

#### 4 РЕФЕРЕНТНИ МОДЕЛИ ЗА АНАЛИЗУ ЕНЕРГЕТСКОГ ПОТЕНЦИЈАЛА

У методологијама приказаним у поглављу 3, дефинисане су физичко-математичке основе и процедуре за формулисање одговарајућих алгоритама, чији је крајњи циљ изградња експертних система и система подршке одлучивању, за процесе различитих размера.

Данас се то ради уз примену савремених технологија у математичком моделирању и интеграцији у Географски информациони систем (ГИС), који омогућује презентацију дводимензионалних -2D (мапе атласа са просторном расподелом енергије) и тродимензионалних скаларна поља -3D (детаљна топографија изабране локације са расподелом енергије).

Основна структура система подршке одлучивању дата је на Слици 4.1.



Слика 4.1 Основна структура система подршке одлучивању

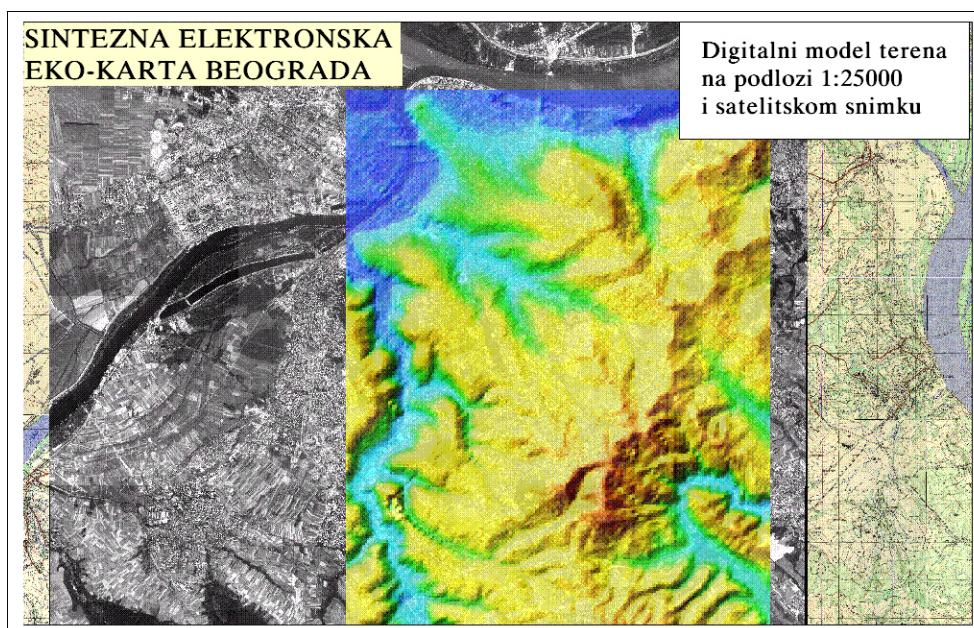
Детаљи процедура унутар основне структуре система подршке одлучивању су зависни од тога да ли је у питању макро ниво анализе и одлучивања (Аналитички модели) или микро ниво анализе и одлучивања (Апликативни модели).

#### 4.1. АНАЛИТИЧКИ МОДЕЛИ КЛИМАТОЛОГИЈЕ СУНЦА И ВЕТРА

Анализа просторне расподеле енергије сунца или ветра (Аналитички ниво), ради омогућавања идентификације области које су повољније за коришћење енергије (Апликативни ниво), може се вршити на два основна начина: поступцима синоптичке климатологије или, у новије време, помоћу климатских модела за приземни слој атмосфере.

Метод синоптичке климатологије за добијање расподеле енергије на хоризонталној површини (дводимензионални, 2D модел) коришћен је у Европском атласу ветра (СЕС, 1989), као и за добијање карата површинске расподеле у Атласу трајања сијања сунца у басену Медитерана (СЕС, 1982) и Европском атласу сунчеве радијације (СЕС, 1984). Код нас је овај метод коришћен за добијање просторне расподеле стварног трајања сијања сунца у Југославији (Гбурчик, В, 1980б) и у анализи просторне расподеле енергије ветра (дисконтинуирани 3D модел), за неколико висина (Гбурчик, П., 1984б).

При изради новије верзије Европског атласа сунчеве радијације (СЕС, 2000), у глобалној анализи европског подручја (мапе), коришћен је такође 2D модел али је, за интерполацију података између приземних мерних пунктова помоћу података мерења са сателита, примењена технологија ГИС. То је омогућило да се обухвати шире подручје Источне Европе, а делимично и Азије (Блиски Исток, Казахстан). Ова интерполација није донела бољи квалитет у ужем подручју Европе, јер није коришћен 3D модел ГИС, па није узет у обзир утицај топографије. У размерама мањих подручја, може се и потребно је детаљније анализирати утицај топографије коришћењем одговарајућих климатских модела и технологија ГИС (интеграција модела у ГИС, интеграција више подлога, повезивање просторних објеката и модела и/или експертних система, система подршке одлучивању), илустрација на Слици 4.2.



Слика 4.2 Интеграција различитих подлога у ГИС

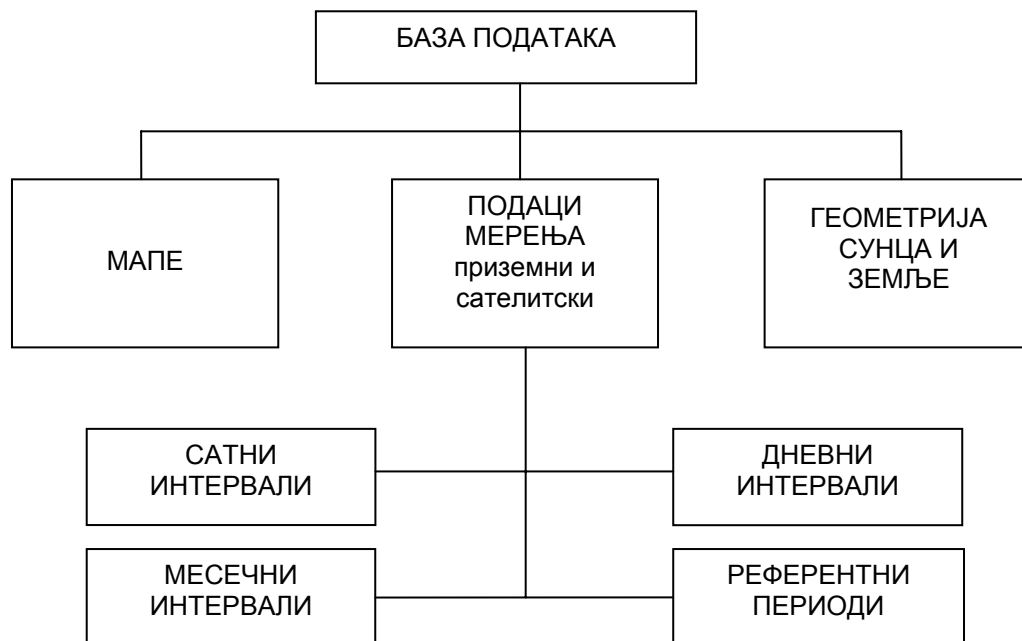
Код нас је технологија ГИС коришћена у изради Еколошког атласа Београда (GZZZ, 2002) и Синтезне електронске еколошке карте (GZZZ, 2003) где су дате и карте енергије ветра и Сунца за подручје генералног плана Београда. Интеграција модела за приземни слој атмосфере са базом података и подлога у ГИС, у оквиру истог пројекта, још је у експерименталној фази рада на интерактивној електронској карти.

