в началото и края на бризовата циркулация, свързано с преминаването на локални фронтове (бризов фронт в сутрешните, а понякога и в следобедните часове). Чрез използването на споменатите критерии се цели отсяване на типични за изследвания район бризови клетки от Клас I и Клас II (не повлияни или слабо повлияни от синоптичните сили). За целите на всеки един от двата анализа и техните под анализи са изведени резултати описващи бризова клетка съставена от осреднените стойности на съответните индивидуални профили на подбраните бризови клетки.

Детайлен обзор на проведените анализи е представен в Таблица 4.5.1.1.). Различни извадки от случаи за осредняване са направени чрез скъсяване или удължаване на разглеждания период от месеци и поставяне на условия за едновременна наличност на данни във височина и за определен брой параметри. Като нива за проверка на едновременната наличност на данните и непрекъснатост на профилите са подбрани височини започващи от 50 m над ЗП (на 30 и 40 m не се наблюдава постоянство в наличността на данните от содара) и достигащи съответно до 150 m, 250 m, 350 m, 450 m, 550 m, а в конкретни анализи са разгледани и под нива 270 m и 320 m. При всички проведени анализи е имало поставено изискване за непрекъснатост на профилите и едновременна наличност на поне два изходящи параметъра (скорост и посока на вятъра – Dir, Wind speed). Поставените условия рязко намаляват наличността на данни (особено при увеличаване на броя на параметрите с едновременна наличност (Фиг. 4.5.3.1.),

поради което при извеждането на осреднени профили на бризова клетка е поставено допълнително условие за минимум 60% наличност от възможните данни, необходими за калкулирането на съответния осреднен профил.

Табл. 4.5.1.1. Извършени анализи на профили на бризови клетки регистрирани от содара през периода от 20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012г в МО Ахтопол. Анализ I (начален обзор) – общо 48 броя регистрирани бризови клетки за разглеждания период и два параметъра (скорост и посока на вятъра). Анализ II (обстоен обзор) – общо 86 броя регистрирани бризови клетки за разглеждания период и четири параметъра (скорост и посока на вятъра, вертикална скорост на вятъра и нейната дисперсия).

Разглеждан период от 20/07/2008 г. до 10/10/2012 г (общо наблюдения - 1454 дена)			
Анализа на профили бризова клетка - I (начален обзор)	Дни	Брой параметри	Вид профили
визуално регистрирани бризови клетки	48	2	непрекъснати, едновременна наличност
бризови клетки от май до септември	27	2	непрекъснати, едновременна наличност
бризови клетки от май до август	23	2	непрекъснати, едновременна наличност
бризови клетки от юни до август	17	2	непрекъснати, едновременна наличност
Анализа на профили бризова клетка - I (начален обзор)	Дни	Брой параметри	Вид профили
визуално регистрирани бризови клетки	86	2, 4	непрекъснати, едновременна наличност
бризови клетки от май до септември	47	2, 4	непрекъснати, едновременна наличност
бризови клетки от май до август	35; (26)	2, 4, 8 + 1; (12 + 1, 8)	непрекъснати, едновременна наличност
бризови клетки от юни до август	24	2, 4	непрекъснати, едновременна наличност

Таблица 4.5.1.2. Денонощна и обща наличност на 8 различни по височина вертикални профила започващи от 50м., на 4 изходящи параметъра (хоризонтална и вертикална скорост на вятъра, посока на вятъра и отчетена дисперсия на вертикалната скорост) по време на 35 дена с бризови клетки, регистрирани по визуални данни от АССА в МО Ахтопол, през топлиите полугодия от месеците май до август за периода от 20 юни 2008 г. до 10 октомври 2012 г.

Date	150m	250m	270m	300m	320m	350m	450m	550m	Date	150m	250m	270m	300m	320m	350m	450m	550m
5.8.2008	37.5%	16.7%	13.9%	10.4%	9.0%	9.0%	0.0%	0.0%	25.8.2010	74.3%	24.3%	21.5%	17.4%	14.6%	10.4%	0.7%	0.0%
7.5.2009	97.9%	92.4%	89.6%	88.2%	81.9%	72.9%	29.9%	0.0%	28.8.2010	79.2%	34.7%	25.0%	11.1%	8.3%	5.6%	0.7%	0.0%
8.5.2009	94.4%	72.9%	67.4%	62.5%	55.6%	38.2%	0.0%	0.0%	6.5.2012	86.8%	57.6%	50.0%	28.5%	16.7%	6.3%	0.7%	0.0%
11.5.2009	99.3%	41.0%	34.0%	19.4%	16.0%	13.9%	0.0%	0.0%	20.5.2012	87.5%	23.6%	17.4%	7.6%	2.1%	2.1%	1.4%	0.0%
23.5.2009	91.7%	54.2%	42.4%	31.3%	20.8%	15.3%	0.0%	0.0%	23.5.2012	93.8%	56.3%	51.4%	35.4%	26.4%	16.7%	0.7%	0.0%
13.6.2009	98.6%	92.4%	91.7%	78.5%	63.9%	54.2%	14.6%	0.0%	29.5.2012	91.0%	61.8%	54.2%	41.0%	30.6%	16.7%	0.7%	0.0%
15.6.2009	98.6%	57.6%	54.9%	31.9%	24.3%	16.7%	2.1%	0.0%	31.5.2012	75.7%	14.6%	9.0%	2.1%	2.1%	0.7%	0.7%	0.0%
16.6.2009	84.7%	56.3%	55.6%	53.5%	50.0%	37.5%	11.8%	0.0%	1.6.2012	71.5%	42.4%	36.8%	31.9%	24.3%	13.9%	0.7%	0.0%
27.6.2009	92.4%	69.4%	64.6%	52.8%	45.8%	28.5%	4.9%	0.0%	11.6.2012	82.6%	37.5%	34.0%	27.8%	21.5%	14.6%	0.7%	0.0%
30.6.2009	96.5%	55.6%	45.8%	31.9%	20.1%	10.4%	0.0%	0.0%	12.6.2012	93.8%	35.4%	28.5%	16.7%	13.2%	3.5%	0.7%	0.0%
12.7.2009	98.6%	95.8%	91.0%	84.7%	81.3%	68.8%	25.7%	2.8%	13.6.2012	98.6%	38.9%	28.5%	14.6%	4.2%	0.0%	0.0%	0.0%
19.7.2009	94.4%	63.9%	51.4%	38.9%	31.9%	12.5%	0.0%	0.0%	10.7.2012	100.0%	53.5%	49.3%	32.6%	19.4%	7.6%	0.7%	0.0%
4.8.2009	51.4%	42.4%	39.6%	27.8%	21.5%	7.6%	0.0%	0.0%	11.7.2012	98.6%	50.0%	44.4%	40.3%	33.3%	20.1%	3.5%	0.0%
14.8.2009	59.0%	40.3%	39.6%	37.5%	33.3%	25.0%	1.4%	0.0%	12.7.2012	100.0%	45.1%	44.4%	31.3%	26.4%	22.2%	0.7%	0.0%
17.5.2010	100.0%	95.8%	95.1%	92.4%	88.2%	81.3%	38.2%	9.7%	15.7.2012	99.3%	41.7%	38.9%	38.2%	27.1%	3.5%	0.7%	0.0%
25.5.2010	77.8%	66.7%	62.5%	57.6%	54.2%	47.2%	11.1%	0.0%	16.7.2012	99.3%	29.2%	15.3%	4.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
14.6.2010	97.2%	70.1%	61.8%	40.3%	30.6%	10.4%	0.7%	0.0%	21.8.2012	79.2%	20.8%	20.1%	13.2%	7.6%	4.9%	0.7%	0.0%
19.6.2010	94.4%	40.3%	25.7%	22.9%	22.2%	11.8%	4.2%	0.0%	Total	87.9%	51.2%	45.6%	35.9%	29.4%	20.3%	4.5%	0.4%

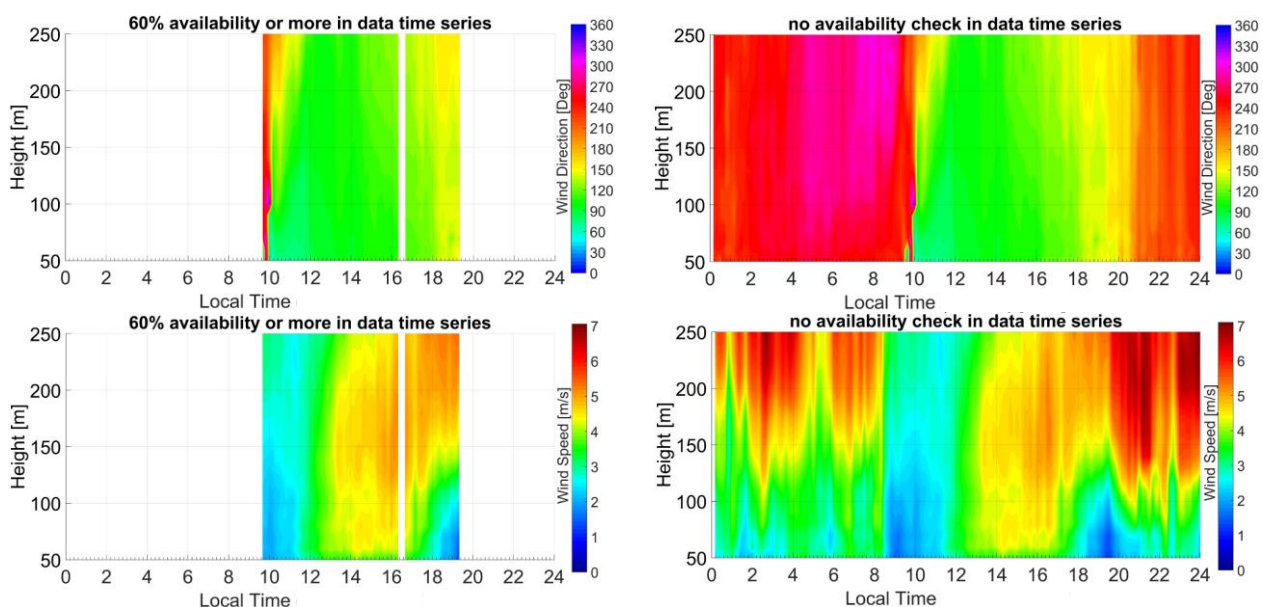
По-високият брой на дни с регистрирана бризова клетка в Анализ II от своя страна позволява поставянето на условие за едновременна наличност на 4 изходни параметъра от содара (към двата параметъра в Анализ I са прибавени: вертикална скорост на вятъра и нейната дисперсия – W и sigW). Когато се постави условие за едновременна наличност и непрекъснатост до

определена височина за профилите на 12 изходящи от содара параметъра (към 4-те параметъра са прибавени: дисипация на турбулентните вихри, турбулентна кинетична енергия, дисперсия на хоризонталната скорост, компонентите на хоризонталната скорост и техните дисперсии, както и турбулентна интензивност – EDR, TKE, sigSpeed, U, V, sigU, sigV и TI) при Анализ II на бризови клетки от май до август, броят на случаи се редуцира от 35 на 26 (Таб. 4.5.1.1.). Поради липса на данни за 4 от 12-те параметъра (sigSpeed, sigU, sigV и TI) в 9 от подбраните денонощия. Анализ на ново определените 26 дена е направен и при прилагане на условие за едновременна наличност на 8 параметъра с цел да се достигне оптимална височина на непрекъснати профили. При анализите в периода от май до август (35 и 26 денонощия) е налице и допълнително калкулиран параметър -поток на подемната сила (Buoyancy Production - BP) от изходящите данни на содара чрез уравнение (4.6.1.1.)

В Таблица 4.5.1.2. са представени измененията на наличността на профили с фиксирана дължина през различните денонощия взели участие в изготвянето на Анализ II на бризови клетки от май до август при едновременна наличност на 4 параметъра.

4.5.2. Характеристики на осреднени бризови клетки в полето на скоростта и посоката на вятъра

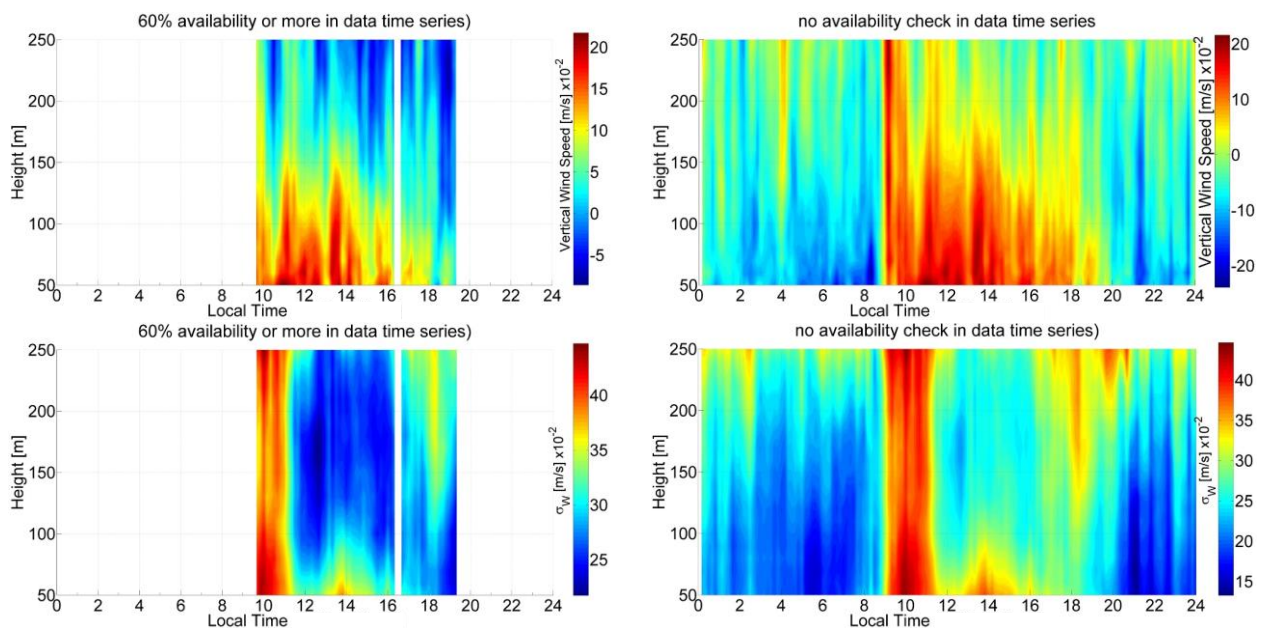
След калкулиране и извеждане на осреднени профили от тези 35 дена с минимум 60% наличност на данни за различните профилни нива, се установи оптимална височина от 250 m, при която наличните времеви серии на денонощното изменение на осреднени профили обхващат достатъчно дълъг времеви интервал от бризовата клетка за да може нейната еволюция да бъде описана. На Фигура 4.5.2.1. са изведени пространствено-времевите сечения на осреднени непрекъснати профили на бризова клетка описващи денонощния ход на посоката и скоростта на вятъра.



Фиг. 4.5.2.1. Пространствено-времево сечение на непрекъснати осреднени профили удовлетворяващи условието за едновременна наличност на 4 изходящи параметъра (Dir, Speed, W, sigW) от 35 дни, при които е регистрирана бризова клетка, през месеците от май до август на периода от 20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012г в МО Ахтопол. Горни две графики – посока на вятъра, долни две графики – скорост на вятъра. Графики в ляво – изпълнено условие за минимална наличност от 60% на участващите в осредняването индивидуални профили, графики в дясно – не е осъществена проверка за наличността на профилите взели участие в извеждането на осреднените профили.

При графиките от лявата страна на фигурата са изведени само времеви серии на осреднени профили с минимум 60 % наличност на индивидуалните профили определящи техните стойности (общо 35 на брой за всяка времева серия). В полето на скоростта на вятъра се наблюдава характерното за добре изразена бризова циркулация ядро в слоя над 100 m между 12 и 18 часа, при което се достигат максимални стойности на скоростта на вятъра ($4-5 \text{ ms}^{-1}$). Открояват се зоните на затишие в началото и края на бризовата клетка. Десните графики на [Фигура 4.5.2.1](#). разкриват денонощното изменение в полето на вятъра без да се поставя условие за 60% наличност на данните в изведените времеви серии и разкриват реалните времеви мащаби на осреднената времева клетка със същите количествени параметри: максимум в скоростта на вятъра ($4-5 \text{ ms}^{-1}$) на височини над 100 m между 12 и 18 часа. На графиката на посоката на вятъра (*горе в дясно*) се отличава преминаването на първичен фронт ниско при земята, който първичен фронт се забелязва и в първата времева серия на осреднените профили с наличност на данни над 60% (*лява графика*).

На [Фигура 4.5.2.2](#). са изведени аналогични данни за вертикалната скорост и нейната дисперсия. Това са останалите два от общо четирите параметъра, за които е поставено условието за едновременна наличност при този анализ на 35 бризови клетки. Положителни стойности на вертикалната скорост се наблюдават в целия наблюдаван слой от 50 до 250 m при зараждането на бризовата клетка. Възходящи движения се наблюдават през целия цикъл на осреднената бризова клетка, като максималните стойности са разположени близо до ЗП.

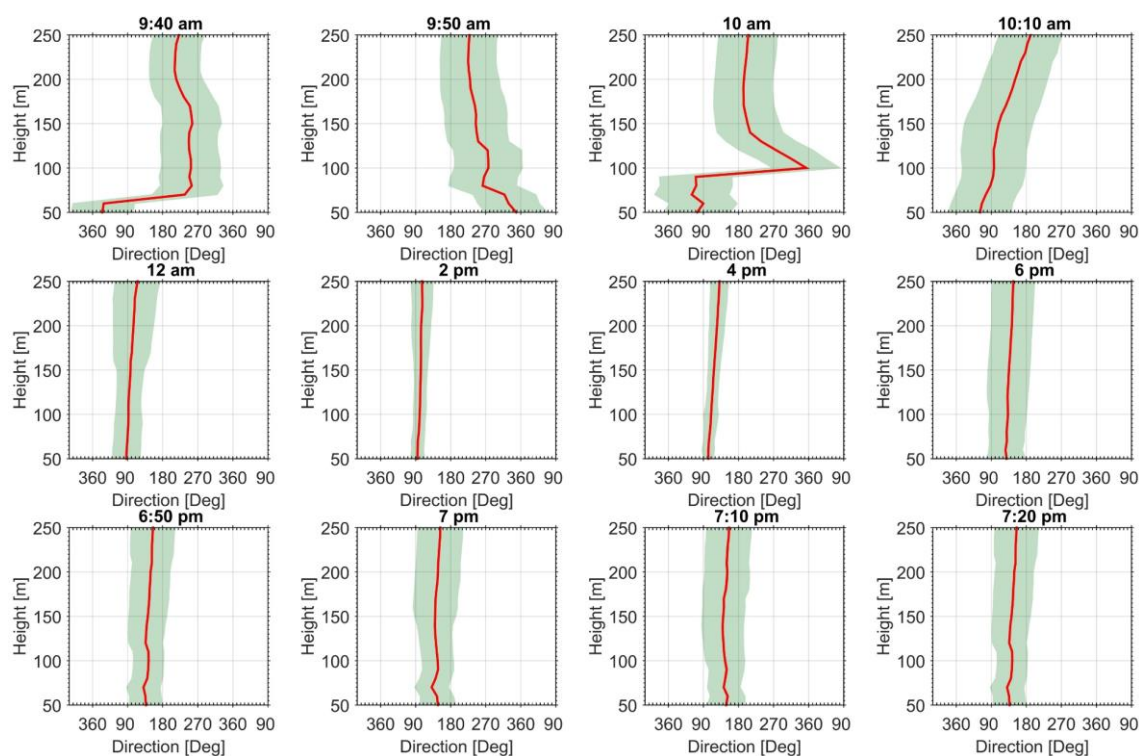


Фиг. 4.5.2.2. Пространствено-времево сечение на непрекъснати осреднени профили удовлетворяващи условието за едновременна наличност на 4 изходящи параметъра (*Dir, Speed, W, sigW*) от 35 дни, при които е регистрирана бризова клетка, през месеците от май до август на периода от 20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012г в МО Ахтопол. Горни две графики – вертикална скорост на вятъра, долни две графики – дисперсия на вертикалната скорост на вятъра. Графики в ляво – изпълнено условие за минимална наличност от 60% на участващите в осредняването индивидуални профили, графики в дясно – не е осъществена проверка за наличността на профилите взели участие в извеждането на осреднените профили.

Наблюдаваните изменения в полето на вертикалната скорост, в стадия на еволюцията на осреднената бризова клетка, се характеризират с изразен пулсационен характер, определен от термичното влияние на ЗП и издигането на термици във височина. В момента на средното настъпване на морския бриз около 10 часа положителна вертикална скорост от $0.01-0.02 \text{ ms}^{-1}$ се наблюдава в целия обхват на анализа (до 250 m) ([Фиг. 4.5.2.2](#). - горните две графики). Стойностите се леко спадат, но се задържат високи по време на морския бриз и постепенно намаляват след 16 часа с приключването на морския бриз.. В полето на дисперсията на

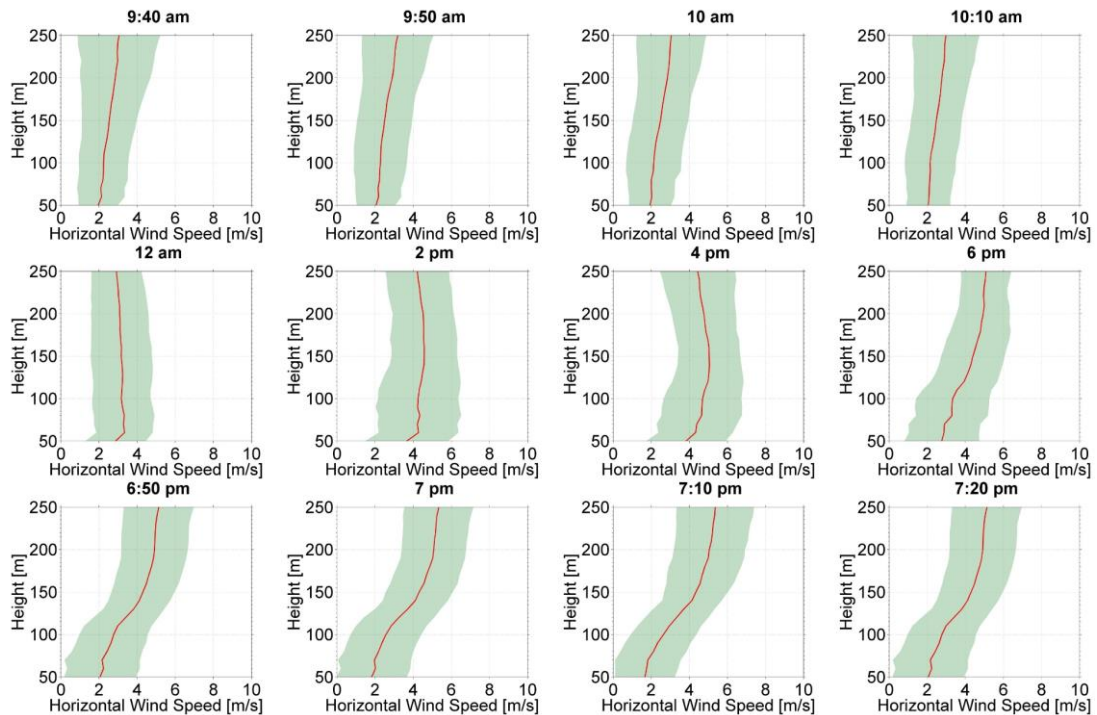
вертикалната скорост (Фиг. 4.5.2.2. - долните две графики) също се наблюдава силно изразен максимум в цялата височина на изведените осреднени профили в началото на бризова клетка около 10 часа.

За да се придобие представа за изменението на непрекъснатите осреднени профили през различните стадии на еволюция на осреднената бризова клетка, на Фигура 4.5.2.3. са представени профили на посоката на вятъра и изчислената им дисперсия в различни часове от денонощието. Графиките на първия ред описват наблюдаваните изменения в посоката на вятъра в началния стадии на развитие на бризовата клетка и обхващат преминаването на свързаните с нея локални фронтове - първичен и същински. При графиките на втория ред (Фиг. 4.5.2.3.) (12, 14, 16 и 18 часа) посоката на вятъра е откъм морето в цялата височина на осреднените профили, а постоянността в посоката на въздушния поток се характеризира от по-ниски стойности в дисперсията на профилите в 14 и 16 часа (< 20 Deg), когато бризовата клетка е достигнала своите оптимални размери. Последният ред графики на тази фигура характеризират края на бризовата клетка с плавно изменение в посоката на вятъра към южната четвърт в цялата височина на профилите, което е съпроводено и с увеличение на техните дисперсии, чиито средни стойности са близки до 50 Deg.

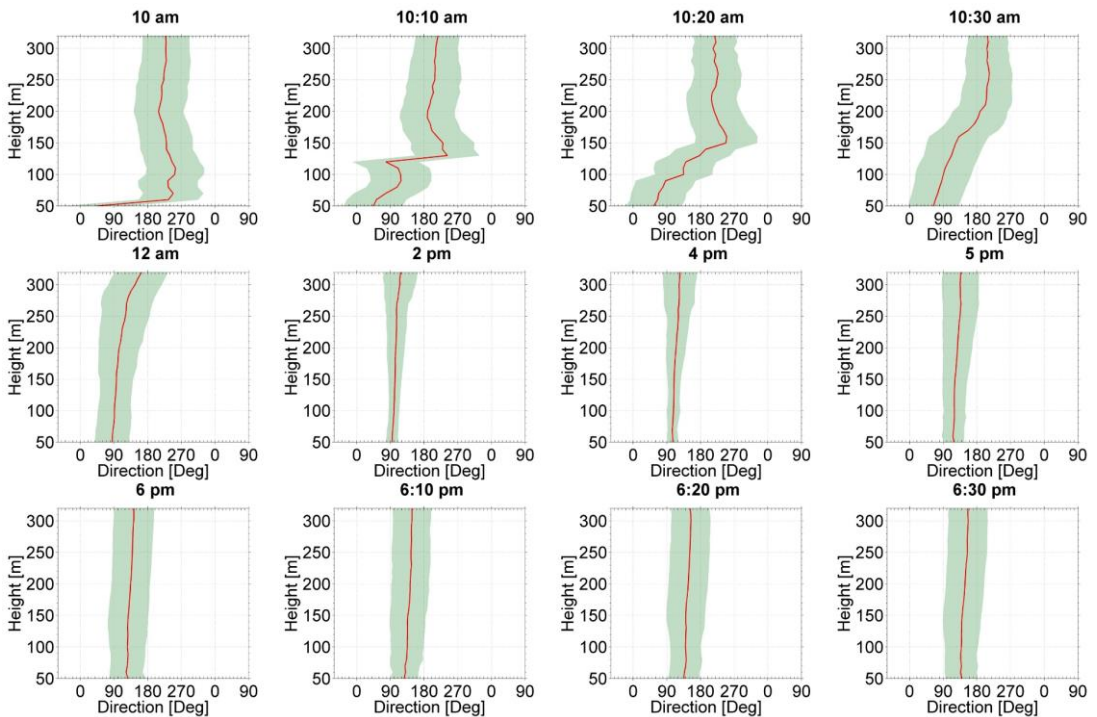


Фиг. 4.5.2.3. Непрекъснати осреднени профили на посоката на вятъра (линиите в червено), при едновременна наличност на 4 изходящи параметъра (Dir, Speed, W, sigW) от 50 до 250м., в различни моменти от еволюцията на бризова клетка в крайбрежния граничен слой (с минимум 60% наличност на данни, участващи в осредняването) и изчислената им дисперсия (зелената площ) при извършено осредняване на профили от 35 дена с бризови клетки, регистрирани визуално по данни от АССА в МО Ахтопол, през топлиите полугодия от месеците май до август за периода от 20 юни 2008 г. до 10 октомври 2012 г. (Barantiev et al., 2013)

На Фигура 4.5.2.4. са показани осреднени профили на скоростта на вятъра и тяхната дисперсия за различни моменти от деня, аналогично на Фигура 4.5.2.3. Скоростта на вятъра е сравнително постоянна с височината в сутрешните часове при преминаването на фронта на бризовата клетка. В следобедните часове се очертава максимум над височина 100 m и дисперсиите намаляват. Краят на бризовата клетка (последният ред графики) се характеризира с постепенно понижаване на стойностите на скоростта. Тази промяна започва първо близко до земната повърхност и е осезаема най-вече в долната част на профилите - под 100 m.



Фиг. 4.5.2.4. Непрекъснати осреднени профили на скоростта на вятъра (линиите в червено), при едновременна наличност на 4 изходящи параметъра (Dir, Speed, W, sigW) от 50 до 250м., в различни моменти от еволюцията на бризова клетка в крайбрежния граничен слой (с минимум 60% наличност на данни, участващи в осредняването) и изчислената им дисперсия (зелената площ) при извършено осредняване на профили от 35 дена с бризови клетки, регистрирани визуално по данни от АССА в МО Ахтопол, през топлите полугодия от месеците май до август за периода от 20 юни 2008 г. до 10 октомври 2012 г.

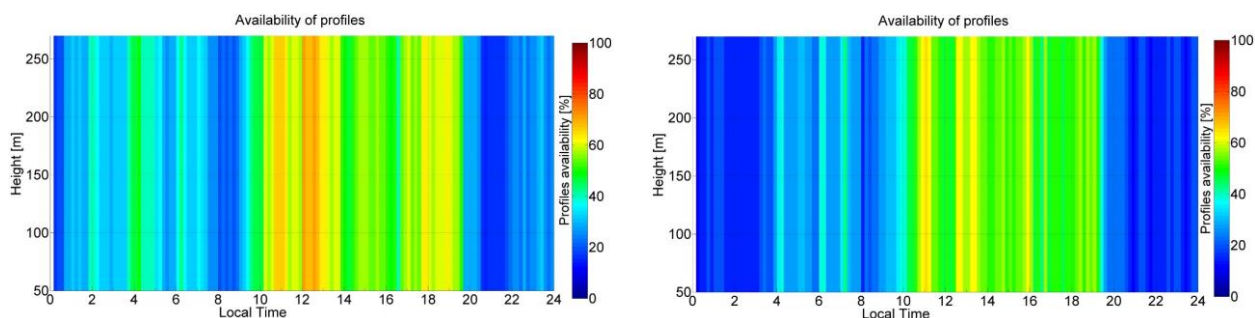


Фиг. 4.5.2.5. Непрекъснати осреднени профили на посоката на вятъра (линиите в червено), при едновременна наличност на 2 изходящи параметъра (Dir, Speed) от 50 до 320м., в различни моменти от еволюцията на бризова клетка в крайбрежния граничен слой (с минимум 60% наличност на данни, участващи в осредняването) и изчислената им дисперсия (зелената площ) при извършено осредняване на профили от 47 дена с бризови клетки, регистрирани визуално по данни от АССА в МО Ахтопол, през топлите полугодия от месеците май до септември за периода от 20 юни 2008 г. до 10 октомври 2012 г.

Включването на месеците септември в анализа увеличава броя на подбраните бризови клетки до 47 (Таб. 4.5.1.1), но характеристиките остават подобни на тези от по-малката извадка (Фиг. 4.5.2.5.). Минимални дисперсии на осреднените профили се наблюдават отново в 2 и 4 часа следобед, както и на Фигура 4.5.2.3.. Ясно изразената ситуация на преминаващ фронт в началото на клетката, постоянството на насочеността на потока в следобедните часове, както и плавното изменение на посоката на вятъра на последния ред на Фигура 4.5.2.5., определят също характеристиките на тази осреднена бризова клетка като типични за Клас II. Може да се отбележи, че в тези извадки по признаци влизат случаи на бризова циркулация от Клас I и Клас II, но поради преобладаващия брой ситуации от Клас II осреднените характеристики са близки до тези на Клас II.

4.5.3. Турбулентни характеристики на осреднени бризови клетки

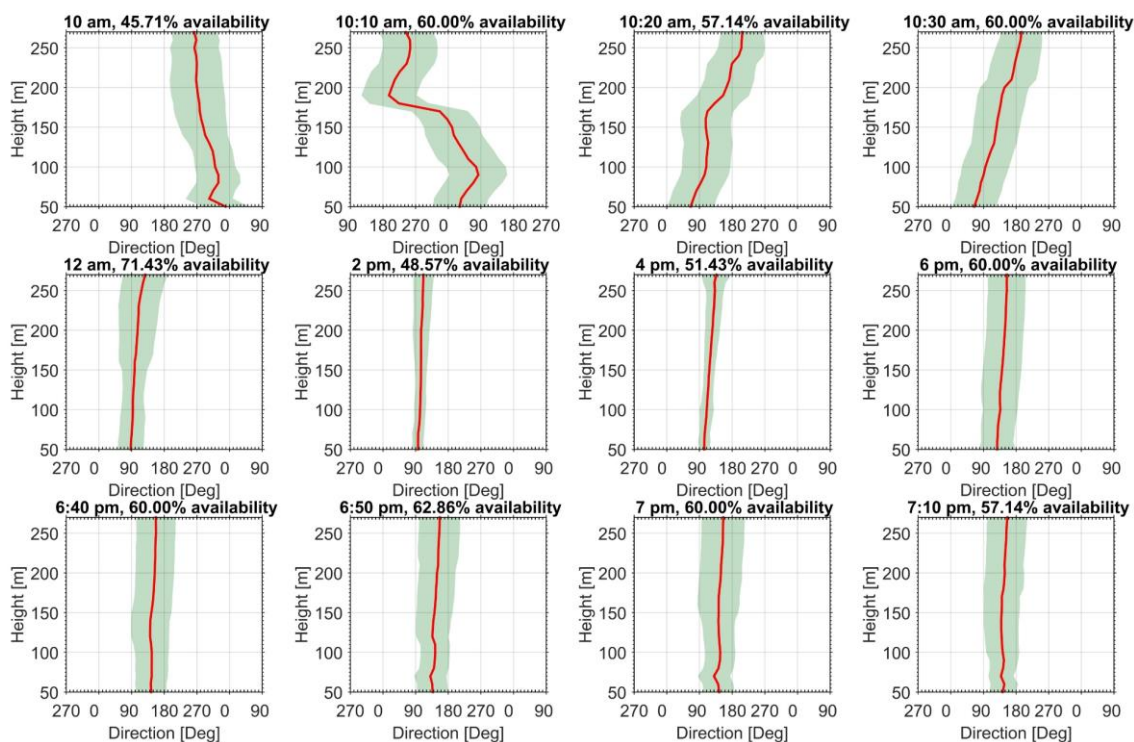
За да се придобие представа за изменението на турбулентните характеристики при осреднена бризова клетка, е необходимо да се завиши значително тежестта на условията за непрекъснатост и едновременна наличност, като ги приложим съответно към 8 и 12 изходящи параметъра. Тези условия са изпълнени при анализите на месечни периоди от май до август със съответно 35 и 26 подбрани бризови клетки (Таб. 4.5.1.1.). По-високата наличност в броя на едновременно изходящи параметри води от своя страна до занижаване на наличността при непрекъснати във височина индивидуални профили от съответните подбрани бризови клетки. Наличността на профилите от 50 m до 270 m, при едновременно изходящи 8 и 12 параметъра е представена на Фигура 4.5.3.1.



Фиг. 4.5.3.1. Пространствено-времево сечение на наличността на непрекъснати във височина профили от 50 до 270 m, удовлетворяващи условието за едновременна наличност на 8 изходящи параметъра (*Dir, Speed, W, sigW, U, V, EDR, TKE*) от 35 дни (лява графика) и удовлетворяващи условието за едновременна наличност на 12 изходящи параметъра (*Dir, Speed, sigSpeed, W, sigW, U, sigU, V, sigV, EDR, TKE, TI*) от 26 дни (дясна графика), при които е регистрирана бризова клетка, през месеците от май до август на периода от 20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012г в МО Ахтопол.

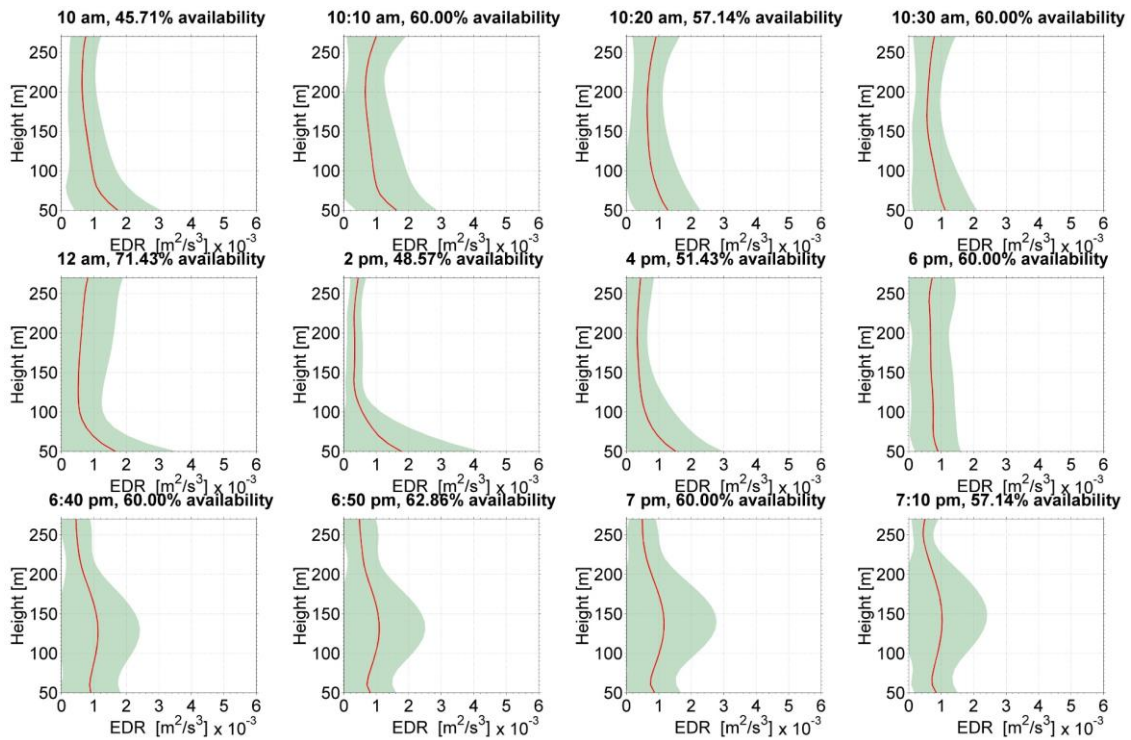
Лявата графика указва наличността на индивидуални профили при 35 бризови клетки и 8 непрекъснати и едновременно налични параметъра, докато на дясната е изведена наличността при анализа на 26 бризови клетки и 12 параметъра. Осезаемата по-ниска наличност през нощта, наблюдавана и при двата анализа, се дължи на ограничения в работния режим на содара през първите 2 години на неговата експлоатация. Наличност на индивидуални профили от минимум 60% се наблюдават през деня и при двата анализа, но за съжаление осреднените профили с такава наличност на данни не могат да покрият достатъчен период от време за да опишат турбулентните характеристики на изведените осреднени бризови клетки. Поради тази причина при тези два анализа, за да се опишат различните стадии от еволюцията на дневния крайбрежен граничен слой, се използват осреднени профили с под 60% наличност на данни. Изведените осреднени профили на Фигура 4.5.3.2. определят измененията в посоката на вятъра при различни стадии на еволюция на осреднена бризова клетка (изведена от 35 индивидуални) с едновременна наличност на 8 непрекъснати във височина изходящи параметъра. При част от

изложените времеви серии е отчетена наличност на данни под 60% (*Фигура 4.5.3.1.*), като най-ниската такава е малко над 45% и определя момента преди началото на бризовата циркулация (*Фиг. 4.5.3.2. - първа графика на горния ред*), при който морските ВМ са започнали да оказват въздействие върху характеристиките на крайбрежния граничен слой близо до ЗП. Това въздействие не може категорично да бъде определено, като преминаване на първичен фронт на изведената осреднена бризовата клетка, поради по-ниска наличност на данни в този момент и слабо изразеното въздействие на морските ВМ. Десет минути по късно (на графиката в 10:10 часа), при задоволителна наличност на данни, профилът на посоката на вятъра указва 150 m височина на бризовата клетка, над която е разположен преходен слой между двата основни типа ВМ достигащ до височина 190 m.

