



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО – МАТЕМАТИЧКИ  
ФАКУЛТЕТ  
ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ



# Иницијализација WRF NMM модела подацима из ASCAT осматрања влаге у површинском слоју земљишта

- дипломски рад -

Коментори:  
проф. др Дарко Капор  
проф. др Бранислава Лалић

Кандидат:  
Гордан Мимић

Нови Сад, 2011.

## Садржај

1.	Увод.....	3
2.	WRF NMM модел.....	5
3.	ASCAT осматрања влаге у површинском слоју земљишта.....	10
	3.1. Скетерометри.....	10
	3.2. Издвајање података о влази земљишта .....	11
	3.3. Корекције при мерењу .....	17
4.	Експериментални део.....	18
	4.1. Издвајање података за одређени датум.....	18
	4.2. Интерполација података у регуларну мрежу тачака .....	19
	4.3. GRIB-овање података.....	22
	4.4. Коришћење WRF NMM модела.....	22
5.	Анализа резултата .....	24
6.	Закључак.....	28
7.	Литература.....	29

## 1. Увод

У данашње време битан удео у прогнози времена имају нумерички модели. На вишепроцесорским рачунарским кластерима се врши интеграција великог броја једначина којима се описује стање атмосфере. На основу почетних и бочних граничних услова решава се сет диференцијално-диференцијских једначина а као решења се добијају вредности метеоролошких поља за одређени будући период. У Републичком хидрометеоролошком заводу Србије (РХМЗС) у Београду, где сам и радио овај дипломски рад, у Одељењу за нумеричку прогнозу свакодневно се користе регионални модели ETA и WRF NMM у оперативне сврхе прогнозе времена. Главни задатак овог рада је био да извршим иницијализацију садржаја влаге у WRF NMM моделу помоћу сателитских осматрања, што се у овој институцији претходно није радило, као и да испитам утицај иницијализације влаге у површинском слоју земљишта на вредности других метеоролошких величина као што су на пример температура или релативна влажност ваздуха на 2 m висине.

У РХМЗ-у Србије се приликом иницијализације модела као почетни и бочни гранични услови користе подаци из Европског центра за средњорочну прогнозу времена (ECMWF) смештеног у Редингу, Велика Британија. Основна идеја овог рада била је да у почетним условима заменим поље влаге земљишта у првом слоју дубине до 10 cm подацима из ASCAT (Advanced SCATterometer) сателитских мерења добијених од Технолошког Универзитета у Бечу (Аустрија), те да анализирам резултате прогнозе која је продукт две иницијализације различите само у смислу података о влази у површинском слоју земљишта. У Европском центру се анализа времена ради на сваких 6 часова тако што се врши асимилација података претходне прогнозе за 6 сати и осматрања. Затим се, у недостатку мерења, на основу специфичне влажности ваздуха на 2 m прерачунава садржај влаге у земљишту, претпостављајући да је веза између ових величина линеарна. Подаци се верификују прогнозираним пољем влаге у земљишту из претходног термина.

У овом раду сам покушао да проверим да ли се може добити тачнија прогноза времена уколико се користе сателитски осмотрене вредности влаге у површинском слоју земљишта, пошто је иницијализација која се актуелно користи базирана на индиректно израчунатим вредностима ове величине. Сходно томе било је потребно да обавим верификацију излаза из модела са осмотреним метеоролошким пољима, чија архива SYNOP извештаја се налази на интернет страници [www.ogimet.com](http://www.ogimet.com).

У првом делу рада сам изложио главне карактеристике WRF NMM модела (вертикална координата, мрежа тачака, пројекција) и навео основне динамичке једначине и потпрограме који се користе при израчунавању поља метеоролошких елемената. Потом сам описао начин рада скетерометара, основне карактеристике ASCAT-а, начин на који се подаци прикупљају и начин на који се обрађују, као и одговарајуће грешке и корекције. Експериментални део рада описује поступак издавајања података о површинској влази земљишта за одређени термин, начин на који је обављена интерполација у регуларну мрежу тачака, како сам прерачунавао мерену величину у ону која се користи у моделу и паковање података у GRIB формат погодан за рад са моделом. Наредни део говори о употреби WRF NMM модела и целокупном процесу прављења нумеричке прогнозе времена, док на крају преостаје анализа резултата модела, њихов графички приказ, дискусија и закључак.

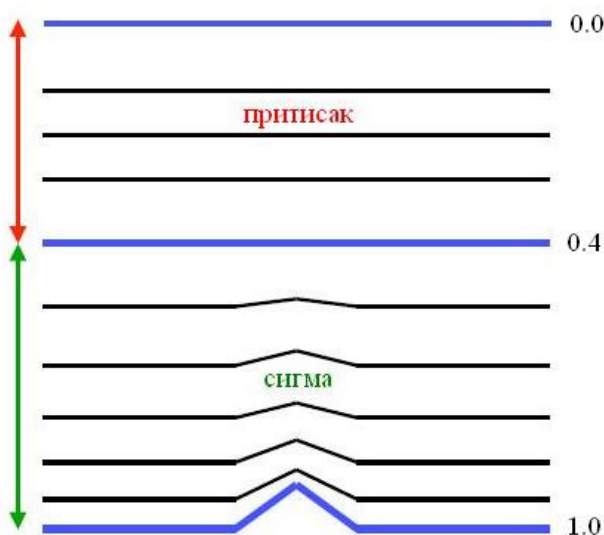
## 2. WRF NMM модел

WRF NMM [1] (Weather Research and Forecast Nonhydrostatic Mesoscale Model) модел представља једну од неколико верзија нумеричког модела за прогнозу времена у чијем је стварању велики удео имао еминенти стручњак пореклом из ових крајева, проф. Завиша Јањић, који већ дужи низ година живи и ради у Сједињеним Америчким Државама. Основне одлике модела су коришћење потпуног система једначина (хидростатичке и нехидростатичке), адекватно смањење рачунског времена када се користи нижа просторна резолуција, примена принципа моделирања који су се претходно показали као поуздани у нумеричкој прогнози времена и регионалним климатолошким проучавањима, као и коришћење метода у којима су шумови максимално пригушени [2].

Вертикална координата је хибридна сигма- $\pi$  (притисак). Сигма координата адекватно прати орографију терена и њен утицај који постоји до одређене висине, на којој је вредност притиска приближно 420 mbar (слика 1), а затим се као вертикална координата користи притисак. Сигма координата је базирана на хидростатичком притиску  $\pi$ , њене вредности се налазе у интервалу од 1 до 0, а израчунава се коришћењем релације облика

$$\sigma = \frac{\pi - \pi_t}{\pi_s - \pi_t} \quad (1)$$

при чему је  $\pi_s$  приземни притисак а  $\pi_t$  притисак на горњој граници атмосфере, у моделу.



Слика 1. Вертикална сигма-  $\pi$  хибридна координата

Систем основних динамичких једначина за невискозни флуид који се адијабатски креће у координатном систему са сигма вертикалном координатом има облик:

- једначина кретања у хоризонталном правцу

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\vec{v} \cdot \nabla_{\sigma} \vec{v} - \dot{\sigma} \frac{\partial \vec{v}}{\partial \sigma} - (1 + \varepsilon) \nabla_{\sigma} \Phi - \alpha \nabla_{\sigma} p + f \vec{k} \times \vec{v} \quad (2)$$

- једначина термодинамике

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\vec{v} \cdot \nabla_{\sigma} T - \dot{\sigma} \frac{\partial T}{\partial \sigma} + \frac{\alpha}{c_p} \left[ \frac{\partial p}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla_{\sigma} p + \dot{\sigma} \frac{\partial p}{\partial \sigma} \right] \quad (3)$$

- једначина континуитета

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + \nabla_{\sigma} (\mu \vec{v}) + \frac{\partial (\mu \dot{\sigma})}{\partial \sigma} = 0 \quad (4)$$

- хипсометријска једначина

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = -\mu \frac{RT}{p} \quad (5)$$

- дефиниција нехидростатичке променљиве

$$\varepsilon \equiv \frac{1}{g} \frac{dw}{dt} \quad (6)$$

- једначина кретања у вертикалном правцу

$$\frac{\partial p}{\partial \pi} = 1 + \varepsilon \quad (7)$$

- нехидростатичка једначина континуитета

$$w = \frac{1}{g} \frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{g} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla_{\sigma} \Phi + \dot{\sigma} \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} \right) \quad (8)$$

Величина  $p$  је укупни (нехидростатички) притисак, док су остале величине  $\vec{v}$  хоризонтална брзина ветра,  $w$  брзина вертикалних кретања,  $\Phi$  геопотенцијал,  $\mu$  густина ваздуха,  $T$  температура,  $R$  универзална гасна константа,  $\alpha$  специфична густина ваздуха,  $c_p$  специфични топлотни капацитет. У случају атмосферских кретања мезо и великих размера важи да је  $\epsilon \ll 1$ . Утицај нехидростатичких процеса постаје уочљив када се просторни корак смањи испод 10 km, а посебно је битан када се спусти на размере од 1 km. Вертикални гранични услови су

$$\text{на врху атмосфере} \quad \dot{\sigma} = 0, p - \pi = 0 \quad (9)$$

$$\text{на површини} \quad \dot{\sigma} = 0, \frac{\partial(p - \pi)}{\partial \sigma} = 0. \quad (10)$$

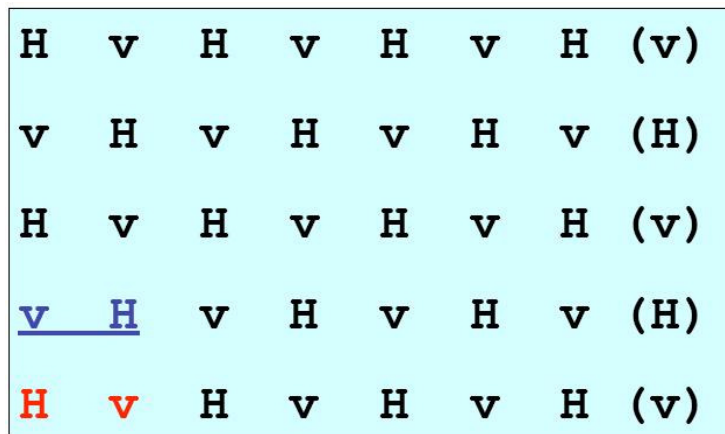
Експлицитно диференцирање по времену се користи у ситуацијама где је то могуће као нпр. за хоризонталну адвекцију ветра и температуру или пасивну адвекцију специфичне влажности ваздуха, воде у облацима или турбулентне кинетичке енергије, и тада се добијају тачније вредности фазне брзине. Имплицитно диференцирање по времену се користи у случају процеса који се брзо одвијају и када је потребно имати мали временски корак да би се постигла нумеричка стабилност, као што су нпр. вертикална адвекција компоненти брзине ветра и температуре, и вертикално простирање звучних таласа.