#### 4.1.1 Аналитички модели климатологије сунца

Аналитички модели климатологије сунчевог зрачења представљају технолошки унапређену основну методолошку процедуру која је приказана у поглављу 3.1. Наиме, све физичко-математичке поставке, као и логички ток операција, послужили су за развој и изградњу одговарајућих алгоритама и модела за прорачуне и анализу. Тиме су поступци у анализи и прорачунима олакшани, омогућен је рад са интерактивним мапама, виши ниво детаљности, тачности, визуелне презентације и коришћења резултата (СЕС, 2000, 2003), (Fu, P. et al. 2000), (HEMI, 2000). Ово технолошко унапређење углавном омогућује ефикасније извршавање следећих функција:

- Коришћење података добијених новијим технологијама мерења (сателитски подаци), у подручјима где изразито недостају потребни подаци приземних мерења
- Примена информационих технологија у квалитативној и квантитативној контроли улазних података као и пројектовању и коришћењу базе података
- Примена информационих технологија у коришћењу математичких модела сунчевог зрачења у форми експертних система (геометрија Сунце-Земља, израчунавање компонената зрачења на хоризонталну површину и на нагнуте оријентисане површине у потребним временским интервалима, итд.), према процедурама из основне методологије приказане у поглављу 3.
- Примена технологија географских информационих система (ГИС) у креирању дигиталних мапа, повезивању базе података са просторним објектима, интегрисању модела - експертних система са скаларним пољима, као и у вишетапским синтезама (нпр. дигитални модел терена - топографија, скаларно поље глобалног зрачења, границе климатских зона, итд).

**База података атласа** обухвата сетове изворних података (приземна и сателитска мерења), сетове података о геометрији Сунце-Земља и изведене сетове података (нумеричке, графичке, картографске). Општа шема структуре базе података дата је на Слици 4.3.



Слика 4.3 Општа шема структуре базе података атласа сунчевог зрачења

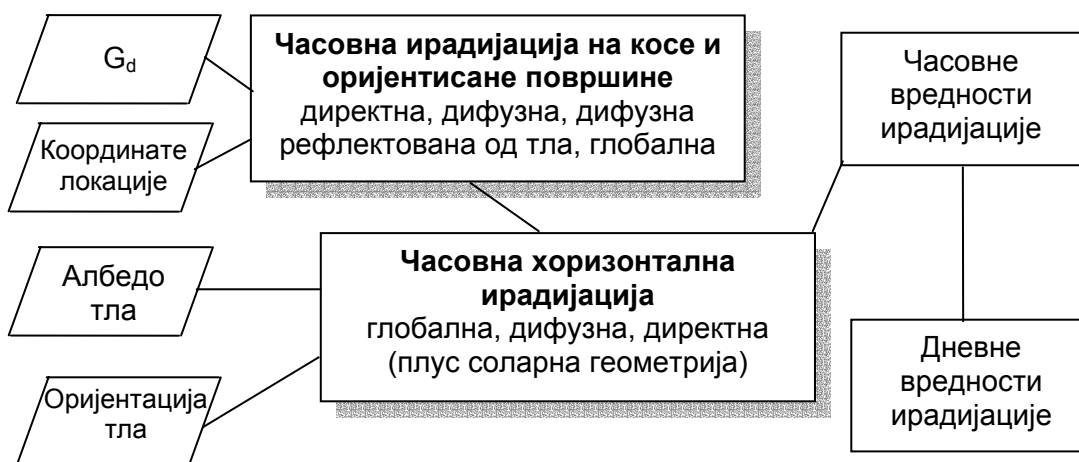
**База модела** сунчевог зрачења обухвата (сагласно основној меодологији за аналитички ниво, односно за креирање атласа): модел соларне геометрије (укључујући временске системе), модел одређивања ирадијације у сатним интервалима, модел одређивања дневне ирадијације,

модел одређивања ирадијације на нагнуте и оријентисане површине, модел одређивања ирадијације у ведрим и облачним данима, статистички модели одређивања временских профила ирадијације, екстрема, вероватноће, и др.; модел одређивања илуминансе (осветљеност), модел одређивања дуготаласног зрачења (атмосфере и тла) и биланса зрачења (дуготаласног и краткоталасног).

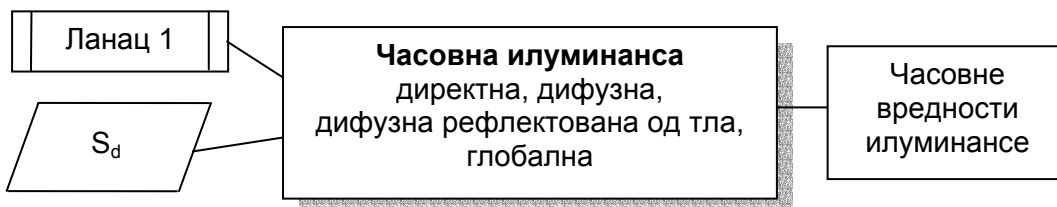
Основна логичка структура сваког од ових модела је слична, састоји се од ланца алгоритама а детаљи зависе од расположивог облика улазних података и циљног прорачуна. Ово илуструју следеће две шеме.

На Слици 4.4 приказан је алгоритамски ланац за одређивање ирадијације у сатним интервалима када су расположиви улазни подаци средње дневне енергије глобалног зрачења -  $G_d$  (Ланац 1.).

Слика 4.5 приказује алгоритамски ланац за одређивање илуминансе када су расположиви подаци о средњем дневном трајању сијања сунца -  $S_d$ , и резултати Ланца 1 (СЕС, 2000).



Слика 4.4 Алгоритамски ланац за одређивање ирадијације у сатним интервалима (Ланац 1)



Слика 4.5 Алгоритамски ланац за одређивање илуминансе у сатним интервалима (Ланац 2)

**Географски информациони систем** омогућује интеграцију сва три модула (база података, модели, простор) у систему анализе климатологије сунца, геореференце и вишеслојну интеграцију са расположивим подлогама (геодетске подлоге, авионски орто-фото и сателитски снимци терена, и др.).

#### **4.1.2 Аналитички модели климатологије ветра**

Циљ Атласа енергије ветра је одређивање енергетског потенцијала ветра на ширем подручју (нпр. национални ниво), анализом и моделирањем података добијених мерењима и осматрањима. Приликом идентификовања и селекције улазних података битно је уважавати следеће важне карактеристике:

- 1) Излазна снага ветротурбине пропорционална је трећем степену снаге ветра, па су захтеви за прецизним подацима о брзини ветра у енергетским прорачунима већи него у свим другим применама ових података;
- 2) Карактеристика ветра је и његова сезонска и међугодишња варијабилност, и она мора бити узета у обзир у климатолошкој анализи и статистичкој обради;
- 3) Измерена брзина ветра на метеоролошкој станици одређена је пре свега са два фактора: глобалним временским системима чије су хоризонталне размере више стотина километара, и околном топографијом. Чији се утицај простире на станице удаљене неколико десетина километара.

Другим речима, директно коришћење података мерења брзине ветра у прорачунима енергетских ресурса резултирало би у одређивању снаге репрезентативне само за актуелну позицију мерног инструмента ветра. Стога је неопходно применити методу трансформације података добијених мерењима и одговарајућом статистиком.

