



## SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

Rastko Šabović<sup>a\*</sup>, Zorica Srđević<sup>b</sup>, Zhi Li<sup>c</sup>, Jinxia Fu<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, student master studija, Novi Sad, Srbija

<sup>b</sup>Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad, Srbija

<sup>c</sup>Northwest A&F University, College of Natural Resources and Environment, Yangming, China

\*Autor za kontakt: [sabovic843@gmail.com](mailto:sabovic843@gmail.com)

### SAŽETAK

SWAT model predstavlja rezultat skoro 30 godina modeliranja slivova od strane USDA (United States Secretary of Agriculture) i ARS (Agricultural Research Service). SWAT je internacionalno prihvaćen kao robustan multidisciplinarni alat, što je potvrđeno brojnim SWAT konferencijama širom sveta, stotinama radova čiji su fokus primena SWAT modela, kao i člancima objavljenim u recenziranim naučnim časopisima. Uporedno, model je usvojen kao deo metodologije USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) softverskog paketa BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) i korišćen je od strane mnogih agencija u oblasti voda u poljoprivredi. SWAT model omogućuje simulaciju različitih scenarija gazdovanja prirodnim resursima u slivu, kao i njihovih posledica na sam sliv i živi svet u njemu. Primarno se koristi u predviđanju promena hidroloških karakteristika sliva, kvaliteta vode, količina nutrijenata i štetnih materija u vodotoku, kao i u zemljишtu. U ovom radu je predstavljen pregled komponenti SWAT modela, njegove prednosti i mane, kao i potrebna, ali i preporučena, istraživanja potrebna za SWAT.

**KLJUČNE REČI:** SWAT, modeliranje, hidrologija, sliv, kvalitet vode, nutrijenti

### Uvod

Modeliranje vodoprivrednih sistema u savremenom smislu podrazumeva matematički model i njegovu softversku realizaciju (Srđević i Srđević, 2016). U matematičkom smislu, najčešće su u pitanju simulacioni modeli (Srdjević i Srdjević, 2017; Srdjević et al. 2017) koji omogućavaju analizu različitih faktora i njihovog uticaja na kvantitet i kvalitet površinskih i podzemnih voda (na primer, Li et al., 2011). Jedan od takvih modela je i SWAT (Soil and Water Assessment Tool), predviđen za gazdovanje prirodnim resursima, prvenstveno vodom u slivu. Model omogućava simulaciju mogućih promena u slivu kao posledice drugačijeg uređenja voda, promene količine sedimenata i nutrijenata u različitim tipovima zemljишta, drugačijeg načina korišćenja zemljишta i načina upravljanja vodama kroz duži vremenski period (Li et al, 2009; Winchell et al, 2010).

SWAT je kontinualni vremenski model, nije dizajniran za simuliranje diskretnih događaja koji se jednom pojave u dužem vremenskom periodu (Neitsch et al, 2005).

Takođe, model omogućava simulaciju više različitih procesa u okviru sliva i podslivova. Ovo je korisno kada postoji više delova sliva koji se dovoljno razlikuju po nameni zemljишta, ili zemljишnim karakteristikama, što utiče na hidrologiju sliva (Winchell et al, 2010).

Ulazni podaci za svaki podsliv se grupišu u sledeće kategorije: klimatski uslovi, hidrološki podaci (HRU – Hydrologic Response Units – najmanje prostorne jedinice/ćelije u okviru modela), tip zemlišta, način korišćenja zemlišta, način upravljanja zemljишtem. Bez obzira koji se problem proučava, osnova je bilansna jednačina voda. Simulacija hidrologije se odvija u dve faze. Prva predstavlja tzv. zemljишnu fazu (land phase) hidrološkog ciklusa, koja kontroliše količinu vode, sedimenata, nutrijenata i pesticida u glavnom vodotoku za svaki deo sliva. Druga predstavlja transportnu fazu (routing phase), nutrijenata ili sedimenata kroz mrežu kanala od sliva do ušća (Neitsch et al, 2011).

### Princip rada aplikativnog programa SWAT

#### Zemljiska faza hidrološkog ciklusa

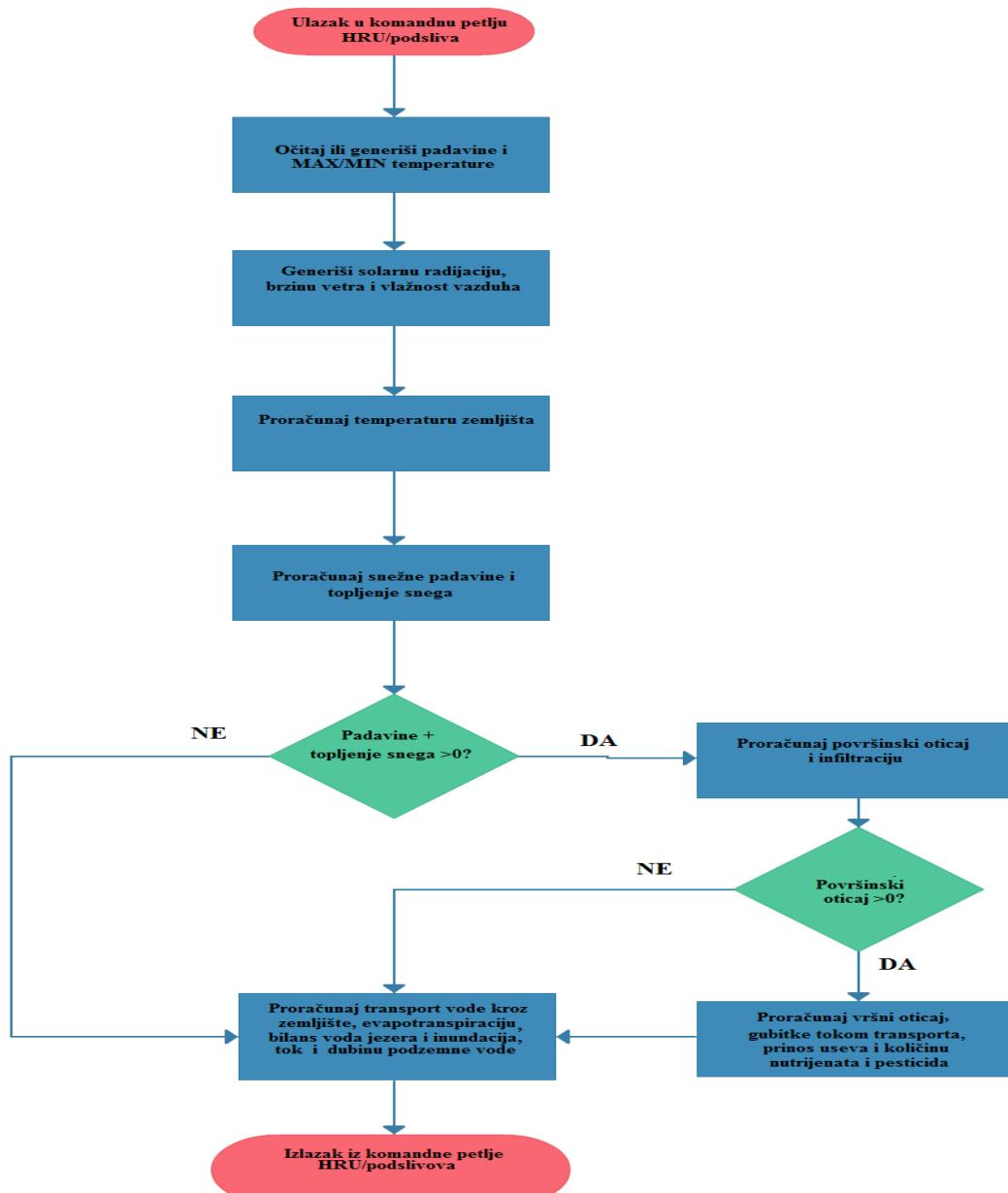
Hidrološki ciklus se u aplikativnom programu SWAT bazira na vodnom bilansu:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

gde je:

$SW_t$  – Količina vode u zemljištu na kraju simulacije [mm]  
 $SW_0$  – Početna količina vode u zemljištu (i-ti dan) [mm]  
 $R_{day}$  – Količina padavina i – tog dana [mm]  
 $Q_{surf}$  – Površinski oticaj [ $m^3/s$ ]  
 $E_a$  – Evapotranspiracija [mm]  
 $w_{seep}$  – Količina infiltrirane vode u zemljištu [mm]  
 $Q_{gw}$  – Podzemni oticaj [ $m^3/s$ ]

Podela sliva na podslivove omogućuje modelu da uspostavi razlike u evapotranspiraciji za različite useve i zemljišta. Oticaj se računa zasebno za svaki HRU, kao i ruta oticanja, da bi se dobio celokupni oticaj za sлив. Ovim načinom se povećava preciznost modela i daje mnogo bolji opis vodnog bilansa. Slika 1. prikazuje uobičajen redosled procesa u okviru SWAT-a za modeliranje zemljišne faze hidrološkog ciklusa. Različiti ulazni podaci (inputi) i procesi su ukratko opisani u nastavku.



**Slika 1.** Komandna petlja (algoritam) unutar podsliva  
**Figure 1.** Subbasin command loop

### **Klima**

Klimatski uslovi sliva nam obezbeđuju parametre potrebne za upravljanje vodnim bilansom, takođe možemo determinisati relativni uticaj pojedinih komponenti u hidrološkom ciklusu.

U ove parametre spadaju dnevne padavine, maksimalna/minimalna dnevna temperatura, solarna radijacija, brzina veta, kao i relativna vlažnost vazduha. Model omogućuje da se unesu prethodno izmereni podaci ili da se generišu tokom simulacije.

### **Generisanje podataka**

Dnevne vrednosti se generišu/simuliraju iz srednjih mesečnih vrednosti. Model generiše skup podataka za svaki podsliv. Generisane vrednosti se razlikuju između podslivova i ne postoje nikakve korelacije između njih:

- (1) Padavine – SWAT koristi Niksov model (Nicks, 1974) za generisanje dnevnih vrednosti padavina za dane za koje ne postoje očitane vrednosti.
- (2) Dnevna temperatura i solarna radijacija – vrednosti se dobijaju iz normalne raspodele. Jednačina kontinuiteta se ubacuje u generator vrednosti, u slučaju promena u vrednostima temperature i solarne radijacije izazvane sunčanim ili oblačnim danima.
- (3) Brzina vetra – koristi se modifikovana eksponencijalna jednačina za generisanje dnevnih vrednosti na osnovu srednjih mesečnih vrednosti.
- (4) Relativna vlažnost vazduha – koristi se trougaona distribucija za simulaciju srednjih dnevnih vrednosti relativne vlažnosti vazduha, na osnovu srednje mesečne vrednosti.
- (5) Snežni pokrivač – korisnik definiše vrednost dubine pokrivača, preko koje će čitav sliv biti pokriven snegom. Kada se ta dubina smanji ispod ove vrednosti, procenat pokrivenosti sliva se nelinearno smanjuje sa dubinom.
- (6) Topljenje snega – kontrolše se temperaturom vazduha i snežnog pokrivača, brzinom topljenja snega kao i procentom pokrivenosti sliva snegom. Ukoliko je sneg prisutan, topi se danima kada je maksimalna temperatura iznad 0°C. Sneg se tretira kao i padavine prilikom određivanja oticaja.
- (7) Izoterme – model dopušta podelu sliva na najviše 10 izotermi. Procenat pokrivenosti snegom i topljenje snega se simulariju zasebno za svaku izotermu. Podelom sliva na izoterme model je u stanju da razazna razlike u pokrivenosti snegom, i topljenju, izazvano orografskim varijacijama u padavinama i temperaturi.
- (8) Temperatura zemljišta – temperatura zemljišta utiče na kretanje vode kroz nju kao i na brzinu razlaganja organske materije u njoj. Dnevne vrednosti se računaju na površini zemljišta kao i u centru svakog sloja. Površinska temperatura je u funkciji pokrivenosti sliva snegom, vegetacijom i ostacima useva. Temperatura sloja je u funkciji površinske temperature, srednje godišnje temperature vazduha, kao i dubine zemljišta pri kojoj promene u temperaturi na površini više ne utiču na nju.