WRF NMM модел је састављен од великог броја потпрограма који појединачно обављају одређена израчунавања у вези са динамичким процесима:

- PDTE рачуна дивергенцију флукса масе, вертикалну брзину и ажурира хидростатички притисак,
- ADVE рачуна хоризонталну и вертикалну адвекцију  $u$ ,  $v$  и  $T$ , укључујући и Кориолисов члан,
- VTOA ажурира нехидростатички притисак, придружује  $\omega\alpha$  члан термодинамичкој једначини,
- VADZ/HADZ рачуна вертикалну и хоризонталну адвекцију геопотенцијала и ажурира брзину вертикалних кретања ( $w=dz/dt$ ),
- EPS рачуна вертикалну и хоризонталну адвекцију  $w$ , разматра вертикално простирање звучних таласа,
- VAD2/HAD2 рачуна вертикалну и хоризонталну адвекцију специфичне влажности ваздуха, количину воде у облацима и турбулентну кинетичку енергију (у сваком другом временском кораку),
- HDIFF рачуна хоризонталну дифузију,

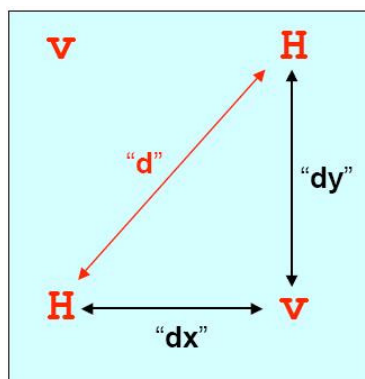
- BOSH ажурира граничне услове у  $H$  тачкама  $E$  мреже,
- PFDHT рачуна силу градијента притиска, ажурира ветар у односу на исту и рачуна његову дивергенцију,
- DDAMP рачуна дивергенцију влаге,
- BOCOV ажурира граничне услове у  $v$  тачкама  $E$  мреже.

При нумеричким израчунавањима метеоролошких поља у хоризонталном правцу користи се метод мреже тачака, и то се ради у Аракавиној (Агакава) полуразмакнутој  $E$  мрежи, у којој су наизменично поређане  $H$  и  $v$  тачке (слика 2).  $H$  тачке се називају тачке масе и садрже температуру, приземни притисак, специфичну влажност и турбулентну кинетичку енергију док  $v$  тачке садрже хоризонталне компоненте брзине ветра па се сходно томе зову тачке ветра. Корак у мрежи представља најкраће растојање између суседних тачака које садрже исте величине, у дијагоналном правцу (слика 3). У  $E$  мрежи адвективна шема има погодан облик те се одржавају кинетичка енергија и енстрофија, чиме је спречено физички неоправдано довођење енергије кратким таласима, што је последица нелинеарне нестабилности.



Слика 2. Аракавина полуразмакнута  $E$  мрежа са  $H$  и  $v$  тачкама; **црвена** = (1,1) , **плава** = (1,2)





Слика 3. Корак у Е мрежи ( $d$ ) је изражен у километрима, док су угаона растојања  $dx$  и  $dy$  изражена у деловима степена

Пројекција која се користи је типична само за овај модел и представљена је ротираном мрежом географске ширине и дужине тако да је пресек екватора и нултог меридијана у центру домена модела, тзв. ротирани лат/лон. Ротирањем се умањује конвергенција меридијана на домену и одржава се једнолико растојање у мрежи.



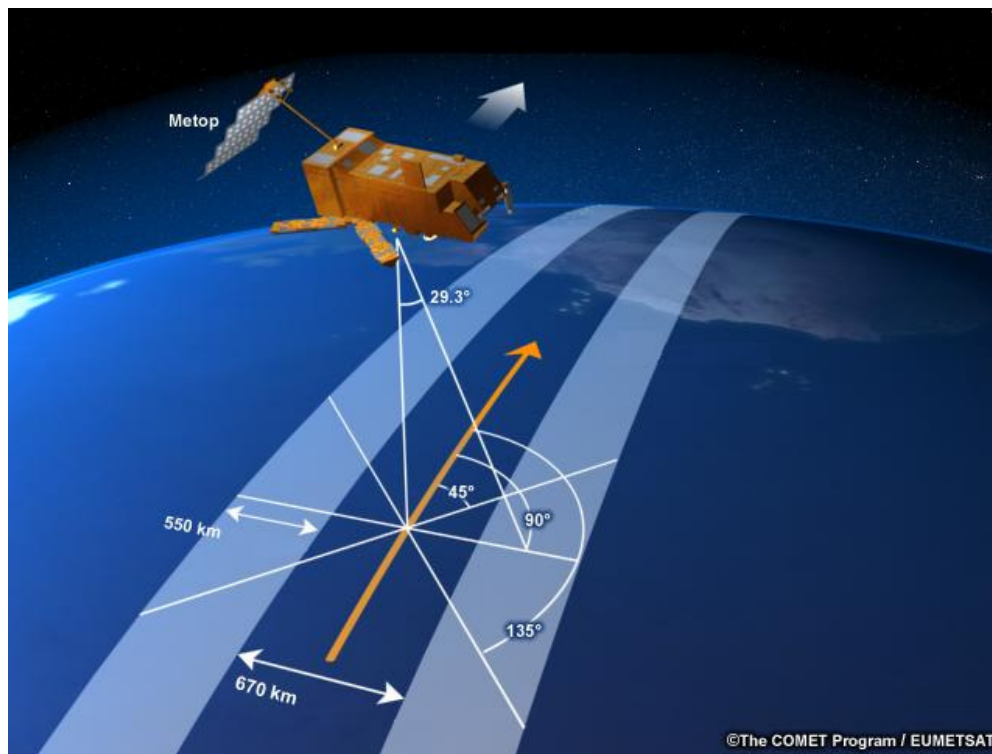
Слика 4. Изглед домена у ротираној лат/лон мрежи са два угнежђена под-домена

### 3. ASCAT осматрања површинске влаге земљишта

#### 3.1. Скетерометри

Реч ASCAT представља скраћеницу од Advanced SCATterometer што би у преводу значило напредни скетерометар (енгл. scatter расејавати). Скетерометар је микроталасни сензор који снима радарски попречни пресек (сигма-нула,  $\sigma^0$ ) веома прецизно за велики опсег упадног ( $\theta$ ) и азимутног ( $\phi$ ) угла [3]. Подједнако добро се обављају дневна и ноћна мерења, без обзира на присуство облачног прекривача. Скетерометри који се на сателитима лансирају у свемир служе за мерење карактеристика површине тла. Тако сателити ERS-1 и ERS-2 носе активни микроталасни инструмент (AMI) који се састоји од радара синтетичке апертуре и скетерометра који ради на фреквенцији 5.6 GHz и у VV поларизацији, што ће рећи да су и емитовани и примљени таласи вертикално поларизовани. Три антене скетерометра стварају радарске снопове који се простиру бочно у односу на путању сателита под угловима од  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $135^\circ$ , при чему упадни угао има опсег од  $18^\circ$  до  $59^\circ$ . Зраци са три антене непрекидно праве "откос" ширине 500 километара, тако да свака антена има засебне тзв. ћелије из којих прикупља повратно зрачење. ERS-1 је регуларно скупљао податке у периоду од августа 1991. до маја 1996. године док је ERS-2 почео са радом у марту 1996. и све до јануара 2001. године је радио у континуитету а након тога су се јавили одређени кварови и прекиди у раду да би наставио са радом све до 2011. године.

Напредни скетерометар (ASCAT) који се налази на сателиту *Metop* се служи истом технологијом као и његови претходници, скетерометри на сателитима ERS-1 и ERS-2, с тим да има два сета од по три антене, по један за обе стране фиктивног трага који сателит оставља на Земљи при орбитирању (слика 5). Опсег упадног угла је проширен на интервал од  $25^\circ$  –  $65^\circ$ . ASCAT прекрива два откоса ширине 550 km који су раздвојени 670 km. Технички напредак у односу на претходнике се огледа у бољој конструкцији инструмента и радиометријским карактеристикама што за последицу има већу стабилност и поузданост при снимању радарског попречног пресека  $\sigma^0$ .



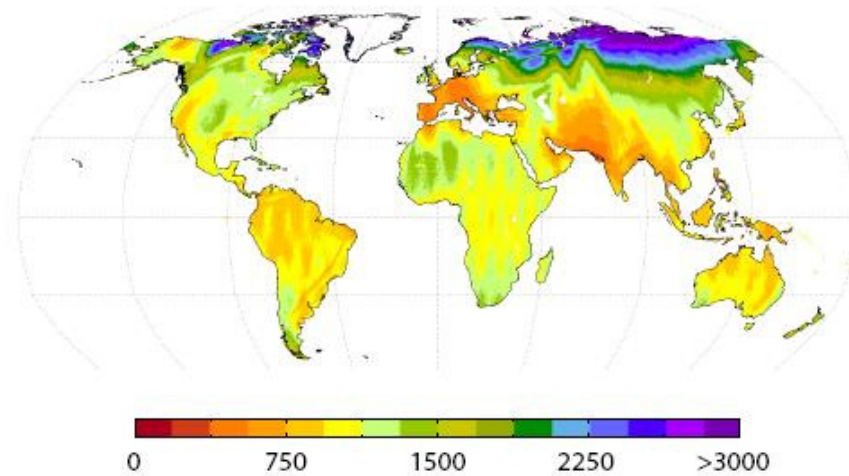
Слика 5. Сателит Метоп који носи ASCAT

### 3.2. Издвајање података о влази земљишта

Да бисмо са ASCAT-а издвојили податке о влази земљишта потребно је да мерења повратног зрачења екстраполишемо на референтни упадни угао од  $40^\circ$  и коригујемо у односу на сезонске промене вегетације. Потом се упоређују са познатим минималним и максималним вредностима повратног зрачења ( $\sigma_{dry}^0$  и  $\sigma_{wet}^0$  респективно) такође дефинисаним на  $40^\circ$ . Као резултат тога добијају се временски низови влаге у површинском слоју земљишта, дубине до 5 cm, у релативним јединицама од 0 (суво) до 100 (засићено).