Из ових најбитнијих карактеристика проистичу и услови које треба да задовољавају основни подаци мерења ветра да би се применили у прорачунима снаге ветра:

- Потребно је извршити селекцију високо квалитетних сетова података о ветру из мерења вршених на ваздухопловним, синоптичким и климатолошким станицама (везано за карактеристике 1) и 3))
- Потребно је извршити селекцију стабилних вишегодишњих низова података (временске серије), јер прорачуни енергетских ресурса захтевају континуиране дугопериодске серије података (карактеристика 2)
- Потребно је формирати датотеку описа изабраних станица и њихове околине која укључује податке о: класи терена (рапавост), препрекама у близини и локалној орографији (карактеристика 3)

Припремљене податке потребно је анализирати и обрадити применом Аналитичког модела, који је компонован од више подмодела, шематски приказаног на Слици 4.6. Основне фазе у креирању националног или регионалног атласа применом овог модела су:

##### **1. Избор “case-study” података за процену ресурса енергије ветра**

- 1) Анализа расположивости података мерења и осматрања потребних за Атлас енергије ветра према методологији.
- 2) Избор “case-study” станица за анализу и обраду, уважавањем критеријума претходно наведених. Оптималан избор би био, да то буду 3 станице са најквалитетнијим мерењима и да репрезентују карактеристична подручја (урбана средина, планински део, равничарски део), али се избор може прилагодити условима и могућностима.
- 3) Екстракција података, потребних за анализу, из изворних база података (или датотека, докумената) – контрола потпуности, сортирање, селекција, конверзија.

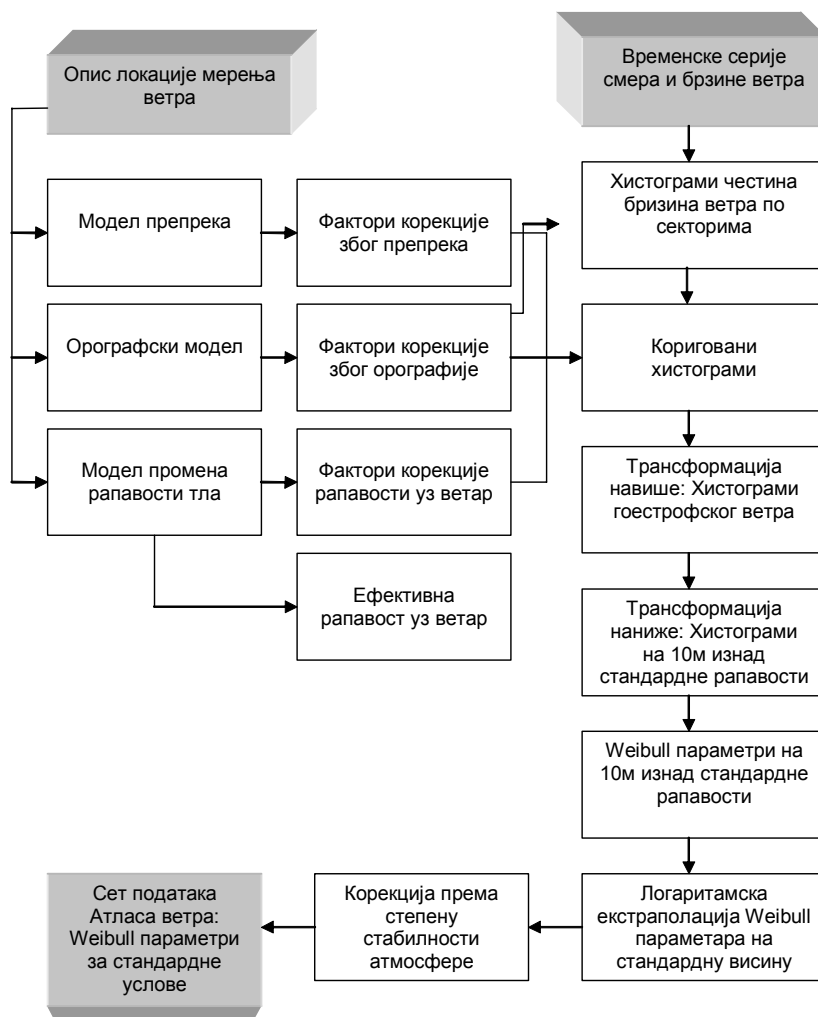
##### **2. Припрема улазних података за процену ресурса енергије ветра**

- 1) Припрема и унос података у датотеку описа станица на којима су вршена мерења.
- 2) Припрема и унос података о препрекама у околини станица.

- 3) Припрема и унос података о класификацији терена (рапавост, покривеност).
- 4) Дигитализација мапа терена у околини станице и конверзија података у датотеку орографије.
- 5) Припрема и унос података о брзини и смеру ветра, као и других потребних метеоролошких параметара, у датотеку временских серија.

### 3. Анализа података применом аналитичког модела

- 1) Трансформација сетова података временских серија у хистограмске табеле, “чишћење” података од утицаја ефеката препрека, рапавости и поремећаја због геометрије терена.
- 2) Трансформација података у хистограме геострофског ветра.
- 3) Трансформација података у хистограме на неколико висина изнад стандардне рапавости.
- 4) Израчунавање Weibull параметара за стандардне услове – тиме се финално добијају подаци који се смештају у базу Атласа ветра.



Слика 4.6 Аналитички модел климатологије ветра

#### **4.2. АПЛИКАТИВНИ МОДЕЛИ ЗА ИДЕНТИФИКАЦИЈУ ОПТИМАЛНИХ ЛОКАЦИЈА**

У анализи и карактеризацији енергетског потенцијала сунца и ветра на локалним нивоима, ради идентификације оптималних локација за коришћење енергије и/или услова за постављање одређених објеката/инсталација, примењују се модели климатологије приземног слоја атмосфере. У ту сврху користе се три основна типа модела: статистички, метеоролошко-физички и физички модели. За прва два наведена типа модела могуће је и корисно повезивање са географским информационом системом -ГИС, и последњих година је знатно развијен поступак интеграције модела и ГИС.

**Статистички модели** се користе за планирање у градским просторима помоћу регресионих веза, нпр. између параметара градске структуре и антропогене производње енергије. Као улазни параметар користи и топографија за утврђивање топлотног острва или градског локалног поља ветра. Осим тога могуће је комбинацијом температуре ваздуха и поља ветра добијање класа ширења загађености ваздуха у приземном граничном слоју. Помоћу ГИС могу се добити улазни подаци за утврђивање статистичких параметара.

За представљање и моделирање просторне варијабилности хидролошких и еколошких процеса изнад сложене топографије на основу података о коришћењу тла, средњих температура, екстрема, садржаја воде у тлу, евапотранспирације и дневних вредности краткоталасног и дуготаласног зрачења, такође се користи ГИС.

**Метеоролошко-физички модели** користе топографске параметре у одговарајућем растеру као почетне и граничне вредности за решавање система једначина модела. За почетне и граничне услове не постоји затворени систем једначина за особине површине тла (препреке, зрачење, врсте тла, вода у тлу). ГИС је природан избор за повезивање и меморисање таквих података из различитих извора, различитих пројекција карата и различитог растера.

Подаци који постоје у ГИС у две форме, морају се за климатолошке примене уопште, као и за анализе климатологије сунца и ветра у микро или мезоразмерама, припремити на различите начине. Наиме, ГИС ради са два фундаментално различита модела за представљање реалног окружења у дигиталном облику: вектор и растер.

Векторски модел представља наше окружење у форми тачака, линија или полигона (површина). Ови геометријски елементи чувају се као парови  $x, y$  координата. Положај објекта као што је дрво, бандера, ветротурбина или мерно место у мониторинг систему сунчевог зрачења и ветра, може се представити тачком са  $x, y$  координатама. Пuteви, воде или инсталације, могу се представити линијама односно низом тачака.

Површински објекти као што су језера, парцеле или зграде, такође се представљају повезаним тачкама. Векторски модел је изузетно погодан за представљање дискретних локација и објеката, али тешко применљив за праћење променљивих величина као што су нивои енергије сунчевог зрачења и ветра, температура, замућености атмосфере и сл.

Растерски модел је изузетно погодан управо за такве променљиве величине. Растерска слика (нпр. скенирана, геореференцирана и дигитализована карта) је налик матрици, где свака ћелија има одређене атрибуте и вредности. Растерски подаци, који су претежно производ даљинских (нпр. сателитских) мерења, имају типичну величину пиксела 30x30 метара.