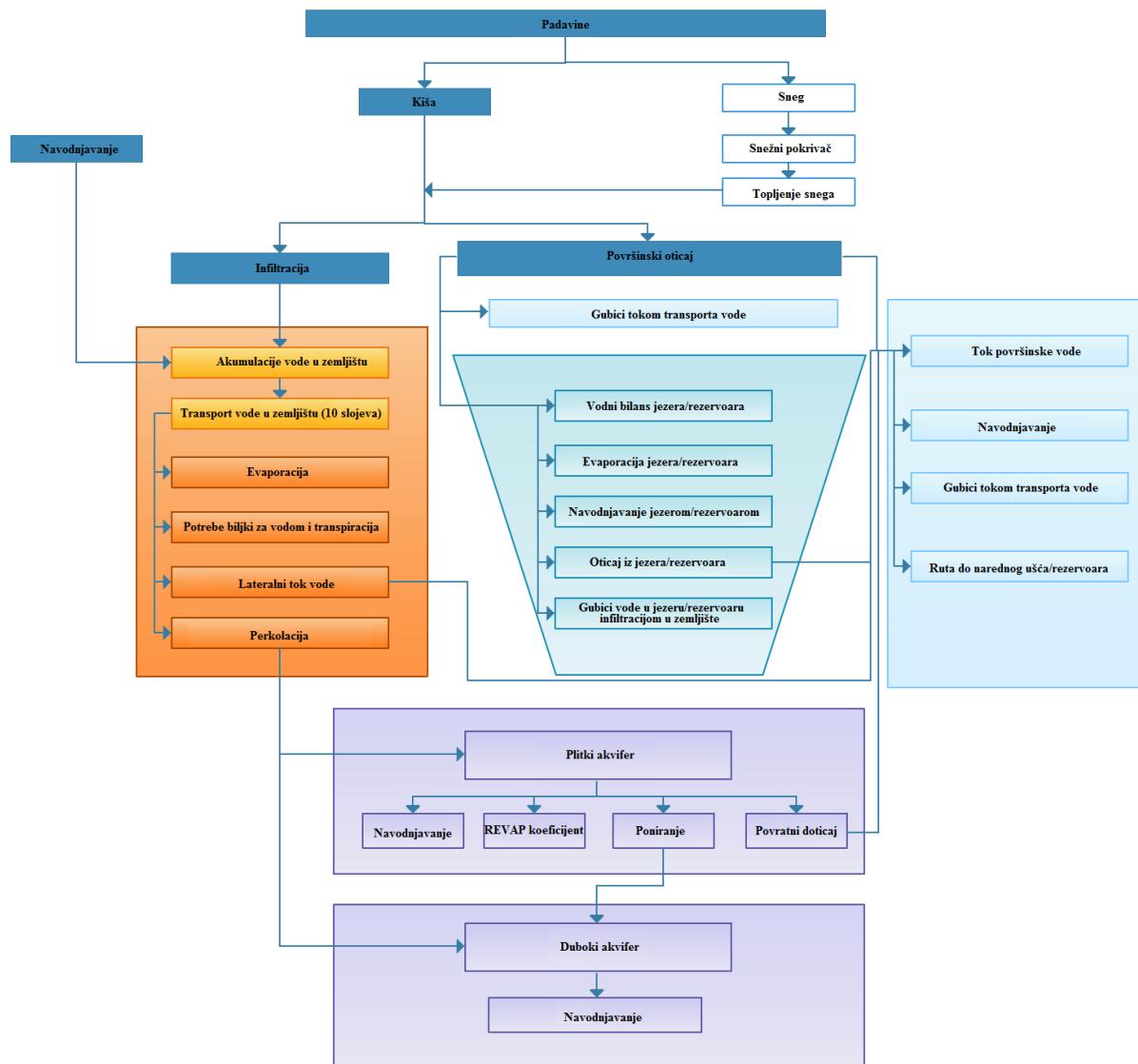
### **Hidrologija**

Padavine se mogu zadržati na vegetacionom pokrivaču ili direktno pasti na zemljište. Voda na površini zemljišta se u nju infiltrira sve dok se ne zasiti, a ostatak otiče. Oticaj se relativno brzo kreće ka vodotoku i prouzrokuje povećanje proticaja u njemu. Infiltrirana voda će se zadržati u zemljištu, ispariti ili ponirati u dublje slojeve zemljišta.

Prilikom upotrebe SCS (SCS runoff curve number) metode za proračun oticaja, količina vode zadržana na vegetaciji se takođe uzima u obzir. SWAT omogućuje korisniku da unese maksimalnu količinu vode koja se može zadržati na vegetaciji pri maksimalnom procentu pokrivenosti zemljišta vegetacijom. Ove vrednosti se koriste da bi se izračunao maksimalni kapacitet zadržane vode za bilo koji period vegetacije. Prilikom računanja evaporacije, voda se prvo oduzima iz količina zadržanih na vegetaciji.

Infiltracija podrazumeva ulazak vode u profil zemljišta sa površine. Kako se povećava količina infiltrirane vode, stopa infiltracije se vremenom smanjuje sve dok se zemljište ne zasiti. Konačna vrednost infiltracije jednak je zasićenom hidrauličkom konduktivitetu zemljišta. Pošto se SCS metoda koristi za računanje dnevnih vrednosti oticaja, ona nije u stanju da direktno računa infiltraciju. Količina infiltrirane vode se računa kao razlika padavina i oticaja.

Redistribucija se odnosi na kontinualno kretanje vode kroz profil zemljišta nakon ulaska vode u profil (posle padavina ili navodnjavanja). Ovo kretanje je izazvano neravnomernim rasporedom količina vode kroz profil zemljišta. Kada se čitav profil uniformno zasiti vodom prekida se redistribucija. Komponenta SWAT-a koja je zadužena za ovu pojavu koristi tehniku predviđanja perkolacije kroz svaki sloj u zoni korenovog sistema. Redistribucija zavisi i od temperature određenog sloja. Ukoliko je ispod nule, redistribucija vode se ne dešava.



**Slika 2.** Šematski prikaz mogućeg kretanja vode u SWAT modelu  
**Figure 2.** Schematic of pathways available for water movement in SWAT

Evapotranspiracija predstavlja proces isparavanja vode sa biljaka i površine zemljišta, kao i vodnih tela. SWAT model proračunava evaporaciju zasebno za zemljišta i biljke. Potencijalna evaporacija sa zemljišta se definije kao potencijalna evapotranspiracija indeksa površine lista. Stvarna evaporacija se definije kao eksponencijalna funkcija dubine zemljišta na kojoj se nalazi određena količina vode. Transpiracija je simulirana kao linearna funkcija potencijalne evapotranspiracije i indeksa površine lista.

Površinski oticaj se računa upotrebom modifikovane SCS metode. CN (Curve number) promenljiva se nelinearno menja sa promenom vlage u zemljištu. Ovaj parametar opada, kada vlaga u zemljištu dostiže tačku venjenja, a raste kada se količina vlage približava poljskom vodnom kapacitetu. Vršni oticaj se dobija modifikovanom racionalnom metodom. U modifikovanoj racionalnoj metodi, maksimalni oticaj predstavlja funkciju proporcija dnevnih padavina koje padnu tokom vremena koncentracije dela sliva (vreme potrebno jednoj kapi vode da sa najudaljenije tačke sliva, koja otice površinski, dospe do izlaznog profila sliva, određuje se stohastičkom metodom), dnevnog oticaja i vremena koncentracije dela sliva. Vreme koncentracije dela sliva se dobija upotrebom Manningove formule.

Količina vode koju jezero može da zadrži se računa kao funkcija zapremine jezera, dnevnih vrednosti dotoka i oticaja vode, infiltracije i evaporacije. Potrebni ulazni podaci su zapremina jezera i površina vodnog ogledala kada je jezero napunjeno vodom. Površina vodnog ogledala ispod maksimalnog kapaciteta se računa kao nelinearna funkcija zapremine jezera.

### **Transportna faza hidrološkog ciklusa u SWAT-u**

Nakon što SWAT odredi unos vode, sedimenata i nutrijenata u glavni vodotok, ove količine se transportuju kroz mrežu kanala koristeći komandnu strukturu sličnu HYMO (problemski orijentisan programski jezik; Williams, Hann, 1972). Uporedo sa praćenjem protoka kroz vodotok, SWAT simulira transformaciju hemikalija u vodotoku. Transport vode kroz vodotok se računa primenom metode varijabilnog koeficijenta skladištenja (Williams, 1969) ili Maskingamovom metodom. Transport sedimenta kroz vodotok se kontroliše istovremenom operacijom dva procesa, taloženja i degradacije. U odnosu na starije verzije SWAT-a, koje su za ovo koristile formule (Arnold et al, 1995) i (Bagnold, 1977), nova verzija koristi upršćene jednačine, gde je maksimalna količina sedimenata koja se može transportovati u funkciji brzine vode. Transport nutrijenata u vodotoku se reguliše komponentom modela zaduženom za određivanje kvaliteta vode. Sama kinetika proticaja vode kroz vodotok za transport nutrijenata je preuzeta i adaptirana iz softvera QUAL2E (Brown and Barnwell, 1987).