Сви глобални параметри који се користе при обради повратног зрачења се налазе у одређеној бази података. Ови параметри се ажурирају на сваких 3-5 година на основу нових података са сателита, а тренутно се базирају на мерењима спроведеним у периоду од августа 1991. до маја 2007. године (слика 6).

Подаци који се на скетерометру добијају у орбиталној геометрији смештају се на дискретну глобалну мрежу, облика елипсоида. Вредности повратног зрачења, упадног угла и азимута при једном проласку сателита и са једне антене се прераспоређују у дискретну глобалну мрежу Хаминговом (Hamming) тежинском функцијом, и формирају се временски низови података за сваку тачку.

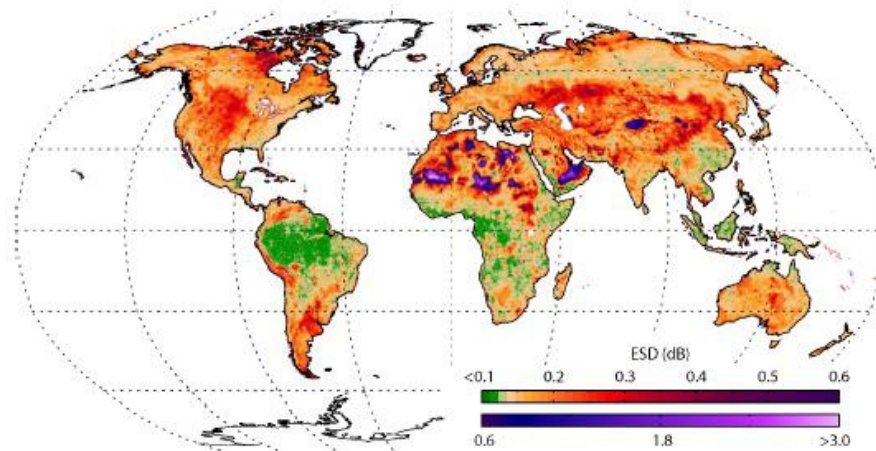


Слика 6. Укупан број мерења у периоду од августа 1991. до маја 2007. године

Пошто за поједине области повратно зрачење знатно варира у зависности од азимута потребно је извршити нормализацију  $\sigma^0$ , односно одредити корекцију за сваки могући азимут антене. За те сврхе се користи полином другог реда који за сваку комбинацију азимута и одговарајућег  $\theta$  рачуна варијације  $\sigma^0$ . Разлика између овог полинома и полинома изведеног на основу целог сета података представља поправку.

Процењена стандардна девијација (ESD) од  $\sigma^0$  која се јавља услед инструменталне грешке и азимуталних утицаја се рачуна на основу разлике вредности  $\sigma^0$  добијених са предње и задње антене скетерометра

$$ESD(\sigma^0) = \frac{StDev(\sigma_{fore}^0 - \sigma_{aft}^0)}{\sqrt{2}} \quad (11)$$



Слика 7. Процењена стандардна девијација, на глобалном нивоу

Интензитет повратног зрачења знатно зависи од упадног угла  $\theta$ , а за сваку тачку мреже мерења  $\sigma^0$  се врше под различитим угловима, тако да је потребно вршити нормализацију на неки референтни упадни угао. Сходно томе се сва мерења екстраполишу на референтни угао од  $40^\circ$  (овај угао је изабран зато што је за њега најмања грешка при екстраполацији) помоћу полинома другог реда

$$\sigma^0(40,t) = \sigma^0(\theta,t) - \sigma'(\theta,t)(\theta - 40) - \frac{1}{2}\sigma''(\theta,t)(\theta - 40)^2 \quad (12)$$

при чему су  $\sigma'$  и  $\sigma''$  први и други извод од  $\sigma^0$  у односу на  $\theta$ . Када имамо велики број података подједнако распоређених по целом интервалу упадних углова тада се  $\sigma'(40)$  и  $\sigma''(40)$  могу повезати линеарном релацијом

$$\sigma'(\theta) = \sigma'(40) + \sigma''(40)(\theta - 40) \quad . \quad (13)$$

Тачан облик релације (12) зависи од карактеристика површине земљишта, вегетације и храпавости подлоге. Мала храпавост подлоге и слабија вегетација узрокују оштар пад функције  $\sigma^0$  а самим тим и мале, негативне вредности  $\sigma'(40)$ . Бујнија вегетација и већа храпавост подлоге дају веће вредности  $\sigma'(40)$ . Сваки нагиб и закривљеност у годишњем циклусу представљају периоде пораста односно смањења вегетације. Вредности за  $\sigma'(40)$  и  $\sigma''(40)$  за сваки дан у години се рачунају као аритметичка средина вишегодишњег низа, а на основу фамилије кривих са годишњим вредностима добија се релативна дисперзија.

Главни механизми који доприносе величини  $\sigma^0(40)$  су ефекти запреминског расејања на биљном склопу и расејања на површинском слоју земљишта. Који ће од ова два типа расејања бити заступљен зависи од присуства вегетације. Са порастом вегетације расте и оптичка дебљина и тада је доминантан ефекат запреминског расејања. За мале вредности упадног угла вегетација делимично слаби зрачење рефлектовано од површинског слоја испод. Уопште гледано, повратно зрачење са голог земљишта је знатно јачег интензитета од оног са земљишта обраслог вегетацијом. Користи се претпоставка да постоји одређени упадни угао (угао "укрштања") за који је утицај вегетације минималан, и који се разликује за суве и влажне услове,  $\theta_{dry}$  и  $\theta_{wet}$ , при чему је  $\theta_{dry} < \theta_{wet}$ .

Величина  $\sigma^0(40,t)$  се одређује релативном методом, упоређујући повратно зрачење са оним које одговара најмањој и највећој вредности величине  $\sigma^0(40)$  икад измереној за дату тачку мреже, које одговарају најсувљој и највлажнијој ситуацији. Пре него што се усвоје највећа и најмања вредност потребно је одстранити све нерегуларне вредности из

низа, које се могу јавити услед грешке инструмента или у ситуацијама када алгоритам за израчунавање није био одговарајући. Ово треба урадити пажљиво да се не би одбацила исправна мерења. Када мерене вредности  $\sigma^0(40)$  распоредимо од најмање до највеће у низ и поделимо га на четвртине (квартиле) размак између првог и трећег квантила се назива интерквartilна удаљеност и користи се као критеријум при филтрирању. У првом кораку се одбацују оне вредности које су веће од три интерквartilне удаљености од средње. Након што се издвоје екстремно велике и мале вредности у дистрибуцији  $\sigma^0(40)$ , у другом кораку се елиминишу све вредности које су преко 1.5 интерквartilне удаљености од средње, за оба низа осматраних екстремних вредности. Коефицијенти за суве и влажне услове се процењују за дати угао укрштања на основу просека низа измерених екстремно малих  $\sigma^0(\theta_{dry})$  и великих  $\sigma^0(\theta_{wet})$  вредности. Њихове дистрибуције су одвојене у односу на експлицитни интервал несигурности, дефинисан као 95-проценти двострани интервал поверења за дата мерења. Интервал поверења зависи од грешке мерења

$$\text{ИнтервалПоверења} = \pm 1.96 \times (\text{ГрешкаОд}\sigma^0(\theta)) \quad (14)$$

при чему фактор 1.96 представља 97.5 % стандардне дистрибуције, и често се заокружује на вредност 2. Средње вредности екстремних осматрања мерених под углом "укрштања", се рачунају као аритметичка средина

$$C_{dry}^0 = \frac{1}{N_{lower}} \sum_{i=1}^{N_{lower}} \sigma_i^0(\theta_{dry}) \quad (15)$$

$$C_{wet}^0 = \frac{1}{N_{upper}} \sum_{i=1}^{N_{upper}} \sigma_i^0(\theta_{wet}) \quad (16)$$

при чему су  $N_{lower}$  и  $N_{upper}$  укупан број екстремно ниских односно високих вредности у  $\sigma^0(\theta_{dry})$  и  $\sigma^0(\theta_{wet})$  дистрибуцијама, респективно. Познавајући ове параметре коначно можемо да установимо референтне вредности за најсувљи и највлажнији случај