За примену у моделима микроразмера (нпр. за прорачуне потребне у енергетској ефикасности зграда или за пасивно коришћење сунчеве енергије у одређеној згради или стамбеном блоку), растерски подаци су у односу на векторске податке (који зграде и структуру улица геометријски тачно приказују), мање повољни. Међутим, у моделима мезоразмера, у којима је неопходно користити топографију подручја у детаљној анализи енергетског потенцијала сунца или ветра, погоднији је растерски модел. Зато је податке о топографији најбоље користити из дигиталних модела терена (растер).

И растерски и векторски модели имају својих предности и мана. Савремени ГИС у све већој мери интегрише обе технологије па се у апликативним моделима, процене енергетског потенцијала на локалном подручју, углавном користи овај интегрални приступ.

**У нехидростатичким моделима** микро размера и хидростатичким моделима мезо размера, могу се користити растерски подаци после прерачунавања на мрежу тачака са растојањем од 100м до 25km. Растерски подаци који репрезентују категорије коришћења тла или врсте тла дају, после прерачунавања на површинске карактеристике, особине тла које се приписују тачкама ређе мреже. Овде је потребно познавање површинског удела различитих форми коришћења тла да би се применила параметризација.

Осим овога, за метеоролошко-физичке моделе, потребни су, такође површински представљени, метеоролошки параметри: температура ваздуха, влага, смер и брзина геострофског ветра. Потребни су и подаци из слободне атмосфере на нивоу горње границе модела, која може бити на висини од неколико декаметара до неколико километара. Пошто утицај подлоге опада са висином, смањује се и хоризонтални градијент атмосферских величина као и њихова просторна нехомогеност. Због тога су на већим висинама потребна поља података са мањим растером. Помоћу једноставних интерполационих поступака могу се потребна поља довољно тачно израчунати.

У принципу су одговарајући подаци потребни у свакој тачки дводимензионалног или тродимензионалног простора. По правилу су хоризонтална растојања између тачака мреже еквиливантна, док вертикална растојања између хоризонталних површина (које су као слојеви једна изнад друге) унутар модела са висином расту.

Резултати израчунавања помоћу метеоролошко-физичких модела су расположиви у сваком интервалу интеграције у свакој тачки мреже. Због тога се већ приликом иницијализације модела, а поготово као излаз из модела, у појединим временским корацима добијају велике количине података, чије меморисање и визуелизација се ефикасно реализује ГИС алатима.

Топографски подаци улазе у модел преко одговарајућих емпиријских веза (4.2.1) које дају физичке параметре подлоге потребне за нумеричку интеграцију.

Табела 4.2.1 Параметри тла за различите врсте коришћења подлоге

Параметар	Јединице	Поље	Шума	Град
Проводљивост топлоте	W/mK	0.75	1.25	4.00
Алbedo		0.20	0.15	0.10
Коефицијент емисије		0.97	0.98	0.95
Висина рапавости тла	m	0.05	0.25	0.50

У најједноставнијем случају, могу се полазни подаци добити из дигитализоване топографске карте. После преклапања са мрежом (поступак интеграције података тополошким преклопом и пресеком различитих тематских слојева), као реперезентативна вредност може се узети вредност директно из ГИС растера или израчунати површински средњак за околину једне тачке из мреже модела. Оба поступка се могу остварити помоћу уобичајених ГИС алата. Ако постоје одговарајуће софтверске компоненте у ГИС може се остварити аутоматска параметризација базе података (ово зависи од софтвера који се користи: GIS Arc, MapInfo, GRASS GIS, итд.). Код интеграције података из више тематских слојева веома често је потребно је извршити читав низ узастопних просторних повезивања и преклопа уз комбиновање и других аналитичких функција ради добијања решења.

При симулацији најактуелнијих података на подлози (актуелно стање коришћења тла или промене годишњих доба) имају предност, као извори података, снимци из авиона или сателита, у односу на дигитализоване топографске карте.

За израчунавање у сложеним топографским условима користе се стварне површине (дигитални модел терена), а не само њихове хоризонталне пројекције какве постоје на дигитализованим картама. Топографија се узима у обзир било преко висина у тачкама мреже или после израчунавања просторне оријентације појединих површина везаних за тачку мреже (средња висина, нагиб, азимут). Користе се и изведене величине везане за облик тла (геоморфолошки типови тла) као што су купа, падина, равница, долина.

Док се код топографских база података полази од површинске расподеле (карта или растер/вектор у ГИС), код метеоролошких података по правилу постоји неправилан распоред мерних места. Прерачунавање тих неправилно распоређених тачкастих вредности на правилну гушћу мрежу је повезано са тешкоћама јер метеоролошки параметри нису само зависни од узајамног растојања него и од узајамног утицаја атмосфере и подлоге, путем размене енергије и материје, од адвективног транспорта као и од топографије и локалних система струјања.

Ако се пође од доминантне зависности од растојања тада се, данас претежно, користе интерполационе методе (Кригинг метода, разне емпиријске методе). Утицај комплексне топографије захтева сложенији поступак.

#### **4.2.1 Апликативни модели за идентификацију оптималних локација за коришћење сунчеве енергије**

##### ***Модел зонирања ирадијационе климе***

У дефинисању зона са сличном ирадијационом климом (климатологијом сунчевог зрачења), као основни критеријум користи се тзв. индекс ведрине (clearness index). Услов је да, унутар сваке зоне, буде мала варијација годишњег средњака индекса ведрине.

Свака зона треба да има репрезентативну мерну станицу чије се карактеристике најбоље поклапају са просечном вредношћу за зону. Овакво зонирање омогућује и процену енергије зрачења у тачкама зоне у којима нема мерења.

Најважнији бездимензионални параметар, који је основа и бројних модела сунчевог зрачења, је *дневни индекс ведрине*,  $KT_d$ , који представља однос средњег дневног глобалног зрачења на хоризонталну површину при тлу Земље (приземна вредност глобалног зрачења) и одговарајуће вредности зрачења изван атмосфере одн. на горњој граници атмосфере (екстратерестријско зрачење):

$$KT_d = G_d / G_{od}$$

Други важан параметар је дневно *релативно трајање сијања сунца*  $S_R$ , такође бездимензионална величина, јер представља однос стварног и астрономског трајања сијања сунца.

$$S_R = S_d / S_{od}$$

Овај параметар се врло често користи за израчунавање глобалног сунчевог зрачења у случајевима када се у некој тачки не располаже приземним мерењима глобалног зрачења. Поступак израчунавања је исти као и на аналитичком нивоу приказаном у претходном поглављу (3.1.1), односно, применом Angström-ове регресионе једначине.

Трећи важан параметар је *дифузна компонента глобалног зрачења* која се може израчунати коришћењем теоријско-емпиријских једначина. У пракси се користе различити облици ових једначина од линеарних до полиномијалних различитог степена. У Европском атласу (СЕС, 2000), коришћен је модел *Erbs* у дефинисању алгорита за израчунавање ове компоненте:

За соларни сатни угао  $\omega < 81,4^\circ$

$$\frac{D_d}{G_d} = \begin{cases} 1.0 - 0.2727 KT_d + 2.4495 KT_d^2 - 11.9514 KT_d^3 + 9.3879 KT_d^4, & \text{за } KT_d < 0.715 \\ 0.143, & \text{за } KT_d \geq 0.715 \end{cases}$$

За соларни сатни угао  $\omega > 81,4^\circ$

$$\frac{D_d}{G_d} = \begin{cases} 1.0 - 0.2832 KT_d - 2.5557 KT_d^2 + 0.8448 KT_d^3, & \text{за } KT_d < 0.722 \\ 0.175, & \text{за } KT_d \geq 0.722 \end{cases}$$

Када се располаже дневним подацима о претходна три параметра, приступа се, уз коришћење соларне геометрије, израчунавању свих компонената зрачења у сатним интервалима, затим израчунавању ових компонената на нагнуте оријентисане површине, одређивању вредности и расподеле у специфичним условима (ведро, облачно), одређивању профила, итд. у свему према методологији из поглавља 3.1.