### **Ulagno/Izlazni podaci**

Upravljanje fajlovima se vrši sa glavnim fajлом за sliv, file.cio. On sadrži informacije vezane za tip modela, ulazne podatke za klimatske uslove, baze podataka i specifikacije za izlazne podatke. Sve promenljive u fajlu su grupisane u sekcije koje sadrže više podataka:

- (1) Title Section (Naziv projekta)
- (2) General Information/Watershed Configuration (Opšte informacije/konfiguracija sliva)
- (3) Climate (Klimatski uslovi)
- (4) Watershed Modeling Options (Mogućnosti modeliranja sliva)
- (5) Database Files (Baze podataka)
- (6) Special Projects (Posebni projekti)
- (7) Output Information (Izlazni podaci)

Informacije o karakteristikama (atributima) sliva se nalaze u basin input fajlu (.bsn). Ovi atributi upravljaju različitim procesima na nivou sliva. Interfejs će ove vrednosti automatski postaviti na uobičajene (default) ili preporučene vrednosti, koje korisnik može menjati po potrebi. U slučaju da se kretanje nutrijenata ne proučava, oni se i dalje moraju uzeti u obzir jer njihov ciklus utiče na rast useva, što zauzvrat utiče na hidrološki ciklus. Ovi atributi, odnosno njihove promenljive, su tematski grupisani:

- (1) Title (Naziv promenljive)
- (2) Modeling options: Land Area (Opcije modeliranja terena)
- (3) Water Balance (Vodni bilans)
- (4) Surface Runoff (Površinski oticaj)
- (5) Nutrient Cycling (Ciklus nutrijenata)
- (6) Pesticide Cycling (Ciklus pesticida)
- (7) Algae/CBOD/Dissolved Oxygen (Koncentracija algi/biološka potrošnja kiseonika/rastvoren kiseonik)
- (8) Bacteria (Bakterije)
- (9) Modeling Options: Reaches (Opcije modeliranja izliva)

Pored navedenih promenljivih postoje i navedeni u Tabeli 1.

**Tabela 1.** Ulazni podaci za model

**Table 1.** Model input files

.sub	Ovaj fajl sadrži ulazne podatke vezane za podslivove. Mogu se grupisati u: veličina podslivova i njihove lokacije, topografija i uticaj na klimu, karakteristike pritoka u okviru podsliva, promenljive vezane za klimatske uslove, broj HRU-ova u podslivu kao i njihovi nazivi.
.pcp	SWAT zahteva podatke o dnevnim padavinama. Mogu se uneti izmerene vrednosti ili generisati. Najviše 18 fajlova se mogu učitati u simulaciju. Ovi fajlovi mogu sadržati podatke zasnovane na više merenja. Ovi podaci se mogu učitati u model u vremenskim intervalima do jedan dan.

.tmp	SWAT zahteva maksimalne i minimalne vrednosti dnevne temperature. Mogu se uneti izmerene vrednosti ili generisati. Podaci o temperaturi ne moraju početi sa podacima o temperaturi prvog dana simulacije. SWAT je sposoban da sam pretraži ove fajlove i nađe potrebne podatke za određene datume po potrebi.
.slr	SWAT zahteva dnevne vrednosti solarne radijacije. Mogu se uneti izmerene vrednosti ili generisati. Kao što je slučaj sa ulaznim podacima za temperaturu, SWAT je u stanju da sam nađe početni datum u fajlu sa podacima o solarnoj radijaciji.
.wnd	SWAT zahteva dnevne vrednosti brzine vetra prilikom upotrebe Penman – Montej metode za proračun potencijalne evapotranspiracije. Mogu se uneti izmerene vrednosti ili generisati. Maksimalno se jedan fajl sa ulaznim podacima može koristiti u simulaciji. Kao što je ranije navedeno SWAT može sam izvršiti pretragu fajla i pronaći odgovarajuću vrednost brzine vetra za početni datum simulacije.
.hmd	SWAT zahteva dnevne vrednosti relativne vlažnosti vazduha prilikom upotrebe Penman – Montej ili Pristli – Tejlor metode za proračun potencijalne evapotranspiracije i proračuna uticaja isparavanja na rast biljaka. Mogu se uneti izmerene vrednosti ili generisati. Jedan fajl sa ulaznim podacima se može koristiti u simulaciji. Kao što je ranije navedeno SWAT može sam izvršiti pretragu fajla i pronaći odgovarajuću vrednost brzine vetra za početni datum simulacije.
.pet	SWAT zahteva dnevne vrednosti potencijalne evapotranspiracije. Ukoliko korisnik želi da računa potencijalnu evapotranspiraciju ne koristeći metode Penman – Monteja, Pristli – Tejlora ili Hergriva, vrednosti se mogu očitati iz .pet fajla. Ovaj fajl sadrži jedan zapis podataka koji se koristi za sliv. SWAT može sam izvršiti pretragu fajla i pronaći odgovarajuću vrednost potencijalne evapotranspiracije za početni datum simulacije.
.wgn	SWAT zahteva dnevne vrednosti padavina, maksimalne/minimalne temperature, solarne radijacije, brzine vetra i relativne vlažnosti vazduha. Ove vrednosti se mogu generisati, ili se prethodno izmerene vrednosti mogu uneti u model. Fajl za generisanje podataka klimatskih uslova sadrži statističke podatke potrebne za generisanje dnevnih vrednosti klimatskih uslova za podslivove. U idealnom slučaju se koristi skup podataka od 20 godina da bi se izračunali parametri u .wgn fajlu. Ovi podaci će se generisati u 2 slučaja: kada korisnik označi da će se generisani podaci koristiti ili usled nedostatka izmerenih podataka.
.cst	SWAT omogućuje korisnicima simuliranje klimatskih uslova. Fajl sadrži statističke podatke potrebne za generisanje dnevnih vrednosti klimatskih uslova za podslivove, za period simulacije. Tokom simulacije, definišu se periodi prognoziranja i ne prognoziranja. Period prognoziranja počinje na dan definisan FCSTDDAY i FCSTYR u glavnom fajlu za podatke o slivu (file.cio) i završava se poslednjim danom simulacije. Tokom perioda ne prognoziranja, parametri korišćeni za generisanje klimatskih uslova se uzimaju iz .wgn fajla. Tokom simulacije perioda prognoziranja, mesečne vrednosti parametara za padavine i temperaturu se zamenjuju sa vrednostima uzetim iz .cst fajla. Period prognoziranja se više puta simulira da bi dobili distribuciju verovatnoća potencijalnih scenarija. Korisnik definiše broj simulacija u FCSTCYCLES, koji se nalazi u file.cio. Preporučuje se minimum 20 simulacija. U slivu se neograničen broj regija za prognoziranje može definisati. Oznaka oblasti prognoziranja za određen podsliv se mora podudarati sa oznakom za skup podataka koji se odnosi na taj podsliv.
plant.dat	Podaci potrebni za simulaciju rasta useva se nalaze u bazi podataka za rast useva, i kategorisu se po vrsti. Ova baza podataka je data uz model i u njoj se nalaze podaci vezani za najbitnije useve.