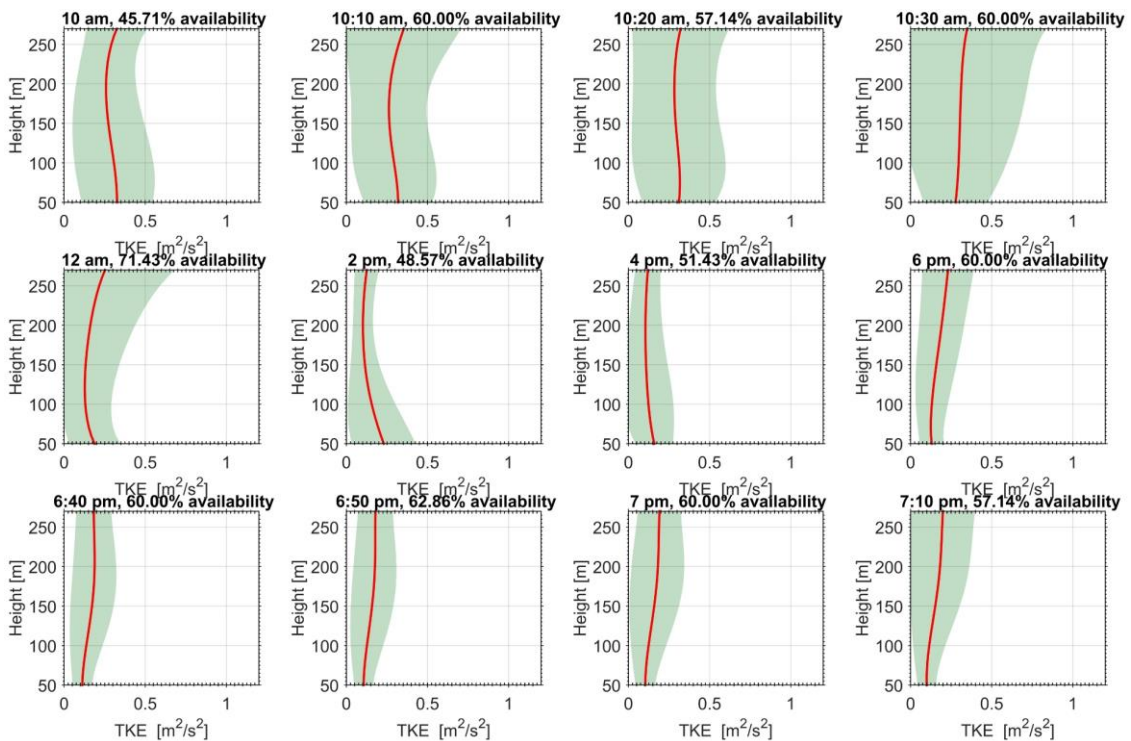


Фиг. 4.5.3.2. Непрекъснати осреднени профили на посоката на вятъра (линиите в червено), при едновременна наличност на 8 изходящи параметъра (Dir, Speed, W, sigW, U, V, EDR, TKE) от 50 до 270m., в различни моменти от еволюцията на бризова клетка в крайбрежния граничен слой (с различна наличност на данни, участващи в осредняването) и изчислената им дисперсия (зелената площ) при извършено осредняване на профили от 35 дена с бризови клетки, регистрирани визуално по данни от АССА в МО Ахтопол, през топлиите полугодия от месеците май до август за периода от 20 юни 2008 г. до 10 октомври 2012 г.

Осреднени профили на дисипацията на турбулентните вихри (EDR), описващи изменението на турбулентните характеристики през различните стадии на еволюция на осреднената бризова клетка във *Фигура 4.5.3.2.* са изложени на *Фигура 4.5.3.3.* Профилите на EDR близо до ЗП (на 60-70 m) на графики в 10 и 10:10 часа (моменти от зараждането на бризовата клетка) се характеризират с по-високи стойности и по-резки изменения в формата им от колкото последните две графики на същия ред, описващи нарастването на бризовата клетка в сутрешните часове. Първите три графики на втория ред на *Фигура 4.5.3.3.* определят изменението на EDR във вече зряла бризов клетка, преминала през стадия на нарастване. При изведените осреднени профили на турбулентната кинетична енергия (ТКЕ) на *Фигура 4.5.3.4.* също се наблюдават някои характерни особености в еволюцията на бризовата клетка. Като най-характерен признак е наличието на сравнително високи стойности на профилите в началото на бризовата клетка.



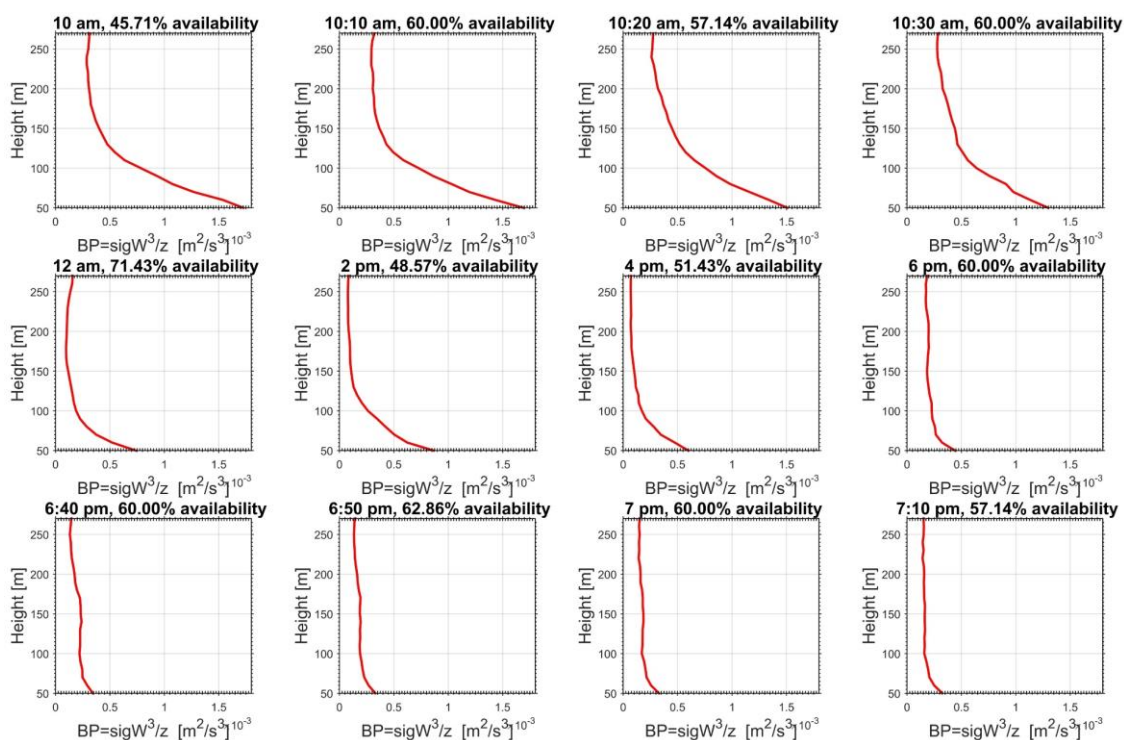
Фиг. 4.5.3.3. Непрекъснати осреднени профили на дисипацията на турбулентните вихри (линиите в червено), при едновременна наличност на 8 изходящи параметъра (Dir , $Speed$, W , $sigW$, U , V , EDR , TKE) от 50 до 270м., в различни моменти от еволюцията на бризова клетка в крайбрежния граничен слой (с различна наличност на данни, участващи в осредняването) и изчислената им дисперсия (зелената площ) при извършено осредняване на профили от 35 дена с бризови клетки, регистрирани визуално по данни от ACCA в МО Ахтопол, през топлиите полугодия от месеците май до август за периода от 20 юни 2008 г. до 10 октомври 2012 г.



Фиг. 4.5.3.4. Непрекъснати осреднени профили на турбулентната кинетична енергия (линиите в червено), при едновременна наличност на 8 изходящи параметъра (Dir , $Speed$, W , $sigW$, U , V , EDR , TKE) от 50 до 270м., в различни моменти от еволюцията на бризова клетка в крайбрежния граничен слой (с различна наличност на данни, участващи в осредняването) и изчислената им дисперсия (зелената площ) при извършено осредняване на профили от 35 дена с бризови клетки, регистрирани визуално по данни от ACCA в МО Ахтопол, през топлиите полугодия от месеците май до август за периода от 20 юни 2008 г. до 10 октомври 2012 г.

Стандартните отклонения на профилите в този период от еволюция на крайбрежния граничен слой са съпоставими със стойности на самите профили и дори се случва да ги надвишават. Това е признак за налична висока разходимост при стойностите на индивидуалните профили взели участие в извеждането на осреднените профили в този период. След началния стадий на бризовата клетка се наблюдава постепенен спад в стойностите на осреднените профили и техните дисперсии. В момента на оптимално развита бризова клетка (14:00 часа) се наблюдават относително високи стойности в долната половина от профила, като те са най-високи близо до ЗП. На графиката в 16:00 часа се наблюдават почти идентични стойности по цялата височина на профила. При профилите след този момент се наблюдават малко по-високи стойности в слоя от 100 до 200 m.

Увеличеният брой на едновременно налични изходящи параметри, при този анализ на бризова клетка, позволява извеждането на профили на потока на подемната или (Архимедовата) сила (BP), чрез наличния осреднен профил на вертикалната дисперсия (4.6.1.1.). Изведените профили на този допълнителен параметър, описващи етапите на развитие на осреднената бризова клетка са представени на *Фигура 4.5.3.5*. Началото на еволюцията на клетка се характеризира с изразени максимуми в стойностите на профилите на BP. BP има максимални стойности са разположени близо до ЗП поради сутрешното и бързо нагряване и намаляват приблизително параболично във височина. От сравнението на четирите графики на първия ред на *Фигура 4.5.3.5* се вижда, че максималните стойности при профилите на BP се наблюдават в 10 часа сутринта преди преминаването на локалния фронт на бризовата клетка в 10:10 часа. Височината до която стойностите на профилите намаляват сравнително бързо в процеса на развитие на бризовата клетка е 130 m.



Фиг. 4.5.3.5. Непрекъснати осреднени профили на потока на подемната сила (линиите в червено), при едновременна наличност на 8 изходящи параметъра (Dir, Speed, W, sigW, U, V, EDR, TKE) от 50 до 270m., в различни моменти от еволюцията на бризова клетка в крайбрежния граничен слой (с различна наличност на данни, участващи в осредняването) и изчислената им дисперсия (зелената площ) при извършено осредняване на профили от 35 дена с бризови клетки, регистрирани визуално по данни от ACCA в МО Ахтопол, през топлиите полугодия от месеците май до август за периода от 20 юни 2008 г. до 10 октомври 2012 г.

Измененията на стойностите на профилите близо до ЗП и достигането на изразени максимуми в най-ниската част на профилите са свързани със засиленото термичното влияние

на ЗП върху разположените сравнително по-хладни ВМ над нея в сутрешните часове. Относително високи стойности близо до ЗП продължават да се наблюдават до 14 часа, като след този час стойностите постепенно започват да намаляват. Намалява и височината, до която е налично термичното влияние на ЗП. На графиката в 16 часа тази височина е приблизително 100 m, докато в 18 часа тя е приблизително 70 m и не търпи изменение в крайния стадии на бризовата клетка. Тези характеристики могат да се свържат с височината на вътрешния граничен слой (ВГС) в периодите на стационарност на морския бриз – до 100 метра на разстояние 500 метра от брега (Фиг. 4.5.3.5.) при силно конвективни условия. Последният ред профили на Фигура 4.5.3.5. се характеризират с наблюдавани ниски стойности близо до ЗП, чиито изменения във височина не търпят съществени промени.

Осреднените характеристики на бризовата циркулация в МО Ахтопол разкриват важни детайли в еволюцията на крайбрежната локална циркулация в района, описвайки характерни изменения при редица параметри, както във височина, така и във времето. Обобщавайки информацията за количествените и качествени характеристики на наблюдавани в районна бризови клетки през определени времеви периоди води до нови знания и разбиране на протичащите локални процеси и свързаните с тях сили.

Характеристиките на осреднените клетки са близки до тези на бризова циркулация от Клас II с наличие на ясно изразен фронт в сутрешните часове. Характерната за топлото полугодие продължителност на морския бриз е 8 часа, като може да достигне и 10 часа до окончателното обръщане на вятъра откъм сушата. Наличното ядро в полето на скоростта на вятъра е издигнато във височина в зависимост от пространствените мащаби на клетката в областта на 150 m, като характерните максимални стойности на скоростта в него рядко надвишават 7 ms^{-1} и се регистрират след достигане на оптимални мащаби на бризовата клетка. Началото и краят на бризовата клетка се характеризират със зони на затишие в полето на скоростта, свързани с изменението на посоката на вятъра (Фиг. 4.5.2.1.). Фронталните системи на бриза са пряко свързани със зоните на затишие, като при тяхното преминаване се наблюдават високи стойности на вертикалната скорост и нейната дисперсия във височина и близо до ЗП по време на бризовата циркулация (Фиг. 4.5.2.1. и Фиг. 4.5.2.2.), както и при други турбулентни параметри (Фиг. 4.5.3.3., Фиг. 4.5.3.4. и Фиг. 4.5.3.5.). Еволюцията на бризовите клетки е определена от типично пулсационно изменение на количествените и качествени параметри на крайбрежната локална циркулация, които са най-силни при преминаване на локалния фронт, и са ясно изразени чрез наличието на първични локални фронтове, и резки изменения на вертикалните пространствени мащаби на бризовата клетка (Фиг. 4.5.2.2., Фиг. 4.5.2.3. и Фиг. 4.5.2.5.). Измененията на осреднените характеристики на потока на подемната сила са в пряка връзка с влиянието на ЗП върху морския въздушен поток и са индикация за височината на крайбрежния вътрешен граничен слой (ВГС) в периодите на стационарност на морския бриз – около 100 метра на разстояние 500 метра от брега (Фиг. 4.5.3.5.).

Обобщени резултати от анализите на осреднени бризови клетки в района на Ахтопол са показани в Таблица 4.5.3.1.

Анализът на данните от приземните измервания и от акустичното сондиране за 4 годишен период доведоха до формулирането на класификация на случаите с бризова циркулация в три типа/класа, което е принос на настоящата работа.

Анализът на осреднените бризови клетки е също принос на дисертацията, тъй като създава ново знание за характерните особености на бризовата циркулация в изследвания район, базирана на данни за профилите на средните и турбулентни характеристики на вятъра.

При достатъчно голям период от време с акустични дистанционни измервания, този подход на статистическо изследване би могъл да допринесе за извеждането на климатични данни за структурата на крайбрежният граничен слой в условия на бризовата циркулация през различни сезони и месеци.

Табл. 4.5.3.1. Анализи на осреднени бризови клетки в района на Ахтопол от 20.07.2008 г. до 10.10.2012 г

Според периодите на изследване и броя на параметрите осреднените бризови клетки са изчислени от различен брой дни от общо 86				
Характеристики на осреднената бризова клетка	47 дни (два параметъра - май до септември) по фиг. 4.5.2.5.	35 дни (4 параметъра - май до август) по фиг. 4.5.2.1. - 4.5.2.4.	35 дни (8 параметъра - май до август) по фиг. 4.5.3.2. - 4.5.3.5.	26 дни (12 параметъра - май до август) по фиг. 4.5.3.6. - 4.5.3.7.
Час на настъпване	10:10 h	10:00 h	10:10 h	10:10 h
Клас, според въведената в глава 4.3 класификация	Клас II	Клас II	Клас II	Клас II
Продължителност	над 8 h	над 8 h	над 8 h	над 8 h
Първичен локален фронт	10:00 h	09:40 h		
Вертикални размери на осреднената бризова клетка – слой на морския бриз, зона на затишие, обратен поток	височина на клетката: 10:10 h - 120 m, 10:20 - 150 m; Обратен поток при оптимални размери - не е в обхвата на анализа (над 320 m)	височина на клетката: 10:00 h - 100 m, 10:10 - 190 m; зона на затишие - над 2 h, в началото близо 200 m над ЗП, в края до 120 m; Обратен поток при оптимални размери - не е в обхвата на анализа (над 250 m)	височина на клетката: 10:10 h 150 m + 40 m преходен слой (пространствени вертикални мащаби на локалния фронт). Обратен поток при оптимални размери - не е в обхвата на анализа (над 270 m)	пространствени изменения на локалния фронт: в 10:10 h зона между 190 и 220 m, 10:20 h между 160 и 200 m, 10:30 h между 180 и 210 m. Обратен поток при оптимални размери - не е в обхвата на анализа (над 270 m)
Долна и горна граница на ядрото на максималната скорост		долна граница: над 140 m, горна граница: 240 m		
Максимална скорост		5 - 6 ms ⁻¹		
Час на достигане на максималната скорост		16:30 ÷ 17:00 h		
Индикация за височина на ВГС			EDR, TKE, BP: 12h-100 m, 14 h - 140 m, 16 h - 100 m;	

4.6. Осреднени характеристики на морски ВМ и ВМ откъм сушата

Целта на представения в тази част от дисертацията анализ е да се използват содарните данни за получаване на информация за структурата на АГС в случаите на въздушни маси с определен произход – морски или от сушата. По този начин содарните данни могат да се използват за проверка на различни теоретични модели и наблюдаваните профили могат да се сравнят с такива от други измервания в условията на хомогенна постилаща повърхност. При измерването на профили на метеорологичните елементи чрез метеорологични мачти/кули и радиосондажи с привързани или свободни балони е характерна непрекъснатост на профилите при нормална работа на приборите. При измерванията с дистанционни прибори може да съществуват височини от които не постъпват данни или са отхвърлени от алгоритмите за качество на сигнала. При доплеровите лидари за непрекъсната наличност на данни в профилите е необходимо наличие на аерозоли в атмосферата, а за содарите – наличие на температурни нееднородности. Така, в области с много ниско съдържание на аерозоли работата на лидарите е затруднена, а работата на содарите е затруднена в зони с хомогенни температурни условия. Тези особености водят до различна наличност на данни в профилите на различни височини и възможности за различен подход при анализите – всички профили (макар и непълни) или филтрирани данни – извадки отговарящи на различни условия.

Разположението на бреговата ивица на югоизточното Българско Черноморие, и в частност в района на МО Ахтопол, е показано на сателитна снимка (google maps) на *Фигура 4.6.1. а*. На нея ясно се вижда, че в продължение на над 35 км в югоизточна посока от гр. Приморско, разположението на бреговата ивица не се изменя съществено (няма дълбоко врязани в сушата заливи, нито издадени навътре в морето носове) и за нейна географска посока може да се приемат стойностите от 320 към 140 градуса. При пренос (навлизане) на морски ВМ над ЗП започва тяхната трансформация поради взаимодействието им с новата подложна повърхност (суша), като степента на трансформиране и промяната на характеристиките на морските ВМ над ЗП са пропорционални на изминатото от тях разстояние над самата ЗП (*глава 1.1. – сформирани на ВГС*). На *Фигура 4.6.1. б*) е показана сателитна снимка на района на МО

Ахтопол, върху която са показани разстояния в метри (за целта е използвана програмата Google Earth) до местоположението на содара от различни точки от бреговата ивица, определени чрез “разгънато ветрило” от географски посоки (на всеки 5 градуса) от 320 до 140 градуса.

При анализа на морски ВМ е направено разграничаване на различни техни типове, в зависимост от изминатия път над ЗП преди да попаднат в обхвата на содара, чрез направен подбор на „прозорци“ на посоката на вятъра (интервали от географски посоки) както следва:

- от 0 до 120 градуса - типични морски ВМ;
- от 35 до 80 градуса – морски ВМ изминали разстояние от 390 m до 584 m над ЗП;
- от 355 до 15 градуса и от 100 до 125 градуса – морски ВМ изминали разстояние от 980 m до 1170 m над ЗП;
- от 325 до 350 градуса и от 130 до 135 градуса – морски ВМ изминали разстояние от 1620 m до 2480 m над ЗП;

Морските ВМ с посока от 0 до 120 градуса са разгледани също така през различни части от денонощието. Информация за направените анализи на морски ВМ на територията на МО Ахтопол и условията, които те удовлетворяват са изложени в [Таблица 4.6.1](#).



а) разположение на бреговата ивица;



б) отстояния до МО Ахтопол от бреговата ивица;

Фиг. 4.6.1. Сателитни снимки (google maps) оказващи: а) разположение на бреговата ивица в югоизточната част на Българско Черноморие: приблизително направление с посока от северозапад към югоизток; б) районът на МО Ахтопол с отстоянията в метри до Содара от бреговата ивица, отчетени на всеки 5 градуса изменение в географската посока от 320 до 140 градуса

При едни и същи поставени условия, в анализа на морски ВМ изминали различен път над ЗП, най-висок брой на изведени профили отговарящи на поставените изисквания се наблюдава при ВМ изминали разстоянието между 390 m и 584 m, чиято посока е характерна за квазистационарни условия на локалната циркулация през деня.

От *Фигура 4.6.1.* а се вижда, че за типична посока на ВМ откъм сушата, би могло да се определи географската посока от 170 до 290 градуса. Извършените анализи, на извлечени профили според посоката на вятъра отговарящи на ветрове откъм сушата, са представени в *Таблица 4.6.2.*

*Табл. 4.6.1. Извършени анализи на морски ВМ определени според подобрени периоди от денонощието и според изминат път над сушата до тяхното локализиране от АССА. В таблицата са оказани също така максимално достигната височина и максимален брой на профилите взели участие при съответния извършен анализ. Значение на изпълнените условия при различните анализи са както следва: 1 – непрекъснатост на профилите; 2 – едновременна наличност на 12 изходящи параметъра от содара; 3 – достигане на минимум 100m височина на профилите участващи при изготвянето на осреднения профил; * - профилите започват от 50 m над ЗП; N/A – няма поставени условия;*

Разглеждан период от 20/07/2008 г. до 10/10/2012 г (общо наблюдения - 1454 дена)			
Анализ на профили на морски ВМ 0 ÷ 120 Deg	Максимална височина [m]	Максимален брой профили	Поставени условия
Всички морски ВМ	700	18 769	3
дневни ВМ (09 ÷ 17h)	450*	37*	1 и 2*
дневни през студеното полугодие (ноември ÷ март, 597 дена)	610 / 660	24 588 / 11 432	2 / 3
дневни през топлото полугодие (май ÷ септември, 631 дена)	660	2 230	3
нощни ВМ (21 ÷ 05h)	610	7160	3
нощни през студеното полугодие (ноември ÷ март, 597 дена)	570 / 660	7 348 / 2 296	2 / 3
нощни през топлото полугодие (май ÷ септември, 631 дена)	660	813	3
нощни през топлото полугодие (май ÷ септември, 631 дена)	600	1 013	3
Анализ на профили на морски ВМ при различен пробег над суша	Максимална височина [m]	Максимален брой профили	Поставени условия
35 ÷ 80 Deg 390 ÷ 584 m	700	2485	3
355 ÷ 15 Deg и 100 ÷ 125 Deg 980 ÷ 1170 m	150 / 250 / 270 / 320 / 350 / 450 / 700 / 700	1 883 / 1 092 / 1 011 / 873 / 810 / 746 / 1 883 / 23 149	3 3 3 / N/A
325 ÷ 350 Deg и 130 ÷ 135 Deg 1620 ÷ 2480 m	610	124	3

*Табл. 4.6.2. Извършени анализи на ВМ откъм сушата, локализиране от АССА и определени според подобрени периоди от денонощието, както и според подобрени периоди от годината. В таблицата са оказани също така максимално достигната височина и максимален брой на профилите взели участие при съответния извършен анализ. Значение на изпълнените условия при различните анализи са както следва: 1 – непрекъснатост на профилите; 2 – едновременна наличност на 12 изходящи параметъра от Содара; 3 – достигане на минимум 100m височина на профилите участващи при изготвянето на осреднения профил; * - профилите започват от 50 m над ЗП; N/A – няма поставени условия;*

Разглеждан период от 20/07/2008 г. до 10/10/2012 г (общо наблюдения - 1454 дена)			
Анализ на профили на ВМ откъм сушата 170 ÷ 290 Deg	Максимална височина [m]	Максимален брой профили	Поставени условия
ВМ откъм сушата	550* / 700	43* / 15 091	1 и 2* / 3
дневни ВМ (09 ÷ 17h)	450*	56*	1 и 2*
дневни през студеното полугодие (ноември ÷ март, 597 дена)	550 / 660	8 853 / 3 059	2 / 3
дневни през топлото полугодие (май ÷ септември, 631 дена)	660	2 011	3
нощни (21 ÷ 05h)	610	445	3
нощни през студеното полугодие (ноември ÷ март, 597 дена)	550*	36*	1 и 2*
нощни през топлото полугодие (май ÷ септември, 631 дена)	630 / 700	22 413 / 6 654	2 / 3
нощни през студеното полугодие (ноември ÷ март, 597 дена)	660	3 346	3
нощни през топлото полугодие (май ÷ септември, 631 дена)	700	1 975	3

Три основни типа анализи са оказани в тази таблица: анализ на всички ВМ откъм сушата (с посока на вятъра от 170 до 290 градуса) от 1454 денонощия, анализ на дневни и анализ на нощни ВМ откъм сушата. При извършените съответни дневни и нощни анализи, са изведени също така профили, принадлежащи на два основни периода от годината: от май до септември и от ноември до март, характеризиращи съответно топлото и студено полугодие. Условието използвани при различните анализи (условия 1,2,3 и *) на ВМ откъм сушата са аналогични на тези от [Таблица 4.6.1](#). Общият брой на регистрираните профили с посока на вятъра от 170 до 290 градуса и минимална достигната височина от 100 m (условие 3) е 15091 броя, от които 43 броя изпълняват едновременно условие 1 и 2 при фиксирана дължина на изведения осреднен профил от 50 до 550 m над ЗП. Таблицата също така показва по-висока брой на регистрирани ВМ откъм сушата през нощта (6654 профила) от колкото през деня (3059 профила), при изпълнение на условие 3. Това от части се дължи на съществуващата локална циркулация (нощен бриз) в района на МО Ахтопол, през топлата част на годината, видимо и от броя на изведените нощни и дневни профили през месеците от май до септември (1975 профила / 445 профила). От гледна точка на подбраните топъл и студен периоди, броят на извлечени профили характеризиращи пренос на ВМ откъм сушата е по-голям през студената част от годината от колкото през топлата, което от своя страна се дължи на общия западно-източен пренос при крупномащабните процеси в атмосферата и локалната циркулация.

4.6.1. Характеристики на вертикалните профили при морски ВМ

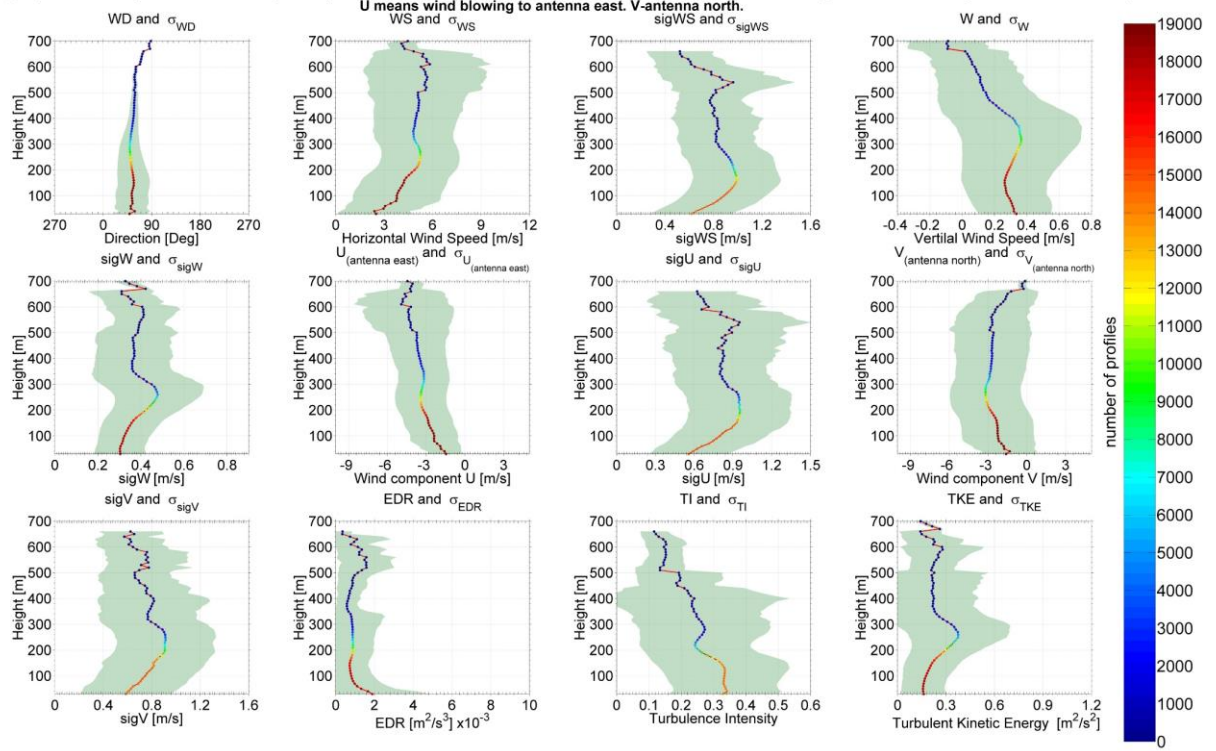
Всички морски ВМ: на [Фигура 4.6.1.1](#) са показани резултати от осредняването на изведени профили, на 12 изходящи параметъра от АССА, носещи характеристиките на морски ВМ. За извеждането на осреднените профили са използвани всички налични и различни по височина профили отговарящи на условията за посока на вятъра (от 0 до 120 градуса) и минимално достигната височина от 100 m.

Изследвания базирани на данни от дистанционни измервания в последните години показват възможността профилите на турбулентните характеристики (sigW, ТКЕ, ВР и други) да се използват за оценка на височината на АГС ([Illingworth et al., 2013](#); [Illingworth et al., 2015](#)). При липса на данни за профилите на температурата и влажността в атмосферата, тези анализи дават възможност за извличане на повече информация от данните за вятъра. Докато при лидарите пресмятането на sigW е базирано на отразен от аерозолите сигнал, то при содарите измерването на турбулентните характеристики е в основата на метода. В тази дисертация, всички профили на турбулентните параметри се представят и изследват първо като първа информация от дългогодишни измервания у нас и второ, като основа за извеждане на характеристики на АГС, включително и височината му.

На графиката на дисперсията на вертикалната скорост (sigW) на [Фигура 4.6.1.1](#) е очертан ясен пик в стойностите на изведения осреднен профил на височина от 250 - 300 m над ЗП, обуславяйки височина или друга характеристика на морски АГС. Същата височина се потвърждава и от максимума в профила на турбулентната кинетична енергия (ТКЕ).. Освен с височина на морския АГС наблюдаваните максимуми в профилите на турбулентните характеристики могат да се свържат и с местоположението на ядрото с най-високи скорост при квазистационарния период на морския бриз. Подобна хипотеза не е срещната в литературата, и още по-задълбочена интерпретация предстои.

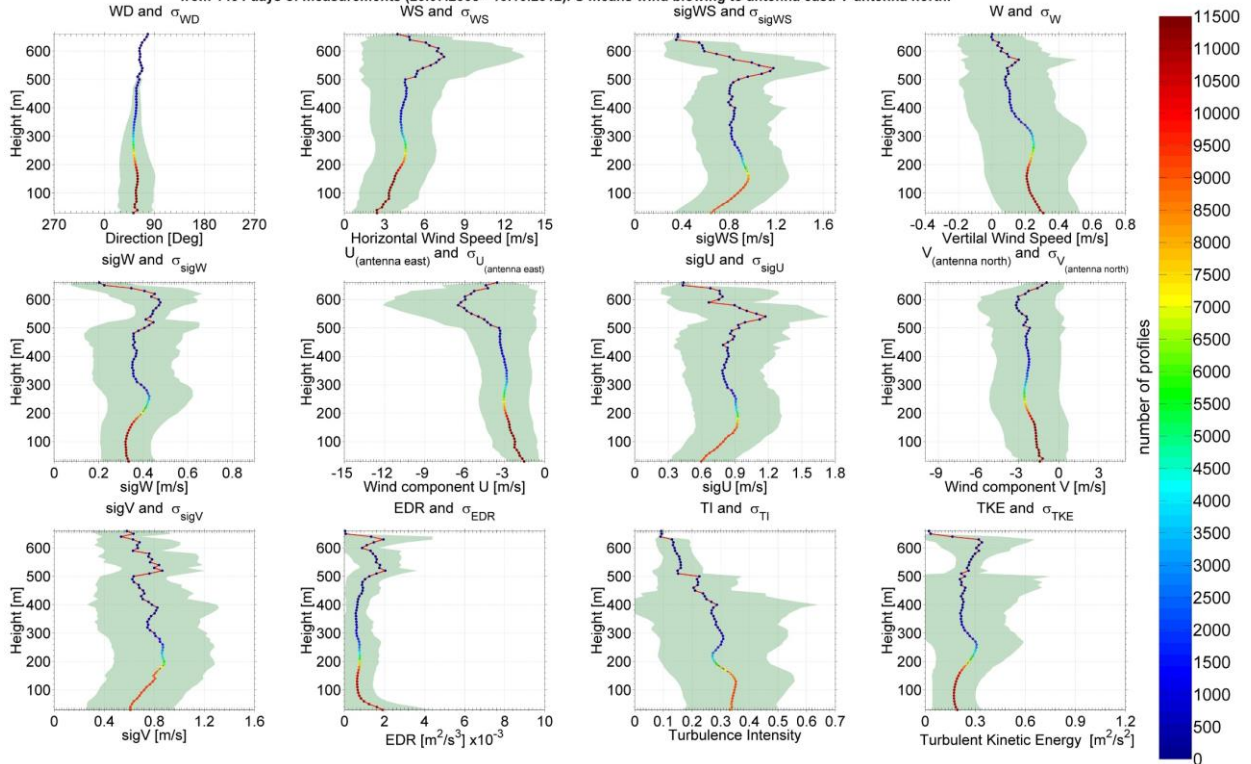
Дневни морски ВМ: На [Фигура 4.6.1.3](#), за извеждането на 12 осреднени дневни профила и техните дисперсии, са използвани всички налични и различни по височина профили (без изискване за фиксирана максимална височина на профила) отговарящи на условията за посока на вятъра откъм морето (от 0 до 120 градуса) и минимална височина от 100 m.

Averaged profiles from up to 18769 selected profiles (according wind direction - air masses from sea, 0-120 Deg) from 1454 days of measurements (20.07.2008 - 10.10.2012).



Фиг. 4.6.1.1. Осреднени профили и техните дисперсии на 12 изходящи параметъра (MFAS-SCINTEC) изготвени от различен брой профили във височина, участвали при осредняването. Всичко 18769 подбрани профила (посока на вятъра от 0 Deg до 120 Deg в цялата височина на профила и минимална височина от 100 m) от общо 1454 дена с измервания в МО Ахтопол през периода от 20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012 г.;

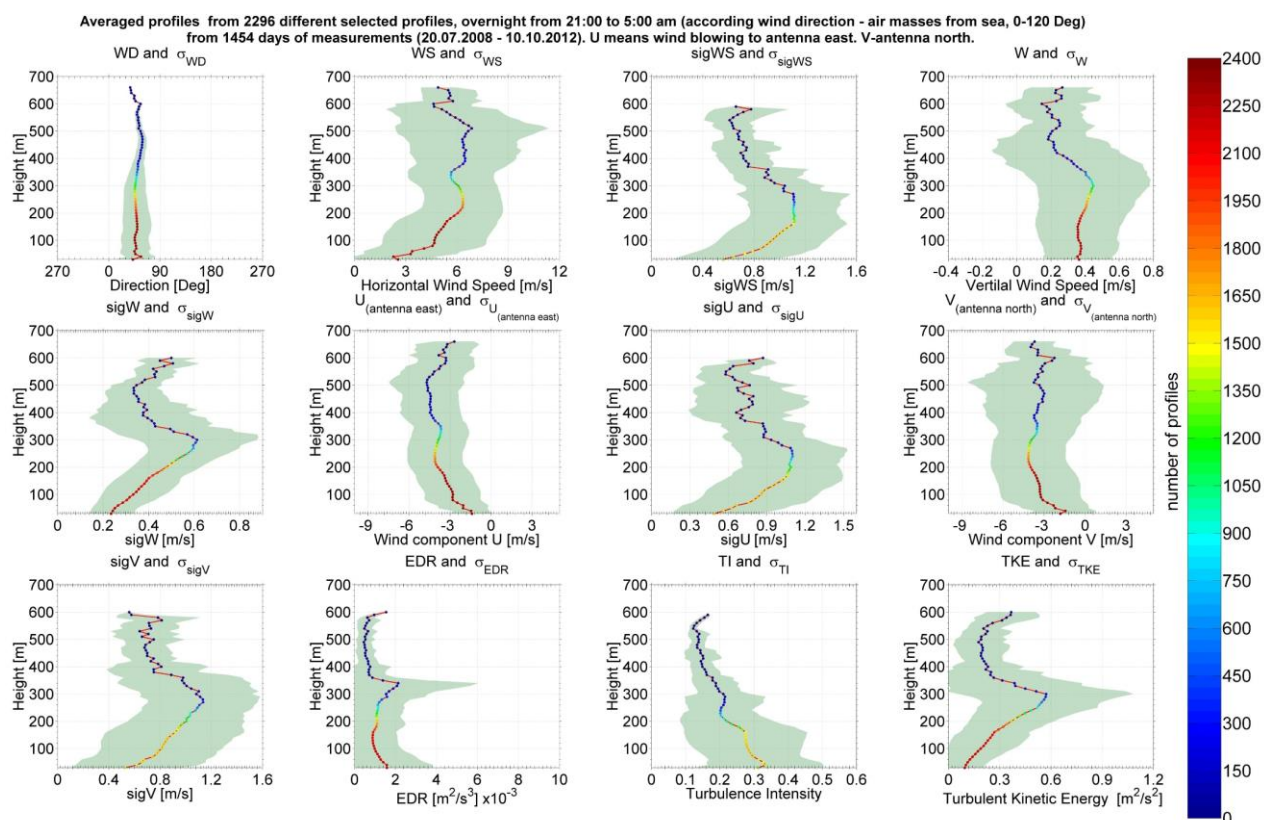
Averaged profiles from 11432 different selected profiles, daytime from 09:00 am to 5:00 pm (according wind direction - air masses from sea, 0-120 Deg) from 1454 days of measurements (20.07.2008 - 10.10.2012). U means wind blowing to antenna east. V-antenna north.