#### **Модел дефинисања зона са сличним параметрима продукције биомасе**

Користећи резултате модела зонирања ирадијационе климе, као полазне основе, развијен је и модел дефинисања зона са сличним параметрима продукције биомасе.

Како је у поглављу 3.2 већ речено, користи се процедура кластеринга, слична оној која се користи за зонирање индекса ведрине. Процедура кластеринга се спроводи за читаву годину, за вегетациони период и за грејну сезону.

Основа модела зонирања који је примењен у Европском атласу сунчевог зрачења (СЕС, 2000) је у следећем:

За један одређени дан, *фотосинтетски активна радијација* (Photosynthetically Active Radiation - **PAR<sub>A</sub>**) стварно апсорбована вегетацијом (или фотосинтетски метаболизам) је пропорционална дневној суми глобалног сунчевог зрачења на хоризонталну површину **G<sub>d</sub>**, узимајући у обзир ефикасност интерцепције **E<sub>i</sub>**:

$$\mathbf{PAR}_A = 0.48 \mathbf{G}_d E_i$$

Вредност 0.48 одговара средњој вредности фотосинтетски активног дела глобалног зрачења. Ефикасност интерцепције није константа већ величина која се мења од дана до дана, према следећој једначини:

$$E_i = \beta^* [1 - \exp(-K F)]$$

где су:  $\beta^*$  и  $K$  специфични параметри који зависе од биљне врсте и чија је вредност блиска јединици;  $F$  је индекс површине листа и зависи од средње дневне температуре ваздуха  $T_A$ . На пример, за луцерку:

$$F = 9,2 \cdot 10^{-3} \sum_{\text{дани}} T_A$$

Продукција суве масе, (Dry matter - **DM**) за цео вегетациони период је пропорционална ефективно акумулираној фотосинтетски активној радијацији, и за луцерку је дата следећом једначином:

$$DM = 1,76 \sum_{dani} PAR_A [g / m^2]$$

У приказаном моделу узете су две главне претпоставке: 1) биљка је добро снабдевена водом (иначе се мора увести корекција са количином падавина); 2) јесења ревегетација није узета у обзир (СЕС, 2000).

### **Моделу Референтних метеоролошких година**

Најчешће коришћени модели у пракси, посебно за симулационе програме примене сунчеве енергије, су модели референтних метеоролошких година. Сагласно методологијама и дефиницијама описаним у поглављу 3.2, најчешће коришћени модели референтних метеоролошких година (СЕС, 2000), (NREL, 1995) су:

*Тест референтна година (ТРГ)* се формира од сатних вредности мерења, што значи да се састоји од 8760 слогова. Користе се две верзије модела, скраћена (ТРГ1) и проширена (ТРГ2) верзија, које обухватају следеће параметре.

#### Верзија модела ТРГ1

- Временски индикатор за мерење ирадијације (L или T)
- Температура сувог термометра, у  $0,1^{\circ}\text{C}$
- Средње часовно глобално зрачење,  $\text{Wm}^{-2}$
- Средње часовно дифузно зрачење,  $\text{Wm}^{-2}$
- Средња часовно директно зрачење на нормалну површину,  $\text{Wm}^{-2}$
- Дужина трајања сунца, у минутима
- Релативна влажност ваздуха, у процентима
- Брзина ветра,  $0,1\text{m/s}$

#### Верзија модела ТРГ2

- Облачност, у осминама
- Смер ветра, у степенима (мерено од севера)
- Скаларна брзина ветра,  $\text{m/s}$
- Векторска брзина ветра,  $\text{m/s}$
- Временске прилике (DWD тип)
- Падавине,  $\text{mm/h}$
- Атмосферски притисак на нивоу станице,  $\text{hPa}$
- Температура сувог термометра,  $^{\circ}\text{C}$
- Релативна влажност
- Директно зрачење на хоризонталну површину,  $\text{Wm}^{-2}$
- Дифузно зрачење на хоризонталну површину,  $\text{Wm}^{-2}$
- Глобална хоризонтална илуминација,  $\text{Wm}^{-2}$
- Рефлективно дуготаласно зрачење од хоризонталне површине,  $\text{Wm}^{-2}$

*Пројектна референтна година (ПРГ)* се такође формира од сатних вредности мерења, сем код елемената где је другачије назначено) и обухвата следеће параметре

- Температура сувог термометра,  $0,1^{\circ}\text{C}$
- Температура тачке росе,  $0,1^{\circ}\text{C}$
- Глобално зрачење на хоризонталну површину,  $\text{Wm}^{-2}$
- Дифузно зрачење на хоризонталну површину,  $\text{Wm}^{-2}$
- Директно зрачење,  $\text{Wm}^{-2}$
- Дуготаласно зрачење (усмерено наниже),  $\text{Wm}^{-2}$
- Глобална илуминанса,  $\text{lux}$
- Дифузна илуминанса,  $\text{lux}$
- Директна илуминанса на нормалну површину,  $\text{lux}$
- Тотална облачност, осматрана вредност

- Еквивалент количине облачности, свака 3 сата
- Дужина трајања сунца у сату, минутно
- Смер ветра, десетине степена (0 за север, 9 за исток, ..., 00 је тишина), минутно
- Брзина ветра, 0,1 m/s
- Максимална температура 0,1<sup>0</sup>С само за 7 и 19 часова
- Минимална температура 0,1<sup>0</sup>С само за 7 и 19 часова
- Притисак, hPa, на свака 3 сата
- Падавине, 0,1mm у 1, 7, 13, 19 часова
- Синоптички код појава, свака 3 сата
- Време од последњег осматрања на свака 3 сата
- Релативна влажност, у процентима
- Висина Сунца, 0,1 лучни степен

Типична метеоролошка година (ТМГ) се такође формира од сатних вредности мерења и сатних вредности параметара соларне геометрије и обухвата следеће параметре

- Екстратерестријско зрачење на хоризонталну површину, Wh/m<sup>2</sup>
- Екстратерестријско зрачење на нормалну површину, Wh/m<sup>2</sup>
- Глобално зрачење на хоризонталну површину, Wh/m<sup>2</sup>
- Директно зрачење на нормалну површину, Wh/m<sup>2</sup>
- Дифузно зрачење на хоризонталну површину, Wh/m<sup>2</sup>
- Глобална илуминанса на хоризонталну површину, Lux
- Глобална илуминанса на нормалну површину, Lux
- Дифузна илуминанса на хоризонталну површину, Lux
- Зенитна луминанса, Cd/m<sup>2</sup>
- Укупна облачност, у десетинама покривености неба
- Количина ниске облачности, у десетинама покривености неба
- Температура ваздуха (сувог термометра), <sup>0</sup>С
- Температура тачке росе, <sup>0</sup>С
- Релативна влажност, проценти
- Атмосферски притисак, mb
- Смер ветра, у степенима
- Брзина ветра, m/s
- Видљивост (хоризонтална), km
- Висина облака, m
- Временске појаве, кодирана свака појава
- Водена пара у атмосфери (потенцијалне падавине), mm
- Аеросолна оптичка дебљина
- Дебљина снежног покривача, cm
- Број дана од задњег падања снега

Референтна година за биомасу (РГБ) се формира од дневних вредности добијених мерењима. Користе се две верзије модела, скраћена (РГБ1) и проширена (РГБ2) верзија, које обухватају следеће параметре.