till.dat	Sadrži relevantne informacije vezane za način obrade parcela.
pest.dat	Baza podataka za pesticide sadrži parametre koji diktiraju njihov rad i transport kroz HRU.
fert.dat	Baza podataka za đubriva sumira relativne proporcije azota i fosfora u đubrivima. Ovde se takođe nalaze podaci o količinama bakterija u đubriva.
urban.dat	Baza podataka za urbana područja sumira parametre koje model koristi za simulaciju različitih tipova urbanih područja .
.hru	Ovaj fajl sadrži podatke o više parametara unutar HRU. Ovi podaci su grupisani u više grupa: topografske karakteristike, protok, erozija, vegetacioni pokrivač, depresije.
.mgt	Jedan od glavnih ciljeva modeliranja ekologije jeste da se odredi antropološki uticaj na nekom području. U centru ovoga jeste način upravljanja zemljištem i vodom u okviru tog područja. Glavni fajl u kom su ovi načini upravljanja sumirani jeste .mgt. Ovaj fajl sadrži ulazne podatke za setvu, žetvu, način navodnjavanja, primenu đubriva, pesticida i načina obrade zemljišta. Informacije vezane za oticaj sa obradivih površina i urbanih područja se takođe nalaze u ovom fajlu. Fajl se može podeliti u dve sekcije. Prva sekcija sumira ulazne podatke za načine upravljanja koji se ne menjaju tokom simulacije. Druga sekcija sadrži raspored načina upravljanja koji se odvijaju tokom određenog vremena.
.wus	Ovaj fajl se koristi za simulaciju korišćenja vode za navodnjavanje van sliva ili za upotrebu u svakodnevnom životu i industriji. Upotrebljena voda se smatra gubitkom u sistemu. SWAT dozvoljava da se voda uzima iz plitkih, dubokih akvifera, vodotoka, jezera u slivu kao i iz rezervoara. Količina upotrebljene vode može da varira iz meseca u mesec. Za svaki mesec u godini definiše se srednja dnevna količina upotrebljene vode.
.sol	Podaci o zemljištu se mogu podeliti u fizičke i hemijske karakteristike. Fizičke karakteristike zemljišta utiču na kretanje vode i vazduha kroz profil i imaju veliku ulogu na kruženje vode u okviru HRU. Ulazni podaci za hemijske karakteristike se koriste za uspostavljanje početnog sadržaja različitih supstanci u zemljištu. Za razliku od fizičkih karakteristika, hemijske karakteristike nisu neophodne za simulaciju.
.chm	Uvođenje perioda ekvilibrijuma (od godinu dana) na početku simulacije se preporučuje radi efikasnije simulacije hidrološkog ciklusa. Ovaj period omogućuje količinama nutrijenata u zemljištu da se izbalansiraju, čime se u simulaciji hemijske karakteristike zemljišta ne moraju uzeti u obzir.
.gw	SWAT deli podzemnu vodu u dva sistema akvifera: plitke, pristupačne akvifere koji učestvuju u dotoku vode u vodotokove u okviru sliva i duboke, nepristupačne akvifere, koji ne učestvuju u dotoku vode u vodotokove u okviru sliva. Parametri koji definisu kretanje vode u i iz akvifera se nalaze u ovom fajlu.
.rte	Da bi simulirali fizičke procese koji utiču na tok vode i transport sedimenata u sistemu kanala u slivu, SWAT zahteva podatke o fizičkim karakteristikama glavnog korita svakog podsliva. Ovaj fajl sumira podatke fizičkih karakteristika korita koji utiču na tok vode i transport sedimenata, nutrijenata i pesticida.
.wwq i .swq	Iako je kvalitet vode širok pojam, prvenstveno se analiziraju nutrijenti, pesticidi, teški metali, bakterije i suspendovane materije u vodotocima i vodnim telima. SWAT može da modeluje procese koji utiču na nutrijente, pesticide i suspendovane materije u glavnom koritu i rezervoarima. Podaci koje SWAT koristi se dele na dva fajla: kvalitet vode vodotoka (.swq) za zasebne tokove i opšti kvalitet vodotoka za procese modelovane uniformno kroz ceo sliv (.wwq).

.pnd	Ovaj fajl sadrži parametre za modelovanje vode, nutrijenata i suspendovanih materija za jezera i ostala vodna tela. Svi procesi se isto modeluju, bilo za jezera ili ostala vodna tela, izuzev za oticaj vode iz njih.
.res	Ovaj fajl sadrži ulazne podatke za simulaciju procesa kretanja vode i suspendovanih materija u rezervoarima.
.lwq	Ovaj fajl sadrži podatke za definisanje kvaliteta vode za jezera i ostalih vodna tela.
septwq.dat	Podaci o kvalitetu vode ili karakteristikama efluenata, potrebni za simulaciju različitih sistema prečišćavanja otpadnih voda, se nalaze u ovom fajlu. Baza podataka koja je u okviru SWAT-a sadrži podatke za kvalitet voda za najrasprostranjenije sisteme za prečišćavanje otpadnih voda. Informacije sadržane u ovom fajlu su količina otpadnih voda po glavi stanovnika i karakteristike efluenata za različite kanalizacione sisteme.
.sep	Ovaj fajl sadrži podatke o: tipu kanalizacionog sistema, geometriji biološke zone, karakteristikama biomase kao i koeficijente biofizičkih reakcija koji se odvijaju u biološkoj zoni.
atmo.atm	Ovaj fajl nije neophodan, sadrži podatke vezane za prosečne vrednosti atmosferskih padavina sa azotnim jedinjenjima, kao što su amonijum, nitrati, suvi amonijum i suvi nitrati.
lup.dat	U ovom fajlu se mogu ažurirati načini upotrebe zemljišta, i posebno je koristan prilikom pokretanja konzervativnih načina upotrebe usred simulacije. Posle pokretanja ovog fajla, ovi načini upotrebe zemljišta ostaju aktivni do kraja simulacije.
.sno	Korisnici mogu uneti snežne parametre po izotermama za svaki podsliv. Ukoliko se ove vrednosti ne unesu, preuzeće se parametri iz .bsn datoteke.

### Glavni izlazni podaci

Određen broj izlaznih podataka se generiše tokom svake simulacije. Ti podaci su: skup ulaznih podataka (input.std), skup izlaznih podataka (output.std), HRU izlazni podaci (output.hru), izlazni podaci podslivova (output.sub), izlazni podaci mreže kanala (output.rch).