Фиг. 4.6.1.3. Осреднени дневен профили и техните дисперсии на 12 изходящи параметъра (MFAS-SCINTEC) изготвени от 11432 подбрани профила (посока на вятъра от 0 Deg до 120 Deg в цялата височина на профила във времевия интервал от 09:00 до 17:00 часа) от общо 1454 дена с измервания в МО Ахтопол през периода от 20.07.2008 г. до 10.10.2012 г.

Формата на изведените осреднени профили в голяма степен наподобяват тези от *Фигура 4.6.1.1.* и направените изводи към нея важат и в този случай, поради факта че близо 61 % от индивидуалните профили на всички морски ВМ са във определения във *Фигура 4.6.1.3.* дневен времеви интервал от 9 до 17 часа. Височината с ясно изразен пик при осреднените профили на sig W и ТКЕ на 260 m над ЗП на *Фигура 4.6.1.3.*, както бе дискутирано по-горе може да бъде асоциирана с височина на устойчив морски АГС или със зоната на максимална скорост в бризовите клетки. В профила на TI се наблюдава максимум на височина от около 130 m— тази височина може да се интерпретира като височина на конвективен ВГС. При няколко параметъра има максимум на височина 600 m, която може да се свърже с височина на неутрален или слабо устойчив АГС, но профилите са малко.

Нощни морски ВМ: За извеждане на 12-те графиките на *Фигура 4.6.1.4.* са използвани осреднени стойности от максимум 2296 извлечени профила, носещи характеристиките на нощни морски ВМ отговарящи на условия 2 и 3. За разлика от дневните осреднени профили на *Фигура 4.6.1.3.*, при нощните профили на W, sigW и TI се виждат ясно изразени пикове, при които става изменение в знака на градиента на профилите, на височина от 300 m над ЗП.. Такъв ясно изразен пик се наблюдава и при осреднения профил на дисипация на турбулентните вихри (EDR) но неговата височина е на 340 m над ЗП. Този тип нощни морски ВМ не са типични за топлото полугодие в разглеждания район, когато е характерно да се наблюдава развитие на нощна бризова циркулация откъм сушата. Следователно, по-голяма тежест в осреднените профили имат условията от студеното полугодие, преходните сезони и синоптични обстановки с източен и североизточен пренос.



Фиг. 4.6.1.4. Осреднени нощни профили и техните дисперсии на 12 изходящи параметъра (MFAS-SCINTEC) изготвени от 2296 подобрани профила (посока на вятъра от 0 Deg до 120 Deg в цялата височина на профила във времеви интервал от 21:00 до 05:00 часа) от общо 1454 дена с измервания в МО Ахтопол през периода от 20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012 г.

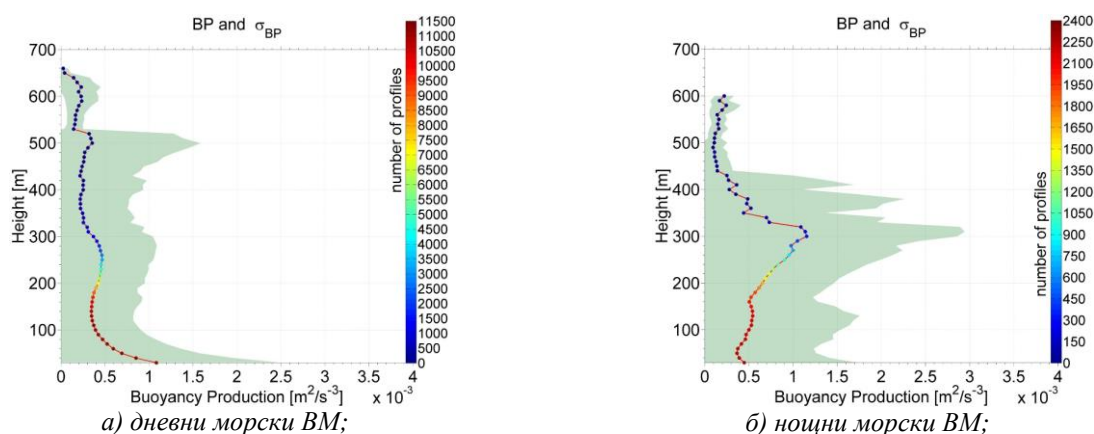
Поради това, в този случай свързваме наблюдаваните ясно изразени пикове на W , $\text{sig}W$ и ТКЕ на височина 300 m, с височина на слабо неустойчив или неутрален морски АГС, поради относително по-топлата водна повърхност през студеното полугодие.

Слабият изразен положителен пик на 40 m от ЗП при ТП, подкрепен от не изменящите се стойности на EDR до тази височина и наблюдаваните слаби пикове при WD, WS и W могат да се асоциират с височина на сформиран ВГС при доминиращ фактор смяната на грападостта на постилащата повърхност.

Използвайки определение за потока на подемната сила (BP - Buoyancy Production) при сравнението му с профил на потенциалната температура (Engelbart et al., 2009) и използвайки изведените от содара профили на $\text{sig}W$, могат да се изведат профили за BP от (4.6.1.1.):

$$\beta = \frac{\sigma_w^3}{z} \quad (4.6.1.1.)$$

На *Фигура 4.6.1.5* са изведени стойности на BP по формула (4.6.1.1.), на дневни и нощни морски ВМ, потвърждаващи направените до тук коментари за наблюдавани пикови стойности в осреднените профили и техните дисперсии. Потокът на архимедовата сила, или оценката на генериране на турбулентност поради конвекция се очаква и е максимален при ЗП и намалява с височината достигайки до стойност, характерна за по-висок слой в атмосферата. Високи стойности на BP могат да се очакват и в зоната на взаимодействие или увличане над конвективен граничен слой, където се осъществява преносът на по-топли въздушни маси от по-горния устойчив слой. На *Фигура 4.6.1.5* през деня BP намалява до 130 m, а през нощта до 50 m, което е показател за конвективен или неутрален ВГС и морски не смутени ВМ над него съответно през деня и през нощта. При дневните морски ВМ има слабо изразен пик на 260 m а при нощните морски ВМ (*Фиг. 4.6.1.5* - б) има ясно изразен пик на 300 m над ЗП. Така, чрез анализ на профилите на BP можем да потвърдим, че нощем височината на морския АГС (слабо конвективен или неутрален) е около 300 m. Липсата на ясен максимум в BP около 260 m през деня потвърждава извода, че тази характерна височина за морските ВМ през деня не е свързана с височина на АГС, а с динамиката на морския бриз.



Фиг. 4.6.1.5. Осреднени профили и техните дисперсии на потока на подемната сила (BP) изведени от съответни: а)дневни (от 09:00 до 17:00 часа) и б)нощни (от 21:00 до 05:00 часа) профили на sigW (посока на вятъра от 0 Deg до 120 Deg в цялата височина на профилите) от общо 1454 дена с измервания в МО Ахтопол през периода от 20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012 г.

Резултатите от анализите на морски ВМ са обобщени в *Таблица 4.6.1.1.*

Табл. 4.6.1.1. Характеристики на морски ВМ

Извадки от данни							
колона	1	2	3	4	5	6	7
Характеристики на АГС	Всички морски ВМ (фигури 4.6.1.1.) по ТКЕ, sigW	Всички дневни морски ВМ (61% от случаите в колона 1) (фиг. 4.6.1.2., 4.6.1.3., 4.6.1.5.) по Тl, ТКЕ, ВР, sigW	Летни дневни морски ВМ (63% от случаите в колона 2)	Зимни дневни морски ВМ (20 % от случаите в колона 2)	Всички нощни морски ВМ (12% от случаите в колона 1) (фиг. 4.6.1.4., 4.6.1.5.) по Тl, ТКЕ, EDR, ВР, sigW	Летни нощни морски ВМ (44 % от случаите в колона 5)	Зимни нощни морски ВМ (35 % от случаите в колона 5)
Височина на АГС	600 m	500 m			300 m		
Височина на ВГС		70 / 130 m			40 m		
Височина на ядрото с максимална скорост	250 - 300 m	260 m					

Влияние на дължината на пробега на морските ВМ над сушата: Разглеждането на осреднени профили представителни за различни дължини на пробега на морските ВМ над сушата цели да се провери дали в данните от содара може да се наблюдава формирането на ВГС над сушата. Височината на конвективния ВГС зависи от потока топлина и скоростта на триене при земната повърхност (т.е. от термичните и динамични фактори определящи турбулентността над сушата, от скоростта на морския поток и стратификацията в него, от пробега на морските ВМ над сушата или с други думи от времето и пространството за осъществяване на процеса на трансформация над новата повърхност (Garratt, 1990; Melas and Kambezidis, 1992; Batchvarova et al., 1999). На три фигури (Фиг. 4.6.1.6., Фиг. 4.6.1.7. и Фиг. 4.6.1.8.) са представени профилите на 12-те променливи при основна разлика дължината на пробега на морските ВМ над земната повърхност и се търси индикация за височината на ВГС.

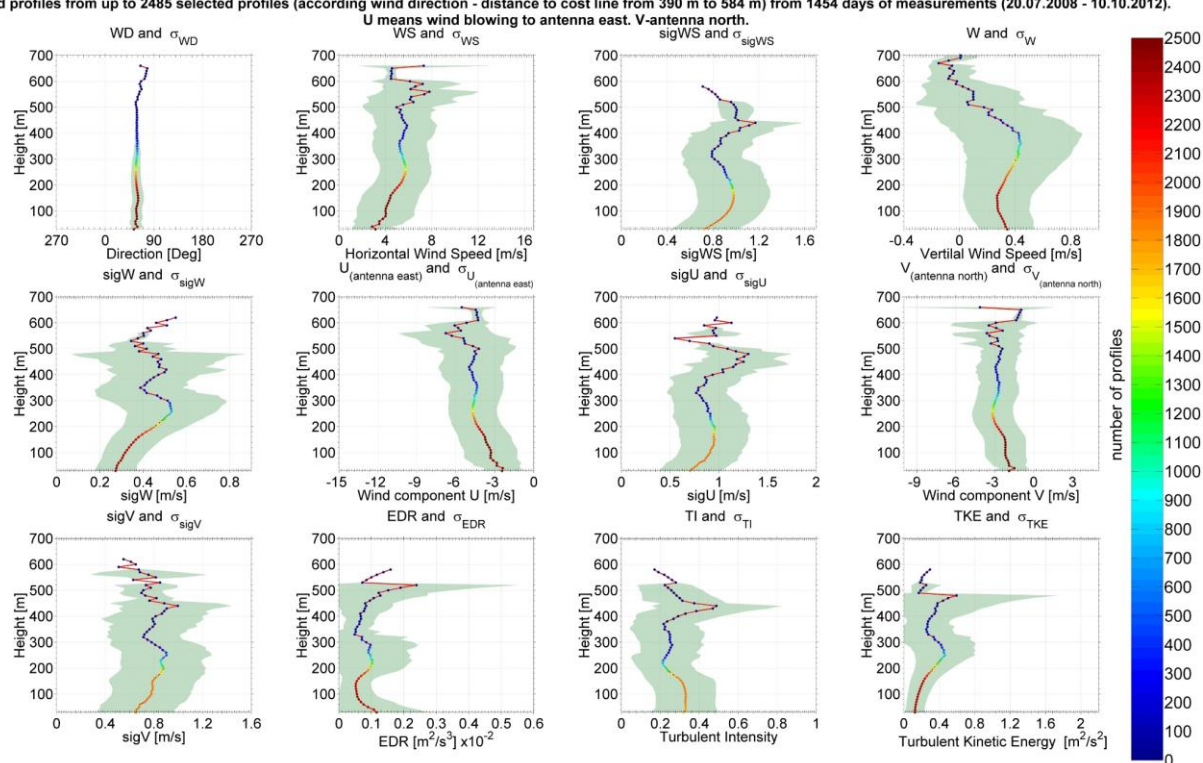
В дисертацията са представени подобни на горните графики за 12 параметъра за морски ВМ с различен пробег до содара (Фиг. 4.6.1.6.– 4.6.1.8.). Резултатите са обобщени в *Таблица 4.6.1.2.*

Табл. 4.6.1.2. Височина на ВГС според пробега на морските ВМ над сушата

Пробег/ Височина	на ВГС	На ядрото с максим скорост
от 390 до 500 m (Фиг 4.6.1.6.)	100 m	260 m
от 980 m до 1170 m (Фиг 4.6.1.7.)	120-130 m	280 m
~2300 m (Фиг 4.6.1.8.)	150 m	290 - 310 m

За илюстрация са дадени само профилите на изследваните 12 характеристики при най-къс пробег на морските ВМ над сушата, *Фигура 4.6.1.6.*

Averaged profiles from up to 2485 selected profiles (according wind direction - distance to coast line from 390 m to 584 m) from 1454 days of measurements (20.07.2008 - 10.10.2012).



Фиг. 4.6.1.6. Осреднени профили и техните дисперсии на 12 изходящи параметъра (MFAS-SCINTEC) изготвени от различен брой профили във височина, участвали при осредняването. Всичко 2485 подобрани профила (посока на вятъра от 35 Deg до 80 Deg в цялата височина на профила, отговарящи на изминато разстояние от 390 m до 584 m на морските ВМ над суша) от общо 1454 дена с измервания в МО Ахтопол през периода от 20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012 г.;

4.6.2. Характеристики на вертикалните профили при ВМ откъм сушата

Цел на този анализ е в содарните данни да се открият характеристики на АГС формиран над сушата. Следвайки извадките от данни в Таблица 4.6.1.1. в дисертацията са представени профилите на 12-те изследвани параметри за всички ВМ откъм сушата (Фиг. 4.6.2.1. и Фиг. 4.6.2.2.), за дневни ВМ откъм сушата Фигура 4.6.2.3. (конкретизиране на дневни ВМ откъм сушата през лятото на Фиг. 4.6.2.4. и зимата Фиг. 4.6.2.5.), за нощни ВМ откъм сушата на Фигура 4.6.2.6. (конкретизирани също за топъл и студен сезон във Фиг. 4.6.2.7. и Фиг. 4.6.2.8.). В профилите на турбулентните характеристики се явяват особености, които позволяват общ анализ за височината на ПС и АГС, когато попада в обхвата на содара.

Наблюдаваните пикове в профилите на sigW, EDR и TKE са добре изразени на височина 430 m над ЗП при sigW (95 индивидуални профила), и на височина 420 m при профилите на EDR (92 индивидуални профила) и TKE (99 индивидуални профила). Този тип профили, характеризиращи нощни ВМ откъм сушата през топлата част на годината, е причина за наблюдавания по-слабо изразен пик при осреднените профили на sigW, EDR и TKE на Фигура 4.6.2.6. на височина 430 m над ЗП.

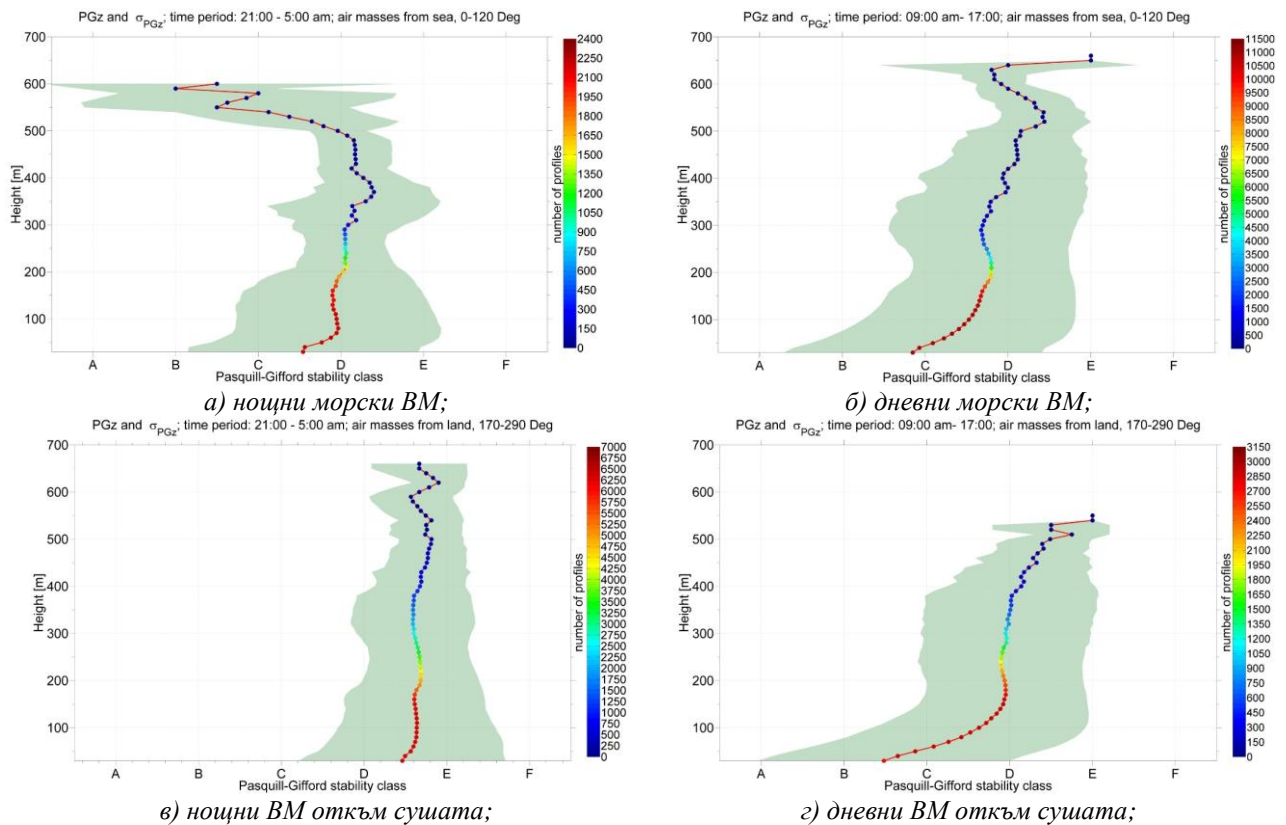
Резултатите са обобщени в *Таблица 4.6.2.1.*

Табл. 4.6.2.1. Характеристики на ВМ откъм сушата

Извадки от данни							
колона	1	2	3	4	5	6	7
Характеристики на АГС	Всички ВМ откъм сушата (фигури 4.6.2.1, 4.6.2.2) по W, TI, TKE, EDR, sigW	Всички дневни ВМ откъм сушата (20% от случаите в колона 1) (фиг. 4.6.2.3) по TKE, sigW	Всички дневни ВМ откъм сушата през лятото (15% от случаите в колона 2) (фиг. 4.6.2.5) по EDR, TKE, sigW	Всички дневни ВМ откъм сушата през зимата (66% от случаите в колона 2) (фигури 4.6.2.4.) по TKE, sigW	Всички нощни ВМ откъм сушата (44% от случаите в колона 1) (фиг. 4.6.2.6) по TKE, EDR, sigW	Всички нощни ВМ откъм сушата През лятото (29% от случаите в колона 5) (фиг. 4.6.2.8) по TI, EDR, TKE, sigW	Всички нощни ВМ откъм сушата През зимата (50% от случаите в колона 5) (фиг. 4.6.2.7) по TI, EDR, TKE, sigW
Височина на АГС	480 - 540 m				430 m	420 - 430 m	420 - 430 m
Височина на ПС	60 - 100 / 140 m		80 - 100 m		50 - 100 m	70 - 140 m	50 - 100 m
Друга характер-на височина	300 m	270 m	300 m	270 m		50 m	340 m

Анализът на нощните ВМ откъм сушата откроява преобладаващи условия на устойчива стратификация. Има индикации за височина на устойчив АГС от около 420 - 430 m. В извадките за топъл и студен сезон влизат 80% от данните за нощни ВМ от сушата.

На *Фигура 4.6.2.9.* са изведени осреднени профили и техни стандартни отклонения на класа на устойчивост на атмосферата, съгласно класификация на *Паскуил-Гифорд по метода σ_ϕ* (Bailey, 2000), калкулирани от различен брой изведени индивидуални профили, определени от два основни типа ВМ (морски ВМ и ВМ откъм сушата) през различни части от денонощието (нощни и дневни). Най-устойчива стратификация се наблюдава при нощни ВМ откъм сушата (*Фиг. 4.6.2.9.в*), когато според използваната класификация на *Паскуил-Гифорд*, са калкулирани стойности отговарящи на условия между неутрална (D) и слабо устойчива (E) стратификация в цялата изведена височина на осреднения профил (до 660 m над ЗП). На графиката оказваща изменението на стратификацията във височина на нощни морски ВМ (*Фиг. 4.6.2.9.а*), се вижда, че в по-голямата си част, стойностите от осреднения профил отговарят на неутрално стратифицирана атмосфера. Само близо до морската повърхност, до около 50 m се наблюдава слабо неустойчива стратификация (C). През дневните часове (*Фиг. 4.6.2.9.б* и *г*), както ВМ откъм сушата, така и морските са неустойчиви в първите 150 – 200 m над ЗП. При дневни морски ВМ (*Фиг. 4.6.2.9.б*), до 200 m над ЗП (6662 индивидуални профила), се наблюдава изменение на осреднените стойности на класа на устойчивост от слабо неустойчива към неутрална стратификация, като тази тенденция на изменение в класа на устойчивост във височина се запазва, но е по-слабо изразена и на 520 m (32 индивидуални профила) над ЗП. При дневни ВМ откъм сушата (*Фиг. 4.6.2.9.г*), неустойчивостта и измененията в класа на устойчивост са най-големи от всички разглеждани случаи на *Фигура 4.6.2.9.* В най-ниските части на този осреднен профил, стратификацията е между неустойчива и слабо неустойчива и бързо се променя до условия на неутрална стратификация при достигане на 150 m над ЗП (2858 индивидуални профила).



Фиг. 4.6.2.9. Осреднени нощни профили и техните дисперсии на клас на устойчивост съгласно класификацията на Паскуил-Гифорд (изходящ параметър от MFAS-SCINTEC) изведени при различен тип ВМ (морски нощни и дневни ВМ: графики а и б; ВМ откъм сушата през нощта и деня: графики в и г) от общо 1454 дена с измервания в МО Ахтопол през периода от 20 юли 2008 г. до 10 октомври 2012 г.

4.7. Статистически анализи на скоростта на вятъра във височина и определяне на екстремни стойности.

Извършеният анализ на профили на скоростта на вятъра, в тази глава, обхваща период с над седем години акустични сондирания на атмосферата в МО Ахтопол - от 20 юли 2008 г. до 31 януари 2016 г. Използвани са 2485 от възможни 2752 денонощия, през които са налични данни от оперативен режим на содара. Високите пространствена и времева резолюция на содарните данни позволяват да се положат основите на климатичното изучаване на крайбрежната вертикалната структура на полето на скоростта на вятъра в станция Ахтопол на Българското Черноморие. Следваща стъпка в побора на профили е проверката за наличност на данни на височина 110 m над земната повърхност (ниво, на което наличността е сравнително висока) и непрекъснатост на профилите след тази височина. Поставените условия за подбор на данни свеждат анализа до 2357 денонощия и има за цел да се избегне натрупването на голям брой къси профили, които не надвишават 110 m височина, като същевременно се допускат профили, които не започват от най-ниските нива на вертикалния обхват на содара (често при работния режим на содара се наблюдават профили започващи след 30 - 40 m над земната повърхност). Справка на извършените статистически анализи на профили на скоростта на вятъра от АССА в МО Ахтопол е представена в [Таблица 4.7.1.](#)

Оперативните записи на данни от содара до 26.10.2014 г. са извършени по локално време (т.е. през студеното полугодие - UTC+2, а през топлото - UTC+3). След този период содарът работи само по зимно часово време т.е. UTC+2. Повечето от извършените анализи в тази глава са независими от времевите серии на данните (Анализ I, Анализ II и Анализ III), но за нуждите на Анализ IV и от части за Анализ III (при определяне броя на случаи на екстремни ветрове),

времените серии на данните са приведени към UTC+2. Въпреки, че се анализира период с данни от над седем години, поради наличие на локална крайбрежна циркулация, както и недостатъчната наличност на непрекъснати по времето и пространството денонощни данни на морски ВМ и ВМ откъм сушата, през всичките обособени периоди, е невъзможно да се изведат непрекъснати денонощни редици от данни (във височина до 110-140 m) или изведеният им брой е незначителен, поради което Анализ IV е затруднен.

Таблица 4.7.1. Извършени анализи на профили на скоростта на вятъра: Анализ I – разпределение на скоростта на вятъра във височина; Анализ II – профили на двупараметричното разпределение на Вейбул (Weibull scale and shape parameters profiles); Анализ III – определяне на екстремен профил на вятъра; Анализ IV – денонощно изменение на скоростта на вятъра във височина.

Период на анализите от 20/07/2008 до 31/01/2016 (2 357 налични от 2 752 възможни деннощия)								
Цялостен период			Летни сезони (юни ÷ август)			Зимни сезони (декември ÷ февруари)		
Всички ВМ	Морски ВМ	ВМ суша	Всички ВМ	Морски ВМ	ВМ суша	Всички ВМ	Морски ВМ	ВМ суша
0÷360 Deg	0÷120 Deg	170÷290 Deg	0÷360 Deg	0÷120 Deg	170÷290 Deg	0÷360 Deg	0÷120 Deg	170÷290 Deg
Анализ I	Анализ I	Анализ I	Анализ I	Анализ I	Анализ I	Анализ I	Анализ I	Анализ I
Анализ II	Анализ II	Анализ II	Анализ II	Анализ II	Анализ II	Анализ II	Анализ II	Анализ II
Анализ III	-	-	-	-	-	-	-	-
Анализ IV	-	-	Анализ IV	-	-	Анализ IV	-	-

Анализ III е свързан с извеждането на теоретичен екстремен профил на скоростта на вятъра (еталон) на базата, на който се определят екстремните профили на скоростта. Такъв теоретичен профил е изведен при всичките разгледани случаи но осреднен екстремен профил е изведен само при обработката на цялостния период.

Анализът за разпределение на скоростта на вятъра във височина (Анализ I) е основа за провеждането на останалите анализи. За неговите цели са обработени стойностите на скоростта на вятъра за всеки индивидуален профил от разглежданите периоди (цялостен, летен и зимен) и типовете ВМ (всички, морски и откъм сушата), като са сортирани по височина (на всеки 10 m) и по интервали от скорости от 0 до 40 ms⁻¹ през 1 ms⁻¹ както следва:

- интервал тихо време - при стойности на скоростта на вятъра > или = 0 ms⁻¹, но < 0.5 ms⁻¹
- интервал 1 ms⁻¹ - при стойности на скоростта на вятъра > или = 0.5 ms⁻¹, но < 1.5 ms⁻¹
- интервал 2 ms⁻¹ - при стойности на скоростта на вятъра > или = 1.5 ms⁻¹, но < 2.5 ms⁻¹
- ...
- интервал 40 ms⁻¹ - при стойности на скоростта на вятъра > или = 39.5 ms⁻¹;

Разпределението на скоростта на вятъра във височина от подбраните профили ни позволява да изведем хистограми на скоростта на вятъра за всяко едно ниво и да определим тяхното вероятностното разпределение. Извършената статистическа обработка в Анализ I, от своя страна ни позволява да приложим двупараметричното разпределение на Вейбул (Weibull distribution) за скорост на вятъра на всяко едно от нивата на измерване от содара по метода на максималната вероятност (the maximum likelihood method) (Indhumathy et al., 2014):

$$f(u; c, k) = f(x) = \begin{cases} \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} e^{-(u/c)^k} & , u \geq 0 \\ 0 & , u < 0 \end{cases} \quad (4.7.1.)$$

$$\hat{k}^{-1} = \frac{\sum_{i=1}^N (u_i^k \ln u_i - u_N^k \ln u_N)}{\sum_{i=1}^N (u_i^k - u_N^k)} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln u_i \quad (4.7.2.)$$

$$\hat{c}^k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u_i^k - u_N^k) \quad (4.7.3.)$$

Уравнение (4.7.1.) описва вероятностната плътност на разпределението (probability density function - pdf) позната още, като разпределение на Вейбул (Papoulis and Pillai, 2002). Двата параметъра на разпределението са дадени в уравненията: (4.7.2.) и (4.7.3.) (Sornette, 2004) съответно за *параметър на формата (shape parameter)* ‘ \hat{k} ’, който е безразмерна величина (оттук нататък за краткост ще го изписваме само ‘ k ’), задаваща формата на кривата на плътността на разпределението и *характеристичен параметър (scale parameter)* ‘ \hat{c} ’, приемащ размерността на променливата (в настоящия анализ – [ms⁻¹]) и оттук нататък за краткост ще го изписваме само ‘ c ’) и представляващ 63.2-ия перцентил на разпределението (Папанчев, 2013). Прилагането на тези формули на всяко ниво на измерване, ни дава като краен резултат вертикални профили на *shape* ‘ k ’ и *scale* ‘ c ’ параметрите с висока вертикална резолюция. Двупараметричното разпределение на Вейбул е едно от най-често използваните и предпочитани разпределения при оценки на ветровия потенциал и се изследва в редица научни проучвания (Stevens and Smulders, 1979; Lun and Lam, 2000; He et al., 2010; Gryning et al., 2014; Wijnant et al., 2014). Вертикалните профили на *shape* ‘ k ’ параметъра от Анализ II, както и денонощният ход на скоростта на вятъра от Анализ IV, могат да се използват при определянето на т.н. височина на обръщане „reversal height” - височина, на която се наблюдава обръщане на формата на денонощния ход на скоростта на вятъра (Wieringa, 1989; Gryning et al., 2013; Batchvarova et al., 2014; Gryning et al., 2014). Над равна и хомогенна постилаща повърхност височината на обръщане съвпада с височината на максимума в профила на k -параметъра. В крайбрежни зони, профилите на вятъра и параметрите от разпределението на Вейбул са повлияни от процесите на трансформация на VM и формата им зависи от разстоянието до бреговата линия по направление на въздушния поток. В този случай, изследванията показват, че има връзка между височината на максимума в профила на k -параметъра и височината на вътрешния граничен слой (ВГС) (Floors et al., 2013; Gryning et al., 2016; Peña et al., 2016), но до сега няма изведена параметричен израз за тази връзка.

Изведените Вейбул разпределения в Анализ II от своя страна, служат като основа за изготвянето на Анализ III, позволявайки ни да използваме определението на Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) за екстремни явления: По дефиниция, екстремните метеорологични условия варират от едно място на друго. Едно екстремно метеорологично събитие за определено място, е събитие, което се среща "рядко" в рамките на неговото статистическото разпределение. Определението за "рядко" варира, но обикновено се разбира, като по-малко от колкото е десетия перцентил или повече от колкото е деветдесетия процентил на неговото статистическото разпределение (IPCC, 2011).

Определяйки стойността на деветдесетия процентил на всяко едно от приложените Вейбул разпределения във височина, се извеждат „еталонни“ (минимални) стойности на скоростта на вятъра, при които и над които стойностите на скоростта се считат за екстремни.

Непрекъснатите екстремни профили се получават по следната процедура:

- ✓ полученият „еталонен“ профил (Фиг. 4.7.1.2. – черна линия) от екстремни стойности е сравнен на всяко ниво през 10 m с всеки индивидуално, реално измерен профил на скоростта на вятъра от целия разглеждан период;

- ✓ отсяват се само профили с наличие на данни на 70 m и достигащи до височина, определена от изпълнение на условие за стойностите им да са равни или по-големи от тези на еталонния профил във цялата извлечена височина при наличие на данни;

Така се избягва наличието на много „къси“ профили и същевременно се извличат реални екстремни стойности от индивидуалните профили независимо дали наличността на данни при тях е прекъсната, стига условието за екстремни стойности да се изпълнява при наличие на данни. Отчете ли се не изпълнение на условието за екстремни стойности при съответния индивидуален профил се прекъсва извличането на екстремен профил до тази височината и се преминава към следващия.

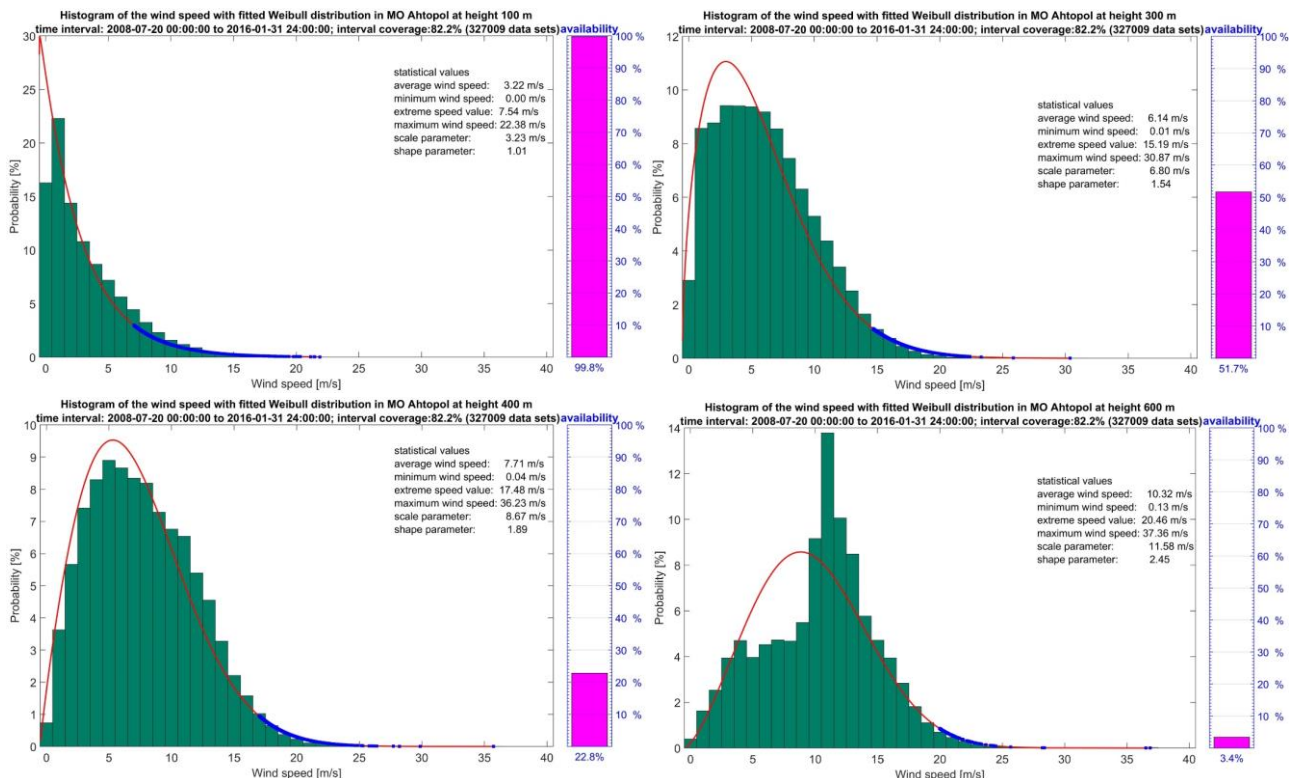
4.7.1. Вероятностно разпределение и денонощен ход на скоростта на вятъра във височина от над седем годишен период на измерване. Профили на параметрите на Вейбул и екстремен профил на скоростта на вятъра. Височина на обръщане на денонощния ход на скоростта на вятъра.

- Всички въздушни маси

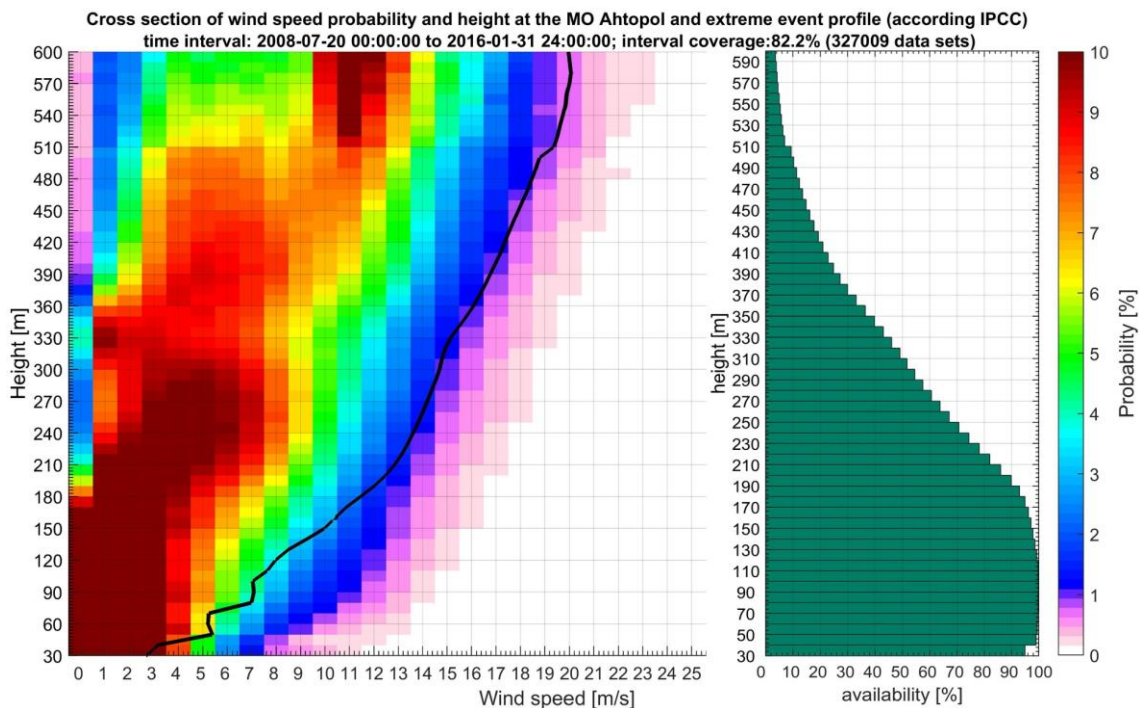
Целият период на анализ от 20 юли 2008 г. (датата, в която содара влиза в оперативен режим) до 31 януари 2016 г., включително, обхваща 2 752 денонощия, от които содарът е работил през 2 485.. Настройките на работния режим на АССА по време на този период претърпяват редица промени свързани най-вече със обновяването на оперативния софтуер на содара. Благодарение на тези промени се постига по-надеждна работа при неговата експлоатация и се увеличава вертикалния му обхват при запазване на резолюцията на данните - 20 минутни осреднени данни на всеки 10 минути (пълзящи осреднени) с вертикална резолюция от 10 m. Поради обновяването на операционния софтуер през годините, вертикалният обхват на содара през 2008 г. достига 520 m височина, докато през 2016 г е 720 m. Въпреки това, височината, до която се измерват профили на вятъра, зависи изцяло от ефективния обхват на содара, който се определя от наличието на турбулентни нееднородности във височина. В тази глава се разглеждат профили на вятъра до 600 m височина, поради твърде ниската наличност на данни над нея.