Верзија модела РГБ1

- Средња дневна температура ваздуха, 0,1<sup>0</sup>С
- Максимална температура ваздуха, 0,1<sup>0</sup>С
- Минимална температура ваздуха, 0,1<sup>0</sup>С
- Дневна сума глобалног зрачења на хоризонталну површину, Whm<sup>-2</sup>
- Дневна сума падавина, 0,1mm
- Средња дневна релативна влажност ваздуха, у процентима

Верзија модела РГБ2

- Средња дневна температура ваздуха, 0,1<sup>0</sup>С
- Максимална температура ваздуха, 0,1<sup>0</sup>С
- Минимална температура ваздуха, 0,1<sup>0</sup>С
- Дневна сума глобалног зрачења на хоризонталну површину, Whm<sup>-2</sup>
- Дневна сума падавина, 0,1mm

- Средња дневна релативна влажност ваздуха, у процентима
- Средња дневна брзина ветра, 0,1m/s
- Дневна сума трајања сијања сунца на хоризонталну површину, 0,1h
- Дневна температура тачке росе, 0,1<sup>0</sup>C
- Максимална дневна температура вадуха (за средњу часовну вредност), 0,1<sup>0</sup>C
- Минимална дневна температура вадуха (за средњу часовну вредност), 0,1<sup>0</sup>C

Потребно је нагласити да модели референтних година репрезентују типичне услове у дугом низу година, па нису погодне за пројектовање система који служе за одбрану од екстремних временских догађаја.

#### **Модели типичних метеоролошких дана**

Најједноставнији типични период који може да се дефинише, представља типичан дан у периоду. Сваки месец се репрезентује једним даном (просечним за тај месец), а сваки сат се карактерише својом средњом температуром ваздуха, дифузним и директним сунчевим зрачењем. У неким рачунским процедурама овај средњи дан се понавља тридесет пута да би се формирао вештачки месец.

*Типичан метеоролошки дан* се може дефинисати и на други начин (СЕС, 2000). Уместо конкретне средње вредности метеоролошких елемената за сваки сат, даје се дистрибуција фреквенција сатних вредности сунчевог зрачења са реалистичним временским профилем.

Следећи пример је *Типичан врели дан*, који се користи у проценама летњег комфора. Средња температура оваквог дана премаша средњу температуру пет најтоплијих дана у години. Међучасовне варијације температуре, сунчевог зрачења и влажности, подвргнуте су истом критеријуму, па се упоређење врши са пет екстремних дана.

Поред приказаних апликативних модела, у недостатку података мерења сунчеве радијације и температуре, примењују се и **генератори података на принципу случајних узорака** (random weather data generators). Они омогућавају генерисање података о зрачењу и температури, одражавајући главне статистичке карактеристике ових параметара у сличним климатским условима.

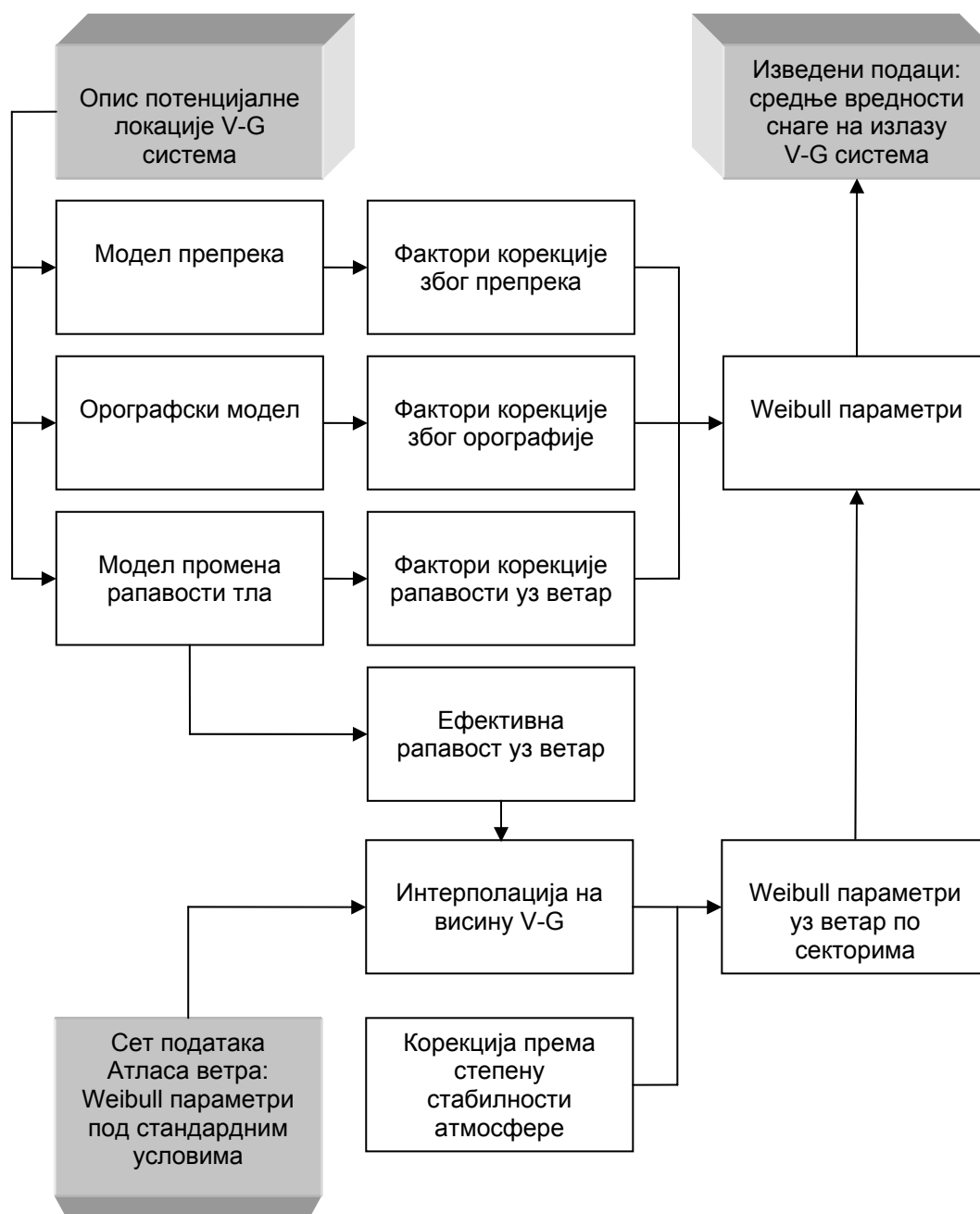
#### **4.2.2 Апликативни модели за идентификацију оптималних локација за коришћење енергије ветра**

Сврха ових модела је процена локалног енергетског потенцијала ветра на специфичним локацијама са детаљнијом анализом орографије и симулације струје ветра. Анализу и процену (прорачун) потребно је вршити применом Апликативног модела, којим се спроводи инверзни поступак у односу на Аналитички модел, а на основу резултата регионалне процене ресурса (атлас).

Апликативни модел служи и за контролу регионалне статистике а најчешће се користи као алат за одређивање најбољих локација за постављање система за конверзију енергије ветра. Овај модел шематски је приказан на Слици 4.7.

За детаљну анализу изабраних локација може се специфицирати неограничени број услова (ма како компликованих) у облику података о нехомогености терена, препрекама и разликама у висини у околини изабраног места.

Прорачунима је потребно добити информације о средњој брзини ветра, очекиваној средњој продукцији енергије и о тзв. Weibull расподели. даље, за сваки од 12 сектора смерова ветра потребно је добити следеће информације: фреквенција, смањивање ветра због препрека, утицај облика терена и расподела укупне енергије ветра и продукција енергије система за конверзију енергије ветра.