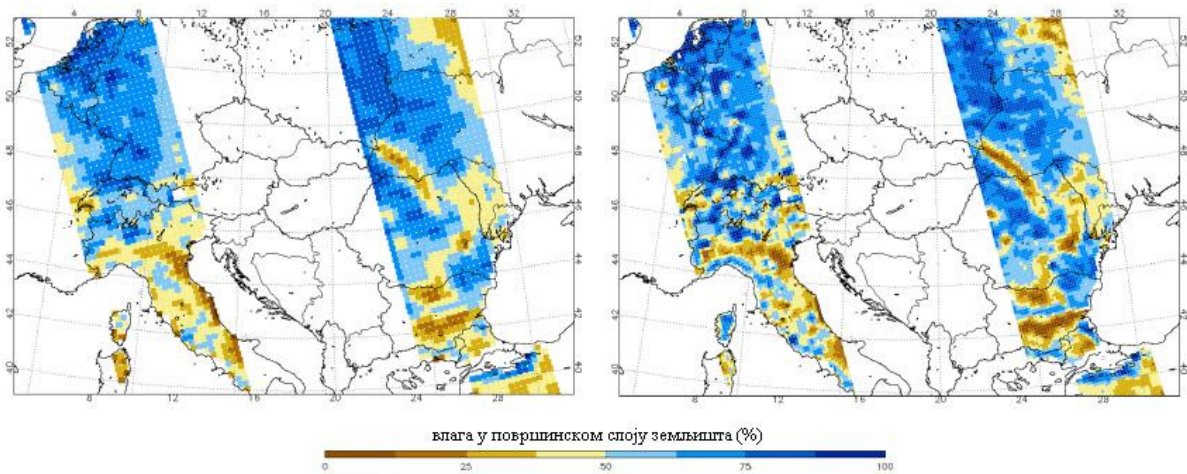
$$\sigma_{dry}^0(40, t) = C_{dry}^0 - \sigma'(40, t)(\theta_{dry} - 40) - \frac{1}{2} \sigma''(40, t)(\theta_{dry} - 40)^2 \quad (17)$$

$$\sigma_{wet}^0(40, t) = C_{wet}^0 - \sigma'(40, t)(\theta_{wet} - 40) - \frac{1}{2} \sigma''(40, t)(\theta_{wet} - 40)^2 \quad (18)$$

Када смо установили референтне вредности минималне и максималне јачине повратног сигнала за сваку тачку мреже, тада можемо релативном методом да прерачунавамо садржај воде у површинском слоју земљишта. Претпоставља се да постоји линеарна веза између ове величине и  $\sigma^0(40,t)$  изражене у децибелима. Тако да ће бити

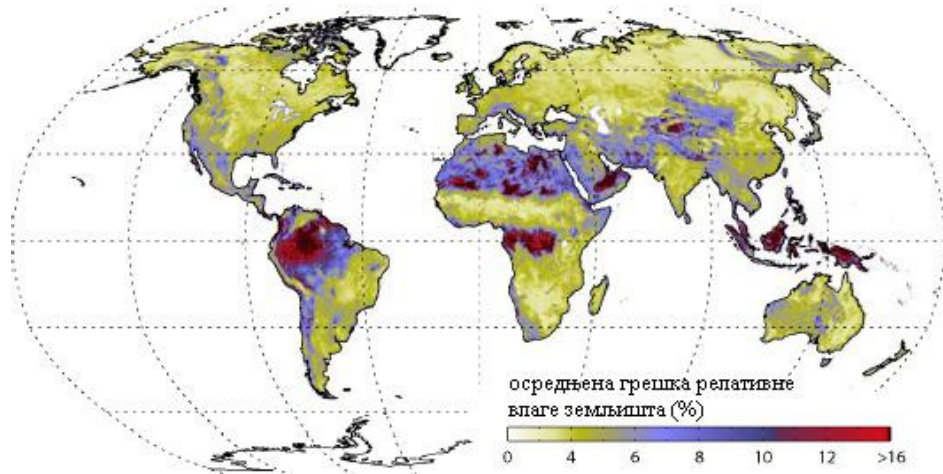
$$\Theta_s(t) = \frac{\sigma^0(40,t) - \sigma_{dry}^0(40,t)}{\sigma_{wet}^0(40,t) - \sigma_{dry}^0(40,t)} \quad (19)$$

где  $\Theta_s(t)$  представља релативну меру садржаја воде у површинском слоју земљишта и узима вредности од 0 до 100, односно изражава се процентуално (слика 8).



Слика 8 . Величина  $\Theta_s(t)$  приказана при резолуцији на 50 km (лево) и 25 km (десно)

Претпостављајући да  $\sigma_{dry}^0(40,t)$  представља потпуно сув а  $\sigma_{wet}^0(40,t)$  zasiћен површински слој земљишта, следи да је  $\Theta_s(t)$  заправо степен zasiћености. На основу дугогодишњег низа података рачунају се средње вредности  $\Theta_s(t)$  за сваки дан у години, за сваку тачку мреже. Процењује се и одговарајућа грешка. Годишње осредњене вредности за грешке су приказане на слици 9.



Слика 9. Осредњена вредност грешке за релативну влагу земљишта, на годишњем нивоу

Да резимирам, процес прерачунавања влаге у земљишту на основу ASCAT-ових осматрања се базира на следећим претпоставкама:

- за дату резолуцију скетерометра, храпавост подлоге и земљишни прекривач се не мењају са временом,
- утицај фенолошке фазе вегетације на  $\sigma^0$  је исти сваке године,
- постоје одређени упадни углови  $\theta_{dry}$  и  $\theta_{wet}$ , за које повратно зрачење  $\sigma^0$  има приближно сталну вредност без обзира на сезонске промене вегетационог покривача изнад земљишта, за суве и влажне услове, респективно, за сваку тачку мреже,
- веза између влаге у земљишту и  $\sigma^0$ , који је изражен у децибелима, је линеарна,
- влага у површинском слоју земљишта је веома осетљива на падавине али конкретна веза тек треба да се испита убудуће,
- када је из неких разлога резултат мерења такав да се за релативну влагу у земљишту добије вредност мања од -20 % или већа од 120% мерење се прогласи неважећим,
- уколико се добије вредност у интервалу од -20% до 0 тада јој се додељује 0 а уколико је вредност у интервалу од 100% до 120% њој се додељује вредност 100%.



### 3.3. Корекције при мерењу

Влага у земљишту се не може веродостојно измерити уколико се на трагу скетерометра налази густа вегетација, водена површина, снежни прекривач или смрзнуто земљиште, тако да је у случају појаве било какве нерегуларности потребно вршити корекције. Повратни сигнал је веома осетљив на карактеристике снега. Како ће се зрачење расејавати на снегу зависи од диелектричних особина ледених кристала, њиховог распореда и густине. Када је присутан снежни покривач густине веће од  $0.05 \text{ kg/m}^3$  осматрања су онемогућена. Сходно томе је одрађена анализа на основу вишегодишњих података о присуству снега и израчуната је вероватноћа појаве снега за сваки дан у години, на глобалном нивоу, помоћу које се врши корекција.

Смрзнуто земљиште умањује јачину повратног сигнала (док га нпр. замрзнута површина језера повећава) и уколико је температура тла мања од  $275.15 \text{ K}$  мерење је онемогућено. Да би се избегао било какав негативни утицај на мерења услед смрзнутости подлоге користи се анализа Европског центра у којој су обрађени климатолошки подаци и израчуната је вероватноћа појаве измрзнутог тла за сваки дан у години, која се користи у контролне сврхе.

Микроталасно зрачење може да продре свега  $2 \text{ mm}$  у воду тако да  $\sigma^0$  за воду зависи од храпавости подлоге на којој се вода накупила. Када је површина воде мирна јавља се огледалска рефлексија и за све углове који су већи од надира вредности  $\sigma^0$  су мале. Ветар узрокује појаву таласа на води који повећавају удео зрачења који се расејава уназад, и то тако да мањи таласи више утичу на расејавање него велики. Повратни сигнал је највећи када је радар усмерен у правцу низ или уз ветар а најмањи је када је радар усмерен нормално на правац ветра. Вода задржана на површини земљишта не би требало да омета прикупљање података о садржају влаге у земљишту уколико је плавно подручје свега  $15\%$  или мање од укупне области која представља једну тачку мреже. Имајући ово у виду користе се подаци о распореду плавних и мочварних подручја на глобалном нивоу, како би се адекватна корекција могла извршити.

Планинске области знатно утичу на карактер повратног зрачења услед храпавог терена неправилног облика и различитог нагиба, задржаног снега и леда, шуме и каменитих подручја. Услед веома разнолике топографије за сваку тачку мреже потребно је имати податке о рељефу који се користе из архиве GTOPO30, да би се познавале вредности надморске висине и нагиба.

## 4. Експериментални део

Основна идеја дипломског рада је била да припремим сателитска мерења влаге у површинском слоју земљишта у форму података који би могли да се користе у нумеричким моделима а затим да покренем WRF NMM модел за нумеричку прогнозу времена са два сета почетних података и упоредим две добијене прогнозе са стварним осматрањима за одређени датум. Бочни гранични услови су били исти у оба случаја и представљају прогнозу глобалног модела IFS (Integrated Forecast System) ECMWF-а. Прогностички период је 24 часа. Један сет почетних услова је анализа Европског центра у 12 часова одређеног дана док сам у другом случају у истој анализи поље влаге у површинском слоју земљишта до 10 cm заменио подацима из сателитских мерења добијених ASCAT методом.

### 4.1. Издвајање података за одређени датум

Подаци о релативној влази у површинском слоју земљишта дебљине 5 cm су добијени од Технолошког Универзитета у Бечу. Мерења су вршена у периоду од 01. јануара 2007. године до 20. априла 2010, два пута дневно, у јутарњим и у вечерњим часовима. Време трајања једног мерења је отприлике 2 до 3 сата. Направљени су временски низови вредности за сваку тачку мреже одговарајуће географске ширине и дужине и записани у ASCII коду. Свака тачка има своју ознаку (шифру) у виду одређеног седмоцифреног броја. Други фајл садржи листу у којој се налазе шифре тачака и њихове географске координате.

Прва ствар коју је требало да урадим јесте да издвојим податке за одређени термин мерења помоћу команде `grep` а потом да повежем вредности мерења у свакој тачки са њеним географским координатама. За то је направљен скрипт који креира листу у којој се налази географска ширина, географска дужина, термин мерења и вредност релативне влаге у површинском слоју земљишта за све тачке. Овако припремљена листа може да се користи у програму за интерполацију у регуларну мрежу тачака.