### Kalibracija

Jedna od najčešćih upotreba SWAT-a je da se procene uticaji različitih načina upotrebe zemljišta na kvalitet vode. Da bi se ovakve analize mogle izvesti, korisnik prvo mora da izvrši kalibraciju modela prema postojećim uslovima. Postupak kalibracije se sastoji iz 3 dela:

- (1) Izabere se deo izmerenih podataka
- (2) Model se pokreće sa različitim vrednostima nepoznatih parametara dok se ne poklope sa izmerenim podacima
- (3) Model se primeni sa kalibriranim parametrima na preostale izmerene podatke

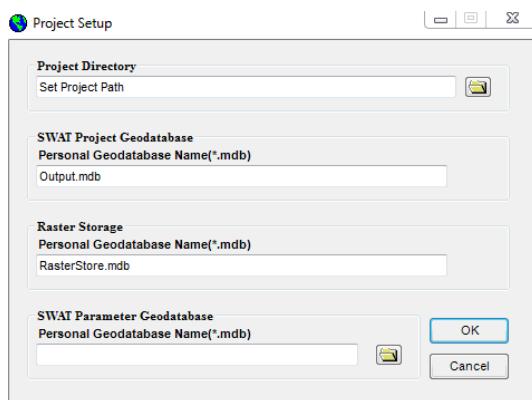
Za korisnike koji definišu SWAT bazu podataka sliva bez upotrebe GIS interfejsa, sve ulazne podatke meri korisnik.

Kao posledica ovoga, korisnik stiče osećaj o nivou preciznosti izmerenih ulaznih podataka. Ovo je vrlo bitno jer se uglavnom neprecizno izmereni ulazni podaci, koriste za kalibriranje modela.

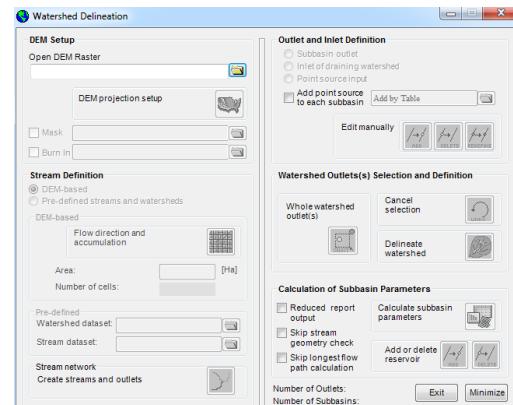
Većina korisnika koristi prednosti GIS interfejsa za pravljenje SWAT baze podataka. Iako se ovim načinom dostiže lakši unos ulaznih podataka u SWAT, korisnik ne stiče vrlo jasnu sliku o tome koji podaci bi se trebali koristiti za kalibriranje modela.

### Postupak izrade projekta u SWAT-u

U ovom poglavljju će se opisati postupak pokretanja simulacije u ArcSWAT-u, upotrebom najmanje količine neophodnih podataka. Korišćeni su podaci koji se nalaze u okviru ArcSWAT-a (Example 1). Pre samog unosa podataka se definiše projekat klikom na SWAT Project Setup/New SWAT Project (Slika 3). Ovde se definiše naziv projekta kao i lokacija na kojoj će se sačuvati.



**Slika 3.** Izgled menija za definisanje projekta  
**Figure 3.** Project Setup Menu

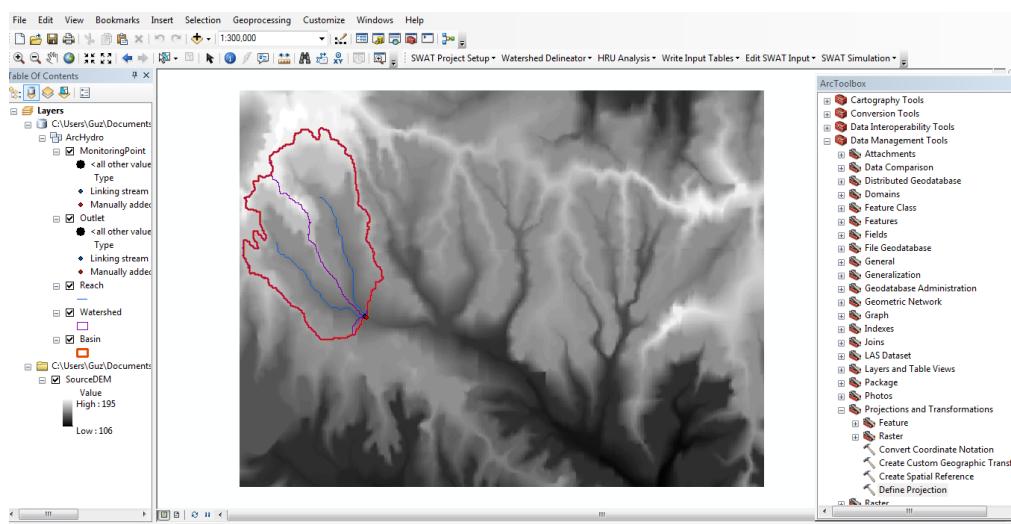


**Slika 4.** Izgled menija Watershed Delineation  
**Figure 4.** Watershed Delineation Menu

Potom se klikom na Watershed Delineator/Automatic Watershed Delineation, (Slika 4), ulazi u meni gde se učitava digitalni model terena, a potom računaju elementi vezani za topografiju i hidrologiju sliva.

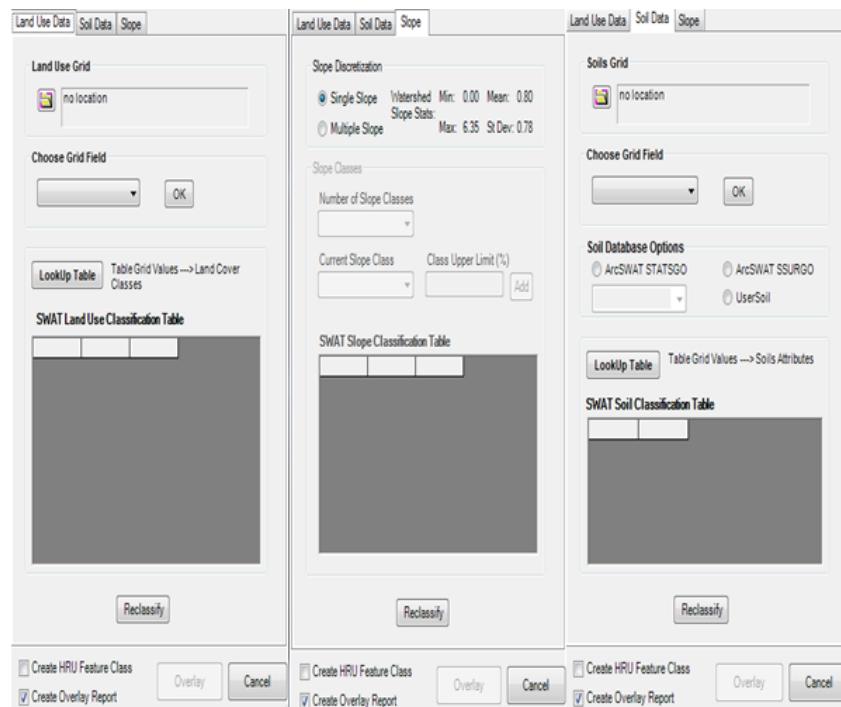
Klikom na Open DEM Raster, izabere se adekvatni digitalni model terena (DEM raster), i topografija analiziranog terena se učita. Pre učitavanja ovih podataka rasteri moraju imati definisan međusobno isti koordinatni sistem u kom će biti prikazani (u ovom slučaju Clarke\_1866\_Albers projekcija) za sve vrste podataka koje se koriste u simulaciji.