На *Фигура 4.7.1.1.* са показани хистограми на скоростта на вятъра с приложени разпределения на Вейбул, с определен деветдесети процентил и изведени статистически данни за различни нива на измерване за целия разглеждан период в МО Ахтопол. От графиките се вижда, че при обработката на данните са взели участие общо 327009 времеви серии с профили, които съставляват 82.2 % наличност от целия разглеждан период. Розовият бар, отстрани на всяка хистограма, оказва съответната наличност на данни на всяко едно от изложените нива. Вижда се, че броят на измерванията взели участие в извеждането на статистическите графики на *Фигура 4.7.1.1.* рязко намалява във височина, поради по-ниския брой профили достигнали до съответното ниво на измерване.

Наличието на представената в *Фигура 4.7.1.1.* информация от 30 m до 600 m над ЗП през всеки 10 m височина, ни дава възможност да изведем графика на изменението на вероятностното разпределение на скоростта на вятъра във височина с приложен „еталонен“ профил от екстремни стойности на скоростта на вятъра (минимални екстремни стойности - определени от деветдесетия процентил на статистическите разпределения във височина) за целия разглеждан период (*Фиг.4.7.1.2.*). Цветният бар на *Фигура 4.7.1.2.* оказва изменението на стойностите на вероятностното разпределение във височина, като цветовете му гама е ограничена до 10% за да се постигне по-добра визуализация на резултатите (стойностите на вероятностните разпределения над 10% са оцветени в един и същи цвят оказващ 10%).



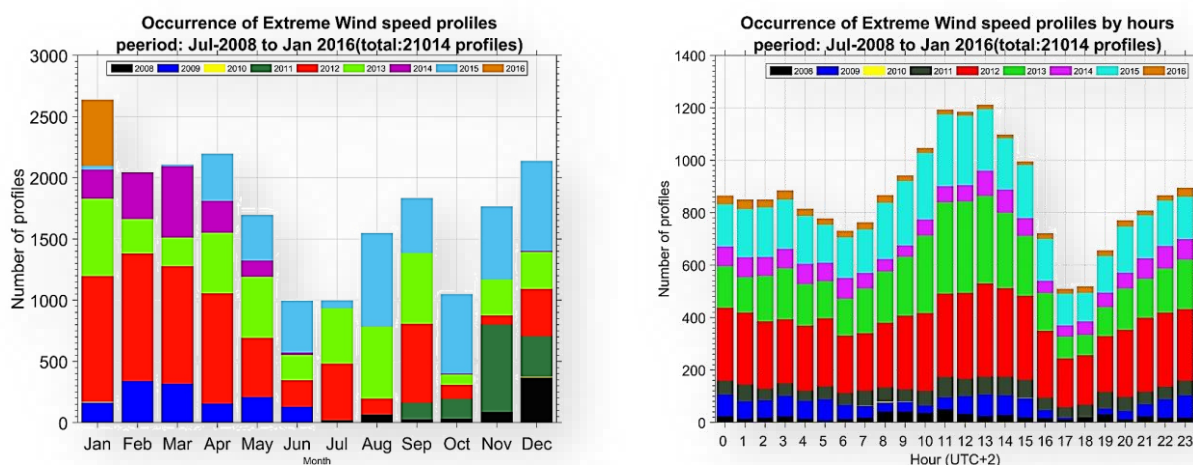
Фиг.4.7.1.1. Хистограми на скоростта на вятъра (зелени барове) на четири различни нива на измерване с приложени двупараметрични разпределения на Вейбул (червени криви) с определени стойности, равни или надвишаващи деветдесетия процентил на вероятностната плътност на разпределенията на Вейбул (сини точки) за период на измерване от 20.07.2008 до 31.01.2016 г. в МО Ахтопол и с изведени статистически данни. Горе вляво 100 т, горе вдясно 300 т, долу вляво 400 т, долу вдясно 600 т височина над ЗП



Фиг.4.7.1.2. Изменение на вероятностното разпределение на скоростта на вятъра във височина (цветна крос секция на височината и скоростните интервали) с оказана наличност на обработените данни (зелени барове) и приложен еталонен профил за екстремни стойности на скоростта на вятъра (черен профил), определен от деветдесетия процентил на статистическите разпределения във височина за периода от 20.07.2008 до 31.01.2016 г. в МО Ахтопол

От представената графика (Фиг.4.7.1.2.) се вижда ясно зоната с максимални стойности на вероятностното разпределение на скоростта на вятъра във височина, като до 180 m вероятността е най-висока за ветрове със скорост до 3 ms^{-1} , на 300 m най-висока вероятност се наблюдава на ветрове в интервала от 3 до 6 ms^{-1} , а на 600 m вероятността е най-висока за ветрове със скорости от 10 до 13 ms^{-1} . От баровете, показващи изменението на броя на профилите достигнали определена височина, се вижда, че тяхната наличност рязко започва да намалява след 200 m височина над ЗП, като максимум на данните се наблюдава във слоя от 70 до 110 m височина. Първото ниво, от което содарът започва да измерва профили на вятъра (30 m над ЗП), е с близо 5% по-ниска наличност от слоя в който се наблюдава максимум на данните. Стойностите на еталонния профил за екстремни профили на скоростта на вятъра (Фиг.4.7.1.2. – черен профил) нараства почти параболично с височина, като екстремните стойности на 30 m над ЗП са близо 3 ms^{-1} , а на височина 600 m тези стойности са над шест пъти по-високи. Ниско при земята, където наличността на данни е значителна, се забелязват два малки пика в еталонния профил (на височини 50 m и 80 m), отличаващи се на фона на постепенно нарастващите екстремни стойности във височина. На тези височини има и пикове в профила на , параметъра на формата ‘*k*’ (Фиг.4.7.1.6.).

Резултатите от проверката за налични екстремни профили на скоростта на вятъра през целия разглеждан период са представени в графичен вид на Фигура 4.7.1.3., на която са изведени броят на отчетените профили по месеци, както и по часове от денонощието през различните години.



Фиг.4.7.1.3. Брой на екстремните профили на скоростта на вятъра отчетени през различните години на разглеждания период от 20.07.2008 до 31.01.2016 г. в МО Ахтопол разпределени по месеци (ляво) и часове от денонощието (дясно)

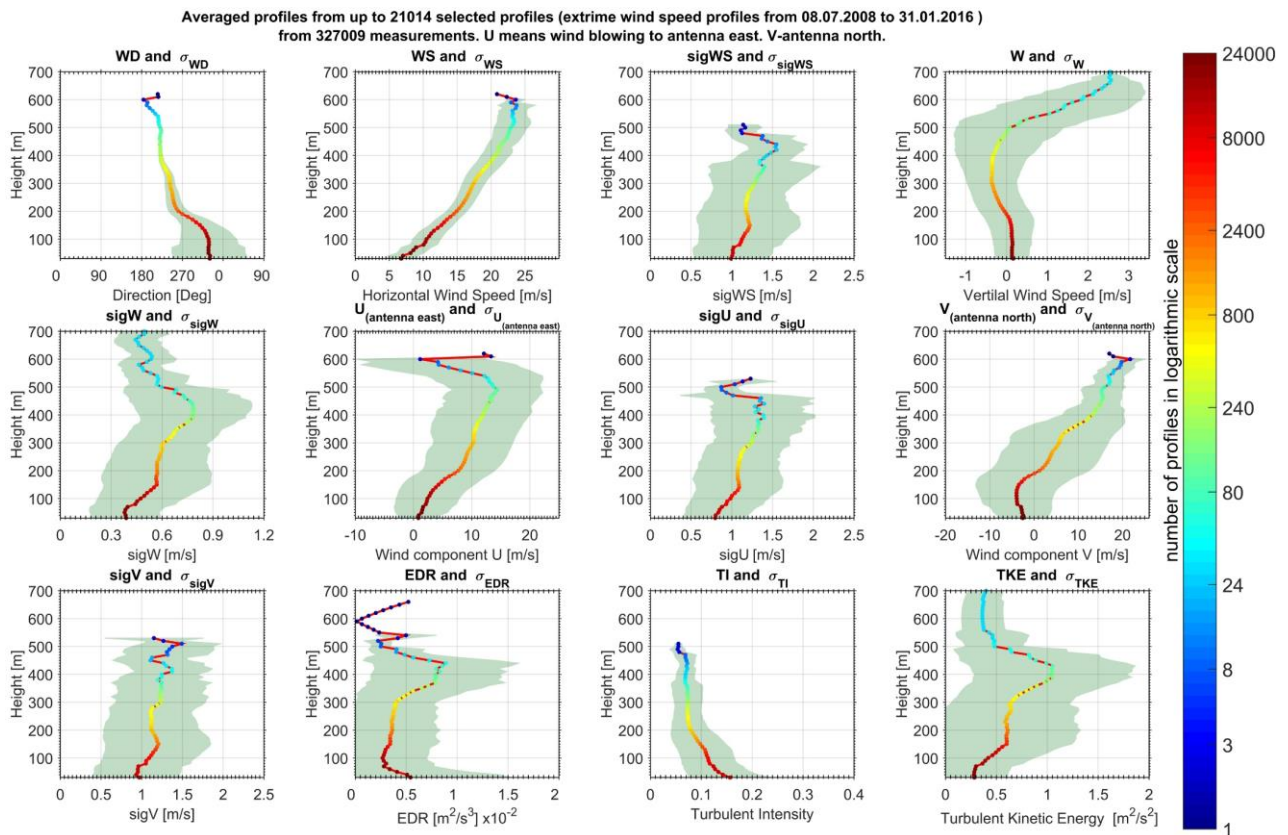
Общият брой на екстремните профили измерени в МО Ахтопол възлиза на 21 014 профила, което съставлява близо 6.4% от всички времеви серии през разглеждания период. От гледна точка на годишното разпределение на екстремните профили, може да се отчете, че 2012 г. е била най-ветровита (изключвайки 2008 г. и 2016 г. за които данните не обхващат календарна година), а най-тихо е било времето през 2010 г., когато са били отчетени едва 13 екстремни профила и резултатите са едва забележими върху бара на месец декември и върху бара на сутрешния часови интервал в 8 часа. Интензивността на динамиката на атмосферната циркулация, над изследвания район, проличава от променливостта на броя на профилите през различните месеци и часове от денонощието. Наличие на екстремни профили се наблюдава през всичките месеци и часови интервали, като максимумите могат да се локализируют през

зимното полугодие и през деня, когато процесите в атмосферата са по-интензивни. Най-голям брой екстремни профили (над 2 500 броя) се наблюдават през януари, а като най-тихи месеци могат да се отчетат юни и юли, при които броят на отчетените екстремни профили е приблизително по хиляда. Анализирайки месечната променливост на броя на екстремните профили (Фиг.4.7.1.3. - ляво), можем да определим условно тихи и ветровити периоди, в района на МО Ахтопол. Първият период от началото на юли 2009 г. до края на август 2011 г. може да се отбележи като тих (налични са само 13 отчетени екстремни профили през 2010), последван от ветровит период, които приключва през юни на 2014 г.

Следващ ветровит период може да се отчете с начало април 2015 г., чийто край е определен от края на целия разглеждан период (януари 2016 г.). От графиката на денонощните изменения на стойностите на отчетени екстремни профили (Фиг.4.7.1.3. - дясно) се вижда една по-равномерна променливост на техния брой, което от своя страна говори за наличието на денонощна продължителност на случаите с екстремни ветрове. Същевременно се наблюдават два ясно изразени минимума, един в сутрешния часови диапазони от 6 до 7 часа, и един по-силно изразен в следобедните часове от 17 до 18 часа. Тези минимума биха могли да се свържат с преходните моменти между нощта и деня през студеното полугодие, когато са отчетени по-голям брой на екстремни профили на скоростта на вятъра. Като най-ветровит може да се отчете периодът около обед в часови диапазони от 11 до 13 часа, когато броят на отчетените екстремни профили е близо 1200 във всеки един от посочените часови диапазони. За да се придобие представа за изменението на метеорологичните характеристиките в крайбрежния граничен слой в МО Ахтопол във височина, в условия на екстремни ветрове, са изведени и турбулентните характеристики налични от сондирането на атмосферата, в същите моменти (времеви серии), в които са регистрирани самите екстремни ветрове. Резултатите от обработката на тези данни са представени графично чрез осреднени профили на съответните параметри и техните дисперсии, в това число и на осреднения екстремен профил на скоростта на вятъра за целия разглеждан период на Фигура 4.7.1.4. Поради факта, че се осъществяват осреднявания на метеорологични параметри от профили с различна височина, се използват различен брой стойности вземащи участие в извеждането на осреднените стойности на различните нива, което от своя страна е индикирано с различен цвят точки върху самия осреднен профил. За по-добра визуализация на резултатите, цветния бар (отстрани на графиките), оказващ броя на профилите взели участие в извеждането на осреднена стойност и нейната дисперсия на определено ниво, е в логаритмична скала поради по-ниската наличност на профилите във височина.

От графиката на профила на посоката на вятъра се вижда, че при регистрираните екстремни ветрове, до 100 m височина над ЗП (където са съсредоточени по-значителният брой профили) вятърът е с посока NNW, която посока е близка до тази на ветрове духащи успоредно на бреговата ивица. На височина между 100 m и 150 m вятърът започва да изменя постепенно посоката си към W, като това изменение става сравнително по-рязко между 150 m и 200 m. След тази височина вятърът се мени плавно от W към SW, като последната посока се запазва постоянна в слоя от 400 m до 500 m, след което продължава изменението на посоката на вятъра в югозападната четвърт. Дисперсията на този профил е най-голяма в неговите първи 100 m височина, след което тя намалява постепенно до 200 m над ЗП. След тази височина, профилите взели участие в изграждането на осреднения профил на посоката на вятъра са с сравнително близки по посока и дисперсията намалява значително. Осредненият екстремен профил на скоростта на вятъра се характеризира със сравнително по-постоянна дисперсия във височина, за разлика от този на посоката на вятъра, и почти линейно нарастване на стойностите. Скоростите в най-ниската му част са близо 7 ms^{-1} , а бързото им нарастване във височина води до достигане на стойности близки до 24 ms^{-1} на 600 m над ЗП. При профила на вертикалната скорост на вятъра се наблюдават положителни стойности до 180 m височина (височина близка до тази, на която вятъра започва да изменя посоката си от W към SW), след което

отрицателните ѝ стойности постепенно намаляват до 300 m, от където до 400 m височина те се задържат почти постоянни. След тази височина стойностите започват да нарастват постепенно и на 500 m те отново са положителни, като след тази височина започват да нарастват бързо и достигат близо 2 ms^{-1} на 600 m височина.

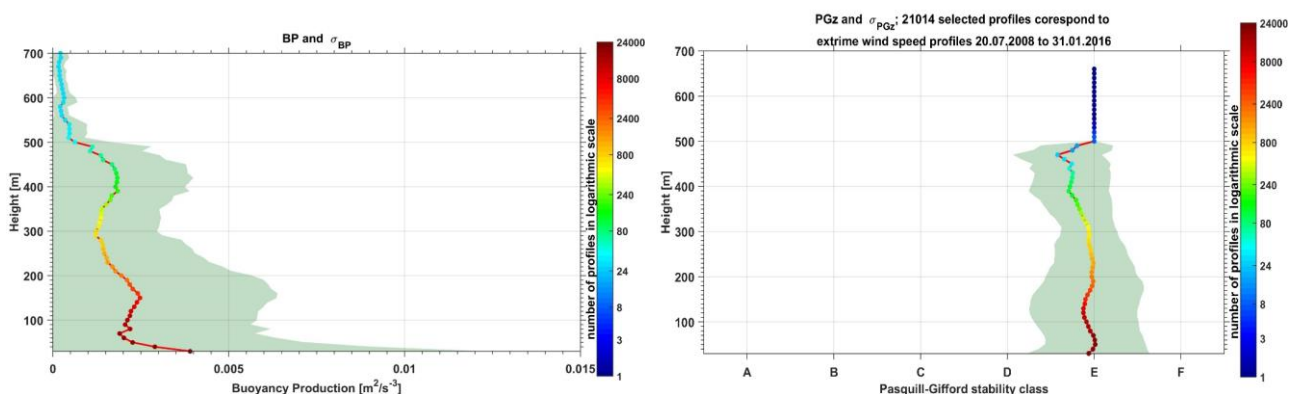


Фиг.4.7.1.4. Осреднени профили и техните дисперсии от извадка с максимум от 21 014 селектирани профила, определени от времевите серии на екстремни профили на скоростта на вятъра отчетени през периода от 20.07.2008 до 31.01.2016 г. в МО Ахтопол. (от ляво надясно и от горе на долу: посока на вятъра, екстремен профил на скоростта на вятъра, дисперсия на екстремния профил на скоростта, вертикална скорост, дисперсия на вертикалната скорост, хоризонтална компонента U на екстремния профил (западна компонента), дисперсия на хоризонтална компонента U, хоризонтална компонента V на екстремния профил (южна компонента), дисперсия на хоризонтална компонента V, дисипация на турбулентните вихри, турбулентна интензивност, турбулентна кинетична енергия)

При турбулентните профили на sigWS, sigW, sigV и TKE се наблюдава слой със слаби изменения на стойностите на осреднените параметри до 70 m над ЗП, след който слой следва малък пик („зъбче“) свързан с рязка им промяна. При профила на дисипацията на турбулентните вихри (EDR) се наблюдава рязко намаляване на стойностите до 70 m височина, след което и при този профил се наблюдава много слабо изразен пик. Формата на изведените профили в най-близкия слой до ЗП (30 - 70 m) и наблюдаваните изменения непосредствено след 70 m височина, са повлияни в голяма степен от големия брой профили с минимална височина (близо 26.5 % от общия брой), определена от поставеното условие за извличане на екстремни профили (непрекъснати с мин. височина от 80 m). Също така интерес представляват и по-големите пикове във височина на профила на дисперсията на вертикалната скорост (sigW). Първият пик е на височина 150 m (където започва по-рязкото изменение на вятъра към W посока и стойностите на вертикалната скорост започват да намаляват), след което следват почти постоянни стойности до 300 m, от където започва нарастването до втория основен пик, който достига максимални стойности между 390 m и 440 m (височина, при която вертикалната скорост започва да нараства, а посоката на вятъра е постоянна). Тези пикове намират

отражение във формата и при другите осреднени турбулентни профили. Първият пик се наблюдава на същата височина при sigWS, sigU, sigV, ТКЕ и е несъществен при EDR, докато вторият основен пик е най-ясно изразен при EDR и ТКЕ.

Още два параметъра, характеризиращи структурата на крайбрежния граничен слой, са изведени на *Фигура 4.7.1.5*. При лявата графика (поток на Архимедовата сила), изведена от *4.6.1.1.*, се наблюдава рязък спад на стойностите в първите 70 m над ЗП последван от слаб пик на 80 m и два основни пика съвпадащи по височина с пиковете на sigW и ТКЕ. Като цяло, осредненият поток на Архимедовата сила намалява във височина, като максималните стойности се наблюдават ниско при земята (където е максимален турбулентният поток топлина), а минималните в крайните високи части на осреднения профил. На дясната графика е изведен осреднен профил на класа на устойчивост на атмосферата, определена от содара по класификацията на Паскуил-Гифорд, чиито стойности в по-голямата част на профила отговарят на слаба устойчивост (клас Е) на атмосферата при наличие на екстремни ветрове. Височините определени от двата основни пика при турбулентните осреднени профили (на 150 m и между 390-440 m) се характеризират със слабо изместване на стойностите на класа на устойчивост към неутрална стратификация, като това изместване е по-осезаемо при втория по-висок пик. Максимално отклонение на осреднения профил от слаба устойчива (клас Е) към неутрална стратификация (клас D) на атмосферата се наблюдава на височина 470 m над ЗП, над втория основен пик при осреднените турбулентни профили, когато стойностите на осреднения профил на класа на устойчивост по класификацията на Паскуил-Гифорд са почти между клас D и клас Е. Този допълнителен анализ показва, че екстремните ветрове са съпроводени със слабо устойчива стратификация и максимумът около 450 m може да се свърже с височина на слабо устойчив АГС. Макар и малко на брой, профилите над тази височина дават нарастване на устойчивостта в атмосферата, което може да е признак за навлизане в свободната атмосфера над АГС.

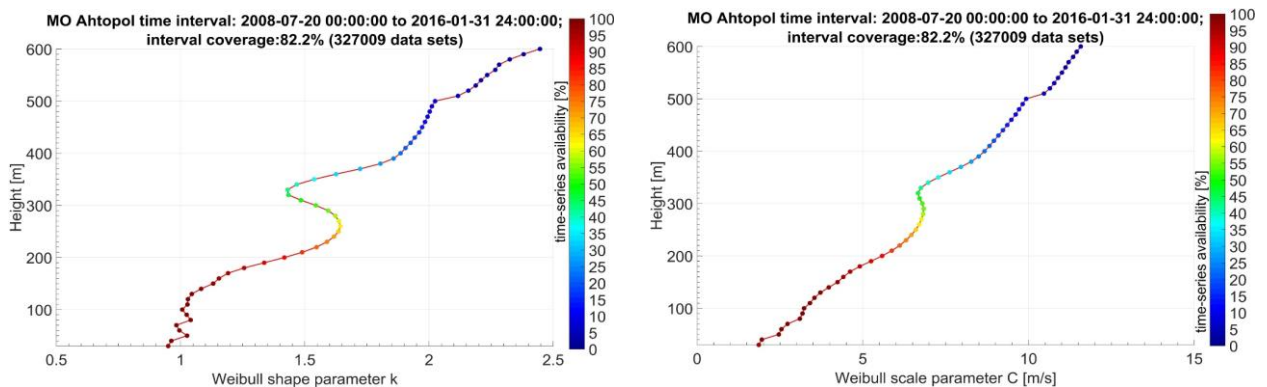


Фиг. 4.7.1.5. Осреднени профили и техните дисперсии от извадка с максимум от 21 014 селектирани профила, определени от времевите серии на екстремни профили на скоростта на вятъра отчетени през периода от 20.07.2008 до 31.01.2016 г. в МО Ахтопол. (ляво – поток на Архимедовата (подемната) сила; дясно – клас на устойчивост по Паскуил-Гифорд;)

Множеството изведени осреднени характеристики на крайбрежния АГС в условията на екстремни ветрове, ни дават най-обща представа за неговата структура и представляват супер позиция от различни типове въздушни маси (зимни, летни, дневни и нощни). Поради малкия брой изчистени ситуации (примерно, поток от сушата през деня) и сложността определена от комплексния терен на изследвания район (наличието на две различни подложни повърхности със сложна орография) е трудно наблюдаваните осреднени профили да бъдат класифицирани към познати параметризирани физически характеристики.

Освен извеждането на еталон за екстремни профили, двупараметричното Вейбулово разпределение приложено към изведените хистограми на скоростта на вятъра от 30 до 600 m над ЗП през всеки 10 m височина ни позволява също така, да изведем и профили на

параметъра на формата (shape parameter) 'к' и характеристикния параметър (scale parameter) 'с' на *Фигура 4.7.1.6*. На графиките на тази фигура е оказан броя на всички времеви серии, взели участие при извеждането на профилите, като цветните барове отстрани оказват процентното изменение на наличността на данни във височина. При профила на характеристикния параметър (вдясно) се наблюдава почти линейно изменение на стойностите във височина, като се отличават два слаби пика на 50 и 80 m над ЗП, последвани от основен пик на височина 270 - 300 m и малко по-рязко изменение в стойностите на профила на височина 500 m. Както бе споменато по-нагоре, размерността на този профил е същата, като на скоростта [ms^{-1}] и неговите стойности са пропорционални на средните стойности на скоростта на вятъра (Wijnant et al., 2014; Pessanha et al., 2015). Стойностите на профила близо до ЗП започват от близо 2 ms^{-1} , на височина 300 m те са приблизително $6-7 \text{ ms}^{-1}$, а на височина 600 m от ЗП, стойностите на характеристикния параметър са близо 12 ms^{-1} . При профила на параметъра на формата (*Фиг.4.7.1.6* - ляво) се наблюдават сравнително по изразени малки пикове на височина 50 и 80 m над ЗП със стойности близки до 1.05, един ясно изразен пик на височина 260 m със стойности около 1.65, сравнително по-рязко изменение в стойностите на височина 500 m, а стойностите на профила на височина 600 m са близо 2.45. Пиковите ниско при земята биха могли да се характеризират с височина на сформирани ВГС (Gryning et al., 2016; Peña et al., 2016).

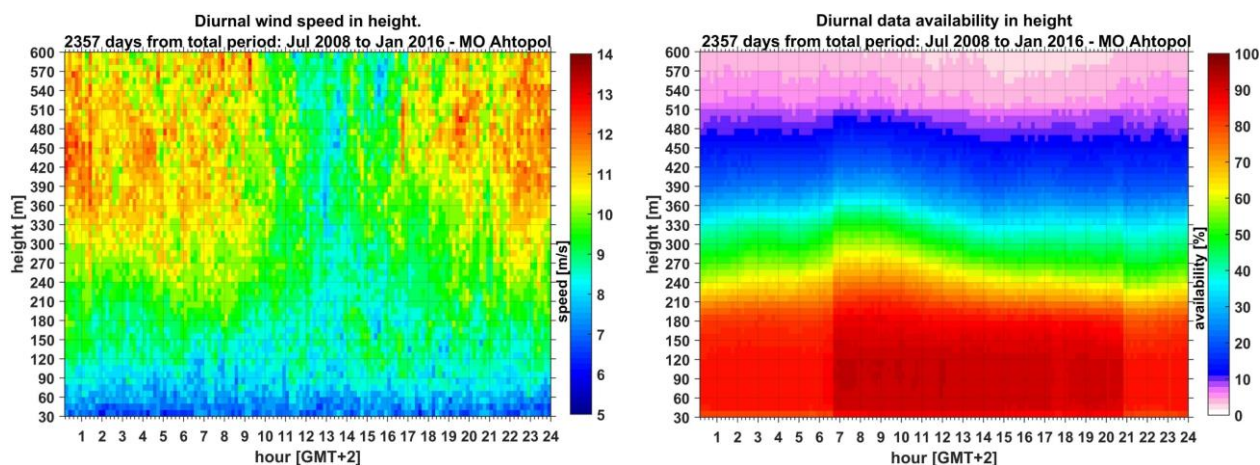


Фиг.4.7.1.6. Профили на параметър на формата (shape parameter) 'к' (лява графика) и характеристикен параметър (scale parameter) 'с' (дясна графика) на двупараметричното разпределение на Вейбул, приложено към измерените стойности на скоростта на вятъра от 30 до 600 m над ЗП през всеки 10 m височина през периода от 20.07.2008 до 31.01.2016 г. в МО Ахтопол.

При хомогенна повърхност максимумът в профила на този параметър е свързан с височината на обръщане на денонощния ход на скоростта на вятъра (т.нар. „reversal height“). През нощта, динамиката на ВМ е повлияна от относително по-студената ЗП и формирането на устойчив граничен слой (УГС) теоретично определя едно линейно нарастване на стойностите на скоростта на вятъра във височина в прилежащия към нея атмосферен слой. От друга страна измененото термодинамичното състояние на атмосферата през деня, под влияние на относително по-топлата ЗП, теоретично определя по-високи стойности на скоростта на вятъра близо до нея и значително по-слабо изменение на нейните стойности във височина, поради наличието на неутрален или неустойчиво стратифициран въздушен слой. Височината на която тези два теоретични профила (определящи изменението на скоростта на вятъра във височина при две различни термодинамични състояния на атмосферата - през деня неутрална или неустойчива, а вечерта устойчива стратификация) се пресичат, се нарича „reversal height“ и характеризира квазистационарно състояние на денонощния ход на скоростта на вятър при различни термодинамични състояния на атмосферата, определени от прякото влияние на ЗП върху прилежащия към нея въздушен слой през деня и нощта. Над този слой атмосферата е отделена от прякото влияние на подложната повърхност. Височината, на която не се

наблюдава изменение в денонощния ход на скоростта на вятъра (в случая, нейната квадратична функция е права линия) и разделя денонощен ход с противоположни кривини (изпъкнали от вдлъбнати) се определя, като „reversal height“. Тази височина е свързана с, височината на ВГС при трансформацията на морски ВМ над сушата (Gryning et al., 2016; Peña et al., 2016), но за тази зависимост още не са изведени теоретични връзки.

Извеждането на денонощен ход на скоростта на вятъра, на всяко едно от нивата на измерване при акустичното сондиране на атмосферата, за целия период на изследване се базира на данни от всички отчетени стойности на скоростта, налични при различните по височина профили, чиито подбор са определени от условието за наличие на данни на височина 110 m над ЗП и непрекъснатост на профилите след тази височина. На *Фигура 4.7.1.7.* са изведени графики на денонощното изменение на наличността на данни за скорост на вятъра във височина от акустичното сондиране на атмосферата (*графиката вдясно – цветния бар указва наличността в проценти*) и осреднени стойности на денонощния ход на скоростта на вятъра във височина, определени от съответната наличност на данни (*графиката вляво – цветния бар указва стойността на скоростта на вятъра в ms^{-1}*) за целия разглеждан период. Нехомогенността на данните (*видна на дясната графика*), е както по вертикалата (във височина), така и по хоризонталата (по времевата скала на денонощието). Вертикалната нееднородност на данните е обусловена от различния ефективен обхват на содара през различните денонощия на целия разглеждан период. Наблюдава се добре изразена разслоеност на наличността на данни във височина, която в голяма степен е определена и от условието за непрекъснатост след 110 m височина на профилите взели участие в анализа. Най-висока наличност на данни (над 80%) се наблюдава в първите 180 m, като на височина 300 m наличността е близо 50%, а на височина 500 m над ЗП наличността на данни не надвишава 10%.. В хоризонтално направление (изменения през денонощието) хомогенността на данните е сравнително по-равномерно разпределена, но поради изменения в непрекъснатият режим на работа на содара до октомври на 2009 г., се наблюдава най-висока наличност на данните през дневната част от денонощието. Всички наблюдавани нееднородности в полето на данните определят от своя страна и различния брой стойности, които взимат участие в извеждането на осреднените денонощни стойности на скоростта на вятъра във височина (*лява графика на Фиг.4.7.1.7.*).

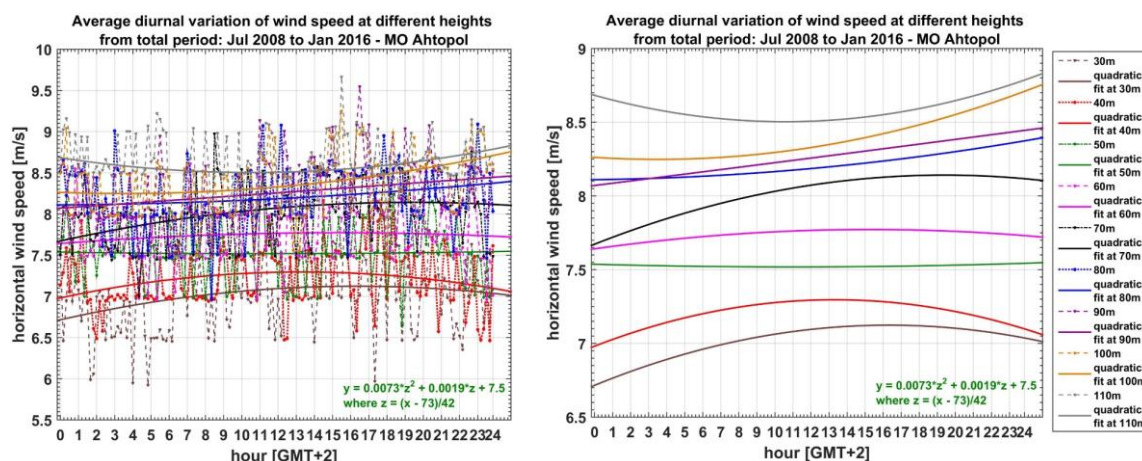


Фиг.4.7.1.7. Осреднени стойности на денонощен ход на скоростта на вятъра във височина (графика вляво) от не хомогенна по времето и пространството денонощна наличност от данни (дясна графика) от общо 2357 денонощия с профили, при които е отчетена минимална височина от 100m над ЗП и непрекъснатост на профила след тази височина, през периода от 20.07.2008 до 31.01.2016 г. в МО Ахтопол

Ниски стойности на скоростта на вятъра се наблюдават в слоя определен приблизително от първите 90 m над ЗП. Увеличаването на стойностите на скоростта на вятъра във височина е добре изразено през нощните часове, докато през деня ниски стойности на скоростта на вятъра

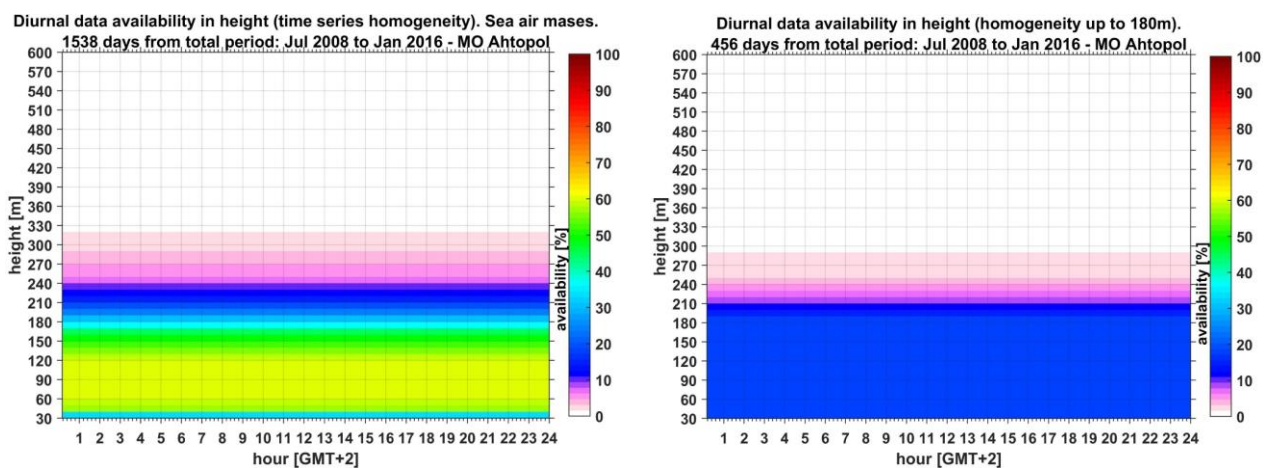
се наблюдават и във по-високите слоеве. Минималните стойности в осредненото денонощно поле на вятъра са около 5 ms^{-1} и се наблюдават близо до ЗП а максималните стойности на скоростта достигат до 14 ms^{-1} на височини над 400 m.

При извеждането на резултатите на *Фигура 4.7.1.8.* са обработени данни от общо 2357 денонощия от целия разглеждан период (налични 2485 от възможни 2752 денонощия), при които условието за подбор на профили е било в сила при поне една времева серия. Поради нееднородността в разпределението на броя на данните по времето и пространството, при изчисленията на денонощният ход на скоростта на вятъра са участвали различен брой индивидуални стойности, както във височина, така и през определените 10 минутни интервали от денонощието. На лявата графика с пунктири в различни цветове са оказани осреднени стойности (на всеки 10 минути) на денонощния ход на скоростта на вятъра на различни височини над ЗП (от 30 m до 110 m, през 10 m височина в различни цветове) от нехомогенно разпределените данни изложени на *Фигура 4.7.1.7.* (дясна графика). Към всеки един от осреднените денонощни ходове на скоростта на вятъра на различна височина са приложени квадратични функции (линии със същия цвят за определените височини) описващи тяхното изменение през денонощието. Изменението на същите тези квадратични функции може да се види по-ясно на изложената дясната графика на *Фигура 4.7.1.8.* Интерес на графиките на тази фигура представляват кривините на квадратичните функции (изпъкнали и вдлъбнати) и височината, на която те представляват права или близка до права линия, разграничаваща двата основни типа кривини. Почти изправена квадратична функция се наблюдава на ниво 50 m (зелен цвят) над ЗП, но след тази височина отново следват две нива със изпъкнали форми на квадратичните функции. Окончателно обръщане на кривината, на приложените квадратични функции се наблюдава на височина 90 m над ЗП. Тази височина не може недвусмислено да бъде определена като „reversal height“, тъй като от една страна, при разглеждания случай не се наблюдава хомогенност на данните нито във височина нито през времевите интервали от денонощието; а от друга страна, поради включването на всички данни не се открояват особеностите поради трансформация на морските ВМ над сушата и особеностите на ВМ от сушата. Височината 50 m може да се свърже с характерната височина на ВГС на 500 m от бреговата линия, а височината от 90 m може да е свързана с режима на вятъра над сушата.



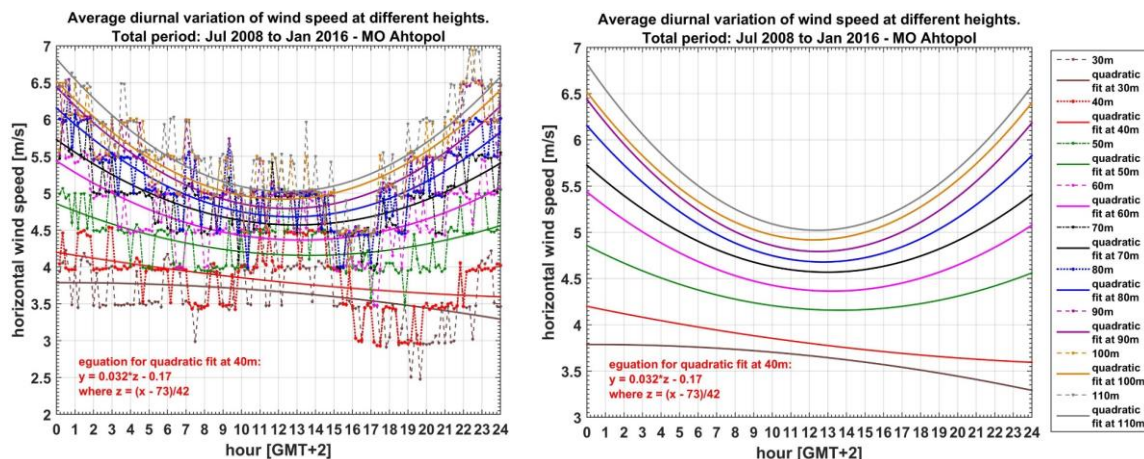
Фиг.4.7.1.8. Осреднени стойности на денонощен ход на скоростта на вятъра на различни височини (цветове на пунктирани линии: 30 m – кафяв, 40 m – червен, 50 m – зелен, 60 m – розов, 70 m – черен, 80 m – син, 90 m – лилав, 100 m – оранжев, 110 m – сив) от нехомогенна по времето и пространството денонощна наличност на данни с приложени квадратични функции (графика вляво) и самостоятелно показани квадратични функции (дясна графика) от общо 2357 денонощия с профили извлечени от периода 20.07.2008 - 31.01.2016 г. в МО Ахтопол.