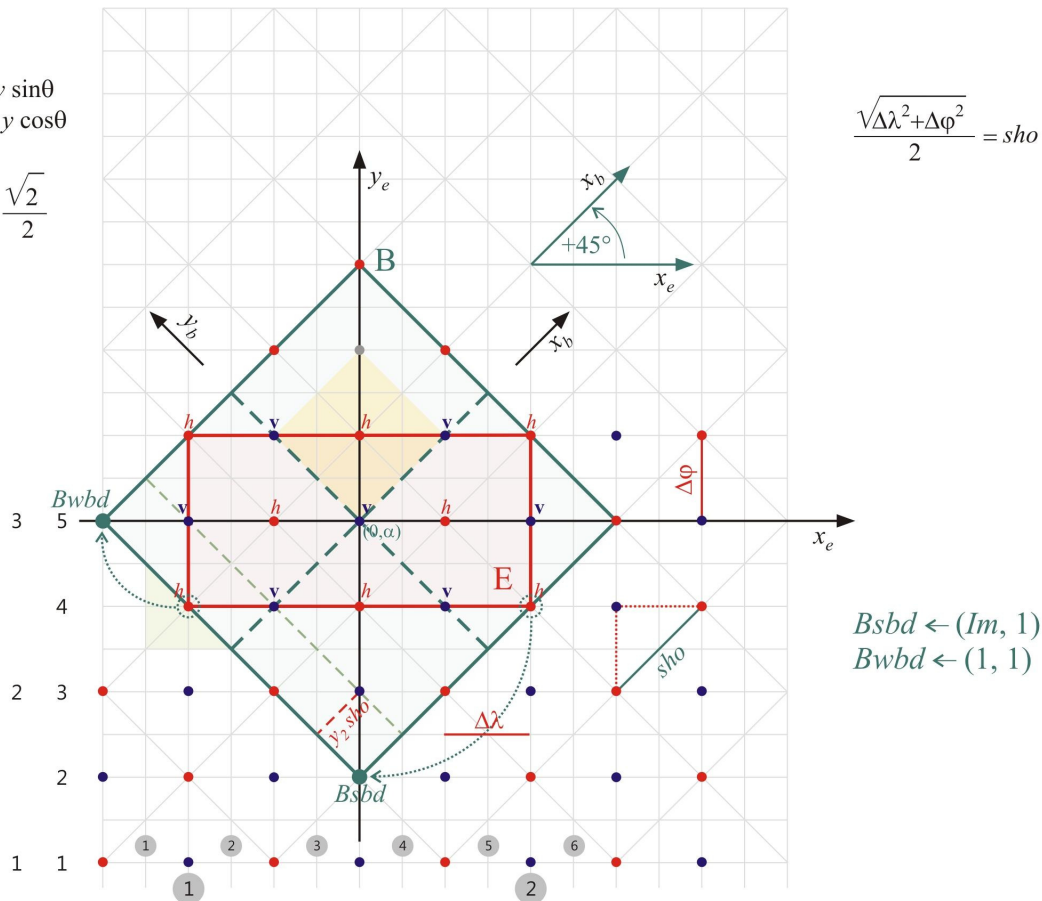
## 4.2. Интерполација података у регуларну мрежу тачака

Програмски код који врши интерполацију података у регуларну мрежу тачака је заправо мод програма који је развијен на Институту за метеорологију у Београду и адекватно је прилагођен овом случају. Да би се вршила интерполација у регуларну мрежу тачака потребно је имати јужну и западну границу области коју посматрамо, због тога је погодно користити  $B$  мрежу која је у односу на  $E$  заротирана за  $45^\circ$ . Свакој тачки  $B$  мреже одговара једна тачка  $E$  мреже и постоји трансформација која их једнозначно повезује (слика 10) те стога када смо извршили интерполацију у  $B$  мрежу лако добијамо вредности у  $E$  мрежи. Број тачака у  $E$  мрежи је  $259 \times 499$ , а корак у  $x$  и  $y$  правцима је једнак и износи  $0.154$  лучна степена што би значило отприлике  $22 \text{ km}$  у простору.

$$\begin{aligned} x' &= x \cos\theta + y \sin\theta \\ y' &= -x \sin\theta + y \cos\theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta &= 45^\circ \\ \sin\theta &= \cos\theta = \frac{\sqrt{2}}{2} \end{aligned}$$

$$\frac{\sqrt{\Delta\lambda^2 + \Delta\varphi^2}}{2} = sho$$



Слика 10. Веза између тачака у  $B$  и  $E$  мрежи

Након што сам мерене вредности сместио у регуларну  $E$  мрежу, из NMM модела сам извукао податке о преовлађујућем типу земљишта за сваку тачку мреже, те на основу минималног  $\Theta_{dry}$  и максималног  $\Theta_{wet}$  садржаја воде за сваки тип земљишта (табела 1) и помоћу формуле

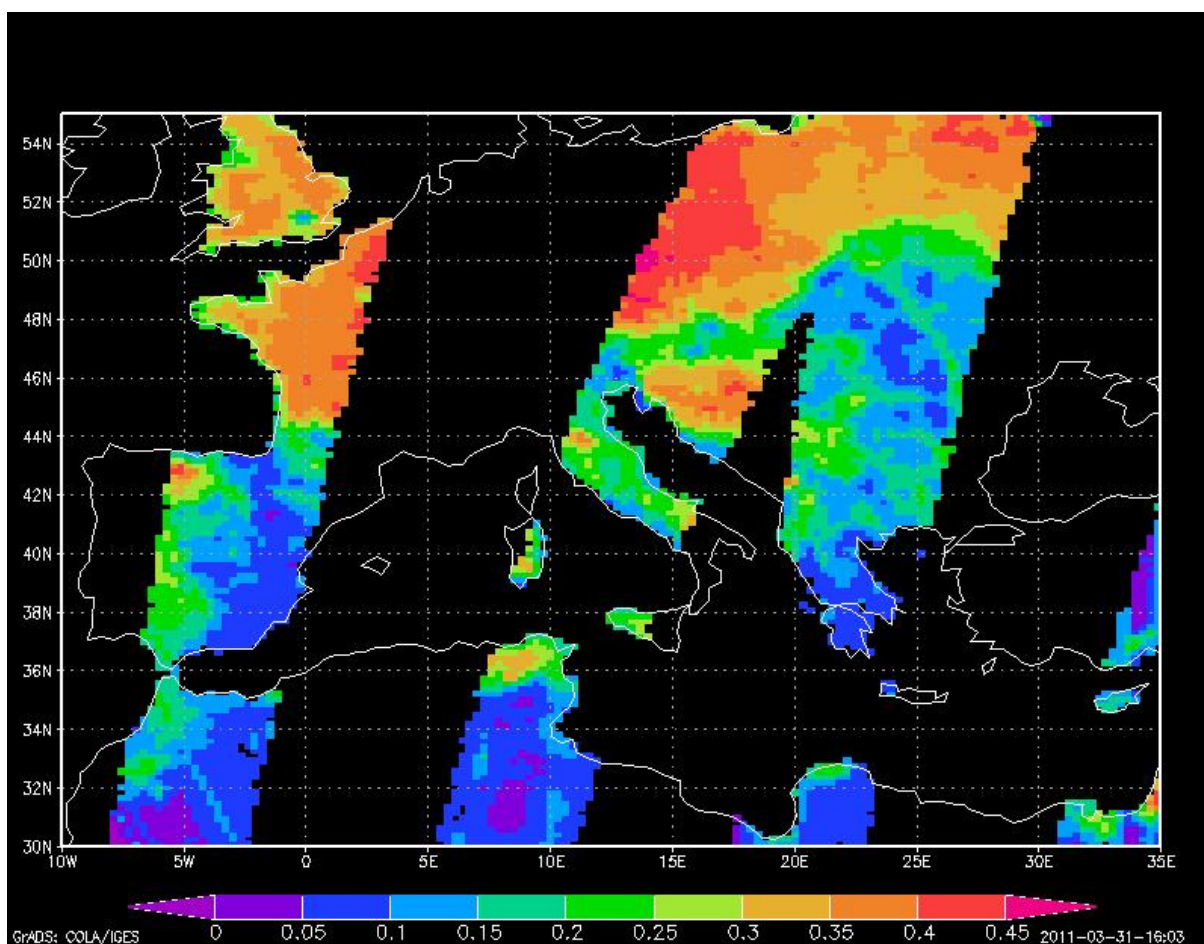
$$\Theta = \Theta_{dry} + \frac{\Theta_s(t)}{100} \cdot (\Theta_{wet} - \Theta_{dry}) \quad (20)$$

израчунао величину  $\Theta$  ( $m^3 m^{-3}$ ) која највише одговара запреминском садржају воде у земљишту, и стандардно се користи у нумеричким моделима за прогнозу времена [4].

Тип гла	Класа	$\Theta_{dry}(m^3 m^{-3})$	$\Theta_{wet}(m^3 m^{-3})$
Песак	1	0.010	0.339
Песак иловаче	2	0.028	0.421
Песковита иловача	3	0.047	0.434
Муљ иловаче	4	0.084	0.476
Муљ	5	0.084	0.476
Иловача	6	0.066	0.439
Песковита глина иловаче	7	0.067	0.404
Муљевита глина иловаче	8	0.120	0.464
Глинала иловача	9	0.103	0.465
Песковита глина	10	0.100	0.406
Муљевита глина	11	0.126	0.468
Глина	12	0.138	0.468
Органски материјали	13	0.066	0.439
Вода	14	/	/
Стене	15	0.006	0.20
Копнени лед	16	0.028	0.421

Табела 1. Минималне и максималне вредности воде за одређене типове гла [5]

Након што сам интерполисао поље влаге у површинском слоју земљишта  $\Theta$  у  $E$  мрежу, направио сам бинарни фајл који сам после користио за кодирање у GRIB формат, а примењујући потпрограм ETOAH радио сам интерполацију у  $A$  мрежу на којој је заснован графички пакет GRADS. Користећи се њиме можемо графички да прикажемо поље влаге у површинском слоју земљишта за дати термин добијено сателитским мерењем помоћу скетерометра (слика 11). Одмах се уочавају ASCAT-ове "траке" са подацима и изводи се закључак да се током једног термина мерења скенира између трећине и половине стандардне области, што би био главни недостатак ове технике прикупљања података.