Слика 4.7 Шема апликативног модела

Процедура за анализу одређене локације укључује неке или све од следећих корака:

- селекција одговарајуће регионалне климатологије ветра
- одређивање утицаја типа (класе) околног терена
- одређивање утицаја препрека у близини
- одређивање ефеката локалне орографије
- прорачун резултујуће Weibull расподеле
- прорачун средње снаге у смислу Weibull расподеле и криве снаге (снага на излазу у зависности од брзине ветра) ветротурбине.

Основне фазе рада на апликативном нивоу обухватају:

**А. Избор “case-study” локације и ветротурбине за локалну процену ресурса енергије ветра**

- 1) Анализа и избор локација у региону који је претходно анализиран (извршена је регионална процена - атлас) и на коме ће се одређивати локални потенцијал
- 2) Селекција одговарајућег сета метеоролошких података из атласа
- 3) Анализа и избор неколико типова ветротурбина за претходно изабране локације

**Б. Припрема улазних података за локалну процену ресурса енергије ветра**

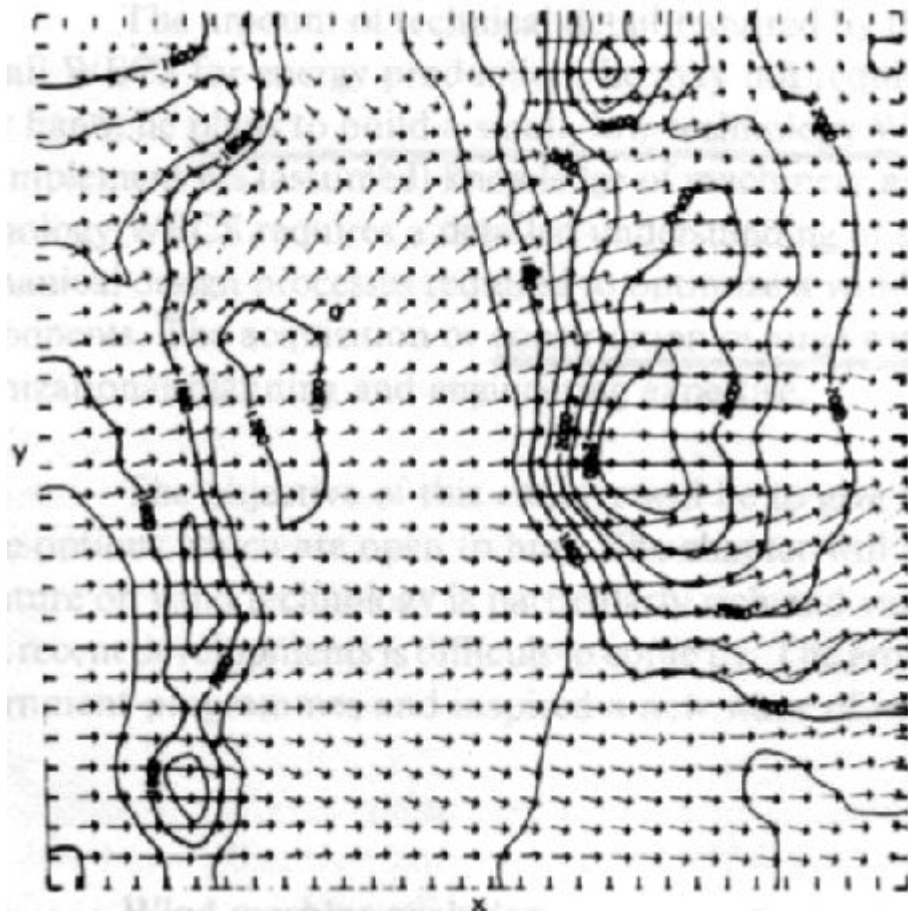
- 1) Припрема и унос података о изабраној локацији за потенцијално постављање система за конверзију енергија ветра (опис, препреке, класа терена) и унос сета метеоролошких података из атласа.
- 2) Дигитализација мапа терена у околини локације и конверзија података у датотеку орографије.
- 3) Припрема и унос података о типу система за конверзију енергије ветра (ветротурбине) и података о снази (крива снаге).

**В. Анализа података применом апликативног модела**

- 1) Анализа и одређивање утицаја класе терена у околини изабране локације и израда статистике за изабрану локацију.
- 2) Анализа и одређивање утицаја препрека у близини.
- 3) Анализа и одређивање ефеката локалне орографије (за планинску област примена модела комплексних терена; детаљна анализа преовлађујућих ветрова, нпр. кошава, детаљна анализа удара ветра и вертикалног профила; идентификација потребних корекција модела).
- 4) Интерполација стандардне Weibull расподеле на висину ветротурбине и прорачун резултујућих Weibull параметара помоћу фактора корекције (због утицаја терена)
- 5) Прорачун средњих вредности снаге на излазу из одређене ветротурбине (средња произведена снага) са анализом ефеката густине ваздуха и турбуленције и оптимизацијом услов за производњу снаге (нумеричко тестирање перформанси ветротурбине под различитим режимима ветра).

Посебну пажњу у примени овог модела треба посветити моделу за комплексне терене (струјање преко брда), који има одређена ограничења и неопходно је (према искуствима више земаља ЕУ) извршити одређене корекције развојем методологије и модела за такве специфичне услове.

Такође се посебно морају анализирати локације у подручјима где доминирају ветрови као што је кошава (а то су према досадашњим истраживањима баш подручја потенцијално повољна за коришћење енергије ветра), јер имају специфичан вертикални профил, различит од преовлађујућих ветрова у земљама ЕУ.



Слика 4.8 Симулација струјања помоћу математичког модела у условима сложене топографије.

Математичко - физички модели атмосфере могу да доста прецизно симулирају смер и брзину ветра у сложеним топографским условима. Овде посебно долази до изражаја GIS технологија. Добија се детаљна просторна расподела смерова и интензита ветра у три димензије (Слика 4.8).

#### 4.3. СТРУКТУРА И САДРЖАЈ БАЗА ПОДАТАКА, ФОРМАТ ПОДАТАКА

Анализа и процена ресурса енергије сунца и ветра, било да се ради о аналитичком (атлас) или апликативном нивоу (локалитет или симулациони програми за различите системе конверзије), може се вршити само ако постоје потребни подаци, организовани у одговарајуће базе података. Најчешће коришћени типови база података

Садржај базе података (број и врста параметара), структура поља, обухват и формат података, зависе од намене. Најчешће коришћени типови база података (БП) су:

**БП вишегодишњих временских серија.** Ово је основни и примарни облик регистровања климатских временских секвенци који садржи податке мерења у дугом низу година. Оптимални обухват је 30 година (климатолошка нормала коју је дефинисала Светска метеоролошка организација) са сатним вредностима мерења.

Нажалост, за већину метеоролошких станица у свету не постоје овакви оптимални сетови. На пример, мање од 100 станица у Европи има овакве сетове података потребних за

анализе сунчевог зрачења (СЕС, 2000). Зато се ради и са мањим обухватом али није препоручљиво да низ буде мањи од 10 година.

Када је у питању недостатак сатних вредности, користе се временске серије са терминским и просечним дневним вредностима али се врши интерполација и рандомизација, које свакако умањују тачност па се не могу користити у свим врстама анализа и апликација.

Овај тип базе података се користи, као примарни, и на аналитичком и на апликативном нивоу и за сунчеву енергију и за енергију ветра. Из овог примарног облика се формирају и различите изведене базе које су погодне за апликативни ниво, посебно као инпут за симулационе програме у соларном инжењерингу.

Структура и формати података су углавном слични и сетови података се формирају аналогно примеру временских серија за енергију ветра која је коришћена у Европском атласу ветра (СЕС, 1989), (RISO-СЕС, 1991):

Слог 1: Идентификациони слог који садржи име и међународни број станице, име државе, координате локације, период мерења (почетак и крај) и податке о анемометру (висина изнад тла, опис локације итд.).