Следващата стъпка от анализа пристъпва към уеднаквяване на броя на данните за скоростта на вятъра, както във височина, така и по 10 минутните времеви серии от денонощията. Резултатите от процеса на хомогенизиране на данните до 180 m височина са изведени на [Фигура 4.7.1.9](#). Поради процеса на извеждане на стойности на скоростта, при които се наблюдава денонощна непрекъснатост на данни, броят на денонощията от 2357 се редуцира до 1538 за целия разглеждан период ([Фиг.4.7.1.9. - вляво](#)). Най-висока наличност на денонощни данни на скоростта на вятъра (малко под 60%) се наблюдава във слоя между 60 и 120 m, като тази наличност бързо намалява във височини и над 330 m тя е под 1%. Наличност на непрекъснати денонощни времеви серии има и на 600 m височина но тяхната наличност е под 0.2% и скалата на цветни бар, описващ наличността на данните в проценти, не обхваща толкова ниски стойности. Задоволителна наличност на данни (близо 35%) се наблюдава в слоя от 30 до 180 m, за който слой е приложен следващ процес на уеднаквяване на броя на данните за скоростта на вятъра но този път във височина. Крайният резултат от хомогенизирането на броя на данните по времето и във височина до 180 m ([Фиг.4.7.1.9. - вдясно](#)), извежда общо 456 денонощия отговарящи на условията за хомогенни редици от данни, което е малко под 20 % от целия разглеждан период.



Фиг.4.7.1.9. Денонощно изменение на наличността на данните уеднаквени по времето (лява графика, наличност до 1538 денонощия от общо 2357) и денонощно изменение на наличността на данните уеднаквени едновременно по времето и във височина до 180 m над ЗП (дясна графика, наличност до 456 денонощия) - разглеждан период от 20.07.2008 до 31.01.2016 г. в МО Ахтопол.

Денонощният ход на скоростта на вятъра, изведен от тези денонощия, на нива от 30 до 110 m през 10 m височина със съответни приложени квадратични функции са изложени на графиките на [Фигура 4.7.1.10](#). При тази фигура се вижда, че се наблюдава линейна зависимост при изменението на денонощната скорост на ниво 40 m (червен пунктир, червена линия и уравнение в червено). Квадратичната функция под това ниво (кафяв цвят) има леко изпъкнала форма, указваща въздействие на ЗП над денонощния ход на скоростта на вятъра на височина 30 m. На всички нива след 40 m се наблюдават вдлъбнати форми на приложените квадратични функции (нива, на които не се отчита влияние на ЗП). Поради наблюдаваните изменения в денонощните ходове на скоростта на вятъра на различни нива ([Фиг.4.7.1.10.](#)), изведени от непрекъснатата (еднородна) във височина и по времето редица от данни, можем да определим, че височината на обръщане на денонощния ход на скоростта на вятъра е 40 m.



Фиг.4.7.1.10. Денонощен ход на скоростта на вятъра на различни височини(цветове на пунктирани линии: 30 m – кафяв, 40 m – червен, 50 m – зелен, 60 m -розов, 70 m – черен, 80 m – син, 90 m – лилав, 100 m – оранжев, 110 m – сив) от хомогенна по времето и пространството денонощна наличност на данни със приложени квадратични функции (графика вляво) и самостоятелно изложени квадратични функции от графиката вляво (дясна графика) от общо 465 денонощия извлечени от периода 20.07.2008 - 31.01.2016 г. в МО Ахтопол.

В дисертацията този анализ е направен в детайли за различни извадки от данните, разделяйки всички случаи на морски ВМ и ВМ откъм сушата, Някои характеристики на извадките от данни и стойности на параметрите и особености в профилите им са обобщени в табличен вид в [Таблица 4.7.1.1.](#)

Табл. 4.7.1.1. Анализ по 7-годишен период от измервания

Характеристики на извадките от данни, метеорологичните параметри и профилите	Тип ВМ (колона) / 07.2008 - 01.2016 г. /		
	Всички ВМ (1)	Морски ВМ (2)	ВМ откъм сушата (3)
Брой дни с данни	2357	821	561
Брой профили, участващи в анализа	327 009	47 712	45 554
% от възможните за периода пофили	82,2	12	11,4
Височини (в m) с максимуми в профила на характеристичния параметър в разпределението на Вейбул	50	80 - 90	50
	80	230-250	80
	270 - 300	520 560	290 - 300
Височини (в m) с максимуми в профила на параметъра на формата в разпределението на Вейбул	50	50	50
	80	80	80
	260	270-280	270 - 290
	390 - 400	370 450 510	430
		550 - 560	
Височини (в m) на обръщане на денонощния ход на скоростта на вятъра	90 нехомогенни данни 40 хомогенни данни	100 - нехомогенни данни	

4.7.2. *Вероятностно разпределение и денонощен ход на скоростта на вятъра във височина през летните сезони (юни – август) от над седем годишен период на измерване. Профили на параметрите на Вейбул.*

В тази част о дисертацията, анализите от [глава 4.7.1.](#) се прилагат за летните месеци, с цел да се открият особености, скрити в статистиката от всички данни. За да се избегнат повторения,

тук е текстът е кратък, а илюстрациите следват логиката на 4.7.1. Резултатите отново са обобщени в таблици, а всички графики са представени в дисертацията.

От представените анализи в тази част можем да обобщим:

- Всички летни ВМ

Подборът на летни месеци за анализ сваля значително наличността на данните във височина над 180 m (Фиг. 4.7.2.1. и Фиг. 4.7.2.2.). Тази извадка от данни показва по-ниски стойности на параметрите в разпределението на Вейбул във височина в сравнение с целогодишните данни, височина на обръщане на денонощния ход в скоростта на вятъра на 110 или 50 – 70 m, съответно от цялата и хомогенизираната за пълни денонощия и профили извадки от данни. При следващото разделяне на данните за летните месеци по тип ВМ анализите открояват, че високите скорости на екстремните ветрове във височина се дължат на ВМ откъм сушата, скоростта на вятъра в морските ВМ е сравнително постоянна с височината в слоя 400 m, анализът на денонощния ход на скоростта на вятъра в зависимост от височината е затруднен поради малкия брой цели денонощия с постоянен по посока вятър.

Табл. 4.7.2.1. Анализ по 7-годишен период от измервания през летните месеци юни до август

Характеристики на извадките от данни, метеорологичните параметри и профили	Тип ВМ (колона) / юни - август; 07.2008 - 01.2016 г. /		
	Всички ВМ (1)	Морски ВМ (2)	ВМ откъм сушата (3)
Брой дни с данни	602	299	99
Брой профили, участващи в анализа	81 324	16 453	5 932
% от възможните за периода пофили	82,3	16,7	6
Височини (в m) с максимуми в профила на характеристикния параметър в разпределението на Вейбул	60	80	50
	80	220 - 230	80
	250 - 290	420 - 430	220 - 270
	510 - 520	470	400
		530	
Височини (в m) с максимуми в профила на параметъра на формата в разпределението на Вейбул	50	60	50
	70	80	80
	110	230 - 240	220
	230 - 240	340	380 - 400
	390 - 420	450	
	540		
Височини (в m) на обръщане на денонощния ход на скоростта на вятъра	120 нехомогенни данни 70 хомогенни данни		

4.7.3. Вероятностно разпределение и денонощен ход на скоростта на вятъра във височина през зимните сезони (декември – февруари) от над седем годишен период на измерване. Профили на параметрите на Вейбул.

Анализът от предходните две части на дисертацията е приложен за зимните сезони определени от месеците декември, януари и февруари.

При еталонния профил Фигура 4.7.3.2. се наблюдават два изразени пика близко до ЗП на височина 50 и 80 m. Графиката може да се оприличи с същата подобна за цялостния разглеждан период (Фиг. 4.7.1.2.)

От представените анализи в тази глава можем да обобщим:

- Всички зимни ВМ

По-високата динамика на процесите в атмосферата през зимните месеци, допринася за по-голяма наличност на данните във височина в сравнение с анализа на летните ВМ (Фиг. 4.7.3.1.,

Фиг. 4.7.3.2. и Фиг. 4.7.2.1. и Фиг. 4.7.2.2.). Характеристиките на тази извадка са съпоставими с тези от анализа на всички ВМ откъм сушата (Фиг. 4.7.3.1. и Фиг. 4.7.1.15.), включително при анализа на височините с изразени пикове 50 и 80 m от ЗП при еталонния профил за екстремни стойности *Фигура 4.7.3.2.* и *Фигура 4.7.1.2.*

Трябва да се отбележи високата времева хомогенност на наличността на данните поради по-малкото прекъсвания в работата на содара през зимата (Фиг. 4.7.3.4. – дясно). Високият брой на зимни денонощия с хомогенна редица от данни, оказват височина от 70 m при, която се наблюдава изправяне на приложената квадратична функция към хомогенния денонощен ход на скоростта на вятъра (Фиг. 4.7.3.6.), която се свързва с характеристики на АГС при ВМ откъм сушата.

- **Морски ВМ**

Разделянето на зимната извадка на ВМ откъм морето и откъм сушата показва преобладаващо наличие на ВМ откъм сушата и съответно доминацията им при формирането на описаните по-горе общи характеристики за зимните месеци.

Рязко намаляване на наличността на данните за зимни морски ВМ във височина е индикатор, че и през зимните месеци има случаи с локална циркулация, но с много ограничени във височина размери. В еталонния профил на зимни морски ВМ има след 390 m. (*Фигура 4.7.3.7.* и *Фигура 4.7.3.8.*), а в профила на параметъра на формата (Фиг. 4.7.3.9. ляво) се открояват височини, свързани с формирането на ВГС – 50 и 80 m, зимен морски устойчив АГС 290 m и зимен морски слабо неустойчив или неутрален АГС от 410 до 470 m.

- **ВМ откъм сушата**

Извадката от откъм сушата за месеците декември до февруари показва изменение на хистограмите на скоростта във височина близка до тази за цялостния времеви период (Фиг. 4.7.3.10. и Фиг. 4.7.1.15.). Подобни са и резултатите от анализите на екстремните скорости (Фиг. 4.7.3.11. и Фиг. 4.7.1.16) и профилите на параметрите на разпределението на Вейбул (Фиг. 4.7.3.12. и Фиг. 4.7.1.17)

Табл. 4.7.3.1. Анализ по 7-годишен период от измервания за зимните месеци декември-февруари

Характеристики на извадките от данни, метеорологичните параметри и профилите	Тип ВМ (колона) / декември - февруари; 07.2008 - 01.2016 г. /		
	Всички ВМ (1)	Морски ВМ (2)	ВМ откъм сушата (3)
Брой дни с данни	632	120	151
Брой профили, участващи в анализа	89 319	6 218	15 652
% от възможните за периода пофили	89,5	6,2	15,7
Височини (в m) с максимуми в профила на характеристичния параметър в разпределението на Вейбул	50	50	50
	80	80 - 90	80 - 90
	280 - 300	240 - 260 400 - 450	290 - 310
Височини (в m) с максимуми в профила на параметъра на формата в разпределението на Вейбул	50	50	50
	80	80	80
	110	280 - 300	290
	270 - 290	410 - 470	
Височини (в m) на обръщане на денонощия ход на скоростта на вятъра	60 - 70 хомогенни данни		60 - 70 нехомогенни данни

4.8. Месечни анализи на акустични данни и определяне височини на УГС и КГС при различен тип крайбрежни ВМ.

Изучаването на структурата на АГС има важно теоретично и практично значение, и определянето на неговите характеристики дава възможност да се придобие информация за

състоянието на атмосферата близо до ЗП. Според стратификацията си той се дели на три основни термо динамични състояния определени от турбулентното му състояние: устойчиво стратифициран, неутрален и конвективен (неустойчиво стратифициран). При дисперсионните модели, описващи замърсяването на атмосферата, АГС се нарича слой на смесване (СС) и неговата височина може да е определена от височината на КГС, на ВГС или от височината на струпване на аерозоли, отчетени при дистанционни измервания (Бъчварова, 2006). Определянето на височината на СС, чрез наземно базирани дистанционни методи на измерване, е тема описвана и дискутирана през годините в различни научни трудове (Beyrich, 1997; Asimakopoulou et al., 2004; Emeis et al., 2007; Emeis et al., 2008). В прегледа направен от Emeis et al. (2008) са посочени няколко основно използвани методи за определяне денонощните вариации на СС. Сред посочените методи използващи акустично сондиране на атмосферата са анализите на профила на вариациите на вертикалната скорост на въръра (Vertical wind variance method - VWV method), както и анализи на интензитета на отразените акустични вълни съвместно с анализи на профила на вариациите на вертикалната скорост на въръра (Enhanced acoustic received echo method - EARE method). Указани са алгоритми използващи повече от един наземно базиран дистанционен инструмент за измерване на метеорологични характеристики в АГС, като комбинации на акустични (содари), оптични (сейлометри и лидари) и електромагнитни (ветрови радари и RASS представки) сондирания на атмосферата, в това число и приземни измервания на турбулентни потоци топлина. Като минус на АССА, при определяне височината на СС, са оказани не възможността на содара да проследи денонощното развитие на този слой поради ограниченият му вертикален обхват, както и възпрепятстването на измерванията при силен дъжд и странични шумове от обкръжаващата го среда. Като плюсове са посочени ниската височина, от която може да започне измерването с акустични вълни, възможността инструментът да определи височината на СС самостоятелно, както и високата вертикална резолюция на данни определящи височината на плитки СС (особено през ноща).

За целите на поставената задача бе направен анализ на данни от АССА в МО Ахтопол (Scintec MFAS) по месеци за периода от 20.07.2008 г. до 10.10.2012 г. Два основни типа крайбрежни ВМ са анализирани: ВМ откъм сушата и морски ВМ. Подборът на месечните периоди на анализ в съчетание с избрани времеви интервали, отговарящи на нощни и дневни ВМ, дават възможност да се изведат профили, характеризиращи две основни състояния на атмосферата – при устойчива и неустойчива стратификация. Направените анализи са изведени в [Таблица 4.8.1.](#) в три основни периода определящи:

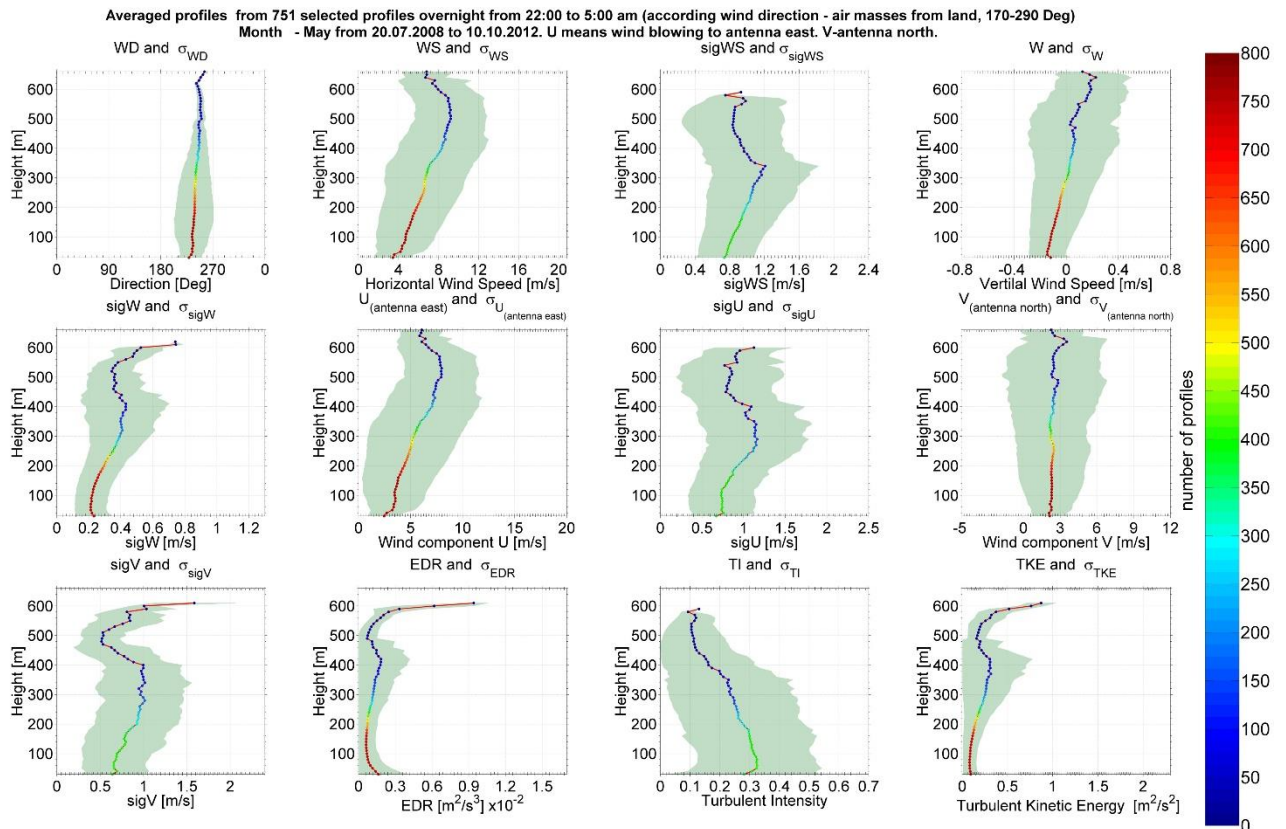
- ✓ нощен (от 22:00 часа до 05:00 часа) УГС на ВМ откъм сушата (посока на вятъра от 170° до 290°) през месеците от март до ноември.
- ✓ нощен (от 22:00 часа до 05:00 часа) КГС на ВМ откъм морето (посока на вятъра от 0° до 120°) през месеците от май до ноември.
- ✓ дневен (от 10:00 часа до 15:00 часа) КГС на ВМ откъм сушата (посока на вятъра от 0° до 120°) през месеците март, април, май, октомври и ноември.

Таблица 4.8.1. Избрани периоди на месечни анализи, максимално достигнати височини и брой на изведените профили, характеризиращи УГС и КГС

Период на анализите от 20/07/2008 до 10/10/2012								
ВМ носещи характеристиките на УГС Месечни осреднени профили (Време: 22 ÷ 05 h; Посока: 170 ÷ 290 Deg)			ВМ носещи характеристиките на КГС Месечни осреднени профили (Време: 22 ÷ 05 h; Посока: 0 ÷ 120 Deg)			ВМ носещи характеристиките на КГС Месечни осреднени профили (Време: 10 ÷ 15 h; Посока: 170 ÷ 290 Deg)		
Месец	Максимална височина[m]	Брой на профилите	Месец	Максимална височина[m]	Брой на профилите	Месец	Максимална височина[m]	Брой на профилите
Март	660	978	-	-	-	Март	540	220
Април	600	894	-	-	-	Април	490	182
Май	660	751	Май	660	63	Май	470	68
Юни	600	514	Юни	610	107	-	-	-
Юли	540	273	Юли	350	142	-	-	-
Август	540	93	Август	310	46	-	-	-
Септември	700	179	Септември	470	372	-	-	-
Октомври	600	285	Октомври	470	281	Октомври	500	226
Ноември	600	269	Ноември	470	268	Ноември	510	135

4.8.1. Нощен УГС на ВМ откъм сушата

Въздушните маси откъм сушата в нощните часове се очаква да носят характеристиките на устойчив АГС (УГС). Ситуации с устойчив АГС през деня за ВМ откъм сушата се очаква да има и денем в някои зимни дни, но тези случаи не се разглеждат тук. Вниманието в следващия анализ е насочено към типичен случай на нощен бриз откъм сушата през топлото полугодие и са анализирани нощните данни с посока на вятъра откъм сушата за месеците от март до ноември (Таб. 4.8.1.). Приложените към данните филтри/условия (в допълнение на избраното време и посока) са: едновременното наличие на профилите на 12 изходящи параметъра, наличието на данни до минимум 150 m от ЗП посока на вятъра от 170⁰ до 290⁰ е по цялата му височина до 160 m. За всеки от разглежданите месеци са изведени месечни осреднени стойности и техните дисперсии на 12 изходящи параметъра от АССА, като на *Фигура 4.8.1.1.* са показани за илюстрация резултатите за месеците май. При три от осреднените профили на представената фигура (σ_w , EDR и ТКЕ) се отчита изменение в знака на градиента на една и съща височина - 410 m. Броят на изведените профили участващи в осредняването на тази височина е 71. На тази височина стойностите на дисперсията на вертикалната скорост спират да нарастват и започва да намаляват във височина, което е критерий за определянето на височина на този нощен крайбрежен УГС на ВМ откъм сушата. Наблюдаваните изменения във формата на изведените осреднени профили и техните дисперсии за месец май, биха могли да се оприличат с тези изведени на *Фигура 4.6.2.6.* (нощни ВМ откъм сушата през топлата част на годината), при които се наблюдават малко по-изразени пикове при турбулентните параметри на σ_w , EDR и ТКЕ (пика на σ_w е на 430 m с наличност от 95 индивидуални профила).

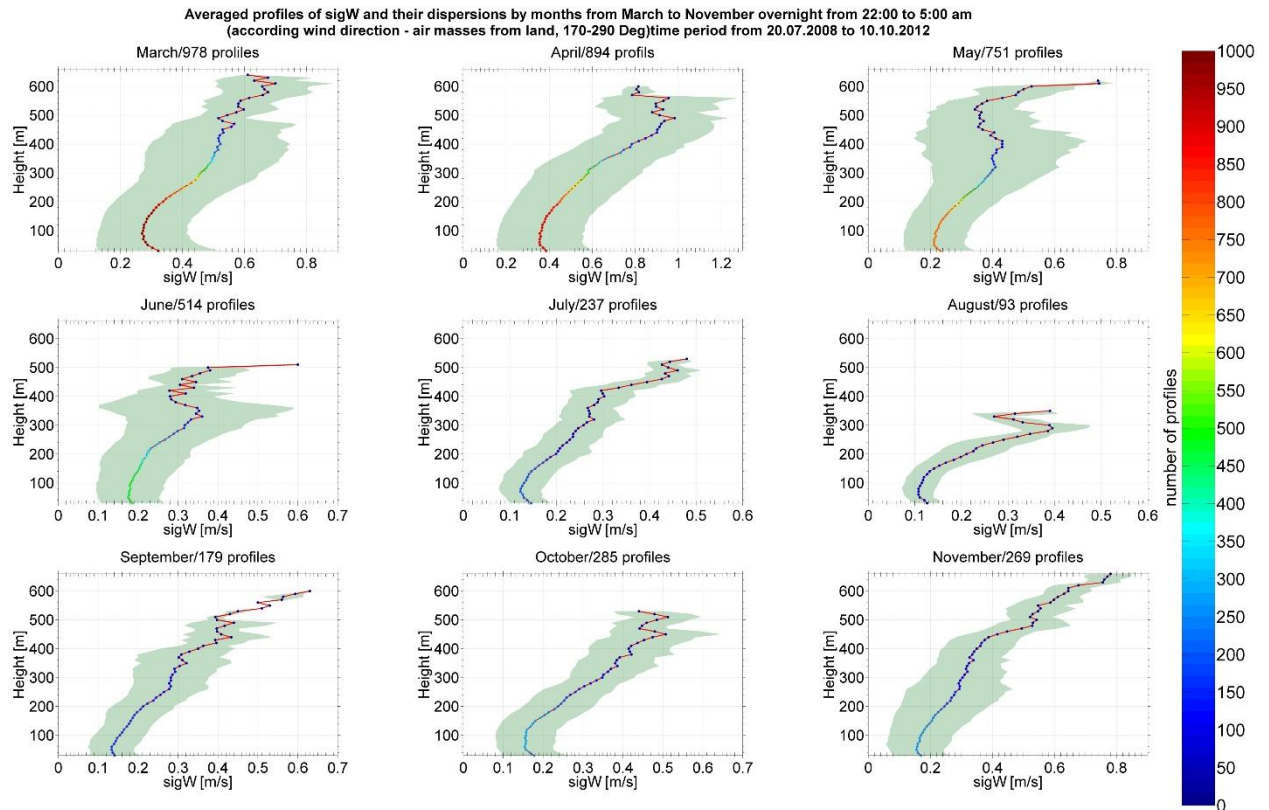


Фиг.4.8.1.1. Осреднени профили и техните дисперсии от подбрани 751 нощни профили (от 22⁰⁰ до 5⁰⁰ часа) на ВМ откъм сушата (170 - 290 Deg) през месеците май за периода от 20.07.2008 до 10.10.2012 г. U - оказва вятър духащ към изтока на антената на Содара, V – вятър духащ към север

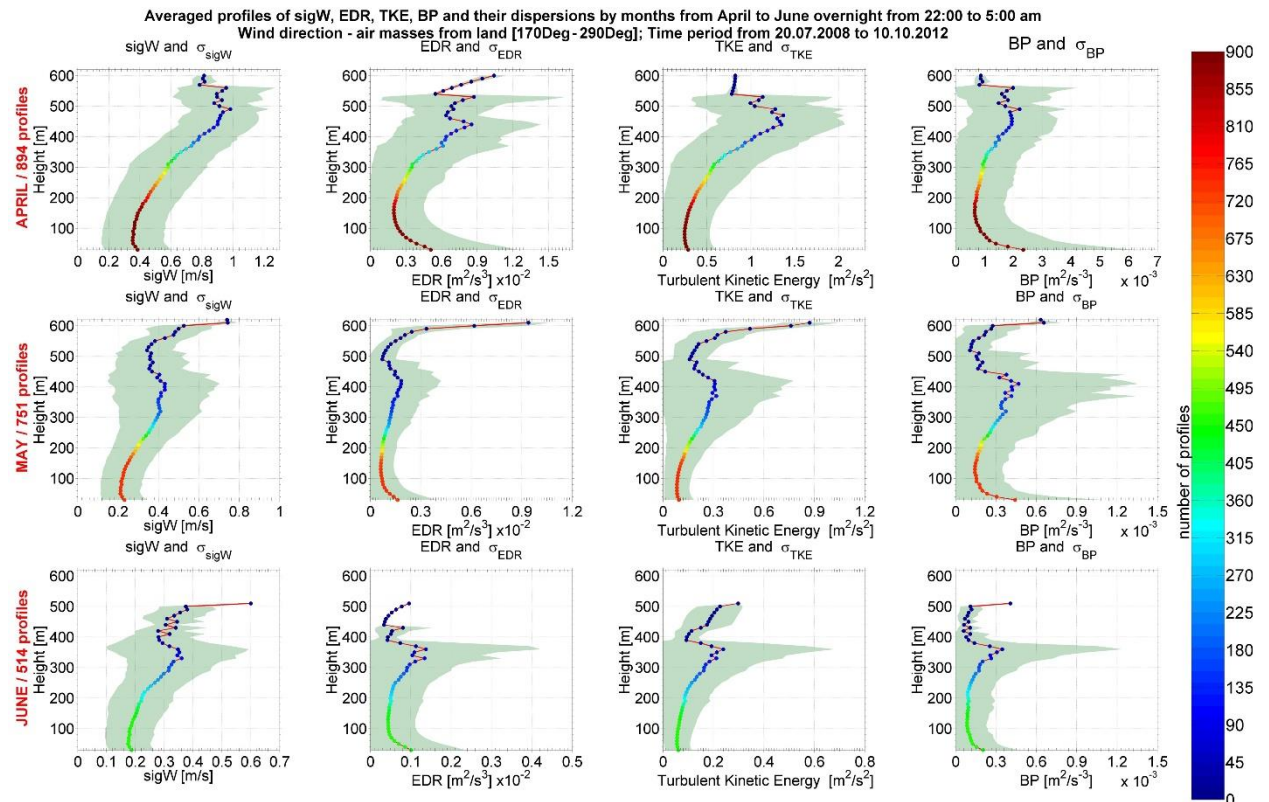
На [Фигура 4.8.1.2.](#) са изведени и сравнени помесечно осреднени профили на дисперсията на вертикалната скорост $\sigma_w(z)$ и нейното стандартно отклонение за месеците от март до ноември, за да се илюстрира един от методите за определяне на височината на АГС от содарни данни, а именно методът основан на анализите на профила на вариациите на вертикалната скорост на въръра (Vertical wind variance method - VWV method).

Освен височината на УГС през съответните месеци, [Фигура 4.8.1.2.](#) показва по-висока наличност на профилите участващи в калкулирането на изведените осреднени профили през началото на избрания период от март до юни, с минимум през август, когато бризовата циркулация е добре развита, и постепенно увеличаване към края на избрания период. Ниската височина на нощната бризова клетка ([глава 4.4.2.](#) - бриз откъм сушата) в някои от месеците (т.е. присъствието на обратен поток) поражда не изпълнение на условието за посока на вятъра от 170⁰ до 290⁰ по цялата дължина на профила. Добре изразена височина на УГС попадаща в обхвата на АССА в МО Ахтопол, се наблюдава през месеците от април до юни и септември - ноември.

На [Фигура 4.8.1.3.](#) са представени осреднени профили на четири параметъра (три изведени от Содара – σ_w , EDR, ТКЕ и един калкулиран ВР) през три различни месеца с добре изразена височина на нощен крайбрежен УГС в МО Ахтопол, които потвърждават горните изводи: с настъпването на летния сезон средната височина на УГС и наличността на данни с посока откъм сушата във височина намаляват.



Фиг. 4.8.1.2. Осреднени месечни профили на дисперсията на вертикалната скорост и нейното стандартно отклонение, калкулирани от различен брой нощни профили (от 22⁰⁰ до 5⁰⁰ часа) на ВМ откъм сушата (170 - 290 Deg) през месеците от май до ноември за периода от 20.07.2008 до 10.10.2012 г.



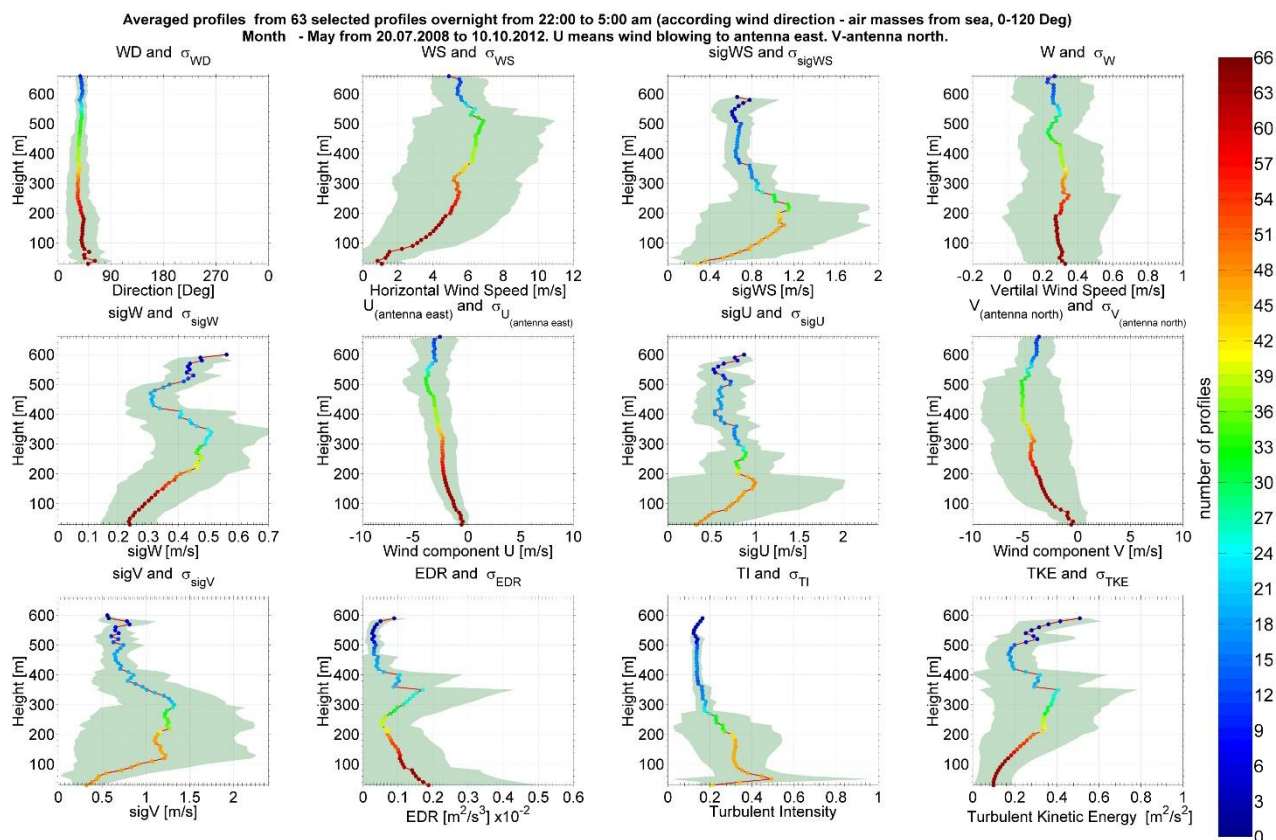
Фиг.4.8.1.3. Височини на нощен устойчив граничен слой на крайбрежни въздушни маси (ВМ) откъм сушата в МО Ахтопол. Април – 440 m (108 осреднени профила); Май – 410 m (71 осреднени профила); Юни – 360 m (56 осреднени профила)

Представеният анализ показва колко полезна за теоретични и режимни изследвания е информацията от содара. Сега знаем каква е и как се изменя в месеците височината на на нощния УГС в крайбрежната зона на южното черноморие. Тази информация е важна и за прилагането на дисперсионни модели за разпространението на примеси(както замърсители, така и влага) в АГС в тези райони.

4.8.2. Нощен КГС на ВМ откъм морето

В случаите когато морето е по-топло от въздуха над него има условия за формиране на конвективен АГС. Такива условия се очакват през нощта през лятото и дори и през деня през зимата. Изведените различен брой профили, отговарящи на съответните условия за нощен КГС, и максимално достигнатата височина на сондиране през различните месеци са изложени в Таблица 4.8.1.

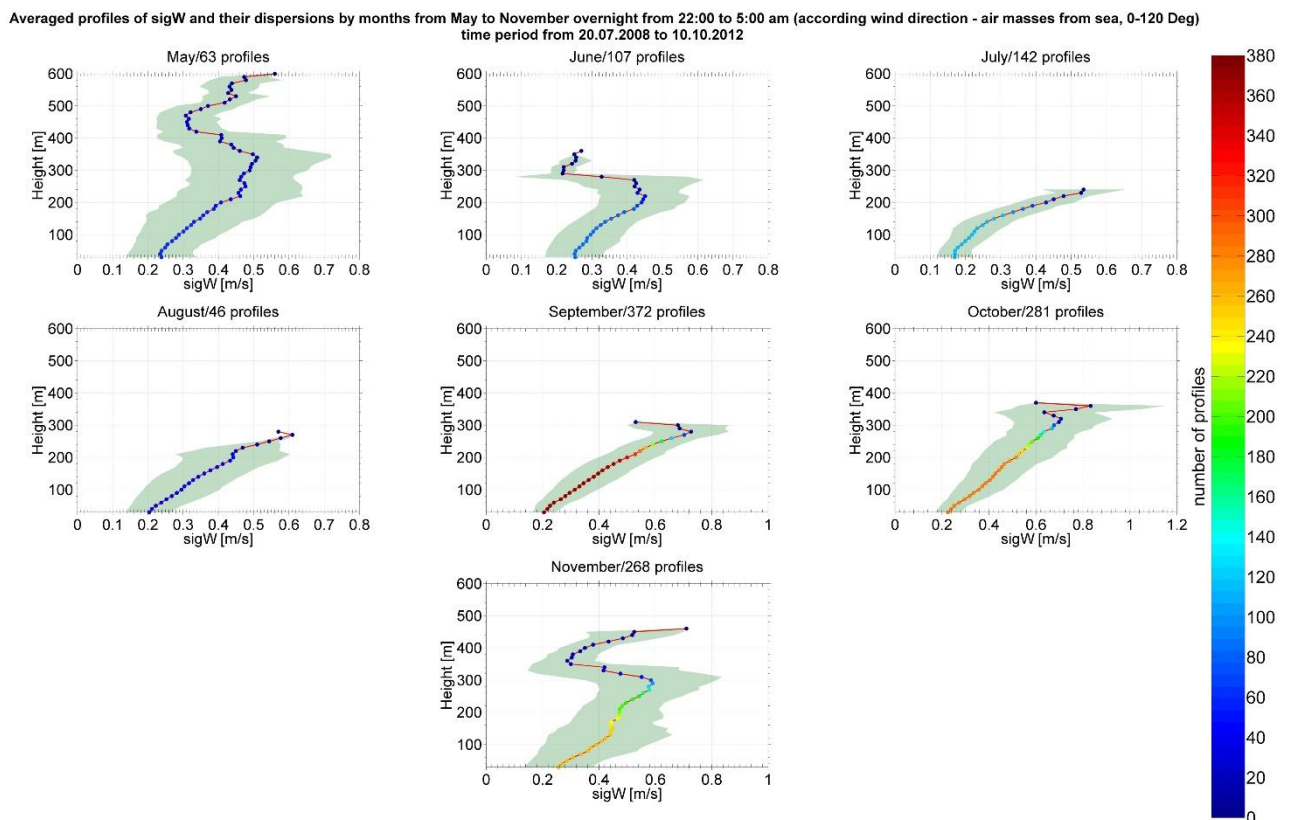
Графиките (Фиг.4.8.2.1.) на осреднени профили на 12 изходящи параметъра от содара за месец май показват изменение в знака на градиента на почти една и съща височина (340 m) при трите параметъра - σ_w , EDR и ТКЕ. Броят на профилите използвани при калкулирането на осреднените им стойности на 340 m е 23 профила. На това ниво над ЗП стойностите на $\sigma_w(z)$, спират да нарастват и започват да намаляват във височина, определяйки дълбочината на нощен крайбрежен КГС през месеците май за разглеждания цялостен период.