Слика 11. Поље влаге у површинском слоју земљишта ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) у јутарњим часовима дана 01. јануара 2007. године, добијено сателитским мерењем помоћу ASCAT-а

### 4.3. GRIB-овање података

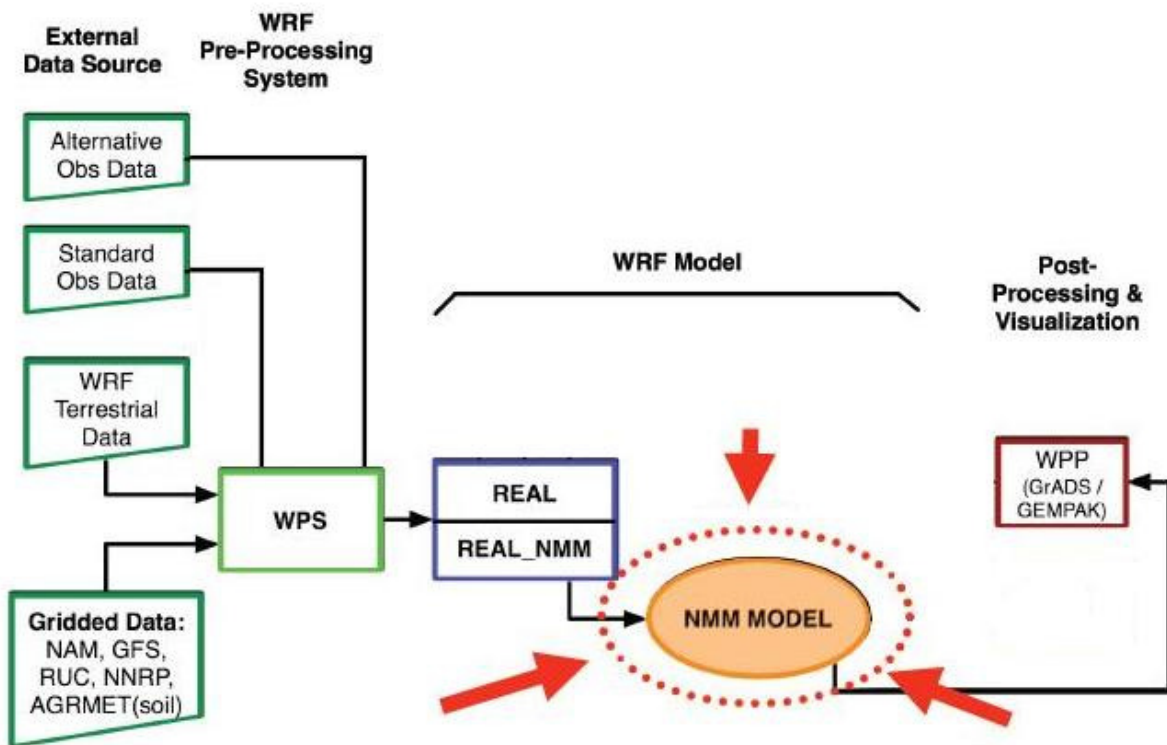
GRIB (GRided In Binary) формат се најчешће користи у метеорологији приликом размене података о метеоролошким пољима због своје економичности, па и WRF NMM модел користи метеоролошка поља кодирана у овом формату. Тако се приликом прављења нумеричке прогнозе времена у PXM3 као почетни и бочни гранични услови користе подаци из Европског центра кодирани у GRIB формату. Након што сам осмотрено поље влаге у површинском слоју земљишта записао у бинарни фајл кодирао сам га у GRIB формат. Из GRIB-а Европског центра који садржи анализу у 12 часова извукао сам само поље влаге у првом слоју земљишта и потом га спојио са GRIB-ом осматрања и то тако да тачкама у којима постоје ASCAT мерења додељујем те вредности а у осталим тачкама су вредности из Европског центра. Овако обједињен GRIB фајл се користи приликом иницијализације модела као поље влаге у површинском слоју земљишта.

### 4.4. Коришћење WRF NMM модела

Структура NMM модела је схематски приказана на слици 12. Први корак у целокупном поступку је "препроцесинг" односно припрема улазних података. У овој фази се статички подаци, подаци из стандардних осматрања и подаци из неких других извора, што су у овом случају сателитска мерења извршена помоћу ASCAT-а, који обједињени представљају почетне услове, претварају у NetCDF (Network Common Data Form) формат заједно за бочним граничним условима. Бирамо величину области, број тачака, корак у простору и времену, датум почетка и датум завршетка рада модела.

Идућа фаза је покретање модела, и тада се израчунавају вредности поља метеоролошких елемената у сваком временском кораку. Претходно се изабере временски интервал у којем ће се записивати резултати модела (нпр. на сваки сат или на свака 3 сата).

Последња фаза је "постпроцесинг" у којем се излазни резултати обрађују и спремају у облик погодан за размену података или њихово графичко приказивање нпр. у GRADS-у или неком другом графичком пакету.

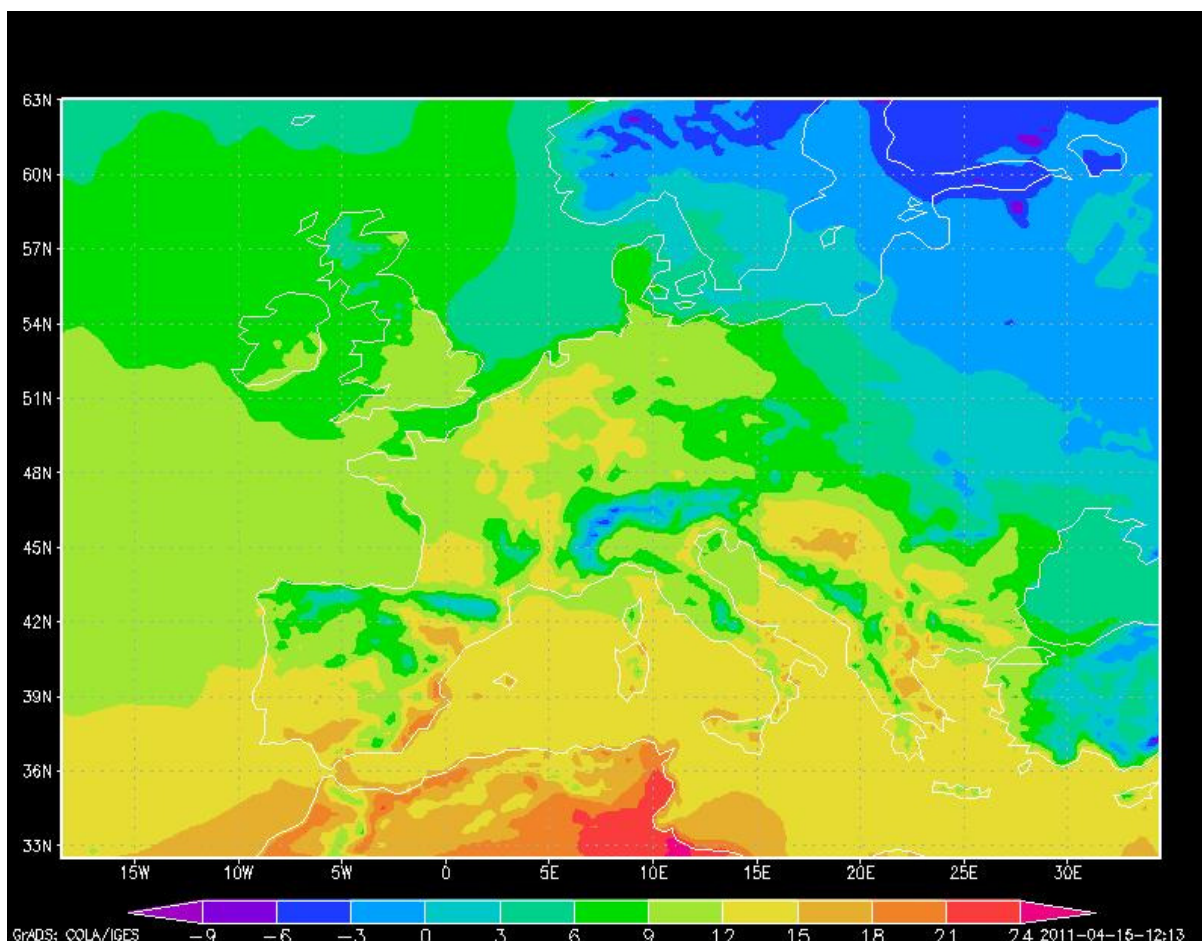


Слика 12. Структура процеса рада WRF NMM модела

Модел је покренут за датум 01.март 2009. године у 12 часова са две различите иницијализације и рађена је прогноза за наредна 24 часа. Почетни услови су се разликовали само у пољу влаге у површинском слоју земљишта и то само у оним тачкама за које су постојала ASCAT мерења. Други термин за који је пуштен модел је 30. јун 2009.