Слог 2: Слог података

Година, месец, дан и сат	(integer: yymmddhh)
Брзина ветра	(integer: uuu)
Смер ветра	(integer: DDD)
Температура	(integer: ± TTT)
Облачност	(integer: N)
Висина базе облака	(integer: CCC)
Корекциони фактор експозиције	(integer: EEE)

Сваки слог има следећи формат: yymmddhhuuuDDD ± TTTNCCCEEE

**БП типичних метеоролошких година.** Ово је «вештачки» формирана база података за типични период. Формирање типичних метеоролошких година је оптимално ако се селекција типичних месеци врши на основу временске серије од 30 година. Али, због ситуације која је претходно описана, овде се ради са максимално расположивим низом.

Овај тип база података је широко примењен на апликативном нивоу у домену сунчеве енергије и енергетске ефикасности. Ово су најчешћи улазни подаци у инжењерским програмима симулације система.

Сетови података за типичне године су углавном веома слични међусобно. Како је у поглављу три већ описано оптималан обухват параметара је у типичној години која се примењује у САД (NREL, 1995.).

Редукована форма ове типичне године се примењује у програмском пакету за анализу енергетике зграда DOE-2 (DOE2, 1993). Формат података у овој редукованој бази је следећи:

Слог 1	IWDID,IWYR,WLAT,WLONG,IWTZN,IWSOL FORMAT(5A4,I5,2F8.2,2I5)	
Слог 2	(CLN(I),I=1,12) FORMAT(12F6.2)	
Слог 3	(GT(I),I=1,12) FORMAT(12F6.1)	
IWDID	Локација	Име
IWYR	Године	Почетак и крај временске серије

WLAT	Географска ширина	У степенима са 2 децимална места
WLONG	Географска дужина	У степенима са 2 децимална места
IWTZN	Часовна зона	Број часовне зоне
IWSOL	Сигнално поље	$IWSOL = IWSZ + (IFTYP-1)*2 - 1$
IWSZ	Величина речи	1 = 60-BIT, 2 = 30-BIT
IFTYP	Тип фајла	1 = није у употреби, 2 = нема података о зрачењу, 3=укључени подаци о глобалном и директном зрачењу
CLN	Параметар ведрине	Однос зрачења у ведром дану и просечног зрачења у ведрим данима
GT	Температура тла	у степенима

Слогови 4 до 8763 Ово су слогови са сатним подацима  
KMON, KDAY, KH, WBT, DBT, PATM, CLDAMT, ISNOW, IRAIN, IWNDDR, HUMRAT,  
DENSTY, ENTHAL, SOLRAD, DIRSOL, ICLDTY, WNDSPD  
FORMAT(3I2,2F5.0,F6.1,F5.0,2I3,I4,F7.4,F6.3,F6.1,2F7.1,I3,F5.0)

KMON	Месец (1-12)
KDAY	Дан (1-31)
KH	Сат (1-24), право сунчево време
WBT	Температура влажног термометра
DBT	Температура сувог термометра
PATM	Ваздушни притисак
CLDAMT	Облачност (0-10)
ISNOW	Сигнално поље о падању снега (1 = да, 0 = не).
IRAIN	Сигнално поље о падању кише (1 = да, 0 = не).
IWNDDR	Смер ветра (0-15, 0=N, 1=NNE, ...)
HUMRAT	Количник напона паре и атмосферског притиска
DENSTY	Густина баздуха
ENTHAL	Специфична енталпија
SOLRAD	Глобално сунчево зрачење на хоризонталну површину
DIRSOL	Директно сунчево зрачење на нормалну површину
ICLDTY	Врста облака (0-2). 0 = Cirrus, 1 = Stratus, 2 = нема података о врсти облака
WNDSPD	Брзина ветра

Пример почетка базе података типичне године за једно место по овом моделу:

```

CZ12RV2 WYEC2          74  38.50 121.50   8   5
  1.06 1.05 1.03 1.01 0.99 0.97 0.96 0.98 1.00 1.02 1.04 1.05
514.3 512.2 512.0 513.0 517.0 521.0 524.5 526.7 526.9 525.1 521.7 517.8
1 1 1 38. 39. 30.2 10. 0 1 9 0.0045 0.080 14.0 0.0 0.0 2 4.
1 1 2 39. 40. 30.1 10. 0 0 8 0.0047 0.079 14.5 0.0 0.0 2 4.
1 1 3 40. 40. 30.1 10. 0 0 6 0.0052 0.079 15.0 0.0 0.0 2 4.
1 1 4 40. 40. 30.1 10. 0 1 5 0.0052 0.079 15.0 0.0 0.0 2 4.
1 1 5 40. 40. 30.1 10. 0 0 5 0.0052 0.079 15.0 0.0 0.0 2 4.
1 1 6 40. 40. 30.1 10. 0 0 5 0.0052 0.079 15.0 0.0 0.0 2 3.
1 1 7 42. 42. 30.1 10. 0 1 6 0.0056 0.079 16.0 0.0 0.0 2 3.
1 1 8 43. 43. 30.1 10. 0 0 6 0.0058 0.079 16.5 0.0 0.0 2 3.
1 1 9 44. 44. 30.1 10. 0 0 7 0.0060 0.079 17.0 16.0 1.0 2 4.
1 110 45. 45. 30.1 10. 0 1 8 0.0063 0.078 17.5 35.0 1.0 2 4.
1 111 45. 46. 30.1 10. 0 0 7 0.0060 0.078 17.5 50.0 3.0 2 4.
1 112 46. 46. 30.0 10. 0 0 6 0.0065 0.078 18.0 59.0 3.0 2 3.
1 113 46. 46. 30.0 10. 0 1 5 0.0065 0.078 18.0 60.0 3.0 2 3.
1 114 47. 47. 30.0 10. 0 0 7 0.0068 0.078 18.5 53.0 2.0 2 3.
1 115 47. 47. 29.9 10. 0 0 8 0.0068 0.078 18.5 40.0 2.0 2 4.
1 116 47. 48. 29.9 10. 0 1 9 0.0066 0.077 18.5 22.0 5.0 2 4.
1 117 47. 47. 29.9 10. 0 0 11 0.0068 0.077 18.5 2.0 0.0 2 4.
1 118 46. 47. 29.9 10. 0 0 13 0.0063 0.077 18.0 0.0 0.0 2 4.
1 119 45. 46. 29.8 10. 0 0 15 0.0061 0.078 17.5 0.0 0.0 2 4.
1 120 44. 45. 29.8 10. 0 0 15 0.0059 0.078 17.0 0.0 0.0 2 6.
1 121 43. 44. 29.8 10. 0 0 15 0.0056 0.078 16.5 0.0 0.0 2 8.
1 122 42. 42. 29.8 10. 0 0 15 0.0056 0.078 16.0 0.0 0.0 2 10.
1 123 41. 42. 29.8 8. 0 0 15 0.0052 0.078 15.5 0.0 0.0 2 10.
1 124 41. 42. 29.8 7. 0 0 15 0.0052 0.078 15.5 0.0 0.0 2 10.
1 2 1 41. 42. 29.8 6. 0 0 15 0.0052 0.078 15.5 0.0 0.0 2 10.
1 2 2 40. 43. 29.8 7. 0 0 15 0.0045 0.078 15.0 0.0 0.0 2 13.
    
```

**БП типичних метеоролошких дана.** Базе података типичних дана имају структуру исту као базе података типичних година само је укупан број слогова мањи јер се сваки месец репрезентује једним даном. Једино у неким речунским процедурама (код симулација продуктивности биомасе и фотонапонских апликација) овакав типичан дан се понавља 30, односно 31, пут како би се добио “вештачки” месец. Наравно, у овом случају број слогова са подацима износи 8760.

**БП изведене генераторима података.** Ово су “вештачки” формиране базе вишегодишњих временских серија или типичних година, а структура им је слична као претходно описаним базама података.