Фиг.4.8.2.1. Осреднени профили и техните дисперсии от подбрани 63 нощни профили (от 22⁰⁰ до 5⁰⁰ часа) на морски ВМ (0 - 120 Deg) през месеците май за периода от 20.07.2008 до 10.10.2012г. U- оказва вятър духащ към изтока на антената на Содара, V – вятър духащ към север

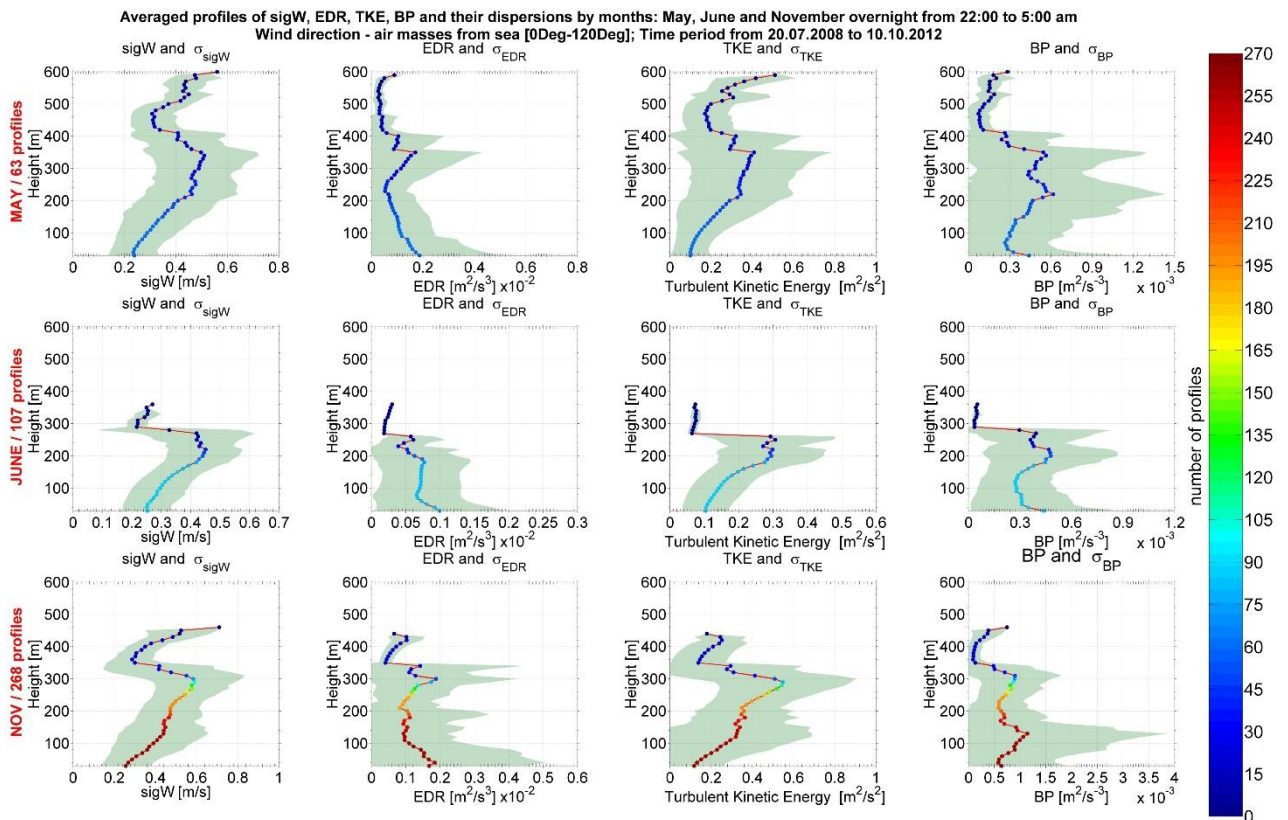
На Фигура 4.8.2.2. се сравняват осреднени месечни профили на $\sigma_w(z)$ и техните стандартни отклонения, от май до ноември, описващи нощен крайбрежен КГС в МО Ахтопол. Този тип морски ВМ се характеризира като цяло с по-нисък брой на изведени профили отговарящи на

съответните условия главно поради наличието на локална циркулация, която обуславя преобладаващ поток откъм сушата нощем. Слаба наличност на броя профили се наблюдава през август и май, като максималната височина до която достига осреднения профил през май надвишава близо два пъти този през месец август. Това се дължи на по-голяма неустойчивост на атмосферата през май и свързаните с това породени турбулентни нееднородности във височина, попаднали в обхвата на содара в началото на сезона на бризовата циркулация (влияние тук може да има и спирането на содара нощем през юли и август 2009 и 2010 година). Максимум на броя на профилите се наблюдава през есента, когато бризовата циркулация по крайбрежието започва да затихва. Добре изразена височина на нощен КГС на морски ВМ, попаднала в обхвата на АССА в Ахтопол, се наблюдава през месеците май, юни и ноември и тя е от порядъка на 300 m.



Фиг.4.8.2.2. Осреднени месечни профили на дисперсията на вертикалната скорост и нейното стандартно отклонение, калкулирани от различен брой нощни профили (от 22⁰⁰ до 5⁰⁰ часа) на ВМ откъм морето (0 - 120 Deg) през месеците от март до ноември за периода от 20.07.2008 до 10.10.2012 г.

На графиките на [Фигура 4.8.2.3](#) са представени осреднени профили на четири параметъра (три изведени от содара – σ_w , EDR, ТКЕ и един калкулиран ВР) през три различни месеца (май, юни и ноември) с добре изразена височина на нощен КГС от 350 m през май и 300 m през другите месеци на морски ВМ в МО Ахтопол. При съответните допълнително изведени месечни осреднени профили (ВР) се наблюдават изменения в знака на градиента им на почти еднаква височина с този на профила $\sigma_w(z)$, през съответния месец.



Фиг. 4.8.2.3. Височини на нощен крайбрежен КГС (ВМ от към морето). Май – 340м (23 осреднени профила); Юни – 220м (42 осреднени профила); Ноември - 290м (105 осреднени профила)

4.8.3. Дневен КГС на ВМ откъм сушата

През топлото полугодие, а в южната черноморска подобласт на Черноморската климатична област и през преходните сезони поради мекия климат се очакват много слънчеви дни, нагряване на земната повърхност и конвективни условия в АГС. Когато над содара преминава поток от ВМ откъм сушата през деня, се очаква в наблюдаваните профили да се открият характеристики на конвективен АГС.

През различните месеци са изведени различен брой профили, *Таблица 4.8.1.*, отговарящи на съответните подбрани условия за конвективен режим на атмосферата през деня, като през най-топлите месеци дори няма такива случаи, поради преобладаващите морски ВМ денем. За краткост в автореферата графиките в този случай не са представени, а само основните изводи от тях.

В профилите на σ_w , EDR и TKE се наблюдават максимуми на височина 320 m.

Следвай схемата на анализ от предходните части, от осреднените месечни профили на $\sigma_w(z)$ се наблюдава се увеличение на височината на КГС от 250 до 300 m с настъпването на топлия сезон от март към май и намаляване от 320 до 300 m от октомври към ноември.

Добре изразена височина от около 300 m на дневен КГС на ВМ откъм сушата с участието на най-голям брой профили използвани при калкулирането на осреднените месечни профили се наблюдава през месеците март, април и ноември на *Фигура 4.8.3.3* (в дисертацията).

Броят на профилите през месец март и ноември, участващи в калкулирането на осреднените профили, е по-голям отколкото през април. С приближаване сезона на бризовата циркулация по крайбрежието този тип дневни профили на ВМ откъм сушата намаляват, а височината на съответния КГС се увеличава.

Директното определяне на височина на различен тип стратифициран ГС, чрез осреднени месечни профили на $\sigma_w(z)$ от АССА в МО Ахтпол, е ограничено от вертикалния обхват на

содара и би могло да се използва при плитки гранични слоеве. Потвърждението на тази височина от още два директно изведени параметъра (EDR и ТКЕ) и един калкулиран (BP) от содара, дава възможност при обхващане на достатъчно голям период от измервания, да се изведат климатични стойности на важни метеорологични величини, при определен тип локална циркулация в крайбрежните зони. Такъв тип данни, с висока вертикална резолюция, имат широк практически потенциал и биха могли да се използват в различни типове дисперсионни, климатични и прогностични числени модели.

4.9. Оценка на приложимостта на широко използвани параметризации за профила на скоростта на вятъра в граничния слой

Надеждността на прогнозите на времето и замърсяването на въздуха зависи до голяма степен от приложимостта на вградените параметризационни схеми за конкретни метеорологични, географски и орографски условия. При използването на дисперсионни модели също е необходимо надеждно определяне на основни метеорологични параметри, като приземи турбулентни потоци и дисперсии, профили на скоростта и посоката на вятъра, профили на турбулентни характеристики, височина на АГС, термодинамична устойчивост на атмосферата и други. Измерванията на тези характеристики не са включени в стандартните програми за мониторинг на Световната метеорологична организация (СМО) и на Европейската агенция за околна среда (ЕАОС), а описанието им в дисперсионните и метеорологични модели е задължително, тъй като представлява параметризацията на физическите процеси в атмосферния граничен слой (АГС). Параметризацията на процесите в АГС е възможна при условия за стационарност на процесите и однородност на постилащата повърхност, условия които рядко са изпълнени. Поради изброените причини е много важно когато има качествени данни за профилите на метеорологичните елементи с голяма резолюция в пространството (във височина) и във времето, тези данни да бъдат използвани за оценка на верността и приложимостта на различни теоретични или емпирични модели. В тази част на дисертацията са направени оценки на приложимостта на широко използвани параметризации за профила на скоростта на вятъра в граничния слой: COST Action 710 (Fisher, 1998) и ECMWF (Beljaars, 1992) и турбулентните характеристики. За целта е направено филтриране на содарните данни и са отделени само случаите на ВМ от сушата (сектор $170^{\circ} \div 290^{\circ}$) нощем (от 2200 до 500 часа), условия когато се предполага устойчива стратификация.

Европейското сътрудничество в областта на научните и технически изследвания под номер 710 (COST Action 710) “Хармонизация на препроцесинга на метеорологични данни за атмосферните дисперсионни модели” (Fisher, 1998) прави преглед на дълги години научен труд на много изследователи и обобщава резултатите в публикувания краен доклад (Fisher, 1998). За целите на тази дисертация са използвани препоръчаните от работна група 2 (Seibert et al., 1998) формули за определяне на височината на СС и препоръчаните от работна група 3 (Cenedese et al., 1998) формули за определяне на профилите на вятъра и турбулентните характеристики.

4.9.1. Профили на хоризонталната скорост на вятъра, характеризиращи нощен УГС на ВМ откъм сушата.

За да може да се търси съпоставимост при разглежданите данни, времевите редове на изведените профили от акустично сондиращата система на атмосферата през месец май, описващи нощен ГС при ВМ откъм сушата, са сравнени с времевите редове на АМС МК15 за наличност на данни измерени при земята. Поради честите технически проблеми с АМС МК15, броят на данните измерени при земята е значително по-малък (приблизително един порядък) от тези при дистанционните измервания. Допълнителна проверка на използваните данни от

АМС МК15 (*глава 4.1. - приложен контрол за качеството на данните*) е направена чрез сравнението на акустичната температура с температурата измерена на 2 m височина (в метеорологичната клетка) и са филтрирани с условието модула от разликата между двете температури да не надвишава 3 °C и едновременно с това да са в диапазон от минус 5 до 45 °C. Данните преминали тази проверка са 68 времеви реда от 10 минутни осреднени стойности. При калкулиране профила на скоростта по приземни данни са използвани условия и уравнения (45, 46, 47) препоръчани от COST Action 710 FR WG 3 (Cenedese et al., 1998):

уравнение за профил на скоростта на вятъра:

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \left[\ln \frac{z}{z_0} - \psi_m \left(\frac{z}{L} \right) \right] \quad (4.9.1.1.)$$

Функция на корекция за стратификация в профила на вятъра (ψ_m) при различни термодинамични състояния на атмосферата е зададена както следва:

- ✓ неутрална стратификация ($|L| > 1000$): $\psi_m = 0$;
- ✓ неустойчива стратификация ($0 > L > -1000$):

$$\psi_m(z/L) = \ln \left[\frac{1+x^2}{2} \left(\frac{1+x}{2} \right)^2 \right] - 2 \arctan(x) + \frac{\pi}{2}; \quad (4.9.1.2.)$$

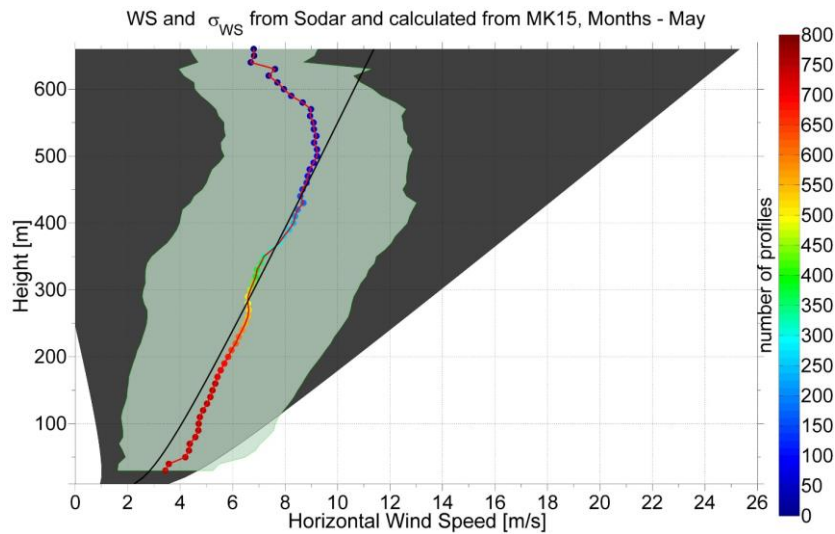
$$\text{където } x = \left(1 - 16 \frac{z}{L} \right)^{1/4}$$

- ✓ устойчива стратификация ($0 < L < 1000$):

$$\psi_m = -5 \frac{z}{L} \quad (4.9.1.3.)$$

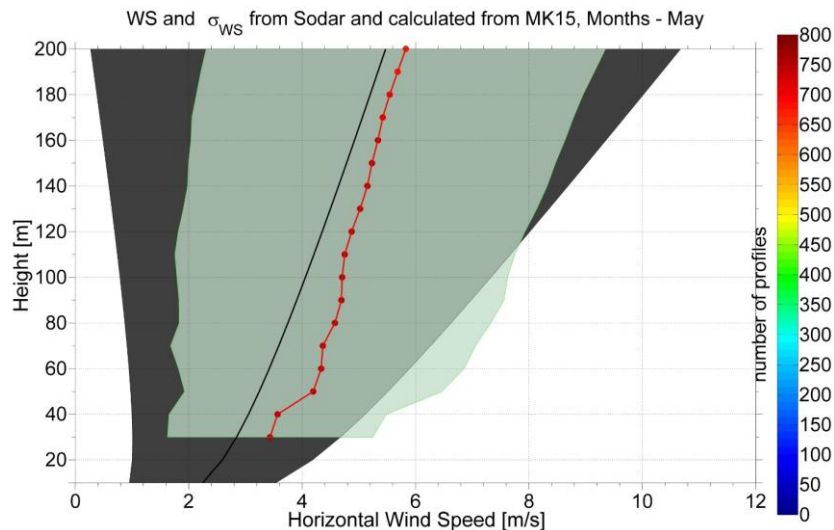
При пресмятането на профилите, функцията за корекцията за стратификация в профила на вятъра е определена от стойностите на мащаба на Монин-Обухов от АМС МК-15. Получените от профили започват от 10 m и достигат до 660 m височина над ЗП, с вертикална резолюция от 10 m. При стойности на L , отговарящи на силно устойчива стратификация, пресмятанията дават нереални скорости на вятъра (надвишаващи с порядък максималните измерени от содара скорости за целия период на наблюдение на височини над 100 m). За отстраняването на тези нереални профили на скоростта на вятъра, условието за устойчива стратификация ($0 < L < 1000$) е променено на ($30 < L < 1000$). Поради тази промяна отпадат 21 от 68-те калкулирани по приземни данни профила. От останалите 47 профила е калкулиран един осреднен месечен профил на хоризонталната скорост на вятъра със съответната му дисперсия, който е сравнен с осреднения такъв от акустичните сондираня на атмосферата и неговата дисперсия на *Фигура 4.9.1.1*. На нея се наблюдава много добра съпоставимост на двата осреднени профила на скоростта на вятъра до 500 m над ЗП. До тази височина и двата профила се изменят почти линейно, като съществена разлика се наблюдава при техните стандартни отклонения. Стандартните отклонения при директните измервания не се изменят съществено с височината, докато при получените от приземни данни, дисперсиите нарастват значително във височина и над 200 m стойностите им са толкова големи, че надвишават стойностите на

скоростта на вятъра. Зависимостите 4.9.1.1 - 4.9.1.3 от COST Action 710 (Cenedese et al., 1998) се отнасят за приземния атмосферен слой и са препоръчани за използване до 200 m височина.



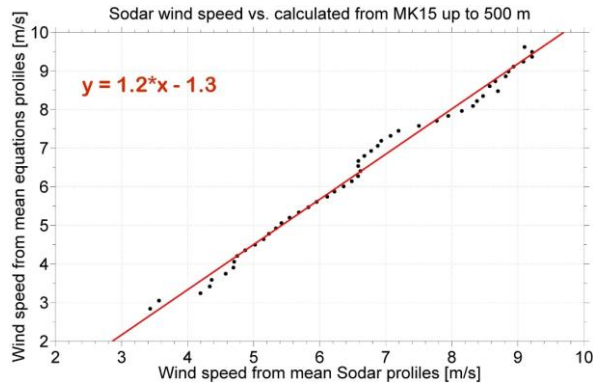
Фиг. 4.9.1.1. Сравнение на нощни осреднени профили (от 22:00 до 05:00 часа) на скоростта на вятъра и техните дисперсии, на ВМ откъм сушата (посока на вятъра: $170^{\circ} \div 290^{\circ}$) през месеците май (от 20.07.2008 до 10.10.2012 г.) в МО Ахтопол (содар: цветен профил в съответствие с броя на наблюденията за дадена височина от цветния бар вдясно и светло сива дисперсия); Калкулирани с използване на приближения препоръчани от COST 710 профили от налични приземни времеви редове от АМС МК-15: черен профил и тъмно сива дисперсия.;

На [Фигура 4.9.1.2](#) са съпоставени същите два профила на до височина 200 m. На тази фигура ясно се виждат височините от които започват съответните профили. Калкулираният по приземни данни осреднен профил започва от 10 m височина докато осреднения профил от директните измервания започва от 30 m височина, която е минималната височина от обхвата на содара.. В този слой, дисперсиите на двата осреднени профила са също близки.



Фиг. 4.9.1.2. Сравнение на нощни осреднени профили (от 22:00 до 05:00 часа) на скоростта на вятъра и съответните дисперсии до 200 m височина за ВМ откъм сушата (посока на вятъра: $170^{\circ} \div 290^{\circ}$) през месеците май (в периода от 20.07.2008 до 10.10.2012 г.) в МО Ахтопол. Легенда, като на [Фиг. 4.9.1.1](#).

Стохастичната зависимост между двата осреднени профила от 30 m до 500 m височина над ЗП е показана на [Фигура 4.9.1.3](#). Наблюдава се добра линейна зависимост между двата профила, като скоростите на осреднения профил от реалните измервания в повечето случаи са по-високи от тези на осреднения профил пресметнат от приземни данни.



Фиг. 4.9.1.3. Корелация между нощни осреднени профили на скоростта на вятъра (от 22:00 до 05:00 часа) от 30 m до 500 m височина при ВМ откъм сушиата (посока на вятъра: $170^{\circ} \div 290^{\circ}$) през месеците май (в периода от 20.07.2008 до 10.10.2012 г.) от АССА в МО Ахтопол (Scintec Sodar - MFAS) и калкулирани профили от налични приземни времеви редове от АМС МК-15 с използване на приближения препоръчани от COST 710.

Втората избрана за сравнение с акустичните профили параметризация е представена в серия лекции на ECMWF (Beljaars, 1992). Разликата с описаната по-горе теория е при определението на функцията на корекция за стратификация в профила на вятъра (ψ_m). При този метод отново за профил на скоростта на вятъра за се използва уравнение (4.9.1.1.), а за функцията на корекция за стратификация в профила се използвани следните препоръчани условия и формули (Beljaars, 1992):

- ✓ при неустойчива стратификация $z/L < 0$

$$\psi_m = 2 \ln\{(1+x)/2\} + \ln\{(1+x^2)/2\} - \operatorname{atan}(x) + \pi/2 \quad (4.9.1.4.)$$

$$\text{където } x = \left(1 - 16 \frac{z}{L}\right)^{1/4} \quad (4.9.1.5.)$$

- ✓ при устойчива стратификация $0 < z/L < 0.5$ (профили на вятъра при устойчиво стратифицирана атмосфера над еднородна равна повърхност)

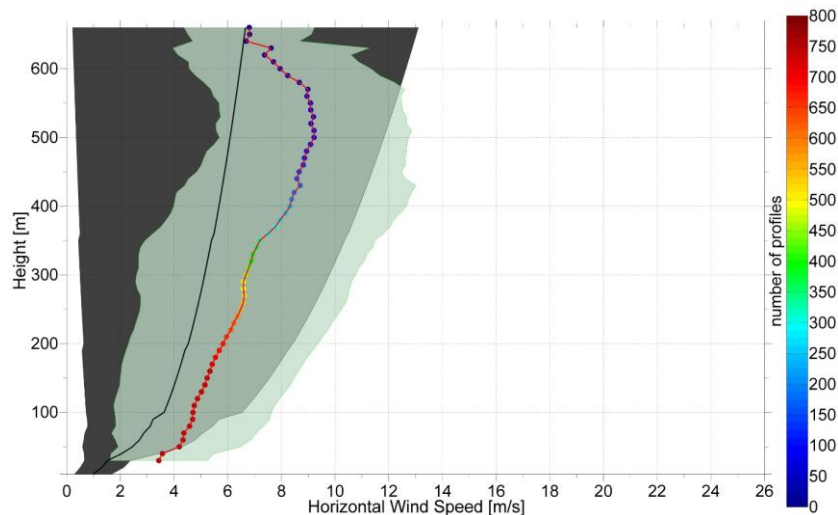
$$\psi_m = 1 + a \frac{z}{L} + b \left(1 + c + d \frac{z}{L}\right) \exp\left(-d \frac{z}{L}\right) \quad (4.9.1.6.)$$

$$\text{където } a = 1; \quad b = 0.667; \quad c = 5; \quad d = 0.35;$$

- ✓ при устойчива стратификация $0.5 < z/L$

$$\psi_m = -a \frac{z}{L} - b \left(\frac{z}{L} - \frac{c}{d}\right) \exp\left(-d \frac{z}{L}\right) - \frac{bc}{d} \quad (4.9.1.7.)$$

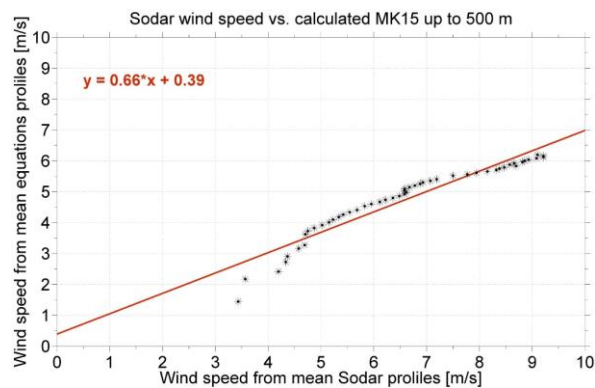
При по-горе зададените условия на устойчива стратификация ($z/L > 0$) отново са премахнати всички профили при които наземните измервания имат стойности: $0 < L < 30$ (общо 21 от 68).



Фиг. 4.9.1.4. Сравнение на нощни осреднени профили (от 22:00 до 05:00 часа) на скоростта на вятъра и техните дисперсии, на ВМ откъм сушата (посока на вятъра: $170^{\circ} \div 290^{\circ}$) през месеците май (от 20.07.2008 до 10.10.2012 г.) в МО Ахтопол. (содар: цветен профил в съответствие с броя на наблюденията за дадена височина от цветния бар вдясно и светло сива дисперсия); Калкулирани с използване на приближения препоръчани от ESMWF профили от налични приземни времеви редове от АМС МК-15: черен профил и тъмно сива дисперсия).

При изведения осреднен профил за месец май, калкулиран по приземни данни с използвани приближения препоръчани от ESMWF, на [Фигура 4.9.1.4](#). се наблюдават по-ниски стойности на дисперсията и занижени стойности на скоростта на вятъра по височината на целия калкулиран профил в сравнение на изведените резултати на [Фигура 4.9.1.1](#).

Линейната зависимост между двата профила от [Фигура 4.9.1.4](#). е показана на [Фигура 4.9.1.5](#). Корелацията на тези два профила не е толкова добра колкото наблюдаваната при [Фигура 4.9.1.3](#)., но сравнението на дисперсиите между двата типа изведени осреднени профила по приземни данни показват по-добри резултати при използване на приближения препоръчани от ESMWF.

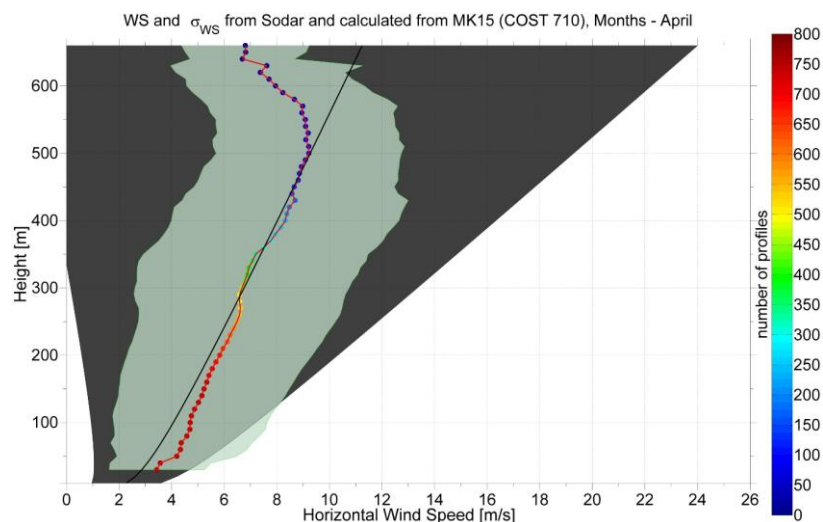


Фиг. 4.9.1.5. Корелация между нощни осреднени профили (от 22:00 до 05:00 часа) от 30 m до 500 m височина на скоростта на вятъра, на ВМ откъм сушата (посока на вятъра: $170^{\circ} \div 290^{\circ}$) през месеците май (от 20.07.2008 до 10.10.2012 г.) от АССА в Ахтопол (Scintec Sodar - MFAS) и калкулирани профили от налични приземни времеви редове при АМС (МК-15) съпоставени със Содарните измервания за посочения период с използване на приближения препоръчани от ESMWF;

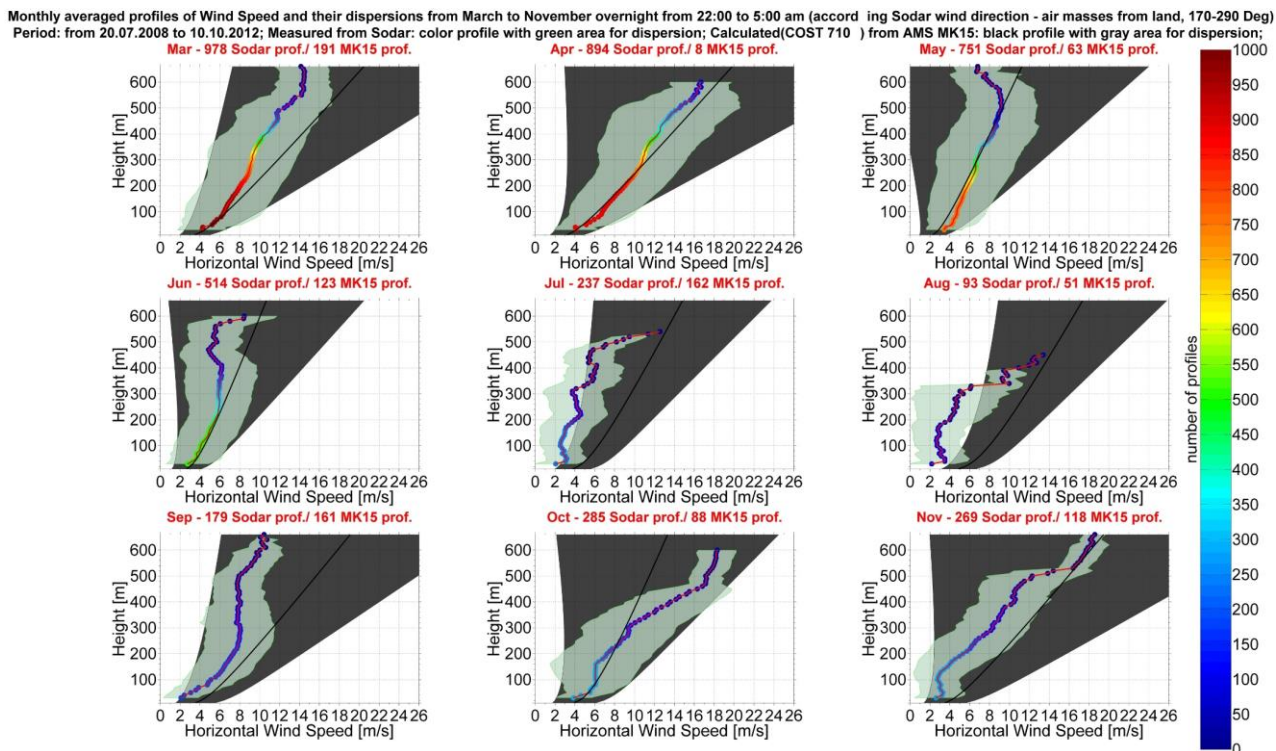
За нуждите на този анализ са необходими обработки на още месеци, както и прилагането на различен подход при извеждане на профили на скоростта на вятъра по приземни данни, отговарящи на силно устойчиво стратифицирана атмосфера (стойности на мащаба на Монин-Обухов $0 < L < 30$), за да се намали броя на отпадналите профили поради калкулирани нереални стойности във височина. При този анализ това е постигнато чрез използването на осреднени стойности от допълнително изчислени реални профили на скоростта на вятъра в отместени 10

минутни интервали от момента на измерване (при които $0 < L < 30$). Това би могло да доведе до намален брой на отпадналите моменти с нереално високи стойности във височина при условие, че поне при един от тези отместени 10 минутни интервали е налична стойност на мащаба на Монин-Обухов, която не е в интервала $0 < L < 30$. Подобен подход с половин часови осреднявания на реални профили може да се приложи и при стойности $30 < L < 80$. При такива стойности на мащаба на Монин-Обухов се наблюдават значително по-високи стойности на скоростта на вятъра във височина при изчислените профили, близки и надвишаващи максималните стойности на скоростта измерена от содара през целия период на измервания. Пример: Прилагането на горе посоченият подход води до намален брой на отпадналите моменти с нереално високи стойности на скоростта на вятъра във височина (при $0 < L < 30$), от 21 на 5 броя от общо 68 калкулирани профила по приземни данни през месеците май от цялостния разглеждан период, отговарящи на условията за нощни ВМ откъм сушата. Резултатът от този анализ не води до съществени изменения, а само до слабо понижение в стойностите на дисперсиите (сравнение на [Фигура 4.9.1.6.](#) и [Фигура 4.9.1.1.](#))

На [Фигура 4.9.1.7.](#) са сравнени месечни осреднени профили (от март до ноември) и техните дисперсии от содара с калкулирани профили по приземни данни, използвайки формулите за изчисление на профили на скоростта на вятъра предложени от COST 710, чрез прилагане на горе посоченият подход на извеждане на профили при силно устойчиво и устойчиво стратифицирана атмосфера (стойности на мащаба на Монин-Обухов в интервала: $0 < L < 80$). През различните месеци се наблюдава различна наличност на профили взели участие при създаването на осреднените профили, както при директните измервания така и при приземните данни.



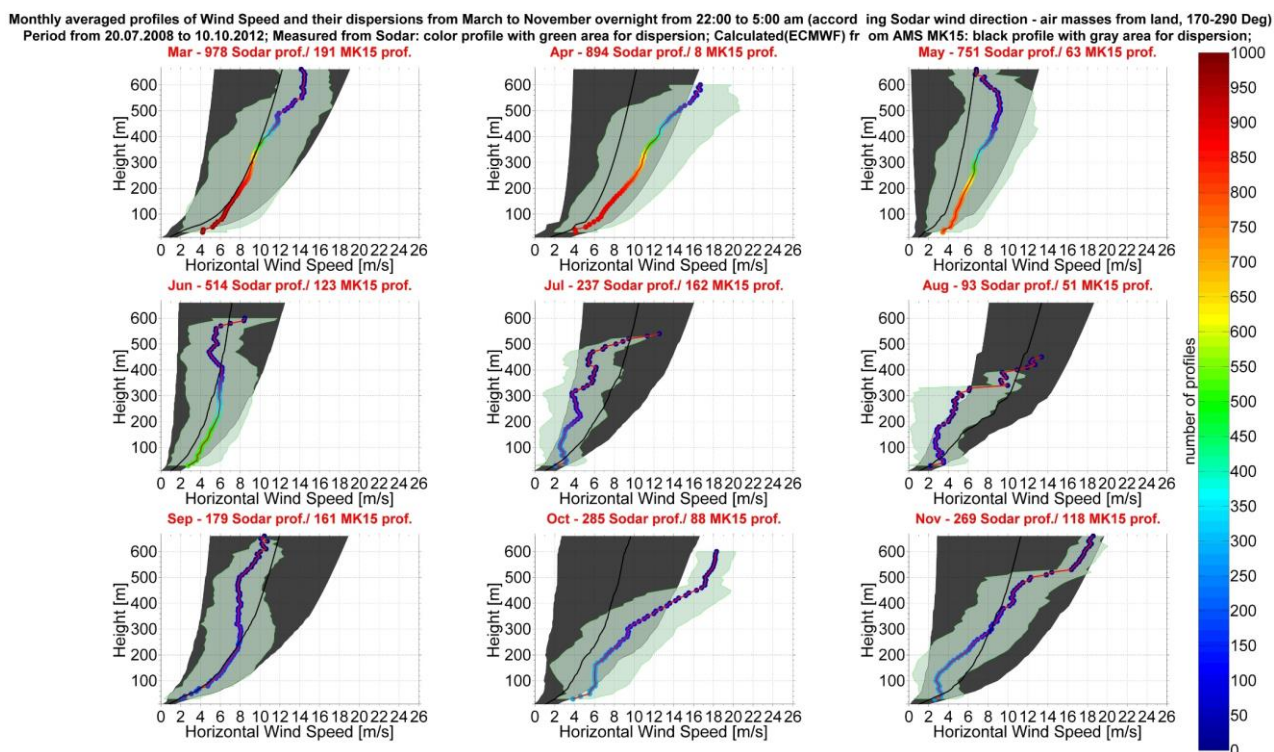
Фиг. 4.9.1.6. Сравнение на нощни осреднени профили (от 22:00 до 05:00 часа) на скоростта на вятъра и техните дисперсии, на ВМ откъм сушата (посока на вятъра: $170^{\circ} \div 290^{\circ}$) през месеците май (от 20.07.2008 до 10.10.2012 г.) от АССА в Ахтопол (Содар: цветен профил и зелена дисперсия) и калкулирани профили от налични приземни времеви редове при АМС съпоставени със Содарните измервания за посочения период (МК-15: черен профил и сива дисперсия) с използвани приближения препоръчани от COST 710; От 68 изведени профила от приземни данни, 5 са премахнати заради отпадане на данните отговарящи на условието: $0 < L < 30$. При стойности $0 < L < 80$ са използвани и отместени 10 минутни интервали от момента на измерване за да се изведат осреднен профил за даденият момент на измерване.



Фиг. 4.9.1.7. Сравнение на нощни осреднени месечни профили (от 22:00 до 05:00 часа; от март до ноември) на скоростта на вятъра и техните дисперсии, на VM откъм сушата (посока на вятъра: $170^{\circ} \div 290^{\circ}$), обхващащи цялостен период от 20.07.2008 до 10.10.2012 г., от АССА в МО Ахтопол (Содар: цветен профил и зелена дисперсия) и калкулирани профили, от налични приземни времеви редове при АМС съпоставени със содарните измервания (МК-15: черен профил и сива дисперсия) с използвани приближения препоръчани от COST 710 и прилагането на подход за половин часови осреднения при изчисление на профили на скоростта на вятъра по приземни данни във моменти със стойности на мащаба на Монин-Обухов отговарящи на силно стратифицирана атмосфера ($0 < L < 80$).

Между изведените профили на [Фигура 4.9.1.7.](#) се наблюдава сравнително добра корелация до 200 m височина през месеците от март до юни, както и през октомври. През останалите месеци се наблюдават по-високи стойности на скоростта на вятъра при профилите калкулирани по приземни данни. Дисперсиите на изведените профили от приземни данни нарастват бързо във височина и техните стойности над 200 m са значително по-високи от тези при директните измервания, като през летните месеци от юни до август се наблюдават най-ниските им стойности.

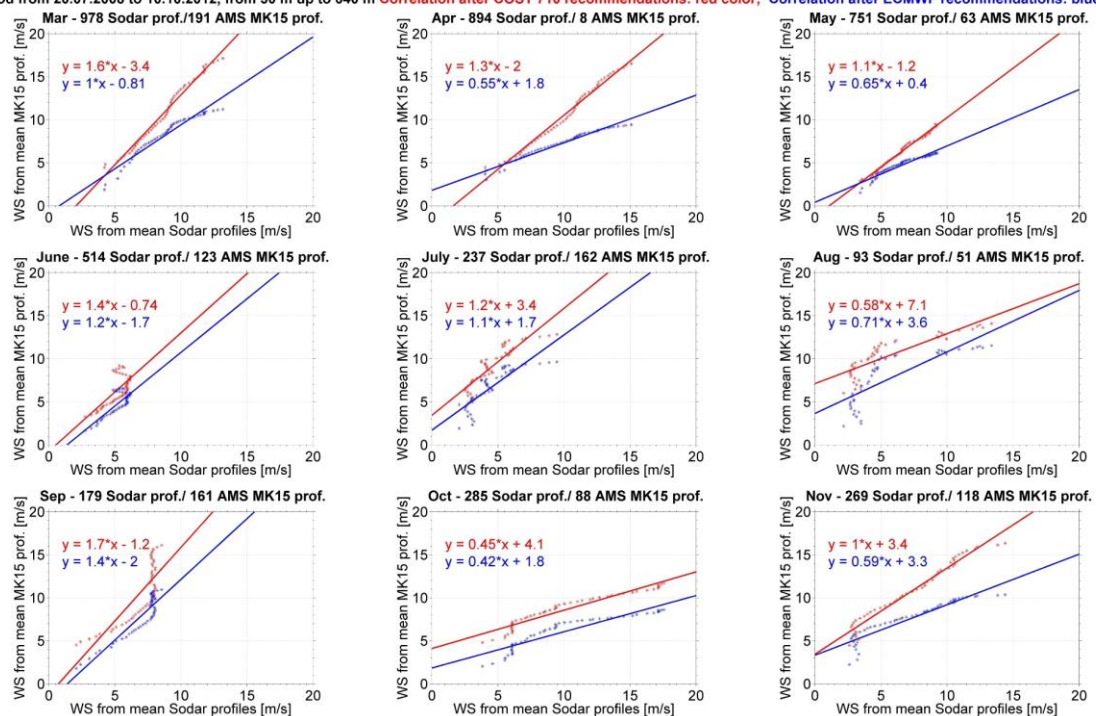
За извеждането на [Фигура 4.9.1.8.](#) отново е приложен подход за половин часови осреднения при изчисление на профили на скоростта на вятъра във моментите със стойности на мащаба на Монин-Обухов, отговарящи на силно стратифицирана атмосфера ($0 < L < 80$), като са използвани формули за изчисление на профили на скоростта на вятъра предложени от ECMWF.