## 5. Анализа резултата

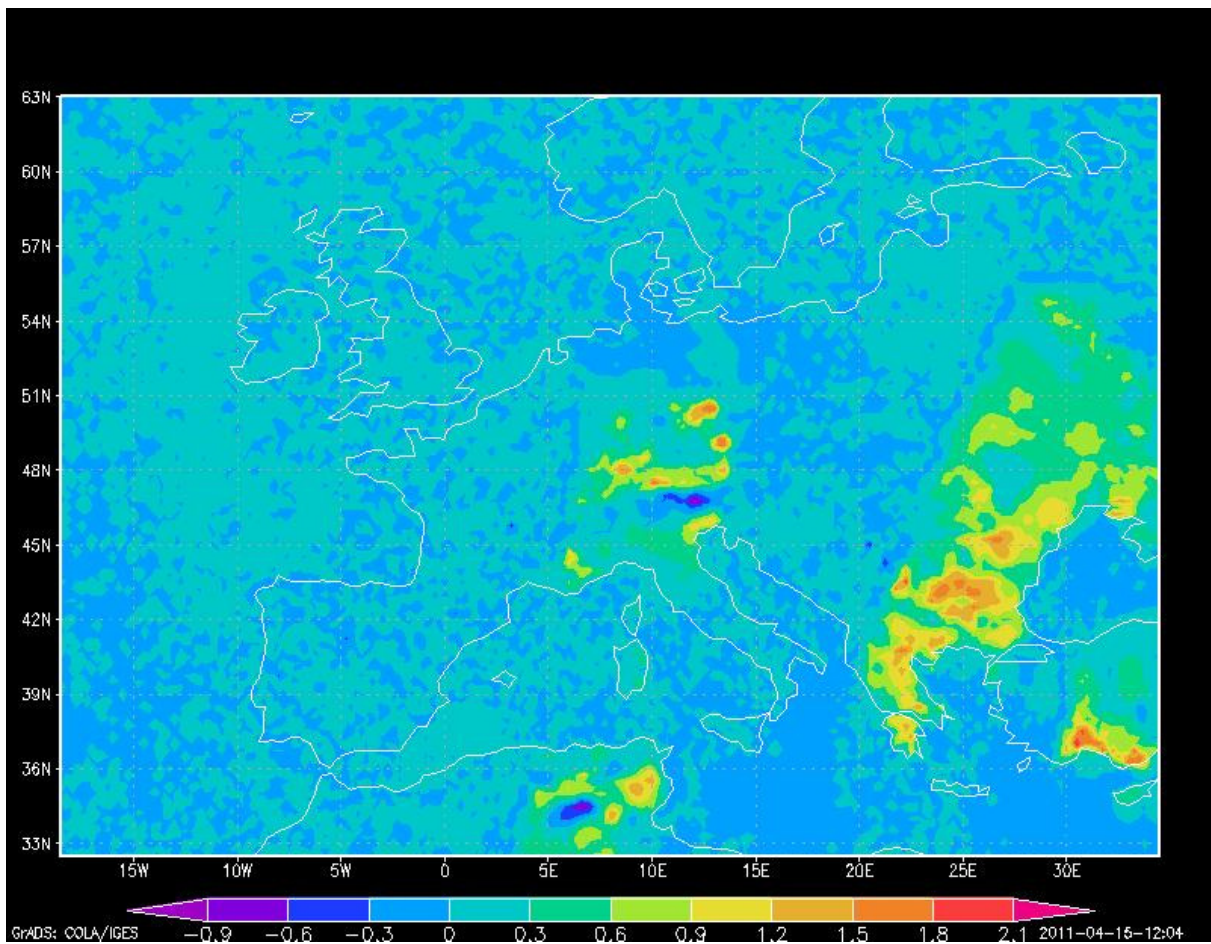
Иницијализација модела подацима који су садржавали ASCAT осматрања се показала могућом и добијена је прогноза свих метеоролошких поља. На слици 13 је као илустративан пример приказано поље температуре ваздуха на 2 m висине, прогнозирано за трећи сат, с тим да је старт модела био у 12 часова за 01.март 2009. године.



Слика 13. Прогнозирано поље температуре ваздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) у трећем сату као продукт иницијализације која садржи ASCAT осматрања

Да би се лакше уочио утицај података из ASCAT осматрања на прогнозу метеоролошких елемената можемо исцртати разлику поља нпр. температуре ваздуха за одређени сат прогнозе, при чему је прво поље резултат иницијализације која садржи ASCAT податке а друго поље се добије иницијализацијом модела само подацима Европског центра (слика 14).

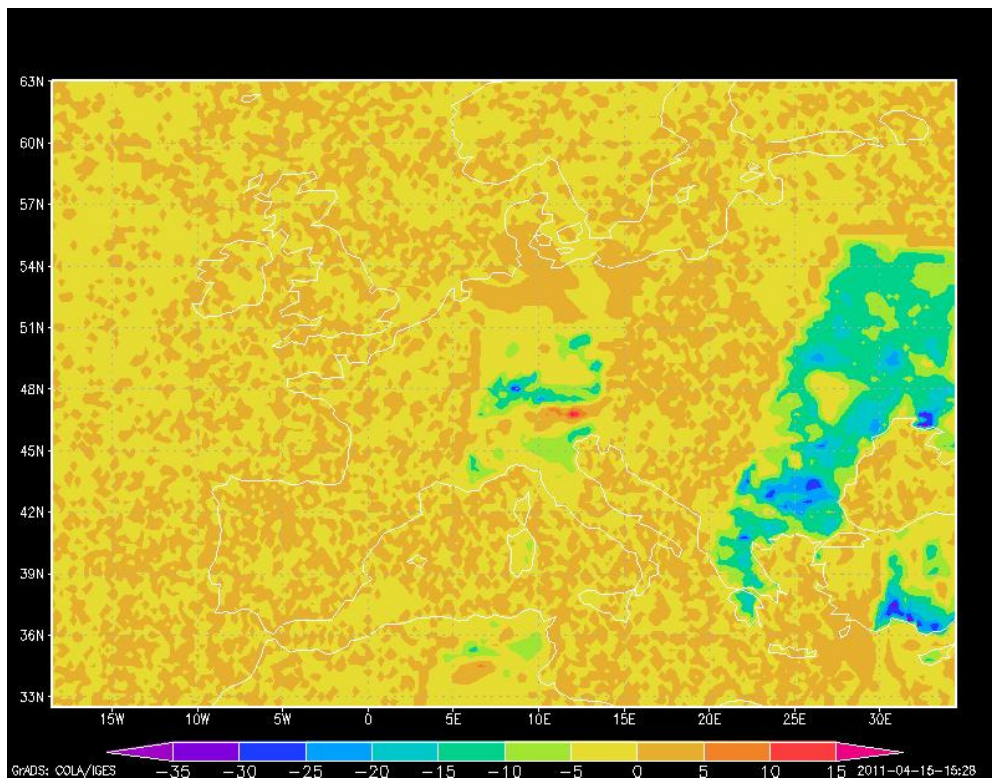




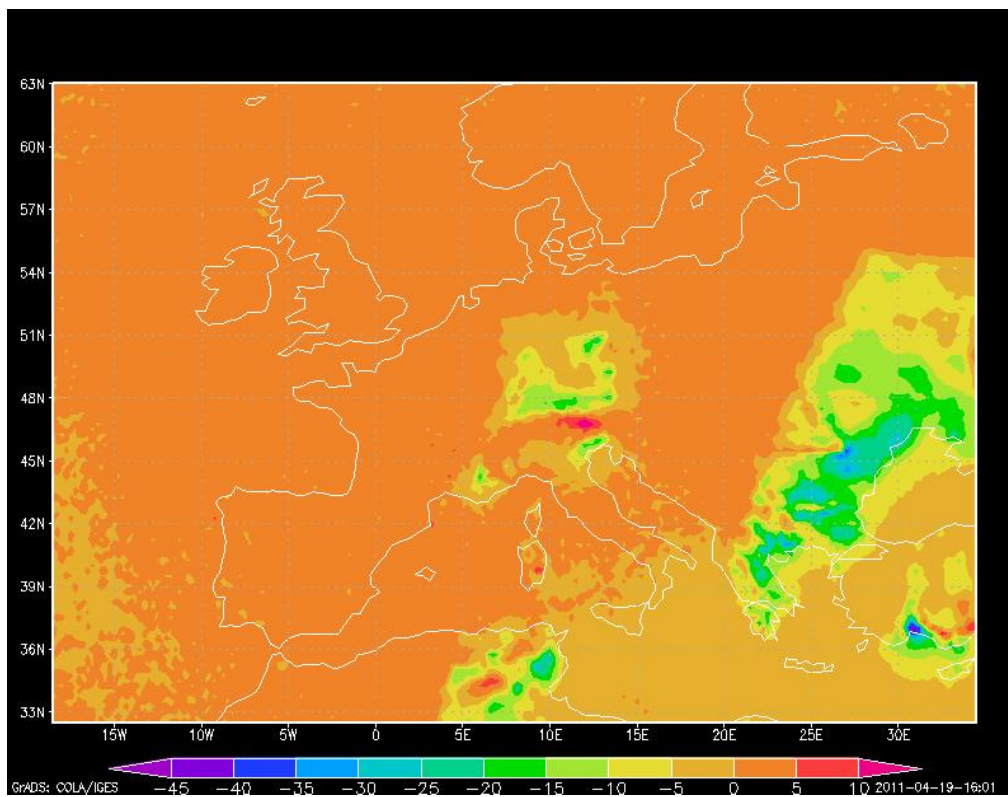
Слика 14. Разлика прогнозираних поља температуре ваздуха (°C) у трећем сату

Посматрајући слику 14 примећује се да разлика у пољима температуре постоји на оним местима где су приликом иницијализације постојале вредности из ASCAT осматрања и јасно се оцртавају "траке" карактеристичне за ASCAT-ов метод снимања површине земљишта. Изводи се закључак да поље влаге у површинском слоју земљишта има утицај на друге метеоролошке величине и њихова поља. Тај утицај се примећује и у пољу релативне влажности ваздуха на 2 m висине па чак и у пољу приземног притиска (слике 15 и 16) а присутан је и касније у току времена.

На местима где је разлика поља температуре ваздуха позитивна разлика поља релативне влажности ваздуха као и поља приземног притиска је негативна, што је у складу за физичким законима. Када је већа температура, ваздух треба да садржи више водене паре да би био засићен па је релативна влажност мања, а такође топлији ваздух је лакши па се диже увис и остаје мањи приземни притисак .



Слика 15. Разлике у пољима релативне влажности ваздуха на 2 m (%) у трећем сату прогнозе



Слика 16. Разлике у пољима површинског притиска (mbar) у трећем сату прогнозе

Кратку верификацију прогнозе температуре ваздуха сам радио поредећи излазне резултате за наредних неколико часова у односу на старт модела, са осмотреним вредностима, које се могу наћи у архиви SYNOP извештаја на интернет страници [www.ogimet.com](http://www.ogimet.com) [6]. Изабрао сам четири локалитета за која су разлике температуре ваздуха биле највише уочљиве. Вредности су приказане у табели 2. ASCAT се односи на резултате добијене при иницијализацији модела уз коришћење сателитских осматрања влаге у површинском слоју земљишта. ECMWF се односи на вредности добијене коришћењем само података Европског центра.