Zatim se u opciji DEM Projection Setup definiše merna jedinica za Z koordinatu, u ovom slučaju metri. Nakon toga klikom na Flow direction and accumulation program definiše tok vode, kao i akumulacije u okviru terena. Klikom na Create streams and outlets program definiše pravac i smer oticaja vode sa terena u vodotok, gde se oticaji sa različitih površina spajaju, kao i tačku do koje sva voda dotiče. Potom je potrebna definicija tačke/tačaka do koje sva voda u slivu dotiče klikom na Subbasin outlet/Edit manually, gde se te tačke definisu i Whole watershed outlet(s), gde se te tačke označe kao tačke do koje/kojih sva voda dotiče. Klikom na Delineate watershed program proračunava granice sliva i podslivova. Klikom na Calculate Subbasin parameters se računaju geometrijski podaci vezani za sliv, računaju se granice podslivova i njihove geometrijske karakteristike. Ovaj proračun se može pojednostaviti ukoliko je to poželjno klikom na Reduced report output, Skip stream geometry check, Skip longest flow path calculation.



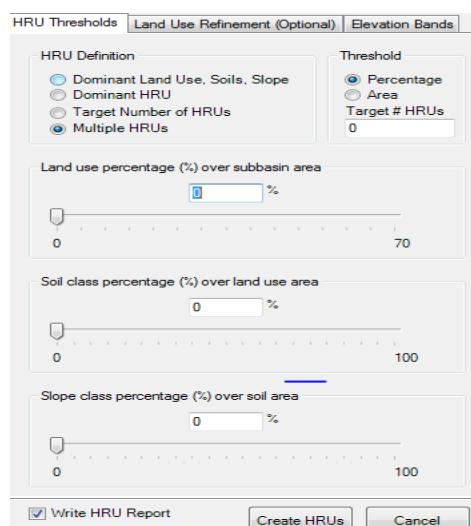
**Slika 5.** Izgled proračunatog sliva i podslivova  
**Figure 5.** Defined Basin and subbasins

Sada je potrebno ubaciti podatke vezane za način upotrebe zemljišta, tipove zemljišta kao i nagibe terena klikom na HRU Analysis/Land Use/Soils/Slope Definition.

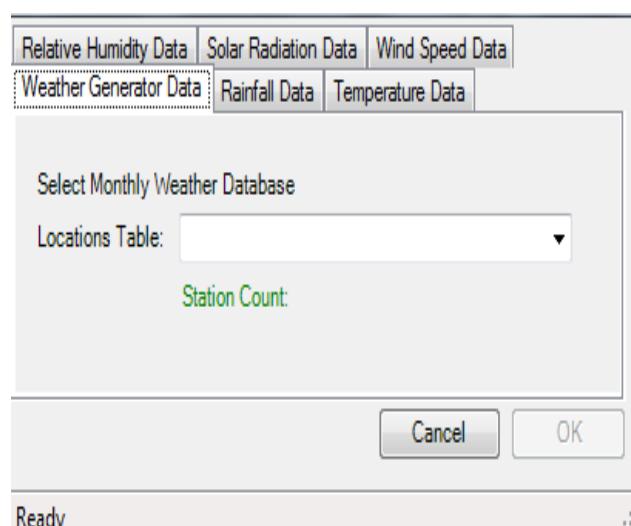


**Slika 6.** Izgled menija za definisanje načina upotrebe zemljišta, tipa zemljišta i nagiba terena  
**Figure 6.** Menus for defining Land Use, Soil Type and Slope

U Land Use Data se učitava raster u kom se nalaze podaci vezani za način upotrebe zemljišta za dato područje. Ovi rasteri se moraju poklapati sa topografijom terena minimalno 85% (u ovom slučaju prag tolerancije je 15%) da bi program uopšte nastavio sa proračunima. Klikom na Choose Grid Field se odabere vrednost/VALUE, nakon čega će se prikazati tabela u kojoj su prikazane postojeće upotrebe zemljišta, kao i procenat zemljišta na kom se određena upotreba odvija. Klikom na LookUp Table, program pristupa bazi podataka preko ključa gde se nalaze svi mogući načini upotrebe zemljišta, kako bi odatle izvukao podatke za dalju upotrebu. Klikom na HRU Analysis/HRU definition se otvara meni gde se definišu parametri vezani za HRU.



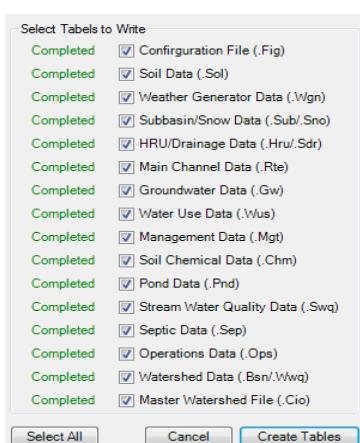
**Slika 7.** Izgled menija za definisanje HRU  
**Figure 7.** HRU Definition Menu



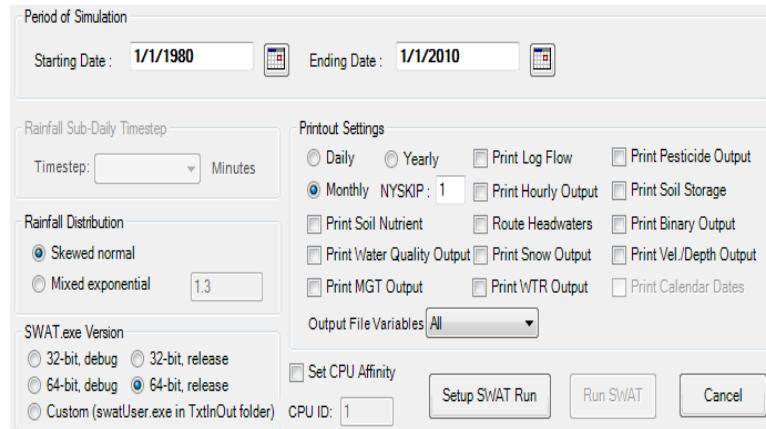
**Slika 8.** Izgled menija Weather Station  
**Figure 8.** Weather Stations Menu

Potom se klikom na Write Input Tables/Weather Stations definišu podaci vezani za klimatske uslove. Mogu se učitati ili simulirati u okviru programa.

Odlaskom u Write Input Tables/Write SWAT Input Tables se otvara meni gde se generišu tabele potrebne za samu simulaciju.