Фиг. 4.9.1.8. Сравнение на нощни осреднени месечни профили (от 22:00 до 05:00 часа; от март до ноември) на скоростта на вятъра и техните дисперсии, на ВМ откъм сушата (посока на вятъра: $170^{\circ} \div 290^{\circ}$), обхващащи цялостен период от 20.07.2008 до 10.10.2012 г., от АССА в МО Ахтопол (Содар: цветен профил и зелена дисперсия) и калкулирани профили, от налични приземни времеви редове при АМС съпоставени със Содарните измервания (МК-15: черен профил и сива дисперсия) с използвани приближения препоръчани от ESMWF и прилагането на подход за половин часови осреднения при изчисление на профили на скоростта на вятъра във моменти със стойности на мащаба на Монин-Обухов отговарящи на силно стратифицирана атмосфера ($0 < L < 80$).

Добра корелация между профилите в почти цялата височина се наблюдава през месеците март и юни. При използване на приближенията препоръчани от ESMWF се наблюдават значително по-ниски дисперсии на изчислените профили по приземни данни (сравнение на дисперсиите на [Фигура 4.9.1.8](#) и [Фигура 4.9.1.7](#)), съпоставими с тези получени при осредняването на профилите от директните измервания. По-ниските стойности на дисперсията наблюдавани през месеците от юни до август, през периода на добре изразената бризова циркулация по крайбрежието, оказват стабилността в скоростта на нощния въздушен поток откъм сушата. Връзката на осреднените нощни профили на скоростта на вятъра от директните (содар) измервания с изведените осреднени профили от приземни данни, съгласно използваните препоръки на COST 710 и ESMWF, са представени посредством линейни корелации по месеци на [Фигура 4.9.1.9](#). Корелациите се отнасят за стойности на профилите от 30 m до 640 m височина над ЗП. Максималната височина на пресмятане на корелациите през различните месеци се определя от достигнатата максимална височина на сондиране.

Sodar wind speed vs. calculated from AMS MK15 from March to November overnight from 22:00 to 5:00 am (according Sodar wind direction - air masses from land, 170-290 Deg) time period from 20.07.2008 to 10.10.2012, from 30 m up to 640 m Correlation after COST 710 recommendations: red color; Correlation after ECMWF recommendations: blue color;



Фиг. 4.9.1.9. Линейни корелации между стойности на осреднени профили (от 22:00 до 05:00 часа) от 30 m до 640 височина на скоростта на вятъра, на VM откъм сушата (посока на вятъра: $170^{\circ} \div 290^{\circ}$) през месеците от март до ноември за периода от 20.07.2008 до 10.10.2012 г. от ACCA в МО Ахтопол (Scintec Sodar - MFAS) и калкулирани профили от налични приземни времеви редове при АМС МК-15, съпоставени със содарните измервания за посочения период, с използвани приближения препоръчани от COST 710 (в червен цвят) и ECMWF (в син цвят);

Най-добра линейна зависимост между директния и калкулирания осреднени профили на скоростта на вятъра по цялата височина на изведените профили се наблюдава през месец март при използване на препоръчаните от ECMWF формули за пресмятане на профили на скоростта по приземни данни. Най-лоша линейна зависимост се наблюдава през месец октомври при използване пак на приближенията препоръчани от ECMWF. През разгледаните месеци може да се отчете завишаване на стойностите на скоростта в калкулираните профили в сравнение с директно измерените такива при използването на методите за изчисление препоръчани от COST 710, докато при профилите изготвени по препоръките на ECMWF се наблюдава по-слабо изразена обратна тенденция. През месеците юни, юли и септември и при двата използвани метода се отчита завишаване на стойностите на скоростта в калкулираните профили в сравнение с директно измерените такива, докато през месеците август и септември се наблюдава занижаване на тези стойности.

Проведеният тук анализ показва, че осреднените за дълъг период от време профили на вятъра нощем при VM от сушата към МО Ахтопол се описват добре от използваните в прогностичните модели параметризации на АГС.

Както стана ясно в предходните анализи такива условия са наблюдавани в около 5 % от времето с измервания.

4.9.2. Турбулентни характеристики на VM характеризиращи УГС и КГС.

Анализът в тази част от дисертацията е извършен по два начина: 1) определяне на средни характеристики за скоростта на триене и мащаба на Монин-Обухов от извадката от приземни данни и след това изчисление на дисперсиите на вертикалната и хоризонтална скорост на

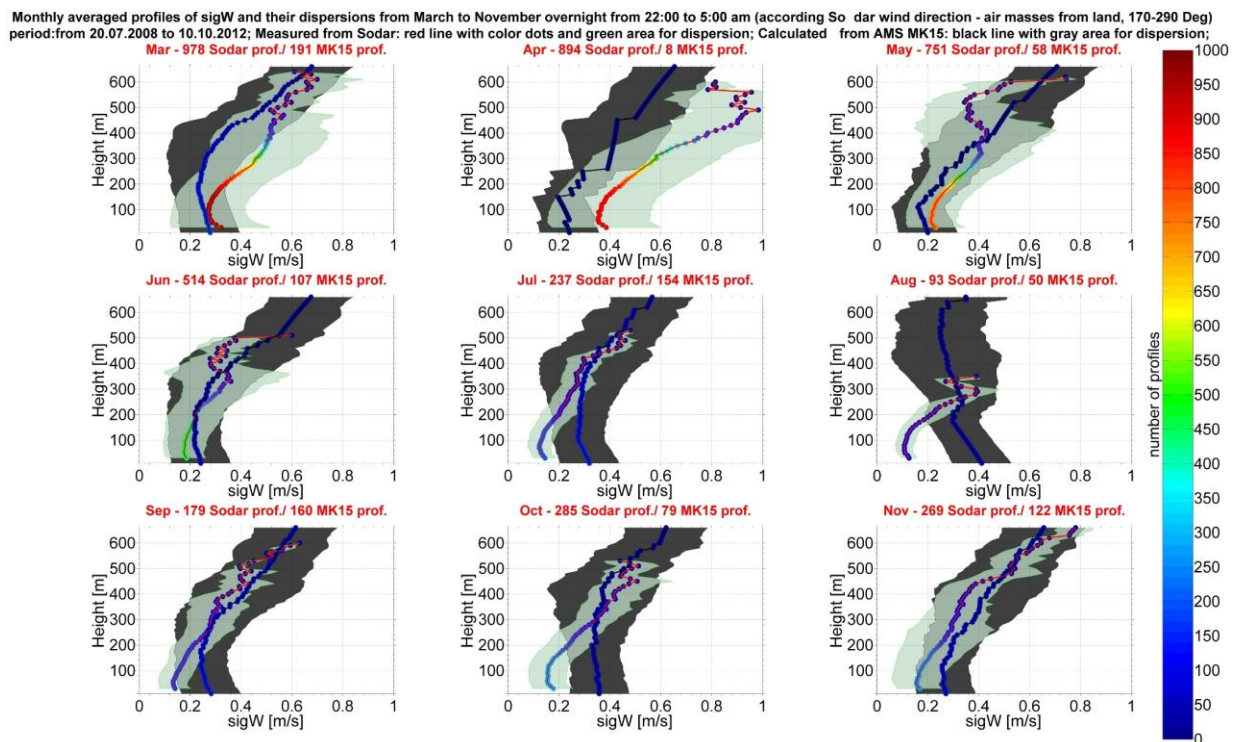
вятъра по цитираните параметризации; и 2) определяне на профилите на дисперсиите за всеки отделен момент с приземни данни и осредняване на тези профили, подобно на осреднението при директно измерените със содара.

Процедурите за изчисления са доста трудоемки, поради малкия брой измервания на турбулентността близо до ЗП.

За краткост в автореферата са представени само няколко илюстрации за резултатите, получени по втория метод.

При този анализ се използват данни от извадката за част 4.9.1 и уравнения (49, 50, 51, 52) препоръчани от FR WG3 (Cenedese et al., 1998) на COST Action 710, за определяне на профили на турбулентните характеристики $\sigma_w(z)$ и $\sigma_v(z)$. Тези уравнения от своя страна, в зависимост от термодинамичното състояние на атмосферата, са тясно свързан с определянето на височината на СС. За нейното извеждане се използват уравнения (А.1.1.3., А.1.1.6., А.1.1.7.) в FR WG2 (Seibert et al., 1998) на COST Action 710.

Сравнителните резултати между изведените осреднени профили и техните дисперсии, от калкулираните по приземни данни и реално измерените профили от содара на $\sigma_w(z)$, са представени на *Фигура 4.9.2.5.* по месеци за разглеждания период. Най-близки стойности между теоретичния и измерения се наблюдават през месец май.



Фиг. 4.9.2.5. Сравнение на нощни осреднени месечни профили (от 22:00 до 05:00 часа; от март до ноември) на σ_w и техните стандартни отклонения, на ВМ откъм сушата (посока на вятъра: $170^\circ \div 290^\circ$), обхващащи цялостен период от 20.07.2008 до 10.10.2012 г., от АССА в МО Ахтопол (Содар: червен профил, цветни точки според наличността и зелена дисперсия) и теоретични профили, от налични приземни времеви редове при АМС съпоставени със содарните измервания (МК-15: черен профил, цветни точки според наличността и сива дисперсия)

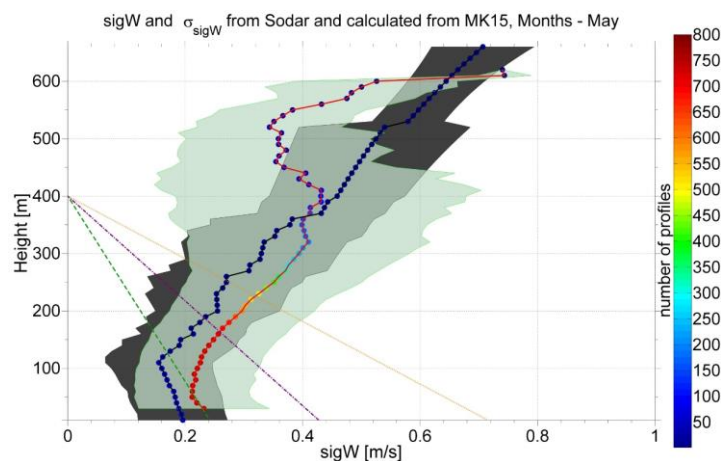
Изведените до тук профили на дисперсиите на вертикалната скорост на нощни ВМ откъм сушата, характеризиращи УГС (*Фигура 4.9.2.5.*), са сравнени с изведени теоретични профили отговарящи на силно устойчива, устойчива и слабо устойчива стратификация със съответни стойности за мащаба на Монин-Обуков $L = 40$, $L = 125$ и $L = 350$. Тези стойности на L са подбрани според указани интервали, определящи типа на устойчивост на атмосферата: $10 <$

$L < 50$ – силно устойчива стратификация, $50 < L < 200$ – устойчива стратификация, $200 < L < 500$ – слабо устойчива стратификация (Gryning et al., 2007). При изчисленията на тези теоретични профили на $\sigma_w(z)$ се използва формула (4.9.2.1.) за устойчива стратификация от COST 710 WG3 FR (Cenedese et al., 1998). При тези изчисления за височина на СС (h) е избрана стойност от 400 m, изведена като средна стойност от *Фигура 4.8.1.3.* за височини на нощен УГС на крайбрежни ВМ откъм сушата в МО Ахтопол. Скоростта на триене се определя от формула (Venkatram, 1980):

$$L = Au_* \quad (4.9.2.20.)$$

$$\text{където } A = 1.1 \times 10^3 \text{ s}^2\text{m}^{-1}$$

На *Фигура 4.9.2.7.* са сравнени изведените теоретични профили, калкулирани по зададените фиксирани стойности на L със съответните изчислени скорости на триене (4.9.2.20.), с изведените вече осреднени профили на $\sigma_w(z)$ за месец май при устойчива стратификация (*Фигура 4.9.2.5.*).

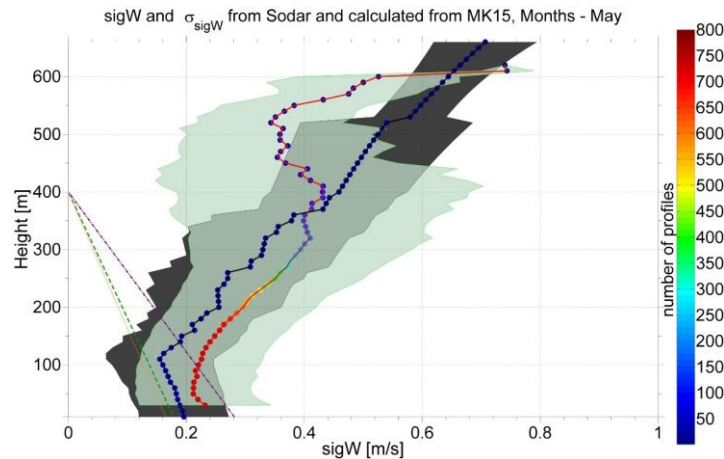


Фиг. 4.9.2.7. Сравнение на нощни осреднени профили (от 22:00 до 05:00 часа) на $\sigma_w(z)$ и техните стандартни отклонения, на ВМ характеризиращи УГС откъм сушата (посока на вятъра: $170^\circ \div 290^\circ$) през месеците май (от 20.07.2008 до 10.10.2012 г.) с калкулирани теоретични профили при различен тип устойчива стратификация. Осреднен профил от АССА в Ахтопол: червен профил, цветни точки според наличността и зелена дисперсия. Изведен осреднен теоретичен профил, чрез използвани приближения препоръчани от COST 710, от налични приземни времеви редове при АМС МК 15 съпоставени със Содарните измервания: МК-15: черен профил, цветни точки според наличността и сива дисперсия. Калкулирани теоретични профили характеризиращи съответно: силно устойчива стратификация при $L = 40 \text{ m}$ и $u_ = 0.19 \text{ ms}^{-1}$ - зелена пунктирна линия; устойчива стратификация при $L = 125 \text{ m}$ и $u_* = 0.34 \text{ ms}^{-1}$ - лилава линия от пунктир и точки; слабо устойчива стратификация при $L = 350 \text{ m}$ и $u_* = 0.56 \text{ ms}^{-1}$ - оранжева линия от точки;*

На графиката (*Фигура 4.9.2.7.*) се забелязва, че до 110 m височина над ЗП, калкулираният профил по приземни данни е съпоставим с теоретичния профил при силно устойчива стратификация, а първите четири точки (от 30 m до 60 m), от профила на директните измервания, почти напълно съвпадат с него.

Освен използването на константни стойности за мащаба на Монин-Обухов със съответни изчислени стойности за скоростта на триене (Venkatram, 1980), според указани интервали за стратификация (Gryning et al., 2007), е използван и подход за сравнение на двата типа осреднени профили с изведени теоретични профили, класифицирани в различен тип устойчива стратификация чрез реални осреднени данни на L и u_* от АМС МК-15 и височина на СС от 400 m. Съществена разлика с графиката изведена с константни стойности (*Фигура 4.9.2.7.*) е

изместването на теоретичния профил отговарящ на слабо устойчива стратификация (оранжева линия от точки) на ляво от силно устойчивия теоретичен профил (зелена пунктирана линия). Това изместване се наблюдава поради по-ниската стойност на изведената реална скорост на триене u_* при слабо устойчива стратификация (една единствена стойност), определяща стойността на началната точка на теоретичния профил по уравнение (4.9.2.1.).



Фиг. 4.9.2.9. Сравнение на нощни осреднени профили (от 22:00 до 05:00 часа) на $\sigma_w(z)$ и техните стандартни отклонения, на VM характеризиращи УГС откъм сушата (посока на вятъра: $170^\circ \div 290^\circ$) през месеците май (от 20.07.2008 до 10.10.2012 г.) с калкулирани теоретични профили при различен тип устойчива стратификация. Осреднени профили от АССА в Ахтопол: червен профил, цветни точки според наличността и зелена дисперсия. Изведени осреднени профили, калкулирани чрез използвани приближения препоръчани от COST 710, от налични приземни времеви редове при АМС МК 15 съпоставени със содарните измервания: МК-15: черен профил, цветни точки според наличността и сива дисперсия. Калкулирани теоретични профили характеризиращи съответно: силно устойчива стратификация при $L = 20 \text{ m}$ и $u_* = 0.14 \text{ ms}^{-1}$ - зелена пунктирана линия; устойчива стратификация при $L = 103 \text{ m}$ и $u_* = 0.22 \text{ ms}^{-1}$ - лилава линия от пунктир и точки; слабо устойчива стратификация при $L = 388 \text{ m}$ и $u_* = 0.13 \text{ ms}^{-1}$ - оранжева линия от точки;

Отново през повечето от месеците, при началните стойности на профилите от директните измервания се наблюдават по-ниски стойности от тези на теоретичните профили, след което следва тяхното бързо нарастване във височина. Сходност между изведените теоретични и осреднени месечни профили на дисперсията на хоризонталната скорост на вятъра в МО Ахтопол при конвективен режим на атмосферата не се наблюдава. Близки стойности между тези два типа профили се наблюдават единствено в най-ниската част на профилите (до 50 m над ЗП) през някои от месеците.

Направеният в тази част от дисертацията анализ на турбулентните характеристики показва по-добра съпоставимост на директните измервания с изведените теоретични профили при VM характеризиращи УГС, отколкото при тези характеризиращи КГС. Също така по-добра съпоставимост между преки измервания и изчислени профили има за дисперсията на вертикалната скорост $\sigma_w(z)$ отколкото за дисперсията на хоризонталната скорост на вятъра $\sigma_v(z)$.

5. Числено моделиране на бризова клетка с WRF

Разнообразието от физически, географски и климатични условия, както и самите метеорологичните условия в крайбрежните райони е значително, поради което възниква необходимост от непрекъснато усъвършенстване на прогностичните мезометеорологични модели. През последните две десетилетия на XX век, са проведени редица научни експерименти с доплерови лидари, содари, високи метеорологични мачти, приземни и

аерологични измервания (Wilczak et al., 1991; Zhong and Takle, 1992; Batchvarova and Gryning, 1998; Batchvarova et al., 1999; Alpert and Rabinovich-Hadar, 2003). Целта на тези изследвания е да се предоставят данни за оценка на работата на мезометеорологичните модели в крайбрежни райони, както и да се осигури по-нататъшно развитие на параметризиациите използвани в тях. Развитието на дистанционни технологии за измерване на различни параметри в атмосферата, през последните десетилетия, позволяват прилагането на непрекъснат контрол и ново качество на данните за моделни оценки. Тяхната ефективност на работа в първите няколко километра на атмосферата с висока пространствена и времева резолюция на данните, им позволява да предоставят най-реалистична информация за нейното състояние в даден момент. Наличието на вече съществуваща достатъчно гъста мрежа за дистанционни наблюдения в Европа от своя страна инициализира стартирането на проекти по междуправителствена рамка за европейско сътрудничество в областта на науките и технологиите: COST Action ES0702 EG-CLIMET, COST Action 720 и COST Action ES1303 TOPROF. Дейностите по тези проекти са с особено важно значение за изграждането и интегрирането на множество различни дистанционни уреди в една обща европейска мрежа за наблюдение. Чрез изготвянето на необходими стандарти за калибриране на различните типове наземно базирани дистанционни уреди, утвърждаването на процедури за поддръжка и автоматичен контрол на качеството на данните и указания за подходящи формати за ефективен обмен на информация, се цели осигуряването на широк спектър от данни за инициализиране, непрекъсната асимилация, и проверка на изходящи резултати от ново поколение прогностични и климатични числени модели с висока разделителна способност.

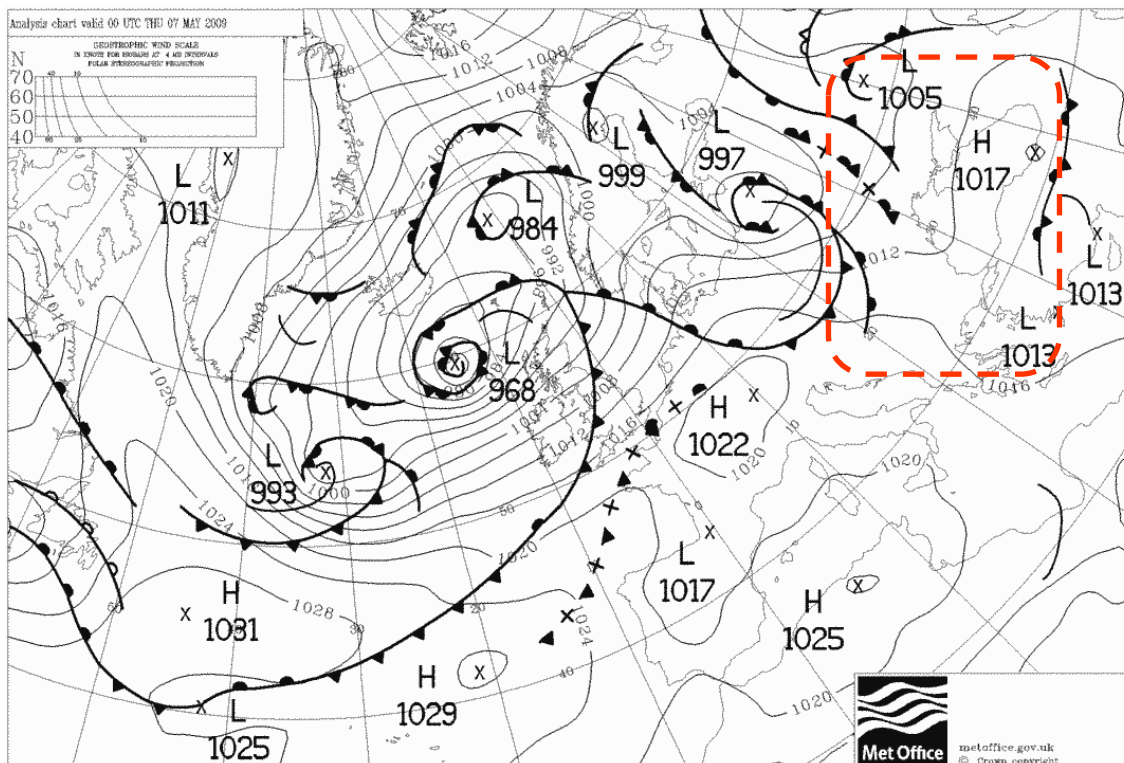
Модерните наземно базирани дистанционни методи за наблюдение в България не са развити в оперативен режим и такива данни са особено необходими за оценяване на работата на мезометеорологичните модели. Колегите Валери Николов и Христина Кирова предоставиха за тази част от дисертацията резултати от мезометеорологично моделиране с Weather Research and Forecasting (WRF) за три дати с наблюдавани затворени бризови клетки. Приносът на докторанта е в избора на типични дати и в съвместния анализ на моделни и акустични данни.

5.1. Подбор на типични метеорологични обстановки за целите на верификацията на численото моделиране

За верификацията на изходни данни от числено моделиране са подбрани три дати (5 август 2008 г., 5 септември 2008 г. и 7 май 2009 г.) с регистрирана бризова циркулация при акустичното сондиране на атмосферата в МО Ахтопол. При избора на датите е акцентирано внимание към частично или почти цялостно обхващане на бризовата клетка от ефективния обхват на содара. Типично за селектираните случаи са слънчево време и слаба динамика на атмосферните процеси, каквито се наблюдават в условията високи или размити барични полета (*Фиг. 5.1.1.*).

Наличните данни при акустичното сондиране на атмосферата за разглежданите дати са както следва:

- дата 5 август 2008 г. – работен режим от 07:10 до 18:10 часа (UTC+3); максимално достигната височина от 500m над ЗП.
- 5 септември 2008 г. – работен режим от 07:40 до 21:40 часа (UTC+3); максимално достигната височина от 500m над ЗП.
- 7 май 2009 г. – денонощен работен режим от 00:10 до 24:00 часа (UTC+3); максимално достигната височина от 660 над ЗП.



Фиг.5.1.1. Синоптическа карта на Европа с приземен анализ на атмосферното налягане за 07 май 2009 г. - 00 UTC (UK Met Office)

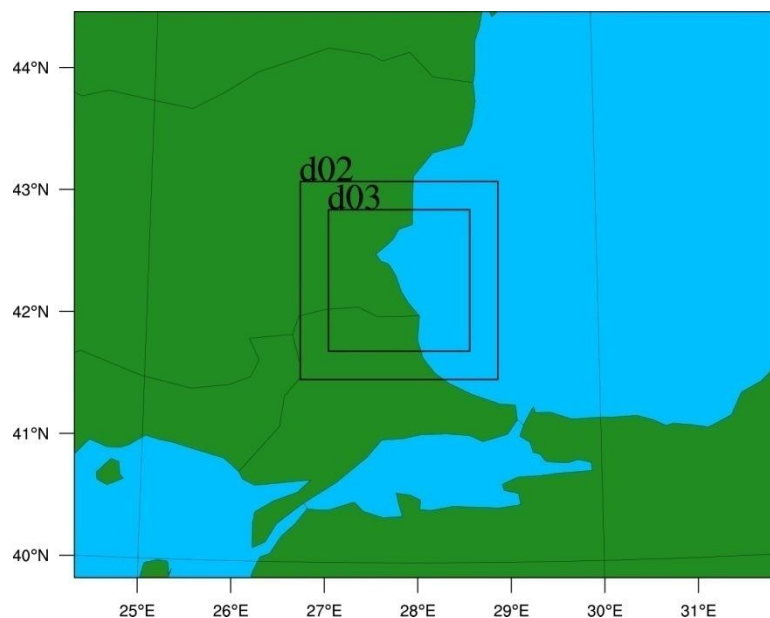
За всички дати са стартирани по две отделни симулации със различни конфигурации описани в [глава 5.2](#). (Sim1) и [глава 5.3](#). (Sim2). При верификацията на моделните данни се изследват корелационни връзки между пет двойки променливи – посока и скорост на вятъра (WD, WS), както и трите компоненти на вектора на вятъра (W - вертикална скорост, U – източна компонента и V - северна компонента). Като критерий за корелация между две случайни величини (директно измерена променливи от содара и изходяща такава от моделните данни) се използва обикновен корелационен коефициент (праволинейна корелация), познат още като коефициент на Пирсън, (Pearson's correlation coefficient) указан в уравнение (5.1.1)([Радилов et al., 2010](#)):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.1.1)$$

където \bar{x} и \bar{y} са средните аритметични на двете променливи. Този коефициент на корелация може да приема стойности от -1 до 1 и е отрицателен, когато връзката между разглежданите променливи е разнопосочна (едната расте, а другата намалява) а е положителен, когато зависимостта по между им е еднопосочна (с увеличаването на стойностите при едната се увеличават стойностите и при другата). При стойности на коефициента $|r| = 1$ имаме функционална зависимост между двете случайни величини, а при $r = 0$ имаме независими величини, които са некорелирани по между си. Условно може да се приеме, че: при стойности $0 < |r| < 0.3$ - корелационната зависимост се нарича слаба; при $0.3 < |r| < 0.5$ е умерена; при $0.5 < |r| < 0.7$ е значителна; при $0.7 < |r| < 0.9$ е силна и при стойности $0.9 < |r| < 1$ е много силна. Формулата (5.1.1) може да се използва за случайни линейни променливи, каквито са стойностите на скоростта на вятъра и компонентите на неговия вектор.

5.2. Конфигурация на WRF за симулация едно (Sim1)

Численото моделиране е осъществено с Weather Research and Forecasting (WRF) модел (с динамично ядро ARW), версия 3.3.1 (Skamarock et al., 2008). Моделът е инициализиран с US National Center for Environmental Prediction Final Analyses (FNL) с $1^0 \times 1^0$ пространствена и 6 часа времева резолюция. Изчисленията са извършени с т.нар. „двупосочно вместиране” върху три моделни области (МО) със стъпка на мрежата 25, 5 и 1 km, съответно и брой на точки в отделните МО както следва 26x21, 36x36, 111x111 (Фиг.5.2.1.).



Фиг.5.2.1. Конфигурация на моделните области при симулация 1 (Sim 1).

Използвана е Ламбертова конформна проекция (с параметри $Truelat1=30^0N$ и $Truelat2=60^0N$ и с координати на центъра на най-външната моделна област: 42.084^0N и 27.951^0E). Гео данните за релеф са с резолюция 30 секунди (от порядъка на 1 km). Видът на подложната повърхност е описан в 24-те категории на USGS (US Geological Survey). Избраните параметризации за описание на физичните процеси са представени в Таблица5.2.1., а допълнителна информация и пояснения към таблицата са представени в ПРИЛОЖЕНИЕ Е. За горна граница на атмосферата е определено нивото 50 hPa. Броят на нивата по вертикалата е 43, като 30 от тях са под 2000 m.

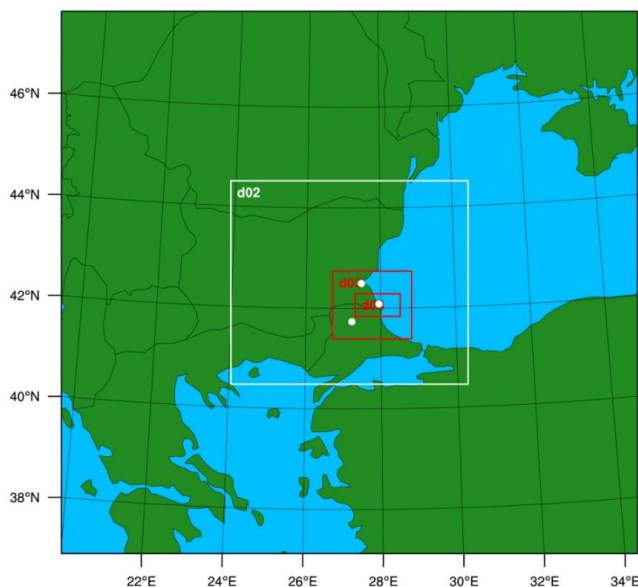
За избраните три дати (05.08.2008, 05.09.2008, 07.05.2009) са направени 36-часови симулации с WRF, като първите 12 часа от прогнозата не участват в представения анализ (spin-up период от 12 часа).

Таблица .5.2.1. Физически процеси/характеристики и използвани параметризации (симулация 1)

Физични процеси/характеристики	Опции в модела = съответни параметризации
Микрофизика	8 (MO2 и 3) = Thompson graupel scheme (Thompson et al., 2004); 4 (MO1) = WSM 5-class scheme (Hong et al., 2004)
Дълговълнова радиация	1 = RRTM: Rapid Radiative Transfer Model (Mlawer et al., 1997)
Късовълнова радиация	2 = Goddard (Chou and Suarez, 1994)
Приземен слой	2 = Eta similarity (Janjic, 1996)
Земна повърхност	Noah LSM (Chen and Dudhia, 2001)
Планетарен граничен слой	2 = MYJ: Mellor-Yamada-Janjic TKE (Mellor and Yamada, 1982; Janjic, 1996; Janjic, 2002)
Кумулусова параметризация	5 (само за MO1 и 2) = Grell3D an improved version of (Grell and Devenyi, 2002)

5.3. Конфигурация на WRF за симулация две (Sim2)

Второто численото моделиране е извършено с Weather Research and Forecasting (WRF) модел с динамично ядро ARW, версия 3.5.1 (Skamarock et al., 2008). Моделът е инициализиран с US National Center for Environmental Prediction Final Analyses (FNL) с $1^0 \times 1^0$ пространствена и 6 часа времева резолюция. Изчисленията са извършени с т.нар. „двупосочно вместиане” върху четири моделни области (МО) със стъпка на мрежата 75, 25, 5, 1 km, съответно и брой на точки в отделните МО както следва 18x17, 22x19, 36x31, 101x51 (Фиг. 5.3.1.).



Фиг.5.3.1. Конфигурация на моделните области при симулация 2 (Sim 2).

Използвана е Ламбертова конформна проекция с параметри $T_{\text{ruelat1}}=42.517398^{\circ}\text{N}$ и $T_{\text{ruelat2}}=42.517398^{\circ}\text{N}$ и с централна точка на най-външната моделна област $42.517398^{\circ}\text{N}$ и $27.161005^{\circ}\text{E}$. Физичните опции за отделните параметризации са представени в Таблица 5.3.1., а допълнителна информация и пояснения към таблицата са представени в ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Данните за релеф са с резолюция 30 секунди и за вида на подложната повърхност са използвани 24 – категории на USGS (US Geological Survey). Броят на нивата по вертикалата е 50, като 19 от тях са под 2000 m. За горната граница на атмосферата е определено нивото 50 hPa. Три 48 – часови симулации (05.08.2008, 05.09.2008, 07.05.2009) са извършени с WRF, като първите 24 часа от прогнозата не участват в представения анализ.

Таблица .5.3.1. Физически процеси/характеристики и използвани параметризации (симулация 2)

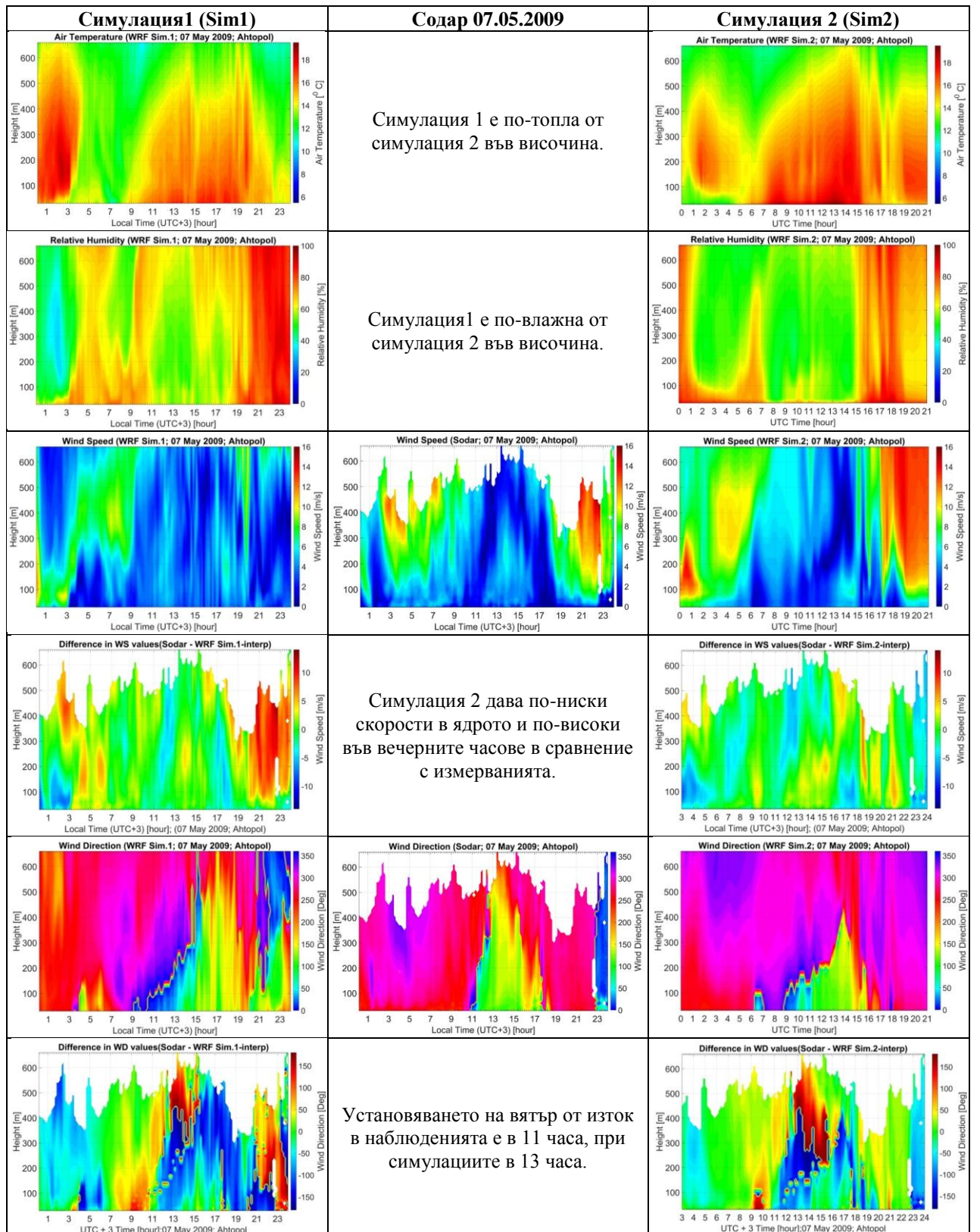
Микрофизика	95 (D1&D2), 5(D3&D4= Eta микрофизика
Дълговълнова радиация	1 = RRTMG (Mlawer et al., 1997; Iacono et al., 2000)
Късовълнова радиация	2 = RRTMG (Mlawer et al., 1997; Mlawer and Clough, 1998)
Приземен слой	2 = Eta similarity
Земна повърхност	1=thermal diffusion scheme
ПГС	2 = Mellor-Yamada-Janjic TKE scheme (MYJ)
Кумулус. параметризация	5 = New Grell scheme (за MO1,MO2, MO3)

5.4. Анализ на резултатите от численото моделиране

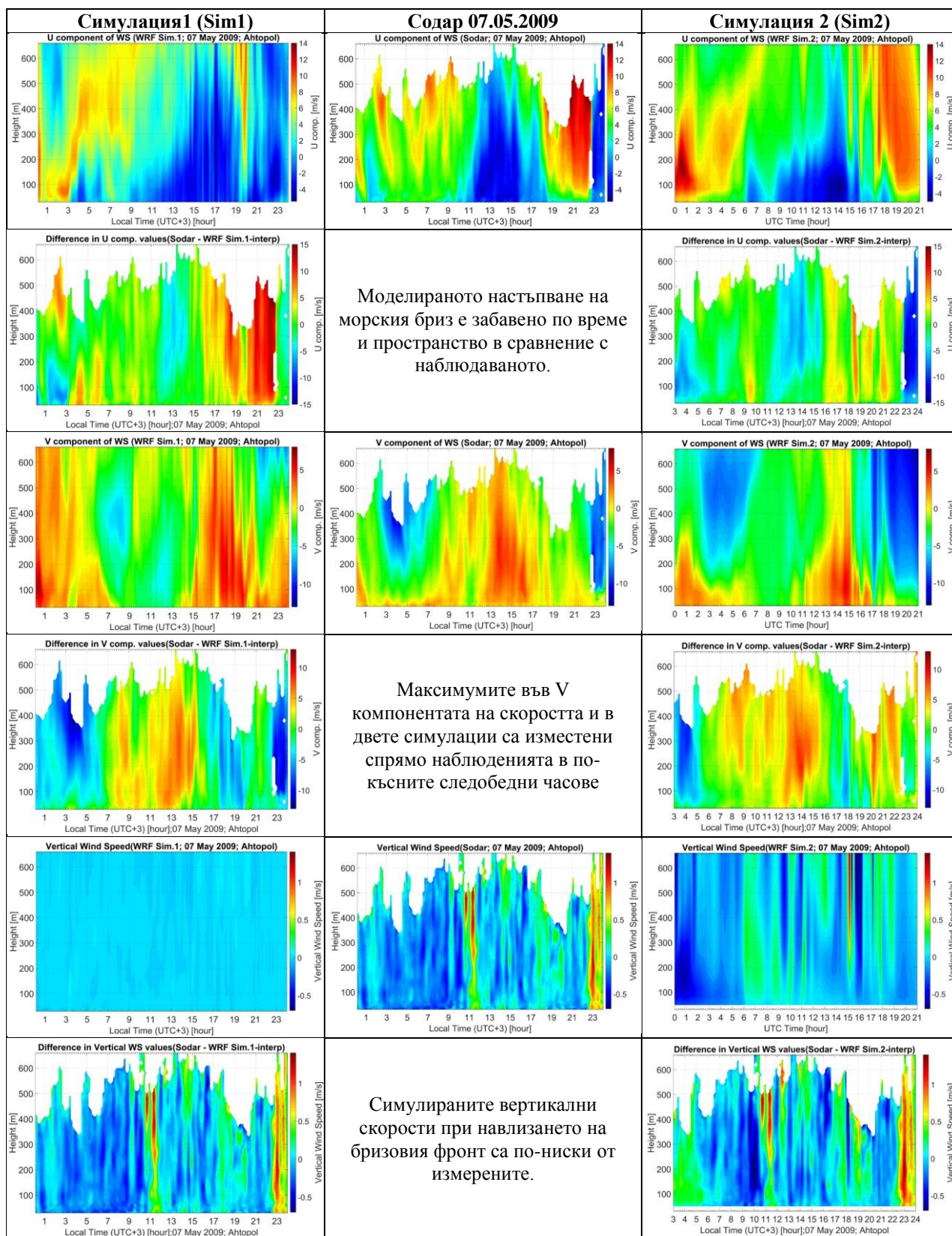
В тази част от дисертацията се описани подробно процедурите за направените сравнения на моделните данни с измерванията за трите избрани дати. За краткост в този автореферат се дава само един пример с част от графиките за 7 май 2009 г – *Фигура 5.4.2*, *Фигура 5.4.3* и *Фигура 5.4.4*

Измененията на пространствените (сравнение на денонощен ход на двойка променливи на определена височина) и времеви (сравнение на индивидуални профили на двойка величини във даден момент) корелационни зависимости между измерени и моделни данни са представени съответно, чрез синя вертикална линия с цветни триъгълници (цвета на триъгълниците е определен от наличността на сравнимите данни за всяка една височина през разглежданото денонощие) и червена хоризонтална линия с цветни точки (цветове определени от наличността на сравнимите данни във всяка една времева серия при сравнение на индивидуални профили) на *Фигура 5.4.4*, като корелациите на измерванията със симулация 1 са представени в лявата част на фигурата, а вдясно са изложени корелациите със симулация 2.