		Старт модела у 12 00 h 01.03.2009.																				
		15 00		разлика		18 00		разлика		00 00		разлика		06 00		разлика		12 00		разлика		
		(након 3 h)		(након 6 h)		(након 12 h)		(након 18 h)		(након 18 h)		(након 24 h)		(након 24 h)								
лат/лон станице		Температура (°C)																				
48 22	48.37	13.4		11.3		9.6		8.5		8.7												осматрања
07 50	7.83	12.55	0.85	9.07	2.23	6.98	2.62	6.43	2.07	11.7	-3											ascat
		11.67	1.73	8.55	2.75	6.64	2.96	6.29	2.21	11.83	-3.13											ecmwf
Немачка			-0.88		-0.52		-0.34		-0.14		-0.13											
43 05	43.08	10.1		5		2.2		2		6.6												осматрања
25 39	25.65	10.73	-0.63	8.35	-3.35	6.07	-3.87	5.19	-3.19	10.84	-4.24											ascat
		9.2	0.9	7.87	-2.87	5.4	-3.2	4.3	-2.3	12.26	-5.66											ecmwf
Бугарска			-0.27		0.48		0.67		0.89		-1.42											
35 33	35.55	15.4		11		7.2		6.4		14.7												осматрања
8 41	8.68	16.18	-0.78	11.33	-0.33	7.15	0.05	4.96	1.44	15.72	-1.02											ascat
		15.23	0.17	11.48	-0.48	7.28	-0.08	4.95	1.45	16.33	-1.63											ecmwf
Тунис			0.61		-0.15		-0.03		-0.01		-0.61											
37 45	37.75	4.2		0.4		-3		-1.4		6.5												осматрања
30 33	30.55	3.8	0.4	-1.34	1.74	-3.86	0.86	1.7	-3.1	8.86	-2.36											ascat
		2.65	1.55	-0.14	0.54	-0.88	-2.12	1.75	-3.15	10.7	-4.2											ecmwf
Турска			-1.15		1.2		-1.26		-0.05		-1.84											

Табела 2. Поређење вредности температуре ваздуха добијених уз две различите иницијализације модела са осмотреним подацима

Као што се може уочити WRF NMM модел прогнозира вредности температуре ваздуха приближне измереним али у појединим случајевима ипак постоје знатна одступања. Вредности добијене при иницијализацији ASCAT подацима су у више ситуација имале мање одступање од измерених него вредности добијене при иницијализацији подацима Европског центра, али ипак у већини случајева вредности су се разликовале од осматрања више од 0.1 °C, што је најчешће инструментална грешка термометара који мере температуру ваздуха на 2 m висине.

## 6. Закључак

Овај дипломски рад представља новину у асимилацији података у смислу да се на овим просторима још нико није бавио обрадом сателитских осматрања и њиховом употребом при иницијализацији нумеричког модела за прогнозу времена. Процес асимилирања сам започео издвајањем података за један термин мерења с обзиром да су подаци смештени у временске низове за сваку тачку неправилне мреже, са одређеном географском ширином и дужином. Потом сам вршио интерполацију у регуларну мрежу тачака и то најпре у *B*, потом у *E* мрежу, с обзиром да њу користи WRF NMM модел а на крају сам извршио интерполацију у *A* мрежу да би се поље влаге у површинском слоју земљишта могло исцртати употребом графичког пакета GrADS чиме се добије јасан увид у његову просторну дистрибуцију. Податке у *E* мрежи сам записао у бинарни фајл и потом их претворио у GRIB формат, те су као такви били спремни за иницијализацију WRF NMM модела.

Примењујући овај целокупни поступак у будућности би могли да се користе било који сателитски подаци који би били на располагању а не само влага у површинском слоју земљишта. С обзиром да се до сада у моделима за нумеричку прогнозу времена влага у земљишту рачунала индиректно из разлога што нису постојала мерења, сателитска осматрања заправо представљају искорак у мерењу овог метеоролошког елемента.

С друге стране, успео сам да направим прогнозу времена користећи при иницијализацији модела податке који су добијени сателитским мерењима, што претходно није рађено у Републичком хидрометеоролошком заводу Србије. Показао сам како постоји утицај влаге у површинском слоју земљишта на велики број других метеоролошких елемената као на пример температуру и релативну влажност ваздуха на 2 m, површински притисак, температуру површине земљишта па чак и ветар на 10 m. Утицај на падавине није анализиран из разлога што изискује детаљнију студију због комплексности саме појаве, и као што је познато нумерички модели најслабије прогнозирају падавине, њихову количину и просторну расподелу.

Посматрајући бројне вредности метеоролошких поља (у овом случају температуре ваздуха) које представљају излазе из модела и упоређујући их са осматрањима изводи се закључак да нумерички модели дају релативно тачну прогнозу, генерално гледано, али још увек нису потпуно поуздани на локалном нивоу у чему их омета хаотична природа атмосфере, која још увек није довољно проучена.

## Литература

- [1] [http://www.dtcenter.org/wrf-nmm/users/docs/users\\_guide/V3/users\\_guide\\_nmm\\_chap1-7.pdf](http://www.dtcenter.org/wrf-nmm/users/docs/users_guide/V3/users_guide_nmm_chap1-7.pdf)
- [2] Janjic Z. (2010) *The WRF NMM core*, National centers for environmental prediction, talk modified and presented by Matthew Pyle
- [3] Bartalis Z., Naeimi V., Hasenauer S., Wagner W. (2008) *ASCAT Soil Moisture Product Handbook*, ASCAT Soil Moisture Report Series, No. 15, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, Austria
- [4] Dharssi I., Bovis K., Macpherson B., Jones C. (2010) *Assimilation of ASCAT surface soil wetness*, Forecasting R&D Technical Report No. 548, Met Office, Exeter, UK
- [5] Chen F. (2007) *The Noah Land Surface Model in WRF*, Research Applications Laboratory, The Institute for Intergrative and Multidisciplinary Earth Studies, NCAR, Boulder, Colorado, USA
- [6] [www.ogimet.com](http://www.ogimet.com)

## Биографија



Гордан Мимић је рођен 28. марта 1988. године у Сарајеву. Основну школу "Јован Дучић" је завршио у Касиндолу, Источно Сарајево, и као основац развио интересовање према физици. Похађао је гимназију општег смера у Источно Сарајеву, матурирао 2006. године и тада уписао Природно-математички факултет у Новом Саду, смер физичар-метеоролог. Положио је све испите предвиђене студијским планом и програмом, са просечном оценом 9,37.

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

*Редни број:*

**РБР**

*Идентификациони број:*

**ИБР**

*Тип документације:*

Монографска документација

**ТД**

*Тип записа:*

Текстуални штампани материјал

**ТЗ**

*Врста рада:*

Дипломски рад

**ВР**

*Аутор:*

Гордан Мимић

**АУ**

*Ментор:*

др Дарко Капор, др Бранислава Лалић

**МН**

*Наслов рада:*

Иницијализација WRF NMM модела подацима из ASCAT осматрања  
влаге у површинском слоју земљишта  
српски (хирилица)

**НР**

*Језик публикације:*

**ЈП**

*Језик извода:*

српски/енглески

**ЈИ**

*Земља публикавања:*

Србија

**ЗП**

*Уже географско подручје:*

Војводина

**УГП**

*Година:*

2011

**ГО**

*Издавач:*

Ауторски репринт

**ИЗ**

*Место и адреса:*

Природно-математички факултет, Трг Доситеја Обрадовића 4, Нови  
Сад

**МА**

*Физички опис рада:*

6/29/0/2/16/0/0

**ФО**

*Научна област:*

Физика

**НО**

*Научна дисциплина:*

Метеорологија

**НД**

*Предметна одредница/ кључне речи:*

Асимилација података, сателитска осматрања, ASCAT, нумеричка  
прогода времена, WRF NMM

**ПО**

**УДК**

*Чува се:*

Библиотека департмана за физику, ПМФ-а у Новом Саду

**ЧУ**

*Важна напомена:*

нема

**ВН**

*Извод:*

Асимилација сателитских осматрања влаге у површинском слоју  
земљишта добијених ASCAT методом, прављење обједињеног  
GRIB фајла са подацима Европског центра, иницијализација  
WRF NMM модела, анализа утицаја површинске влаге земљишта  
на остале метеоролошке величине

**ИЗ**

*Датум прихватања теме од НН већа:*

**ДП**

*Датум одбране:*

**ДО**

*Чланови комисије:*

**КО**

*Председник и коментор:*

др Дарко Капор, ред.проф

*члан:*

др Боривоје Рајковић, ванр.проф.

*члан:*

др Бранислава Лалић, ванр.проф. коментор

UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

*Accession number:*

**ANO**

*Identification number:*

**INO**

*Document type:*

Monograph publication

**DT**

*Type of record:*

Textual printed material

**TR**

*Content code*

Final paper:

**CC**

*Author:*

Gordan Mimić

**AU**

*Mentor/comentor:*

Darko Kapor, Ph.D, Branislava Lalić, Ph.D

**MN**

*Title*

Initialization of WRF NMM model with data from ASCAT observations of surface soil moisture

**TI**

*Language of text:*

Serbian (Cyrilic)

**LT**

*Language of abstract:*

English

**LA**

*Country of publication:*

Serbia

**CP**

*Locality of publication:*

Vojvodina

**LP**

*Publication year:*

2011

**PY**

*Publisher:*

Author's reprint

**PU**

*Publication place:*

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

**PP**

*Physical description:*

6/29/0/2/16/0/0

**PD**

*Scientific field:*

Physics

**SF**

*Scientific discipline:*

Meteorology

**SD**

*Subject/ Key words:*

Data assimilation, satellite observations, ASCAT, numerical weather prediction, WRF NMM

**SKW**

**UC**

*Holding data:*

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

**HD**

*Note:*

none

**N**

*Abstract:*

Assimilation of surface soil moisture data from ASCAT satellite observations, making GRIB files combined with ECMWF data, initialization of WRF NMM model, analysis of surface soil moisture impact on other meteorological variables

**AB**

*Accepted by the Scientific Board:*

**ASB**

*Defended on:*

**DE**

*Thesis defend board:*

**DB**

*President,comentor:*

Ph.D Darko Kapor, Professor

*Member:*

Ph.D Borivoj Rajkovic, Associate professor

*Member:*

Ph.D Branislava Lalić, Associate professor,comentor