**Slika 9.** Izgled menija Write SWAT  
**Figure 9.** Write SWAT Database

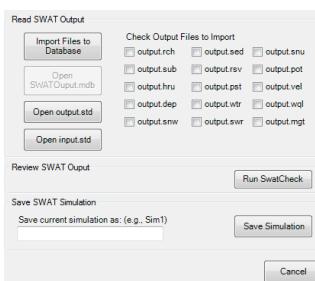


**Slika 10.** Izgled menija Setup and Run SWAT Model Simulation  
**Figure 10.** Setup and Run SWAT Model Simulation Menu

Pošto su generisani svi potrebiti podaci, pristupa se simulaciji. Odlaskom u Edit SWAT Input/Run SWAT otvara se meni gde se podešavaju parametri simulacije za dati primer.

Klikom na Setup SWAT Run se postavljaju okviri za pokretanje simulacije (učitavaju se podaci), a klikom na Run SWAT se pokreće proces simulacije.

Rezultati se mogu očitati odlaskom u SWAT Simulation/Read SWAT Output. Klikom na Open output.std otvara se tekstualni fajl gde se nalaze rezultati simulacije.



**Slika 11.** Izgled menija SWAT Output  
**Figure 11.** SWAT Output Menu

TIME	Annual Summary for watershed in year												2 of Simulation											
	PREC	SURF	LATO	GMD	PERC	TILEQ	SM	ET	PET	YIELD	FEED	N2O	SURQ	NO3	PERC	CROP	ORGANIC	N	SOLUBLE	ORGANIC	P	TILEMO		
1 204.08	41.18	0.13	39.13	85.59	0.00	79.54	33.33	54.06	81.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2 126.29	12.04	0.08	25.03	85.02	0.00	61.68	37.08	159.19	53.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
3 126.29	12.04	0.08	25.03	85.02	0.00	61.68	37.08	159.19	53.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
4 126.29	12.04	0.08	25.03	85.02	0.00	61.68	37.08	159.19	53.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
5 59.26	1.54	0.03	17.83	85.02	0.00	17.39	84.93	190.40	22.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
6 59.26	1.54	0.03	17.83	85.02	0.00	17.39	84.93	190.40	22.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
7 78.13	0.03	0.07	21.83	85.02	0.00	26.08	75.11	210.09	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
8 78.13	0.03	0.07	21.83	85.02	0.00	26.08	75.11	210.09	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
9 39.89	0.06	0.07	21.83	85.02	0.00	44.69	82.75	120.08	2.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
10 39.89	0.06	0.07	21.83	85.02	0.00	44.69	82.75	120.08	2.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
11 39.89	0.06	0.07	21.83	85.02	0.00	44.69	82.75	120.08	2.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
12 44.46	0.18	0.04	24.83	9.43	0.00	58.99	37.20	51.80	8.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
13 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
14 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
15 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
16 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
17 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
18 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
19 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
20 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
21 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
22 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
23 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
24 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
25 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
26 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
27 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
28 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
29 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
30 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
31 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
32 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
33 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
34 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
35 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
36 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
37 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
38 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
39 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
40 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
41 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10	1870.74	366.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
42 100.50	120.13	0.00	222.86	222.37	0.00	58.99	724.10</td																	

## Zahvalnica

Ovaj pregledni rad sadrži i rezultate istraživanja na bilateralnom projektu 'Impact of climate change on agricultural soil and water resources and corresponding countermeasures in the middle reaches of China's Yellow River and Serbian Sava basin', koji finansira International Partnership Program of Chinese Academy of Sciences (Grant No.161461KYSB20170013).

## Literatura

- Arnold J.G., Williams J.R., and Maidment D.R. 1995. Continuous-time water and sediment-routing model for large basins. *Journal of Hydraulic Engineering* 121 (2).
- Bagnold R.A. 1977. Bedload transport in natural rivers, *Water Resources Research*.
- Brown L.C., and Barnwell T.O. 1987. The enhanced water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS documentation and user manual.
- Hargreaves, G.H., and Allen, R.G. 2003. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 129 (1).
- Li, Z., Liu, W., Zhang, X. and Zheng, F. 2009. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology* 377: 35-42.
- Li, Z., Liu, W., Zhang, X. and Zheng, F. 2011. Assessing the site-specific impacts of climate change on hydrology, soil erosion and crop yields in the Loess Plateau of China. *Climatic Change* 105(1-2): 223-242.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R. 2005. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Agricultural Research Service, Temple, Texas.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R. 2011. Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation—Version 2009, Texas Water Resources Institute Technical Report No. 406, Agricultural Research Service (USDA), Temple.
- Nicks A.D. 1974. Stochastic generation of the occurrence, pattern and location of maximum amount of daily rainfall. In Proc Symp. Statistical Hydrology, 154-171, Tuson, US.
- Srdjević, B., Srdjević, Z., and Todorovic, B. 2017. Simulating Reservoir System Operation Under Given Scenarios to Determine Operating Policy with the 'Good' Resilience Risk and Resiliency. In Resilience and Risk Methods and Application in Environment, Cyber and Social Domains, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security (I. Linkov and J. M. Palma-Oliveira, eds.), Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Srdjević, Z., and Srdjević, B. 2017. An extension of the sustainability index definition in water resources planning and management. *Water Resources Management* 31 (5): 1695-1712.
- Srđević, B., and Srđević, Z. 2016. Vodoprivredna sistemska analiza sa primenama u menadžmentu vodnih resursa, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- Williams, J.R. 1969. Flood routing with variable travel time or variable storage coefficients. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*.
- Williams J.R. Hann R.W. 1972. HYMO, a problem-oriented computer language for building hydrologic models. *Water Resour. Res.*, 8(1): 79– 86.
- Winchell, M., Srinivasan, R., Di Luzio, M., and Arnold, J. 2010. ArcSWAT interface for SWAT2009 user's guide, Texas Agricultural Experiment Station., Temple, Texas, USA.

## SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

Rastko Šabović<sup>a\*</sup>, Zorica Srđević<sup>b</sup>, Zhi Li<sup>c</sup>, Jinxia Fu<sup>c</sup>

<sup>a</sup>University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, master student, Novi Sad, Serbia

<sup>b</sup>University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Water Management, Novi Sad, Serbia

<sup>c</sup>Northwest A&F University, College of Natural Resources and Environment, Yangling, China

\*Corresponding author: [sabovic843@gmail.com](mailto:sabovic843@gmail.com)

### ABSTRACT

The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model is a continuation of nearly 30 years of modeling efforts conducted by the USDA Agricultural Research Service (ARS). SWAT has gained international acceptance as a robust interdisciplinary watershed modeling tool as evidenced by international SWAT conferences, hundreds of SWAT-related papers presented at numerous other scientific meetings, and dozens of articles published in peer-reviewed journals. The model has also been adopted as part of the U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources (BASINS) software package and is being used by many U.S. federal and state agencies, including the USDA within the Conservation Effects Assessment Project (CEAP). At present, over 3000 peer-reviewed published articles have been identified that report SWAT applications, reviews of SWAT components, or other research that includes SWAT. The SWAT model allows the simulation of different scenarios within a basin, as well as the consequences of implementing said scenarios on the basin, and on the organisms within. Strengths and weaknesses of the model are presented, and recommended research needs for SWAT are also provided.

**KEY WORDS** SWAT, Modelling, Hydrology, Basin, Water Quality, Nutrients

Primljen: 17.06.2019.

Prihvaćen: 02.12.2019.