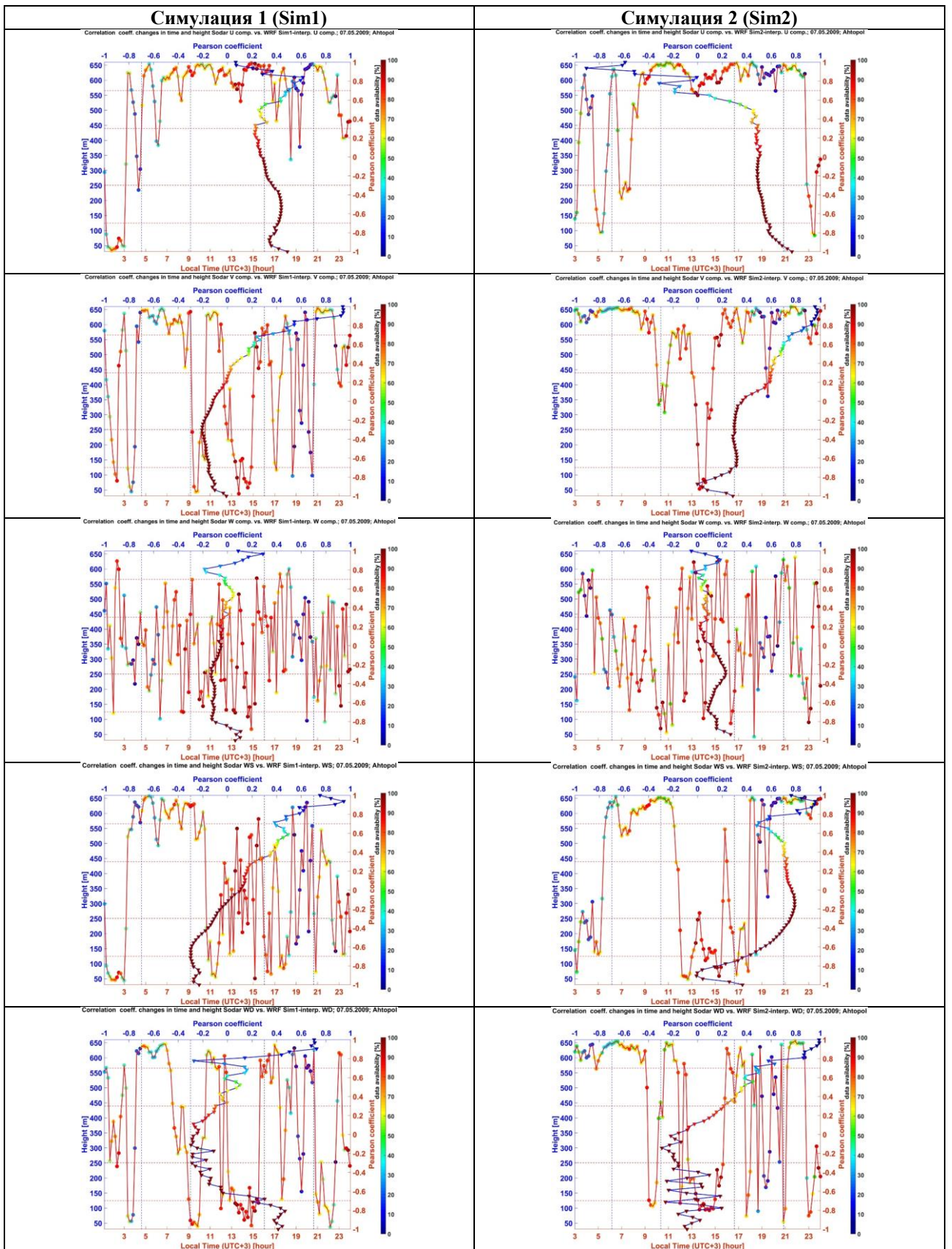
Моделни резултати показват, че WRF може да симулира бризова циркулация за подбраните три дати, както в допълнение съумява да възпроизведе затворена бризова клетка до височина 600 m над ЗП с първични локални фронтални системи, както в началото така и в края на локалната крайбрежна циркулация на дата 07.05.2009 г. Също така съумява да моделира и наличието на нощни бризови циркулации за останалите две дати и в известна степен съумява да симулира и ядрото в полето на скоростта при бризова циркулация със съответните зони на затишие. Като основен проблем при моделните резултати може да се изтъкне факта, че се наблюдава изместване в полетата на сравняваните параметри на вятъра, както по времето така и по пространството. Не се наблюдава времеви синхрон между симулираните бризови циркулации и реалните измервания, като също така се наблюдават съществени пространствени различия в еволюцията на бризовите клетки. Стойностите на моделираните скорости на вятъра и на неговите компоненти са по-ниски от реално измерените, като при моделираните вертикални компоненти на скоростта на вятъра порядъка е един – два пъти по-нисък от реално измерените стойности. Всички тези различия, рефлексират върху измененията на корелационните коефициенти, както по времето така и по пространството и водят до задоволителни корелационни връзки само в определени времеви интервали или фиксирани слоеве над ЗП, както и до честата смяна на наблюдаваната корелационна зависимост от еднопосочна към разнопосочна и/или обратно. Наблюдаваните различия при моделните резултати, показва от една страна важността на конфигурираните моделни зони и използваните параметризационни схеми в тях за извеждането на по-реалистични данни, а от друга страна се конкурират по между при различните дати за по-добра качествена или количествена оценка. В заключение може да се каже, че при симулация 1 се наблюдава по-добра количествена оценка на работата на модела, докато симулация 2 се представя по-добре при качествената му оценка на работата. И при двете симулации се наблюдава необходимост от значително подобрение на използваните от тях параметризационни схеми и физически процеси (характеристики) с цел постигане на по-реалистични моделни данни за прогнозиране на локалните крайбрежни циркулации наблюдавани по Българското Черноморие.



Фиг.5.4.2. Пространствено-времеви сечения на моделираните (симулация 1 – лява колона, симулация 2 – дясна колона) и измерени от содара (средна колона) скорост (WS) и посока на вятъра (WD) и съответни разлики (измерване-модел) – 07.05.2009 г. Симулация 1 започва в полунощ, а симулация 2 започва три часа по-късно.



Фиг. 5.4.3. Пространствено-времени сечения на моделираните (симулация 1 лява, симулация 2 дясна колона) и измерени (средна колона) компоненти на скоростта (U, V, W) и съответни разлики (измерване-модел) - 07.05.2009 г. Симулация 1 започва в полунощ, а симулация 2 започва три часа по-късно.



Фиг 5.4.4. Пространствени (синя линия и цветни триъгълници) и времеви (червена линия и цветни точки) вариации на коефициента на корелация. Цветът на символите оказва наличността на данните при извеждане на съответния коефициент на корелация (цветовата скала вдясно) - 07.05.2009 г.

6. Научни приноси, публикации, цитати и представяне на резултати по дисертацията

Най-общо, чрез тази дисертация е достигнато ново, много по-детайлно знание за крайбрежния АГС на Българското Черноморие, овладяно е поддържането и обслужването на модерна апаратура (содар MFAS SCINTEC), създадена и поддържана е уникална база данни за 7-годишен период за вертикалните профили на вятъра и турбулентността в крайбрежния АГС до около 600-700 m с резолюция 10 m в пространството и 10 минути във времето, натрупан е полезен опит за участие на НИМХ в бъдещи проектни изследвания.

По-конкретно, приносите се състоят в следното:

- 1) Класификация на бризовите ситуации в три класа по приземни данни, допълнена с информация от содарните данни за вертикалната структура в полето на вятъра и турбулентността в отделните класове.**
- 2) Определени са характерните особености на затворените бризови клетки в района на МО Ахтопол – до 600 m вертикални мащаби през пролетта и есента; център на ядрото на максимална скорост при морски бриз на височина 250 - 270 m; рядко проявление на скорости над 5 ms^{-1} ; около 6% честота на проявление на затворени бризови клетки; променливост на честотата и интензивността на бризовите ситуации; височината на вътрешния граничен слой (ВГС) в периодите на стационарност на морския бриз – от 40 до 130 m в зоната над содара в зависимост от пробега на въздушните маси над сушата и стратификацията в АГС.**
- 3) Определени са характерните особености на АГС в морските ВМ, както за всички такива ВМ, така и по сезони и месечно – височина на АГС от 500-600 m през деня и 300 m през нощта.**
- 4) Определени са основни характеристики на АГС при ВМ откъм сушата, както за всички такива ВМ, така и по сезони и месечно – височината на АГС през нощта е около 430-450 m, а на ПС в него около 50 m.**
- 5) Направен е подробен статистически анализ на всички данни за периода от 20.07.2008 г до 31.01.2016 г. с извличане на екстремни профили, профили на параметрите в разпределението на Вейбул и информация за височината на обръщане на денонщия ход на скоростта на вятъра.**
- 6) Оценена е приложимостта на широко използвани в мезометеорологичните модели и за други приложения (ECMWF, COST710) параметризации за профилите на скоростта на вятъра и турбулентните характеристики на базата на содарните данни - за отделни месеци и в различни слоеве моделните данни са близки до измерванията, а в други случаи се различават значително.**
- 7) Показано е, че мезометеорологичният модел WRF симулира качествено наличието на затворени бризови клетки, но с различни количествени параметри и изместване във времето и пространството в полетата на изследваните елементи за три дни с измерени затворени бризови клетки от содара.**

Публикации свързани със дисертационния труд:

Статия в списание с ISI импакт-фактор:

1. Novitsky M, Kulizhnikova L, Kalinicheva O, Gaitandjiev D, Batchvarova E, Barantiev D, Krasteva K, Characteristics of speed and wind direction in atmospheric boundary layer at southern coast of Bulgaria, Journal: Russian Meteorology and Hydrology (Метеорология и гидрология), 2012, Volume 37, Number 3, Pages 159-164, Russia;

Статии в международно реферирано списание или поредица без ISI импакт-фактор:

2. Kirova H., D. Barantiev, V. Nikolov, E. Batchvarova, Wind Field in a closed breeze cell in Ahtopol – modeling and observations, , International scientific on-line journal “Science and Technologies”, Publisher “Union of Scientists – Stara Zagora”, ISSN № 1314-4111, Volume V, Number 3, 2015 Natural & Mathematical science

3. Barantiev D., M. Novitsky and E. Batchvarova, Meteorological observations of the coastal boundary layer structure at the Bulgarian Black Sea coast, Journal: Advances in Science & Research, Adv. Sci. Res., 6, 251– 259, 2011;

4. Batchvarova, E., Kirova, H., Petrov, A., Barantiev, D., Kolarova, M., Marinski, J. and Branzov, H., 2015. Assessing the Impact of Port Bourgas on Air Quality During Different Seasons. In: S. Chrysostomos, F. Tania, M. Jordan and D. Leonardo (Editors), Sustainable Development of Sea-Corridors and Coastal Waters. The TEN ECOPORT project in South East Europe. Springer International Publishing Switzerland, pp. 29-38.

Статия в национално списание без ISI импакт-фактор:

5. Batchvarova, E, Kolarova, M, Veleva, B, Neykov, N, Neitchev, P, Videnov, P, Gamanov, A, Barantiev, D, 2011: The atmospheric boundary layer – parameterizations, observations and applications, Journal:BJMH, 16/1(2011) 41-53;

Доклади, публикувани в сборник трудове от международни конференции и проекти:

6. Georgieva E., Oruc I., Hristova E., Velchev K., Kirova H., Syrakov D., Prodanova M., Neikova R., Veleva B., Barantiev D., Petrov A., Kolarova M., Nikolov V., Batchvarova E., Branzov H., (2015), Assessment of trans-boundary problems. Case study for the atmospheric pollution in the cross-border region Burgas – Kirkklareli, in “Integrated Land-Use Modelling of Black Sea Estuaries”, Eds: H. Yemendzhiev and V. Nenov. Diagnosis Press, Sofia, 2015, pp. 179-190. (ISBN 978-954-8436-28-1)

7. Batchvarova E., D. Barantiev and M. Novitsky, Sodar wind profile at the Black Sea coast in Bulgaria, paper in conference proceedings, The 9th International Symposium on Tropospheric Profiling (ISTP), 3-7 September 2012, L'Aquila, Italy; http://cetemps.aquila.infn.it/istp/proceedings/Session_P_Posters/P40_Batchvarova.pdf

8. Batchvarova E., D. Barantiev and M. Novitsky, Coastal Boundary layer wind profile based on SODAR data – Bulgarian contribution to COST Acton ES0702, paper in conference proceedings, The 16th International Symposium for the Advancement of Boundary-Layer Remote Sensing – ISARS 2012, 5-8 June 2012, Boulder, Colorado, USA; <http://www.esrl.noaa.gov/psd/events/2012/isars/pdf/isars2012-abstractVolume.pdf>

Доклад публикуван в сборник трудове от национални конференции и проекти

9. Barantiev D., E. Batchvarova and M. Novitsky, Exploration of the Coastal Boundary Layer in Ahtopol through Remote Acoustic Sounding of the Atmosphere, paper in conference proceedings, 2nd National Congress on Physical Sciences, Section: Physics of Earth, Atmosphere and Space (S07.26), 25-29 September 2013, Sofia, Bulgaria, Херон Прес ISBN 978–954-580-333-8.;

Забелязани цитати

D. Barantiev, M. Novitsky and E. Batchvarova, Meteorological observations of the coastal boundary layer structure at the Bulgarian Black Sea coast, Journal: Advances in Science & Research, Adv. Sci. Res., 6, 251– 259, 2011, **(цитирана)**

1. Gioli B., G. Gualtieri, C. Busillo, F. Calastrini, B. Gozzini and F. Miglietta, (2014). Aircraft wind measurements to assess a coupled WRF-CALMET mesoscale system. *Meteorological Applications*, 21(1), 117-128.

Представяне на резултати от дисертационния труд:

Резултати свързани с този научен труд са представяни тридесет и три пъти на шестнадесет различни международни форума, на два национални с международно участие, на един национален и при десет доклада на семинари, три от които в чужбина.

7. Благодарности

Трудът по тази дисертация обхваща близо 8 годишен период и е резултат от успешно научно-техническо сътрудничество между НПО "Тайфун" – Росхидромет и НИМХ при БАН, благодарение на умелото и професионално ръководство на тези два научни института, и на всички колеги, взели пряко или не пряко участие в изграждането и поддържането на това международно сътрудничество.

Изказвам най-сърдечна благодарност на проф. д.ф.н. Екатерина Бъчварова за изключителния професионализъм, за подготовката и знанията с които ме надгради в професионално отношение, за увереността и непрекъснатата подкрепата, които ми даде, като научен ръководител на дисертационния ми труд. Специални благодарности бих желал да изкажа също така на проф. д.ф.м.н. Михаил Новицки за редица проведени консултации и времето отделено в дискутиране на данни и резултати свързани с тази дисертация. Искрено благодаря на доц. д-р. Крум Велчев и на доц. д-р. Емилия Георгиева за тяхната отзивчивост и проявен професионализъм при съвместни обсъждания на резултати от този научен труд. За изведените моделирани резултати на дни с бризови клетки от числени симулации с WRF, бих желал да благодаря на колегите от департамент ФАЕ - ас. Христина Кирова-Гълъбова и Валери Николов. Благодаря на екипа и колегите, с които работих в проекта по ОП РЧР BG051PO001-3.3.06-0063, в който резултати свързани с тази дисертация, бяха обсъждани и подкрепяни при тяхното представяне на международни форуми. Резултати по тази дисертация са обсъждани с колеги от Италия и по проекта COST ES1303 TOPROF. Благодарност бих желя да изкажа и на директора на НИМХ- филиал Варна, Иван Иванов, както и на колегите от ХМО-Бургас и от синоптична станция Ахтопол за тяхната подкрепа през годините на моята професионална подготовка.

Накрая но не на последно място искам да изкажа моята голяма благодарност към семейството ми, което през всичките тези години бе неотлъчно до мен, подкрепяше ме всеотдайно в начинанията ми, даваше ми вдъхновение, спокойствие и разбиране.

Посвещавам този труд в памет на родителите ми, без чиято любов и грижа, никога не бих стигнал до тук.

8. Приложения (към дисертацията)

8.1. **ПРИЛОЖЕНИЕ А: Използвани означения и съкращения**

8.2. **ПРИЛОЖЕНИЕ Б: Технически характеристики на АМС МК-15**

8.3. **ПРИЛОЖЕНИЕ В: Преглед на основни и турбулентни параметри извеждани от АМС МК15**

8.4. **ПРИЛОЖЕНИЕ Г: Технически характеристики на Scintec MFAS Flat Array Sodars**

8.5. **ПРИЛОЖЕНИЕ Д: Изходящи параметри при Scintec Flat Array Sodar MFAS**

8.6. **ПРИЛОЖЕНИЕ Е: Пояснение към физически процеси/характеристики и използвани параметризации при моделните симулации в глава 5**

8.7. **ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. интерполирани данни**

Фиг.1. - 05.08.2008 г.;

Фиг.2. - 05.09.2008 г.;

Фиг.2. - 07.05.2009 г.;

9. Литература

- Alpert, P. and Rabinovich-Hadar, M., 2003. Pre- and Post-Sea-Breeze Frontal Lines—A Meso- γ -Scale Analysis over South Israel. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 60(24): 2994–3008.
- Asimakopoulou, D.N., Helmis, C.G. and Michopoulos, J., 2004. Evaluation of Sodar methods for the determination of the atmospheric boundary layer mixing height. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 85(1): 85-92.
- Bailey, D.T., 2000. Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications. In: O.o.A.Q.P.a. Standards (Editor). United States Environmental Protection Agency (EPA), Research Triangle Park, NC 27711 pp. 171, EPA-454/R-99-005, <http://www.epa.gov/scram001/guidance/met/mmgrma.pdf>.
- Barantiev, D., Novitsky, M. and Batchvarova, E., 2011. Meteorological observations of the coastal boundary layer structure at the Bulgarian Black Sea coast. *Advances in Science and Research (ASR)*, (6): 251-259.
- Barantiev, D., Batchvarova, E. and Novitsky, M., 2013. Exploration of the Coastal Boundary Layer in Ahtopol through Remote Acoustic Sounding of the Atmosphere, 2nd National Congress on Physical Sciences. Heron Pres, Sofia, Bulgaria, 978-954-580-333-8.
- Batchvarova, E. and Gryning, S.-E., 1998. Wind climatology, atmospheric turbulence and internal boundary-layer development in Athens during the MEDCAPHOT-TRACE experiment. *Atmospheric Environment*, 32(12): 2055–2069.
- Batchvarova, E., Cai, X., Gryning, S.-E. and Steyn, D., 1999. Modelling internal boundary-layer development in a region with a complex coastline. *Boundary-Layer Meteorology*, 90(1): 1-20.
- Batchvarova, E., Barantiev, D. and Novitsky, M., 2012. Coastal Boundary layer wind profile based on SODAR data – Bulgarian contribution to COST Acton ES0702, The 16th International Symposium for the Advancement of Boundary-Layer Remote Sensing – ISARS Boulder, Colorado, USA.
- Batchvarova, E., Gryning, S.-E., Floors, R., Vincent, C., Peña, A. and Mikkelsen, T., 2014. Measurements and modeling of the wind profile up to 600 meters at a flat coastal site. In: D.G. Steyn, P.J.H. Bultjes and R.M.A. Timmermans (Editors), *Air Pollution Modeling and its Application XXII*. Springer Netherlands, pp. 565-569.
- Belberov, Z.K., Zahariev, V.I., Kuznetsov, O.A., Massel, S., Pykhov, N.V., Rojdestvensky, A.V. and Filyushkin, B.N., 1980. Interaction of the atmosphere, hydrosphere and lithosphere in the nearshore zone -results of the international experiment "Kamchiya 78", I. Publishing house of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia.
- Belberov, Z.K., Antsyferov, S.M., Zahariev, V.I., Zats, V.I. and Pykhov, N.V., 1982. Interaction of the atmosphere, hydrosphere and lithosphere in the nearshore zone -results of the international experiment "Kamchiya 78", II. Publishing house of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia.
- Belberov, Z.K., Zahariev, V.I., Kuznetsov, O.A., Pykhov, N.V., Filyushkin, B.N. and Zaslavski, M.M., 1983. Interaction of the atmosphere, hydrosphere and lithosphere in the nearshore zone -results of the international experiment "Kamchiya 78", III. Publishing house of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia.
- Beljaars, A., 1992. The parametrization of the planetary boundary layer. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), Reading, UK, pp. Meteorological Training Course Lecture Series.
- Beyrich, F., 1997. Mixing height estimation from sodar data — A critical discussion. *Atmospheric Environment*, 31(23): 3941–3953.
- Cenedese, A., Cosemans, G., Erbrink, H. and Stubi, R., 1998. Report of Working Group 3. Vertical Profiles of Wind, Temperature and Turbulence. . In: B.E.A. Fisher, J.J. Erbrink, S. Finardi, P.

- Jeannet, S. Joffre, M.G. Morselli, U. Pechinger, P. Seibert and D.J. Thomson (Editors), Harmonisation of the pre-processing of meteorological data for atmospheric dispersion models. . Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, pp. 111.
- Chen, F. and Dudhia, J., 2001. Coupling an Advanced Land Surface–Hydrology Model with the Penn State–NCAR MM5 Modeling System. Part I: Model Implementation and Sensitivity. *Monthly Weather Review*, 129: 569–585.
- Chou, M.-D. and Suarez, M.J., 1994. An efficient thermal infrared radiation parameterization for use in general circulation models. NASA technical memorandum 10460, 3: 85.
- Cimini, D., Visconti, G. and Marzano, F., 2011. Integrated Ground-Based Observing Systems, 10.1007/978-3-642-12968-1_1. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 309 pp.
- Coulter, R.L. and Kallistratova, M.A., 2004. Two decades of progress in SODAR techniques: a review of 11 ISARS proceedings. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 85: 3-19.
- Emeis, S., Jahn, C., Münkel, C., Münsterer, C. and Schäfer, K., 2007. Multiple atmospheric layering and mixing-layer height in the Inn valley observed by remote sensing. *Meteorologische Zeitschrift*, 16(4): 415 - 424.
- Emeis, S., Schäfer, K. and Münkel, C., 2008. Surface-based remote sensing of the mixing-layer height – a review. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(5): 621-630.
- Emeis, S., 2010. Surface-based remote sensing of the atmospheric boundary layer. Atmospheric and oceanographic sciences library. Springer Berlin Heidelberg, New York.
- Engelbart, D., Monna, W., Nash, J. and Mätzler, C., 2009. COST 720 Final Report: Integrated ground-based remote-sensing stations for atmospheric profiling : . Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg 422 pp.
- Fisher, B.E.A.e.a.E., 1998. COST Action 710 - Final report. Harmonisation of the pre-processing of meteorological data for atmospheric dispersion models. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Floors, R., Vincent, C.L., Gryning, S.-E., Peña, A. and Batchvarova, E., 2013. The wind profile in the coastal boundary layer: wind lidar measurements and numerical modelling. *Boundary-Layer Meteorology*, 147(3): 469-491.
- Garratt, J.R., 1990. The internal boundary layer — A review. *Boundary-Layer Meteorology*, 50(1): 171-203.
- Georgieva, E., Oruc, I., Hristova, E., Velchev, K., Kirova, H., Syrakov, D., Prodanova, M., Neikova, R., Veleva, B., Barantiev, D., Petrov, A., Kolarova, M., Nikolov, V., Batchvarova, E. and Branzov, H., 2015. Joint study of anthropogenic air pollution in the Burgas - Kirklareli cross-border area as a step towards future assessments on its impact on the population and the environment. Scientific Report, co-funded by EU through the Bulgaria – Turkey Cross-Border Programme CCI number 2007CB16IPO008.
- Grell, G.A. and Devenyi, D., 2002. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophysical Research Letters*, 29(14): 38-31–38-34, CiteID 1693.
- Gryning, S.-E., Batchvarova, E., Brümmner, B., Jørgensen, H. and Larsen, S., 2007. On the extension of the wind profile over homogeneous terrain beyond the surface boundary layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 124(2): 251-268.
- Gryning, S.-E., Batchvarova, E. and Floors, R., 2013. A Study on the Effect of Nudging on Long-Term Boundary Layer Profiles of Wind and Weibull Distribution Parameters in a Rural Coastal Area. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(5): 1201-1207.
- Gryning, S.-E., Batchvarova, E., Floors, R.R., Peña, A., Brümmner, B., Hahmann, A.N. and Mikkelsen, T., 2014. Long-term profiles of wind and Weibull distribution parameters up to 600 m in a rural coastal and an inland suburban area. *Boundary-Layer Meteorology*, 150(2): 167-184.

- Gryning, S.-E., Floors, R., Peña, A., Batchvarova, E. and Brümmner, B., 2016. Weibull wind-speed distribution parameters derived from a combination of wind-lidar and tall-mast measurements over land, coastal and marine sites. *Boundary-Layer Meteorology*, 159(2): 329–348.
- He, Y., Monahan, A.H., Jones, C.G., Dai, A., Biner, S., Caya, D. and Winger, K., 2010. Probability distributions of land surface wind speeds over North America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D4).
- Hong, S.-Y., Dudhia, J. and Chen, S.-H., 2004. A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Monthly Weather Review*, 132: 103–120.
- Hsu, S.A., 1986. A note on estimating the height of the convective internal boundary layer near shore. *Boundary-Layer Meteorology*, 35(4): pp 311-316.
- Iacono, M.J., Mlawer, E.J., Clough, S.A. and Jean-Jacques, M., 2000. Impact of an improved longwave radiation model, RRTM, on the energy budget and thermodynamic properties of the NCAR community climate mode. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D11): 14873-14890.
- Illingworth, A.J., Ruffieux, D., Cimini, D., Lohnert, U., Haeffelin, M. and Lehmann, V., 2013. COST Action ES0702 Final Report: European Ground-Based Observations of Essential Variables for Climate and Operational Meteorology, COST Office, PUB1062.
- Illingworth, A.J., Cimini, D., Gaffard, C., Haeffelin, M., Lehmann, V., Löhnert, U., O’Connor, E.J. and Ruffieux, D., 2015. Exploiting Existing Ground-Based Remote Sensing Networks to Improve High-Resolution Weather Forecasts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12): 2107-2125.
- Indhumathy, D., Seshaiyah, C.V. and Sukkiramathi, K., 2014. Estimation of Weibull parameters for wind speed calculation at Kanyakumari in India. *Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(1).
- IPCC, 2011. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA., 881 pp.
- Janjic, Z.I., 1996. The surface layer in the NCEP Eta Model. Eleventh conference on numerical weather prediction, Norfolk, 11th Conference on Numerical Weather Prediction. American Meteorological Society, Boston, MA, Norfolk, Va, USA, pp. 354–355.
- Janjic, Z.I., 2002. Nonsingular Implementation of the Mellor–Yamada Level 2.5 Scheme in the NCEP Meso model. In: N.C.f.E. Prediction (Editor), pp. 61.
- Kerman, B.R., Mickle, R.E., Portelli, R.V., Trivett, N.B. and Misra, P.K., 1982. The Nanticoke shoreline diffusion experiment, June 1978 - II. Internal boundary-layer structure. *Atmospheric Environment*, 16(3): 423-437.
- Lun, I.Y.F. and Lam, J.C., 2000. A study of Weibull parameters using long-term wind observations. *Renewable Energy*, 20(2): 145–153.
- Melas, D. and Kambezidis, H.D., 1992. The depth of the internal boundary layer over an urban area under sea-breeze conditions. *Boundary-Layer Meteorology*, 61(3): 247-264
- Mellor, G.L. and Yamada, T., 1982. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Review of Geophysics*, 20(4): 851–875.
- Mlawer, E.J., Taubman, S.J., Brown, P.D., Iacono, M.J. and Clough, S.A., 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14): 16663–16682.
- Mlawer, E.J. and Clough, S.A., 1998. Shortwave and longwave enhancements in the rapid radiative transfer model, the 7th Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Science Team Meeting, Department of Energy, CONF-970365.

- Novitsky, M., Kulizhnikova, L., Kalinicheva, O., Gaitandjiev, D., Batchvarova, E., Barantiev, D. and Krasteva, K., 2012. Characteristics of speed and wind direction in atmospheric boundary layer at southern coast of Bulgaria. *Russian Meteorology and Hydrology*, 37(3): 159-164.
- Papoulis, A. and Pillai, S.U., 2002. *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes* (4th ed.). McGraw-Hill Europe; 75-90 pp.
- Peña, A., Floors, R.R., Sathe, A., Gryning, S.-E., Wagner, R., Courtney, M., Larsén, X.G., Hahmann, A.N. and Hasager, C.B., 2016. Ten Years of Boundary-Layer and Wind-Power Meteorology at Høvsøre, Denmark. *Boundary-Layer Meteorology*, 158(1): 1-26.
- Pessanha, J., Oliveira, F. and Souza, R., 2015. Teaching statistical methods in engineering courses through wind power data. *Revista de Ensino de Engenharia*, 34(1): 85-92.
- Portelli, R.V., 1982. The Nanticoke shoreline diffusion experiment, June 1978—I. Experimental design and program overview. *Atmospheric Environment*, 16(3): 413-421.
- Prasad, S.T., 2015. *Remote Sensing Handbook. Remotely Sensed Data Characterization, Classification, and Accuracies*. CRC Press, 712 pp.
- Seibert, P., Beyrich, F., Gryning, S.-E., Joffre, S., Rasmussen, A. and Tercier, P., 1998. Report of Working Group 2. Mixing Height Determination for Dispersion Modelling. . In: B.E.A. Fisher, J.J. Erbrink, S. Finardi, P. Jeannot, S. Joffre, M.G. Morselli, U. Pechinger, P. Seibert and D.J. Thomson (Editors), *Harmonisation of the pre-processing of meteorological data for atmospheric dispersion models*. . Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, pp. 120.
- Simpson, J.E., 1994. *Sea breeze and local winds*. Cambridge University Press.
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X.-Y., Wang, W. and Powers, J.G., 2008. *A Description of the Advanced Research WRF Version 3*. NCAR/TN-475+STR, NCAR Scientific Divisions, Boulder, Colorado, USA.
- Sornette, D., 2004. *Critical phenomena in natural sciences : chaos, fractals selforganization and disorder : concepts and tools*, 10.1007/978-3-662-04174-1. Springer, Berlin, 528 pp.
- Stevens, M.J.M. and Smulders, P.T., 1979. The estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy utilization purposes. *Wind Engineering*, 3(2): 132-145.
- Thompson, G., Rasmussen, R.M. and Manning, K., 2004. Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part I: Description and sensitivity analysis. *Monthly Weather Review*, 132: 519-542.
- Venkatram, A., 1980. Estimating the Monin-Obukhov length in the stable boundary layer for dispersion calculations. *Boundary-Layer Meteorology*, 19(4): pp.481-485.
- Wieringa, J., 1989. Shapes of annual frequency distributions of wind speed observed on high meteorological masts. *Boundary-Layer Meteorology*, 47(1): 85-110.
- Wijnant, I.L., van den Brink, H.W. and Stepek, A., 2014. *North Sea wind climatology Part 1: a review of existing wind atlases*, Royal Netherlands Meteorological Institute Ministry of Infrastructure and the Environment, De Bilt, Netherlands.
- Wilczak, J.M., Dabberdt, W.F. and Kropfli, R.A., 1991. Observations and Numerical Model Simulations of the Atmospheric Boundary Layer in the Santa Barbara Coastal Region. *Journal of Applied Meteorology*, 30(5): 652-673.
- Wiman, B.L.B., Velchev, K., Gaydarova, P.N., Donev, E.H. and Yurukova, L., 2002. A Note on Aerosol Mass-versus-size Distributions in the South-East Bulgarian Black Sea Coastal Region. *Bulgarian Journal of Meteorology & Hydrology*, 13((1-2)): 26-39.
- Zhong, S. and Takle, E.S., 1992. An Observational Study of Sea- and Land-Breeze Circulation in an Area of Complex Coastal Heating. *Journal of Applied Meteorology*, 31(12): 1426-1438.
- Андреев, В., 1999. *Авиационна метеорология. катедра "Въздушен транспорт"*, ТУ-София, София, България, 345 pp.

- Бъчварова, Е. and Донеv, Е., 1983. Спектрални оценки на концентрацията на някои замърсители на атмосферата и някои метеорологични параметри в гр. Бургас. *Хидрология и метеорология*, XXXII(2): 70-72.
- Бъчварова, Е., 1984a. Някои предварителни резултати от микрометеорологичен дифузионен експеримент с използване на серен шестофлуорид като трасер. *Българско геофизично списание*, X(4): 19-29.
- Бъчварова, Е., 1984b. Някои предварителни резултати от микрометеорологичен дифузионен експеримент с трасер. *Хидрология и метеорология*, XXXIII(3): 53-57.
- Бъчварова, Е., 1985. Изследване на развитието на термичен вътрешен граничен слой и разпространението на примеси в него. Автореферат на дисертация за получаване на научната степен "Кандидат на физическите науки", София: 36.
- Бъчварова, Е., 2006. Теоретични и експериментални изследвания на височината на конвективния граничен слой в атмосферата при различни постилащи повърхности, София, 153 pp.
- Йорданов, Д. and Бъчварова, Е., 1985a. Върху височината на вътрешния граничен слой при морска бризова циркулация. *Българско геофизично списание*, XI(2): 21-28.
- Йорданов, Д. and Бъчварова, Е., 1985b. Върху използването на теорияна подобие при изучаване на дифузията в условията на бризова циркулация. *Българско геофизично списание*, XI(3): 19-29.
- Колева, Е. and Пенева, Р., 1990. Климатичен справочник - Валежи в България. Българска Академия на Науките, 169 pp.
- Корчев, Г. and Манолов, Л., 1983. Експеримент за изучаване на бризовата циркулация по Българското Черноморско крайбрежие. *Хидрология и метеорология*, година XXXII(кн. 2): 72-74.
- Кючукова, М., 1979. Климатичен справочник за НР България - том II. Влажност на въздуха, мъгла, хоризонтална видимост, облачност и снежна покривка, II. ДИ "Наука и изкуство", София, България, 811 pp.
- Кючукова, М., 1982. Климатичен справочник за НР България - том IV. Вятър, IV. ДИ "Наука и изкуство", София, България, 382 pp.
- Кючукова, М., 1983. Климатичен справочник за НР България - том III. Температура на въздуха, температура на почвата, слана, III. ДИ "Наука и изкуство", София, България, 440 pp.
- Папанчев, Т., 2013. Модифициран подход за оценка на параметрите на разпределението на Вейбул при изпитвания с нула или единични откази и интервални данни., *Научни издания на Съюза на учените - Варна, Серия "Технически науки"*, Варна, pp. 53-57, 1310-5833, http://www.su-varna.org/izdanij/Tehnauk-1-013/pp53_57.pdf.
- Радилов, Д., Хаджиев, В. and Жекова, С., 2010. Статистика. Учебник за студентите на ИУ - Варна. Унив. изд. Наука и икономика, Варна, 450 pp.
- Сиракова, М., 2000. Атмосфера и климат Херон Прес, София, България.
- Събев, Л. and Станев, С., 1959. Климатичните райони на България и техния климат, V. Държавно издателство "Наука и изкуство", София, България, 174 pp.